TUGAS AKHIR (RC14-1501)

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN TORSI BALOK BETON PRATEKAN DI DAERAH RESIKO GEMPA BERDASARKAN ACI 318-M14, SNI 2847-2013, DAN SNI 2847-2002 PADA STUDI KASUS GEDUNG FAKULTAS FARMASI UNIVERSITAS AIRLANGGA

MUHAMMAD FARIED
NRP. 3116 105 057

Dosen Pembimbing I
Prof. Tavio ST., MT., PhD.

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

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR (RC14-1501)

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN TORSI BALOK BETON PRATEKAN DI DAERAH RESIKO GEMPA BERDASARKAN ACI 318-M14, SNI 2847-2013, DAN SNI 2847-2002 PADA STUDI KASUS GEDUNG FAKULTAS FARMASI UNIVERSITAS AIRLANGGA

MUHAMMAD FARIED
NRP. 3116 105 057

Dosen Pembimbing I
Prof. Tavio ST., MT., PhD.

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

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

FINAL PROJECT (RC14-1501)

STUDY COMPARISON OF PRESTRESSED BEAM'S TORSIONAL STRENGTH ON EARTHQUAKE RISK AREA BASED ON ACI 318M-14, SNI 2847:2013, AND SNI-2847-2002 ON FACULTY OF PHARMACY BUILDING, AIRLANGGA UNIVERSITY

MUHAMMAD FARIED
NRP. 3116 105 057

Academic Supervisor I
Prof. Tavio ST., MT., PhD.

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

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN TORSI BALOK BETON PRATEKAN DI DAERAH RESIKO GEMPA BERDASARKAN ACI 318-M14, SNI 2847-2013, DAN SNI 2847-2002 PADA STUDI KASUS GEDUNG FAKULTAS FARMASI UNIVERSITAS AIRLANGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MUHAMMAD FARIED
NRP. 3116 105 057

Disetujui Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Tavio ST., MT., PhD. .....(Pembimbing 1)
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka .....(Pembimbing 2)

DEPARTEMEN
TEKNIK SIPIL
SURABAYA
JULI,2018

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN TORSI BALOK BETON PRATEKAN DI DAERAH RESIKO GEMPA BERDASARKAN ACI 318-M14, SNI 2847-2013, DAN SNI 2847-2002 PADA STUDI KASUS GEDUNG FAKULTAS FARMASI UNIVERSITAS AIRLANGGA

Nama Mahasiswa	**: Muhammad Faried**
NRP	**: 3116 105 057**
Jurusan	**: Teknik Sipil FTSLK - ITS**
Dosen Pembimbing	**: Prof. Tavio ST., MT., PhD**
	Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Abstrak

Studi perbandingan kekuatan torsi balok beton pratekan ini dilakukan pada studi kasus Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga. Dalam studi ini dibandingkan hasil dari kekuatan torsi balok beton pratekan pada daerah resiko gempa dari tiga peraturan, yaitu ACI 318-M14, SNI 2847-2013, dan SNI 2847-2002.

Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas bagaimana merencanakan struktur gedung pada daerah resiko gempa dengan beton pratekan menggunakan SNI 2847-2013. Perencanaan ini meliputi perencanaan struktur sekunder, analisa struktur, penulangan struktur utama, serta perencanaan balok pratekan. Setelah penulangan struktur utama dan perencanaan balok pratekan menggunakan SNI 2847:2013 selesai, dilakukan perhitungan kekuatan torsi pada balok pratekan menggunakan ACI 318-M14 dan SNI 2847-2002.

Studi ini menghasilkan output gambar beserta dimensi struktur dan hasil perbandingan kekuatan torsi berdasarkan ACI 318-M14, SNI 2847-2013, dan SNI 2847-2002.

Kata Kunci: Beton Pratekan, Kekuatan Torsi, Fakultas Farmasi Universitas Airlangga

STUDY COMPARISON OF PRESTRESSED BEAM'S TORSIONAL STRENGTH ON EARTHQUAKE RISK AREA BASED ON ACI 318M-14, SNI 2847:2013, AND SNI-2847-2002 ON FACULTY OF PHARMACY BUILDING, AIRLANGGA UNIVERSITY

Student Name	**:**	**Muhammad Faried**
NRP	**:**	**3116 105 057**
Department	**:**	**Civil Engineering FTSLK-ITS**
Academic Supervisor	**:**	**Prof. Tavio ST., MT., PhD**
		Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Abstract

The study comparation of prestressed concrete torsion strength was conducted on Faculty of Pharmacy Building, Airlangga University. In this study, torsion strength in earthquake risk areas compared using SNI 2847-2002, SNI 2847: 2013, and ACI 318M-14.

In this Final Project will discuss how to plan the structure of buildings in earthquake risk areas with prestressed concrete using SNI 2847-2013. These design include secondary structure, structural analysis, primary structure reinforcement, and prestressed beam design. After reinforcement of primary structure and prestressed beam design using SNI 2847: 2013 completed, the process followed by the calculation of torsional strength in prestressed beams using ACI 318-M14 and SNI 2847-2002.

This study produces shop drawing output along with structural dimensions and torsion strength comparation results based on ACI 318-M14, SNI 2847-2013, and SNI 2847-2002.

Keywords: Prestressed Concrete, Torsional Strength, Pharmacy Faculty of Airlangga University

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena dengan rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, kami dapat mengikuti dan menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul "Studi Perbandingan Kekuatan Torsi Balok Beton Pratekan di Daerah Resiko Gempa Berdasarkan ACI 318-M14, SNI 2847-2013, dan SNI 2847-2002 pada Studi Kasus Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga". Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaikannya proposal ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Tavio ST. MT. PhD., selaku dosen pembimbing I
2. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka selaku dosen pembimbing II

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir yang penulis buat masih sangat jauh dari sempurna. Sehingga dengan rasa hormat saya mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap Tugas Akhir ini, sehingga kedepannya, diharapkan ada perbaikan terhadap Tugas Akhir ini serta dapat menambah pengetahuan bagi saya.

Surabaya, 27 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT.....ix
KATA PENGANTAR.....xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang.....1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan.....3
1.4. Batasan Masalah.....3
1.5. Manfaat.....3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....5
2.1. Umum.....5
2.2. Definisi Beton.....5
2.3. Definisi Beton Bertulang.....5
2.4. Beton Pratekan.....6
2.4.1. Prinsip Dasar.....6
2.4.2. Metode Pemberian Gaya Pratekan.....9
2.4.3. Tahapan Pembebanan.....12
2.4.4. Material Beton Pratekan 13
2.4.5. Kehilangan Gaya Pratekan 13

2.5. Struktur Tahan Gempa 15
2.6. Sistem Rangka Pemikul Momen 16
2.7. Torsi pada Elemen Beton Bertulang..... 17
2.8. Perbandingan Kekuatan Torsi SNI 2847 – 03 – 2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14 20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 25
3.1. Umum 25
3.2. Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir..... 25
3.3. Pengumpulan Data..... 28
3.4. Studi Literatur..... 28
3.5. Kriteria Desain..... 29
3.6. Preliminary Desain 30
3.6.1. Perencanaan Dimensi Balok 30
3.6.2. Perencanaan Dimensi Kolom 31
3.6.3. Perencanaan Dimensi Pelat..... 31
3.7. Pembebanan..... 33
3.7.1. Beban mati 34
3.7.2. Beban hidup..... 34
3.7.3. Beban Gempa (perencanaan menggunakan respon spektrum)..... 35
3.8. Analisa Model Struktur 35
3.9. Perhitungan Struktur Non Pratekan Menggunakan SNI 2847-2013 35
3.9.1. Perencanaan Pelat Lantai..... 36
3.9.2. Perencanaan Tangga 37
3.9.3. Perencanaan Balok 37

3.9.4. Perencanaan Kolom 40
3.10. Perhitungan Struktur Utama Pratekan 42
3.10.1. Pemilihan Jenis Balok Pratekan..... 42
3.10.2. Tegangan Ijin 43
3.10.3. Gaya Pratekan..... 44
3.10.4. Pemilihan Tendon Baja Pratekan..... 44
3.10.5. Kehilangan Pratekan..... 44
3.10.6. Kontrol Momen Retak 47
3.10.7. Kontrol Momen Nominal 48
3.10.8. Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan..... 48
3.10.9. Kontrol Lendutan..... 49
3.10.10.Perhitungan Geser 50
3.11. Tinjauan Gaya Torsi Berdasarkan SNI 2847-2002 dan ACI 318M-14..... 51
3.12. Pengangkuran 51
3.13. Hasil Perbandingan dan Pembahasan 52
3.14. Kesimpulan dan Saran..... 52
BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN 53
4.1. Preliminari Desain 53
4.1.1. Data Perencanaan 53
4.1.2. Preliminari Balok Beton Prategang 53
4.1.3. Preliminari Balok Beton Non Prategang .. 54
4.1.4. Preliminari Kolom 56
4.1.5. Preliminari Pelat Lantai 57
4.2. Pembebanan..... 70
4.2.1. Beban Mati 71

4.2.2. Beban Hidup 72
4.3. Permodelan Struktur 72
4.3.1 Analisis Beban Seismik 74
4.3.2. Kontrol Desain 77
4.4. Perencanaan Struktur Sekunder 85
4.4.1. Perhitungan Tulangan Pelat Dua Arah 85
4.4.2. Perhitungan Tulangan Pelat Satu Arah 95
4.4.3. Perhitungan Tulangan Tangga dan Plat Bordes 103
4.4.4. Perhitungan Balok Anak 113
4.4.5. Perhitungan Balok Bordes 140
4.4.6. Perhitungan Balok Lift 168
4.5. Perencanaan Struktur Utama 197
4.5.1. Balok Induk 197
4.5.2. Perencanaan Kolom 224
4.6. Perencanaan Struktur Pratekan 239
4.6.1. Umum 239
4.6.2. Data Perencanaan 239
4.6.3. Mencari Lebar Efektif 239
4.6.4. Analisa Penampang Global 240
4.6.5. Tegangan Izin Balok Pratekan 243
4.6.6. Desain Gaya Prategang Awal 244
4.6.7. Penentuan Tendon yang Digunakan 247
4.6.8. Perhitungan Kehilangan Gaya Pratekan . 248
4.6.9. Kontrol Gaya Pratekan Setelah Kehilangan 260

4.6.10. Daerah Limit Kabel 261
4.6.11. Kontrol Lendutan.....262
4.6.12. Perencanaan Tulangan Lunak.....265
4.6.13. Kontrol Momen Nominal Setelah Adanya Tulangan 297
4.6.14. Kontrol Momen Retak.....303
4.6.15. Angkur Ujung.....304
BAB V STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN TORSI PADA BALOK PRATEKAN MENGGUNAKAN SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 DAN ACI 318M-14.....307
5.1. Studi Perbandingan Kekuatan Torsi pada Balok Pratekan Menggunakan SNI 2847-2002.....307
5.2. Studi Perbandingan Kekuatan Torsi pada Balok Pratekan Menggunakan SNI 2847-2013.....315
5.3. Studi Perbandingan Kekuatan Torsi pada Balok Pratekan Menggunakan ACI 318M-14.....324
5.4. Rekapitulasi Hasil Studi Perbandingan 332
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....337
6.1. Kesimpulan.....337
6.2. Saran.....338
DAFTAR PUSTAKA.....339
LAMPIRAN.....340

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tegangan pada beton pratgeang 6
Gambar 2. 2 Contoh Tendon dengan Eksentrisitas 7
Gambar 2. 3 Tegangan yang Bekerja pada Beton Prategang 8
Gambar 2. 4 Sistem Prategang dengan Baja dan Beton Mutu Tinggi 8
Gambar 2. 5 Beban Merata yang Bekerja pada Tendon 9
Gambar 2. 6 Proses Pre-Tensioned Prestressed Concrete 10
Gambar 2. 7 Proses Post-Tensioned Prestressed Concrete 11
Gambar 2. 8 Torsi pada Elemen Beton Bertulang 17
Gambar 2. 9 Torsi keseimbangan 18
Gambar 2. 10 Torsi Kompabilitas 19
Gambar 3. 1 Alur Tahap Pengerjaan 27
Gambar 3. 2 Sudut Pusat Tendon 45
Gambar 3. 3 Denah Pelat E 58
Gambar 3. 4 Balok T 59
Gambar 3. 5 Balok dengan slab pada satu sisi saja 60
Gambar 3. 6 Pelat A 63
Gambar 3. 7 Balok B1 (35/55) as F joint 1'-2 64
Gambar 3. 8 Balok B1 (35/55) as 2 joint F-F' 65
Gambar 3. 9 Balok B2 (30/40) as F' joint 1'-2 67
Gambar 3. 10 Balok B2 (30/40) as 1' joint F-F' 68
Gambar 3. 11 Denah Perencanaan Tangga 104
Gambar 4. 1 Pemodelan 3D Struktur Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga 73
Gambar 4. 2 Penentuan Simpangan Antar Lantai 83
Gambar 4. 3 Pelat Tipe A 86
Gambar 4. 4 Asumsi tinggi manfaat pelat (dx dan dy) 87
Gambar 4. 5 Penulangan pelat lantai tipe A 94
Gambar 4. 6 Pelat Tipe E 95
Gambar 4. 7 Penulangan pelat lantai tipe E 101
Gambar 4. 8 Sketsa beban pada tangga 105
Gambar 4. 9 Bidang lintang (D) pada tangga 107
Gambar 4. 10 Bidang Momen (M) pada tangga 107

Gambar 4. 11 Bidang normal (N) pada tangga.....108
Gambar 4. 12 Asumsi tinggi manfaat pelat (dx dan dy).....111
Gambar 4. 13 Denah penulangan tangga.....113
Gambar 4. 14 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik.....135
Gambar 4. 15 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior.....138
Gambar 4. 16 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya 139
Gambar 4. 17 Kait standart untuk sengkang 139
Gambar 4. 18 Penulangan balok anak.....140
Gambar 4. 19 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik.....162
Gambar 4. 20 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior.....165
Gambar 4. 21 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya 166
Gambar 4. 22 Kait standart untuk sengkang 166
Gambar 4. 23 Penulangan balok bordes.....167
Gambar 4. 24 Potongan Lift.....169
Gambar 4. 25 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik.....191
Gambar 4. 26 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior.....194
Gambar 4. 27 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya 195
Gambar 4. 28 Kait standart untuk sengkang 195
Gambar 4. 29 Penulangan balok lift.....196
Gambar 4. 30 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik.....218
Gambar 4. 31 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior.....222
Gambar 4. 32 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya 222
Gambar 4. 33 Kait standart untuk sengkang 223
Gambar 4. 34 Penulangan balok induk 223
Gambar 4. 35 Hasil output program bantu Spcolumn.....225
Gambar 4. 36 Penampang Kolom di daerah sendi plastis.....232
Gambar 4. 37 Penampang Kolom di luar sendi plastis 233

Gambar 4. 38 Penampang Balok Pratekan 241
Gambar 4. 39 Daerah pusat kern untuk penampang persegi panjang 243
Gambar 4. 40 Perpendekan Kolom 252
Gambar 4. 41 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik..... 291
Gambar 4. 42 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior 295
Gambar 4. 43 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya 295
Gambar 4. 44 Kait standart untuk sengkang 296
Gambar 4. 45 Penulangan lunak balok pratekan 297
Gambar 5. 1 Rekapitulasi Hasil Studi Perbandingan 335

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 2 Perbandingan Perhitungan Kekuatan Torsi berdasarkan ACI 318-M14, SNI 2847-2013, dan SNI 2847-2002.....21
Tabel 3.1 Beban hidup terdistribusi merata minimum L_o dan beban hidup terpusat minimum 34
Tabel 3. 3 Tebal minimum pelat tanpa balok interior 61
Tabel 3. 4 Kebutuhan Tebal pelat lantai.....70
Tabel 4. 1 Data N_{SPT} 75
Tabel 4. 2 Rekapitulasi hasil perhitungan penulangan pada tiap tipe pelat lantai 78
Tabel 4. 3 Perioda dan Frekuensi Struktur 79
Tabel 4. 4 Gaya Geser Dasar akibat Beban Gempa 81
Tabel 4. 5 Gaya Geser Dasar akibat Beban Gempa setelah dikalikan dengan Faktor Skala 82
Tabel 4. 6 Nilai simpangan yang terjadi.....84
Tabel 4. 7 Rekapitulasi penulanngan pelat lantai tipe A 94
Tabel 4. 8 Rekapitulasi penulangan pelat lantai tipe B 101
Tabel 4. 9 Rekapitulasi hasil perhitungan penulangan pada tiap tipe pelat lantai 102
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Penulangan Tangga 113
Tabel 4. 11 Rekapitulasi penulangan balok anak 140
Tabel 4. 12 Rekapitulasi penulangan balok bordes 167
Tabel 4. 13 Brosur Pembebanan Lift.....168
Tabel 4. 14 Rekapitulasi penulangan balok lift 196
Tabel 4. 15 Rekapitulasi penulangan balok induk.....223
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Kolom.....237
Tabel 4. 17 Rekapitulasi Kehilangan Gaya Pratekan 259
Tabel 4. 18 Rekapitulasi tulangan lunak balok pratekan.....296
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Studi Perbandingan Perhitungan Torsi pada balok pratekan menggunakan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 dan ACI 318 M-14 332
Tabel 6. 1 Kesimpulan Studi Perbandingan 337

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Padatnya penduduk akan diiringi dengan kenaikan kebutuhan ruang serba guna atau convention hall yang besar. Khususnya di kota-kota besar di Indonesia, ruangan tersebut biasanya digunakan untuk ruang pamer ataupun mengadakan acara besar lainnya.

Karena keterbatasan lahan, tidak jarang ruang serba guna dibangun dalam satu gedung dengan fungsi utama yang berbeda, seperti hotel, apartemen, mall ataupun gedung perkuliahan. Ruang serba guna membutuhkan area yang luas tanpa kolom ditengah ruangan, hal ini dimaksudkan agar pandangan pengunjung yang datang tidak terdistraksi oleh keberadaan kolom-kolom tersebut. Untuk itu dibutuhkan struktur balok dengan bentang yang besar, agar dimensi balok tersebut tidak terlalu besar, dapat digunakan balok pratekan sebagi pilihan jenis konstruksi.

Dalam merencanakan bangunan gedung yang indah dan memiliki fungsi kegunaan yang maksimal ternyata tidak luput dari kegagalan struktur akibat perencanaan struktur yang rumit. Bangunan mengalami keretakan dan kegagalan struktur sebagian besar diakibatkan oleh beban gempa. Oleh karena itu sebagai perencana dibutuhkan perhitungan yang baik untuk mencegah kegagalan struktur tersebut.

Keruntuhan suatu balok beton pratekan tanpa penambahan tulangan yang tidak ditarik, pada keadaan puntir murni, kurang lebih sama dengan pada beton polos dimana keruntuhan seketika cepat terjadi hampir bersamaan dengan terjadinya retak yang pertama. Untuk itu perlu direncankan desain balok pratekan yang juga mampu menahan torsi (Raju, 1989).

Selain mencegah kegagalan struktur, perencana harus bisa menciptakan perencanaan yang efisien, baik dari segi waktu dan biaya. Dengan menggunakan peraturan yang mengatur struktur beton pratekan diharapkan desain yang direncanakan

dapat efisien. Indonesia saat ini telah memiliki standar peraturan untuk mengatur perencanaan struktur beton pratekan. Peraturan tersebut adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013. Untuk kedepannya akan ada peraturan baru yang akan diluncurkan. Peraturan baru ini akan diadaptasi dari peraturan ACI 318-M14.

Studi balok beton pratekan ini akan memberikan informasi atau pencerdasan bagaimana perbandingan kekuatan torsi pada balok pratekan berdasarkan ketiga peraturan yang telah disebutkan sebelumnya. Studi dilakukan di gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga, gedung ini merupakan gedung 10 lantai yang berfunsi sebagai gedung perkuliahan. Pada Tugas akhir ini gedung akan dimodifikasi menjadi gedung 12 lantai dengan lantai paling atas difungsikan sebagai ruang serba guna.

Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga Surabaya terletak di wilayah Surabaya dengan kondisi tanah lunak yang dapat dimasukkan ke dalam daerah dengan KDS D sesuai dengan SNI 1726:2012 Tabel 6 dan Tabel 7. Sehingga dalam tugas akhir ini Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga akan direncanakan dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) sesuai dengan ketentuan SNI 2847-2013 dan SNI 1726-2012.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan struktur Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
2. Bagaimana merencanakan struktur beton pratekan pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga
3. Bagaimana perbedaan kuat torsi pada balok beton pratekan berdasarkan peraturan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14.

1.3. Tujuan

Tujuan yang diharapkan bisa dicapai setelah penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan struktur Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
2. Merencanakan struktur beton pratekan pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga
3. Mengetahui perbedaan kuat torsi pada balok beton pratekan berdasarkan peraturan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah atau ruang lingkup dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi hanya difokuskan pada balok beton pratekan yang digunakan di ruang pertemuan yang berada di lantai paling atas.
2. Parameter perbandingan berupa perbandingan secara kuantitatif. Perbandingan dilakukan pada hasil kekuatan torsi dan jumlah tulangan yang akan dibutuhkan. Untuk parameter lain seperti pembebanan, gaya dalam, dimensi balok, mutu beton dan baja semua disamakan.
3. Analisa struktur menggunakan program bantu ETABS.
4. Studi tidak meninjau struktur bangunan bawah atau pondasi dari gedung.
5. Studi dibatasi hanya analisis model, tidak melakukan eksperimen.
6. Tidak memperhitungkan biaya dan waktu dan tidak meninjau metode pelaksanaan.

1.5. Manfaat

Studi ini diharapkan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang terkait, antara lain :

1. Dapat menambah referensi dalam mendesain struktur beton pratekan dan mendesain struktur gedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain
3. Dapat memberikan atau menjadi panduan dalam perencanaan beton pratekan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Dalam tinjauan pustaka akan dijelaskan mengenai pengertian beton bertulang, beton pratekan, struktur tahan gempa, sistem rangka pemikul momen, dan peraturan-peraturan yang mengatur struktur beton pratekan.

2.2. Definisi Beton

Beton merupakan hasil pencampuran portland cement, air dan agregat. Terkadang ditambah menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu, mulai dari bahan kimia tambahan, fiber, sampai bahan buangan non kimia. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan dan cara perawatannya (Tjokrodimuljo, 1996).

2.3. Definisi Beton Bertulang

Beton bertulang adalah gabungan logis dari beton polos yang mempunyai kuat tekan tinggi akan tetapi kuat tarik rendah, dan batangan-batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kuat tarik yang diperlukan. (Wang, Salmon, & Hariandja, 1989)

Beton bertulang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang di syaratkan dengan atau tanpa pratekan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya (SNI 03- 2847 – 2002, Pasal 3.13). Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Karena baja tulangan harganya mahal, maka sedapat mungkin dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan.

Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan beton dan baja tulangan dipadukan menjadi satu kesatuan

secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton juga tahan terhadap kebakaran dan melindungi baja supaya awet.

2.4. Beton Pratekan

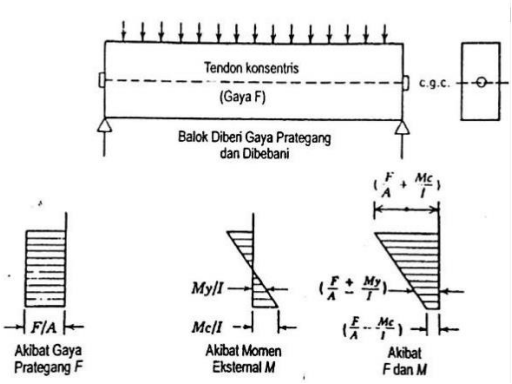
Beton pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu (Lin & Burns, 2000). Beton pratekan juga dapat disimpulkan sebagai beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban (SNI 2847 : 2013)

2.4.1. Prinsip Dasar

Beton pratekan memiliki beberapa prinsi dasar, menurut (Lin & Burns, 2000) terdapat 3 prinsip beton pratekan, yaitu :

a. Sistem Pratekan yang Digunakan untuk Mengubah Beton yang Getas Menjadi Bahan yang Elastis.

   Menurut Eugene Freyssinet dalam "*Desain Struktur Beton Pratekan*, (Lin & Burns, 2000)*"* dengan memberikan tekanan terlebih dahulu, bahan beton yang getas akan menjadi bahan yang elastis. Dengan memberikan tekanan dengan menarik baja, beton yang bersifat getas akan kuat menahan beban tarik.



Gambar 2. 1 Tegangan pada beton pratgeang

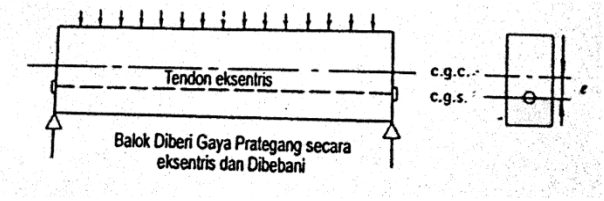
Akibat gaya tekan yang diberikan, F yang bekerja pada pusat berat penampang beton akan memberikan tegangan tekan yang merata diseluruh penampang beton sebesar F/A (lihat **Gambar 2.1**), dimana A adalah luas penampang beton. Akibat beban merata yang memberikan tegangan tarik dibawah garis netral dan tegangan tekan diatas garis netral pada serat terluar penampang, digunakan perumusan sebagai berikut :

$$f = \frac{M \times C}{I} \qquad (2\text{-}1)$$

Dimana :

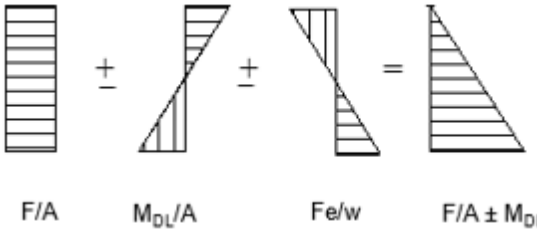
M = Momen lentur pada penampang yang ditinjau
C = Jarak garis netral ke serat terluar penampang
I = Momen Inersia penampang

Untuk meningkatkan kemampuan beton pratekan kita dapat menambahkan eksentrisitas tegangan baja terhadap garis netral beton seperti pada **Gambar 2.2** berikut



Gambar 2. 2 Contoh Tendon dengan Eksentrisitas

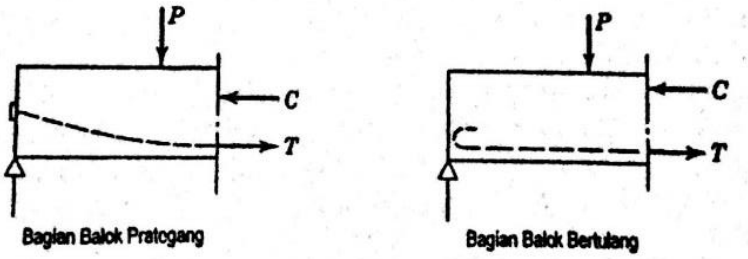
Akibat adanya pergeseran eksentrisitas baja terhadap garis pusat beton, maka terjadi tegangan sebesar Fe/W dimana e adalah eksentrisitas tegangan dan W adalah momen resisten (I/y) (lihat **Gambar 2.3**)



Gambar 2. 3 Tegangan yang Bekerja pada Beton Prategang

b. Sistem Pratekan yang Mengkombinasikan Baja Mutu Tinggi dengan Beton Mutu Tinggi

Konsep ini hampir sama dengan konsep beton bertulang, yaitu beton pratekan merupakan kombinasi kerja sama antara baja pratekan dan beton, dimana beton menahan beban tekan dan baja pratekan menahan beban tarik.



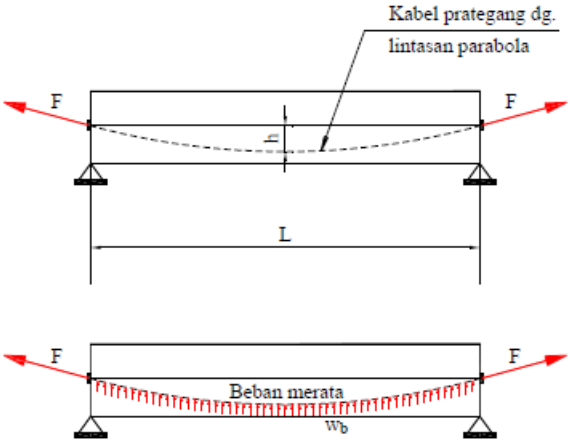
Gambar 2. 4 Sistem Prategang dengan Baja dan Beton Mutu Tinggi

Pada beton pratekan, baja pratekan ditarik dengan gaya pratekan T yang mana membentuk momen kopel dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen akibat beban luar, seperti pada **Gambar 2.4**

Pada beton bertulang biasa, besi penulangan menahan gaya tarik T akibat beban luar, yang membentuk momen kopel dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen akibat beban luar.

c. Sistem Pratekan untuk Mencapai Keseimbangan Beban

Pada konsep ini pratekan digunakan untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada balok. Pada desain struktur beton pratekan, pengaruh dari pratekan dianggap sebagai keseimbangan berat sendiri. Sehingga batang yang mengalami lendutan tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

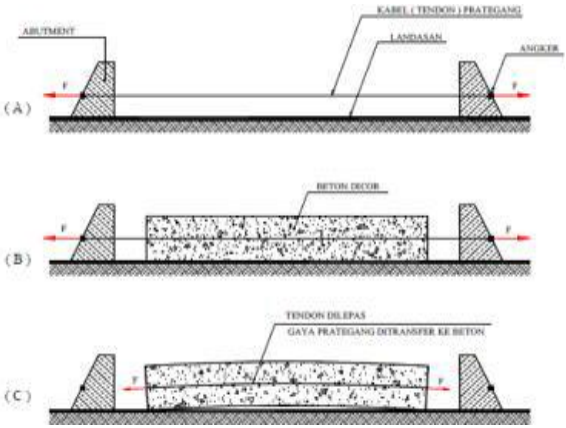


Gambar 2. 5 Beban Merata yang Bekerja pada Tendon

2.4.2. Metode Pemberian Gaya Pratekan

Pada dasarnya ada 2 macam metode pemberian gaya pratekan pada beton, yaitu :

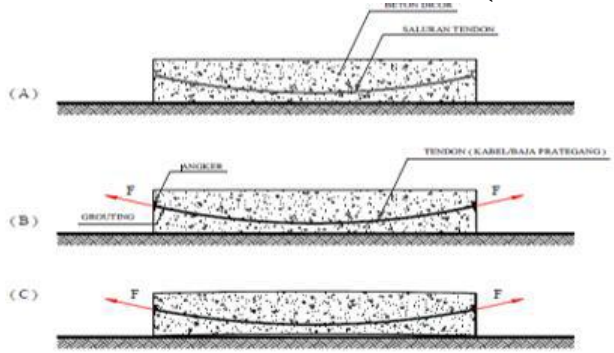
a. Pre-tensioned Prestressed Concrete (Pratarik)



Gambar 2. 6 Proses Pre-Tensioned Prestressed Concrete

- Tahap 1
  Kabel (tendon) pratekan ditarik atau diberi gaya pratekan kemudian diangker pada suatu abutment tetap (**Gambar 2.6** (a)).
- Tahap 2
  Beton dicor pada cetakan (*formwork*) dan landasan yang sudah disediakan sedemikian sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya pratekan dan dibiarkan mengering (**Gambar 2.6** (b)).
- Tahap 3:
  Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya pratekan, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya pratekan ditransfer ke beton (**Gambar 2.6** (c)).
  Setelah gaya pratekan ditransfer kebeton, balok beton tersebut. akan melengkung keatas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tersebut. akan rata.

b. Post-Tensioned Prestressed Concrete (Pasca Tarik)



Gambar 2. 7 Proses Post-Tensioned Prestressed Concrete

Metode pasca tarik merupakan metode dimana tendon ditarik setelah beton dicor. Sebelum pengecoran, dipasang dahulu selongsong untuk alur tendon. Setelah beton mengeras tendon dimasukan ke dalam selubung tendon yang sudah dipasang. Penarikan dilakukan setelah beton mencapai kekuatan yang diinginkan. Setelah penarikan dilakukan proses *grooting.* Berikut metode pengerjaan *Post-tensioned Prestressed.*

- Tahap 1
  Dengan cetakan (formwork) yang telah disediakan lengkap dengan saluran /selongsong kabel pratekan (*tendon duct*) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, beton dicor (**Gambar 2.7** (a)).
- Tahap 2
  Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya pratekan, tendon atau kabel pratekan dimasukkan dalam selongsong (*tendon duct*), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya pratekan. Metode

pemberian gaya pratekan ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik dikedua sisinya dan diangkur secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran di-grouting melalui lubang yang telah disediakan. (**Gambar 2.7** (b)).

- Tahap 3
  Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, gaya pratekan telah ditransfer ke beton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya pratekan tendon memberikan beban merata ke balok yang arahnya keatas, sehingga balok melengkung keatas (**Gambar 2.7** (c)).

2.4.3. Tahapan Pembebanan

Beton pratekan memiliki dua tahapan pembebanan. Pada setiap tahapan pembebanan harus selalu dilakukan pengecekan kondisi beton pada bagian yang tertekan maupun tertarik untuk setiap penampang. Tahapan pembebanan pada beton pratekan adalah :

a. Tahap Transfer
   Pada metode pratarik, tahap transfer ini terjadi pada saat angker dilepas dan gaya pratekan ditransfer ke beton. Untuk metode pasca tarik, tahap transfer ini terjadi pada tahap saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel pratekan. Pada saat transfer ini beban-beban layan belum bekerja.
b. Tahap Service
   Setelah beton pratekan digunakan atau difungsikan sebagai komponen struktur, maka beton sudah memasuki tahap service, yaitu tahap dimana semua beban layan sudah bekerja. Pada saat ini semua kehilangan pratekan sudah harus diperhitungkan dalam analisa struktur.

2.4.4. Material Beton Pratekan

a. Beton

Beton yang digunakan pada beton pratekan pada umumnya merupakan beton mutu tinggi, hal ini dilakukan untuk menahan tegangan tekan pada pengangkuran beton, agar tidak terjadi keretakan. Tegangan ijin pada beton yang mengalami pratekan dibagi menjadi 2 kategori, yaitu tegangan ijin pada saat transfer dan tegangan ijin pada saat service (Lin & Burns, 2000).

b. Baja

Baja pratekan yang digunakan terbagi menjadi 3 tipe, kawat tunggal (*wire*), Untaian kawat (*strand*) dan kawat batangan (*bar*). Setiap jenis kawat biasanya digunakan untuk metode yang berbeda, kawat tunggal dan batangan biasa digunakan dalam beton pratekan *pre-tension*, untuk untaian kawat biasa digunakan dalam beton pratekan *post tension*. Jenis tendon lain yang sering digunakan pada beton pratekan system *pre-tension* adalah *seven-wire strand* dan *single wire.* Baja yang digunakan memiliki batasan tegangan ijin sebesar 0.94 f_{py} Akibat gaya penarikan (*jacking*) dan 0.7 f_{pu} sesaat setelah transfer gaya.

2.4.5. Kehilangan Gaya Pratekan

Kehilangan gaya pratekan dapat menurunkan gaya pratekan menjadi nilai yang lebih rendah, sehingga beban yang dipikul balok pratekan menjadi lebih rendah pula. Selisih antara gaya pratekan akhir dengan gaya pratekan awal dinamakan kehilangan pratekan. Kehilangan pratekan dapat terjadi secara langsung dan jangka panjang. Kehilangan pratekan secara langsung adalah kehilangan yang terjadi segera setelah beton diberi gaya pratekan. Kehilangan gaya pratekan langsung disebabkan oleh :

a. Perpendekan Elastis

Pada saat gaya pratekan dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja pratekan turut memendek bersamaan. Jadi ada kehilangan gaya pratekan pada baja (Lin & Burns, 2000)

b. Kehilangan Akibat Friksi atau Geseran Sepanjang Tendon

Hal ini terjadi pada beton pratekan dengan system post-tension. Pada struktur beton pratekan dengan tendon yang dipasang melengkung ada gesekan antara sistem penarik (*jacking*) dan angkur, sehingga tegangan yang ada pada tendon akan lebih kecil dari pada tegangan yang diberikan. Kehilangan akibat gesekan dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (*wobble*) dan kelengkungan tendon.

c. Kehilangan Akibat Slip Angkur

Kehilangan akibat slip terjadi pada saat kabel pratekan dilepas dari mesin penarik, kemudian kabel ditahan oleh baji di pengangkuran dan gaya pratekan ditransfer dari mesin penarik ke angkur. Pada umumnya slip yang terjadi dipengangkuran berkisar 2.5 mm (Lin & Burns, 2000)

d. Kehilangan Akibat Kekangan Kolom

Konstruksi beton pratekan dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan pratekan akibat kekangan kolom. Hal ini terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekauan kolom. Gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya pratekan karena sebagian gaya pratekan yang diberikan digunakan mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok pratekan maka semakin besar gaya pratekan yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking. Hal ini juga menyebabkan semakin

besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi. Sebaliknya jika kolom didesain tidak kaku maka gaya pratekan yang hilang semakin kecil serta momen yang diterima kolom juga berkurang.

Sedangkan kehilangan jangka panjang adalah kehilangan gaya pratekan yang dipengaruhi oleh faktor waktu. kehilangan pratekan jangka panjang disebabkan oleh :

a. Kehilangan Gaya Pratekan Akibat Rangkak
   Kehilangan gaya pratekan yang diakibatkan oleh rangkak dari beton merupakan salah satu kehilangan gaya pratekan tergantung pada waktu yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian. Rangkak pada beton pratekan dapat terjadi pada 2 kondisi yaitu kondisi bonded tendon dan unbounded tendon. (Lin & Burns, 2000)
b. Kehilangan Gaya Pratekan Akibat Susut
   Penyusutan beton dipengaruhi oleh rasio antara volume beton dan luas permukaan beton, dan juga kelembapan relative waktu antara pengecoran dan pemberian gaya pratekan. (Lin & Burns, 2000)
c. Kehilangan Gaya Pratekan Akibat Relaksasi Baja Pratekan
   Relaksasi baja pratekan terjadi pada baja dengan perpanjangan tetap dalam suatu periode yang mengalami kekurangan gaya pratekan (Lin & Burns, 2000).

2.5. Struktur Tahan Gempa

Konsep struktur tahan gempa adalah struktur yang dapat bertahan dari keruntuhan akibat getaran gempa, serta memiliki fleksibilitas untuk meredam getaran. Untuk merencanakan suatu struktur tahan gempa, struktur harus ditetapkan kategori desain seismik (KDS) nya sesuai dengan SNI 1726-2012.

Setelah mengetahui kategori desain seismik, akan diketahui struktur tersebut memenuhi salah satu tipe sistem

penahan gaya seismik yang ada sesuai dengan SNI 1726-2012. Sistem penahan gaya seismik terdiri dari:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), dijinkan untuk digunakan dalam struktur dengan Kategori Desain Seismik B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dijinkan untuk digunakan dalam struktur dengan Kategori Desain Seismik B dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). dijinkan untuk digunakan dalam struktur dengan Kategori Desain Seismik B, C, D, E, dan F.

2.6. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (SPRM) adalah struktur bangunan beton bertulang bertingkat, umumnya terdiri dari rangka balok yang memikul lantai dan kolom yang menerus keatas. Balok dan kolom disatukan oleh Hubungan Balok Kolom (HBK). (Purwono & Aji, 2014)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SPRM) mendominasi struktur bangunan umum yang ada di masyarakat, baik itu untuk perumahan, pertokoan, perkantoran, dan khususnya bangunan sekolah, fasilitas pendidikan, rumah sakit, serta fasilitas kesehatan yang pada keadaan darurat harus tetap beroperasi. (Purwono & Aji, 2014)

Menurut SNI 1726:2012 untuk Bangunan Kategori Resiko IV yang dibangun di daerah-daerah yang kemungkinan terkena gempa kuat harus didisain sesuai Kategori Desain Seismik D dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK).

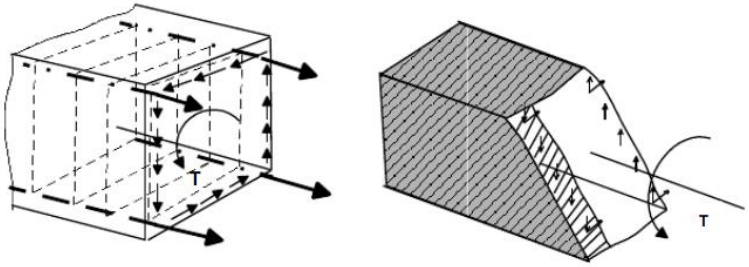
Dalam Tabel 9 SNI 1726:2012, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK) memiliki parameter Sistem Penahan Gaya Gempa sebagai berikut:

a. R = 8, sebagai nilai koefisien modifikasi respon tidak boleh dilampaui

b. Ω_o, sebagai parameter kuat lebih bahan dan sistem struktur tidak boleh lebih kecil dari 3
c. C_d = 5.5, sebagai parameter pembesaran defleksi juga tidak boleh diambil lebih kecil

2.7. Torsi pada Elemen Beton Bertulang

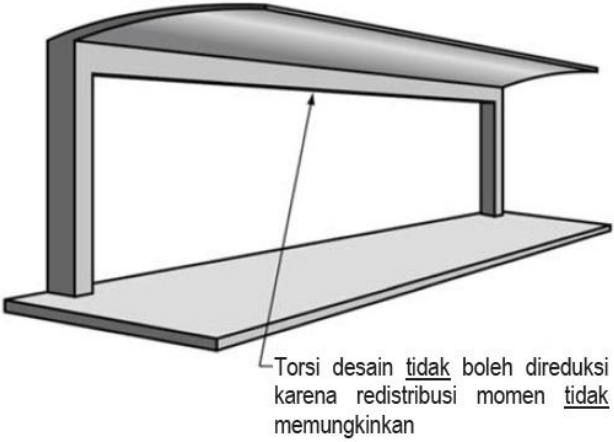
Elemen-elemen struktural pada umumnya difungsikan untuk menganggung berbagai macam beban layan yang mengakibatkan bekerjanya gaya-gaya dalam yang berupa momen lentur, gaya aksial, gaya geser, dan seringkali dijumpai pula bekerjanya momen puntir (torsi). Torsi dapat didefinisikan sebagai peristiwa bekerjanya momen puntir di sepanjang batang yang mengakibatkan terpilinnya elemen struktur dalam arah longitudinal. Pada prinsipnya torsi dapat terjadi karena bekerjanya beban transversal yang tidak segaris dengan posisi garis berat penampang. Lihat **Gambar 2.8**



Gambar 2. 8 Torsi pada Elemen Beton Bertulang

Dalam perhitungan beton bertulang, torsi dibedakan menjadi dua macam, yaitu: (1) torsi keseimbangan dan (2) torsi keselarasan yang dibedakan atas dasar pemicu terjadinya puntiran pada elemen struktur yang dianalisis.

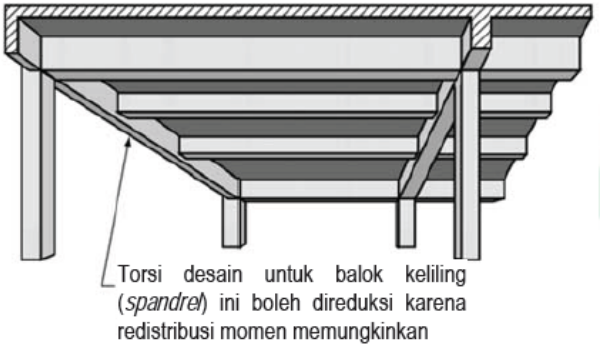
(1) Torsi Keseimbangan



Gambar 2. 9 Torsi keseimbangan

Torsi keseimbangan adalah jenis puntiran pada elemen beton bertulang yang disebabkan bekerjanya aksi primer, artinya titik tangkap beban yang bekerja pada elemen yang ditinjau secara individual memang tidak segaris dengan posisi garis berat penampang. Hal ini berakibat terpilinnya elemen struktur yang hanya bisa ditahan oleh kekuatan elemen yang bersangkutan dalam menahan momen puntir, sehingga dapat memenuhi prinsip keseimbangan (aksi sama dengan reaksi). Fenomena torsi semacam ini dijumpai pada jenis struktur statis tertentu.

(2) Torsi Kompabilitas



Gambar 2. 10 Torsi Kompabilitas

Torsi keselarasan adalah jenis puntiran pada elemen beton bertulang yang disebabkan bekerjanya aksi sekunder. Jenis torsi ini terjadi karena adanya kesinambungan antar elemen struktur yang disatukan secara monolith (kaku sempurna) pada sambungan-sambungannya sehingga dalam pergerakan sistem struktur terjadi dengan mengikuti prinsip keselarasan (*compatibility*). Hal ini berakibat bekerjanya beban pada suatu elemen akan mempengaruhi kinerja elemen struktur yang lain. Fenomena torsi semacam ini dijumpai pada jenis struktur statis tak tentu, contoh nyata yang paling mudah diamati pada struktur bangunan gedung adalah fenomena puntir yang terjadi pada balok tepi (eksterior).

Momen torsi dalam balok menimbulkan tegangan geser torsi sehingga secara akumulatif menambah besaran tegangan geser yang ditimbulkan akibat pengaruh geser lentur. Torsi menyebabkan timbulnya tegangan-tegangan geser memicu terjadinya tegangan tarik miring yang membentuk sudut kira-kira 45^{o} terhadap sumbu memanjang dari elemen struktur, dan apabila tegangan tarik yang terjadi melampaui kekuatan tarik beton maka akan terjadi retak-retak diagonal menyerupai spiral di sekeliling elemen tersebut.

Pengaruh torsi dalam elemen struktur pada umumnya terjadi secara bersamaan dengan efek geser, maka secara otomatis tulangan torsi bisa digabungkan dengan tulangan geser.

2.8. Perbandingan Kekuatan Torsi SNI 2847 – 03 – 2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14

Indonesia saat ini telah memiliki standar peraturan untuk mengatur perencanaan struktur beton pratekan. Peraturan tersebut adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2847-2002 dan SNI 2847:2013. Untuk kedepannya akan ada peraturan baru yang akan diluncurkan. Peraturan ini akan diadaptasi dari peraturan ACI 318-M14.

Pada **Tabel 2.2** ditunjukkan perbandingan SNI 2847 – 03 – 2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14 yang meninjau kekuatan torsi:

Tabel 2. 1 Perbandingan Perhitungan Kekuatan Torsi berdasarkan ACI 318-M14, SNI 2847-2013, dan SNI 2847-2002.

SNI 2847 – 03 – 2002	SNI 2847:2013	ACI 318M-14
Ps. 13.6.1 Pengaruh puntir dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada: $\frac{\phi\sqrt{f'_c}}{12}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{3f_{pc}}{\sqrt{f'_c}}}$	**Ps. 11.5.1** Pengaruh torsi boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari: $\phi 0.083\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0.33\lambda\sqrt{f'_c}}}$	**Ps. 22.7.1.1** This section shall apply to members if $T_u \geq \phi T_{th}$, where ϕ is given in Chapter 21 and threshold torsion Tth is given in 22.7.4. If $T_u < \phi T_{th}$, it shall be permitted to neglect torsional effects. $\phi T_{th} = \phi 0.083\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0.33\lambda\sqrt{f'_c}}}$
Ps. 13.6.2(2) Pada struktur statis tak tentu dimana dapat terjadi pengurangan momen puntir pada komponen strukturnya yang disebabkan oleh redistribusi gaya-gaya dalam akibat adanya keretakan, momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat dikurangi menjadi:	**Ps. 11.5.2.2** Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan, Tu maksimum boleh direduksi menjadi nilai yang diberikan dalam:	**Ps. 22.7.3.2** In a statically indeterminate structure where $T_u \geq \phi T_{cr}$ and a reduction of Tu can occur due to redistribution of internal forces after torsional cracking, it shall be permitted to reduce T_u to ϕT_{cr}, where the cracking torsion ϕT_{cr} is:

$\frac{\phi\sqrt{f'_c}}{3}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{3f_{pc}}{\sqrt{f'_c}}}$	$\phi 0.33\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0.33\lambda\sqrt{f'_c}}}$	$\phi 0.33\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0.33\lambda\sqrt{f'_c}}}$
Ps. 13.6.3(1) Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut: $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_W\, d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1{,}7\, A_{oh}^2}\right)^2}$ $\leq \phi\left(\frac{V_c}{b_W\, d}+\frac{2\sqrt{f'_c}}{3}\right)$	**Ps. 11.5.3.1** Dimensi penampang harus sebagai berikut: $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_W\, d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1{,}7\, A_{oh}^2}\right)^2}$ $\leq \phi\left(\frac{V_c}{b_W\, d}+0{,}66\sqrt{f'_c}\right)$	**Ps. 22.7.7.1** Cross-sectional dimensions shall be: $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_W\, d}\right)^2+\left(\frac{T_u p_h}{1{,}7\, A_{oh}^2}\right)^2}$ $\leq \phi\left(\frac{V_c}{b_W\, d}+0{,}66\sqrt{f'_c}\right)$
Ps. 13.6.3(4) Kuat leleh rencana untuk tulangan puntir non-pratekan tidak boleh melebihi 400 MPa.	**Ps. 11.5.3.4** Nilai f_y dan f_{yt} yang digunakan untuk desain tulangan torsi tidak boleh melebihi 420 MPa.	**Ps. 22.7.2.2** The values of f_y and f_{yt} for longitudinal and transverse torsional reinforcement shall not exceed the limits in 20.2.2.4. 420 MPa

Ps. 13.6.3.(6) Tn harus dihitung dengan: $T_n = \frac{2\,A_o A_t f_{yv}}{s} cot\theta$ Nilai θ boleh diambil sebesar: a) 45^o untuk komponen struktur non-pratekan atau komponen struktur pratekan dengan nilai pratekan yang besarnya kurang daripada yang ditentukan pada 13.6(3(6b)) di bawah, b) 37,5^o untuk komponen struktur pratekan dengan gaya pratekan efektif tidak kurang daripada 40% kuat tarik tulangan longitudinal. **Ps. 13.6.3.(7)** Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir tidak boleh kurang daripada: $Al = \frac{At}{s} . P_h . \frac{f_{yt}}{f_y} . \cot^2\theta$	**Ps. 11.5.3.6** Tn harus dihitung dengan: $T_n = \frac{2\,A_o A_t f_{yt}}{s} cot\theta$ θ boleh diambil sama dengan: (a) 45 derajat untuk komponen struktur non-pratekan atau komponen struktur dengan pratekan kurang dari yang dalam (b); atau (b) 37,5 derajat untuk komponen struktur pratekan dengan gaya pratekan efektif tidakkurang dari 40 persen kekuatan tarik tulangan longitudinal. **Ps. 11.5.3.7** Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi, Al , tidak boleh kurang dari $Al = \frac{At}{s} . P_h . \frac{f_{yt}}{f_y} . \cot^2\theta$	**Ps. 22.7.6.1** For nonprestressed and prestressed members, T_n shall be the lesser of (a) and (b): $(a)\ T_n = \frac{2\,A_o A_t f_{yt}}{s} cot\theta$ $(b)\ T_n = \frac{2\,A_o A_\ell f_y}{p_h} cot\theta$ **Ps. 22.7.6.2** In Eq. (22.7.6.1a) and (22.7.6.1b), it shall be permitted to take θ equal to (a) or (b): (a) 45 degrees for nonprestressed members or members with $A_{ps}f_{se} < 0.4(A_{ps}\,f_{pu} + A_s\,f_y)$ (b) 37.5 degrees for prestressed members with $A_{ps}f_{se} \geq 0.4(A_{ps}\,f_{pu} + A_s\,f_y)$

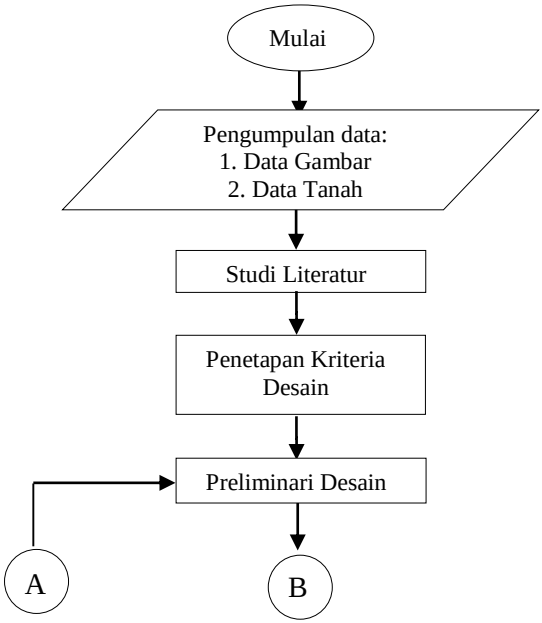
Ps. 13.6.5.(2) Bilamana diperlukan tulangan puntir berdasarkan ketentuan 13.6(5(1)), maka luas minimum tulangan sengkang tertutup harus dihitung dengan ketentuan: $(A_V + 2A_t) = \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200}\frac{b_W s}{f_{yv}}$ namun $(A_V + 2A_t)$ tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3}\frac{b_W s}{f_{yv}}$	**Ps. 11.5.5.2** Bila tulangan torsi disyaratkan oleh 11.5.5.1, maka luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan $(A_V + 2A_t) = 0{,}062\sqrt{f'_c}\frac{b_W s}{f_{yt}}$ tetapi tidak boleh kurang dari $(0{,}35 b_w s)/f_{yt}$	**Ps. 9.6.4.2** If torsional reinforcement is required, minimum transverse reinforcement $(A_v + 2A_t)_{min}/s$ shall be the greater of (a) and (b): $(a)\ 0{,}062\sqrt{f'_c}\frac{b_W}{f_{yt}}$ $(b)\ 0{,}35\frac{b_W}{f_{yt}}$
Ps. 13.6.5.(3) Bilamana diperlukan tulangan puntir berdasarkan ketentuan 13.6(5(1)), maka luas total minimum tulangan puntir longitudinal harus dihitung dengan ketentuan: $A_{\ell,\min} = \frac{5\sqrt{f'_c}A_{cp}}{12 f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s}\right)p_h\frac{f_{yv}}{f_y}$ dengan A_t/s tidak kurang dari $b_w / 6f_{yv}$.	**Ps. 11.5.5.3** Bila tulangan torsi disyaratkan oleh 11.5.5.1, maka luas total minimum tulangan torsi longitudinal, $A_{\ell,min}$, harus dihitung dengan $A_{\ell,\min} = \frac{0{,}42\sqrt{f'_c}A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y}$ dimana A_ℓ/s tidak boleh diambil kurang dari $0{,}175 b_w/f_{yt}$; f_{yt}	**Ps. 9.6.4.3** If torsional reinforcement is required, minimum area of longitudinal reinforcement $A_{\ell,min}$ shall be the lesser of (a) and (b): $(a)\ \frac{0{,}42\sqrt{f'_c}A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y}$ $(b)\ \frac{0.42\sqrt{f'_c}A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{0{,}175\ b_W}{f_{yt}}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y}$

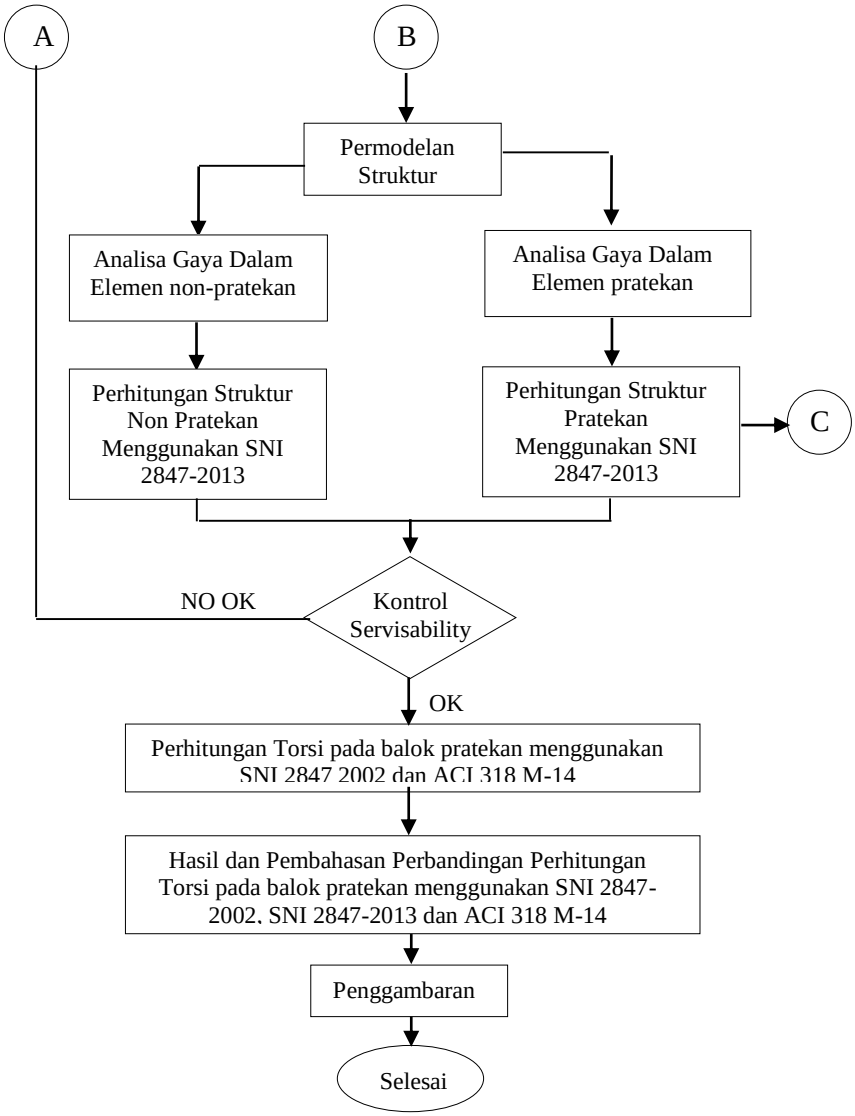
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

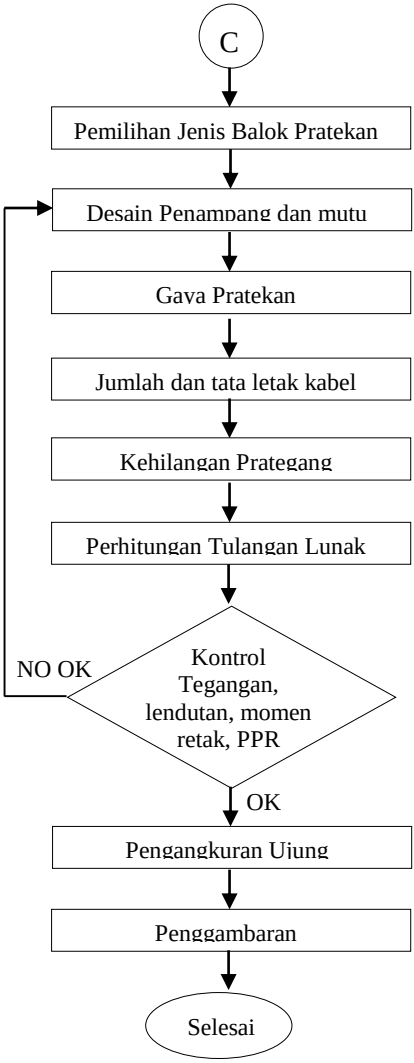
3.1. Umum

Sebelum melakukan studi perbandingan kekuatan torsi balok beton pratekan dengan berbagai peraturan pada proyek gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga, perlu disusun langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan.

3.2. Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir




A
B
Permodelan Struktur
Analisa Gaya Dalam Elemen non-pratekan
Analisa Gaya Dalam Elemen pratekan
Perhitungan Struktur Non Pratekan Menggunakan SNI 2847-2013
Perhitungan Struktur Pratekan Menggunakan SNI 2847-2013
C
NO OK
Kontrol Servisability
OK
Perhitungan Torsi pada balok pratekan menggunakan SNI 2847 2002 dan ACI 318 M-14
Hasil dan Pembahasan Perbandingan Perhitungan Torsi pada balok pratekan menggunakan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 dan ACI 318 M-14
Penggambaran
Selesai



Gambar 3. 1 Alur Tahap Pengerjaan

3.3. Pengumpulan Data

Gedung	:	Fakultas Farmasi Universitas Airlangga
Fungsi Gedung	:	Gedung Perkuliahan
Lokasi	:	Kampus C Universitas Airlangga, Mulyosari, Surabaya
Ketinggian Lantai		
Lantai Dasar	: 4,80 m	
Lantai 1	: 7,60 m	
Lantai 2 – 11	: 4,40 m	
Lantai 12	: 7,60 m	
Tinggi Total Bangunan	: ± 64 m	
Luas Lahan	: ± 4200 m^2	
Luas Bangunan	: ± 2000 m^2	
Mutu Beton (f'_c)	: 40 MPa	
Mutu Baja (f_y)	: 400 Mpa (≥D16)	
	: 280 Mpa (≤D13)	
Data Gambar	: Terlampir	
Data Tanah	: Terlampir	

3.4. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka dan tinjauan pustaka yang terlampir pada bab II mengenai perancangan beton pratekan dan struktur gedung secara umum yang akan sangat membantu dalam pengerjaan perencanaan gedung

a. Desain Struktur Beton Pratekan Edisi Ketiga Jilid 1 (Lin & Burns, 2000)
b. Beton Pratekan Edisi Kedua (N. Krishna Raju)
c. Beton Pratekan Jilid 1 (Edward G. Nawy)
d. Disain Kapasitas Struktur Daktail Tahan Gempa Kuat (Rachmat Purwono & Pujo Aji)

Selain mengkaji studi literatur yang ada, Dalam perencanaan, digunakan juga bebrapa peraturan perencanaan. Dalam perencanaan gedung Fakultas Farmasi Universitas

Airlangga ini digunakan peraturan perencanaan yang terbaru, antara lain:

a. SNI – 2847 – 2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
b. SNI 2847: 2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
c. ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
d. SNI 1726: 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
e. SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
f. Perancangan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah dan Gedung 1983. (PPIUG 1983)
g. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI 1971)

3.5. Kriteria Desain

Perencanaan permodelan yang akan digunakan dalam Studi yaitu :

Gedung	: Fakultas Farmasi Universitas Airlangga
Fungsi Gedung	: Gedung Perkuliahan
Lokasi	: Surabaya
Bentuk Gedung	: Persegi Panjang, Beraturan (Denah Telampir)
Ketinggian	: ± 64 m
Jumlah Lantai	: 12 Lantai
Variabel Desain	: Beton Pratekan
Lokasi Beton Pratekan	: Lantai 12 (Denah Terlampir)
	: Atap (Denah Terlampir)
Mutu Beton Pratekan	: 40 Mpa
Mutu Baja Pratekan	: 1860 Mpa (Brosur Terlampir)
Jenis Tanah	: Tanah Lunak (SE)

3.6. Preliminary Desain

Preliminary desain ini dilakukan dengan memperkirakan dimensi awal dari struktur sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013, yang berupa :

3.6.1. Perencanaan Dimensi Balok

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 Pasal 9.5.2.1 dalam menentukan dimensi awal balok dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan data desain yang meliputi :
   - Panjang Balok
   - Data properties material
2. Rencanakan lebar balok *b* adalah 2/3 *h.*
3. Bila f_y sama dengan 420 Mpa, untuk menghitung tinggi balok *h* menggunakan persamaan:
   a. Balok Induk
      $h_{min} = L/16$ *(3-1)*
   b. Balok Anak
      $h_{min} = L/21$ *(3-2)*

   Untuk f_y selain 420 Mpa, nilai h_{min} harus dikalikan $\left(0{,}4 + \left(\frac{fy}{700}\right)\right)$ *(3-3)*

   Keterangan :
   h_{min} = Tinggi minimum balok *(mm).*
   L = Panjang balok *(mm).*
   f_y = Tegangan leleh baja *(MPa).*

SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.1.3 mengatur tentang lebar balok (b_w) tidak boleh kurang dari nilai terkecil dari 0,3 h_{min} dan 250 mm.

3.6.2. Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam menentukan dimensi awal kolom dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

a. Kolom yang akan dianalisis dipilih berdasarkan yang memikul beban terbesar lalu menentukan data desain yang meliputi :
   - Tebal plat yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
   - Dimensi balok yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
   - Mutu Beton yang digunakan (*f'c*).

b. Mendefinisikan beban-beban yang akan menumpu pada kolom sesuai dengan SNI 1727 : 2013.

c. Menghitung A_{perlu} dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A = \frac{P}{\emptyset \times f'c} \qquad (3\text{-}4)$$

Keterangan :

A = Luas kolom yang dibutuhkan *(mm^2)*

P = Total beban yang menumpu kolom

Ø = Faktor reduksi = 0,3

Cek dimensi kolom dengan *h = b* lebih besar dari 300 *mm* serta rasio *b* dan *h* lebih besar dari 0,4

3.6.3. Perencanaan Dimensi Pelat

Penentuan pelat 1 arah atau 2 arah

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} < 2 \text{ (Plat 2 arah)} \qquad (3\text{-}5)$$

Menentukan lebar efektif flens (pasal 13.2.4 SNI 2847-2013)

$$be = bw + 2hw < bw + 8hf \qquad (3\text{-}6)$$

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

(3-7)

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k\frac{b_w h^3}{12}$$

(3-8)

Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = 0{,}5\frac{b_p t^3}{12}$$

(3-9)

Rasio Kekakuan Balok Terhadap Plat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

(3-10)

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 Pasal 9.5.3.2 Menghitung αm didapatkan dari persamaan berikut:

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha_n}{n}$$

(3-11)

$$\alpha = \frac{E_{cb}\, x\, I_b}{E_{cp}\, x\, I_p}$$

(3-12)

Bila $\alpha m \leq 0.2$, maka tebal plat adalah 125 mm, namun bila $0.2 \leq \alpha m \leq 2$. Tebal plat ditentukan dengan:

$$h = \frac{ln\left(0{,}8+\frac{fy}{1400}\right)}{36+5\beta\,(\alpha_m-0{,}2)} \leq 125\ mm$$

(3-14)

Bila $\alpha m \geq 0.2$, maka tebal plat ditentukan dengan:

$$h = \frac{ln\left(0{,}8+\frac{fy}{1400}\right)}{36+9\beta} \leq 90 \text{ mm} \qquad (3\text{-}15)$$

Keterangan :

αm = Nilai rata-rata α yang menjepit plat tersebut.
α = Rasio kekakuan balok terhadap plat
E_{cb} = Ecp = Elastisitas beton.
I_p = Momen Inersia plat (mm4)
I_b = Momen Inersia balok (mm4)
ln = Bentang bersih arah memanjang pelat (mm).
h = Tebal plat (mm).
β = Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek plat.
f_y = Tegangan leleh baja (MPa).

3.7. Pembebanan

Struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi sesuai dengan pasal 2.3.2 SNI 1727-2013 berikut:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau S atau R)
3. 1,2D + 1,6(Lr atau S atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr atau S atau R)
5. 1,2D + 1,0E + L + 0,2S
6. 0,9D + 1,0W
7. 0,9D + 1,0E

Dengan :
D = beban mati
E = beban gempa
L = beban hidup
Lr = beban hidup atap
R = beban hujan
S = beban salju
W = beban angin

3.7.1. Beban mati

Perhitungan beban mati sesuai dengan pasal 3 SNI 1727-2013. Menurut pasal 3.1.2 SNI 1727-2013 perhitungan beban mati untuk bangunan gedung menggunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.

3.7.2. Beban hidup

Besar beban hidup yang digunakan sesuai dengan tabel 4-1 SNI 1727-2013, yang bisa dilihat pada **Tabel 3.1** sebagai berikut

Tabel 3.1 Beban hidup terdistribusi merata minimum L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)[n]	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani[a]	[i]
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2 000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah ranga atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)

3.7.3. Beban Gempa (perencanaan menggunakan respon spektrum)

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 03-176-2012, dimana wilayah gempa terbagi sesuai percepatan respon spektrumnya. Beban geser dasar nominal statik ekivalen 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 7.8.3.31

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

3.8. Analisa Model Struktur

Analisa Struktur dilakukan sesuai dengan macam macam tipe hubungan balok beton pratekan – kolom. Analisa struktur menggunakan program bantu ETABS. Data yang didapat dari ETABS berupaya reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada rangka utama. Pembebanan menggunakan beban gempa dinamik agar memenuhi ketentuan SNI 1726:2012. Setelah analisa model struktur, dilakukan verifikasi berupa: Cek berat seismik efektif, Cek perioda fundamental struktur, Cek geser dasar seismik, dan Cek simpangan antar lantai

3.9. Perhitungan Struktur Non Pratekan Menggunakan SNI 2847-2013

Setelah memperoleh analisa gaya dalam menggunakan ETABS dilakukan kontrol desain dan penulangan struktur non pratekan sesuai dengan aturan yang ada di SNI 2847-2013. Kontrol desain yang dilakukan berupa pengecekan terhadap kontrol geser, kontrol lentur, momen nominal,beban layan (*servisibility*) dan beban ultimate. Jika desain memenuhi, maka dilanjutkan ke output gambar. Jika tidak memenuhi, maka harus mendesain ulang dimensi struktur bangunan.

3.9.1. Perencanaan Pelat Lantai

Diawali dengan menentukan besar beban yang diterima oleh pelat, dilanjutkan dengan perhitungan sebagai berikut:

Mencari Nilai X, dari nilai Lx/Ly (tabel "Perhitungan Momen- Momen Pelat")

$$Mu = 0{,}001 \times Qu \times Lx^2 \quad \textit{(3-17)}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\varphi}\ dengan\ \varphi = 0{,}9 \quad \textit{(3-18)}$$

$$\mathrm{Rn} = \frac{\mathrm{Mu}}{\emptyset \text{ x b x d}^2} \quad \textit{(3-19)}$$

$$\rho = \frac{0{,}85\ x\ fc\prime}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0{,}85\ x\ fc\prime}}\right) \quad \textit{(3-20)}$$

$$\rho min = \frac{1{,}4}{fy\ lentur} \quad \textit{(3-21)}$$

$$\rho min = \frac{0{,}85\ x\ \sqrt{Fc\prime}}{fy} \quad \textit{(3-22)}$$

Kemudian cek apabila:

$\rho \leq \rho min$ maka $\rho = \rho min$ dan lanjutkan perhitungan

$\rho min \leq \rho \geq \rho max$ maka plat harus dipertebal

$\rho min \leq \rho \leq \rho max$ maka lanjutkan perhitungan

Untuk langkah selanjutnya yakni perhitungan As perlu dengan persamaan As = *ρ perlu* x b x d dan tul susut = 0,0018 *b d* setelah itu cari As pasang (cari diameter tulangan dan jarak tulangan pasang) pada tabel penulangan plat. Setelah diameter dan jarak tulangan pasang telah ditentukan, maka dilanjutkan dengan penggambaran penulangan plat.

3.9.2. Perencanaan Tangga

Pada perencanaan struktur tangga ini lebar injakan dan lebar injakan harus memenuhi persyaratan.

Syarat perencanaan tangga :

$2.t + i = 64 - 67$ *(3-23)*

t = tinggi injakan

i = lebar injakan

Untuk perhitungan penulangan Pelat Tangga dan Bordes sama dengan perhitungan Pelat Lantai

3.9.3. Perencanaan Balok

Perhitungan Tulangan Torsi

Penentuan besar Tu:

- Untuk torsi kesetimbangan (pada struktur statis tertentu) besar Tu diambil pada penampang kritis.
- Untuk torsi kompabilitas (pada struktur statis tak tentu) besar Tu diambil nilai yang terkecil dari Tu pada penampang kritis dan

$$Tu = \phi.0{,}33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right) \quad \textit{(3-24)}$$

Tulangan puntir diperlukan bila Tu >

$$Tu\ min = \phi.0{,}083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right) \quad \textit{(3-25)}$$

Jika Tu < Tu min, tulangan puntir dapat diabaikan

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi:

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A^2{}_{oh}}\right)^2} \le \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right) \quad \textit{(3-26)}$$

Dengan Vc sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1 mengenai kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen beton non-prategang.

$$Vc = 0{,}17\ \lambda \sqrt{f_c'}\ b_w\ d \qquad (3\text{-}27)$$

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7.

$$Al = \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2\theta \qquad (3\text{-}28)$$

dengan,

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \cdot Ao \cdot fyv \cdot \cot\theta} \qquad (3\text{-}29)$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min}

$$Al_{min} = \frac{0{,}42 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot Acp}{fy} - \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \qquad (3\text{-}30)$$

Kontrol

$Al < Al_{min}$, maka gunakan Al_{min}

$Al_{min} < Al$, maka gunakan Al

Setelah didapatkan luas tulangan torsi yang terbesar, luas tulangan torsi tersebut dibagi 4 untuk didistribusikan kepada setiap sisi penampang balok.

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan: Avt = 2 At + Av

<u>Perhitungan Tulangan Lentur</u>

Tulangan lentur pada Tumpuan dan Lapangan

$$Rn = \frac{Mu}{\emptyset \times b \times d^2} \qquad (3\text{-}31)$$

$$\rho = \frac{0{,}85\ x\ fc'}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0{,}85\ x\ fc'}}\right) \qquad (3\text{-}32)$$

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

(3-33)

$$\rho_{perlu} > \rho_{min}$$

(3-34)

Tulangan Lentur Tarik

Menetapkan As tidak boleh kurang dari SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1

Kontrol Regangan:

Tinggi blok tegangan persegi ekivalen

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

(3-36)

$$\beta 1 = 0,85 - 0,05 \times \left(\frac{f'c - 28}{7} \right)$$

(3-37)

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta 1}$$

(3-38)

Kontrol Momen Kapasitas :

$$\emptyset Mn = \emptyset \times As \times fy \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

(3-39)

Perhitungan Tulangan Geser Balok

Menurut SNI-2847-2013 pasal 21.5.4.1 bahwa gaya geser rencana (*Ve*) harus ditentukan dari peninjauan gaya static pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, (*Mpr*) harus dianggap bekerja pada muka tumpuan dan komponen tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya.

Nilai Gaya Geser Rencana pada Balok

Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada

setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.

$$V_{ki} = \frac{Mpr^{-} + Mpr^{+}}{ln} + \frac{qu \times ln}{2} \quad (3\text{-}40)$$

$$V_{ka} = \frac{Mpr^{+} + Mpr^{-}}{ln} - \frac{qu \times ln}{2} \quad (3\text{-}41)$$

Panjang Penyaluran

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 12, panjang penyaluran tulangan diatur sebagai berikut :

Penyaluran Tulangan Tarik

$$lb > db x \left(\frac{fy\,\psi t\,\psi e}{2{,}1\lambda\sqrt{f'c}} \right) \quad (3\text{-}42)$$

lb> 300 mm → OK

Penyaluran Kait Standar Dalam Kondisi Tarik

ldh > 8db

ldh> 150 mm

$$ldh > db x \left(\frac{0{,}24\,fy\,\psi e}{\lambda\sqrt{f'c}} \right) \quad (3\text{-}43)$$

3.9.4. Perencanaan Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.1, syarat dimensi kolom harus dipenuhi bila :

- Menerima beban aksial terfaktor lebih besar dari *Ag* x *f'c*/10

$$Pu > \frac{Ag x f'c}{10} \quad (3\text{-}44)$$

Ukuran penampang terkecil harus lebih besar dari 300 mm.

Rasio *b*/*h* harus lebih besar dari 0,4.

- Penulangan lentur menggunakan program bantu Sp Column
- Kontrol Strong Column Weak Beam

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan :

$$\Sigma Mnc \geq 1{,}2\Sigma Mnb \qquad (3\text{-}45)$$

Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.5.1, gaya geser rencana (*Ve*) harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka joint.

Daerah Sendi Plastis (Tumpuan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.5.2, tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $Vc = 0$, apabila :

$$Pu < \frac{Agxf'c}{10} \qquad (3\text{-}46)$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.3, spasi sengkang sepanjang panjang *lo* tidak boleh melebihi nilai yang terkecil dari berikut :

$s < b/4$

$s < 6db$

$100 \text{ mm} < s < 150 \text{ mm}$

Sementara untuk sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s/2 = 75$ mm dari muka komponen struktur penumpu.

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.1, panjang *lo* atau daerah sendi plastis yang diukur dari muka joint tidak boleh kurang dari yang terbesar dari berikut :

lo > dimensi penampang leleh

$lo > ln/6$

$lo > 450$ mm

Daerah Di Luar Sendi Plastis (Lapangan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 7.10.5.2 dan Pasal 11.4.5.1, spasi sengkang pada daerah lapangan tidak boleh melebihi :

s < 16db

s < 48*d*s

s < dimensi penampang minimum

s < *d*/2

Panjang Lewatan

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 12.2.3, panjang lewatan tulangan dari kolom ditentukan sebagai berikut :

$$ld = \left[\left(\frac{fy}{1{,}1\lambda\sqrt{f'c}} \right) x \left(\frac{\psi t \psi e \psi s}{\frac{Cb + Ktr}{db}} \right) \right] \qquad (3\text{-}47)$$

Hubungan Balok Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.7.3.2, pada HBK dimana balok-balok dengan lebar setidaknya sebesar ¾ lebar kolom merangka pada keempat sisinya, jumlah tulangan transversal yang ditetapkan dalam Pasal 21.6..4.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan dalam Pasal 21.6.4.3 diizinkan untuk ditingkatkan sampai 150 mm.

3.10. Perhitungan Struktur Utama Pratekan

Dalam perencanaan beton pratekan pada studi ini, metode yang digunakan adalah post-tension atau pasca tarik. Langkah-langkah perencanaan yang digunakan ialah sebagai berikut:

3.10.1. Pemilihan Jenis Balok Pratekan

Melakukan pemilihan terhadap jenis beton pratekan yang akan digunakan dalam perencanaan, meliputi :

a. Pada perencanaan ini dipilih beton pratekan pascatarik (post tension) dimaksudkan agar pengecoran langsung dilapangan dan dapat dikontrol untuk jacking.
b. Pada perencanaan beton pratekan dipilih dengan adanya grouting, karena lebih menyatunya antara baja dan beton, dan juga mengurangi kehilangan pratekan.

3.10.2. Tegangan Ijin

Penentuan tegangan ijin berdasarkan SNI 2847:2013. Tegangan beton tidak boleh melampau nilai nilai dalam SNI 2847:2013 ps. 18.4 dan tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai dalam SNI 2847:2013 ps. 18.5.

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

- Tegangan ijin pada saat pemberian gaya pratekan (sebelum kehilangan) :
  $0.60 f_{ci}$ Tegangan tekan serat terluar
  $0.5\sqrt{f_{ci}}$ Tegangan tarik serat terluar
  Dimana : f_{ci} = Kuat tekan beton saat jacking
- Tegangan ijin pada saat beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya pratekan :
  $0.45\ f'_c$ Tegangan tekan serat terluar
  $f_t \leq 0.62\sqrt{f'_c}$ Tegangan tarik serat terluar kelas U
  $0.62\sqrt{f'_c} < f_t \leq \sqrt{f'_c}$ Tegangan tarik serat terluar kelas T
  $f_t > \sqrt{f'_c}$ Tegangan tarik serat terluar kelas C
- Tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :
  Tegangan ijin pada saat penarikan kabel (*Jacking*):
  $0.94\ f_{py}$ atau $< 0.8\ f_{pu}$

Tegangan ijin pada saat segera setelah peralihan gaya pratekan :
0.70 f_{pu}

3.10.3. Gaya Pratekan

Penentuan gaya pratekan awal, dimana momen total sangat mempengaruhi. Gaya pratekan ini yang kemudian disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai dengan pemilihan penampang (Lin & Burns, 2000)

*S*elanjutnya gaya pratekan awal dihitung dengan memasukkan tegangan ijin ke perhitungan tegangan saat jacking dan tegangan saat beban layan.

3.10.4. Pemilihan Tendon Baja Pratekan

Pemilihan tendon baja pratekan sangat dipengaruhi oleh gaya pratekan yang ada. Setelah memilih tendon baja pratekan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan tata letak kabel. Tata letak kabel sangat ditentukan oleh jenis kabel yang digunakan, agar tidak melebihi batas yang telah ditetapkan.

3.10.5. Kehilangan Pratekan

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat *stressing*. Kehilangan pratekan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu :

1. Kehilangan Segera (langung)

   Kehilangan gaya pratekan langsung akibat :

   a. Perpendekan elastis beton

      Kehilangan gaya pratekan akibat perpendekan elastis beton :

      $ES = K_{es} \times n \times F_{cir}$ *(3-48)*

      Dimana :

      K_{es} = Koefisien perpendekan (untuk pasca-tarik $K_{es} = 0.5$)

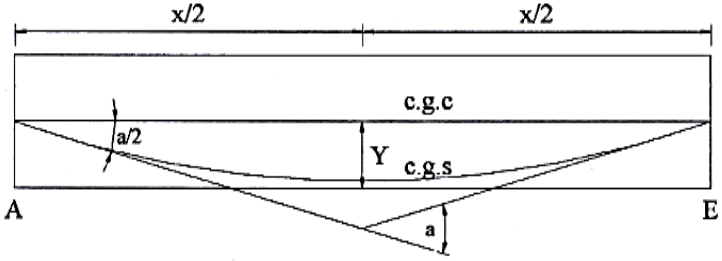
n = Perbandingan modulus elastisitas beton dan baja (Es/Ec)
F_{cir} = Tegangan pada penampang beton (Fo/A)

b. Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang tendon
Kehilangan gaya pratekan akibat friksi dan *wobble effect* :

$$F2 = F1 \,.\, e^{-\mu\alpha - KL}$$

(3-49)

Dimana :
F2 = gaya pratekan pada titik 1
F1 = gaya pratekan pada titik 2
e = panjang kabel pratekan dari titik 1 ke 2
μ = koefisien geseran akibat kelengkungan kabel
α = Sudut pada tendon (lihat **Gambar 3.2**)
K = Koefuisien wobble
L = panjang kabel pratekan dari titik 1 ke 2



Gambar 3. 2 Sudut Pusat Tendon

c. Kehilangan akibat slip angkur
Kehilangan gaya pratekan akibat slip angkur :

$$X = \sqrt{\frac{Es \times g}{f_p\left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K\right)}} < \frac{L}{2}$$

(3-50)

Sehingga nilai

$$\Delta f_{pA} = 2 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) X \quad (3\text{-}51)$$

d. Kehilangan akibat kekangan kolom
Perumusan yang digunakan untuk kehilangan gaya pratekan akibat kekangan kolom ialah sebagai berikut:

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_B} \quad (3\text{-}52)$$

2. Kehilangan tergantung waktu
Kehilangan gaya pratekan tergantung waktu akibat :
   a. Kehilangan gaya pratekan akibat rangkak
      - Perhitungan rangkak pada *bonded tendon*

$$\Delta f_{pCR} = n \times K_{CR} \times (f_{cs} - f_{csd}) \quad (3\text{-}53)$$

Dimana :

$$n = E_{ps} / E_c \quad (3\text{-}54)$$

Kcr = koefisien rangkak ; pratarik (2.0); pascatarik (1.6)
Es = Modulus elastisitas baja

   b. Kehilangan gaya pratekan akibat susut
Kehilangan gaya pratekan akibat susut :

$$\Delta f_{pSH} = 8{,}2 \times K_{SH} \times E_{PS} \times (1\text{-}0{,}0236\ V/S)\ (100 - RH) \quad (3\text{-}55)$$

Dimana :
tendonakibat penyusutan
Eps = Modulus elastisitas baja
v = Volume beton dari suatu komponen struktur pratekan
s = Luas permukaan dari komponen struktur beton pratekan
RH = kelembapan udara relative

K_{SH} = koefisien penyusutan

c. Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja pratekan

Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja :

$$\Delta f_{pR} = f_{pE1}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0{,}55\right) \quad (3\text{-}56)$$

Dimana :

f_{pE1} = Tegangan akhir

f_{py} = 0,9 f_{pu}

3.10.6. Kontrol Momen Retak

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retakan-reatakan kecil pertama pada balok beton pratekan yang dihitung dengan teori elastic, dengan menganggap bahwa retakan mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya (f_r). Momen retak dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$M_{cr} = M_1 + M_2 \quad (3\text{-}57)$$

$$M_1 = F \times (e + Kt) \quad (3\text{-}58)$$

$$M_2 = F_r \times Wb \quad (3\text{-}59)$$

$$f_r = 0{,}7\sqrt{f'_c} \quad (3\text{-}60)$$

Dimana :

M_{cr} = Momen Crack

F = gaya pratekan pada saat servis

e = eksentrisitas tendon terhadap garis netral penampang beton

Kt = daerah kern diatas sumbu netral beton

f_r = tegangan tarik pada serat terluar beton

Wb = momen resisten bawah (I/Y_b)

3.10.7. Kontrol Momen Nominal

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap penampang mencapai kuat nominal (f_{ps}) yang menghasilkan nilai momen nominal. Nilai fps pada balok dapat dihitung menggunakan perumusan pada SNI 2847:2013 Ps.18.7.

Momen nominal adalah momen batas yang dimiliki oleh penampang beton yang berfungsi untuk menahan momen ultimate dan momen retak yang terjadi. Momen nominal dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - 0.59 \frac{A_{ps} f_{ps}}{b f_c'} \right)$$

(3-61)

Dengan ketentuan :

$\phi M_n > M_u$; $\varphi M_n > 1.2 M_{cr}$

(3-62)

Dimana :

M_n = Momen nominal
M_u = Momen ultimate (1.2Md + 1.6Ml)
A_{ps} = luasan tendon pratekan
f_{ps} = tegangan pada tulangan pratekan disaat penampang mencapai kuat nominal
d_p = jarak penampang baja ke serat atas beton
b = lebar penampang beton
f'_c = mutu beton
φ = angka reduksi (0.9)

3.10.8. Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan

Kuat batas balok pratekan yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai berikut

$1.2 M_{cr} \leq M_u \leq \varphi M_n$

(3-63)

Dimana :

M_{cr} = momen retak yang terjadi pada balok pratekan

M_u = momen *ultimate* balok pratekan

M_n = Kapasitas penampang

φ = Faktor reduksi

3.10.9. Kontrol Lendutan

Kita perlu menghitung kontrol lendutan karena lendutan merupakan tanda akan terjadinya kegagalan struktur, sehingga kita perlu untuk menghitung lendutan struktur agar tidak melebihi batas-batas yang telah ditetapkan. Lendutan dihitung menurut pembebanan, dimana berat sendiri dan beban eksternal mempengaruhi. (SNI 2847:2013 Ps.9.5.4) batas lendutan terdapat pada SNI 2847:2013 tabel 9.5(b) Lendutan pada elemen struktur beton pratekan disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

a. Lendutan yang diakibatkan eksentrisitas tepi balok
   Lendutan akibat eksentrisitas tepi balok terjadi karena terdapat jarak antara eksentrisitas tepi balok dan sumbu netral penampang beton. Hal ini mengakibatkan terjadinya lendutan ke arah bawah.
b. Lendutan yang diakibatkan tekanan tendon pratekan
   Tendon yang diberikan gaya pratekan mengakibatkan balok menerima lendutan dengan arah ke atas.
c. Lendutan yang diakibatkan beban sendiri balok
   Balok pratekan memiliki berat sendiri yang mengakibatkan terjadinya lendutan ke arah bawah pada balok itu sendiri.
d. Lendutan yang diakibatkan beban mati dan hidup yang bekerja diatas balok
   Beton pratekan juga menerima lendutan yang terjadi akibat adanya gaya dari luar berupa beban mati dan beban hidup yang mengakibatkan lendutan ke arah bawah. Beban-beban yang bekerja terbagi menjadi beban terpusat dan beban merata.

3.10.10.Perhitungan Geser

Besarnya kebutuhan tulangan geser yang diperlukan oleh balok adalah $V_s = V_u - \phi V_c$ dimana V_u adalah gaya geser ultimate yang terjadi sedangkan ϕV_C adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton. Untuk komponen balok prategang nilai ϕV_c diambil nilai terkecil antara V_{ci} dan V_{cw} sesuai SNI 2847 : 2013 pasal 11.3.3

1. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser (V_{ci})

$$V_{ci} = 0{,}05\ \lambda \sqrt{f'c}\ x\ b_w\ x\ d_p + V_d + \frac{Vi\ x\ M_{cre}}{M_{max}} \qquad (3\text{-}64)$$

Dimana:

V_i = Gaya geser terfaktor akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{max}

M_{cre} = Momen yang menyebabkan retak lentur penampang

M_{max} = Momen terfaktor maksimum

V_d = Gaya geser penampang akibat beban mati tidak terfaktor

d_p = Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

b_w = Lebar penampang balok

2. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang (V_{cw})

$$V_{cw} = \left(0{,}3\ fpc + 0{,}29\ \lambda \sqrt{f'c}\right) x\ b_w\ x\ d + V_p \qquad (3\text{-}65)$$

Dimana:

V_p = Komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang

f_{pc} = Tegangan tekan pada beton setelah mengalami kehilangan pada titik berat penampang

f_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan

d = Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

b_w = Lebar penampang balok

3.11. Tinjauan Gaya Torsi Berdasarkan SNI 2847-2002 dan ACI 318M-14

Setelah mendapatkan dimensi dan penulangan balok pratekan sesuai dengan SNI 2847:2013, gaya – gaya untuk menghitung balok pratekan yang telah didapatkan dari analisa struktur dihitung dan dikontrol kembali kekuatan torsi nya menggunakan SNI 2847-2002 dan ACI 318M-14.

3.12. Pengangkuran

Pengangkuran dilakukan untuk mencegah kegagalan yang diakibatkan hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 18.13 Daerah pengangkuran harus dianggap tersusun dari dua daerah, yaitu :

a. Daerah lokal adalah prisma persegi (atau prisma persegi ekivalen untuk angkur oval) dari beton yang langsung mengelilingi alat angkur dan sebagian tulang pengekang
b. Daerah umum adalah daerah pengangkuran dimana gaya pratekan terpusat disalurkan ke beton dan disebarkan secara lebih merata pada seluruh penampang.

3.13. Hasil Perbandingan dan Pembahasan

Hasil tinjauan gaya torsi dari tiap peraturan yaitu SNI 2847:2013, SNI 2847-2002 dan ACI 318M-14 ditabelkan dan dibandingkan. Parameter perbandingan berupa perbandingan secara kuantitatif. Perbandingkan dilakukan pada hasil kekuatan torsi dan jumlah tulangan yang akan dibutuhkan. Untuk parameter lain seperti gaya dalam, dimensi balok, mutu beton dan baja semua disamakan.

3.14. Kesimpulan dan Saran

Berupa kesimpulan dari hasil perbandingan tinjauan gaya torsi dari tiap peraturan dan dicari manakah yang paling efektif dan efisien dari ketiga peraturan tersebut.

BAB IV
ANALISA DAN PERHITUNGAN

4.1. Preliminari Desain

Preliminari desain merupakan rancangan awal yang digunakan untuk merencanakan dimensi struktur suatu bangunan. Perencanaan awal dihitung berdasarkan pedoman dan peraturan yang sudah ada. Komponen yang dihitung antara lain balok induk, balok pratekan, tebal pelat, dan ukuran kolom. Sebelum melakukan preliminari kita harus mempersiapkan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.1.1. Data Perencanaan

Perencanaan Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga menggunakan beton bertulang untuk struktur utama gedung. Berikut adalah data-data perencanaan struktur gedung.

- Fungsi Gedung : Gedung Perkuliahan
- Lokasi : Surabaya
- Jumlah Lantai : 12 Lantai
- Ketinggian : ± 64 m
- Luas Bangunan : ± 2000 m^2
- Jumlah Lantai : 12 Lantai
- Mutu Beton ($f`_c$): 40 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa
- Letak Bangunan: Dekat dengan pantai

4.1.2. Preliminari Balok Beton Prategang

Dimensi balok pratekan pada preliminary desain direncanakan sebagai berikut:

$h_{min} = \frac{L}{20}$

$b = \frac{2}{3}.h$

Dimana :

L = panjang balok (cm)

h = tinggi balok (cm)

b = lebar balok (cm)

Balok pratekan yang direncanakan memiliki L = 1620 cm, sehingga diperoleh perencanaan

$h_{min} = \frac{L}{20} = \frac{1620}{20} = 81$ cm ~ 85 cm

b $= \frac{1}{2}.h = \frac{1}{2}.81$ cm $= 54$ cm ~ 55 cm

Sehingga direncanakan balok pratekan dengan dimensi 85/55.

4.1.3. Preliminari Balok Beton Non Prategang

Perhitungan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a) dengan catatan untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. Kemudian dimensi yang didapatkan dikontrol dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.1.3, yaitu ebar komponen, b, tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari 0,3h dan 250 mm.

- Balok induk

  Perhitungan untuk dimensi balok induk menggunakan rumus seperti berikut:

  $h = \frac{1}{16} . L\ (0,4 + \frac{f_y}{700})$

  Data perencanaan:

  Tipe balok : B1

  Panjang bentang balok (L) : 860 cm

  Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

  Perhitungan perencanaan :

  - Tinggi balok (h)

    $h = \frac{1}{16} . L\ (0,4 + \frac{f_y}{700})$

    $h = \frac{1}{16} . 860$ cm $(0,4 + \frac{400}{700})$

    $h = 52,21$ cm ≈ 55 cm

    direncanakan h = 55 cm

  - Lebar balok (b)

    $b = \frac{2}{3} . h$

$b = \frac{2}{3} . 52{,}21 \text{ cm}$

$b = 35 \text{ cm}$

direncanakan $b = 35$ cm

Kontrol

- $b > 0.3\ h$
  $35 \text{ cm} > 0{,}3 . 55 \text{ cm}$
  $35 \text{ cm} > 16{,}5 \text{ cm}$ (OK)
- $b > 25$ cm
  $35 \text{ cm} > 25 \text{ cm}$ (OK)

Maka direncanakan dimensi balok induk (B1) adalah 35/55.

- Balok anak

  Perhitungan untuk dimensi balok anak menggunakan rumus seperti berikut:

  $h = \frac{1}{21} . L\ (0{,}4 + \frac{f_y}{700})$

  Data perencanaan:

  Tipe balok : B2
  Panjang bentang balok (L) : 860 cm
  Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

  Perhitungan perencanaan :

  - Tinggi balok (h)

    $h = \frac{1}{21} . L\ (0{,}4 + \frac{f_y}{700})$

    $h = \frac{1}{21} . 860 \text{ cm } (0{,}4 + \frac{400}{700})$

    $h = 39{,}78 \text{ cm } \approx 40 \text{ cm}$

    direncanakan $h = 40$ cm
  - Lebar balok (b)

    $b = \frac{2}{3} . h$

    $b = \frac{2}{3} . 39{,}78 \text{ cm}$

    $b = 26{,}52 \text{ cm } \approx 30 \text{ cm}$

    direncanakan $b = 20$ cm

Kontrol

- $b > 0.3\ h$
  $30\ cm > 0{,}3\ .\ 40\ cm$
  $30\ cm > 12\ cm$ (OK)
- $b > 25\ cm$
  $30\ cm > 25\ cm$ (OK)

Maka direncanakan dimensi balok anak (B2) adalah 30/40.

4.1.4. Preliminari Kolom

Dalam perencanaan kolom, pemilihan yang dilakukan adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Menurut SNI 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.

Untuk mendapatkan beban aksial terfaktor terbesar dilakukan analisa struktur menggunakan ETABS dengan mengasumsikan dimensi terlebih dahulu

Kolom yang digunakan dalam studi berupa kolom beton bertulang dengan spesifikasi sebagai berikut

- Mutu beton : 40 Mpa
- Mutu baja : 400 Mpa
- Dimensi kolom : 100 cm x 100 cm

Berat total yang dipikul oleh kolom didapatkan dari beban berfaktor yaitu

Wu = 1.2 DL + 1.6 LL

Sehingga kebutuhan luasan kolom dapat diperhitungkan menggunakan rumus berikut

$$A_{perlu} = \frac{Wu}{1/3.f`_c}$$

Dari hasil analisa awal menggunakan ETABS didapatkan hasil sebagai berikut :

Wu_{max} = 1368661,67 Kg

$$A_{perlu} = \frac{Wu}{\frac{1}{3}.\ f`_c} = \frac{1368661{,}67}{\frac{1}{3}.\ 400} = 10264{,}96\ cm^2$$

B $= \sqrt{A_{perlu}}$
$= \sqrt{10264{,}96}$
= ~ 100 cm

Maka kolom dengan dimensi 100 cm x 100 cm dapat digunakan.

4.1.5. Preliminari Pelat Lantai

Perhitungan dimensi pelat di bawah ini, mengambil 2 contoh perhitungan, masing-masing 1 contoh perhitungan untuk pelat satu arah dan pelat dua arah.

Pelat satu arah mempunyai rasio ly/lx > 2. Untuk pelat satu arah tipe pelat yang digunakan adalah pelat tipe E dengan ly/lx = 8600/2500 = 3.44 > 2. Pelat dua arah mempunyai rasio ly/lx ≤ 2. Untuk pelat dua arah tipe pelat yang digunakan adalah pelat tipe A dengan ly/lx = 4050/4050 = 1 < 2. Perhitungan yang digunakan sesuai dengan SNI 03-2847-2013.

1. Pelat satu arah

   Perhitungan tebal minimum pelat satu arah sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a) dengan catatan untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan (0,4 + $f_y/700$).

   - Satu ujung menerus

     $$h = \frac{1}{24} . L\ (0{,}4 + \frac{f_y}{700})$$

     SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a)

   - Kedua ujung menerus

     $$h = \frac{1}{28} . L\ (0{,}4 + \frac{f_y}{700})$$

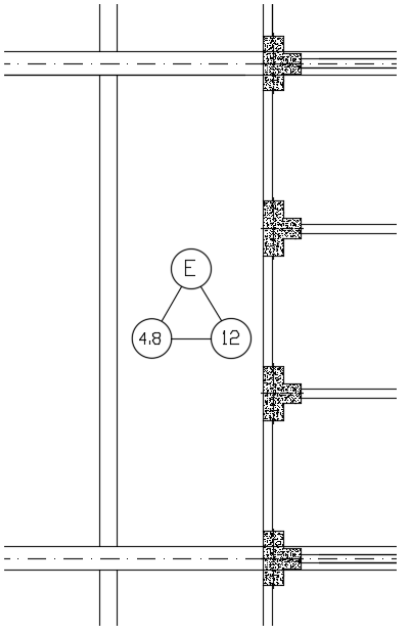
     SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a)

   Pelat tipe E

   <u>Data-data perencanaan :</u>

   Tipe pelat : E
   Rencana tebal pelat : 12 cm
   Bentang pelat sumbu panjang (Ly) : 860 cm

Bentang pelat sumbu pendek (Lx) : 250 cm



Gambar 3. 3 Denah Pelat E

Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{1}{28} . L\ (0{,}4 + \frac{f_y}{700})$$

$$h = \frac{1}{28} . 250\ \text{cm}\ (0{,}4 + \frac{400}{700})$$

$$h = 8{,}67\ \text{cm}$$

Sehingga tebal pelat tipe E yang digunakan dalam perencanaan adalah 12 cm.

2. Pelat dua arah

   Perhitungan tebal minimum pelat dua arah sesuai dengan SNI 03-2847-2013.

- Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek pelat.

$$\beta = \frac{L_n}{S_n}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5.3.3

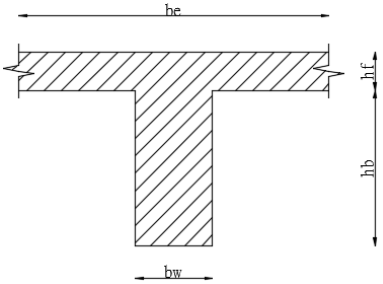
dimana :

β = rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek pelat

L_n = bentang bersih arah memanjang pelat

S_n = bentang bersih arah memendek pelat

- Lebar efektif sayap (b_e)
  - Balok T



Gambar 3. 4 Balok T

$$b_e = b_w + 2\,h_b \leq b_w + 8\,h_f$$

(diambil yang terkecil)

dimana :

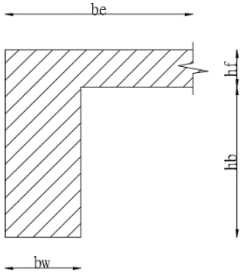
b_e = lebar efektif sayap (cm)

b_w = lebar badan balok (cm)

h_b = tinggi badan balok (cm)

h_f = tinggi sayap balok (cm)

  - Balok dengan slab pada satu sisi saja



Gambar 3. 5 Balok dengan slab pada satu sisi saja

$b_e = h_b \leq 4\,h_f$ (diambil yang terkecil)

dimana :

b_e = lebar efektif sayap (cm)
h_b = tinggi badan balok (cm)
h_f = tinggi sayap balok (cm)

- Faktor modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

Wang, Chu Kia (16.4.2b)

dimana :

h = tinggi total balok
t = tebal total pelat
b_e = lebar efektif sayap
b_w = lebar badan balok

- Momen inersia penampang

$$I_b = k \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

Wang, Chu Kia (16.4.2a)

- Momen inersia lajur pelat

$$I_s = b_s \cdot \frac{t^3}{12}$$

Wang, Chu Kia (16.4)

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha = \frac{I_b E_{cb}}{I_s E_{cs}}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 13.6.1.6

dimana :

I_b = momen inersia penampang T

I_s = momen inersia lajur pelat

E_{cb} = E_{cs} = modulus Elastisitas = 200.000 MPa

- Tebal minimum h
  - $\alpha_m \leq 0{,}2$

    Untuk pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan SNI 03-2847-2013 pada tabel 9.5(c) seperti di bawah ini.

Tabel 3. 2 Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Tegangan leleh, f_y MPa†	Tanpa penebalan‡			Dengan penebalan‡		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir§		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir§	
280	ℓ_n / 33	ℓ_n / 36	ℓ_n / 36	ℓ_n / 36	ℓ_n / 40	ℓ_n / 40
420	ℓ_n / 30	ℓ_n / 33	ℓ_n / 33	ℓ_n / 33	ℓ_n / 36	ℓ_n / 36
520	ℓ_n / 28	ℓ_n / 31	ℓ_n / 31	ℓ_n / 31	ℓ_n / 34	ℓ_n / 34

*Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
†Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
‡Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
§Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Hasil perhitungan tebal pelat di atas tidak boleh kurang dari nilai berikut :

a. Tanpa panel drop (> 125 mm)
b. Dengan panel drop (> 100 mm)

- $0{,}2 < \alpha_m < 2{,}0$
  Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0 h tidak boleh kurang dari 125 mm dan rumus di bawah ini.

$$h = \frac{L_n\left(0{,}8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta\,(\alpha_m - 0{,}2)}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5.3.3(b)

- $\alpha_m > 0{,}2$
  Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari 90 mm dan rumus di bawah ini.

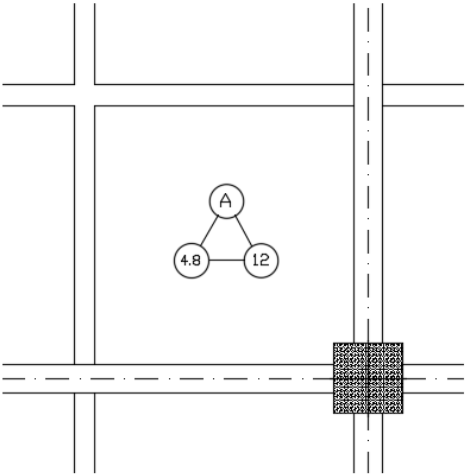
$$h = \frac{L_n\left(0{,}8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5.3.3(c)

Pelat tipe A

Data-data perencanaan :

Tipe pelat	: A
Rencana tebal pelat	: 12 cm
Bentang pelat sumbu panjang (Ly)	: 405 cm
Bentang pelat sumbu pendek (Lx)	: 405 cm



Gambar 3. 6 Pelat A

Perhitungan perencanaan :

Bentang bersih pelat sumbu panjang

$$L_n = L_y - \left(\frac{b_{B1}}{2}\right) - \left(\frac{b_{B2}}{2}\right)$$
$$= 405\text{ cm} - \left(\frac{35\text{ cm}}{2}\right) - \left(\frac{30\text{ cm}}{2}\right)$$
$$= 372.5\text{ cm}$$

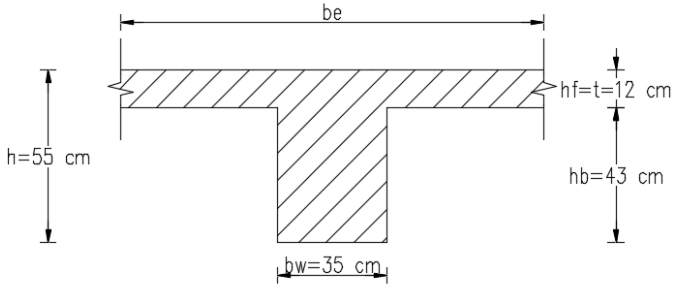
Bentang bersih pelat sumbu pendek

$$S_n = L_x - \left(\frac{b_{B1}}{2}\right) - \left(\frac{b_{B2}}{2}\right)$$
$$= 405\text{ cm} - \left(\frac{35\text{ cm}}{2}\right) - \left(\frac{30\text{ cm}}{2}\right)$$
$$= 372.5\text{ cm}$$

Maka :

$$\beta = \frac{L_n}{S_n}$$
$$= \frac{372.5\text{ cm}}{372.5\text{ cm}}$$
$$= 1$$

Balok B1 (35/55) as F joint 1'-2



Gambar 3. 7 Balok B1 (35/55) as F joint 1'-2

$b_e = b_w + 2\,h_w \leq b_w + 8\,h_f$ (diambil yang terkecil)
$b_{e1} = b_w + 2\,h_w$
$b_{e1} = 35\text{ cm} + 2\,(55\text{ cm} - 12\text{ cm})$
$b_{e1} = 121\text{ cm}$
$b_{e2} = b_w + 8\,h_f$
$b_{e2} = 35\text{ cm} + 8\,(12\text{ cm})$
$b_{e2} = 131\text{ cm}$
Pilih b_e yang terkecil = 121 cm

Faktor modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{121}{35} - 1\right)\left(\frac{12}{55}\right)\left[4 - 6\left(\frac{12}{55}\right) + 4\left(\frac{12}{55}\right)^2 + \left(\frac{121}{35} - 1\right)\left(\frac{12}{55}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{121}{35} - 1\right)\left(\frac{12}{55}\right)}$$

k = 1,67

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \,.\, \frac{b_w \,.\, h^3}{12}$$

$$I_b = 1{,}67 \,.\, \frac{35\text{ cm} \,.\, 55\text{ cm}^3}{12}$$

$I_b = 808197.63\ cm^4$

Momen inersia lajur pelat

$$I_s = b_p \cdot \frac{t^3}{12}$$

$$I_s = (0{,}5 \cdot (405\ cm + 405\ cm)) \cdot \frac{12\ cm^3}{12}$$

$$I_s = 58320\ cm^4$$

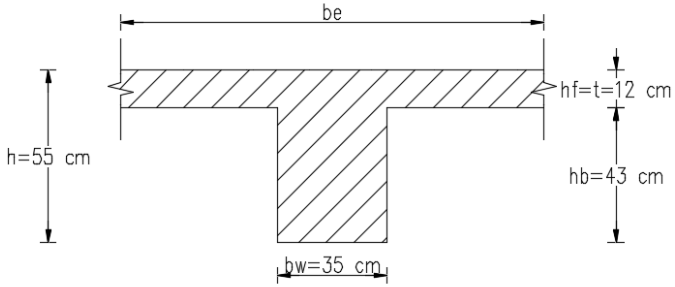
Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b E_{cb}}{I_s E_{cs}}$$

$$\alpha_1 = \frac{808197.63\ cm^4}{58320\ cm^4}$$

$$\alpha_1 = 13{,}86$$

Balok B1 (35/55) as 2 joint F-F'



Gambar 3. 8 Balok B1 (35/55) as 2 joint F-F'

$b_e = b_w + 2\,h_w \leq b_w + 8\,h_f$ (diambil yang terkecil)

$b_{e1} = b_w + 2\,h_w$

$b_{e1} = 35\ cm + 2\,(55\ cm - 12\ cm)$

$b_{e1} = 121\ cm$

$b_{e2} = b_w + 8\,h_f$

$b_{e2} = 35\ cm + 8\,(12\ cm)$

$b_{e2} = 131\ cm$

Pilih b_e yang terkecil = 121 cm

Faktor modifikasi

$$k = \frac{1+\left(\frac{b_e}{b_w}-1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4-6\left(\frac{t}{h}\right)+4\left(\frac{t}{h}\right)^2+\left(\frac{b_e}{b_w}-1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1+\left(\frac{b_e}{b_w}-1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1+\left(\frac{121}{35}-1\right)\left(\frac{12}{55}\right)\left[4-6\left(\frac{12}{55}\right)+4\left(\frac{12}{55}\right)^2+\left(\frac{121}{35}-1\right)\left(\frac{12}{55}\right)^3\right]}{1+\left(\frac{121}{35}-1\right)\left(\frac{12}{55}\right)}$$

$$k = 1{,}67$$

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \,.\, \frac{b_w \,.\, h^3}{12}$$

$$I_b = 1{,}67 \,.\, \frac{35\ \text{cm} \,.\, 55\ \text{cm}^3}{12}$$

$$I_b = 808197.63\ \text{cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_s = b_p \,.\, \frac{t^3}{12}$$

$$I_s = (0{,}5 \,.\, (405\ \text{cm} + 405\ \text{cm})) \,.\, \frac{12\ \text{cm}^3}{12}$$

$$I_s = 58320\ \text{cm}^4$$

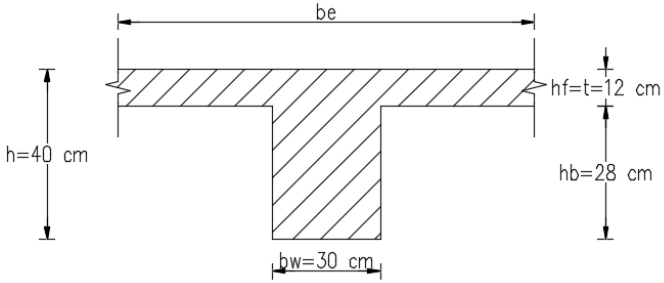
Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b E_{cb}}{I_s E_{cs}}$$

$$\alpha_1 = \frac{808197.63\ \text{cm}^4}{58320\ \text{cm}^4}$$

$$\alpha_1 = 13{,}86$$

Balok B2 (30/40) as F' joint 1'-2



Gambar 3. 9 Balok B2 (30/40) as F' joint 1'-2

$b_e = b_w + 2\,h_w \leq b_w + 8\,h_f$ (diambil yang terkecil)
$b_{e1} = b_w + 2\,h_w$
$b_{e1} = 30\text{ cm} + 2\,(40\text{ cm} - 12\text{ cm})$
$b_{e1} = 86\text{ cm}$
$b_{e2} = b_w + 8\,h_f$
$b_{e2} = 30\text{ cm} + 8\,(12\text{ cm})$
$b_{e2} = 126\text{ cm}$
Pilih b_e yang terkecil = 86 cm

Faktor modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)\left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)}$$

k = 1,58

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \,.\, \frac{b_w \,.\, h^3}{12}$$

$$I_b = 1{,}58 \,.\, \frac{30\text{ cm} \,.\, 40\text{ cm}^3}{12}$$

$$I_b = 252494{,}77\text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_s = b_s \cdot \frac{t^3}{12}$$

$$I_s = (0{,}5 \cdot (405\ \text{cm} + 405\ \text{cm})) \cdot \frac{12\ \text{cm}^3}{12}$$

$$I_s = 58320\ \text{cm}^4$$

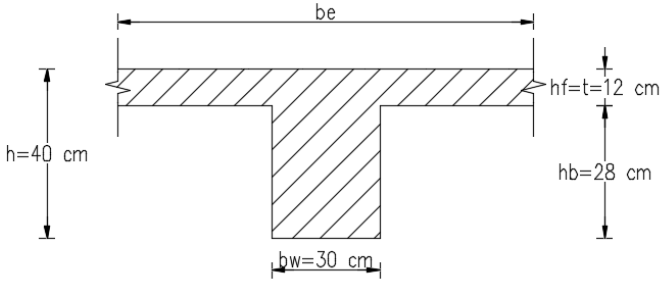
Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b E_{cb}}{I_s E_{cs}}$$

$$\alpha_3 = \frac{252494.77\ \text{cm}^4}{58320\ \text{cm}^4}$$

$$\alpha_3 = 4{,}33$$

Balok B2 (30/40) as 1' joint F-F'



Gambar 3. 10 Balok B2 (30/40) as 1' joint F-F'

$b_e = b_w + 2\,h_w \leq b_w + 8\,h_f$ (diambil yang terkecil)

$b_{e1} = b_w + 2\,h_w$

$b_{e1} = 30\ \text{cm} + 2\,(40\ \text{cm} - 12\ \text{cm})$

$b_{e1} = 86\ \text{cm}$

$b_{e2} = b_w + 8\,h_f$

$b_{e2} = 30\ \text{cm} + 8\,(12\ \text{cm})$

$b_{e2} = 126\ \text{cm}$

Pilih b_e yang terkecil = 86 cm

Faktor modifikasi

$$k = \frac{1+\left(\frac{b_e}{b_w}-1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left[4-6\left(\frac{t}{h}\right)+4\left(\frac{t}{h}\right)^2+\left(\frac{b_e}{b_w}-1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1+\left(\frac{b_e}{b_w}-1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1+\left(\frac{86}{30}-1\right)\left(\frac{12}{40}\right)\left[4-6\left(\frac{12}{40}\right)+4\left(\frac{12}{40}\right)^2+\left(\frac{86}{30}-1\right)\left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1+\left(\frac{86}{30}-1\right)\left(\frac{12}{40}\right)}$$

$k = 1{,}58$

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \,.\, \frac{b_w \,.\, h^3}{12}$$

$$I_b = 1{,}58 \,.\, \frac{30\text{ cm} \,.\, 40\text{ cm}^3}{12}$$

$$I_b = 252494{,}77\text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_s = b_s \,.\, \frac{t^3}{12}$$

$$I_s = (0{,}5 \,.\, (405\text{ cm} + 405\text{ cm})) \,.\, \frac{12\text{ cm}^3}{12}$$

$$I_s = 58320\text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b E_{cb}}{I_s E_{cs}}$$

$$\alpha_4 = \frac{252494.77\text{ cm}^4}{58320\text{ cm}^4}$$

$$\alpha_4 = 4{,}33$$

Rata-rata kekakuan pelat dari 4 balok:

$$\alpha_m = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4$$

$$\alpha_m = \frac{13{,}86 + 13{,}86 + 4{,}33 + 4{,}33}{4}$$

$$\alpha_m = 9{,}09$$

Karena $\alpha_m > 2,0$ maka dipakai persamaan sebagai berikut:

$$h = \frac{L_n\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{3725 \text{ mm}\ \left(0,8 + \frac{400}{1400}\right)}{36 + 9\,.\,1} \geq 90 \text{ mm}$$

$$h = 89,87 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}$$

Sehingga tebal pelat tipe A yang digunakan dalam perencanaan adalah 12 cm.

Berikut merupakan hasil perhitungan pada semua tipe pelat:

Tabel 3. 3 Kebutuhan Tebal pelat lantai

Tipe Plat	Jenis Konstruksi Plat	Lx (cm)	Ly (cm)	h min (cm)	h (cm)
A	Konstrusi 2 arah	405	405	8,99	12
B	Konstrusi 2 arah	430	405	9,89	12
C	Konstrusi 2 arah	405	250	6,53	12
D	Konstrusi 2 arah	405	305	7,74	12
E	Konstrusi 1 arah	860	250	8,67	12
F	Konstrusi 1 arah	360	100	4,16	12
G	Konstrusi 1 arah	405	200	6,94	12

4.2. Pembebanan

Menurut SNI 1727:2013 pasal 2.3.2; struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r atau S atau R)
3. 1,2D + 1,6(L_r atau S atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r atau S atau R)
5. 1,2D + 1,0E + L + 0,2S
6. 0,9D + 1,0W
7. 0,9D + 1,0E

Dengan :

D = beban mati

E = beban gempa
L = beban hidup
L_r = beban hidup atap
R = beban hujan
S = beban salju
W = beban angin

Karena beban hidup atap, beban hujan, beban salju, dan beban angin tidak terlalu berpengaruh dalam pembebanan suatu gedung, maka kombinasi beban yang diperhitungkan sebagai berikut:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,2D + L + 1,0E
4. 0,9D + 1,0E

4.2.1. Beban Mati

Menurut pasal 3.1.2 SNI 1727-2013 perhitungan beban mati untuk bangunan gedung menggunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang. Untuk itu beban mati menggunakan acuan PPIUG 1983. Berikut merupakan daftar beban mati pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga:

- Beban pada pelat lantai
  - Berat penggantung plafond = 7 kg/m^2
  - Berat plafond = 11 kg/m^2
  - Berat keramik = 24 kg/m^2
  - Berat spesi = 21 kg/m^2
  - Berat pemasangan instalasi listrik = 40 kg/m^2
  - Berat pemasangan pemipaan = 25 kg/m^2
- Beban pada pelat lantai atap
  - Aspal = 14 kg/m^2
  - Berat penggantung plafond = 7 kg/m^2
  - Berat plafond = 11 kg/m^2

- Berat pemasangan instalasi listrik = 40 kg/m^2
- Berat pemasangan pemipaan = 25 kg/m^2

❖ Beban pada balok
- Berat dinding bata = 250 kg/m^2

❖ Beban pada anak tangga
- Berat spesi = 21 kg/m^2
- Berat keramik = 24 kg/m^2
- Berat railing = 10 kg/m^2

❖ Beban pada bordes
- Berat spesi = 21 kg/m^2
- Berat keramik = 24 kg/m^2
- Berat railing = 10 kg/m^2

4.2.2. Beban Hidup

Perhitungan beban hidup sesuai dengan tabel 4-1 SNI 1727-2013. Berikut merupakan daftar beban hidup pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga:

❖ Beban pada pelat lantai
- Ruang kelas = 192 kg/m2
- Koridor Lt.1 = 383 kg/m2
- Koridor diatas Lt.1 = 479 kg/m2
- Ruang baca = 287 kg/m2
- Ruang pertemuan = 479 kg/m2
- Parkiran = 400 kg/m2

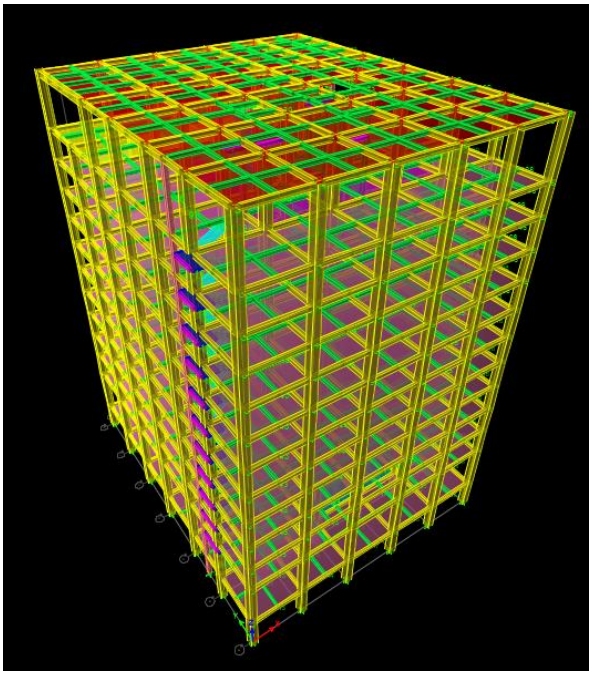
❖ Beban pada lantai atap
- Lantai atap = 96 kg/m2

4.3. Permodelan Struktur

Struktur yang direncanakan adalah gedung perkuliahan yang terdiri dari 13 lantai dengan total tinggi struktur 64 meter.

Permodelan struktur Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga dilakukan menggunakan program bantu ETABS. Pada program ETABS, struktur ini akan dimodelkan sesuai dengan preliminari desain yang telah dilakukan

sebelumnya pada Bab 4.1, kemudian dibebani sesuai pembebanan yang telah dilakukan pada Bab 4.2. Program ini akan membantu dalam beberapa perhitungan yang akan digunakan untuk mengecek apakah struktur sudah memenuhi persyaratan yang ada di SNI 1726:2012 (Gempa). Berikut adalah permodelan yang sudah dilakukan dalam program ETABS :



Gambar 4. 1 Pemodelan 3D Struktur Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga

Setelah itu dilakukan pengecekan kebenaran dari penggambaran dan pembebanan permodelan struktur membandingkan perhitungan berat bangunan manual dan hasil berat bangunan program analisa struktur menggunakan ETABS.

Berikut merupakan hasil berat bangunan yang didapatkan dari program analisa struktur menggunakan ETABS dan berat bangunan hasil perhitungan manual:

Berat bangunan perhitungan manual = 31475163,92 kg
Berat seismik efektif hasil ETABS = 33794313,19 kg

Syarat perbedaan antara hitungan manual dan hasil SAP adalah 15%.

((31475163,92 kg / 33794313,19 kg)x 100 %) = 7,37 %
7,37 % < 15 % (OK)

4.3.1 Analisis Beban Seismik

Pada struktur gedung gedung Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga ini mempunyai jumlah lantai 13 tingkat dengan ketinggian 64 m. Perhitungan beban gempa pada struktur ini ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:2012. Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

4.3.1.1. Arah Pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X :
  100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y :
  100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

Sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 7.4.2.2 Untuk pengaruh beban gempa vertikal $E_v = 0{,}2\ S_{DS}D$

Sehingga Kombinasi Pembebanan yang telah disebutkan pada Bab 4.2 diubah menjadi:

1,4D
1,2D + 1,6L
(1,2D + 0,2 S_{DS}) + L + 1,0Ex + 0,3Ey
(1,2D + 0,2 S_{DS}) + L - 1,0Ex - 0,3Ey
(1,2D + 0,2 S_{DS}) + L + 1,0Ey + 0,3Ex
(1,2D + 0,2 S_{DS}) + L - 1,0Ey - 0,3Ex
(0,9D + 0,2 S_{DS}) + 1,0Ex + 0,3Ey
(0,9D + 0,2 S_{DS}) - 1,0Ex - 0,3Ey
(0,9D + 0,2 S_{DS}) + 1,0Ey + 0,3Ex
(0,9D + 0,2 S_{DS}) - 1,0Ey - 0,3Ex

4.3.1.2. Faktor Keutamaan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan Ie. Gedung ini direncanakan sebagai bangunan perkuliahan (sekolah). Pada Tabel 1 SNI 1726:2012 bangunan ini termasuk kategori IV sehingga didapat nilai Ie = 1,5.

4.3.1.3. Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasakan SNI 1726:2012 Pasal 5.1 penentuan klasifikasi situs dilakukan dengan menentukan tahanan penetrasi rata-rata ($\overline{N}$) dengan menggunakan Rumus 3.1 seperti yang ditunjukan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data N_{SPT}

Lapisan ke-i	Tebal Lapisan m	Nilai SPT	di/Ni
1	3	8	0.375
2	3	8	0.375
3	3	14	0.214
4	3	8	0.25
5	3	8	0.15

6	3	10	0.3
7	3	12	0.15
8	3	50	0.06
9	3	50	0.06
10	3	50	0.06
∑	30		2,44

Maka tahanan penetrasi rata-rata ($\bar{N}$) adalah : $\bar{N} = \frac{30}{2,44} = 12,27$. Menurut Tabel 3 SNI 1726-2012 tanah dengan nilai $\bar{N}$ < 15 termasuk dalam klasifikasi situs tanah lunak (SE).

4.3.1.4. Parameter Respon Spektrum Rencana

Parameter respon spektrum rencana digunakan untuk menentukan gaya gempa rencana yang bekerja pada struktur. Berikut adalah nilai parameter respon spektrum untuk wilayah Kampus C Universitas Airlangga dengan kondisi tanah lunak (kelas situs SE) : (sumber: *puskim.pu.go.id*)

PGA (g) = 0.327
S_S (g) = 0.666
S_1 (g) = 0.248
CR_S = 0.990
CR_1 = 0.928
FPGA = 1.173
F_a = 1.268
F_v = 1.904
PSA (g) = 0.383
S_{MS} (g) = 0.844
S_{M1} (g) = 0.472
S_{DS} (g) = 0.562
S_{D1} (g) = 0.315
T_0 (detik) = 0.112
T_S (detik) = 0.559

4.3.1.5. Kategori Desain Seismik (KDS)

Semua struktur harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1}. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada SNI 1726:2012 tabel 6 atau 7.

Gedung ini termasuk kategori risiko IV dimana nilai parameter S_{DS} = 0,562 (0,50 ≤ S_{DS}) dan S_{D1} = 0,315 (0,20 ≤ S_{D1}). Sehingga kategori desain seismik berdasarkan data tersebut adalah termasuk dalam kategori desain seismik D

Selanjutnya menurut tabel 9 SNI 1726:2012, Untuk gedung yang memiliki kategori desain seismik D dapat direncanakan menggunakan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK)

4.3.1.6. Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini menggunakan material beton bertulang dan direncanakan dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK). Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (Cd) = 5,5 nilai koefisien modifikasi respon (R) = 8.

4.3.2. Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

- Kontrol partisipasi massa.
- Kontrol periode getar struktur.
- Kontrol nilai akhir respon spektrum.
- Kontrol batas simpangan (drift)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

4.3.2.1. Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah.

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. 2 Partisipasi massa

Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY
		sec		
Modal	1	2.644	0.2883	0.1096
Modal	2	1.899	0.6963	0.4609
Modal	3	1.655	0.8097	0.8051
Modal	4	0.845	0.845	0.8226
Modal	5	0.632	0.8871	0.8632
Modal	6	0.554	0.8968	0.8958
Modal	7	0.475	0.9115	0.9022
Modal	8	0.382	0.9233	0.9171
Modal	9	0.344	0.9262	0.9263
Modal	10	0.314	0.9355	0.929
Modal	11	0.268	0.9414	0.939
Modal	12	0.244	0.9435	0.9442

Dari tabel di atas, didapat partisipasi massa arah X dan arah Y sebesar 90% pada moda ke 7. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat

yang terdapat pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

4.3.2.2. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:2012, perioda fundamental struktur harus ditentukan dari :

$Ta = C_t \times h_n^{\,x}$

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai S_{D1}.
Struktur Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga memiliki tinggi dari lantai dasar hingga atas gedung adalah 64 m. Pada struktur ini digunakan tipe struktur rangka beton pemikul momen sehingga pada Tabel 15 SNI 1726:2012 didapatkan nilai :

Ct = 0,0466^a
x = 0,9
h_n = 64 m
maka :
Ta = 0,0466 x $64^{0,9}$ = 1,968 s

Nilai Cu = 1,4 didapat dari Tabel 14 SNI 1726:2012, untuk nilai S_{D1} = 0,315, maka :

$T = C_u \times Ta = 1{,}4 \times 1{,}968 = 2{,}755$

Dari hasil analisa ETABS didapat :

Tabel 4. 3 Perioda dan Frekuensi Struktur

Mode	Period
	sec
1	2.644
2	1.899
3	1.655
4	0.845
5	0.632

6	0.554
7	0.475
8	0.382
9	0.344
10	0.314
11	0.268
12	0.244

Dari tabel di atas didapat T = 2,644 *s*. Maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental nilai T masih lebih kecil dari $Cu \times Ta$. Jadi analisis struktur gedung Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga masih memenuhi syarat SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.

4.3.2.3. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah :

$V = C_s \times W$ (SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1)

Dimana :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0{,}562}{\left(\frac{8}{1{,}5}\right)} = 0{,}1055$$

Nilai Cs di atas nilainya tidak perlu diambil lebih besar dari:

Beban gempa dinamik sumbu x :

T_c = 2,74

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0{,}315}{2{,}74\left(\frac{8}{1{,}5}\right)} = 0{,}022$$

Dan tidak lebih kecil dari :

$Cs = 0{,}044 \times S_{DS} \times I_e$

$= 0{,}044 \times 0{,}562 \times 1{,}5$

$= 0{,}371 > 0{,}01$ (OK)

Maka diambil nilai Cs = 0,022

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung ini adalah : 31008935.29 kg

$V = C_S \times W$

$= 0{,}022 \times 31008935.29$ kg

$= 692247.51$ kg

Beban gempa dinamik sumbu y :

$T_c = 1{,}93$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0{,}315}{1{,}93\left(\frac{8}{1{,}5}\right)} = 0{,}031$$

Dan tidak lebih kecil dari :

$Cs = 0{,}044 \times S_{DS} \times I_e$

$= 0{,}044 \times 0{,}562 \times 1{,}5$

$= 0{,}371 > 0{,}01$ (OK)

Maka diambil nilai Cs = 0,031

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung ini adalah : 33866703,47 kg

$V = C_S \times W$

$= 0{,}031 \times 31008935.29$ kg

$= 963824.33$ kg

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Gaya Geser Dasar akibat Beban Gempa

Load Case/Combo	FX	FY
	kgf	kgf
Gempa X Max	546767.89	390488.37
Gempa Y Max	390567.32	641959.87

Kontrol:

- Untuk gempa arah X:

  $V_{dinamik} \geq 85\%\ V_{statik}$

  $546767.89 \geq 85\% \times 692247.51$

546767.89 ≤ 588410.38 (Not OK)

- Untuk gempa arah Y:
  $V_{dinamik} \geq 85\%\ V_{statik}$
  641959.87 ≥ 85% × 963824.33
  641959.87 ≤ 819250.68 (Not OK)

Dari kontrol di atas, analisis Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada Pasal 11.1.4 SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala :

$$0{,}85 \times \frac{C_s \times W}{V}$$

- Untuk gempa arah X:
  $$0{,}85 \times \frac{692247.50}{546767.89} = 1{,}076161$$
- Untuk gempa arah Y:
  $$0{,}85 \times \frac{963824.33}{641959.87} = 1{,}276171$$

Setelah dikali faktor skala di atas didapatkan gaya geser dasar sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Gaya Geser Dasar akibat Beban Gempa setelah dikalikan dengan Faktor Skala

Load Case/Combo	FX	FY
	kgf	kgf
Gempa X Max	588421.09	420236.08
Gempa Y Max	498444.36	819273.04

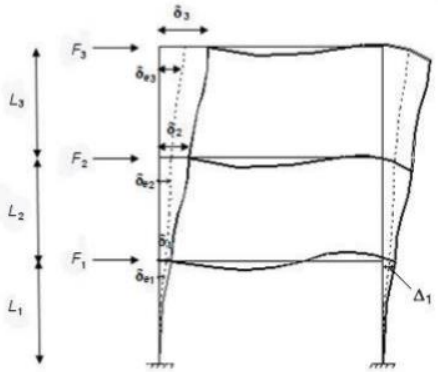
Kontrol:

- Untuk gempa arah X:
  $V_{dinamik} \geq 85\%\ V_{statik}$
  588421.09 ≥ 85% × 692247.51
  588421.09 ≥ 588410.38 (OK)

- Untuk gempa arah Y:
  $V_{dinamik} \geq 85\%\ V_{statik}$
  $819273.04 \geq 85\% \times 963824.33$
  $819273.04 \geq 819250.68$ (OK)

4.3.2.4. Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (Drift)

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.



Gambar 4. 2 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Tingkat 1

$$\delta_1 = \frac{C_d.\delta_{e1}}{I_E}$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$$

Tingkat 2

$$\delta_2 = \frac{C_d.\delta_{e2}}{I_E}$$

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e2}-\delta_1).C_d}{I_E} \leq \Delta_a$$

Tingkat 3

$$\delta_2 = \frac{C_d.\delta_{e2}}{I_E}$$

$$\Delta_3 = \frac{(\delta_{e3}-\delta_2).C_d}{I_E} \leq \Delta_a$$

Dimana :

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin antar lantai

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I_E = Faktor keutamaan gedung

Untuk sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus, dari tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan nilai C_d = 5,5 dan dari tabel 2 SNI 1726:2012 didapat nilai I_E = 1,5. Dari tabel 16 SNI 1726:2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya adalah :

$\Delta_a = 0{,}010 \times h_x$

Dimana :

h_x = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

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

Tabel 4. 6 Nilai simpangan yang terjadi

Level	δ_{ei}	δ_{ei}-δ_{ei-1}	Δ_i	h_x	Δ_a	Note
	m	m	m	m	m	
Atap	0.052	0.003	0.010	7.6	0.076	OK
12	0.050	0.002	0.007	4.4	0.044	OK
11	0.048	0.002	0.008	4.4	0.044	OK
10	0.045	0.003	0.010	4.4	0.044	OK
9	0.043	0.003	0.012	4.4	0.044	OK
8	0.040	0.004	0.013	4.4	0.044	OK
7	0.036	0.004	0.015	4.4	0.044	OK

6	0.032	0.004	0.016	4.4	0.044	OK
5	0.027	0.005	0.018	4.4	0.044	OK
4	0.023	0.005	0.019	4.4	0.044	OK
3	0.017	0.005	0.020	4.4	0.044	OK
2	0.012	0.009	0.034	7.6	0.076	OK
1	0.003	0.003	0.010	4.8	0.048	OK

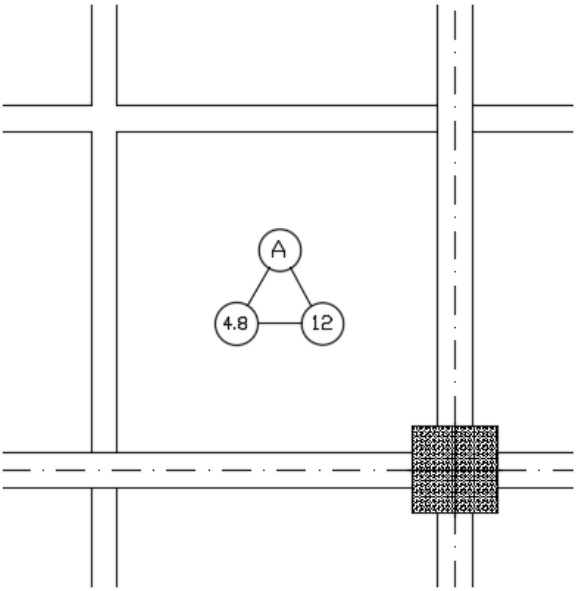
Dari hasil kontrol pada tabel di atas, maka analisis struktur gedung ini telah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1.

4.4. Perencanaan Struktur Sekunder

4.4.1. Perhitungan Tulangan Pelat Dua Arah

Data perencanaan

Tipe pelat = Pelat lantai tipe A
Bentang pelat sumbu panjang (Ly) = 4050 mm
Bentang pelat sumbu pendek (Lx) = 4050 mm
Mutu beton (fc') = 30 MPa
Mutu baja (fy) = 400 MPa
Tebal pelat (t) = 120 mm
Decking = 20 mm
β = 0,85
Faktor reduksi (ϕ) = 0,9
Diameter tulangan (D) = 10 mm



Gambar 4. 3 Pelat Tipe A

Pembebanan

Beban Mati:

-	Berat sendiri pelat	=0.12 x 2400	288 kg/m^2
-	Keramik (t=1)	=1 x 24	24 kg/m^2
-	Spesi (t=1)	=1 x 21	21 kg/m^2
-	Plafond + penggantung	=11 + 7	18 kg/m^2
-	Instalasi listrik	=	40 kg/m^2
-	Pemipaan	=	25 kg/m^2
	q_D	=	416 kg/m^2

Beban Hidup:

-	Ruang Kelas	=	192 kg/m^2
	q_L	=	192 kg/m^2

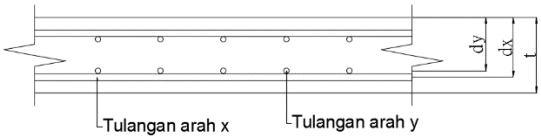
q_U = 1,2D + 1,6L

= 1,2(416)+1,6(192)

= 806,4 kg/m^2

Selanjutnya perhitungan momen dilakukan berdasarkan PBI 1971 tabel 13.3.1, didapatkan momen:

Mlx = 2.777.664 Nmm
Mly = 2.777.664 Nmm
Mtx = 6.878.027 Nmm
Mty = 6.878.027 Nmm



Gambar 4. 4 Asumsi tinggi manfaat pelat (dx dan dy)

dx = t – decking – ½ Dtulangan
= 120 mm – 20 mm – ½ .10 mm
= 95 mm

dy = t – decking – Dtulangan - ½ Dtulangan
= 120 mm – 20 mm – 10 mm - – ½ .10 mm
= 85 mm

$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$\rho_{balance} = \frac{0,85.\beta_1.f_c'}{f_y}\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$

$= \frac{0,85.0,85.30}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right)$

$= 0,0325$

$\rho_{maks} = 0,75.\ \rho_{balance}$
$= 0,75.\ 0,0325$
$= 0,0244$

$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'}$

$= \frac{400}{0,85.30}$

$= 15,69$

- Lapangan Arah X

Mlx = 2.777.664 Nmm

$$Mn = \frac{Mlx}{\phi} = \frac{2.777.664\ Nmm}{0,9} = 3.086.294\ Nmm$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{3.086.294\ Nmm}{1000\ mm.(95\ mm)^2} = 0,34$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{15,69}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15,69\ .\ 0,34}{400}}\right]$$

$$= 0,0009$$

Maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

ρ_{perlu} = 1,3 . 0,0009 = 0,0011

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

0,0035 < 0,0011 < 0,0244

Maka ρ digunakan adalah ρ_{min} = 0,0035

$As_{perlu} = \rho_{perlu}\ .\ b\ .\ dx$

= 0,0035 . 1000 mm . 95 mm

= 332,5 mm^2

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2\ .\ h$

$S_{maks} \leq 2\ .\ 120$ mm

$S_{maks} \leq 240$ mm

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

$$S = \frac{0,25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{As_{perlu}}$$

$$= \frac{0,25\ .\ \pi\ .(10\ mm)^2.\ 1000\ mm}{332,5\ mm^2}$$

Maka S_{pakai} = 200 mm

As_{pakai} dengan D10 – 200 mm

$$As_{pakai} = \frac{0,25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(10\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{200\ \text{mm}}$$

$= 392{,}70\ \text{mm}^2 > As_{perlu} = 332{,}5\ \text{mm}^2$ (memenuhi)

- Lapangan Arah Y

Mly = 2.777.664 Nmm

$$Mn = \frac{Mlx}{\phi} = \frac{2.777.664\ \text{Nmm}}{0{,}9} = 3.086.294\ \text{Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{3.086.294\ \text{Nmm}}{1000\ \text{mm}.(85\ \text{mm})^2} = 0{,}34$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{15{,}69}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 0{,}34}{400}}\right]$$

$= 0{,}0009$

Maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$\rho_{perlu} = 1{,}3\ .\ 0{,}0009 = 0{,}0011$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0035 < 0{,}0011 < 0{,}0244$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{min} = 0{,}0035$

$As_{perlu} = \rho_{perlu}\ .\ b\ .\ dy$

$= 0{,}0035\ .\ 1000\ \text{mm}\ .\ 85\ \text{mm}$

$= 297{,}5\ \text{mm}^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2\ .\ h$

$S_{maks} \leq 2\ .\ 120\ \text{mm}$

$S_{maks} \leq 240\ \text{mm}$

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

$$S = \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{As_{perlu}}$$

$$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(10\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{332{,}5\ \text{mm}^2}$$

Maka S_{pakai} = 200 mm

As_{pakai} dengan D10 – 200 mm

$$As_{pakai} = \frac{0{,}25 \,.\, \pi .D^2 .\, b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25 \,.\, \pi .(10\ mm)^2 .\, 1000\ mm}{200\ mm}$$

$= 392{,}70\ mm^2 > As_{perlu} = 332{,}5\ mm^2$ (memenuhi)

- Tumpuan Arah X

Mtx = 6.878.027 Nmm

$$Mn = \frac{Mtx}{\phi} = \frac{6.878.027\ Nmm}{0{,}9} = 7.642.252\ Nmm$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{19.374.000\ Nmm}{1000\ mm.(95\ mm)^2} = 0{,}85$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,m\,.\,Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{15{,}69}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,15{,}69\,.\,0{,}85}{400}}\right]$$

$= 0{,}0022$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0035 < 0{,}0022 < 0{,}0244$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{min} = 0{,}0035$

$As_{perlu} = \rho_{perlu} \,.\, b \,.\, dx$

$= 0{,}0035 \,.\, 1000\ mm \,.\, 95\ mm$

$= 332{,}5\ mm^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2 \,.\, h$

$S_{maks} \leq 2 \,.\, 120\ mm$

$S_{maks} \leq 240\ mm$

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

$$S = \frac{0{,}25 \,.\, \pi .D^2 .\, b}{As_{perlu}}$$

$$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(10\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{332{,}5\ \text{mm}^2}$$

Maka S_{pakai} = 200 mm

As_{pakai} dengan D10 – 200 mm

$$As_{pakai} = \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(10\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{200\ \text{mm}}$$

= 392,70 mm^2 > As_{perlu} = 297,5 mm^2 (memenuhi)

- Tumpuan Arah Y

Mty = 6.878.027 Nmm

$$Mn = \frac{Mtx}{\phi} = \frac{6.878.027\ \text{Nmm}}{0{,}9} = 7.642.252\ \text{Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{19.374.000\ \text{Nmm}}{1000\ \text{mm}.(85\ \text{mm})^2} = 0{,}85$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{15{,}69}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 0{,}85}{400}}\right]$$

= 0,0022

Cek persyaratan :

ρ_{min} < ρ_{perlu} < ρ_{maks}

0,0035 < 0,0022 < 0,0244

Maka ρ digunakan adalah ρ_{min} = 0,0035

$As_{perlu} = \rho_{perlu}$. b . dy

= 0,0035 . 1000 mm . 85 mm

= 297,5 mm^2

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2$. h

$S_{maks} \leq 2$. 120 mm

$S_{maks} \leq 240$ mm

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

$$S = \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.D^2 .\, b}{As_{perlu}}$$

$$= \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.(10\ mm)^2 .\, 1000\ mm}{332{,}5\ mm^2}$$

Maka S_{pakai} = 200 mm

As_{pakai} dengan D10 – 200 mm

$$As_{pakai} = \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.D^2 .\, b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.(10\ mm)^2 .\, 1000\ mm}{200\ mm}$$

= 392,70 mm^2 > As_{perlu} = 297,5 mm^2 (memenuhi)

- Kontrol Regangan

Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As_{pakai} \times fy}{0{,}85 \times f_c^{'} \times b} = \frac{393 \times 400}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 7{,}392$$

Rasio dimensi panjang terhadap pendek

$\beta_1 = 0{,}85$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{7{,}392}{0{,}85} = 8{,}696\ mm$$

ε_o = 0,003 berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.2.3

Regangan tarik netto (SNI 2847 : 2013 pasal 10.3.4)

$$\varepsilon t = \frac{\varepsilon_o \times (d_x - c)}{c} = \frac{0{,}003 \times (95 - 8{,}696)}{8{,}696} = 0{,}026 > 0{,}005$$

Maka asumsi penampang terkendali tarik benar (ϕ = 0,9)

- Tulangan susut

$As_{susut} = \rho_{susut} \,.\, b \,.$ tebal pelat

= 0,0018 . 1000 mm . 120 mm

$= 216 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 5 . h$ atau $S_{maks} \leq 450$ mm

$S_{maks} \leq 5 . 120$ mm atau $S_{maks} \leq 450$ mm

$S_{maks} \leq 600$ mm atau $S_{maks} \leq 450$ mm

Jarak spasi tulangan dengan ø = 8 mm

$$S = \frac{0{,}25 . \pi . D^2 . b}{As_{susut}}$$

$$= \frac{0{,}25 . \pi . (8 \text{ mm})^2 . 1000 \text{ mm}}{216 \text{ mm}^2}$$

$= 232{,}71$ mm

$S = 232{,}71$ mm $< S_{maks} = 600$ mm (memenuhi)

$S = 232{,}71$ mm $< S_{maks} = 450$ mm (memenuhi)

Maka $S_{pakai} = 200$ mm

As_{pakai} dengan ø8 – 200 mm

$$As_{pakai} = \frac{0{,}25 . \pi . D^2 . b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25 . \pi . (8 \text{ mm})^2 . 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$= 251{,}33 \text{ mm}^2 > As_{susut} = 216 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

- Penyaluran tulangan pelat

<u>Pada bentang terpendek pada pelat A</u>

Ambil yang terbesar antara d, 12 db dan Ln/16

d = 95 mm

12 db = 12 . 10 mm = 120 mm

Ln/16 = 4050 mm/16 = 253,12 mm

Penyaluran tulangan pada pelat terbesar 253,12 mm, maka digunakan penyaluran tulangan sebesar 260 mm.

<u>Pada bentang terpanjang pada pelat A</u>

Ambil yang terbesar antara d, 12 db dan Ln/16

d = 85 mm

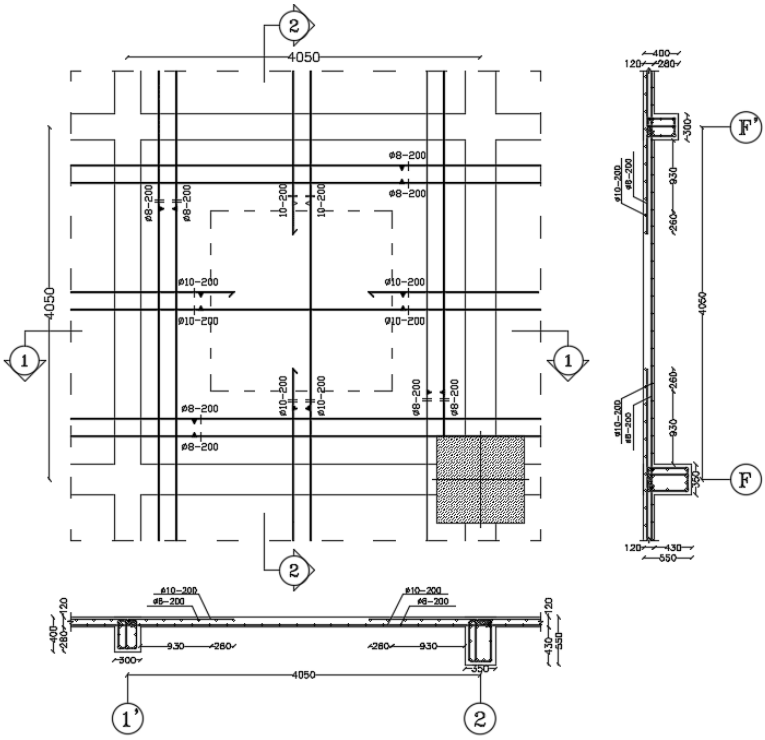
12 db = 12 . 10 mm = 120 mm

Ln/16 = 4050 mm/16 = 253,12 mm

Penyaluran tulangan pada pelat terbesar 253,12 mm, maka digunakan penyaluran tulangan sebesar 260 mm.

Tabel 4. 7 Rekapitulasi penulanngan pelat lantai tipe A

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT LANTAI TIPE A	
Lapangan arah X	D 10 – 200 mm
Lapangan arah Y	D 10 – 200 mm
Tumpuan arah X	D 10 – 200 mm
Tumpuan arah Y	D 10 – 200 mm
Susut	Ø 8 – 200 mm

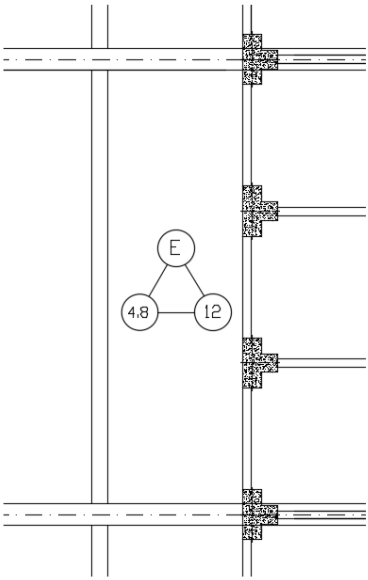


Gambar 4. 5 Penulangan pelat lantai tipe A

4.4.2. Perhitungan Tulangan Pelat Satu Arah

Data perencanaan

Tipe pelat = Pelat lantai tipe E
Bentang pelat sumbu panjang (Ly) = 8600 mm
Bentang pelat sumbu pendek (Lx) = 2500 mm
Mutu beton (fc') = 30 MPa
Mutu baja (fy) = 400 MPa
Tebal pelat (t) = 120 mm
Decking = 20 mm
β_1 = 0,85
Faktor reduksi (ϕ) = 0,9
Diameter tulangan (D) = 10 mm



Gambar 4. 6 Pelat Tipe E

Pembebanan

Beban Mati:

- Berat sendiri pelat =0.12 x 2400 288 kg/m^2
- Keramik (t=1) =1 x 24 24 kg/m^2

- Spesi (t=1) =1 x 21 21 kg/m^2
- Plafond + penggantung =11+ 7 18 kg/m^2
- Instalasi listrik = 40 kg/m^2
- Pemipaan = 25 kg/m^2

q_D = 416 kg/m^2

Beban Hidup:

- Ruang Kelas = 192 kg/m^2

q_L = 192 kg/m^2

q_U = 1,2D + 1,6L
= 1,2(416)+1,6(192)
= 806,4 kg/m^2

Selanjutnya perhitungan momen dilakukan berdasarkan PBI 1971 tabel 13.3.1, didapatkan momen:

Mt = 4.183.200 Nmm
Ml = 2.116.800 Nmm

dx = t – decking – ½ Dtulangan
= 120 mm – 20 mm – ½ .10 mm
= 95 mm

$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$\rho_{balance} = \frac{0,85.\beta_1.f_c'}{f_y}\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$

$= \frac{0,85.0,85.30}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right)$

= 0,0325

ρ_{maks} = 0,75. $\rho_{balance}$
= 0,75. 0,0325
= 0,0244

$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'}$

$= \frac{400}{0,85.30}$

= 15,69

- Tumpuan

Mt = 4.183.200 Nmm

$Mn = \frac{Ml}{\phi} = \frac{4.183.200 Nmm}{0,9} = 4.648.000$ Nmm

$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{4.648.000\ Nmm}{1000\ mm.(95\ mm)^2} = 0,52$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right]$

$= \frac{1}{15,69}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15,69\ .\ 0,52}{400}}\right]$

$= 0,0013$

Maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$\rho_{perlu} = 1,3\ .\ 0,0013 = 0,0017$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0,0035 < 0,0017 < 0,0244$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0035$

$As_{perlu} = \rho_{perlu}\ .\ b\ .\ dx$

$= 0,0035\ .\ 1000\ mm\ .\ 95\ mm$

$= 332,5\ mm^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2\ .\ h$

$S_{maks} \leq 2\ .\ 120$ mm

$S_{maks} \leq 240$ mm

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

$S = \frac{0,25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{As_{perlu}}$

$= \frac{0,25\ .\ \pi\ .(10\ mm)^2.\ 1000\ mm}{332,5\ mm^2}$

$= 236,21$ mm < $S_{maks} = 240$ mm

(memenuhi)

Maka $S_{pakai} = 200$ mm

As_{pakai} dengan D10 – 200 mm

$As_{pakai} = \frac{0,25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{S_{pakai}}$

$$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(10\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{200\ \text{mm}}$$

$= 392{,}70\ \text{mm}^2 > As_{perlu} = 332{,}5\ \text{mm}^2$ (memenuhi)

- Lapangan

Ml = 2.116.800 Nmm

$$Mn = \frac{Mt}{\phi} = \frac{2.116.800\ \text{Nmm}}{0{,}9} = 2.352.000\ \text{Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{2.352.000\ \text{Nmm}}{1000\ \text{mm}.(95\ \text{mm})^2} = 0{,}26$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{15{,}69}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 0{,}26}{400}}\right]$$

$= 0{,}0007$

Maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$\rho_{perlu} = 1{,}3\ .\ 0{,}0007 = 0{,}0009$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0035 < 0{,}0009 < 0{,}0244$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{min} = 0{,}0035$

$As_{perlu} = \rho_{perlu}\ .\ b\ .\ dx$

$= 0{,}0035\ .\ 1000\ \text{mm}\ .\ 95\ \text{mm}$

$= 332{,}5\ \text{mm}^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2\ .\ h$

$S_{maks} \leq 2\ .\ 120\ \text{mm}$

$S_{maks} \leq 240\ \text{mm}$

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

$$S = \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{As_{perlu}}$$

$$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(10\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{332{,}5\ \text{mm}^2}$$

= 236,21 mm < S_{maks} = 240 mm
(memenuhi)
Maka S_{pakai} = 200 mm
As_{pakai} dengan D10 – 200 mm

$$As_{pakai} = \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.D^2 .\, b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.(10\ mm)^2 .\, 1000\ mm}{200\ mm}$$

= 392,70 mm^2 > As_{perlu} = 332,5 mm^2
(memenuhi)

- Kontrol Regangan
  Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$a = \frac{As_{pakai} \times fy}{0{,}85 \times f_c' \times b} = \frac{393 \times 400}{0{,}85 \times 30 \times 1000} = 7{,}392$$

Rasio dimensi panjang terhadap pendek

$\beta_1 = 0{,}85$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{7{,}392}{0{,}85} = 8{,}696\ mm$$

ε_o = 0,003 berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.2.3

Regangan tarik netto (SNI 2847 : 2013 pasal 10.3.4)

$$\varepsilon t = \frac{\varepsilon_o \times (d_x - c)}{c} = \frac{0{,}003 \times (95 - 8{,}696)}{8{,}696} = 0{,}026 > 0{,}005$$

Maka asumsi penampang terkendali tarik benar (ϕ = 0,9)

- Tulangan susut

$As_{susut} = \rho_{susut}$. b . tebal pelat
= 0,0018 . 1000 mm . 120 mm
= 216 mm^2

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 5 \cdot h$ atau $S_{maks} \leq 450$ mm

$S_{maks} \leq 5 \cdot 120$ mm atau $S_{maks} \leq 450$ mm

$S_{maks} \leq 600$ mm atau $S_{maks} \leq 450$ mm

Jarak spasi tulangan dengan ø = 8 mm

$$S = \frac{0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{As_{susut}}$$

$$= \frac{0{,}25 \cdot \pi \cdot (8\ mm)^2 \cdot 1000\ mm}{216\ mm^2}$$

$$= 232{,}71\ mm$$

$S = 232{,}71$ mm $< S_{maks} = 600$ mm (memenuhi)

$S = 232{,}71$ mm $< S_{maks} = 450$ mm (memenuhi)

Maka $S_{pakai} = 200$ mm

As_{pakai} dengan ø8 – 200 mm

$$As_{pakai} = \frac{0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25 \cdot \pi \cdot (8\ mm)^2 \cdot 1000\ mm}{200\ mm}$$

$= 251{,}33\ mm^2 > As_{susut} = 216\ mm^2$ (memenuhi)

- Penyaluran tulangan pelat

<u>Pada bentang terpendek pada pelat E</u>

Ambil yang terbesar antara d, 12 db dan Ln/16

d = 95 mm

12 db = 12 . 10 mm = 120 mm

Ln/16 = 2500mm/16 = 156,3 mm

Penyaluran tulangan pada pelat terbesar 156,3 mm, maka digunakan penyaluran tulangan sebesar 160 mm.

<u>Pada bentang terpanjang pada pelat E</u>

Ambil yang terbesar antara d, 12 db dan Ln/16

d = 85 mm

12 db = 12 . 10 mm = 120 mm

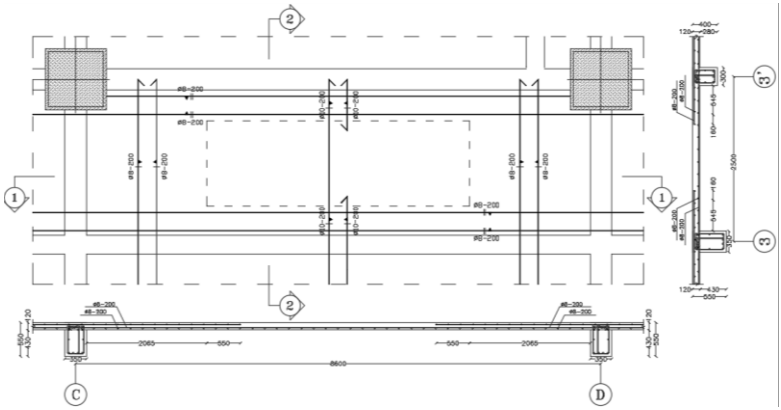
Ln/16 = 8600 mm/16 = 537,5 mm

Penyaluran tulangan pada pelat terbesar 550 mm, maka digunakan penyaluran tulangan sebesar 550 mm.

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang lx maupun ly.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi penulangan pelat lantai tipe B

REKAPITULASI PENULANGAN PELAT LANTAI TIPE B	
Lapangan	D10 – 200 mm
Tumpuan	D10 – 200 mm
Susut	ø 8 – 200 mm



Gambar 4. 7 Penulangan pelat lantai tipe E

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan penulangan pada tiap tipe pelat lantai dan pelat atap.

Tabel 4. 9 Rekapitulasi hasil perhitungan penulangan pada tiap tipe pelat lantai

Tipe Pelat	Lapangan X	Lapangan Y	Tumpuan X	Tumpuan Y	Susut
A	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	Ø8 - 200
B	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	Ø8 - 200
C	D10 - 200	D10 - 200	D10 – 180	D10 - 200	Ø8 - 200
D	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	Ø8 - 200
E	D10 - 200		D10 - 200		Ø8 - 200
F	D10 - 200		D10 - 200		Ø8 - 200
G	D10 - 200		D10 - 200		Ø8 - 200

4.4.3. Perhitungan Tulangan Tangga dan Plat Bordes

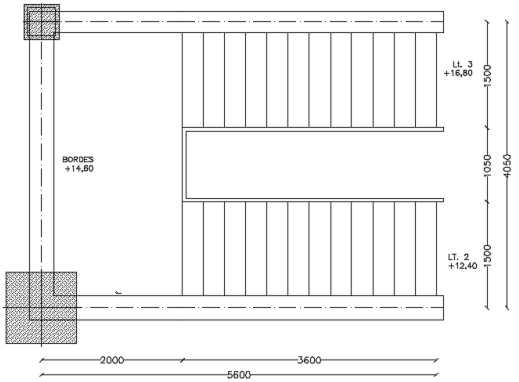
Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

Data perencanaan:

- Mutu beton (fc') = 30 Mpa
- Mutu baja (fy) = 400 Mpa
- Tinggi antar lantai = 440 cm
- Panjang bordes = 405 cm
- Lebar bordes = 200 cm
- Lebar tangga = 150 cm
- Tebal pelat tangga = 15 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm
- Tinggi injakan (t) = 18 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Jumlah tanjakan (n_T) $= \frac{\text{tinggi lantai}}{\text{t}}$
  $= \frac{440\text{ cm}}{18\text{ cm}}$
  $= 24.44$ buah ≈ 25 buah
- Jumlah injakan (n_i) $= n_T - 1 = 24$ buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 12 buah
- Elevasi bordes = 220 cm
- Panjang horizontal plat tangga bordes = i × jumlah tanjakan
  $= 30 \times 12 = 360$ cm
- Kemiringan tangga $= \alpha$ $= \arctan \frac{\text{elevasi lantai bordes}}{\text{panjang tangga}}$
  $= \arctan \frac{220}{360}$
  $= 31{,}43°$

- Cek syarat :
  $60 \leq (2t + i) \leq 65$
  $60 \leq (2\times 18 + 30) \leq 65$
  $60 \leq 65 \leq 65$…….. (OK)
  $25 \leq \alpha \leq 40$
  $25 \leq 31{,}43° \leq 40$ … (OK)

- Tebal plat rata-rata anak tangga = (i/2) sin α
  = (30/2) sin 31,43°
  = 7,82 cm
- Tebal plat rata-rata = tp + tr = 18 + 7,82
  = 22,8 cm ≈ 23 cm



Gambar 3. 11 Denah Perencanaan Tangga

Pembebanan Plat Tangga:

Beban Mati (DL)

Pelat tangga $= \frac{0,23}{\cos 31,43°} \times 2400 = 646,91$ kg/m

Keramik horizontal = 24 kg/m

Keramik vertikal = 24 kg/m

Spesi horizontal (2 cm) = 42 kg/m

Spesi vertikal (2 cm) = 42 kg/m

Railing = 50 kg/m

Total (DL) = 828,91 kg/m

- Beban Hidup (LL) = 479 kg/m
- Kombinasi Beban

  Qu = 1,2 DL + 1,6 LL
  = 1,2 (646,91) + 1,6 (479)
  = 1761,097 kg/m

Pembebanan Plat Bordes:

- Beban Mati (DL)

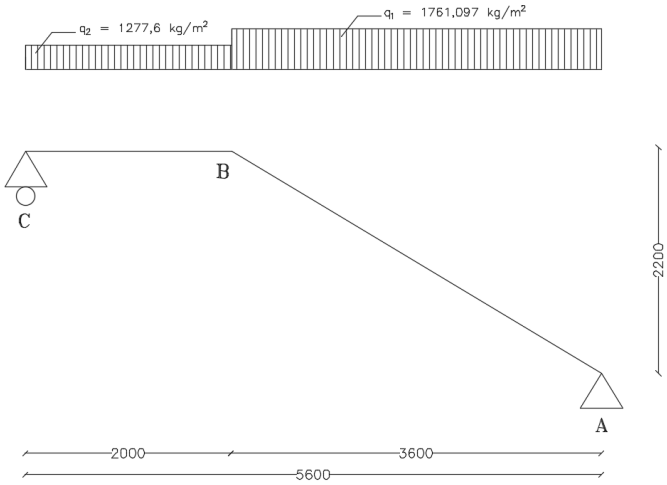
Pelat tangga	= 0,15 × 2400	= 360 kg/m
Keramik		= 24 kg/m
Spesi (2 cm)		= 42 kg/m
Total (DL)		= 426 kg/m

- Beban Hidup (LL) = 479 kg/m
- Kombinasi Beban

  Qu = 1,2 DL + 1,6 LL
  = 1,2 (426) + 1,6 (479)
  = 1277,6 kg/m

Analisa Gaya Dalam

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini :



Gambar 4. 8 Sketsa beban pada tangga

$\Sigma M_A = 0$
$(R_C \times 5,6) - (q_2 \times 2 \times 4.6) - (q_1 \times 3,6 \times 1,8) = 0$
$(R_C \times 5,6) - (11753,92) - (11411,91) = 0$
$R_C = 4136,75$ kg
$\Sigma V = 0$
$-q_1 \times 3,6 - q_2 \times 2 + R_C + R_A = 0$
$-6339,95 - 2555,2 + 4136,75 + R_A = 0$
$R_A = 4758,39$ kg
$\Sigma H = 0$
$H_A = 0$

- Pelat Tangga A-B
  a. Gaya Momen (M)
     $Mx_1 = R_A \times x_1 - ½\ q_2 \times x_1^2$
     $x_1 = 0$ $M_A = 0$
     $x_1 = 3,6$ m $M_B = 5718.31$ kgm
     Momen maksimum:
     $R_A - q_1 \times x_1 = 0$
     $4758,39 - 1761.097\ x_1 = 0$
     $x_1 = 2.70$
     $M_{max} = R_A \times x_1 - ½\ q_2 \times x_1^2$
     $= 4758,39 \times 2.70 - ½\ 1277,6 \times (2.70)^2$
     $= 6428,47$ kgm
  b. Gaya Lintang (D)
     $Dx_1 = (R_A - q_1 \times x_1) \cos 31,43 = 0$
     $x_1 = 0$ $D_A = 4060,25$ kg
     $x_1 = 3,6$ m $D_B = -1349,51$ kg
  c. Gaya Normal (N)
     $Nx_1 = -R_A \sin 31,43 + q_1 \sin 31,43 \times x_1 = 0$
     $x_1 = 0$ $N_A = -2481,26$ kg
     $x_1 = 3,6$ m $N_B = 824.70$ kg

- Pelat Tangga B-C
  a. Gaya Momen (M)
     $Mx_2 = R_C \times x_2 - ½\ q_2 \times x_2^2$
     $x_2 = 0$ $M_C = 0$

x_2 = 2 m M_B = 5718,31 kgm

b. Gaya Lintang (D)

$Dx_2 = R_C - q_2 \times x_2 = 0$

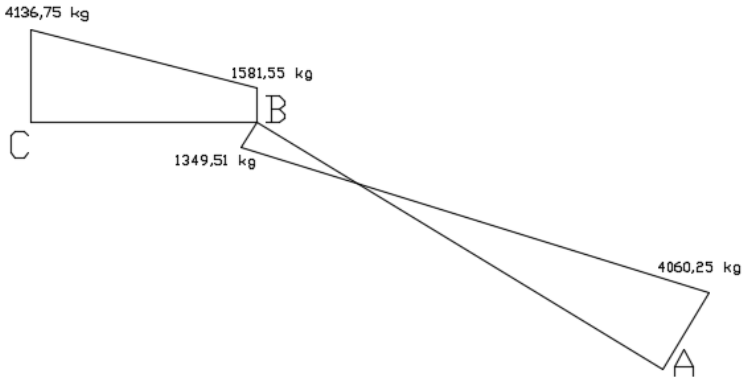
x_1 = 0 D_C = 4136,75 kg

x_1 = 2 m D_B = 1581,55 kg

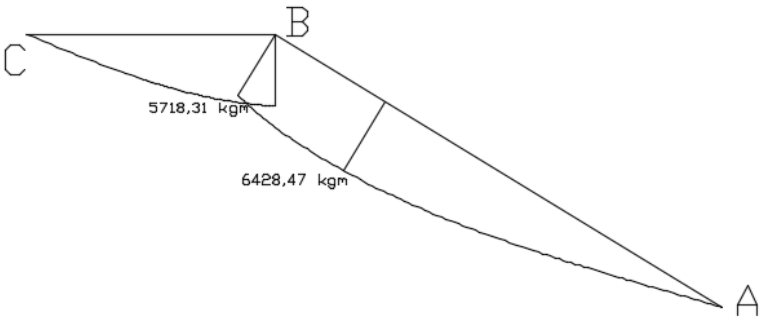
c. Gaya Normal (N)

N_C = 0 kg

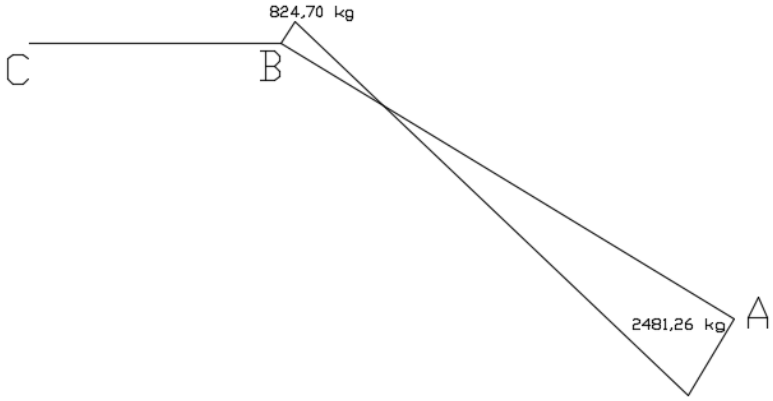
N_B = 0 kg



Gambar 4. 9 Bidang lintang (D) pada tangga



Gambar 4. 10 Bidang Momen (M) pada tangga



Gambar 4. 11 Bidang normal (N) pada tangga

Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

Mutu beton (fc') = 30 MPa
Mutu baja (fy) = 400 MPa
Tebal pelat tangga = 150 mm
Tebal pelat bordes = 150 mm
Decking = 20 mm
β = 0,85
Faktor reduksi (ϕ) = 0,9
Diameter tulangan (D) = 16 mm

dx = t – decking – ½ Dtulangan
= 150 mm – 20 mm – ½ .16 mm
= 122 mm

$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$\rho_{balance} = \frac{0,85.\beta_1.f_c'}{f_y}\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$

$= \frac{0,85.0,85.30}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right)$

= 0,0325

ρ_{maks} = 0,75. $\rho_{balance}$
= 0,75. 0,0325

$= 0{,}0244$

m $= \dfrac{f_y}{0{,}85.f_c'}$

$= \dfrac{400}{0{,}85.30}$

$= 15{,}69$

- Tulangan Utama

Mmax= 6428,47 kgm

Mn $= \dfrac{\text{Mlx}}{\phi} = \dfrac{6428{,}47 \text{ kgm}}{0{,}9} = 7142{,}74$ kgm

$= 71427426{,}76$ Nmm

Rn $= \dfrac{\text{Mn}}{\text{bd}^2} = \dfrac{71427426{,}76 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm}.(122 \text{ mm})^2} = 4{,}799$

$\rho_{perlu} = \dfrac{1}{\text{m}}\left[1 - \sqrt{1 - \dfrac{2\,.\,\text{m}\,.\,\text{Rn}}{\text{f}_y}}\right]$

$= \dfrac{1}{15{,}69}\left[1 - \sqrt{1 - \dfrac{2\,.\,15{,}69\,.\,4{,}57}{400}}\right]$

$= 0{,}0134$

Maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$\rho_{perlu} = 1{,}3\,.\,0{,}0134 = 0{,}0174$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0035 < 0{,}0174 < 0{,}0244$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{perlu} = 0{,}0174$

$As_{perlu} = \rho_{perlu}\,.\,b\,.\,dx$

$= 0{,}0174.\ 1000 \text{ mm}\,.\,122 \text{ mm}$

$= 2126{,}38 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2\,.\,h$

$S_{maks} \leq 2\,.\,150$ mm

$S_{maks} \leq 300$ mm

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

S $= \dfrac{0{,}25\,.\,\pi.\text{D}^2.\,\text{b}}{\text{As}_{\text{perlu}}}$

$$= \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.(16\ \text{mm})^2 .\ 1000\ \text{mm}}{2126{,}38\ \text{mm}^2}$$

$= 94{,}56$

Maka $S_{pakai} = 80$ mm

As_{pakai} dengan D16 – 80 mm

$$As_{pakai} = \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.D^2 .\ b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.(10\ \text{mm})^2 .\ 1000\ \text{mm}}{80\ \text{mm}}$$

$= 2513.274123\ \text{mm}^2 > As_{perlu} = 2126{,}38\ \text{mm}^2$ (memenuhi)

- Tulangan susut

$As_{susut} = \rho_{susut} \,.\, b \,.$ tebal pelat

$= 0{,}0018 \,.\, 1000\ \text{mm} \,.\, 150\ \text{mm}$

$= 270\ \text{mm}^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 5 \,.\, h$ atau $S_{maks} \leq 450$ mm

$S_{maks} \leq 5 \,.\, 150$ mm atau $S_{maks} \leq 450$ mm

$S_{maks} \leq 750$ mm atau $S_{maks} \leq 450$ mm

Jarak spasi tulangan dengan ø = 8 mm

$$S = \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.D^2 .\ b}{As_{susut}}$$

$$= \frac{0{,}25 \,.\, \pi \,.(8\ \text{mm})^2 .\ 1000\ \text{mm}}{270\ \text{mm}^2}$$

$= 186.17$ mm

$S = 186.17$ mm $< S_{maks} = 750$ mm (memenuhi)

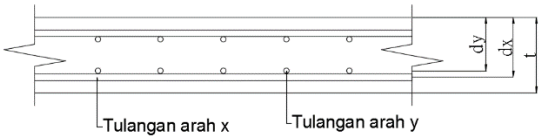
$S = 186.17$ mm $< S_{maks} = 450$ mm (memenuhi)

Maka $S_{pakai} = 200$ mm

<u>Perhitungan Tulangan Pelat Bordes</u>

Mutu beton (fc')	= 30 MPa
Mutu baja (fy)	= 400 MPa
Tebal pelat tangga	= 150 mm
Tebal pelat bordes	= 150 mm
Decking	= 20 mm

β = 0,85
Faktor reduksi (ϕ) = 0,9
Diameter tulangan (D) = 16 mm



Gambar 4. 12 Asumsi tinggi manfaat pelat (dx dan dy)

dx = t – decking – ½ Øtulangan
= 150 mm – 20 mm – ½ .16 mm
= 122 mm
dy = t – decking – Dtulangan - ½ Dtulangan
= 150 mm – 20 mm – 10 mm - – ½ .16 mm
= 106 mm

$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$\rho_{balance} = \frac{0,85.\beta_1.f_c'}{f_y}\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$
$= \frac{0,85.0,85.30}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right)$
= 0,0325
ρ_{maks} = 0,75. $\rho_{balance}$
= 0,75. 0,0325
= 0,0244
$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'}$
$= \frac{400}{0,85.30}$
= 15,69

Mmax = 5718,3 kgm
$Mn = \frac{Mlx}{\phi} = \frac{5718,3 \text{ kgm}}{0,9} = 6353,68$ kgm

$= 63536776{,}15$ Nmm

$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{63536776{,}15\ \text{Nmm}}{1000\ \text{mm}.(125\ \text{mm})^2} = 4{,}27$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right]$

$= \frac{1}{15{,}69}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 4{,}27}{400}}\right]$

$= 0{,}0118$

Maka, ρ_{perlu} dinaikkan 30%

$\rho_{perlu} = 1{,}3\ .\ 0{,}0118 = 0{,}0153$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0035 < 0{,}0153 < 0{,}0244$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{perlu} = 0{,}00153$

$As_{perlu} = \rho_{perlu}\ .\ b\ .\ dx$

$= 0{,}0153.\ 1000\ \text{mm}\ .\ 122\ \text{mm}$

$= 1864{,}49\ \text{mm}^2$

Jarak spasi tulangan maksimum

$S_{maks} \leq 2\ .\ h$

$S_{maks} \leq 2\ .\ 150\ \text{mm}$

$S_{maks} \leq 300\ \text{mm}$

Jarak spasi tulangan dengan D = 10 mm

$S = \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{As_{perlu}}$

$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(10\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{1864{,}49\ \text{mm}^2}$

$= 107.84$

Maka $S_{pakai} = 80$ mm

As_{pakai} dengan D16 – 80 mm

$As_{pakai} = \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .D^2.\ b}{S_{pakai}}$

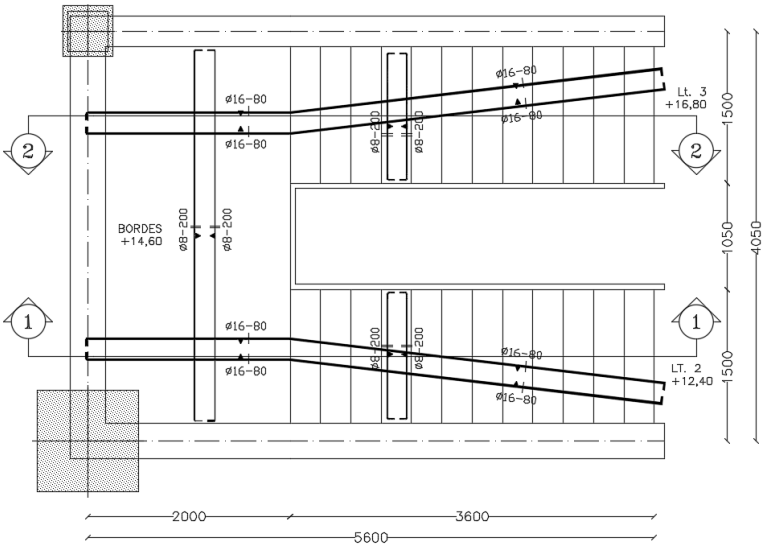
$= \frac{0{,}25\ .\ \pi\ .(16\ \text{mm})^2.\ 1000\ \text{mm}}{80\ \text{mm}}$

$= 2513.27\ \text{mm}^2 > As_{perlu} = 1864{,}49\ \text{mm}^2$

(memenuhi)

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Penulangan Tangga

Rekapitulasi	Tulangan Utama	Tulangan Susut
Tulangan Tangga	D16 - 80	Ø8 - 200
Tulangan Bordes	D16 - 80	Ø8 - 200



Gambar 4. 13 Denah penulangan tangga

4.4.4. Perhitungan Balok Anak

Perhitungan tulangan balok anak. Berikut merupakan data perencanaan balok, dan perhitungan penulangan torsi, lentur dan geser pada balok anak dengan menggunakan metode SRPMK sesuai SNI 2847-2013.

Tipe balok = B2 (30/40)
Bentang balok (L) = 8100 mm
Lebar balok (b) = 400 mm

Tinggi balok (h) = 300 mm
Kuat tekan beton (f'_c) = 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) = 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) = 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D torsi) = 13 mm
Diameter tulangan lentur (D lentur) = 22 mm
Diameter tulangan geser (D geser) = 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) = 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
Tebal selimut beton (t decking) = 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Tinggi efektif balok :
d = h – decking – Øsengkang – ½ D lentur
= 400 mm – 40 mm – 13 mm - ½ . 22 mm
= 339 mm
d' = h - d
= 400 mm - 339 mm
= 61 mm

Karena mutu beton berada di atas 28 MPa, maka nilai β1, di gunakan perumusan sesuai dengan (SNI 2847:2013 ps 10.2.7.3)

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\,\frac{(f'_c - 28)}{7}$$
$$= 0{,}83$$

Dari hasil analisa struktur didapatkan hasil untuk momen kombinasi 1,2D+1,6L maksimum sebagai berikut:
Mu = 184640584 Nmm (tumpuan)
Mu = 101358353.1 Nmm (lapangan)

4.4.4.1. Penulangan Torsi

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

A_{cp} = b_{balok} . h_{balok}
= 300 mm . 400 mm
= 120000 mm^2

Parimeter luar irisan penampang beton

P_{cp} = 2 . (b_{balok} + h_{balok})
= 2 . (300 mm + 400 mm)
= 1400 mm

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

A_{oh} = (b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}). (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})
= (300 mm – (2.40 mm) – 10 mm).(400 mm – (2.40 mm) – 10 mm)
= 65100 mm^2

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

P_h = 2. [(b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}) + (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})]
= 2. [(350 mm – (2.40 mm) – 10 mm) + (400 mm – (2.40 mm) – 10 mm)]
= 1040 mm

Momen puntir ultimate

Tu = 24264676.61 Nmm
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu kurang dari

$$Tu_{min} = \phi.0{,}083 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}^{\,2}}{P_{cp}}\right)$$

$$= 0{,}75 \,.\, 0{,}083.\sqrt{30}.\left(\frac{(120000)^2}{1400}\right)$$

= 3521073.58 Nmm

Tu < Tu min

24264676.61 Nmm > 3521073.58 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan, Tu maksimum boleh direduksi menjadi:

$$Tu = \phi.0{,}33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$= 0{,}75 \cdot 0{,}33.\sqrt{30}.\left(\frac{(120000)^2}{1400}\right)$$

$$= 14084294.34 \text{ Nmm}$$

Sehingga,

Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{14084294.34 \text{ Nmm}}{0{,}75} = 18779059.11 \text{ Nmm}$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

Dengan Vc sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1 mengenai kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen beton non-prategang.

$Vc = 0{,}17 \lambda \sqrt{f_c'}\, b_w\, d$

Dimana

$\lambda = 1$ (untuk beton normal)

Maka,

$Vc = 0{,}17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$

$= 0{,}17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ MPa}} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 339 \text{ mm}$

$= 92838.97 \text{ N}$

$Vu = 163877.38 \text{ N}$

(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A^2_{oh}}\right)^2} \le \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{163877.38\ \text{N}}{300\ \text{mm}.\ 339\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{14084294.34\ \text{Nmm}\ .\ 1040\ \text{mm}}{1{,}7\left(65100\ \text{mm}^2\right)^2}\right)^2}$$

$$\le 0{,}75\left(\frac{92838.97\ \ \text{N}}{300\ \text{mm}.\ 339\ \text{mm}} + 0{,}66\sqrt{30\ \text{MPa}}\right)$$

1,61 ≤ 3,18 (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6(a), Untuk struktur non-prategang

$\theta = 45^o$

$A_o = 0{,}85\ A_{oh}$

$= 0{,}85\ .\ 65100\ \text{mm}^2$

$= 55335\ \text{mm}^2$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2\ .\ Ao\ .\ fyt\ .\ \cot\theta}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6

$$\frac{At}{s} = \frac{18779059.11\ \text{Nmm}}{2\ .\ 55335\ \text{mm}^2\ .\ 280\ \text{MPa}\ .\ \cot 45}$$

$\frac{At}{s} = 0{,}606\ \text{mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki}$

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar 0,606 mm^2 / mm / satu kaki.

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7.

$$Al = \frac{At}{s}\ .\ P_h\ .\ \frac{f_{yt}}{f_y}\ .\ \cot^2\theta$$

$$= 0{,}606 \cdot 1040 \text{ mm} \cdot \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \cdot \cot^2 45$$
$$= 441{,}18 \text{ mm}^2$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min}

$$Al_{min} = \frac{0{,}42 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot Acp}{fy} - \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}$$
$$= \frac{0{,}42\sqrt{30 \text{ MPa}} \cdot 120000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 0{,}606.1040 \text{ mm} \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$
$$= 243{,}47 \text{ mm}^2$$

Nilai yang digunakan adalah Al = 441,18 mm^2

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{441{,}18 \text{ mm}^2}{4} = 110{,}3 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$$2 \cdot \frac{Al}{4} = 2 \cdot 110{,}3 \text{ mm}^2 = 220{,}59 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan torsi 2D13

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

$$As = 0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$$
$$= 0{,}25 \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \cdot 2$$
$$= 265{,}46 \text{ mm}^2$$

Kontrol

As pasang $\geq$ As perlu

$265{,}46 \text{ mm}^2 \geq 220{,}59 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

4.4.4.2. Penulangan Lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$
$$= \frac{600}{600 + 400} \cdot 339 \text{ mm}$$

= 203,4 mm

Garis netal maksimum

X_{max} = 0,75 . Xb

= 0,75 . 203,4 mm

= 152,6 mm

Garis netral minimum

X_{min} = d'

= 61 mm

Garis netral rencana (asumsi)

$X_{rencana}$ = 150 mm

Komponen beton tertekan

Cc' = 0,85 . fc' . b . β_1 . $X_{rencana}$

= 0,85 . 30 MPa . 300 mm . 0,83 . 200 mm

= 975375 N

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$Asc = \frac{0{,}85 \,.\, fc' \,.\, b \,.\, \beta_1 \,.\, X_{rencana}}{fy}$$

$$= \frac{0{,}85 \,.\, 30\ MPa \,.\, 300\ mm \,.\, 0{,}83 \,.\, 150\ mm}{400\ MPa}$$

= 2438,44 mm

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \,.\, fy \,.\, \left(d - \frac{\beta_1 \,.\, X_{rencana}}{2}\right)$$

$$= 2438{,}44\ mm \,.\, 400\ MPa \left(339 - \frac{0{,}83 \,.\, 200}{2}\right)$$

= 268471969 Nmm

Daerah tumpuan

Mu = 184640584 Nmm

Mn = 386195578 Nmm / 0,9

= 205156204.4 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap

Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc

= 205156204.4 Nmm - 268471969 Nmm

= -63315764 Nmm

Mns = -63315764 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{205156204.4\ Nmm}{300\ mm.(339\ mm)^2} = 5{,}95\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4\ .\ 400} = 0{,}0034$$

digunakan ρ_{min} = 0,0034 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'} = \frac{400}{0{,}85.30} = 15{,}69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right] = \frac{1}{15{,}69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 5{,}95}{400}}\right] = 0{,}017$$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

0,0035 < 0, 017 < 0,025

Maka ρ digunakan adalah ρ_{perlu} = 0, 017

As = ρ_{perlu}. b . d

= 0, 017. 300 mm . 339 mm

= 1748.81 mm^2

Luas tulangan lentur = 0,25 . π . D^2

= 0,25 . π . $(22\ mm)^2$

$= 380{,}13\ mm^2$

Tulangan lentur tarik

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 1748.81\ mm^2 + 110{,}3\ mm^2$

$= 1859{,}11\ mm^2$

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{1859{,}11\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$

$= 4{,}9$ buah ~ 5 buah

Dipasang tulangan lentur 5D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 5.\ 380{,}13\ mm^2$

$= 1900.66\ mm^2$

Kontrol

As_{perlu}		As_{pasang}
$1859{,}11\ mm^2$	<	$1900.66\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 3 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$S_{maks} = \frac{b-(2\ .\ decking)-(2\ .\ Øgeser)-(n\ .\ Dlentur)}{n-1}$

$= \frac{400\ mm-(2\ .\ 40\ mm)-(2\ .\ 10\ mm)-(3\ .\ 22\ mm)}{3-1}$

$= 67\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

Tulangan lentur tekan

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 0\ mm^2 + 110{,}3\ mm^2$

$= 110{,}3\ mm^2$

$$n = \frac{\text{As' perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$

$$= \frac{110{,}3\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$$

$= 0{,}29 \approx 3$ buah

Dipasang tulangan lentur 3D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 3 . 380{,}13\ mm^2$

$= 1140{,}40\ mm^2$

Kontrol

$As'_{perlu} < As'_{pasang}$

$110{,}3\ mm^2 < 1140{,}40\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{b-(2 . \text{ decking})-(2 . \text{Øgeser})-(n . \text{ Dlentur})}{n-1}$$

$$= \frac{400\ mm-(2 .\ 50\ mm)-(2 .\ 10\ mm)-(3 .\ 22\ mm)}{3-1}$$

$= 67\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$As_{pasang} = 1900.66\ mm^2$

$As'_{pasang} = 1140{,}40\ mm^2$

M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

$1140{,}40\ mm^2 \geq 950{,}33\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As .\ fy}{0{,}85 .\ fc' .\ b}$$

$$= \frac{1900.66 \; . \; 400}{0{,}85 \; . \; 30 \; . \; 300}$$

$$= 99{,}38 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{99{,}38 \text{ mm}}{0{,}83}$$

$$= 118{,}92 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)}$$

$$\frac{118{,}92 \text{ mm}}{339} \leq 0{,}375$$

$$0{,}35 \leq 0{,}375 \text{ (OK)}$$

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$$Mn = 0{,}85 \; . \; fc' \; . \; a \; . \; b \; . \; (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0{,}85 \; . \; 30 \text{ N/mm}^2 \; . \; 99{,}38 \text{ mm} \; . \; 300 \text{ mm} \; . \; (339 \text{ mm} - \frac{99{,}38 \text{ mm}}{2})$$

$$= 219951970.8 \text{ Nmm}$$

Maka,

Mn_{pasang} > Mn

219951970.8 Nmm > 205156204.4 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk (35/55) pada daerah tumpuan dipakai:

- Tulangan tarik 2 lapis
  Lapis 1 = 3D22
  Lapis 2 = 2D22
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 3D22

Daerah lapangan

Mu = 101358353.1 Nmm

Mn = 101358353.1 Nmm / 0,9

= 112620392.3 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap

Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc

= 112620392.3 Nmm - 268471969 Nmm

= -155851576.4 Nmm

Mns = -155851576.4 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{112620392.3\ \text{Nmm}}{300\ \text{mm}.(339\ \text{mm})^2} = 3{,}27\ \text{N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4\ .\ 400} = 0{,}0034$$

digunakan ρ_{min} = 0,0034 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'} = \frac{400}{0{,}85.30} = 15{,}69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right] = \frac{1}{15{,}69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 3{,}27}{400}}\right] = 0{,}0088$$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0035 < 0{,}0088 < 0{,}025$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{perlu} = 0{,}0088$

$As = \rho_{perlu}. b . d$

$= 0{,}0088. 300\ mm . 339\ mm$

$= 891{,}88\ mm^2$

Luas tulangan lentur $= 0{,}25 . \pi . D^2$

$= 0{,}25 . \pi . (22\ mm)^2$

$= 380{,}13\ mm^2$

Tulangan lentur tarik

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 891{,}88\ mm^2 + 110{,}3\ mm^2$

$= 1002{,}17\ mm^2$

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{1002{,}17\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$

$= 2{,}64$ buah ~ 3 buah

Dipasang tulangan lentur 3D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 3. 380{,}13\ mm^2$

$= 1140{,}40\ mm^2$

Kontrol

$As_{perlu} < As_{pasang}$

$1002{,}17\ mm^2 < 1140{,}40\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 3 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$S_{maks} = \frac{b-(2 .\ decking)-(2 . Øgeser)-(n .\ Dlentur)}{n-1}$

$$= \frac{400 \text{ mm}-(2 \text{ . } 40 \text{ mm})-(2 \text{ . } 10 \text{ mm})-(3 \text{ . } 22 \text{ mm})}{3-1}$$

$= 67 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Tulangan lentur tekan

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$= 0 \text{ mm}^2 + 110{,}3 \text{ mm}^2$

$= 110{,}3 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{As' \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$

$$= \frac{110{,}3 \text{ mm}^2}{380{,}13 \text{ mm}^2}$$

$= 0{,}29 \approx 3$ buah

Dipasang tulangan lentur 3D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 3 \text{ . } 380{,}13 \text{ mm}^2$

$= 1140{,}40 \text{ mm}^2$

Kontrol

$As'_{perlu} < As'_{pasang}$

$110{,}3 \text{ mm}^2 < 1140{,}40 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{b-(2 \text{ . decking})-(2 \text{ . } \varnothing\text{geser})-(n \text{ . Dlentur})}{n-1}$$

$$= \frac{400 \text{ mm}-(2 \text{ . } 50 \text{ mm})-(2 \text{ . } 10 \text{ mm})-(2 \text{ . } 22 \text{ mm})}{2-1}$$

$= 156 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur lapangan (-) $\geq \frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As_{pasang} = 1140,40 mm^2

As'_{pasang} = 1140,40 mm^2

M lentur lapangan (-) $\geq$ $\frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

1140,40 mm^2 $\geq$ 475,17 mm^2 (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As \,.\, fy}{0{,}85 \,.\, fc'.\, b} = \frac{1140{,}40 \,.\, 400}{0{,}85 \,.\, 30 \,.\, 300} = 59{,}63 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{59{,}63 \text{ mm}}{0{,}83} = 71{,}35 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)}$$

$$\frac{71{,}35 \text{ mm}}{339} \leq 0{,}375$$

$$0{,}21 \leq 0{,}375 \text{ (OK)}$$

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$$Mn = 0{,}85 \,.\, fc' \,.\, a \,.\, b \,.\, (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0{,}85 \,.\, 30 \text{ N/mm}^2 \,.\, 59{,}63 \text{ mm} \,.\, 300 \text{ mm} \,.\, (339 \text{ mm} - \frac{59{,}63 \text{ mm}}{2})$$

$$= 141037904.2 \text{ Nmm}$$

Maka,

Mn_{pasang} > Mn
141037904.2 Nmm > 112620392.3 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/40) pada daerah lapangan dipakai:
- Tulangan tarik 1 lapis
  Lapis 1 = 3D22
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 3D22

4.4.4.3. Penulangan Geser

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7, V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dengan Vn adalah $\frac{V_e}{\phi}$

Menurut pasal 21.5.4.1 Gaya geser desaim, Ve, harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, Mpr, bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

<u>Gaya geser desain</u>
Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B2 (30/40), didapat:
Dipasang:
tulangan tarik 5D22, As = 1900,66 mm^2
tulangan tekan 3D22, As' = 1140,40 mm^2

Tinggi balok gaya tekan beton

$a_1 = \frac{As \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' . \ b}$

$= \frac{1900{,}66 \text{ mm}^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2}{0{,}85 \ . \ 30 \text{ N/mm}^2 . \ 300 \text{ mm}}$

$= 124{,}2 \text{ mm}$

$M_{pr1} = As \ . 1{,}25 \text{ fy} \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= 1900{,}66 \text{ mm}^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2 \left(339 \text{ mm} - \frac{124{,}2 \text{ mm}}{2}\right)$

$= 263134336.2 \text{ Nmm}$

$a_2 = \frac{As' \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' . \ b}$

$= \frac{1140{,}40 \text{ mm}^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2}{0{,}85 \ . \ 30 \text{ N/mm}^2 . \ 300 \text{ mm}}$

$= 74{,}54 \text{ mm}$

$M_{pr2} = As' \ . 1{,}25 \text{ fy} \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= 1140{,}40 \text{ mm}^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2 \left(339 \text{ mm} - \frac{74{,}54 \text{ mm}}{2}\right)$

$= 172047354 \text{ Nmm}$

$Vu = 163877.38 \text{ N}$

(didapat dari ETABS kombinasi 1,2D+1,0L maksimum)

$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u + L_n}{2}$

$= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u$

$= \frac{263134336.2 + 172047354}{8100 - 1000} + 163877.38$

$= 220029.86 \text{ N}$

Sehingga gaya geser desain untuk daerah tumpuan sebesar:

$V_e = 220029.86 \text{ N}$

Untuk $Ve_{lapangan}$ dilakukan interpolasi, didapatkan besarnya Ve diluar sendi plastis (2h = 0,8 m)
$Ve_{lapangan}$ = 174604.34 N

Daerah Tumpuan
Kuat geser beton

Pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan $V_c = 0$ jika keduanya (a) dan (b) terjadi:

(a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa V_e mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum
V_e > ½ Vu
220029.86 N > ½ 163877.38
220029.86 N > 73201.85 (OK)

(b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u, termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c'$/ 20
Nilai P_u pada balok induk = 0 (OK)

Maka perhitungan selanjutnya dianggap Vc = 0

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$$
$$= \frac{1}{3} . 300 \text{ mm} . 339 \text{ mm}$$
$$= 33900 \text{ N}$$
$$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$$
$$= \frac{220029.86}{0,75} - 0$$
$$= 293373 \text{ N}$$

$Vs_{min} < Vs_{perlu}$
33900 N < 293373 N
Maka selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$$Vs = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{S}$$

$$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy \cdot d}$$

$$= \frac{293373}{280 \cdot 339}$$

$$= 3{,}09 \text{ mm}^2/\text{mm} / \text{dua kaki}$$

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

$$\frac{At}{S} = 0{,}606 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \cdot At}{S} + \frac{Av}{S}$$

$$= 2 \cdot 0{,}606 + 3{,}09$$

$$= 4{,}30 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dengan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm:

$$A_{D13} = 0{,}25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 2$$

$$= 265{,}5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$

$$= \frac{265{,}5 \text{ mm}^2}{4{,}30 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$

$$= 61{,}7 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1040/8 = 130 mm atau 300 mm

Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 2 D 13-60 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013

Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{30} \frac{300 \cdot 60}{280}$$

$$= 21{,}8 \text{ mm}^2 < 265{,}5 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{dan } (0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 300 \cdot 60) / 280$$

$$= 22{,}5 \text{ mm}^2 < 265{,}5 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Syarat SRPMK

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.1 bahwa pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;

Wilayah tumpuan direncanakan sepanjang
2h = 2 . 400 mm
= 800 mm

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

(a) d/4
So < d/4
60 mm < 339 mm/4
60 mm < 84,75 mm (memenuhi)

(b) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
So < 6 . D lentur
60 mm < 6 . 22 mm
60 mm < 132 mm (memenuhi)

(c) 150 mm
So < 150 mm
60 mm < 150 mm (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D13 – 60 mm dengan 2 kaki.

Daerah Lapangan

$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$

$= \frac{1}{3} . 300 \text{ mm} . 339 \text{ mm}$

$= 33900$ N

$Vc = 0{,}17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$

$= 0{,}17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30\ MPa} \cdot 300\ mm \cdot 339\ mm$

$= 92838.97$ N

$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$

$= \frac{174604.34}{0{,}75}$ - 92838.97 N

$= 139967$ N

$Vs_{min} < Vs_{perlu}$

33900 N < 139967 N

Maka selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$Vs = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{S}$

$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy \cdot d}$

$= \frac{139967}{280 \cdot 339}$

$= 1{,}47\ mm^2/mm$ / dua kaki

<u>Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi</u>

$\frac{At}{S} = 0{,}606\ mm^2$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \cdot At}{S} + \frac{Av}{S}$

$= 2 \cdot 0,\ 606 + 1{,}47$

$= 2{,}69\ mm^2/mm$

Dipakai tulangan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm:

$A_{D13} = 0{,}25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 2$

$= 265{,}5\ mm^2$

$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$

$$= \frac{265{,}5 \text{ mm}^2}{2{,}69 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$
$$= 98{,}8 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1040/8 = 130 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 2 D 13-90 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{fyt}$ $= 0{,}062 \sqrt{30} \frac{300 \cdot 90}{280}$
$= 32{,}75 \text{ mm}^2 < 339{,}29 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt$ $= (0{,}35 \cdot 300 \cdot 90) / 280$
$= 33{,}75 \text{ mm}^2 < 339{,}29 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Pada daerah diluar sendi plastis sengkang dengan kait harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari d/2.

So < d/2
90 mm < 339 mm/2
90 mm < 169,5 mm (memenuhi)

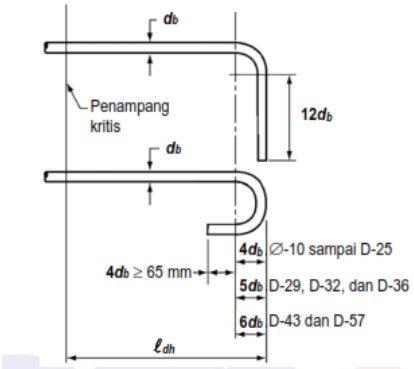
Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D13 – 90 mm dengan 2 kaki.

4.4.4.4. Perhitungan panjang penyaluran

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan seperti berikut:

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standart, ldh, harus ditentukan sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2 dan ldh tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm.



Gambar 4. 14 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\,\psi e\, fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$$

Dimana

$\psi e = 1$

$\lambda = 1$ (beton normal)

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\,\psi e\, fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$$

$$= \left(\frac{0{,}24\,.\,1\,.\,400\ \text{N/mm}^2}{1\sqrt{30\ \text{N/mm}^2}}\right) 22\ \text{mm}$$

$$= 385.60\ \text{mm}$$

$As_{perlu} = 1859{,}11\ mm^2$

$As_{pasang} = 1900{,}66\ mm^2$

$$l_{dh\ reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \,.\, ld$$

$$= \frac{1859{,}11\ mm^2}{1900{,}66\ mm^2} \,.\, 385.60\ mm$$

$$= 377.17\ mm \approx 400\ mm$$

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1

l_{dh} > $8d_b$

400 mm > 8. 22 mm

400 mm > 176 mm (memenuhi)

l_{dh} > 150 mm

400 mm > 150 mm (memenuhi)

$$l_{dh} > \frac{f_y\, d_b}{5{,}4\sqrt{fc'}}$$

$$400\text{ mm} > \frac{400 \cdot 22}{5{,}4\sqrt{30}}$$

400 mm > 297,53 mm (memenuhi)

Selanjutnya ditambah dengan kait sepanjang $12d_b$.

$12d_b$ = 12 . 22 mm

= 264 mm

Sehingga digunakan l_{dh} sepanjang 400 mm kemudian ditambah dengan kait 90^o sepanjang 300 mm

<u>Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik</u>

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir D-22 dan yang lebih kecil, ld harus dihitung dengan rumus di bawah ini dan ld tidak boleh kurang dari 300 mm.

$$l_d = \left(\frac{fy \cdot \psi t \cdot \psi e}{1{,}7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'}}\right) db$$

Dimana

Fc’ = 30 MPa

fy = 400 MPa

db = 22 mm

ψt = 1

ψe = 1,5

λ = 1 (beton normal)

$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e}{1{,}7 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}}\right) db$

$= \left(\frac{400 \,.\, 1 \,.\, 1{,}5}{1{,}7 \,.\, 1 \,.\, \sqrt{30}}\right) 22$

$= 1418 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (memenuhi)

$As_{perlu} = 1859{,}11 \text{ mm}^2$

$As_{pasang} = 1900{,}66 \text{ mm}^2$

$ld_{reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \,.\, ld$

$= \frac{1859{,}11 \text{ mm}^2}{1900{,}66 \text{ mm}^2} \,.\, 1418 \text{ mm}$

$= 1387 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm}$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1500 mm.

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.2(b)

$l_d > 3{,}25\ l_{dh}$

1500 mm > 3,25 400 mm

1500 mm > 1300 mm (memenuhi)

Pada pasal 21.7.5.3 menyebutkan Batang tulangan lurus yang berhenti pada suatu joint harus melewati inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebarang bagian l_d tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6 kali.

<u>Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan</u>

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 dan ldc tidak boleh kurang dari 200 mm.

$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24\, fy}{\lambda \sqrt{fc'}}\right) d_b$

l_{dc} $= \left(\frac{0{,}24 \,.\, 400\ \mathrm{N/mm^2}}{1\sqrt{30\ \mathrm{N/mm^2}}} \right) 22$ mm

l_{dc} = 385,6 mm

atau

l_{dc} = (0,043 . fy) d_b

= (0,043 . 400) 22 mm

= 378,4 mm

Maka ldc diambil 385,6 mm > 200 mm (memenuhi)

As'_{perlu} = 110,2 mm^2

As'_{pasang} = 1140,40 mm^2

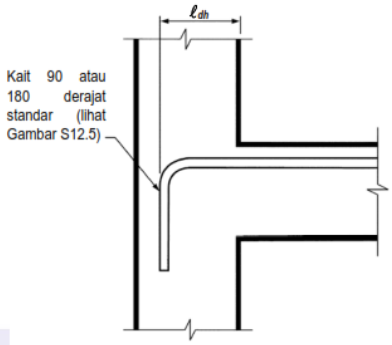
$l_{dc\ reduksi} = \frac{As'\ perlu}{As'\ pasang} \,.\, l_{dc}$

$= \frac{166{,}38\ mm^2}{1520{,}53\ mm^2} \,.\, 385{,}6$ mm

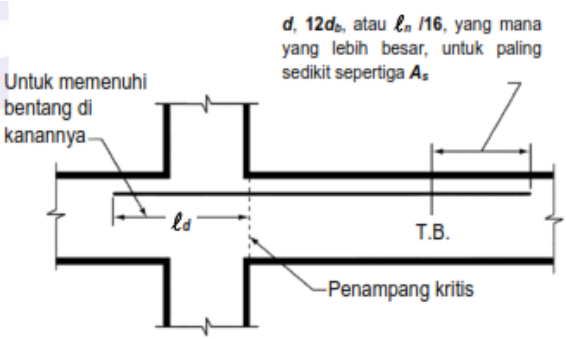
= 37,29 mm ≈ 200 mm

<u>Penyaluran tulangan momen negatif</u>

Berdasar pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari ***d***, ***12d_b/, dan l_n/16***, yang mana yang lebih besar.



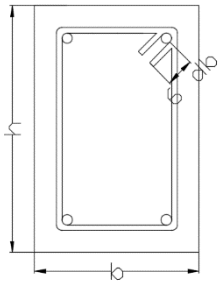
Gambar 4. 15 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior



Gambar 4. 16 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya

d = 339 mm
12 . db = 12 . 22 mm = 264 mm
Ln/16 = (8100 mm – 1000 mm)/16 = 443,75 mm
Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 443,75 mm, maka digunakan penyaluran tulangan momen negative = 500 mm.

Kait standart untuk sengkang
Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan **6d_b** pada ujung bebas batang tulangan.



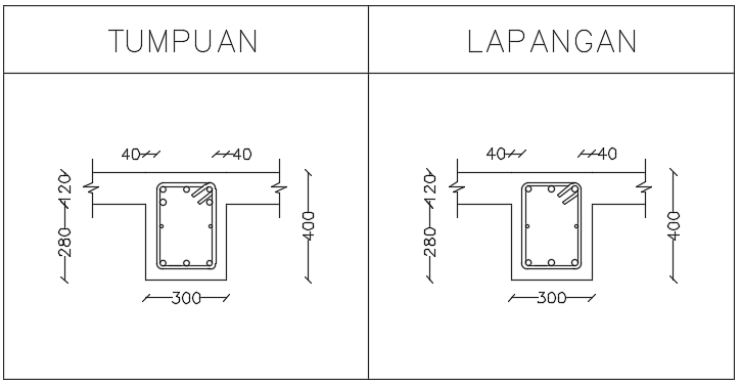
Gambar 4. 17 Kait standart untuk sengkang

$6d_b$ = 6 . 12 mm

= 72 mm < 75 mm
Digunakan panjang kait 75 mm

Tabel 4. 11 Rekapitulasi penulangan balok anak

REKAPITULASI PENULANGAN BALOK ANAK			
Torsi			2 D 13
Lentur	Tumpuan	Tarik	5 D 22
		Tekan	3 D 22
	Lapangan	Tarik	3 D 22
		Tekan	2 D 22
Geser	Tumpuan		2D13 - 60
	Lapangan		2D13 - 90



Gambar 4. 18 Penulangan balok anak

4.4.5. Perhitungan Balok Bordes

Perhitungan tulangan balok bordes. Berikut merupakan data perencanaan balok, dan perhitungan penulangan torsi, lentur dan geser pada balok bordes dengan menggunakan metode SRPMK sesuai SNI 2847-2013.

Tipe balok = B3 (30/40)
Bentang balok (L) = 4050 mm

Lebar balok (b) = 400 mm
Tinggi balok (h) = 300 mm
Kuat tekan beton (f'_c) = 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) = 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) = 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D torsi) = 13 mm
Diameter tulangan lentur (D lentur) = 22 mm
Diameter tulangan geser (D geser) = 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) = 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
Tebal selimut beton (t decking) = 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Tinggi efektif balok :
d = h – decking – Dsengkang – ½ D lentur
= 400 mm – 40 mm – 13 mm - ½ . 22 mm
= 339 mm
d' = h - d
= 400 mm - 339 mm
= 61 mm

Karena mutu beton berada di atas 28 MPa, maka nilai β1, di gunakan perumusan sesuai dengan (SNI 2847:2013 ps 10.2.7.3)

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\,\frac{(f'_c-28)}{7}$$
$$= 0{,}83$$

Dari hasil analisa struktur didapatkan hasil untuk momen kombinasi envelope terfaktor maksimum sebagai berikut:

Mu = 165788989 Nmm (tumpuan)

Mu = 123425891.6 Nmm (lapangan)

4.4.5.1. Penulangan Torsi

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$A_{cp} = b_{balok} . h_{balok}$

$= 300 \text{ mm} . 400 \text{ mm}$

$= 120000 \text{ mm}^2$

Parimeter luar irisan penampang beton

$P_{cp} = 2 . (b_{balok} + h_{balok})$

$= 2 . (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm})$

$= 1400 \text{ mm}$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser}). (h_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser})$

$= (300 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}).(400 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})$

$= 65100 \text{ mm}^2$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$P_h = 2. [(b_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser})]$

$= 2. [(350 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (400 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})]$

$= 1040 \text{ mm}$

Momen puntir ultimate

Tu = 80721060.75 Nmm

(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu kurang dari

$$Tu_{min} = \phi.0{,}083 . \lambda . \sqrt{f_c'} . \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$= 0{,}75 . 0{,}083.\sqrt{30}.\left(\frac{(120000)^2}{1400}\right)$$

$= 3521073.58 \text{ Nmm}$

Tu < Tu min
80721060.75 Nmm > 3521073.58 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan, Tu maksimum boleh direduksi menjadi:

$$Tu = \phi.0{,}33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$= 0{,}75 \cdot 0{,}33.\sqrt{30}.\left(\frac{(120000)^2}{1400}\right)$$

$$= 14084294.34 \text{ Nmm}$$

Sehingga,

Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{14084294.34 \text{ Nmm}}{0{,}75} = 18779059.11 \text{ Nmm}$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

Dengan Vc sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1 mengenai kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen beton non-prategang.

$Vc = 0{,}17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$

Dimana $\lambda = 1$ (untuk beton normal)

Maka,

$$Vc = 0{,}17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}. b_w \cdot d$$

$$= 0{,}17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ MPa}} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 339 \text{ mm}$$

$$= 92838.97 \text{ N}$$

Vu = 55346.65 N
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2_{oh}}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{55346.65\ \text{N}}{300\ \text{mm}.\ 339\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{14084294.34\ \text{Nmm}\ .\ 1040\ \text{mm}}{1{,}7\left(65100\ \text{mm}^2\right)^2}\right)^2}$$

$$\le 0{,}75\left(\frac{92838.97\ \ \text{N}}{300\ \text{mm}.\ 339\ \text{mm}} + 0{,}66\sqrt{30\ \text{MPa}}\right)$$

$0{,}54 \quad \le \quad 3{,}18$ (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6(a), Untuk struktur non-prategang

$\theta = 45^o$

$A_o = 0{,}85\ A_{oh}$
$= 0{,}85\ .\ 65100\ \text{mm}^2$
$= 55335\ \text{mm}^2$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2\ .\ Ao\ .\ fyt\ .\ \cot\theta}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6

$$\frac{At}{s} = \frac{18779059.11\ \text{Nmm}}{2\ .\ 55335\ \text{mm}^2\ .\ 280\ \text{MPa}\ .\ \cot 45}$$

$\frac{At}{s} = 0{,}606\ \text{mm}^2 / \text{mm} /$ satu kaki

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar 0, 606 mm^2 / mm / satu kaki

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7.

$$Al = \frac{At}{s} . P_h . \frac{f_{yt}}{f_y} . \cot^2\theta$$

$$= 0{,}606 . 1040 \text{ mm} . \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} . \cot^2 45$$

$$= 441{,}18 \text{ mm}^2$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min}

$$Al_{min} = \frac{0{,}42 . \sqrt{f_c'} . Acp}{fy} - \frac{At}{s} . P_h . \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{0{,}42\sqrt{30 \text{ MPa}}\ 120000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 0{,}606 . 1040 \text{ mm} \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$

$$= 243{,}47 \text{ mm}^2$$

Nilai yang digunakan adalah $Al = 441{,}18 \text{ mm}^2$

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{441{,}18 \text{ mm}^2}{4} = 110{,}3 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$$2 . \frac{Al}{4} = 2 . 110{,}3 \text{ mm}^2 = 220{,}59 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan torsi 2D13

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

$$As = 0{,}25 . \pi . D^2 . n$$

$$= 0{,}25 . \pi . (13 \text{ mm})^2 . 2$$

$$= 265{,}46 \text{ mm}^2$$

Kontrol

As pasang $\geq$ As perlu

$265{,}46 \text{ mm}^2 \geq 220{,}59 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

4.4.5.2. Penulangan Lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} . d$$

$= \frac{600}{600+ 400}$. 339 mm
= 203,4 mm

Garis netal maksimum

X_{max} = 0,75 . Xb
= 0,75 . 203,4 mm
= 152,6 mm

Garis netral minimum

X_{min} = d'
= 61 mm

Garis netral rencana (asumsi)

$X_{rencana}$ = 150 mm

Komponen beton tertekan

Cc' = 0,85 . fc' . b . β_1 . $X_{rencana}$
= 0,85 . 30 MPa . 300 mm . 0,83 . 200 mm
= 975375 N

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$Asc = \frac{0{,}85 \,.\, fc' \,.\, b \,.\, \beta_1 \,.\, X_{rencana}}{fy}$$

$$= \frac{0{,}85 \,.\, 30\ MPa \,.\, 300\ mm \,.\, 0{,}83 \,.\, 150\ mm}{400\ MPa}$$

= 2438,44 mm

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \,.\, fy \,.\, \left(d - \frac{\beta_1 \,.\, X_{rencana}}{2}\right)$$

$$= 2438{,}44\ mm \,.\, 400\ MPa \left(339 - \frac{0{,}83 \,.\, 200}{2}\right)$$

= 268471969 Nmm

Daerah tumpuan

Mu = 165788989 Nmm
Mn = 165788989 Nmm / 0,9
= 184209987.8 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap
Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc
= 184209987.8 Nmm - 268471969 Nmm
= -84261981 Nmm

Mns = -84261981 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{184209987.8\ Nmm}{300\ mm.(339\ mm)^2} = 5{,}34\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4\ .\ 400} = 0{,}0034$$

digunakan ρ_{min} = 0,0034 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'} = \frac{400}{0{,}85.30} = 15{,}69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right] = \frac{1}{15{,}69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 5{,}34}{400}}\right] = 0{,}015$$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

0,0035 < 0, 015 < 0,025

Maka ρ digunakan adalah ρ_{perlu} = 0, 015

As = ρ_{perlu}. b . d
= 0, 015. 300 mm . 339 mm
= 1541,8 mm^2

Luas tulangan lentur $= 0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2$
$= 0{,}25 \cdot \pi \cdot (22\ mm)^2$
$= 380{,}13\ mm^2$

Tulangan lentur tarik

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$
$$= 1541{,}8\ mm^2 + 110{,}3\ mm^2$$
$$= 1652{,}1\ mm^2$$
$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$
$$= \frac{1652{,}1\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$$
$$= 4{,}3 \text{ buah} \sim 5 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 5D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur
$= 5.\ 380{,}13\ mm^2$
$= 1900.66\ mm^2$

Kontrol

As_{perlu}	<	As_{pasang}
$1652{,}1\ mm^2$	<	$1900.66\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 3 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$$S_{maks} = \frac{b-(2 \cdot \text{decking})-(2 \cdot \text{Øgeser})-(n \cdot \text{Dlentur})}{n-1}$$
$$= \frac{400\ mm-(2 \cdot 40\ mm)-(2 \cdot 10\ mm)-(3 \cdot 22\ mm)}{3-1}$$
$$= 67\ mm > 25\ mm \text{ (memenuhi)}$$

Tulangan lentur tekan

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 0\ mm^2 + 110{,}3\ mm^2$

$= 110{,}3\ mm^2$

$n = \frac{As'\ perlu}{Luas\ tulangan\ lentur}$

$= \frac{110{,}3\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$

$= 0{,}29 \approx 4$ buah

Dipasang tulangan lentur 4D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 4 . 380{,}13\ mm^2$

$= 1520{,}53\ mm^2$

Kontrol

$As'_{perlu} < As'_{pasang}$

$110{,}3\ mm^2 < 1520{,}53\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$S_{maks} = \frac{b-(2 .\ decking)-(2 . \emptyset geser)-(n .\ Dlentur)}{n-1}$

$= \frac{400\ mm-(2 .\ 50\ mm)-(2 .\ 10\ mm)-(4 .\ 22\ mm)}{4-1}$

$= 37{,}33\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$As_{pasang} = 1900.66\ mm^2$

$As'_{pasang} = 1520{,}53\ mm^2$

M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

$1520{,}53\ mm^2 \geq 950{,}33\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As \,.\, fy}{0{,}85 \,.\, fc' .\, b}$$
$$= \frac{1900.66 \,.\, 400}{0{,}85 \,.\, 30 \,.\, 300}$$
$$= 99{,}38 \text{ mm}$$
$$c = \frac{a}{\beta_1}$$
$$= \frac{99{,}38 \text{ mm}}{0{,}83}$$
$$= 118{,}92 \text{ mm}$$
$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)}$$
$$\frac{118{,}92 \text{ mm}}{339} \leq 0{,}375$$
$$0{,}35 \leq 0{,}375 \text{ (OK)}$$

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$$Mn = 0{,}85 \,.\, fc' \,.\, a \,.\, b \,.\, (d - \frac{a}{2})$$
$$= 0{,}85 \,.\, 30 \text{ N/mm}^2 \,.\, 99{,}38 \text{ mm} \,.\, 300 \text{ mm} \,.\, (339 \text{ mm} - \frac{99{,}38 \text{ mm}}{2})$$
$$= 225618671.9 \text{ Nmm}$$

Maka,

Mn_{pasang} > Mn

225618671.9 Nmm > 205156204.4 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk (35/55) pada daerah tumpuan dipakai:

- Tulangan tarik 2 lapis
  Lapis 1 = 3D22
  Lapis 2 = 2D22
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 4D22

Daerah lapangan

Mu = 123425891.6 Nmm

Mn = 123425891.6 Nmm / 0,9

= 137139879.6 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap

Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc

= 137139879.6 Nmm - 268471969 Nmm

= -131332089.2 Nmm

Mns = -131332089.2 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{137139879.6\ Nmm}{300\ mm.(339\ mm)^2} = 3{,}98\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4\ .\ 400} = 0{,}0034$$

digunakan ρ_{min} = 0,0034 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'} = \frac{400}{0{,}85.30} = 15{,}69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right] = \frac{1}{15{,}69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 3{,}27}{400}}\right] = 0{,}0109$$

Cek persyaratan :

ρ_{min} < ρ_{perlu} < ρ_{maks}

0,0035 < 0,0109 < 0,025

Maka ρ digunakan adalah ρ_{perlu} = 0,0109

As = ρ_{perlu}. b . d

= 0,0109 . 300 mm . 339 mm

= 1105,63 mm^2

Luas tulangan lentur = 0,25 . π . D^2

= 0,25 . π . $(22\ mm)^2$

= 380,13 mm^2

Tulangan lentur tarik

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

= 1105,63 mm^2 + 110,3 mm^2

= 1215,92 mm^2

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{1215{,}92\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$

= 3,2 buah ~ 4 buah

Dipasang tulangan lentur 4D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

= 4. 380,13 mm^2

= 1520,53 mm^2

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

1215,92 mm^2 < 1520,53 mm^2 (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 3 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$S_{maks} = \frac{b-(2\ .\ decking)-(2\ .\ \emptyset geser)-(n\ .\ Dlentur)}{n-1}$

$$= \frac{400 \text{ mm}-(2 \text{ . } 40 \text{ mm})-(2 \text{ . } 10 \text{ mm})-(4 \text{ . } 22 \text{ mm})}{4-1}$$

$= 37{,}33 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Tulangan lentur tekan

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 0 \text{ mm}^2 + 110{,}3 \text{ mm}^2$

$= 110{,}3 \text{ mm}^2$

$n = \frac{\text{As' perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{110{,}3 \text{ mm}^2}{380{,}13 \text{ mm}^2}$

$= 0{,}29 \approx 3$ buah

Dipasang tulangan lentur 3D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 3 \text{ . } 380{,}13 \text{ mm}^2$

$= 1140{,}40 \text{ mm}^2$

Kontrol

$As'_{perlu} < As'_{pasang}$

$110{,}3 \text{ mm}^2 < 1140{,}40 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{b-(2 \text{ . decking})-(2 \text{ . } \varnothing\text{geser})-(n \text{ . Dlentur})}{n-1}$$

$$= \frac{400 \text{ mm}-(2 \text{ . } 50 \text{ mm})-(2 \text{ . } 10 \text{ mm})-(3 \text{ . } 22 \text{ mm})}{3-1}$$

$= 67 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur lapangan (-) $\geq \frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As_{pasang} = 1520,53 mm^2

As'_{pasang} = 1140,40 mm^2

M lentur lapangan (-) $\geq$ $\frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

1140,40 mm^2 $\geq$ 475,17 mm^2 (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As \,.\, fy}{0{,}85 \,.\, fc' .\, b}$$

$$= \frac{1520{,}53 \,.\, 400}{0{,}85 \,.\, 30 \,.\, 300}$$

$$= 79{,}5 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{79{,}5 \text{ mm}}{0{,}83}$$

$$= 95{,}13 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)}$$

$$\frac{95{,}13 \text{ mm}}{339} \leq 0{,}375$$

$$0{,}281 \leq 0{,}375 \text{ (OK)}$$

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$$Mn = 0{,}85 \,.\, fc' \,.\, a \,.\, b \,.\, (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0{,}85 \,.\, 30 \text{ N/mm}^2 \,.\, 79{,}5 \text{ mm} \,.\, 300 \text{ mm} \,.\, (339 \text{ mm} - \frac{79{,}5 \text{ mm}}{2})$$

$$= 185632746.5 \text{ Nmm}$$

Maka,

Mn_{pasang} > Mn
185632746.5 Nmm > 137139879.6 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/40) pada daerah lapangan dipakai:
- Tulangan tarik 1 lapis
  Lapis 1 = 4D22
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 3D22

4.4.5.3. Penulangan Geser

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7, V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dengan Vn adalah $\frac{V_e}{\phi}$

Menurut pasal 21.5.4.1 Gaya geser desaim, Ve, harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, Mpr, bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Gaya geser desain

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B3 (30/40), didapat:
Dipasang:
tulangan tarik 5D22, As = 1900,66 mm^2
tulangan tekan 4D22, As' = 1520,53 mm^2

Tinggi balok gaya tekan beton

$a_1 = \frac{As \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' . \ b}$

$= \frac{1900{,}66 \text{ mm}^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2}{0{,}85 \ . \ 30 \text{ N/mm}^2 . \ 300 \text{ mm}}$

$= 124{,}2$ mm

$M_{pr1} = As \ . 1{,}25 \text{ fy} \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= 1900{,}66 \text{ mm}^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2 \left(339 \text{ mm} - \frac{124{,}2 \text{ mm}}{2}\right)$

$= 263134336.2$ Nmm

$a_2 = \frac{As' \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' . \ b}$

$= \frac{1520{,}53 \text{ mm}^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2}{0{,}85 \ . \ 30 \text{ N/mm}^2 . \ 300 \text{ mm}}$

$= 99{,}38$ mm

$M_{pr2} = As' \ . 1{,}25 \text{ fy} \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= 1520{,}53 \text{ mm}^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \text{ N/mm}^2 \left(339 \text{ mm} - \frac{99{,}38 \text{ mm}}{2}\right)$

$= 219951971$ Nmm

$Vu = 55346.65$ N
(didapat dari ETABS kombinasi 1,2D+1,0L maksimum)

$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u + L_n}{2}$

$= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u$

$= \frac{263134336.2 + 219951971}{4050 - 750} + 55346.65$

$= 201736.44$ N

Sehingga gaya geser desain untuk daerah tumpuan sebesar:

$V_e = 201736.44$ N

Untuk $Ve_{lapangan}$ dilakukan interpolasi, didapatkan besarnya Ve diluar sendi plastis (2h = 0,8 m)
$Ve_{lapangan}$ = 103924.83 N

Daerah Tumpuan

Kuat geser beton

Pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan $V_c = 0$ jika keduanya (a) dan (b) terjadi:

(a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa V_e mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

V_e	> ½ Vu
201736.44 N	> ½ 55346.65
201736.44 N	> 27673.32 (OK)

(b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u, termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c'$/ 20
Nilai P_u pada balok induk = 0 (OK)

Maka perhitungan selanjutnya dianggap Vc = 0

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$$
$$= \frac{1}{3} . 300\ mm . 339\ mm$$
$$= 33900\ N$$
$$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$$
$$= \frac{201736.44}{0,75} - 0$$
$$= 268982\ N$$

Vs_{min} < Vs_{perlu}
33900 N < 268982 N

Maka selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$$Vs = \frac{Av \,.\, fy \,.\, d}{S}$$

$$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy \,.\, d}$$

$$= \frac{268982}{280 \,.\, 339}$$

$$= 2{,}83 \text{ mm}^2\text{/mm / dua kaki}$$

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

$$\frac{At}{S} = 0{,}606 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \,.\, At}{S} + \frac{Av}{S}$$

$$= 2 \,.\, 0,\, 606 + 2{,}83$$

$$= 4{,}05 \text{ mm}^2\text{/mm}$$

Dengan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm:

$$A_{D13} = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 13^2 \,.\, 2$$

$$= 265{,}5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_S}$$

$$= \frac{265{,}5 \text{ mm}^2}{4{,}04 \text{ mm}^2\text{/mm}}$$

$$= 65{,}61 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1040/8 = 130 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 2 D13-60 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \,.\, s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{30} \frac{300 \,.\, 60}{280}$$

$$= 21{,}8 \text{ mm}^2 < 265{,}5 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

dan (0,35 . bw . s) / fyt = (0,35 . 300 . 60) / 280
= 22,5 mm^2 < 265,5 mm^2 (memenuhi)

Syarat SRPMK

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.1 bahwa pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;

Wilayah tumpuan direncanakan sepanjang
2h = 2 . 400 mm
= 800 mm

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

(d) d/4
So < d/4
60 mm < 339 mm/4
60 mm < 84,75 mm (memenuhi)

(e) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
So < 6 . D lentur
60 mm < 6 . 22 mm
60 mm < 132 mm (memenuhi)

(f) 150 mm
So < 150 mm
60 mm < 150 mm (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D13– 60 mm dengan 2 kaki.

Daerah Lapangan

$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$

$= \frac{1}{3} . 300\ mm . 339\ mm$

$= 33900\ N$

$Vc = 0,17 . \lambda . \sqrt{f_c'} . b_w . d$

$= 0,17 . 1 . \sqrt{30\ MPa} . 300\ mm . 339\ mm$

$= 92838.97\ N$

$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$

$= \frac{103924,83}{0,75} - 92838.97\ N$

$= 45727\ N$

$Vs_{min} < Vs_{perlu}$

$33900\ N < 45727\ N$

Maka selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$Vs = \frac{Av . fy . d}{S}$

$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy . d}$

$= \frac{45727}{280 . 339}$

$= 0,48\ mm^2/mm$ / dua kaki

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

$\frac{At}{S} = 0,606\ mm^2$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$\frac{Avt}{S} = \frac{2 . At}{S} + \frac{Av}{S}$

$= 2 . 0, 606 + 0, 48$

$= 1,69\ mm^2/mm$

Dengan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm:

A_{D13} $= 0{,}25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 2$

$= 265{,}5 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$

$$= \frac{265{,}5 \text{ mm}^2}{1{,}69 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$

$= 156{,}7$ mm

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1040/8 = 130 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 2D13-130 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{30} \frac{300 \cdot 130}{280}$$

$= 47{,}3 \text{ mm}^2 < 265{,}5 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 300 \cdot 100) / 280$

$= 48{,}8 \text{ mm}^2 < 265{,}5 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Pada daerah diluar sendi plastis sengkang dengan kait harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari d/2.

So $< d/2$
130 mm $< 339 \text{ mm}/2$
130 mm $< 169{,}5$ mm (memenuhi)

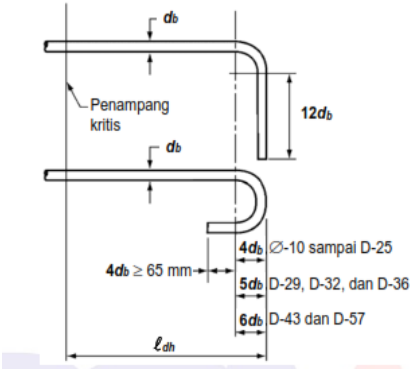
Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D13 – 130 mm dengan 2 kaki.

4.4.5.4. Perhitungan panjang penyaluran

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan seperti berikut:

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standart, ldh, harus ditentukan sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2 dan ldh tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm.



Gambar 4. 19 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$$

Dimana

ψe = 1

λ = 1 (beton normal)

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$$

$$= \left(\frac{0{,}24\ .\ 1\ .\ 400\ \text{N/mm}^2}{1\sqrt{30\ \text{N/mm}^2}}\right) 22\ \text{mm}$$

$$= 385.60\ \text{mm}$$

As_{perlu} = 1652,1 mm^2

As_{pasang} = 1900,66 mm^2

$$l_{dh\ reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \ .\ ld$$

$$= \frac{1652{,}1\ mm^2}{1900{,}66\ mm^2} \cdot 385.60\ mm$$
$$= 335.17\ mm \approx 400\ mm$$

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1

l_{dh} > $8d_b$
400 mm > 8. 22 mm
400 mm > 176 mm (memenuhi)
l_{dh} > 150 mm
400 mm > 150 mm (memenuhi)
l_{dh} > $\frac{f_y\ d_b}{5{,}4\ \sqrt{fc'}}$
400 mm > $\frac{400\ .\ 22}{5{,}4\ \sqrt{30}}$
400 mm > 297,53 mm (memenuhi)

Selanjutnya ditambah dengan kait sepanjang $12d_b$.

$12d_b$ = 12 . 22 mm
= 264 mm

Sehingga digunakan l_{dh} sepanjang 400 mm kemudian ditambah dengan kait 90^o sepanjang 300 mm

<u>Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik</u>

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir D-22 dan yang lebih kecil, ld harus dihitung dengan rumus di bawah ini dan ld tidak boleh kurang dari 300 mm.

$$l_d = \left(\frac{fy\ .\ \psi t\ .\ \psi e}{1{,}7\ .\ \lambda\ .\ \sqrt{fc'}}\right) db$$

Dimana

Fc’ = 30 MPa
fy = 400 MPa
db = 22 mm
ψt = 1

ψe = 1,5
λ = 1 (beton normal)

$$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e}{1{,}7 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}}\right) db$$
$$= \left(\frac{400 \,.\, 1 \,.\, 1{,}5}{1{,}7 \,.\, 1 \,.\, \sqrt{30}}\right) 22$$
$$= 1418 \text{ mm} > 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

As_{perlu} = 1652,1 mm^2
As_{pasang} = 1900,66 mm^2

$$ld_{reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \,.\, ld$$
$$= \frac{1652{,}1 \text{ mm}^2}{1900{,}66 \text{ mm}^2} \,.\, 1418 \text{ mm}$$
$$= 1232{,}2 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1500 mm.

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.2(b)

l_d > 3,25 l_{dh}
1500 mm > 3,25 400 mm
1500 mm > 1300 mm (memenuhi)

Pada pasal 21.7.5.3 menyebutkan Batang tulangan lurus yang berhenti pada suatu joint harus melewati inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebarang bagian l_d tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6 kali.

<u>Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan</u>

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 dan ldc tidak boleh kurang dari 200 mm.

$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24\, fy}{\lambda \sqrt{f c\prime}}\right) d_b$

$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24\,.\ 400\ \mathrm{N/mm^2}}{1\sqrt{30\ \mathrm{N/mm^2}}}\right) 22\ \mathrm{mm}$

$l_{dc} = 385{,}6\ \mathrm{mm}$

atau

$l_{dc} = (0{,}043\ .\ fy)\ d_b$

$= (0{,}043\ .\ 400)\ 22\ \mathrm{mm}$

$= 378{,}4\ \mathrm{mm}$

Maka ldc diambil 385,6 mm > 200 mm (memenuhi)

$As'_{perlu} = 110{,}2\ \mathrm{mm^2}$

$As'_{pasang} = 1520{,}53\ \mathrm{mm^2}$

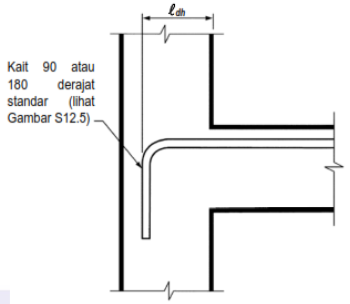
$l_{dc\ reduksi} = \frac{As'\ perlu}{As'\ pasang} \cdot l_{dc}$

$= \frac{110{,}2\ \mathrm{mm^2}}{1520{,}53\ \mathrm{mm^2}} \cdot 385{,}6\ \mathrm{mm}$

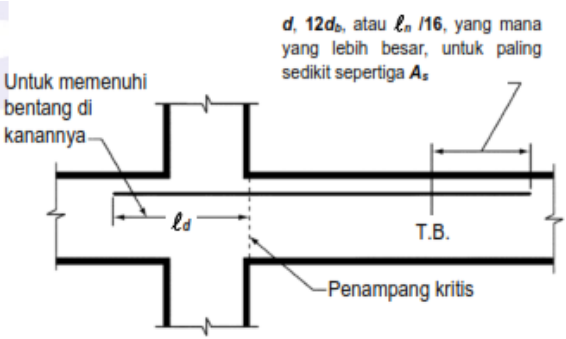
$= 27{,}97\ \mathrm{mm} \approx 200\ \mathrm{mm}$

<u>Penyaluran tulangan momen negatif</u>

Berdasar pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari ***d***, ***12d$_b$/, dan l$_n$/16***, yang mana yang lebih besar.



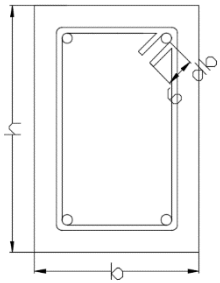
Gambar 4. 20 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior



Gambar 4. 21 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya

d = 339 mm
12 . db = 12 . 22 mm = 264 mm
Ln/16 = (4050 mm – 750 mm)/16 = 206,25 mm
Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 339 mm, maka digunakan penyaluran tulangan momen negative = 350 mm.

Kait standart untuk sengkang
Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan **6d_b** pada ujung bebas batang tulangan.

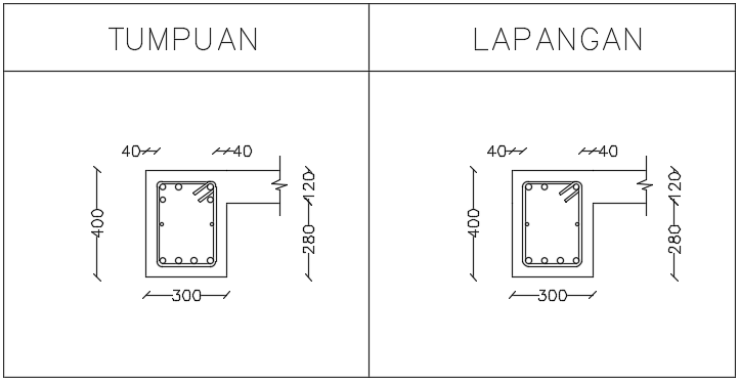


Gambar 4. 22 Kait standart untuk sengkang

$6d_b$ = 6 . 12 mm
= 72 mm < 75 mm
Digunakan panjang kait 75 mm

Tabel 4. 12 Rekapitulasi penulangan balok bordes

REKAPITULASI PENULANGAN BALOK BORDES			
Torsi			2 D 13
Lentur	Tumpuan	Tarik	5 D 22
		Tekan	4 D 22
	Lapangan	Tarik	4 D 22
		Tekan	2 D 22
Geser	Tumpuan		2D13 - 60
	Lapangan		2D13 - 130



Gambar 4. 23 Penulangan balok bordes

4.4.6. Perhitungan Balok Lift

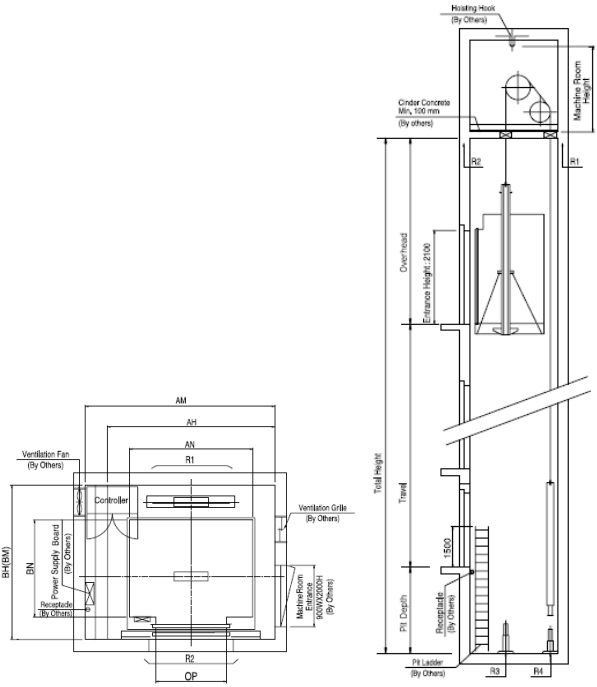
Perhitungan tulangan balok lift. Berikut merupakan data perencanaan balok, dan perhitungan penulangan torsi, lentur dan geser pada balok bordes dengan menggunakan metode SRPMK sesuai SNI 2847-2013.

Lift penumpang yang digunakan adalah lift yang diproduksi oleh “Iris Elevator” yang memiliki data sebagai berikut:

Tipe Lift = Passenger Elevator
Kapasitas = 20 orang (1350 kg)
Lebar pintu (OP) = 1000 mm
Dimensi sangkar (car size) :
Inside = 1800 x 1700
Hoistway = 2350 x 2400
Beban ruang mesin :
R1 = 8900 kg
R2 = 6000 kg

Tabel 4. 13 Brosur Pembebanan Lift

Speed (m/s)	Capacity		Entrance Opening (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load(kg)			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		AN	BN	AH	BH	AH	BH	AM	BM	AM	BM	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				



Gambar 4. 24 Potongan Lift

Tipe balok	= B4 (30/40)
Bentang balok (L)	= 3600 mm
Lebar balok (b)	= 400 mm
Tinggi balok (h)	= 300 mm
Kuat tekan beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D torsi)	= 10 mm
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 22 mm
Diameter tulangan geser (D geser)	= 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)

Tebal selimut beton (t decking) = 40 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) = 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Tinggi efektif balok :

d = h – decking – Dsengkang – ½ D lentur
= 400 mm – 40 mm – 13 mm - ½ . 22 mm
= 339 mm

d' = h - d
= 400 mm - 339 mm
= 61 mm

Karena mutu beton berada di atas 28 MPa, maka nilai β1, di gunakan perumusan sesuai dengan (SNI 2847:2013 ps 10.2.7.3)

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\,\frac{(f'_c-28)}{7}$$
$$= 0{,}83$$

Dari hasil analisa struktur didapatkan hasil untuk momen kombinasi 1,2D+1,6L maksimum sebagai berikut:

Mu = 37924031.43 Nmm (tumpuan)

Mu = 10852709.6 Nmm (lapangan)

4.4.6.1. Penulangan Torsi

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$A_{cp} = b_{balok} . h_{balok}$
$= 300 \text{ mm} . 400 \text{ mm}$
$= 120000 \text{ mm}^2$

Parimeter luar irisan penampang beton

$P_{cp} = 2 . (b_{balok} + h_{balok})$
$= 2 . (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm})$
$= 1400 \text{ mm}$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

A_{oh} = (b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}). (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})

= (300 mm – (2.40 mm) – 10 mm).(400 mm – (2.40 mm) – 10 mm)

= 65100 mm^2

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

P_h = 2. [(b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}) + (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})]

= 2. [(350 mm – (2.40 mm) – 10 mm) + (400 mm – (2.40 mm) – 10 mm)]

= 1040 mm

Momen puntir ultimate

Tu = 6358360.68 Nmm

(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu kurang dari

$$Tu_{min} = \phi.0{,}083 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$= 0{,}75 \,.\, 0{,}083.\sqrt{30}.\left(\frac{(120000)^2}{1400}\right)$$

= 3521073.58 Nmm

Tu < Tu min

6358360.68 Nmm > 3521073.58 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Sehingga,

Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{6358360.68 \text{ Nmm}}{0{,}75} = 8477814.24 \text{ Nmm}$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

Dengan Vc sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1 mengenai kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen beton non-prategang.

$V_c = 0{,}17\,\lambda\sqrt{f_c'}\,b_w\,d$

Dimana

$\lambda = 1$ (untuk beton normal)

Maka,

$V_c = 0{,}17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$

$= 0{,}17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30\ \text{MPa}} \cdot 300\ \text{mm} \cdot 339\ \text{mm}$

$= 92838.97\ \text{N}$

$V_u = 26371.26\ \text{N}$

(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{26371.26\ \text{N}}{300\ \text{mm} \cdot 339\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{6358360.68\ \text{Nmm} \cdot 1040\ \text{mm}}{1{,}7(65100\ \text{mm}^2)^2}\right)^2}$$

$$\leq 0{,}75\left(\frac{92838.97\ \text{N}}{300\ \text{mm} \cdot 339\ \text{mm}} + 0{,}66\sqrt{30\ \text{MPa}}\right)$$

$0{,}26 \leq 3{,}18$ (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6(a), Untuk struktur non-prategang

$\theta = 45^o$

$A_o = 0{,}85\ A_{oh}$
$= 0{,}85 \cdot 65100\ mm^2$
$= 55335\ mm^2$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \cdot Ao \cdot fyt \cdot \cot\theta}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6

$$\frac{At}{s} = \frac{8477814.24\ Nmm}{2 \cdot 55335\ mm^2 \cdot 280\ MPa \cdot \cot 45}$$

$\frac{At}{s} = 0{,}274\ mm^2 / mm$ / satu kaki

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar 0,274 mm^2 / mm / satu kaki

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7.

$$Al = \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2\theta$$
$$= 0{,}274 \cdot 1040\ mm \cdot \frac{280\ MPa}{400\ MPa} \cdot \cot^2 45$$
$= 199{,}17\ mm^2$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min}

$$Al_{min} = \frac{0{,}42 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot Acp}{fy} - \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}$$
$$= \frac{0{,}42\sqrt{30\ MPa} \cdot 120000\ mm^2}{400\ MPa} - 0{,}274 \cdot 1040\ mm \cdot \frac{280\ MPa}{400\ MPa}$$
$= 485{,}48\ mm^2$

Nilai yang digunakan adalah Al = 485,48 mm^2

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{485{,}48 mm^2}{4} = 121{,}37\ mm^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$2 \cdot \frac{Al}{4} = 2 \cdot 121{,}37\ mm^2 = 242{,}74\ mm^2$

Dipasang tulangan torsi 2D13

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

As $= 0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$

$= 0{,}25 \cdot \pi \cdot (13\ mm)^2 \cdot 2$

$= 265{,}46\ mm^2$

Kontrol

As pasang $\geq$ As perlu

$265{,}46\ mm^2 \geq 242{,}74\ mm^2$ (memenuhi)

4.4.6.2. Penulangan Lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$

$= \frac{600}{600 + 400} \cdot 339\ mm$

$= 203{,}4\ mm$

Garis netal maksimum

$X_{max} = 0{,}75 \cdot Xb$

$= 0{,}75 \cdot 203{,}4\ mm$

$= 152{,}6\ mm$

Garis netral minimum

$X_{min} = d'$

$= 61\ mm$

Garis netral rencana (asumsi)

$X_{rencana} = 150\ mm$

Komponen beton tertekan

$Cc' = 0{,}85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}$

$= 0{,}85 \cdot 30\ MPa \cdot 300\ mm \cdot 0{,}83 \cdot 200\ mm$

$= 975375\ N$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$Asc = \frac{0{,}85 \,.\, fc' \,.\, b \,.\, \beta_1 \,.\, X_{rencana}}{fy}$$

$$= \frac{0{,}85 \,.\, 30\ MPa \,.\, 300\ mm \,.\, 0{,}83 \,.\, 150\ mm}{400\ MPa}$$

$$= 2438{,}44\ mm$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \,.\, fy \,.\, \left(d - \frac{\beta_1 \,.\, X_{rencana}}{2}\right)$$

$$= 2438{,}44\ mm \,.\, 400\ MPa \left(339 - \frac{0{,}83 \,.\, 200}{2}\right)$$

$$= 268471969\ Nmm$$

Daerah tumpuan

Mu = 37924031.43 Nmm

Mn = 37924031.43 Nmm / 0,9

= 42137812.7 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap

Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc

= 42137812.7 Nmm - 268471969 Nmm

= -226334156 Nmm

Mns = -226334156 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{42137812.7\ Nmm}{300\ mm.(339\ mm)^2} = 1{,}22\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \,.\, 400} = 0{,}0034$$

digunakan ρ_{min} = 0,0034 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'}$$

$$= \frac{400}{0{,}85.30}$$

$$= 15{,}69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\,.\,m\,.\,Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{15{,}69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\,.\,15{,}69\,.\,1{,}22}{400}}\right]$$

$$= 0{,}0031$$

Cek persyaratan :

ρ_{min} < ρ_{perlu} < ρ_{maks}

0,0034 > 0,0031 < 0,025

Maka ρ digunakan adalah ρ_{min} = 0,0034

$As = \rho_{min}. b . d$

$= 0{,}0034. 300\ mm . 339\ mm$

$= 348{,}15\ mm^2$

Luas tulangan lentur $= 0{,}25 . \pi . D^2$

$= 0{,}25 . \pi . (22\ mm)^2$

$= 380{,}13\ mm^2$

<u>Tulangan lentur tarik</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$= 348{,}15\ mm^2 + 121{,}37\ mm^2$

$= 469{,}52\ mm^2$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$

$$= \frac{469{,}52\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$$

$= 1{,}2$ buah ~ 2 buah

Dipasang tulangan lentur 2D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

= 2 . 380,13 mm^2

= 760,26 mm^2

Kontrol

As_{perlu}	<	As_{pasang}
469,52 mm^2	<	760,26 mm^2 (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 3 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$$S_{maks} = \frac{b-(2 .\ decking)-(2 .\ \emptyset geser)-(n .\ Dlentur)}{n-1}$$

$$= \frac{400\ mm-(2 .\ 40\ mm)-(2 .\ 10\ mm)-(2 .\ 22\ mm)}{2-1}$$

= 156 mm > 25 mm (memenuhi)

<u>Tulangan lentur tekan</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

= 0 mm^2 + 121,37 mm^2

= 121,37 mm^2

$$n = \frac{As'\ perlu}{Luas\ tulangan\ lentur}$$

$$= \frac{121{,}37\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$$

= 0,32 ≈ 2 buah

Dipasang tulangan lentur 2D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

= 2 . 380,13 mm^2

= 760,26 mm^2

Kontrol

As'_{perlu}	<	As'_{pasang}
121,37 mm^2	<	760,26 mm^2 (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{\text{b-(2 . decking)-(2 . Øgeser)-(n . Dlentur)}}{\text{n-1}}$$

$$= \frac{\text{400 mm-(2 . 50 mm)-(2 . 10 mm)-(2 . 22 mm)}}{\text{4 -1}}$$

$$= 156 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Syarat SRPMK

M lentur tumpuan (+) $\geq$ $\frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$As_{pasang} = 760{,}26 \text{ mm}^2$

$As'_{pasang} = 760{,}26 \text{ mm}^2$

M lentur tumpuan (+) $\geq$ $\frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

$760{,}26 \text{ mm}^2 \geq 380{,}13 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As \,.\, fy}{0{,}85 \,.\, fc' \,.\, b}$$

$$= \frac{760{,}26 \,.\, 400}{0{,}85 \,.\, 30 \,.\, 300}$$

$$= 39{,}75 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{39{,}75 \text{ mm}}{0{,}83}$$

$$= 47{,}57 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)}$$

$$\frac{47{,}57 \text{ mm}}{339} \leq 0{,}375$$

$$0{,}14 \leq 0{,}375 \text{ (OK)}$$

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

Mn = $0,85 . fc' . a . b . (d - \frac{a}{2})$

= $0,85 . 30\ N/mm^2 . 39,75\ mm . 300\ mm . (339\ mm - \frac{39,75\ mm}{2})$

= 97954182.25 Nmm

Maka,

Mn_{pasang}	>	Mn	
97954182.25 Nmm	>	42137812.7	Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk (35/55) pada daerah tumpuan dipakai:

- Tulangan tarik 1 lapis
  Lapis 1 = 2D22
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 2D22

<u>Daerah lapangan</u>

Mu = 10852709.6 Nmm

Mn = 10852709.6 Nmm / 0,9

= 12058566.22 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap

Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc

= 12058566.22 Nmm - 268471969 Nmm

= -256413402.5 Nmm

Mns = -256413402.5 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{12058566.22 \ \ Nmm}{300\ mm.(339\ mm)^2} = 0{,}35\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4\ .\ 400} = 0{,}0034$$

digunakan $\rho_{min} = 0{,}0034$ (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

$\rho_{maks} = 0{,}025$ (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'} = \frac{400}{0{,}85.30} = 15{,}69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{f_y}}\right] = \frac{1}{15{,}69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ .\ 15{,}69\ .\ 0{,}35}{400}}\right] = 0{,}0008$$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0034 > 0{,}0008 < 0{,}025$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{min} = 0{,}0034$

$As = \rho_{min}.\ b\ .\ d$

$= 0{,}0034.\ 300\ mm\ .\ 339\ mm$

$= 348{,}15\ mm^2$

Luas tulangan lentur $= 0{,}25\ .\ \pi\ .\ D^2$

$= 0{,}25\ .\ \pi\ .\ (22\ mm)^2$

$= 380{,}13\ mm^2$

<u>Tulangan lentur tarik</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 348{,}15\ mm^2 + 121{,}37\ mm^2$

$= 469{,}52\ mm^2$

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{469{,}52\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$

$= 1{,}24$ buah ~ 2 buah

Dipasang tulangan lentur 2D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 2.\ 380{,}13\ mm^2$

$= 760{,}26\ mm^2$

Kontrol

$As_{perlu} < As_{pasang}$

$469{,}52\ mm^2 < 760{,}26\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 3 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$S_{maks} = \frac{\text{b-(2 . decking)-(2 . Øgeser)-(n . Dlentur)}}{\text{n-1}}$

$= \frac{400\ mm-(2 .\ 40\ mm)-(2 .\ 10\ mm)-(2 .\ 22\ mm)}{2-1}$

$= 156\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

<u>Tulangan lentur tekan</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 0\ mm^2 + 121{,}37\ mm^2$

$= 121{,}37\ mm^2$

$n = \frac{\text{As' perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$$= \frac{121{,}37\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$$
$= 0{,}32 \approx 2$ buah

Dipasang tulangan lentur 2D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur
$= 2 . 380{,}13\ mm^2$
$= 760{,}26\ mm^2$

Kontrol

As'_{perlu}	<	As'_{pasang}
$121{,}37\ mm^2$	<	$760{,}26\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{b-(2 . \text{ decking})-(2 . \text{Øgeser})-(n . \text{ Dlentur})}{n-1}$$
$$= \frac{400\ mm-(2 . 50\ mm)-(2 . 10\ mm)-(2 . 22\ mm)}{2-1}$$
$= 156\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur lapangan (-) $\geq \frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$As_{pasang} = 760{,}26\ mm^2$
$As'_{pasang} = 760{,}26\ mm^2$

M lentur lapangan (-)	≥	$\frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)
$760{,}26\ mm^2$	≥	$190{,}07\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As . fy}{0{,}85 . fc' . b}$$
$$= \frac{760{,}26 . 400}{0{,}85 . 30 . 300}$$
$= 39{,}75\ mm$

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

$= \frac{39{,}75 \text{ mm}}{0{,}83}$

$= 47{,}57$ mm

$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375$ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)

$\frac{47{,}57 \text{ mm}}{339} \leq 0{,}375$

$0{,}14 \leq 0{,}375$ (OK)

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$Mn = 0{,}85 \cdot fc' \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{a}{2})$

$= 0{,}85 \cdot 30 \text{ N/mm}^2 \cdot 39{,}75 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} \cdot (339 \text{ mm} - \frac{39{,}75 \text{ mm}}{2})$

$= 97954182.25$ Nmm

Maka,

$Mn_{pasang} > Mn$

97954182.25 Nmm > 12058566.22 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/40) pada daerah lapangan dipakai:

- Tulangan tarik 1 lapis
  Lapis 1 = 2D22
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 2D22

4.4.6.3. Penulangan Geser

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7, V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dengan Vn adalah $\frac{V_e}{\phi}$

Menurut pasal 21.5.4.1 Gaya geser desaim, Ve, harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, Mpr, bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Gaya geser desain

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B3 (30/40), didapat:

Dipasang:

tulangan tarik 2D22, As = 760,26 mm^2

tulangan tekan 2D22, As' = 760,26 mm^2

Tinggi balok gaya tekan beton

$$a_1 = \frac{As \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' \ . \ b}$$

$$= \frac{760{,}26 \ mm^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2}{0{,}85 \ . \ 30 \ N/mm^2 . \ 300 \ mm}$$

$$= 46{,}69 \ mm$$

$$M_{pr1} = As \ . 1{,}25 \ fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 760{,}26 \ mm^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2 \left(339 \ mm - \frac{46{,}69 \ mm}{2} \right)$$

$$= 119420487.2 \ Nmm$$

$$a_2 = \frac{As' \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' \ . \ b}$$

$$= \frac{760{,}26 \ mm^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2}{0{,}85 \ . \ 30 \ N/mm^2 . \ 300 \ mm}$$

$$= 46{,}69 \ mm$$

M_{pr2} = As' . 1,25 fy $\left(d - \frac{a}{2}\right)$

= 760,26 mm^2 . 1,25 . 400 N/mm^2 $\left(339\ mm - \frac{46,69\ mm}{2}\right)$

= 119420487 Nmm

Vu = 26371,26 N
(didapat dari ETABS kombinasi 1,2D+1,0L maksimum)

$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u + L_n}{2}$

$= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u$

$= \frac{119420487 + 119420487}{3600 - 500} + 26371,26$

= 103416.73 N

Sehingga gaya geser desain untuk daerah tumpuan sebesar:
V_e = 103416.73 N

Untuk $Ve_{lapangan}$ dilakukan interpolasi, didapatkan besarnya Ve diluar sendi plastis (2h = 0,8 m)
$Ve_{lapangan}$ = 50040.35 N

Daerah Tumpuan

Kuat geser beton

Pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan $V_c = 0$ jika keduanya (a) dan (b) terjadi:

(a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa V_e mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

V_e > ½ Vu
103416.73 N > ½ 26371,26
103416.73 N > 13185.63 (OK)

(b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u, termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c'$/ 20
Nilai P_u pada balok induk = 0 (OK)

Maka perhitungan selanjutnya dianggap Vc = 0

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$$
$$= \frac{1}{3} . 300 \text{ mm} . 339 \text{ mm}$$
$$= 33900 \text{ N}$$
$$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$$
$$= \frac{103416.73}{0,75} - 0$$
$$= 137889 \text{ N}$$

$Vs_{min} < Vs_{perlu}$
33900 N < 137889 N
Maka selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$$Vs = \frac{Av . fy . d}{S}$$
$$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy . d}$$
$$= \frac{137889}{280 . 339}$$
$$= 1,45 \text{ mm}^2/\text{mm} / \text{dua kaki}$$

<u>Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi</u>

$$\frac{At}{S} = 0,274 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 . At}{S} + \frac{Av}{S}$$
$$= 2 . 0, 274 + 1, 45$$
$$= 2,00 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dengan sengkang 2 kaki berdiameter 10 mm:

A_{D10} $= 0{,}25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 2$
$= 157{,}1 \text{ mm}^2$

$s = \dfrac{A_{D10}}{Avt/_s}$

$= \dfrac{157{,}1 \text{ mm}^2}{2{,}00 \text{ mm}^2/\text{mm}}$

$= 78{,}55$ mm

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1040/8 = 130 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 2 D10-70 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062 \sqrt{f_c'} \dfrac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{30} \dfrac{300 \cdot 70}{280}$

$= 29{,}1 \text{ mm}^2 < 157{,}1 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 300 \cdot 70) / 280$

$= 30{,}0 \text{ mm}^2 < 157{,}1 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.1 bahwa pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;

Wilayah tumpuan direncanakan sepanjang
$2h = 2 \cdot 400$ mm
$= 800$ mm

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

(a) d/4
So < d/4
70 mm < 339 mm/4
70 mm < 84,75 mm (memenuhi)

(b) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
So < 6 . D lentur
70 mm < 6 . 22 mm
70 mm < 132 mm (memenuhi)

(c) 150 mm
70 < 150 mm
70 mm < 150 mm (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D10 – 70 mm dengan 2 kaki.

Daerah Lapangan

$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$
$= \frac{1}{3} . 300\ mm . 339\ mm$
$= 33900\ N$

$Vc = 0,17 . \lambda . \sqrt{f_c'} . b_w . d$
$= 0,17 . 1 . \sqrt{30\ MPa} . 300\ mm . 339\ mm$
$= 92838.97\ N$

$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$
$= \frac{50040.36}{0,75} - 92838.97\ N$
$= -26118\ N$

Karena nilai V_s negatif digunakan Av_{min}, menurut pasal 11.4.6.3 SNI 2847-2013 Av_{min} harus dihitung dengan:

$Av_{min} = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{bw . s}{fyt}$

Sehingga,

$Av_{min}/s = 0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw}{fyt}$

$= 0{,}062 \sqrt{30} \frac{300}{280}$

$= 0{,}36$ mm^2/mm / dua kaki

Tapi tidak boleh kurang dari

$Av_{min}/s = 0{,}35\ b_w / f_{yt}$.

$= 0{,}35 . 300 / 280$

$= 0{,}37$ mm^2/mm / dua kaki

Maka digunakan Av/s = 0,37

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

$\frac{At}{S} = 0{,}274$ mm^2

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$\frac{Avt}{S} = \frac{2 . At}{S} + \frac{Av}{S}$

$= 2 . 0, 274 + 0{,}37$

$= 0{,}922$ mm^2/mm

Dengan sengkang 2 kaki berdiameter 10 mm:

$A_{D10} = 0{,}25 . \pi . 10^2 . 2$

$= 157{,}1$ mm^2

$s = \frac{A_{D10}}{Avt/_S}$

$= \frac{157{,}1 \text{ mm}^2}{0{,}922 \text{ mm}^2/\text{mm}}$

$= 170{,}3$ mm

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1040/8 = 130 mm atau 300 mm

Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 2D10-130 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013

Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062\sqrt{f_c'}\dfrac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\dfrac{300 \cdot 130}{280}$

$= 47{,}3\ mm^2 < 157{,}1\ mm^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 300 \cdot 130) / 280$

$= 48{,}8\ mm^2 < 157{,}1\ mm^2$ (memenuhi)

Pada daerah diluar sendi plastis sengkang dengan kait harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari d/2.

So < d/2

130 mm < 339 mm/2

130 mm < 169,5 mm (memenuhi)

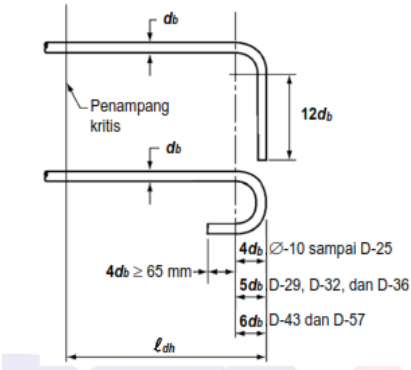
Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D10 – 130 mm dengan 2 kaki.

4.4.6.4. Perhitungan panjang penyaluran

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan seperti berikut:

<u>Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik</u>

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standart, ldh, harus ditentukan sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2 dan ldh tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm.



Gambar 4. 25 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$

Dimana

$\psi e = 1$

$\lambda = 1$ (beton normal)

$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$

$= \left(\frac{0{,}24\ .\ 1\ .\ 400\ \text{N/mm}^2}{1\sqrt{30\ \text{N/mm}^2}}\right) 22\ \text{mm}$

$= 385.60$ mm

$As_{perlu} = 458{,}44\ mm^2$

$As_{pasang} = 760{,}26\ mm^2$

$l_{dh\ reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}}\ .\ ld$

$= \frac{458{,}44\ mm^2}{760{,}26\ mm^2}\ .\ 385.60\ mm$

$= 232.51\ mm \approx 250\ mm$

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1

$l_{dh} > 8d_b$

300 mm > 8. 22 mm
300 mm > 176 mm (memenuhi)
l_{dh} > 150 mm
300 mm > 150 mm (memenuhi)

$$l_{dh} > \frac{f_y \, d_b}{5{,}4 \sqrt{fc'}}$$

$$300 \text{ mm} > \frac{400 \,.\, 22}{5{,}4 \sqrt{30}}$$

300 mm > 297,53 mm (memenuhi)

Selanjutnya ditambah dengan kait sepanjang $12d_b$.
$12d_b$ = 12 . 22 mm
= 264 mm
Sehingga digunakan l_{dh} sepanjang 300 mm kemudian ditambah dengan kait 90^o sepanjang 300 mm

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir D-22 dan yang lebih kecil, ld harus dihitung dengan rumus di bawah ini dan ld tidak boleh kurang dari 300 mm.

$$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e}{1{,}7 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}} \right) db$$

Dimana
Fc’ = 30 MPa
fy = 400 MPa
db = 22 mm
ψt = 1
ψe = 1,5
λ = 1 (beton normal)

$$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e}{1{,}7 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}} \right) db$$

$$= \left(\frac{400 \,.\, 1 \,.\, 1{,}5}{1{,}7 \,.\, 1 \,.\, \sqrt{30}}\right)22$$

$= 1418$ mm > 300 mm (memenuhi)

$As_{perlu} = 458{,}44 \text{ mm}^2$

$As_{pasang} = 760{,}26 \text{ mm}^2$

$$ld_{reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \,.\, ld$$

$$= \frac{458{,}44 \text{ mm}^2}{760{,}26 \text{ mm}^2} \,.\, 1418 \text{ mm}$$

$= 854{,}8$ mm ≈ 1000 mm

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1500 mm.

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.2(b)

$l_d > 3{,}25\ l_{dh}$

1000 mm > 3,25 . 300 mm

1000 mm > 975 mm (memenuhi)

Pada pasal 21.7.5.3 menyebutkan Batang tulangan lurus yang berhenti pada suatu joint harus melewati inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebarang bagian l_d tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6 kali.

<u>Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan</u>

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 dan ldc tidak boleh kurang dari 200 mm.

$$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24\, fy}{\lambda \sqrt{fc'}}\right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24 \,.\, 400 \text{ N/mm}^2}{1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2}}\right) 22 \text{ mm}$$

l_{dc} = 385,6 mm
atau
l_{dc} = (0,043 . fy) d_b
= (0,043 . 400) 22 mm
= 378,4 mm
Maka ldc diambil 385,6 mm > 200 mm (memenuhi)

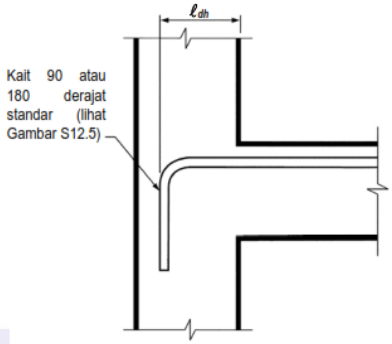
As'_{perlu} = 110,2 mm^2
As'_{pasang} = 760,26 mm^2

$$l_{dc\ reduksi} = \frac{As'\ perlu}{As'\ pasang} \cdot l_{dc}$$

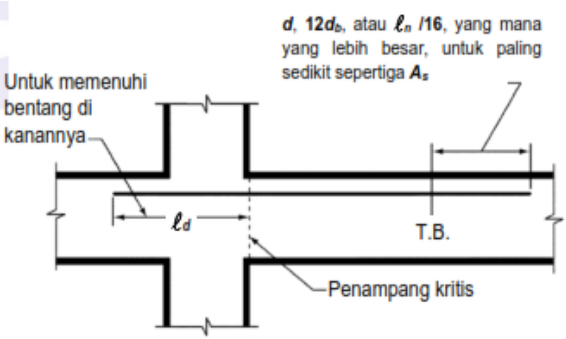
$$= \frac{110{,}2\ mm^2}{760{,}26\ mm^2} \cdot 385{,}6\ mm$$

= 55,94 mm ≈ 200 mm

Penyaluran tulangan momen negatif
Berdasar pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari ***d***, ***12d_b/, dan l_n/16***, yang mana yang lebih besar.



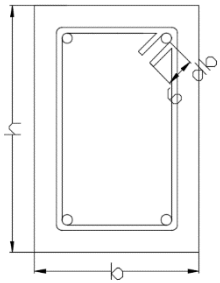
Gambar 4. 26 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior



Gambar 4. 27 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya

d = 339 mm
12 . db = 12 . 22 mm = 264 mm
Ln/16 = (3600 mm – 500 mm)/16 = 162,5 mm
Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 339 mm, maka digunakan penyaluran tulangan momen negative = 500 mm.

Kait standart untuk sengkang
Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan **6d_b** pada ujung bebas batang tulangan.



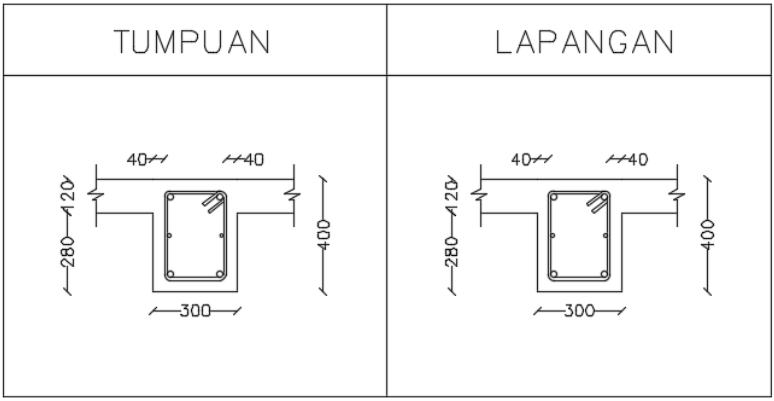
Gambar 4. 28 Kait standart untuk sengkang

$6d_b$ = 6 . 12 mm
= 72 mm < 75 mm

Digunakan panjang kait 75 mm

Tabel 4. 14 Rekapitulasi penulangan balok lift

REKAPITULASI PENULANGAN BALOK LIFT			
Torsi			2 D 13
Lentur	Tumpuan	Tarik	2 D 22
		Tekan	2 D 22
	Lapangan	Tarik	2 D 22
		Tekan	2 D 22
Geser	Tumpuan		2D13 - 80
	Lapangan		2D13 - 130



Gambar 4. 29 Penulangan balok lift

4.5. Perencanaan Struktur Utama

4.5.1. Balok Induk

Perhitungan tulangan lunak balok induk. Berikut merupakan data perencanaan balok, dan perhitungan penulangan torsi, lentur dan geser pada balok induk dengan menggunakan metode SRPMK sesuai SNI 2847-2013.

Tipe balok = B1 (35/55)
Bentang balok (L) = 8100 mm
Lebar balok (b) = 350 mm
Tinggi balok (h) = 550 mm
Kuat tekan beton (f'_c) = 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) = 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) = 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D torsi) = 19 mm
Diameter tulangan lentur (D lentur) = 25 mm
Diameter tulangan geser (D geser) = 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) = 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
Tebal selimut beton (t decking) = 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Tinggi efektif balok :
d = h – decking – Dsengkang – ½ D lentur
= 550 mm – 40 mm – 13 mm - ½ . 22 mm
= 489 mm
d' = h - d
= 550 mm - 489 mm
= 61 mm

Karena mutu beton berada di atas 28 MPa, maka nilai β1, di gunakan perumusan sesuai dengan (SNI 2847:2013 ps 10.2.7.3)

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\,\frac{(f'_c\text{-}28)}{7}$$
$$= 0{,}83$$

Dari hasil analisa struktur didapatkan hasil untuk momen kombinasi envelope terfaktor maksimum sebagai berikut:

Mu = 386195578 Nmm (tumpuan)
Mu = 437754262 Nmm (lapangan)

4.5.1.1. Penulangan Torsi

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$A_{cp} = b_{balok} . h_{balok}$
$= 350 \text{ mm} . 550 \text{ mm}$
$= 192500 \text{ mm}^2$

Parimeter luar irisan penampang beton

$P_{cp} = 2 . (b_{balok} + h_{balok})$
$= 2 . (350 \text{ mm} + 550 \text{ mm})$
$= 1800 \text{ mm}$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser}). (h_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser})$
$= (350 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}).(550 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})$
$= 119600 \text{ mm}^2$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$P_h = 2. [(b_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser})]$
$= 2. [(350 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (550 \text{ mm} - (2.40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})]$
$= 1440 \text{ mm}$

Momen puntir ultimate

Tu = 94883908.86 Nmm
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu kurang dari

$$Tu_{min} = \phi.0{,}083 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$= 0{,}75 \,.\, 0{,}083.\sqrt{30}.\left(\frac{(192500)^2}{1800}\right)$$

$$= 7047411{,}12 \text{ Nmm}$$

Tu $<$ Tu min

94883908.86 Nmm > 7047411,12 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan, Tu maksimum boleh direduksi menjadi:

$$Tu = \phi.0{,}33 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

$$= 0{,}75 \,.\, 0{,}33.\sqrt{30}.\left(\frac{(192500)^2}{1800}\right)$$

$$= 28189644.47 \text{ Nmm}$$

Sehingga,

Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{28189644.47 \text{ Nmm}}{0{,}75} = 37586192.63 \text{ Nmm}$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

Dengan Vc sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1 mengenai kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen beton non-prategang.

$Vc = 0{,}17\ \lambda\ \sqrt{f_c'}\ b_w\ d$

Dimana

$\lambda = 1$ (untuk beton normal)

Maka,

$Vc = 0{,}17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$

$= 0{,}17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30\ MPa} \cdot 350\ mm \cdot 489\ mm$

$= 155758.60\ N$

$Vu = 255661{,}83\ N$

(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A_{oh}^2}\right)^2} \le \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{255661{,}83\ N}{350\ mm.\ 489\ mm}\right)^2 + \left(\frac{28189644.47\ Nmm \cdot 1440\ mm}{1{,}7\left(119600\ mm^2\right)^2}\right)^2}$$

$$\le 0{,}75\left(\frac{155758.60\ N}{350\ mm.\ 489\ mm} + 0{,}66\sqrt{30\ MPa}\right)$$

$1{,}49 \le 3{,}18$ (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6(a), Untuk struktur non-prategang

$\theta = 45^o$

$A_o = 0{,}85\ A_{oh}$

$= 0{,}85 \cdot 119600\ mm^2$

$= 101660\ mm^2$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \cdot Ao \cdot fyt \cdot \cot\theta}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6

$$\frac{At}{s} = \frac{37586192.63\ Nmm}{2 \cdot 101660\ mm^2 \cdot 280\ MPa \cdot \cot 45}$$

$\frac{At}{s}$ = 0,66 mm^2 / mm / satu kaki

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar 0,66 mm^2 / mm / satu kaki

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7.

$$Al = \frac{At}{s} . P_h . \frac{f_{yt}}{f_y} . \cot^2\theta$$

$$= 0,66 . 1440 \text{ mm} . \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} . \cot^2 45$$

$$= 665,5 \text{ mm}^2$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min}

$$Al_{min} = \frac{0,42 . \sqrt{f_c'} . Acp}{fy} - \frac{At}{s} . P_h . \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{0,42\sqrt{30 \text{ MPa}} . 192500 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 0,66 . 1440 \text{ mm} \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$

$$= 432,8 \text{ mm}^2$$

Nilai yang digunakan adalah Al = 665,5 mm^2

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{665,5 \text{ mm}^2}{4} = 166,38 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$$2 . \frac{Al}{4} = 2 . 166,38 \text{ mm}^2 = 332,75 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan torsi 2D16

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

$$As = 0,25 . \pi . D^2 . n$$

$$= 0,25 . \pi . (16 \text{ mm})^2 . 2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol
As pasang $\geq$ As perlu
402,12 mm^2 $\geq$ 332,75 mm^2 (memenuhi)

4.5.1.2. Penulangan Lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$
$$= \frac{600}{600 + 400} \cdot 489 \text{ mm}$$
$$= 293{,}5 \text{ mm}$$

Garis netal maksimum

$$X_{max} = 0{,}75 \cdot Xb$$
$$= 0{,}75 \cdot 293{,}5 \text{ mm}$$
$$= 219{,}38 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$
$$= 62{,}5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 200 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0{,}85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}$$
$$= 0{,}85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 350 \text{ mm} \cdot 0{,}83 \cdot 200 \text{ mm}$$
$$= 1517250 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$Asc = \frac{0{,}85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}}{fy}$$
$$= \frac{0{,}85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 350 \text{ mm} \cdot 0{,}83 \cdot 200 \text{ mm}}{400 \text{ MPa}}$$
$$= 3793{,}13 \text{ mm}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \cdot fy \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2}\right)$$
$$= 3793{,}13 \text{ mm} \cdot 400 \text{ MPa} \left(489 - \frac{0{,}83 \cdot 200}{2}\right)$$
$$= 612969000 \text{ Nmm}$$

Daerah tumpuan

Mu = 386195578 Nmm

Mn = 386195578 Nmm / 0,9

= 429106197,8 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap

Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc

= 429106197,8 Nmm - 612969000 Nmm

= -183862802 Nmm

Mns = -181586927 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{429106197,8 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm}.(489 \text{ mm})^2} = 5,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \,.\, 400} = 0,0034$$

digunakan ρ_{min} = 0,0034 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85.30}$$

$$= 15,69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2 \,.\, m \,.\, Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{15,69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2 \,.\, 15,69 \,.\, 5,13}{400}}\right]$$

$$= 0,0145$$

Cek persyaratan :

ρ_{min} < ρ_{perlu} < ρ_{maks}

0,0035 < 0,0145 < 0,025

Maka ρ digunakan adalah ρ_{perlu} = 0,0145

As = ρ_{perlu}. b . d

= 0,0145. 350 mm . 489 mm

= 2474,36 mm^2

Luas tulangan lentur = 0,25 . π . D^2

= 0,25 . π . $(22\ mm)^2$

= 380,13 mm^2

Tulangan lentur tarik

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

= 2474,36 mm^2 + 166,38 mm^2

= 2640,7 mm^2

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{2640{,}7\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$

= 6,9 buah ~ 7 buah

Dipasang tulangan lentur 7D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

= 7. 380,13 mm^2

= 2660,93 mm^2

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

2640,7 mm^2 < 2660,93 mm^2 (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 5 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$S_{maks} = \frac{b-(2\ .\ decking)-(2\ .\ Øgeser)-(n\ .\ Dlentur)}{n-1}$

$$= \frac{550 \text{ mm}-(2\ .\ 40 \text{ mm})-(2\ .\ 10\ \text{mm})-(5\ .\ 22 \text{ mm})}{5-1}$$

$= 35 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Tulangan lentur tekan

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$= 0 \text{ mm}^2 + 166{,}38 \text{ mm}^2$

$= 166{,}38 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{\text{As' perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$

$$= \frac{166{,}38 \text{ mm}^2}{380{,}13 \text{ mm}^2}$$

$= 0{,}4 \approx 4$ buah

Dipasang tulangan lentur 4 D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 4\ .\ 380{,}13 \text{ mm}^2$

$= 1520{,}53 \text{ mm}^2$

Kontrol

$As'_{perlu} < As'_{pasang}$

$166{,}38 \text{ mm}^2 < 1520{,}53 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{b-(2\ .\ \text{decking})-(2\ .\ \text{Øgeser})-(n\ .\ \text{Dlentur})}{n-1}$$

$$= \frac{550 \text{ mm}-(2\ .\ 50 \text{ mm})-(2\ .\ 10\ \text{mm})-(4\ .\ 22 \text{ mm})}{4-1}$$

$= 54 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As_{pasang} = 2660,93 mm^2

As'_{pasang} = 1520,53 mm^2

M lentur tumpuan (+) $\geq$ $\frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

1520,53 mm^2 $\geq$ 1330,46 mm^2 (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As \,.\, fy}{0{,}85 \,.\, fc'.\, b}$$

$$= \frac{2660{,}93 \;.\; 400}{0{,}85 \,.\, 30 \,.\, 350}$$

$$= 119{,}3 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{119{,}3 \text{ mm}}{0{,}83}$$

$$= 142{,}7 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)}$$

$$\frac{142{,}7 \text{ mm}}{489} \leq 0{,}375$$

$$0{,}29 \leq 0{,}375 \text{ (OK)}$$

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$$Mn = 0{,}85 \,.\, fc' \,.\, a \,.\, b \,.\, \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0{,}85 \,.\, 30 \text{ N/mm}^2 \,.\, 119{,}3 \text{ mm} \,.\, 350 \text{ mm} \,.\, \left(489 \text{ mm} - \frac{119{,}3 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$= 466530713.5 \text{ Nmm}$$

Maka,

Mn_{pasang} > Mn
466530713.5 Nmm > 429106197.8 Nmm
(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk (35/55) pada daerah tumpuan dipakai:
- Tulangan tarik 2 lapis
  Lapis 1 = 5D22
  Lapis 2 = 2D22
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 4D22

Daerah lapangan

Mu = 437754262 Nmm
Mn = 437754262 Nmm / 0,9
= 486393624.5 Nmm
Cek momen nominal tulangan lentur rangkap
Syarat :
Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap
Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap
Mns = Mn – Mnc
= 486393624.5 Nmm - 612969000Nmm
= -126575375.5 Nmm
Mns = -126575375.5 Nmm ≤ 0
Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{486393624.5\ Nmm}{350\ mm.(489\ mm)^2} = 5{,}81\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4\ .\ 400} = 0{,}0034$$

digunakan ρ_{min} = 0,0035 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'}$

$= \frac{400}{0{,}85.30}$

= 15,69

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\,.\,m\,.\,Rn}{f_y}}\right]$

$= \frac{1}{15{,}69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\,.\,15{,}69\,.\,5{,}81}{400}}\right]$

= 0,0167

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

0,0035 < 0,0167 < 0,025

Maka ρ digunakan adalah ρ_{perlu} = 0,0167

As = ρ_{perlu}. b . d

= 0,0167. 350 mm . 489 mm

= 2862,05 mm^2

Luas tulangan lentur = 0,25 . π . D^2

= 0,25 . π . (22 mm)^2

= 380,13 mm^2

<u>Tulangan lentur tarik</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

= 2862,05 mm^2 + 166,38 mm^2

= 3028,43 mm^2

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{3028{,}43\ mm^2}{380{,}13\ mm^2}$

= 7,97 buah ~ 8 buah

Dipasang tulangan lentur 8D22

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur
= 8 . 380,13 mm^2
= 3041,06 mm^2

Kontrol

As_{perlu}	<	As_{pasang}
3028,43 mm^2	<	3041,06 mm^2 (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 5 tulangan diatas, 2 tulangan dibawah

$$S_{maks} = \frac{b-(2 . \text{ decking})-(2 . \text{Øgeser})-(n . \text{ Dlentur})}{n-1}$$

$$= \frac{550 \text{ mm}-(2 . 40 \text{ mm})-(2 . 10 \text{ mm})-(4 . 22 \text{ mm})}{4-1}$$

= 54 mm > 25 mm (memenuhi)

<u>Tulangan lentur tekan</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tekan + luasan tambahan torsi longitudinal sisi bawah balok

$$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

= 0 mm^2 + 166,38 mm^2
= 166,38 mm^2

$$n = \frac{\text{As' perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$

$$= \frac{166{,}38 \text{ mm}^2}{380{,}13 \text{ mm}^2}$$

= 0,4 ≈ 3 buah

Dipasang tulangan lentur 3 D22

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur
= 3 . 380,13 mm^2
= 1140,40 mm^2

Kontrol

As'_{perlu}	<	As'_{pasang}
166,38 mm^2	<	1140,40 mm^2 (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{b-(2\ .\ decking)-(2\ .\ \emptyset geser)-(n\ .\ Dlentur)}{n-1}$$

$$= \frac{550\ mm-(2\ .\ 50\ mm)-(2\ .\ 10\ mm)-(3\ .\ 22\ mm)}{3-1}$$

$$= 92\ mm > 25\ mm\ (memenuhi)$$

Syarat SRPMK

M lentur lapangan (-) $\geq$ $\frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$As_{pasang} = 3041{,}06\ mm^2$

$As'_{pasang} = 1140{,}40\ mm^2$

M lentur lapangan (-) $\geq$ $\frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

$1140{,}40\ mm^2 \geq 665{,}23\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'.\ b}$$

$$= \frac{3041{,}06\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 30\ .\ 350}$$

$$= 136{,}3\ mm$$

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

$$= \frac{136{,}3\ mm}{0{,}83}$$

$$= 163{,}09\ mm$$

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375\ (SNI\ 2847{:}2013\ pasal\ 9.3.2)$$

$$\frac{163{,}09\ mm}{489} \leq 0{,}375$$

$$0{,}33 \leq 0{,}375\ (OK)$$

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$Mn = 0{,}85 \cdot fc' \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{a}{2})$

$= 0{,}85 \cdot 30\ N/mm^2 \cdot 136{,}3\ mm \cdot 350\ mm \cdot (489\ mm - \frac{136{,}3\ mm}{2})$

$= 524370285.8\ Nmm$

Maka,

$Mn_{pasang} > Mn$

524370285.8 Nmm > 486393624.5 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk (35/55) pada daerah lapangan dipakai:

- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 3D22
- Tulangan tarik 2 lapis
  Lapis 1 = 4D22
  Lapis 2 = 4D22

4.5.1.3. Penulangan Geser

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7, V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dengan Vn adalah $\frac{V_e}{\phi}$

Menurut pasal 21.5.4.1 Gaya geser desaim, Ve, harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, Mpr, bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Gaya geser desain

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (35/55), didapat:

Dipasang:

tulangan tarik 7D22, As = 2660,93 mm^2

tulangan tekan 4D22, As' = 1520,53 mm^2

Tinggi balok gaya tekan beton

$$a_1 = \frac{As \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' . \ b}$$

$$= \frac{2660{,}93 \ mm^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2}{0{,}85 \ . \ 30 \ N/mm^2 . \ 350 \ mm}$$

$$= 149{,}1 \ mm$$

$$M_{pr1} = As \ . 1{,}25 \ fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 2660{,}93 \ mm^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2 \left(489 \ mm - \frac{149{,}1 \ mm}{2}\right)$$

$$= 551429865.8 \ Nmm$$

$$a_2 = \frac{As' \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' . \ b}$$

$$= \frac{1520{,}53 \ mm^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2}{0{,}85 \ . \ 30 \ N/mm^2 . \ 350 \ mm}$$

$$= 85{,}18 \ mm$$

$$M_{pr2} = As' \ . 1{,}25 \ fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 1520{,}53 \ mm^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2 \left(489 \ mm - \frac{85{,}18 \ mm}{2}\right)$$

$$= 339388642 \ Nmm$$

$$Vu = 255661{,}83 \ N$$

(didapat dari ETABS kombinasi 1,2D+1,0L maksimum)

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u + L_n}{2}$$

$$= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u$$
$$= \frac{551429865.8 + 339388642}{8100 - 1000} + 255661,83$$
$$= 381129.22 \text{ N}$$

Sehingga gaya geser desain untuk daerah tumpuan sebesar:
V_e = 381129.22 N

Untuk $Ve_{lapangan}$ dilakukan interpolasi, didapatkan besarnya Ve diluar sendi plastis (2h = 0,7 m)
$Ve_{lapangan}$ = 263032.85 N

Daerah Tumpuan

Kuat geser beton

Pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan $V_c = 0$ jika keduanya (a) dan (b) terjadi:

(a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa V_e mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

V_e	> ½ Vu
381129.22 N	> ½ 255661,83
381129.22 N	> 127830.915 (OK)

(b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u, termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c'$/ 20
Nilai P_u pada balok induk = 0 (OK)

Maka perhitungan selanjutnya dianggap Vc = 0

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$$
$$= \frac{1}{3} . 350 \text{ mm} . 489 \text{ mm}$$
$$= 57050 \text{ N}$$

$$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$$
$$= \frac{381129.22}{0,75} - 0$$
$$= 508172 \text{ N}$$

$Vs_{min} < Vs_{perlu}$
57050 N < 508172 N
Maka selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$$Vs = \frac{Av \,.\, fy \,.\, d}{S}$$
$$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy \,.\, d}$$
$$= \frac{508172}{280 \,.\, 489}$$
$$= 3,71 \text{ mm}^2\text{/mm / dua kaki}$$

<u>Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi</u>

$$\frac{At}{S} = 0,66 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \,.\, At}{S} + \frac{Av}{S}$$
$$= 2 \,.\, 0,66 + 3,71$$
$$= 5,03 \text{ mm}^2\text{/mm}$$

Dengan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm:

$$A_{D13} = 0,25 \,.\, \pi \,.\, 13^2 \,.\, 2$$
$$= 265,5 \text{ mm}^2$$
$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$
$$= \frac{265,5 \text{ mm}^2}{5,03 \text{ mm}^2\text{/mm}}$$
$$= 52,8 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1440/8 = 180 mm atau 300 mm

Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3 D 12-50 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{30} \frac{350 \cdot 50}{280}$
$= 21{,}2 \text{ mm}^2 < 265{,}5 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 350 \cdot 50) / 280$
$= 21{,}9 \text{ mm}^2 < 265{,}5 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.1 bahwa pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;

Wilayah tumpuan direncanakan sepanjang
2h = 2 . 550 mm
= 1100 mm

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

(a) d/4
So < d/4
50 mm < 489 mm/4
50 mm < 122,3 mm (memenuhi)

(b) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
So < 6 . D lentur
50 mm < 6 . 22 mm
50 mm < 132 mm (memenuhi)

(c) 150 mm

So < 150 mm
50 mm < 150 mm (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D13 – 50 mm dengan 2 kaki.

Daerah Lapangan

$Vs_{min} = \frac{1}{3} . b . d$
$= \frac{1}{3} . 350\ mm . 489\ mm$
$= 57050\ N$

$Vc = 0,17 . \lambda . \sqrt{f_c'} . b_w . d$
$= 0,17 . 1 . \sqrt{30\ MPa} . 350\ mm . 489\ mm$
$= 156237.86\ N$

$Vs_{perlu} = \frac{V_e}{\phi} - Vc$
$= \frac{263032.84}{0,75} - 156237.86\ N$
$= 194473\ N$

$Vs_{min} < Vs_{perlu}$
$57050\ N < 194473\ N$

Maka selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$Vs = \frac{Av . fy . d}{S}$

$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy . d}$
$= \frac{194473}{280 . 489}$
$= 1,42\ mm^2/mm$ / dua kaki

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

$\frac{At}{S} = 0,66\ mm^2$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \,.\, At}{S} + \frac{Av}{S}$$
$$= 2 \,.\, 0,66 + 1,42$$
$$= 2,74 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dengan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm:

$$A_{D13} = 0,25 \,.\, \pi \,.\, 13^2 \,.\, 2$$
$$= 265,5 \text{ mm}^2$$
$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$
$$= \frac{265,5 \text{ mm}^2}{2,74 \text{mm}^2/\text{mm}}$$
$$= 96,9 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 1440/8 = 180 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 2 D 12-90 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$$0,062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \,.\, s}{fyt} = 0,062 \sqrt{30} \frac{350 \,.\, 90}{280}$$
$$= 42,4 \text{ mm}^2 < 339,3 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$
$$\text{dan } (0,35 \,.\, bw \,.\, s) / fyt = (0,35 \,.\, 350 \,.\, 90) / 280$$
$$= 43,8 \text{ mm}^2 < 339,3 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Pada daerah diluar sendi plastis sengkang dengan kait harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari d/2.

So < d/2
90 mm < 339 mm/2
90 mm < 122,3 mm (memenuhi)

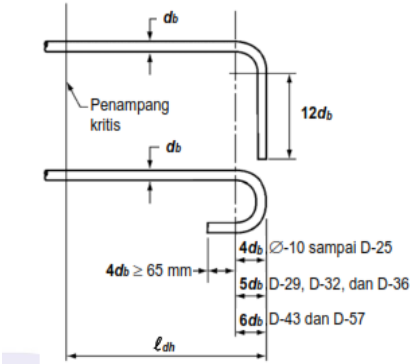
Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D12 – 90 mm dengan 2 kaki.

4.5.1.4. Perhitungan panjang penyaluran

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan seperti berikut:

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standart, ldh, harus ditentukan sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2 dan ldh tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm.



Gambar 4. 30 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda \sqrt{fc'}}\right) d_b$

Dimana

$\psi e = 1$

$\lambda = 1$ (beton normal)

$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda \sqrt{fc'}}\right) d_b$

$= \left(\frac{0{,}24\ .\ 1\ .\ 400\ \mathrm{N/mm^2}}{1\sqrt{30\ \mathrm{N/mm^2}}}\right) 22\ \mathrm{mm}$

$= 385.60$ mm

As_{perlu} = 2640,74 mm^2
As_{pasang} = 2660,93 mm^2

$$l_{dh\ reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \cdot ld$$

$$= \frac{2640{,}74\ mm^2}{2660{,}93\ mm^2} \cdot 385.60\ mm$$

$$= 382.67\ mm \approx 400\ mm$$

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1

l_{dh} > $8d_b$
400 mm > 8. 22 mm
400 mm > 176 mm (memenuhi)
l_{dh} > 150 mm
400 mm > 150 mm (memenuhi)

$$l_{dh} > \frac{f_y\ d_b}{5{,}4\ \sqrt{fc'}}$$

$$400\ mm > \frac{400 \cdot 22}{5{,}4\ \sqrt{30}}$$

400 mm > 297,53 mm (memenuhi)

Selanjutnya ditambah dengan kait sepanjang $12d_b$.

$12d_b$ = 12 . 22 mm
= 264 mm

Sehingga digunakan l_{dh} sepanjang 400 mm kemudian ditambah dengan kait 90^o sepanjang 300 mm

<u>Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik</u>

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir D-22 dan yang lebih besar, ld harus dihitung dengan rumus di bawah ini dan ld tidak boleh kurang dari 300 mm.

$$l_d = \left(\frac{fy \cdot \psi t \cdot \psi e}{1{,}7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'}}\right) db$$

Dimana
Fc' = 30 MPa
fy = 400 MPa
db = 22 mm
ψt = 1
ψe = 1,5
λ = 1 (beton normal)

$$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e}{1{,}7 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}}\right) db$$
$$= \left(\frac{400 \,.\, 1 \,.\, 1{,}5}{1{,}7 \,.\, 1 \,.\, \sqrt{30}}\right) 22$$
$$= 1418 \text{ mm} > 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

$As_{perlu} = 2640{,}74 \text{ mm}^2$
$As_{pasang} = 2660{,}93 \text{ mm}^2$

$$ld_{reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \,.\, ld$$
$$= \frac{2640{,}74 \text{ mm}^2}{2660{,}93 \text{ mm}^2} \,.\, 1418 \text{ mm}$$
$$= 1407 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1500 mm.

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.2(b)
l_d > 3,25 l_{dh}
1500 mm > 3,25 400 mm
1500 mm > 1300 mm (memenuhi)

Pada pasal 21.7.5.3 menyebutkan Batang tulangan lurus yang berhenti pada suatu joint harus melewati inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebarang bagian l_d tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6 kali.

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 dan ldc tidak boleh kurang dari 200 mm.

$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24\, fy}{\lambda \sqrt{fc'}}\right) d_b$

$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24\,.\ 400\ \mathrm{N/mm^2}}{1\sqrt{30\ \mathrm{N/mm^2}}}\right) 22\ \mathrm{mm}$

$l_{dc} = 385{,}6\ \mathrm{mm}$

atau

$l_{dc} = (0{,}043\ .\ fy)\ d_b$

$= (0{,}043\ .\ 400)\ 22\ \mathrm{mm}$

$= 378{,}4\ \mathrm{mm}$

Maka ldc diambil 385,6 mm > 200 mm (memenuhi)

$As'_{perlu} = 166{,}38\ \mathrm{mm^2}$

$As'_{pasang} = 1520{,}53\ \mathrm{mm^2}$

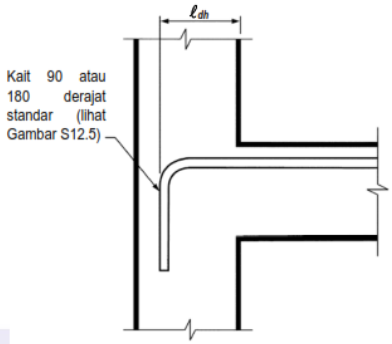
$l_{dc\ reduksi} = \frac{\text{As' perlu}}{\text{As' pasang}} \cdot l_{dc}$

$= \frac{166{,}38\ \mathrm{mm^2}}{1520{,}53\ \mathrm{mm^2}} \cdot 385{,}6\ \mathrm{mm}$

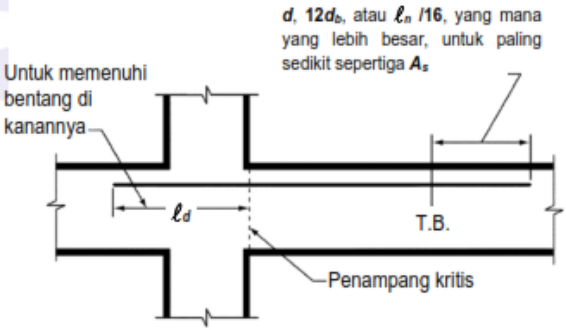
$= 42{,}19\ \mathrm{mm} \approx 200\ \mathrm{mm}$

Penyaluran tulangan momen negatif

Berdasar pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari ***d*, *12d*$_b$*/, dan* l_n*/16***, yang mana yang lebih besar.



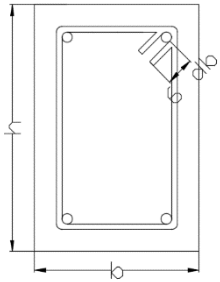
Gambar 4. 31 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior



Gambar 4. 32 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya

d = 489 mm
12 . db = 12 . 22 mm = 264 mm
Ln/16 = (8100 mm – 1000 mm)/16 = 443,5 mm
Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 489 mm, maka digunakan penyaluran tulangan momen negative = 500 mm.

<u>Kait standart untuk sengkang</u>
Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan $\mathbf{6}d_b$ pada ujung bebas batang tulangan.

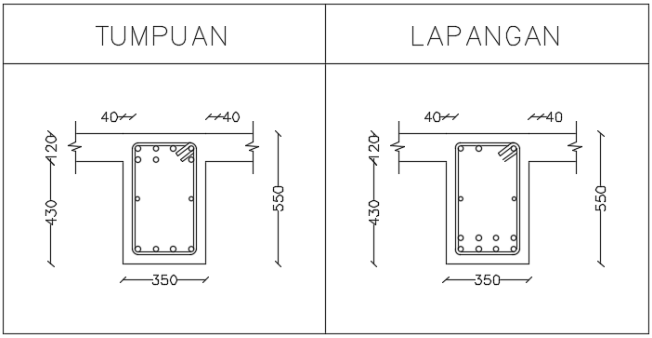


Gambar 4. 33 Kait standart untuk sengkang

$6d_b$ = 6 . 12 mm
= 72 mm < 75 mm
Digunakan panjang kait 75 mm

Tabel 4. 15 Rekapitulasi penulangan balok induk

REKAPITULASI PENULANGAN BALOK INDUK			
Torsi			2 D 16
Lentur	Tumpuan	Tarik	7 D 22
		Tekan	4 D 22
	Lapangan	Tarik	8 D 22
		Tekan	3 D 22
Geser	Tumpuan		2D13 - 50
	Lapangan		2D13 - 90



Gambar 4. 34 Penulangan balok induk

4.5.2. Perencanaan Kolom

Pada perencanaan tugas akhir ini kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom lantai 1. Data perencanaan kolom adalah sebagai berikut :

Tipe kolom = K1 (100/100)
Bentang balok (L) = 4800 mm
Lebar kolom (b) = 1000 mm
Tinggi kolom (h) = 1000 mm
Kuat tekan beton (f'_c) = 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) = 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur) = 25 mm
Diameter tulangan geser (D geser) = 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) = 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
Tebal selimut beton (t decking) = 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
Faktor reduksi kekuatan (ϕ) = 0,65
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Tinggi efektif kolom :

d = h – decking – Dsengkang – ½ D lentur
= 1000 mm – 40 mm – 13 mm - ½ . 25 mm
= 934.5 mm

d’ = h - d
= 1000 mm - 934.5 mm
= 65,5 mm

Karena mutu beton berada di atas 28 MPa, maka nilai β1, di gunakan perumusan sesuai dengan (SNI 2847:2013 ps 10.2.7.3)

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\,\frac{(f'_c - 28)}{7}$$

$$= 0{,}83$$

Dari hasil analisa struktur didapatkan hasil sebagai berikut:
Pu = 12074,6 kN
Mx = 782,09 kNm
My = 912,08 kNm
Ve = 328,236 kN

4.5.2.1. Kontrol Dimensi Kolom

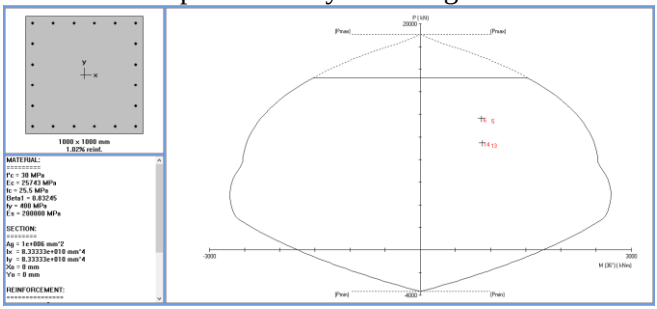
Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847:2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi Ag fc' / 10 harus memenuhi ketentuan pada pasal 21.6.4; 21.6.5; dan 21.7.3.

Gaya aksial terfaktor ≥ Ag x fc' / 10
12074644.4 N ≥ 1000 mm x 1000 mm x 30 MPa / 10
12074644.4 N ≥ 3000000 N

Dari hasil analisa dengan menggunakan program bantu ETABS didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 12074644.4 N. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi Ag x fc' / 10 maka pasal tersebut di atas berlaku.

4.5.2.2. Perhitungan Penulangan Kolom

Dari hasil analisa dengan program bantu ETABS didapat data beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu SpColumn, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom yaitu sebagai berikut :



Gambar 4. 35 Hasil output program bantu Spcolumn

Berdasarkan hasil tersebut, kolom memerlukan tulangan memanjang (longitudinal) sebanyak 20D25 (ρ = 1,02%). Kebutuhan ρ tersebut telah memenuhi syarat SNI 2847:2013 pasal 10.9.1 yaitu antara 1% - 8%. Dari hasil analisis kolom menggunakan program bantu SpColumn, didapat hasil analisa sebagai berikut :

- Rasio tulangan longitudinal = 1,04%
- Penulangan 20D25 = 9817,4977 mm^2
- Ix = 8,333 x 10^{10} mm^4
- Iy = 8,333 x 10^{10} mm^4
- Ag = 1000000 mm^2

4.5.2.3. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

ϕP_n (max)= 0,8 x ϕ x [0,85 x f'_c x (A_g – A_{st}) + f_y x A_{st}]

= 0,8 x 0,65 x [0,85 x 30 x (1000000 – 9817,477) + 400 x 9817,477]

= 15171855.48 N

Syarat :

P_n max > P_u

15171855.48 N > 12074644.4 N (OKE)

Jadi tulangan 20D25 dapat digunakan.

4.5.2.4. Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana Ve

- Geser pada Kolom

  Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain, Ve ditentukan sebagai berikut :

  $Ve = \frac{2 \times M_{pr}}{L}$

  Mpr adalah kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka *joint* yang mengasumsikan

tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit 1,25 f_y dan faktor reduksi ϕ kekuatan sebesar 1,0 Nmm.

Sehingga nilai fy untuk analisa geser sebesar 1,25 f_y = 1,25 x 400 MPa = 500 MPa

Dari hasil analisa menggunakan SpColomn diperoleh hasil sebagai berikut :

Mprt = 4171.18 kNm
Mprb = 2962.13 kNm
Mnt = 945.85 kNm
Mnb = 4042.57 kNm
L = 4800 mm = 4,8 m

$$V_e = \frac{M_{prt}+M_{prb}}{L}$$
$$= \frac{4171.18 + 2962.13}{4,8}$$
$$= 1486,106 \text{ kN}$$

- Geser pada Balok

  Data Balok :

  b = 350 mm
  h = 550 mm
  d = 489 mm
  As = 2660,93 mm^2
  As' = 1520,53 mm^2
  L = 8100 mm
  Fc' = 30 MPa

  - M_{pr1}

    $$a = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$
    $$= \frac{1,25 \times 2660,93 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350}$$
    $$= 149,1 \text{ mm}$$

    M_{pr1} $= 1,25 \times A_s \times f_y \times (d - ½ a)$
    $= 1,25 \times 2660,93 \times 400 \times (489 - ½ 149,1)$
    $= 551429865.8$ N.mm

- M_{pr2}

$$a = \frac{1{,}25 \times A_s' \times f_y}{0{,}85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{1{,}25 \times 1963{,}495 \times 400}{0{,}85 \times 30 \times 350}$$

$$= 85{,}2 \text{ mm}$$

M_{pr2} $= 1{,}25 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a)$

$= 1{,}25 \times 2660{,}93 \times 400 \times (489 - \frac{1}{2} 85{,}2)$

$= 339388642.3$ N.mm

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n}$$

$$= \frac{551429865.8 + 339388642.3}{7100}$$

$= 125467.4$ N $= 125{,}5$ kN

Geser rencana akibat kolom tidak perlu lebih dari M_{pr} akibat balok. Maka digunakan $V_e = 125{,}5$ kN. Tapi tidak boleh kurang dari V_e dari hasil analisa struktur pada ETABS = 382,236 kN. Maka digunakan $V_e = 328{,}236$ kN.

4.5.2.5. Persyaratan Strong Colomn Weak Beam

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

$\Sigma M_{nc} \geq 1{,}2 \Sigma M_{nb}$

Dimana ΣMnc adalah momen kapasitas kolom dan ΣMnb merupakan momen kapasitas balok. Perlu diperhatikan bahwa Mnc harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

- Momen Nominal Kolom

M_{nt} = 945,85 kN.m

M_{nb} = 4042,57 kN.m

ΣM_{nc} = 4988,42 kN.m

- Momen Nominal Balok
  - M_{n1}

    a $= \frac{1 \times A_s \times f_y}{0{,}85 \times f'_c \times b}$

    $= \frac{1 \times 2660{,}93 \times 400}{0{,}85 \times 30 \times 350}$

    = 119,3 mm

    M_{n1} =1 x A_s x f_y x (d – ½ a)

    = 1 x 2660,93 x 400 x (489–½ 119,3)

    = 457010655,7 N.mm
  - M_{n2}

    a $= \frac{1 \times A_{s'} \times f_y}{0{,}85 \times f'_c \times b}$

    $= \frac{1 \times 1520{,}53 \times 400}{0{,}85 \times 30 \times 350}$

    = 68,1 mm

    M_{n2} =1 x A_s x f_y x (d – ½ a)

    = 1 x 1520,53 x 400 x (489–½ 68,1)

    = 276691897.7 N.mm
  - ΣM_{nb} = 457010655,7 + 276691897.7

    = 733702553.4 N.mm

Cek syarat Strong Colomn Weak Beam
$\Sigma M_{nc} > 1{,}2 \times \Sigma M_{nb}$
4988,42 kN.m > 1,2 x 733702553.4 N.mm
4988420000 N.mm > 1168698892 N.mm (OKE)

4.5.2.6. Penulangan Geser Kolom

Bedasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1 panjang l_0 tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

L_0 $\geq$ h = 1000 mm

$\geq$ 1/6 x Ln = 1/6 x 4800 mm = 800 mm

$\geq$ 450 mm

Maka digunakan L_0 adalah 1000 mm.

Vu = 328236.1 N

Gaya geser disumbang beton

$Vc = 0{,}17\times\left(1+\frac{Pu}{14\times Ag}\right)\times\lambda\times\sqrt{fc}\times b_w\times d$

$= 0{,}17\times\left(1+\frac{12074644.4}{14\times 1000000}\right)\times 1\times\sqrt{40}\times 1000\times 934{,}5$

$= 1620612.61$ N

$\phi Vc = 0{,}75$ x 1620612.61 N

$= 1215459.45$ N

Gaya geser desain

$Vs = Vu - \phi Vc$

$= 328236.1$ N - 1215459.45 N

$= -887223.35$ N

Maka digunakan Vs min

$Vs\ min = 0{,}33\times\sqrt{fc}\times b_w\times d$

$= 0{,}33\times\sqrt{40}\times 1000\times 934{,}5$

$= 1689094.21$ N

Direncanakan sengkang dengan 4 kaki D13 mm

$Asv = 0{,}25$ x π x 13^2 x 4

$= 531$ mm

Untuk Ash_{min} sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$A_{sh} = 0{,}3\times\frac{s\times bc\times fc'}{fyt}\left[\left(\frac{Ag}{Ach}\right)-1\right]$

Atau

$A_{sh} = 0{,}09\times\frac{s\times bc\times fc'}{fyt}$

Dimana :

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^2)

A_{ch} = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm)

f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

dengan :

b_c = 907 mm

A_{ch} = 846400 mm^2

$A_{sh} / s = 0{,}3 \times \frac{bc \times fc'}{fyt} \left[\left(\frac{Ag}{Ach} \right) - 1 \right]$

$= 0{,}3 \times \frac{907 \times 40}{400} \left[\left(\frac{1000000}{846400} \right) - 1 \right]$

= 3,70 mm/mm^2

$A_{sh} / s = 0{,}09 \times \frac{bc \times fc'}{fyt}$

$= 0{,}09 \times \frac{907 \times 40}{400}$

= 6,1 mm/mm^2

Maka A_{sh}/s pakai adalah 6,1 mm/mm^2

Bila digunakan :

s = 80 mm

A_{sh} = 6,1 mm/mm^2 x 80 mm

= 489,78 mm^2

Syarat :

A_v pasang > A_{sh}

531 mm^2 > 489,78 mm^2 (OKE)

Spasi terkecil pada sendi plastis

S_0 < ¼ b

< 250 mm

S_0 < 6 x d_b

< 150 mm

S_0 < 150 mm

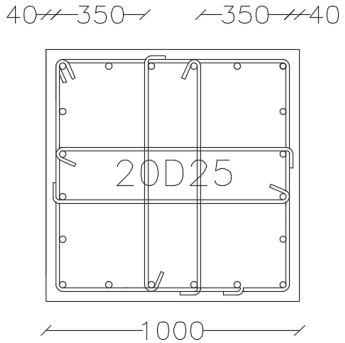
S_0 dipakai yang paling minimum yaitu 150 mm

Syarat :

S pasang < S_0

80 mm < 150 mm (OKE)

Sesuai pasal 21.6.4.2 SNI 2847-2013, kaki-kaki sengkang persegi dalam penampang komponen struktur tidak boleh melebihi 350 mm pusat ke pusat, maka digunakan sengkang dengan 4 kaki D13 mm dengan konfigurasi sebagai berikut:



Gambar 4. 36 Penampang Kolom di daerah sendi plastis

4.5.2.7. Penulangan Sengkang di Luar Sendi Plastis

$$V_{u2} = \frac{Vu1\times\left(\frac{L}{2}\text{-}L0\right)}{\frac{L}{2}}$$

$$= \frac{328{,}2\times\left(\frac{4800}{2}\text{-}1000\right)}{\frac{4800}{2}}$$

$$= 191.47 \text{ kN}$$

$V_s = Vu - \phi Vc$

$= 191471{,}1 \text{ N} - 1215459.45 \text{ N}$

$= -1023988.40 \text{ N}$

Maka digunakan Vs min

$Vs\ min = 0{,}33\times b_w\times d$

$= 0{,}33\times700\times1324{,}5$

$= 311500 \text{ N}$

Direncanakan sengkang dengan 2 kaki D13 mm

$Asv = 0{,}25 \text{ x } \pi \text{ x } 13^2 \text{ x } 2$

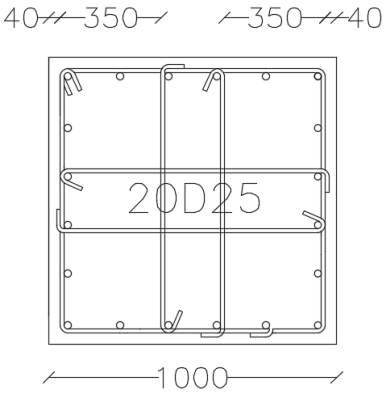
$= 265{,}46 \text{ mm}$

$$s = \frac{Asv\times fyt\times d}{Vs}$$

$$= \frac{265{,}46 \times 400 \times 935}{311500}$$
= 318,56 mm

Spasi terkecil di luar sendi plastis
S_0 = 6 db = 150 mm
S_0 = 150 mm
S perlu = 191,13 mm
S_0 menentukan = 150 mm
Syarat :
S pasang < S_0
150 mm < 150 mm (OKE)

Sesuai pasal 21.6.4.2 SNI 2847-2013, kaki-kaki sengkang persegi dalam penampang komponen struktur tidak boleh melebihi 350 mm pusat ke pusat, sehingga sengkang dengan 2 kaki D13 mm tidak dapat digunakan karena jarak antar kaki > 350 mm, selanjutnya digunakan sengkang dengan 4 kaki D13 mm dengan konfigurasi sebagai berikut:



Gambar 4. 37 Penampang Kolom di luar sendi plastis

4.5.2.8. Hubungan Balok Kolom

Lebar join efektif diambil yang terkecil dari nilai berikut :
1. B balok + h kolom

b_{eff} = 350 mm + 1000 mm
= 1350 mm

2. B balok + 2 x X
Dimana X = 0,5 x (h kolom – b balok)
= 0,5 x (1000 mm – 350 mm)
= 325 mm
b_{eff} = 350 mm + 2 x 325 mm
= 1000 mm

Maka b_{eff} adalah 1000 mm
A_j = h kolom . b_{eff}
= 1000 mm . 1000 mm
= 1000000 mm

Tulangan Balok yang mengekang kolom:
As = 2660,93 mm^2
As' = 1520,53 mm^2

T_1 = As . 1,25 f_y
= 2660,93 mm^2 . 1,25 . 400 MPa
= 1330464,5 N
T_2 = As' . 1,25 f_y
= 1520,53 mm^2. 1,25 . 400 MPa
= 760265,42 N

Mpr1 = 551429865.8 Nmm
Mpr2 = 339388642.3 Nmm

<u>Hubungan Balok Kolom Tengah</u>

$$Mu = \frac{Mpr1 + Mpr2}{2}$$
$$= \frac{551429865.8 + 339388642.3}{2}$$
= 445409254 Nmm

Vh = Mu/(h/2)
= 445409254 Nmm / (4800 mm/2)
= 371174.38 N

Gaya geser di HBK
V_{x-x} = $T_1 + T_2 – Vh$
= 1330464,5 N + 760265,42 N - 371174.38 N
= 1719555.53 N

Kuat geser nominal untuk kolom yang terkekang 4 balok (SNI 2847-2013 pasal 21.7.4.1)
ϕ Vc = ϕ $1,7\times\sqrt{f'_c}\times A_j$
= $0,75 \times 1,7\times\sqrt{40}\times 1000000$
= 6983462,61 N

Syarat :
ϕ Vc > V_{x-x}
6983462,61 N > 1719555.53 N

<u>Hubungan Balok Kolom Tepi</u>

$$Mu = \frac{Mpr2}{2}$$
$$= \frac{339388642.3}{2}$$
= 169694321,2 Nmm

Vh = Mu/(h/2)
= 445409254 Nmm / (4800 mm/2)
= 70705,97 N

Gaya geser di HBK
V_{x-x} = $T_1 – Vh$
= 1330464,5 N - 70705,97 N
= 1259758.52 N

Kuat geser nominal untuk kolom yang terkekang 3 balok (SNI 2847-2013 pasal 21.7.4.1)

ϕ Vc = ϕ 1,2×$\sqrt{f_c}$×A_j
= 0,75 × 1,2×$\sqrt{40}$×1000000
= 4929503.02 N

Syarat :
ϕ Vc > $V_{x\text{-}x}$
4929503.02 N > 1259758.52 N

4.5.2.9. Sambungan Lewatan Tulangan

Pasal 21.6.3.3 SNI 2847-2013 menetapkan Sambungan Lewatan hanya boleh diletakkan ditengah ketinggian kolom (l_c) dan di desain sebagai Sambungan Lewatan tertarik. Sambungan Lewatan ini harus dikekang oleh Tulangan Transversal sesuai dengan Pasal 21.6.4.2 dan 21.6.4.3 SNI 2847-2013

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3 bahwa ld harus dihitung dengan rumus di bawah ini dan ld tidak boleh kurang dari 300 mm.

$$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e \,.\, \psi s}{1{,}1 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}\ \frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} \right) db$$

Dimana
Fc’ = 30 MPa
fy = 400 MPa
db = 25 mm
ψt = 1
ψe = 1
ψs = 1
λ = 1 (beton normal)
$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5

$$l_d = \left(\frac{fy \cdot \psi t \cdot \psi e \cdot \psi s}{1{,}1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{fc'} \; \frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} \right) db$$

$$= \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1{,}1 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 2{,}5} \right) 25$$

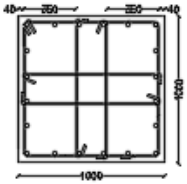
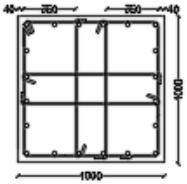
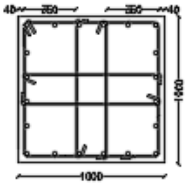
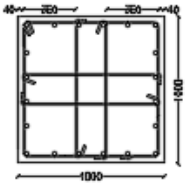
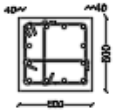
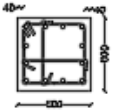
= 663,9 mm > 650 mm (memenuhi)

Maka panjang sambungan lewatan kolom dipakai sebesar 650 mm.

4.5.2.10. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Kolom

Dengan cara yang sama dengan perhitungan penulangan Kolom K1, Kolom K2 dan K3 didapatkan hasil seperti berikut:

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penulangan Kolom

KODE	K1	
LOKASI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI	1000 x 1000	1000 x 1000
TULANGAN UTAMA	20D25	20D25
SENGKANG	4D13–80	4D13–150
KODE	K2	
LOKASI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI	1000 x 1000	1000 x 1000
TULANGAN UTAMA	20D25	20D25
SENGKANG	4D13–50	4D13–100
KODE	K3	
LOKASI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI	500 x 500	500 x 500
TULANGAN UTAMA	12D22	12D22
SENGKANG	3D13–100	3D13–130

4.6. Perencanaan Struktur Pratekan

4.6.1. Umum

Studi beton pratekan ini menggunakan metode pasca tarik *(post tension)* dan pengecorannya monolit dengan kolom. 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.

Studi beton pratekan pada balok lantai dilakukan di lantai 13 (atap), dimana pada lantai 12 terdapat ruang *Multifunction Hall* yang sangat membutuhkan ruangan yang bebas tanpa hambatan kolom di tengahnya. Jumlah balok pratekan yang dilakukan studi adalah 6 buah, dengan panjang bentang adalah 16,2 meter. Sebelum dilakukan studi balok pratekan, maka akan ditentukan terlebih dahulu spesifikasi mutu bahan, tahap pembebanan, jenis tendon yang digunakan, tegangan ijin komponen struktur, kehilangan pratekan, serta kontrol struktur yang meliputi kontrol batas layan (servisibility), dan penggambaran output.

4.6.2. Data Perencanaan

Berikut ini adalah data data perencanaan beton pratekan pada ruang *Multifunction Hall*:

- Panjang bentang = 16,2 meter
- Dimensi balok pratekan = 55/80 cm
- $f`_c$ = 40 MPa (beton pratekan)
- $f`_c$ = 30 MPa (pelat lantai)
- t_p = 12 cm (lantai atap)

4.6.3. Mencari Lebar Efektif

Dalam mencari lebar efektif (be), maka digunakan bebearapa perumusan yang terdapat di dalam SNI 2847:2013 pasal 8.12.2, dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi :

- Delapan kali tebal pelat

- Setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan

Diketahui bentang plat di kanan kiri balok pratekan adalah:

Lx_{kiri} = 4050 mm

Lx_{kanan} = 4050 mm

Sehingga perhitungan lebar efektif balok T ialah sebagai berikut :

be_1 = ¼ Ln

= ¼ (16200 mm)

= 4050 mm

be_2 = bw + (8 tp)

= 550 + (8 × 120 mm)

= 1510 mm

be_3 = bw + ½ ((Lx_{kiri}-bw)+(Lx_{kanan}-bw))

= 550 + ½ (3500 mm + 3500 mm)

= 4050 mm

be diambil yang paling minimum = 1510 mm

E_c plat = $4700 \times \sqrt{fc'} = 4700 \times \sqrt{30} = 25742{,}96$ Mpa

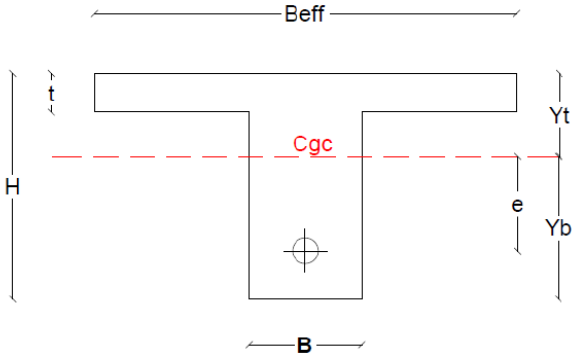
E_c balok = $4700 \times \sqrt{fc'} = 4700 \times \sqrt{40} = 29725{,}41$ Mpa

n = E_c plat / E_c balok = 1,15

be pakai = be/n = 1510 mm / 1,15 = 1307,7 mm

4.6.4. Analisa Penampang Global

Penampang balok pratekan menjadi penampang balok-T, karena ada pelat lantai. Pengecoran pelat selebar B efektif dilakukan secara bersamaan dengan balok prategang sehingga mutu bahan antara pelat dan balok pratekan sama,



Gambar 4. 38 Penampang Balok Pratekan

Luas penampang balok pratekan didapat sebagai berikut :

A plat $= t_p \times be$
$= 120\ mm \times 1307,7\ mm$
$= 156923,80\ mm^2$

A balok $= b \times (h - t_p)$
$= 550\ mm \times (800 - 120)\ mm$
$= 374000\ mm^2$

A total $=$ A plat + A balok
$= 156923,80\ mm^2 + 374000\ mm^2$
$= 530923,80\ mm^2$

Nilai garis netral pada penampang balok sebagai berikut :

$$Yt = \frac{\left(A\ balok \times \left(\frac{h-t_p}{2} + t_p\right)\right) + \left(A\ plat \times \frac{t_p}{2}\right)}{A\ total}$$

$$Yt = \frac{\left(374000 \times \left(\frac{800-120}{2} + 120\right)\right) + \left(156923,80 \times \frac{120}{2}\right)}{530923,80} = 341,77\ mm$$

$Yb = h - Yt$
$= 800\ mm - 341,77\ mm$
$= 458,23\ mm$

$dt = Yt - t_p/2$
$= 341,77\ mm - 120 / 2$

$= 281{,}77$ mm

$db = Yb - h_b/2$

$= 458{,}23 \text{ mm} - 680 / 2$

$= 118{,}23$ mm

Nilai I_C didapat sebagai berikut :

$$I_C = \left(\frac{1}{12}\right) bh^3 + \left(\text{A balok} \times db^2\right) + \frac{1}{12}.be.tf^3 + (\text{A plat} \times dt^2)$$

$$I_C = \frac{1}{12} 550\left(680^3\right) + 374000\left(118{,}23^2\right) + \frac{1}{12} 1307{,}7 \left(120^3\right) + 156923{,}80\left(281{,}77^2\right)$$

$$I_C = 32286532399 \text{ mm}^4$$

Setelah didapat data-data di atas diperlukan nilai batasan letak kabel tendon hendak dipasang yang disebut daerah limit kabel. Tendon dipasang pada daerah yang menyebabkan beton menjadi tertekan dimana daerah tersebut dibatasi oleh nilai dan wilayah kern pada penampang balok. Dimana :

$W_t = I_C / Yt$

$= 32286532399 \text{ mm}^4 / 341{,}77 \text{ mm}$

$= 94467764{,}03 \text{ mm}^3$

$W_b = I_C / Yb$

$= 32286532399 \text{ mm}^4 / 458{,}23 \text{ mm}$

$= 70459692{,}15 \text{ mm}^3$

$K_t = W_b / A \text{ total}$

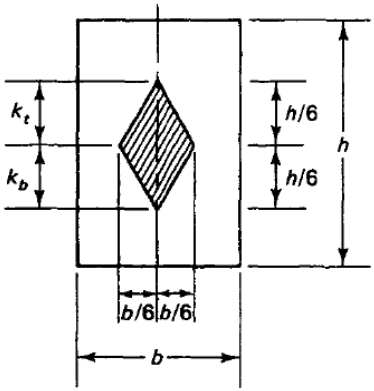
$= 70459692{,}15 \text{ mm}^3 / 530923{,}80 \text{ mm}^2$

$= 132{,}71$ mm

$K_b = W_t / A \text{ total}$

$= 94467764{,}03 \text{ mm}^3 / 530923{,}80 \text{ mm}^2$

$= 177{,}93$ mm



Gambar 4. 39 Daerah pusat kern untuk penampang persegi panjang

Kontrol posisi kern:

K_t < h/6
132,71 mm < 800 mm /6
132,71 mm < 133,33 mm (memenuhi)

K_b < h/6
177,93 mm < 800 mm /6
177,93 mm < 133,33 mm (tidak memenuhi)
Maka digunakan Kb = 133,33 mm

b/6 = 550 mm /6
= 91,67 mm

Keterangan :
K_t = kern atas I_C = momen inersia
K_b = kern bawah

4.6.5. Tegangan Izin Balok Pratekan

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai f_{ci} dihitung dengan cara sebagai berikut (acuan koefisien berdasarkan PBI) :

f_{ci} = 0,88 × 40 MPa = 35.2 MPa

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

a. Segera setelah peralihan gaya pratekan (sebelum kehilangan), tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut :

   Tegangan Tekan

   σ_{tk} = 0,6 × f_{ci}

   = 0,6×35.2 MPa

   = 21.12 MPa

   Tegangan Tarik

   σ_{tr} = 0,25 × $\sqrt{f_{ci}}$

   = 0,25 × $\sqrt{35,2}$ MPa

   = 1,48 MPa

b. Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya pratekan., tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut :

   Tegangan Tekan akibat beban tetap

   σ_{tk} = 0,45 × $f'c$

   = 0,45 × 40 MPa

   = 18 MPa

   Tegangan Tekan akibat beban total

   σ_{tk} = 0,6 × f'_c

   = 0,6 × 40 MPa

   = 24 MPa

   Tegangan Tarik

   σ_{tr} = 0,62 × $\sqrt{f'_c}$

   = 0,62×$\sqrt{40}$ MPa

   = 3,92 MPa

4.6.6. Desain Gaya Prategang Awal

Eksentrisitas

d' = 150 mm (jarak serat terluar tarik hingga titik berat tendon)

e = Yb – d'

= 458,23 mm – 150 mm
= 308,23 mm

Tegangan Saat Transfer

Saat transfer balok pratekan masih berbentuk balok T, untuk itu dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Beban saat transfer:

Berat sendiri balok = 2400 kg/m^3 × A balok
= 2400 kg/m^3× 0,374 m^2
= 897,6 kg/m

Berat sendiri sayap = 2400 kg/m^3 × A plat
= 2400 kg/m^3 × 0,1569 m^2
= 376.62 kg/m

q_D (kombinasi 1D) = 897,6 kg/m + 376.62 kg/m
= 1274,20 kg/m

M_{max} lapangan = 1/24 q × l^2
= 1/24 (1274,20 kg/m) × (16,2 m)^2
= 13933,6 kgm
= 139335642,9 Nmm

M_{max} tumpuan = 1/12 q × l^2
= 1/12 (1274,20 kg/m) × (16,2 m)^2
= 27867,1 kgm
= 278671285,8 Nmm

- Serat Atas

$$\sigma_{tr} \geq -\frac{Fo}{A} + \frac{Fo \times e}{W_t} - \frac{M_{lapangan}}{W_t}$$

$$1{,}48 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} + \frac{Fo \times 308{,}23}{94467764{,}03} - \frac{139335642{,}9}{94467764{,}03}$$

$$1{,}48 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} + \frac{Fo}{306488} - 1.47$$

$$1{,}48 \geq 0{,}69\,\frac{Fo}{530923{,}80} - 1.47$$

$$2{,}96 \geq 0{,}69\,\frac{Fo}{530923{,}80}$$
$$Fo \leq 2144761{,}6\ N$$
$$Fo \leq 2144{,}8\ kN$$

- Serat Bawah

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{Fo}{A} - \frac{Fo \times e}{W_b} + \frac{M_{lapangan}}{W_b}$$
$$-21 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} - \frac{Fo \times 308{,}23}{70459692{,}15} + \frac{139335642{,}9}{70459692{,}15}$$
$$-21 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} - \frac{Fo}{228597} + 1{,}98$$
$$-21 \geq -3{,}32\,\frac{Fo}{530923{,}80} - 5{,}39$$
$$-23{,}10 \geq -3{,}32\,\frac{Fo}{530923{,}80}$$
$$Fo \leq 3690864{,}8\ N$$
$$Fo \leq 3690{,}9\ kN$$

Tegangan Saat Beban Layan

Saat beban layan, balok pratekan sudah menerima beban dari pelat secara penuh, serta beban hidup dan beban mati tambahan, untuk itu gaya momen yang bekerja didapatkan dari output ETABS sebagai berikut:

M_{max} lapangan = 705838381,9 Nmm
M_{max} tumpuan = 895453288 Nmm

- Serat Atas

$$\sigma_{tr} \geq -\frac{Fo}{A} + \frac{Fo \times e}{W_t} - \frac{M_{lapangan}}{W_t}$$
$$3{,}92 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} + \frac{Fo \times 308{,}23}{94467764{,}03} - \frac{705838381{,}9}{94467764{,}03}$$
$$3{,}92 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} + \frac{Fo}{306488} - 7{,}47$$
$$3{,}92 \geq 0{,}73\,\frac{Fo}{530923{,}80} - 7.47$$

$$11{,}4 \geq 0{,}73 \frac{Fo}{530923{,}80}$$
$$Fo \leq 8260170{,}5 \text{ N}$$
$$Fo \leq 8260{,}2 \text{ kN}$$

- Serat Bawah

$$\sigma_{tk} \geq -\frac{Fo}{A} - \frac{Fo \times e}{W_b} + \frac{M_{lapangan}}{W_b}$$
$$-24 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} - \frac{Fo \times 308{,}23}{70459692{,}15} + \frac{705838381{,}9}{70459692{,}15}$$
$$-24 \geq -\frac{Fo}{530923{,}80} - \frac{Fo}{228597} + 10{,}02$$
$$-24 \geq -3{,}32 \frac{Fo}{530923{,}80} + 10{,}02$$
$$-34{,}02 \geq -3{,}32 \frac{Fo}{530923{,}80}$$
$$Fo \leq 5435839{,}9 \text{ N}$$
$$Fo \leq 5435{,}8 \text{ kN}$$

Dari kondisi saat transfer dan beban layan diambil gaya paling minimum:

$$Fo \leq 2144{,}8 \text{ kN}$$
$$Fo = 2100 \text{ kN (OK)}$$

4.6.7. Penentuan Tendon yang Digunakan

Digunakan tipe baja prategang 7 *wire uncoated* ASTM A416 dengan data properties sebagai berikut:

Tipe = 7 *wire uncoated* ASTM A416
Diameter = 12,7 mm
Luas kawat = 100.1 mm^2
Min. breaking load = 184 kN
Tegangan izin baja prategang
f_{pu} = Minimum breaking load / A_s
= 184000 N / 100.1 mm^2
= 1838,16 M Pa

f_{py} = 0,9 f_{pu}
= 0,9 (1838,16 MPa)
= 1654,35 MPa

Tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

a. Tegangan ijin akibat gaya pengangkuran tendon 0.94 fpy, tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari 0.8 fpu dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon pratekan atau perangkat angkur. (SNI 2847:2013 Ps.18.5.1)
b. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya pratekan 0.70 fpu (SNI 2847:2013 Ps.18.5.1)
   Sehingga tegangan diambil paling minimum dari:
   0,94 f_{py} = 0,94 (1654,35 MPa)
   = 1555,08 MPa
   0,80 f_{pu} = 0,80 (1838,16 MPa)
   = 1470,53 MPa
   0,70 f_{pu} = 0,70 (1838,16 MPa)
   = 1286,71 MPa
   Tegangan yang menentukan f_p = 1286,71 MPa

   Luasan tendon yang diperlukan:
   A_{ps} = Fo / f_p
   = 2100000 N / 1286,71 MPa
   = 1632,07 mm^2
   Jumlah strand:
   n = A_{ps} / A_s
   = 1632,07 mm^2 / 100.1 mm^2
   = 17 buah

4.6.8. Perhitungan Kehilangan Gaya Pratekan

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat

stressing. Kehilangan pratekan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

4.6.8.1. Kehilangan Gaya Pratekan Langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada pada komponen balok pratekan. Kehilangan secara langsung terdiri dari:

1. Kehilangan akibat perpendekan elastis (SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.b)
   Dikarenakan jumlah tendon yang digunakan hanya berjumlah 1 buah, maka kehilangan gaya pratekan akibat perpendekan elastis tidak mempengaruhi.
   Sehingga $\Delta f_{pES} = 0$

2. Kehilangan akibat gesekan (*Wobble Effect*) (SNI 2847:2013 pasal 18.6.2)
   Perhitungan kehilangan pratekan diakibatkan oleh gesekan antara material beton dan baja pratekan saat proses pemberian gaya pratekan. Kehilangan pratekan akibat gesekan (*wobble effect*) dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

   α = 8 e / L
   = 8 (308,23 mm / 16200 mm)
   = 0.15 (radian)

   f_1 = Fo / A_{ps}
   = 210000 / 1632,07 mm^2
   = 1286,71 MPa

   Untuk kawat 7 untaian

   K = 0,0016 s/d 0,006
   = 0,0016

   μ = 0,15 s/d 0,25
   = 0,15

   Δf_{pF} = $f_1(1-e^{-\mu\alpha+KL})$
   = 1286,71 MPa (1- $e^{-0,15\times0,17+0,0016\times16,2}$)

= 61,22 MPa

% $= \Delta f_{pF} / f_p$

= 61,22 MPa / 1286,71 MPa

= 4,76%

3. Kehilangan akibat slip angker (SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.a)

Kehilangan akibat pengangkuran/slip angkur terjadi saat tendon baja dilepas setelah mengalami penarikan dan gaya pratekan dialihkan ke angkur.

Rumus perhitungan kehilangan pratekan akibat pengangkuran. Cek apakah kehilangan pratekan akibat pengangkuran berpengaruh sampai ke tengah bentang :

Es = 200000 MPa

g = 0,8

f_p = 1286,71 MPa

$$X = \sqrt{\frac{Es \times g}{f_p\left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K\right)}} < \frac{L}{2}$$

$$X = \sqrt{\frac{200000 \times 0,8}{1286,71\left(\frac{0,15 \times 0,17}{16200} + 0,0016\right)}} < \frac{16200}{2}$$

X = 6428,09 mm < 8100 mm (OK)

Sehingga nilai

$$\Delta f_{pA} = 2 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K\right) X$$

$$= 2 \times \left(\frac{0,15 \times 0,17}{16200} + 0,0016\right) 6428,09 \text{ mm}$$

= 49,78 Mpa

$$\% = \frac{\Delta f_{pA}}{fp}$$

$$= \frac{49,78 \text{ Mpa}}{1286,71 \text{ MPa}}$$

= 3,87%

4. Kehilangan akibat kekangan kolom

   Konstruksi beton pratekan dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan pratekan akibat kekangan kolom. Hal ini terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekauan kolom. Gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya pratekan karena sebagian gaya pratekan yang diberikan digunakan mengatasi perlawanan gaya kolom.

   Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok pratekan maka semakin besar gaya pratekan yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking. Hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi. Sebaliknya jika kolom didesain tidak kaku maka gaya pratekan yang hilang semakin kecil serta momen yang diterima kolom juga berkurang.

   Perhitungan kehilangan prategang akibat kekangan kolom mengacu pada buku "Prestressed Concrete Designer's Handbook" oleh P.W Abeles, B.K. Bardhan Roy dan F.H Turner pada tahun 1976.

   Dapat di hitung kahilangan yang terjadi akibat gaya prategang ini. Perumusan yang digunakan untuk kehilangan gaya pratekan akibat kekangan kolom ialah sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_B}$$

   Data perencanaan kolom:

   Dimensi (1000 × 1000)

   Lk = 7600 mm

   Ik = 1/12 × 1000 × (1000^3) = 83333333333 mm^4

   Data perencanaan balok pratekan:

   Dimensi (550 × 800)

Lb = 16200 mm
Ib = 32286532399 mm^4

$$k = \frac{L_K \times I_B}{L_B \times I_K}$$
$$= \frac{7600 \times 32286532399}{16200 \times 83333333333}$$
$$= 0{,}182$$

Gambar 4. 40 Perpendekan Kolom

Dari permodelan ETABS didapatkan displacement joint yang berada diujung balok pratekan yang telah di *jacking* sebesar:
Node 1 = 0,00006291 mm
Node 2 = 0,124 mm (menentukan)

ΔL = 0,124 mm
ξbb = ΔL/L
= 0,124 mm / 7600 mm
= 0.0000163

Distribusi momen akibat perpendekan kolom

$$Ma = \frac{3 \times (k+1)}{k \times (k+2)} \times \frac{E_C \times I_B}{L_K} \times \xi bb$$
$$= \frac{3 \times (1{,}182)}{0{,}182 \times (2{,}182)} \times \frac{29725 \times 32286532399}{7600} \times$$
0.0000163

$= 18429204$ Nmm

$$Mb = \frac{3}{(k+2)} \times \frac{E_C \times I_B}{L_K} \times \xi bb$$

$$= \frac{3}{(0{,}182+2)} \times \frac{29725 \times 32286532399}{7600} \times 0.0000163$$

$= 2834511$ Nmm

Distribusi momen akibat beban merata

$$Ma = \frac{1}{(k+2)} \times \frac{w \times L_B{}^2}{12}$$

$$= \frac{1}{(0{,}182+2)} \times \frac{12{,}74 \times 16200^{\,2}}{12}$$

$= 127727674$ Nmm

$$Mb = \frac{-2}{(k+2)} \times \frac{w \times L_B{}^2}{12}$$

$$= \frac{-2}{(0{,}182+2)} \times \frac{12{,}74 \times 16200^{\,2}}{12}$$

$= -255455348$ Nmm

Distribusi momen akibat eksentrisitas

$Mp = Fo \times e$

$= 2100000\ N \times 308.23\ mm$

$= 647276671{,}5$ Nmm

$$Ma = \frac{1}{(k+2)} \times Mp$$

$$= \frac{1}{(0{,}182+2)} \times 647276671{,}5 \text{ Nmm}$$

$= 296676220$ Nmm

$Mb = -2 \times Ma$

$= -2 \times 296676220$ Nmm

$= -593352440$ Nmm

Kehilangan kekangan kolom akibat perpendekan kolom

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_B}$$

$$= \frac{18429204 \text{ Nmm} - 2834511 \text{ Nmm}}{16200 \text{ mm}}$$

$$= 963 \text{ N}$$

Kehilangan kekangan kolom akibat beban merata

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_B}$$

$$= \frac{127727674 \text{ Nmm} - (-255455348 \text{ Nmm})}{16200 \text{ mm}}$$

$$= 23653 \text{ N}$$

Kehilangan kekangan kolom akibat eksentrisitas

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_B}$$

$$= \frac{296676220 \text{ Nmm} - (-593352440 \text{ Nmm})}{16200 \text{ mm}}$$

$$= 54940 \text{ N}$$

Total kehilangan akibat kekangan kolom

f_{pK} = 963 N + 23653 N + 54940 N

= 79556 N

Sehingga

Δf_{pK} = f_{pK}/A_{ps}

= 79556 N / 1632.06 mm^2

= 48,75 Mpa

% $= \frac{\Delta f_{pK}}{fp}$

$= \frac{48,75 \text{ Mpa}}{1286,71 \text{ MPa}}$

= 3,79 %

Total kehilangan gaya prategang langsung:

% Total = $\Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pA} + \Delta f_{pK}$

= 0% + 4,76% + 3,87% + 3,79 %

= 12,42%

Tegangan sisa

f'_{pi} = 1286.7 × (100% - 12,42%)

= 1127 Mpa

4.6.8.2. Kehilangan Gaya Pratekan Tidak Langsung

Hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat pemberian gaya pratekan), untuk itu perhitungan kehilangan gaya prategang tidak langsung dibagi menjadi tiga tahap:

Tahap 1= 18 jam setelah *jacking*

Tahap 2= 30 hari setelah *jacking*

Tahap 3= 720 hari setelah *jacking*

Berikut merupakan perhitungan kehilangan gaya prategang tidak langsung:

Tahap 1

1. Kehilangan akibat relaksasi baja

   f_{pi} = 0,70 f_{pu}

   = 0,70 (1838,16 MPa)

   = 1286,71 MPa

   f_{py} = 0,9 f_{pu}

   = 0,9 (1838,16 MPa)

   = 1654,35 MPa

   Sehingga,

   $\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1286,71\ MPa}{1654,35\ MPa}$

   = 0,78 > 0,55, maka digunakan rumus

   $\Delta f_{pR} = f'_{pi}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55\right)$

   Dengan,

   Asumsi transfer terjadi setelah = 18 jam

   Penyebut suku log dibagi = 45 (*low relaxation steel*)

$$\Delta f_{pR} = f'_{pi}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0{,}55\right)$$

$$= 1127 \text{ MPa}\left(\frac{(\log 18)}{45}\right)(0{,}78 - 0{,}55)$$

$$= 7{,}16 \text{ MPa}$$

Total kehilangan

$f_{pT} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH}$

$= 7{,}16 \text{ Mpa} + 0 + 0$

$= 7{,}16 \text{ Mpa}$

Tegangan akhir Tahap 1

$f_{pE1} = f'_{pi} - f_{pT}$

$= 1127 \text{ MPa} - 7{,}16 \text{ Mpa}$

$= 1119{,}8 \text{ MPa}$

Tahap 2

1. Kehilangan akibat relaksasi baja

   $f_{pE1} = 1119{,}8 \text{ MPa}$

   $f_{py} = 0{,}9\, f_{pu}$

   $= 0{,}9\,(1838{,}16 \text{ MPa})$

   $= 1654{,}35 \text{ MPa}$

   Sehingga,

   $\frac{f_{ps}}{f_{py}} = \frac{1119{,}8 \text{ MPa}}{1654{,}35 \text{ MPa}}$

   $= 0{,}68 > 0{,}55$, maka digunakan rumus

   $\Delta f_{pR} = f_{pE1}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0{,}55\right)$

   Dengan,

   Rentang waktu selama = 30 hari

   = 720 jam

   $\Delta f_{pR} = f_{pE1}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0{,}55\right)$

   $= 1119{,}8 \text{ MPa}\left(\frac{(\log 720 - \log 18)}{45}\right)(0{,}68 - 0{,}55)$

   $= 5{,}06 \text{ MPa}$

2. Kehilangan akibat susut

   K_{SH} = 0,58 (pemberian prategang pada hari ke-30

E_{PS} = 200000 MPa
RH = 80%
Luas permukaan balok T
S = (2 × be × L + 2 × h × L)
= (2 × 1510 × 16200 + 2 × 800 × 16200)
= 74844000 mm^2
Volume balok T
V = L (be × t_p + b × (h - t_p))
= 16200 (1510 × 120 + 550 × (800 – 120))
= 8994240000 mm^3
Δf_{pSH} = 8,2 × K_{SH} × E_{PS} × (1 – 0,0236 V/S) (100 – RH)
= 8,2 × 0,58 × 200000 MPa × (1 – 0,0236 × 8994240000 mm^3 / 74844000 mm^2) (100 – 80)
= 34,9 MPa

3. Kehilangan akibat Rangkak
K_{CR} = 1,6 (pascatarik)
n = E_{PS} / E_C
= 200000 / 29725,4
= 6,7

Momen akibat beban mati saat segera setelah jacking
M_D = 13933,6 kgm

Momen akibat beban mati tambahan saat semua beban telah bekerja (didapatkan dari program bantu ETABS)
M_{SD} = 6085,89 kgm

Tegangan akibat beban mati saat segera setelah jacking
P_i = f'_{pi} × A_{ps} × n
= 1127 Mpa × 1632,07 mm^2 × 17
= 1917750,19 N
f_{cs} = $-\frac{Pi}{A_c} - \frac{Pi \times e^2}{I_c} + \frac{M_d \times e}{I_c}$

$$= -\frac{1917750{,}19\ \text{N}}{530923.80} - \frac{1917750{,}19 \times 308.23^2}{32286532399} + \frac{13933{,}6 \times 308.23}{32286532399}$$

$= 7{,}92$ MPa

$$f_{csd} = \frac{M_{sd} \times e}{I_c}$$

$$= \frac{60858900 \times 308.23}{32286532399}$$

$= 0{,}58$ MPa

$\Delta f_{pCR} = n \times K_{CR} \times (f_{cs} - f_{csd})$

$= 6{,}7 \times 1{,}6 \times (7{,}92\ \text{MPa} - 0{,}58\ \text{MPa})$

$= 79{,}06$ MPa

Total kehilangan

$f_{pT} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH}$

$= 5{,}06\ \text{MPa} + 79{,}06\ \text{MPa} + 34{,}9\ \text{MPa}$

$= 119$ Mpa

Peningkatan tegangan akibat penambahan beban

$f_{sd} = n \times f_{csd}$

$= 6{,}7 \times 0{,}58$ MPa

$= 3{,}9$ MPa

Tegangan akhir Tahap 2

$f_{pE2} = f_{pE1} - f_{pT} + f_{sd}$

$= 1119{,}8$ MPa - 119 Mpa + 3,9 Mpa

$= 1004{,}7$ MPa

Tahap 3

1. Kehilangan akibat relaksasi baja

   $f_{pE2} = 1004{,}7$ MPa

   $f_{py} = 0{,}9\ f_{pu}$

   $= 0{,}9\ (1838{,}16\ \text{MPa})$

   $= 1654{,}35$ MPa

   Sehingga,

   $$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1004{,}7\ \text{MPa}}{1654{,}35\ \text{MPa}}$$

   $= 0{,}61 > 0{,}55$, maka digunakan rumus

$$\Delta f_{pR} = f_{pE2}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0{,}55\right)$$

Dengan,

Rentang waktu selama = 720 hari

= 17280 jam

$$\Delta f_{pR} = f_{pE2}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0{,}55\right)$$

$$= 1004{,}7 \text{ MPa}\left(\frac{(\log 17280 - \log 720)}{45}\right)(0{,}61 - 0{,}55)$$

= 1,77 MPa

Total kehilangan

$f_{pT} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH}$

= 1,77 MPa + 0 + 0

= 1,77 MPa

Tegangan akhir Tahap 3

$f_{pE3} = f_{pE2} - f_{pT}$

= 1004,7 MPa – 1,77 Mpa

= 1002,90 MPa

4.6.8.3. Rekapitulasi Kehilangan Gaya Pratekan

Berikut ini hasil rekapitulasi hasil perhitungan kehilangan gaya pratekan, lihat **Tabel 4.17** berikut

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Kehilangan Gaya Pratekan

Level tegangan tiap tahap	Tegangan baja	Persen
	MPa	%
Tegangan efektif Sesudah penarikan 0,7 fpu	**1286.71329**	**100%**
Kehilangan langsung kehilangan perpedekan elastis	0	0
Kehilangan angker slip	49.78	3.9%
Kehilangan wobble effect	61.22	4.8%
Kehilangan Kekangan kolom	48.75	3.8%

Kehilangan tak langsung		
Kehilangan rangkak	79.06	6.1%
Kehilangan susut	34.93	2.7%
Kehilangan relaksasi baja	13.98	1.1%
Total kehilangan	**287.72**	**22.4%**
Penambahan		
Penambahan overtopping	3.91	0.3%
Total penambahan	**3.91**	**0.3%**
Tegangan efektif	1002.90	77.9%

4.6.9. Kontrol Gaya Pratekan Setelah Kehilangan

Besar gaya pratekan yang terjadi setelah kehilangan pratekan adalah sebesar berikut:

f_{pE3} = 1002,90 MPa
Jumlah strands = 17 buah
Luasan kawat = 100.1 mm^2
$f_{efektif}$ = 1002,90 MPa × 17 × 100.1 mm^2
= 1706630,64 N

Kondisi saat beban layan
output dari ETABS dengan kombinasi 1D+1L
Momen lapangan = 705838381,9 Nmm
Momen tumpuan = 895453288 Nmm

Tegangan pada daerah lapangan

a. Serat Atas

$$\sigma_{tr} = -\frac{f}{A} + \frac{f \times e}{W_t} - \frac{M_{lapangan}}{W_t}$$

$$= -\frac{1706630,64}{530923,80} + \frac{1706630,64 \times 308,23}{94467764,03} - \frac{705838381,9}{94467764,03}$$

$= -5{,}1$ MPa < -24 MPa (OK)

b. Serat Bawah

$$\sigma_{tk} = -\frac{f}{A} - \frac{f \times e}{W_b} + \frac{M_{lapangan}}{W_b}$$

$$= -\frac{1706630{,}64}{530923{,}80} - \frac{1706630{,}64 \times 308{,}23}{70459692.15} + \frac{705838381{,}9}{70459692.15}$$

$= -0{,}7$ MPa $< -3{,}92$ MPa (OK)

Tegangan pada daerah tumpuan

a. Serat Atas

$$\sigma_{tr} = -\frac{f}{A} + \frac{f \times e}{W_t} - \frac{M_{tumpuan}}{W_t}$$

$$= -\frac{1706630{,}64}{530923{,}80} + \frac{1706630{,}64 \times 308{,}23}{94467764{,}03} - \frac{895453288}{94467764{,}03}$$

$= 3{,}9$ MPa $< 3{,}92$ MPa (OK)

b. Serat Bawah

$$\sigma_{tk} = -\frac{f}{A} - \frac{f \times e}{W_b} + \frac{M_{tumpuan}}{W_b}$$

$$= -\frac{1706630{,}64}{530923{,}80} - \frac{1706630{,}64 \times 308{,}23}{70459692.15} + \frac{895453288}{70459692.15}$$

$= -12{,}77$ MPa < -24 MPa (OK)

4.6.10. Daerah Limit Kabel

Diketahui momen pada daerah lapangan saat transfer sebesar Md = 139335642,9 Nmm, sedangkan momen total Mt = 705838381,9 Nmm, sehingga

a_{max} = Mt / $f_{efektif}$
= 705838381,9 Nmm / 1706630,64 N
= 413,59 mm
Syarat
a_{max} < (Yb + K_t – d')
413,59 < (458,23 + 132,71 – 64,5)
413,59 < 526,44 mm (OK)

a_{min} = Md / Fo
= 139335642,9 Nmm / 2100000 N
= 66,35 mm

Selisih syarat = a_{min} - (Yb + K_b – d')
= 66,35 - (458,23 + 133,33 – 64,5)
= 194,04 mm
Sehingga,
Eksentrisitas daerah lapangan
a_{max} - K_t < $e_{lapangan}$ < K_b + a_{min} – selisih
413,59 - 132,71 < 308,23 < 133,33 + 66,35 - 194,04
280,87 mm < 308,23 < 393,73 mm (OK)
Eksentrisitas daerah tumpuan
$e_{tumpuan}$ < K_t
130 mm < 132,71 mm (OK)

4.6.11. Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton pratekan ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton bertulang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang diisyaratkan. Lendutan yang diijinkan menurut SNI adalah sebagai berikut (SNI 2847:2013 tabel 9.5.b)

Δ_{izin} = L / 480
= 16200 / 480
= 33,8 mm

4.6.11.1. Lendutan Saat Jacking

a. Akibat tekanan tendon

$$Po = \frac{8 \times fo \times e}{L^2}$$
$$= \frac{8 \times 2100000 \times 308,23}{16200^2}$$
$$= 19,73 \text{ N/mm}$$
$$\Delta l_{Po} = \frac{5 \times Po \times L^4}{384 \times Ec \times I}$$
$$= \frac{5 \times 19,73 \times 16200^4}{384 \times 29725,4 \times 23466666667}$$
$$= -25,37 \text{ mm (ke atas)}$$

b. Akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{Fo \times e \times L^2}{8 \times Ec \times I}$$
$$= \frac{210000 \times 130 \times 16200^2}{8 \times 29725,4 \times 23466666667}$$
$$= 12,84 \text{ mm (ke bawah)}$$

c. Akibat berat sendiri balok dan plat

$$\Delta l_{qo} = \frac{5 \times qo \times L^4}{384 \times Ec \times I}$$
$$= \frac{5 \times 12,74 \times 16200^4}{384 \times 29725,4 \times 23466666667}$$
$$= 16,38 \text{ mm (ke bawah)}$$

Total lendutan saat transfer

$$\Delta_{TR} = \Delta l_{Po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo}$$
$$= -25,37 \text{ mm} + 12,84 \text{ mm} + 16,38 \text{ mm}$$
$$= 3,85 \text{ mm (ke bawah)}$$

Syarat

$\Delta_{izin} > \Delta_{TR}$

33,8 > 3,85 mm (OK)

4.6.11.2. Lendutan Saat Servis

a. Akibat tekanan tendon

$$Po = \frac{8 \times f_{efektif} \times e}{L^2}$$
$$= \frac{8 \times 1706630{,}64 \times 308{,}23}{16200^2}$$
$$= 16{,}03 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{Po} = \frac{5 \times Po \times L^4}{384 \times Ec \times I}$$
$$= \frac{5 \times 16{,}03 \times 16200^4}{384 \times 29725{,}4 \times 23466666667}$$
$$= -20{,}62 \text{ mm (ke atas)}$$

b. Akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{f_{efektif} \times e \times L^2}{8 \times Ec \times I}$$
$$= \frac{1706630{,}64 \times 130 \times 16200^2}{8 \times 29725{,}4 \times 23466666667}$$
$$= 10{,}43 \text{ mm (ke bawah)}$$

c. Akibat beban layan yang bekerja

Dalam perhitungan lendutan saat beban layan merupakan akibat berat sendiri balok pratekan, pelat, beban mati tambahan dan beban hidup, nilai lendutan didapat langsung dari analisa ETABS. Berdasarkan output ETABS lendutan akibat tendon didapatkan sebesar

Δl_{qo} = 18,83 mm

Total lendutan saat transfer

$$\Delta_{TR} = \Delta l_{Po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo}$$
$$= -20{,}62 \text{ mm} + 10{,}43 \text{ mm} + 18{,}83 \text{ mm}$$
$$= 8{,}65 \text{ mm (ke bawah)}$$

Syarat
$\Delta_{izin} > \Delta_{TR}$
33,8 > 8,65 mm (OK)

4.6.12. Perencanaan Tulangan Lunak

Perhitungan tulangan lunak balok pratekan. Berikut merupakan data perencanaan balok, dan perhitungan penulangan torsi, lentur dan geser pada balok pratekan dengan menggunakan metode SRPMK sesuai SNI 2847-2013.

Tipe balok = BP (55/80)
Bentang balok (L) = 16200 mm
Lebar balok (b) = 550 mm
Tinggi balok (h) = 800 mm
Kuat tekan beton (f'_c) = 40 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) = 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) = 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D torsi) = 19 mm
Diameter tulangan lentur (D lentur) = 25 mm
Diameter tulangan geser (D geser) = 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) = 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
Tebal selimut beton (t decking) = 50 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.3.a)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.7.a)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Tinggi efektif balok :

d = h – decking – Dsengkang – ½ D lentur
= 800 mm – 50 mm – 13 mm - ½ . 25 mm
= 727,5 mm

d' = h - d
= 800 mm - 727,5 mm

= 72,5 mm

Karena mutu beton berada di atas 28 MPa, maka nilai β1, di gunakan perumusan sesuai dengan (SNI 2847:2013 ps 12.2.7.3)

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\,\frac{(f'_c - 28)}{7}$$
$$= 0{,}76$$

Dari hasil analisa struktur didapatkan hasil untuk momen kombinasi envelope terfaktor maksimum sebagai berikut:

Mu = 1194941957 Nmm (tumpuan)
Mu = 1115948281 Nmm (lapangan)

4.6.12.1. Penulangan Torsi

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$A_{cp} = b_{balok} \,.\, h_{balok}$
$= 550 \text{ mm} \,.\, 800 \text{ mm}$
$= 440000 \text{ mm}^2$

Parimeter luar irisan penampang beton

$P_{cp} = 2 \,.\, (b_{balok} + h_{balok})$
$= 2 \,.\, (550 \text{ mm} + 800 \text{ mm})$
$= 2700 \text{ mm}$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser}).\ (h_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser})$
$= (550 \text{ mm} - (2.50 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}).(800 \text{ mm} - (2.50 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})$
$= 303600 \text{ mm}^2$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$P_h = 2.\ [(b_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - D_{geser})]$
$= 2.\ [(550 \text{ mm} - (2.50 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (800 \text{ mm} - (2.50 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})]$
$= 2260 \text{ mm}$

Momen puntir ultimate

Tu = 201876149,8 Nmm

(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

f_{pc} = f_e / A_c

= 1706630,6 N / 530923.8 mm^2

= 3,214 MPa

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1(b), pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu dari komponen struktur prategang kurang dari

$$Tu_{min} = \phi.0{,}083 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}^{\,2}}{P_{cp}}\right) \sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0{,}33\ \lambda\sqrt{f_c'}}}$$

$$= 0{,}75 \,.\, 0{,}083.\sqrt{40}.\left(\frac{(440000)^2}{2700}\right) \sqrt{1+\frac{3{,}214}{0{,}33\ \sqrt{40}}}$$

= 44992563,56 Nmm

Tu < Tu min

201876149,8 Nmm > 44992563,56 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan, Tu maksimum boleh direduksi menjadi:
Untuk komponen struktur prategang

$$Tu = \phi.0{,}33 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}^{\,2}}{P_{cp}}\right) \sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0{,}33\ \lambda\sqrt{f_c'}}}$$

$$= 0{,}75 \,.\, 0{,}33.\sqrt{40}.\left(\frac{(440000)^2}{2700}\right) \sqrt{1+\frac{3{,}214}{0{,}33\ \sqrt{40}}}$$

= 178886096,1 Nmm

Sehingga,

Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{178886096{,}1\ \text{Nmm}}{0{,}75} = 238514794{,}8\ \text{Nmm}$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A^2_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

Dengan V_c dihitung sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 dimana untuk balok prategang, V_c haruslah dipilih yang lebih kecil dari V_{cw} dan V_{ci}.

Dari hasil perhitungan pada bab 4.5.12.3 didapatkan:

V_c = 445806,62 N

Vu = 491420,74 N
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A^2_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{491420{,}74\ \text{N}}{550\ \text{mm}.\ 727{,}5\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{178886096{,}1\ \text{Nmm}\ .\ 2260\ \text{mm}}{1{,}7\left(303600\ \text{mm}^2\right)^2}\right)^2} \leq 0{,}75\left(\frac{445806{,}62\ \text{N}}{550\ \text{mm}.\ 727{,}5\ \text{mm}} + 0{,}66\sqrt{40\ \text{MPa}}\right)$$

1,22 ≤ 5,46 (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Dari perencanaan tendon pratekan didapatkan:

f_{se} = 1002,90 MPa

f_{pu} = 1838,20 MPa

A_{ps} = 1701,7 mm^2

$A_{ps}\, f_{se}$ = 1701,7 mm^2 . 1002,90 MPa
= 1706630,64 N

Sedangkan dari perhitungan tulangan lentur pada bab 4.5.12.2 didapatkan:

As = 5284.16 mm^2

40% ($A_{ps}\, f_{pu}$ + As f_y) = 40% (1701,7 . 1838,20 + 5284.16 . 400)

= 2096665.41 N

$A_{ps}\, f_{se}$ < 40% ($A_{ps}\, f_{pu}$ + As f_y

1706630,64 N < 2096665.41 N

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6(a), Untuk beton prategang dengan gaya prategang efektif kurang dari 40% kekuatan tarik tulangan longitudinal

θ = 45^o

A_o = 0,85 A_{oh}

= 0,85 . 303600 mm^2

= 258060 mm^2

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \,.\, Ao \,.\, fyt \,.\, \cot\theta}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6

$$\frac{At}{s} = \frac{238514794.8 \text{ Nmm}}{2 \;.\; 0.85 \;.\; 258060 \text{ mm}^2 \;.\; 280 \text{ MPa} \;.\; \cot 45}$$

$\frac{At}{s}$ = 1,65 mm^2 / mm / satu kaki

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar 1,65 mm^2 / mm / satu kaki

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7.

$$Al = \frac{At}{s} \,.\, P_h \,.\, \frac{f_{yt}}{f_y} \,.\, \cot^2\theta$$

$$= 1{,}65 \text{ . } 2260 \text{ mm} \text{ . } \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \text{ . } \cot^2 45$$
$$= 2611.04 \text{ mm}^2$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min} harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.3.

At/s = 1,65 mm, tidak boleh diambil kurang dari

$0{,}175\ b_w / f_{yt}$ = 0,175 . 550 / 280
= 0,40

Maka digunakan At/s = 1,65 mm

$$Al_{min} = \frac{0{,}42 \text{ . } \sqrt{f_c'} \text{. Acp}}{fy} - \frac{At}{s} \text{. } P_h \text{ . } \frac{f_{yt}}{f_y}$$
$$= \frac{0{,}42\sqrt{40 \text{ MPa}} \text{. } 440000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 1{,}65 \text{ . } 2260 \text{ mm} \text{ . } \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$
$$= 310.91 \text{ mm}^2$$

Nilai yang digunakan adalah Al = 2611.04 mm^2

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{2611.04 \text{ mm}^2}{4} = 652.76 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$$2 \text{ . } \frac{Al}{4} = 2 \text{ . } 652.76 \text{ mm}^2 = 1305{,}52 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan torsi 4D22

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

As = 0,25 . π . D^2 . n
= 0,25 . π . $(22 \text{ mm})^2$. 4
= 1520.53 mm^2

Kontrol

As pasang ≥ As perlu

1520.53 mm^2 ≥ 1305,52 mm^2 (memenuhi)

4.6.12.2. Penulangan Lentur

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \cdot 727{,}5 \text{ mm}$$

$$= 436{,}5 \text{ mm}$$

Garis netal maksimum

$$X_{max} = 0{,}75 \cdot Xb$$

$$= 0{,}75 \cdot 436{,}5 \text{ mm}$$

$$= 327{,}4 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 72{,}5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 200 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0{,}85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}$$

$$= 0{,}85 \cdot 40 \text{ MPa} \cdot 550 \text{ mm} \cdot 0{,}76 \cdot 200 \text{ mm}$$

$$= 2858429 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$Asc = \frac{0{,}85 \cdot fc' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}}{fy}$$

$$= \frac{0{,}85 \cdot 40 \text{ MPa} \cdot 550 \text{ mm} \cdot 0{,}85 \cdot 200 \text{ mm}}{400 \text{ MPa}}$$

$$= 7146{,}07 \text{ mm}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \cdot fy \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2}\right)$$

$$= 7146{,}07 \text{ mm} \cdot 400 \text{ MPa} \left(727{,}5 - \frac{0{,}76 \cdot 200}{2}\right)$$

$$= 1861041173 \text{ Nmm}$$

Daerah tumpuan

$$Mu = 1194941957 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 1194941957 \text{ Nmm} / 0{,}9$$

$$= 1327713286 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap
Syarat :
Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap
Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap
Mns = Mn – Mnc
= 1327713286 Nmm - 1861041173 Nmm
= -533327888 Nmm
Mns = -1710435220 Nmm ≤ 0
Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{1327713286 \ \text{Nmm}}{550 \ \text{mm}.(727{,}5 \ \text{mm})^2} = 4{,}6 \ \text{N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{40}}{4 \ . \ 400} = 0{,}0040$$

digunakan ρ_{min} = 0,0035 (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1)

ρ_{maks} = 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f_c'} = \frac{400}{0{,}85.40} = 11{,}76$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2 \ . \ m \ . \ Rn}{f_y}}\right] = \frac{1}{11{,}76}\left[1-\sqrt{1-\frac{2 \ . \ 11{,}76 \ . \ 4{,}6}{400}}\right] = 0{,}0123$$

Cek persyaratan :

ρ_{min}	<	ρ_{perlu}	<	ρ_{maks}
0,0035	>	0,0123	<	0,025

Maka ρ digunakan adalah ρ_{perlu} = 0,0123

As = ρ_{perlu}. b . d

= 0,0123. 550 mm . 727,5 mm

= 4918.19 mm^2

Luas tulangan lentur = 0,25 . π . D^2

= 0,25 . π . $(25\ mm)^2$

= 490.87 mm^2

<u>Tulangan lentur tarik</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

= 4918.19 mm^2 + 652.76 mm^2

= 5570.95 mm^2

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{5570.95\ mm^2}{490.87\ mm^2}$

= 11,3 buah

Dipasang tulangan lentur 12D25

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

= 12. 490.87 mm^2

= 5890.49 mm^2

Kontrol

As_{perlu}	<	As_{pasang}
5570.95 mm^2	<	5890.49 mm^2 (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 6 tulangan diatas 6 tulangan dibawah

$S_{maks} = \frac{\text{b-(2 . decking)-(2 . Øgeser)-(n . Dlentur)}}{\text{n-1}}$

$= \frac{550\ mm-(2\ .\ 50\ mm)-(2\ .\ 10\ mm)-(6\ .\ 25\ mm)}{6-1}$

= 56 mm > 25 mm (memenuhi)

Tulangan lentur tekan

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 0\ mm^2 + 652.76\ mm^2$

$= 652.76\ mm^2$

$n = \frac{As'\ perlu}{Luas\ tulangan\ lentur}$

$= \frac{652.76\ mm^2}{490.87\ mm^2}$

$= 1{,}3 \approx 6$ buah

Dipasang tulangan lentur 6D25

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 6 . 490{,}87\ mm^2$

$= 2945.24\ mm^2$

Kontrol

$As'_{perlu} < As'_{pasang}$

$652.76\ mm^2 < 2945.24\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$S_{maks} = \frac{b-(2 .\ decking)-(2 .\ \emptyset geser)-(n .\ Dlentur)}{n-1}$

$= \frac{550\ mm-(2 .\ 50\ mm)-(2 .\ 10\ mm)-(6 .\ 25\ mm)}{6-1}$

$= 56\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$As_{pasang} = 5890.49\ mm^2$

$As'_{pasang} = 2945.24\ mm^2$

M lentur tumpuan (+) $\geq$ $\frac{1}{2}$ M lentur tumpuan (-)

2945.24 mm^2 $\geq$ 2945.24 mm^2 (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As \,.\, fy}{0{,}85 \,.\, fc'.\, b} = \frac{5890.49 \,.\, 400}{0{,}85 \,.\, 40.\, 550} = 126 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{126 \text{ mm}}{0{,}76} = 164{,}86 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)}$$

$$\frac{164{,}86 \text{ mm}}{727{,}5} \leq 0{,}375$$

$0{,}23 \leq 0{,}375$ (OK)

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$$Mn = 0{,}85 \,.\, fc' \,.\, a \,.\, b \,.\, (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0{,}85 \,.\, 40 \text{ N/mm}^2 \,.\, 126 \text{ mm} \,.\, 550 \text{ mm} \,.\, (727{,}5 \text{ mm} - \frac{126 \text{ mm}}{2})$$

$$= 1565691586 \text{ Nmm}$$

Maka,

Mn_{pasang} > Mn

1565691586 Nmm > 1327713286 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok pratekan (80/55) pada daerah tumpuan dipakai:

- Tulangan tarik 2 lapis
  Lapis 1 = 6D25
  Lapis 2 = 6D25
- Tulangan tekan 1 lapis
  Lapis 1 = 6D25

Daerah lapangan

Mu = 998713537.1 Nmm

Mn = Mu / ϕ
= 898842183.41 Nmm / 0,9
= 998713537.1 Nmm

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

Mns ≥ 0, maka perlu tulangan lentur rangkap

Mns ≤ 0, maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Mns = Mn – Mnc
= 998713537.1 Nmm – 1865328816 Nmm
= -862327636.3 Nmm

Mns = -862327636.3 Nmm ≤ 0

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{998713537.1\ Nmm}{550\ mm.(727{,}5\ mm)^2} = 3{,}4\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{40}}{4\ .\ 400} = 0{,}0040$$

digunakan $\rho_{min} = 0{,}0035$

$$\rho_{balance} = \frac{0{,}85.\beta_1.f_c'}{f_y}\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= \frac{0{,}85.0{,}76.40}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right)$$

$= 0{,}0390$

$\rho_{maks} = 0{,}75 . \rho_{balance}$

$= 0{,}75 . 0{,}0390$

$= 0{,}029$

$$m = \frac{f_y}{0{,}85 . f_c'}$$

$$= \frac{400}{0{,}85 . 40}$$

$= 11{,}76$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 . m . Rn}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{11{,}76}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 . 11{,}76 . 3{,}4}{400}}\right]$$

$= 0{,}0091$

Cek persyaratan :

$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

$0{,}0035 > 0{,}0091 < 0{,}029$

Maka ρ digunakan adalah $\rho_{perlu} = 0{,}0091$

$As = \rho_{perlu} . b . d$

$= 0{,}0091 . 550\ mm . 727{,}5\ mm$

$= 3625.21\ mm^2$

Luas tulangan lentur $= 0{,}25 . \pi . D^2$

$= 0{,}25 . \pi . (25\ mm)^2$

$= 490.87\ mm^2$

<u>Tulangan lentur tarik</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$= 3625.21\ mm^2 + 652{,}76\ mm^2$

$= 4277.97\ mm^2$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$

$$= \frac{4277.97 mm^2}{490.87\ mm^2}$$
$= 8{,}72 \approx 9$ buah

Dipasang tulangan lentur 9D25

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur
$= 9 . 490{,}87\ mm^2$
$= 4417.86\ mm^2$

Kontrol

As_{perlu}	<	As_{pasang}
$4277.97\ mm^2$	<	$4417.86\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

Tulangan dipasang dua lapis, 3 tulangan diatas dan 6 tulangan dibawah

$$S_{maks} = \frac{b-(2 . \text{ decking})-(2 . \text{Øgeser})-(n . \text{ Dlentur})}{n-1}$$
$$= \frac{550\ mm-(2 .\ 50\ mm)-(2 .\ 10\ mm)-(6 .\ 25\ mm)}{6-1}$$
$= 56\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

<u>Tulangan lentur tekan</u>

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$$As'_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$
$= 0\ mm^2 + 652.76\ mm^2$
$= 652.76\ mm^2$

$$n = \frac{\text{As' perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$$
$$= \frac{652.76\ mm^2}{490.87\ mm^2}$$
$= 1{,}3 \approx 6$ buah

Dipasang tulangan lentur 6D25

As'_{pasang} = n . luasan tulangan lentur
$= 6 . 490{,}87\ mm^2$

$= 2945.24\ mm^2$

Kontrol

As'_{perlu} < As'_{pasang}

$652.76\ mm^2$ < $2945.24\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol spasi tulangan

$$S_{maks} = \frac{b-(2\ .\ decking)-(2\ .\ \emptyset geser)-(n\ .\ Dlentur)}{n-1}$$

$$= \frac{550\ mm-(2\ .\ 50\ mm)-(2\ .\ 10\ mm)-(6\ .\ 25\ mm)}{6-1}$$

$= 56\ mm > 25\ mm$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

M lentur lapangan (-) $\geq$ $\frac{1}{4}$ M lentur tumpuan (-)

Maka berdasarkan syarat SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2 ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$As_{pasang} = 4417.86\ mm^2$

$As'_{pasang} = 2945.24\ mm^2$

M lentur lapangan (-) $\geq$ $\frac{1}{4}$ M lentur lapangan (-)

$2945.24\ mm^2$ $\geq$ $1472.62\ mm^2$ (memenuhi)

Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As\ .\ fy}{0,85\ .\ fc'.\ b}$$

$$= \frac{4417.86\ .\ 400}{0,85\ .\ 40.\ 550}$$

$= 94,5\ mm$

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

$$= \frac{94,5\ mm}{0,76}$$

$= 123,64\ mm$

$$\frac{c}{dt} \leq 0,375$$ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)

$\frac{123,64 \text{ mm}}{727,5} \leq 0,375$

$0,17 \leq 0,375$ (OK)

Maka asumsi penampang kondisi tarik benar (ϕ = 0,9 dapat digunakan)

Kontrol kemampuan penampang

$Mn = 0,85 . fc' . a . b . (d - \frac{a}{2})$

$= 0,85 . 40 \text{ N/mm}^2 . 94,5 \text{ mm} . 550 \text{ mm} . (727,5 \text{ mm} - \frac{94,5 \text{ mm}}{2})$

$= 1214625789 \text{ Nmm}$

Maka,

$Mn_{pasang} > Mn$

1214625789 Nmm > 998713537.1 Nmm (memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok pratekan (80/55) pada daerah lapangan dipakai:

- Tulangan tekan 2 lapis
  Lapis 1 = 3D25
  Lapis 2 = 6D25
- Tulangan tarik 1 lapis
  Lapis 1 = 6D25

4.6.12.3. Penulangan Geser

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7, V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dengan Vn adalah $\frac{V_e}{\phi}$

Menurut pasal 21.5.4.1 Gaya geser desaim, Ve, harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen

struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, Mpr, bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Gaya geser desain

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (35/55), didapat:

Dipasang:

tulangan tarik 12D25, As = 5890,49 mm^2

tulangan tekan 6D25, As' = 2945,24 mm^2

Tinggi balok gaya tekan beton

$a_1 = \frac{As \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' \ . \ b}$

$= \frac{5890{,}49 \ mm^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2}{0{,}85 \ . \ 40 \ N/mm^2 . \ 550 \ mm}$

$= 157{,}5 \ mm$

$M_{pr1} = As \ . 1{,}25 \ fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= 5890{,}49 \ mm^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2 \left(727{,}5 \ mm - \frac{157{,}5 \ mm}{2}\right)$

$= 1910727012 \ Nmm$

$a_2 = \frac{As' \ . 1{,}25 \ fy}{0{,}85 \ . \ fc' \ . \ b}$

$= \frac{2945{,}24 \ mm^2 \ . \ 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2}{0{,}85 \ . \ 40 \ N/mm^2 . \ 550 \ mm}$

$= 78{,}75 \ mm$

$M_{pr2} = As' \ . 1{,}25 \ fy \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= 2945{,}24 \ mm^2 \ . 1{,}25 \ . 400 \ N/mm^2 \left(727{,}5 \ mm - \frac{78{,}75 \ mm}{2}\right)$

$= 1013347844 \ Nmm$

Vu = 444572,05 N
(didapat dari ETABS kombinasi 1,2D+1,0L maksimum)

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u + L_n}{2}$$
$$= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u$$
$$= \frac{1910727012 + 1013347844}{8100 - 1000} + 444572{,}05$$
$$= 636945{,}39 \text{ N}$$

Sehingga gaya geser desain untuk daerah tumpuan sebesar:
V_e = 636945,39 N

Untuk $Ve_{lapangan}$ dilakukan interpolasi, didapatkan besarnya Ve diluar sendi plastis (2h = 1,6 m)
$Ve_{lapangan}$ = 502851,63 N

Untuk beton pratekan V_c dihitung sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 dimana V_c haruslah dipilih yang lebih kecil dari V_{cw} dan V_{ci}.

$$V_{cw} = (0{,}29\,\lambda\sqrt{f_c'} + 0{,}3\,f_{pc})\,b_w\,d_p + V_p$$
$$V_{ci} = 0{,}05\,\lambda\sqrt{f_c'}\,b_w\,d_p + V_d + \frac{V_l\,M_{cre}}{M_{max}}$$

1. Pemasangan Tulangan Geser di Daerah Sendi Plastis

$V_n = Vu_{tumpuan} / \phi$
= 63694,39 N / 0,75
= 849260,5 N

Pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan $V_c = 0$ jika keduanya (a) dan (b) terjadi:

(a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa V_e mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum
V_e > ½ Vu
636945,39 N > ½ 444572,05
636945,39 N > 222286,025 (memenuhi)

(b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u, termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c'/ 20$
Nilai P_u pada balok pratekan = Fo = 2100 kN
P_u $< A_g f_c'/ 20$
2100 kN $<$ (550 mm × 800 mm) 40 MPa / 20
2100000 N $>$ 880000 N (tidak memenuhi)
Maka Vc harus diperhitungkan (dipilih yang lebih kecil dari V_{cw} dan V_{ci})

Retak geser badan V_{cw}

f_{pc} $= f_e / A_c$
$= 1706630{,}6$ N / 530923.8 mm^2
$= 3{,}21$ MPa

V_p = komponen vertikal gaya prategang di penampang
$= f_e \tan \theta$
Dimana θ adalah sudut antara tendon miring dan horisontal
Eksentrisitas pratekan:
e_l = 308,2 mm
e_t = 130 mm

$dp_{tumpuan} = Yb + e_{tumpuan}$
$= 458{,}23 + 130$
$= 588{,}23$ mm $< 0{,}8$ h
$= 588{,}23$ mm $< 0{,}8$. 800 mm
$= 588{,}23$ mm < 640 mm
= digunakan dp 640 mm

Sehingga,

$$V_p = 1706630{,}6 \text{ N} \frac{(308{,}2 - 130)}{16200 / 2}$$
$= 37551{,}56$ N

Maka,

$V_{cw} = (0{,}29 \lambda \sqrt{f_c'} + 0{,}3 f_{pc}) b_w d_p + V_p$
$= (0{,}29 \sqrt{40} + 0{,}3 . 3{,}21) 550 . 640 + 37551{,}56$

= 1044871,0 N

Retak geser - lentur V_{ci}

$f_{pe} = \frac{f_e}{A_c} + f_e \frac{e_t}{W_b}$

$= \frac{1706630,6}{530923.8} + 1706630,6 \frac{130}{70459692.15}$

= 6,36 MPa

$f_d = Md_{tumpuan} / W_b$

= 278671285,8 / 70459692,15

= 3,95 MPa

$M_{cre} = (I / y_t) (0,5 \lambda \sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d)$

= (32286532399 / 341.77) (0,5 $\sqrt{40}$ + 6,36 - 3,95)

= 526229459 Nmm

Dengan

V_d = 103211.6 N (akibat beban mati tak terfaktor)

V_l = 491420.74 N (akibat kombinasi envelope terfaktor)

M_{max} = 1194941957 Nmm (akibat kombinasi envelope terfaktor)

$V_{ci} = 0,05 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d_p + V_d + \frac{V_l M_{cre}}{M_{max}}$

$= 0,05 \sqrt{40}\ 550 . 640 + 103211.6 + \frac{491420.74 \times 526229459}{1194941957}$

= 430936.00 N

V_{ci} tidak perlu diambil kurang dari

$0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d = 0,17 \lambda \sqrt{40}\ 550 . 727,5 = 430204.2$ N

Maka digunakan V_{ci} = 430936.00 N

V_c haruslah dipilih yang lebih kecil dari V_{cw} dan V_{ci}.

V_{cw} = 1044871,0 N

V_{ci} = 430936.00 N

Maka digunakan V_c = 430936.00 N

V_n = $V_c + V_s$

V_s = $V_n - V_c$

= 849260,5 N - 430936.00 N

= 418324,5 N

Kontrol kuat geser Vs tidak boleh diambil lebih kecil dari $V_{s\ min}$

$V_{s\ min}$ = 0,35 b_w d

= 0,35 . 550 mm 727,5 mm

= 140043.75 N < V_s = 224291.6 N (memenuhi)

Digunakan V_s = 418324,5 N

Selanjutnya Av/s dihitung dengan rumus:

$$Vs = \frac{Av \,.\, fy \,.\, d}{S}$$

$$\frac{Av}{S} = \frac{Vs}{fy \,.\, d}$$

$$= \frac{418324{,}5}{280 \;.\; 727{,}5}$$

= 2,05 mm^2/mm / dua kaki

<u>Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi</u>

$$\frac{At}{S} = 1{,}65\ mm^2$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \,.\, At}{S} + \frac{Av}{S}$$

= 2 . 1,65 + 2,05

= 5,35 mm^2/mm

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

A_{D13} = 0,25 . π . 13^2 . 3

= 398,2 mm^2

$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$

$$= \frac{398{,}2 \text{ mm}^2}{5{,}35 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$
$$= 74{,}4 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3 D13-70 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{40} \frac{550 \cdot 70}{280}$
$= 53{,}9 \text{ mm}^2 < 398{,}2 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 550 \cdot 70) / 280$
$= 48{,}1 \text{ mm}^2 < 398{,}2 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Syarat SRPMK

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.1 bahwa pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;

Wilayah tumpuan direncanakan sepanjang
2h = 2 . 800 mm
= 1600 mm

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

(a) d/4
So < d/4
70 mm < 727,5 mm/4

70 mm < 181,9 mm (memenuhi)

(b) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi

So < 6 . D lentur

70 mm < 6 . 25 mm

70 mm < 150 mm (memenuhi)

(c) 150 mm

So < 150 mm

70 mm < 150 mm (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D13 – 70 mm dengan 3 kaki.

2. Pemasangan Tulangan Geser di Luar Sendi Plastis

V_n = $Vu_{lapangan}$ / ϕ

= 502851,6 N / 0,75

= 670468,8 N

Retak geser badan V_{cw}

f_{pc} = f_e / A_c

= 1706630,6 N / 530923.8 mm^2

= 3,21 MPa

V_p = komponen vertikal gaya prategang di penampang

= f_e tan θ

Dimana θ adalah sudut antara tendon miring dan horisontal

Eksentrisitas pratekan:

e_l = 308,2 mm

e_t = 130 mm

$dp_{lapangan}$ = Yt + $e_{lapangan}$

= 341,77 + 308,23

= 650 mm < 0,8 h

= 650 mm < 0,8 . 800 mm

= 650 mm < 640 mm

= digunakan dp 650 mm

Sehingga,

$V_p = 1706630,6\ N \dfrac{(308,2 - 130)}{16200 / 2}$

$= 37551,56\ N$

Maka,

$V_{cw} = (0,29\ \lambda \sqrt{f_c'} + 0,3\ f_{pc})\ b_w\ d_p + V_p$

$= (0,29 \sqrt{40} + 0,3 \ .\ 3,21)\ 550\ .\ 650 + 37551,56$

$= 1060610.41\ N$

Retak geser - lentur V_{ci}

$f_{pe} = \dfrac{f_e}{A_c} + f_e \dfrac{e_l}{W_b}$

$= \dfrac{1706630,6}{530923.8} + 1706630,6\ \dfrac{308,23}{70459692.15}$

$= 10,68\ MPa$

$f_d = Md_{lapangan} / W_b$

$= 139335642,9\ / 70459692,15$

$= 1,98\ MPa$

$M_{cre} = (\ I / y_t)\ (\ 0,5\ \lambda \sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d\ )$

$= (32286532399 / 341,77)\ (\ 0,5 \sqrt{40}\ 10,68 - 1,98)$

$= 1120849756\ Nmm$

Dengan

Nilai V_d dan V_l pada daerah lapangan dilakukan interpolasi, dengan panjang daerah sendi plastis sebesar (2h = 1,6 m)

V_d = 82824,1 N (akibat beban mati tak terfaktor)

V_l = 394350,0 N (akibat kombinasi envelope terfaktor)

M_{max} = 898842183,4 Nmm (akibat kombinasi envelope terfaktor)

V_{ci} $= 0{,}05\ \lambda \sqrt{f_c'}\ b_w\ d_p + V_d + \dfrac{V_l\ M_{cre}}{M_{max}}$

$= 0{,}05\sqrt{40}\ 550\ .\ 650 + 82824{,}1 + \dfrac{394350{,}0 \times 1120849756}{898842183{,}4}$

$= 687627{,}13$ N

V_{ci} tidak perlu diambil kurang dari

$0{,}17\ \lambda \sqrt{f_c'}\ b_w\ d = 0{,}17\ \lambda \sqrt{40}\ 550\ .\ 725{,}5 = 430204.2$ N

Maka digunakan $V_{ci} = 687627{,}13$ N

V_c haruslah dipilih yang lebih kecil dari V_{cw} dan V_{ci}.

V_{cw} $= 1060610{,}41$ N

V_{ci} $= 687627{,}13$ N

Maka digunakan $V_c = 687627{,}13$ N

V_n $= V_c + V_s$

V_s $= V_n - V_c$

$= 670468{,}8$ N $- 687627{,}13$ N

$= -161827.2$ N

Karena nilai V_s negatif digunakan Av_{min}, menurut pasal 11.4.6.3 SNI 2847-2013 Av_{min} harus dihitung dengan:

Av_{min} $= 0{,}062 \sqrt{f_c'}\ \dfrac{bw\ .\ s}{fyt}$

Sehingga,

Av_{min}/s $= 0{,}062 \sqrt{f_c'}\ \dfrac{bw}{fyt}$

$= 0{,}062 \sqrt{30}\ \dfrac{350}{280}$

$= 0{,}77$ mm^2/mm / dua kaki

Tapi tidak boleh kurang dari

Av_{min}/s $= 0{,}35\ b_w / f_{yt}$.

$= 0{,}35\ .\ 350 / 280$

$= 0{,}69$ mm^2/mm / dua kaki

Maka digunakan Av/s = 0,77

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

$\frac{At}{S}$ = 1,65 mm^2

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \,.\, At}{S} + \frac{Av}{S}$

= 2 . 1,65 + 0, 77

= 4,07 mm^2/mm

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

A_{D13} = 0,25 . π . 13^2 . 3

= 398,2 mm^2

$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$

$= \frac{398{,}2 \text{ mm}^2}{4{,}07 \text{ mm}^2/\text{mm}}$

= 97,8 mm

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm

Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3D13-90 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013

Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \,.\, s}{fyt}$ = $0{,}062 \sqrt{40} \frac{550 \,.\, 90}{280}$

= 69,3 mm^2 < 398,2 mm^2 (memenuhi)

dan (0,35 . bw . s) / fyt = (0,35 . 550 . 90) / 280

= 61,9 mm^2 < 398,2 mm^2 (memenuhi)

Kontrol persyaratan spasi tulangan

1. S_{pakai} < S_{maks}

   S_{pakai} < 0,75 h

   S_{pakai} < 0,75 . 800 mm

   90 mm < 600 mm (memenuhi)

2. S_{pakai} < S_{maks}
   90 mm < 600 mm (memenuhi)

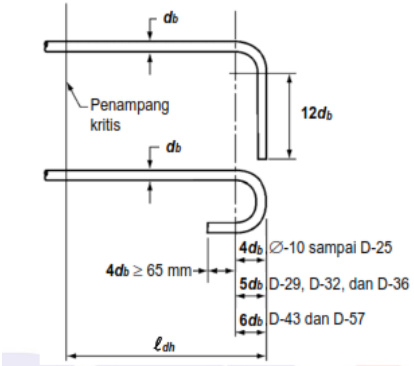
Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga untuk wilayah tumpuan, tulangan geser dipasang D13 – 90 mm dengan 3 kaki.

4.6.12.4. Perhitungan Panjang Penyaluran

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan seperti berikut:

Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standart, l_{dh}, harus ditentukan sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2 dan ldh tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm.



Gambar 4. 41 Penyaluran kait standart dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$$

Dimana

ψe = 1

λ = 1 (beton normal)

$$l_{dh} = \left(\frac{0{,}24\ \psi e\ fy}{\lambda\sqrt{fc'}}\right) d_b$$
$$= \left(\frac{0{,}24\ .\ 1\ .\ 400\ \text{N/mm}^2}{1\sqrt{30\ \text{N/mm}^2}}\right) 25\ \text{mm}$$
$$= 379{,}5\ \text{mm}$$

As_{perlu} = 5570.95 mm^2
As_{pasang} = 4417.86 mm^2

$$l_{dh\ reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \cdot \text{ld}$$
$$= \frac{5570.95\ \text{mm}^2}{4417.86\ \text{mm}^2} \cdot 379{,}5\ \text{mm}$$
$$= 478{,}5\ \text{mm} \approx 500\ \text{mm}$$

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.1

l_{dh} > $8d_b$
500 mm > 8. 25 mm
500 mm > 200 mm (memenuhi)
l_{dh} > 150 mm
500 mm > 150 mm (memenuhi)

$$l_{dh} > \frac{f_y\ d_b}{5{,}4\sqrt{fc'}}$$
$$500\ \text{mm} > \frac{400\ .\ 25}{5{,}4\sqrt{40}}$$
500 mm > 292,80 mm (memenuhi)

Selanjutnya ditambah dengan kait sepanjang $12d_b$.
$12d_b$ = 12 . 25 mm
= 300 mm
Sehingga digunakan l_{dh} sepanjang 300 mm kemudian ditambah dengan kait 90^o sepanjang 300 mm

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir D-22 dan yang lebih kecil, ld harus dihitung dengan rumus di bawah ini dan ld tidak boleh kurang dari 300 mm.

$$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e}{1{,}7 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}}\right) db$$

Dimana

Fc' = 30 MPa
fy = 400 MPa
db = 25 mm
ψt = 1
ψe = 1,5
λ = 1 (beton normal)

$$l_d = \left(\frac{fy \,.\, \psi t \,.\, \psi e}{1{,}7 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{fc'}}\right) db$$
$$= \left(\frac{400 \,.\, 1 \,.\, 1{,}5}{1{,}7 \,.\, 1 \,.\, \sqrt{40}}\right) 25$$
$$= 1395{,}1 \text{ mm} > 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

$As_{perlu} = 5570.95 \text{ mm}^2$
$As_{pasang} = 4417.86 \text{ mm}^2$

$$ld_{reduksi} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \cdot ld$$
$$= \frac{5570.95 \text{ mm}^2}{4417.86 \text{ mm}^2} \cdot 1395{,}1 \text{ mm}$$
$$= 1759.26 \text{ mm} \approx 1800 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1800 mm.

Kontrol syarat SNI 2847-2013 pasal 21.7.5.2(b)

$l_d > 3{,}25\, l_{dh}$
1800 mm > 3,25 . 500 mm

1800 mm > 1625 mm (memenuhi)

Pada pasal 21.7.5.3 menyebutkan Batang tulangan lurus yang berhenti pada suatu joint harus melewati inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebarang bagian l_d tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6 kali.

Penyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 dan ldc tidak boleh kurang dari 200 mm.

$$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24\, fy}{\lambda \sqrt{fc'}}\right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0{,}24 \,.\, 400\ \mathrm{N/mm^2}}{1\sqrt{40\ \mathrm{N/mm^2}}}\right) 25\ \mathrm{mm}$$

l_{dc} = 379,5 mm

atau

l_{dc} = (0,043 . fy) d_b

= (0,043 . 400) 25 mm

= 430 mm

Maka ldc diambil 430 mm > 200 mm (memenuhi)

As'_{perlu} = 2945 mm^2

As'_{pasang} = 2454.37 mm^2

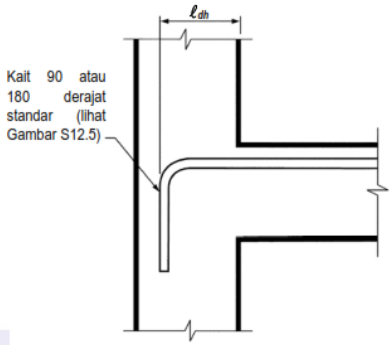
$$l_{dc\ reduksi} = \frac{\text{As' perlu}}{\text{As' pasang}} \cdot l_{dc}$$

$$= \frac{2945\ mm^2}{2454.37\ mm^2} \cdot 430\ \mathrm{mm}$$

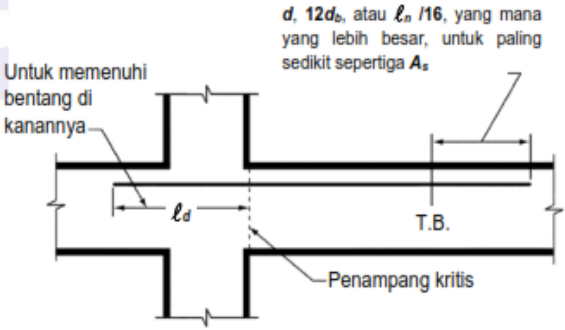
= 516 mm ≈ 600 mm

Penyaluran tulangan momen negatif

Berdasar pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari ***d, 12d_b/, dan l_n/16***, yang mana yang lebih besar.



Gambar 4. 42 Penyaluran tulangan momen negatif pada kolom eksterior



Gambar 4. 43 Penyaluran tulangan momen negatif ke dalam balok di sebelahnya

d = 727,5 mm

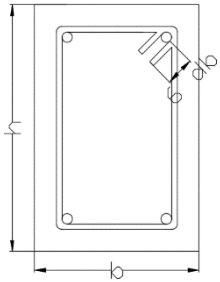
12 . db = 12 . 25 mm = 300 mm

Ln/16 = (16200 mm – 1000 mm)/16 = 950 mm

Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 950 mm, maka digunakan penyaluran tulangan momen negative = 1000 mm.

Kait standart untuk sengkang

Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan $\mathbf{6d_b}$ pada ujung bebas batang tulangan.



Gambar 4. 44 Kait standart untuk sengkang

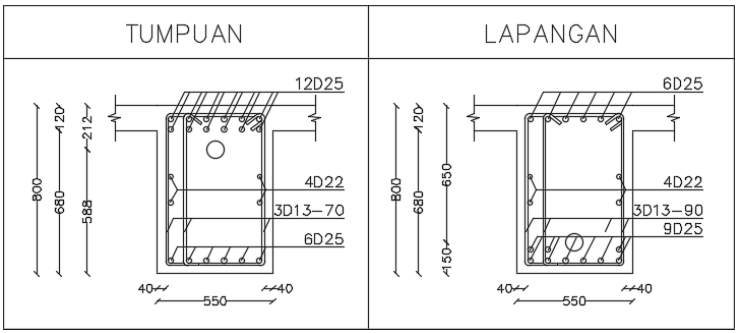
$6d_b$ = 6 . 12 mm

= 72 mm < 75 mm

Digunakan panjang kait 75 mm

Tabel 4. 18 Rekapitulasi tulangan lunak balok pratekan

REKAPITULASI TULANGAN LUNAK BALOK PRATEKAN			
Torsi			4 D 22
Lentur	Tumpuan	Tarik	12 D 25
		Tekan	6 D 25
	Lapangan	Tarik	6 D 25
		Tekan	9 D 25
Geser	Tumpuan		3D13 - 70
	Lapangan		3D13 - 90



Gambar 4. 45 Penulangan lunak balok pratekan

4.6.13. Kontrol Momen Nominal Setelah Adanya Tulangan

Kontrol momen nominal yang dilakukan dimaksudkan untuk mengecek secara keseluruhan apakah tendon baja pratekan yang telah dipasang dengan tulangan lunak baja memenuhi kontrol momen. Kontrol penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana apakah mampu menahan momen ultimate yang terjadi.

4.6.13.1. Momen Nominal Balok Pratekan setelah diberi Tulangan Lunak

Data perencanaan tendon pratekan

A_{ps} = 100,1 mm^2×7 = 1701,70 mm^2

f_{se} = 1002,90 MPa

f_{pu} = 1838,2 MPa

f_{py} = 0,9 f_{pu}

= 0,9 × 1838,2 MPa

= 1654,35 MPa

Data perencanaan tulangan lunak

f_y = 400 MPa

Tumpuan:

A_s = 5890.49

A_s’ = 2945,24

Lapangan:
A_s = 4417,86
A_s' = 2945,24

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.5 baja prategang harus tanpa lekatan pada daerah sendi plastis potensial. Untuk itu rumus perhitungan tendon tak terlekat digunakan pada perhitungan berikutnya, baik pada daerah tumpuan maupun lapangan.

Tumpuan

$dp_{tumpuan}$ = Yb + $e_{tumpuan}$
= 458,23 + 130
= 588,23 mm
ρ_p = Aps / (b × dp)
= 1701,70 mm^2 / (550 mm × 588,23 mm)
= 0,00526
L/h = 16200 mm / 800 mm
= 20,25 < 35
Rasio bentang/tinggi < 35

Menurut SNI 2847:2013 pasal 18.7.2(b) untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi sebesar 35 atau kurang digunakan rumus

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100\,\rho_p}$$

$$= 1002{,}90 + 70 + \frac{40}{100 \times 0{,}00526}$$

= 1148,94 MPa

Tetapi f_{ps} tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:
f_{py} = 1654,35 MPa, dan
f_{se}+ 420 = 1002,90 MPa + 420
= 1422,90 MPa
Maka digunakan f_{ps} = 1148,94 MPa

$A_{pw}f_{ps}$ $= A_{ps}\, f_{ps} + A_s\, f_y - 0{,}85\, f'_c\, (b - b_w)\, t_p$

$= 1701{,}70 \times 1148{,}94 + 5890.49 \times 400 - 0{,}85 \times 40 \times (1308 - 550)\, 120$

$= 1219944.76$ N

$$a = \frac{A_{ps}\, f_{ps} + A_s\, f_y - A_{s'}\, f_y}{0{,}85\, f'_c\, b}$$

$$= \frac{1701{,}70 \times 1148{,}94 + 5890.49 \times 400 + 2945{,}24 \times 400}{0{,}85 \times 40 \times 550}$$

$= 167{,}55$ mm

Selanjutnya digunakan perhitungan desain sebagai penampang persegi panjang, karena daerah tertekan penampang pada tumpuan terletak di balok biasa

Kontrol tulangan berlebih

$(\omega_{pw} + d/dp\, (\omega_w - \omega_w')) < 0{,}36\, \beta_1$

dimana,

$$\rho = \frac{A_s}{b_w\, d}$$

$$= \frac{5890.49}{550 \times 727{,}5}$$

$= 0{,}0147$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w\, d}$$

$$= \frac{2945{,}24}{550 \times 727{,}5}$$

$= 0{,}0074$

$\omega_w = \rho\, (f_y / f_c')$

$= 0{,}0147\ (400/40)$

$= 0{,}147$

$\omega_w' = \rho'\, (f_y / f_c')$

$= 0{,}0074\ (400/40)$

$= 0{,}0736$

$\omega_{pw} = \rho_p\, (f_{ps} / f_c')$

$= 0{,}00483\ (1148{,}94\ /40)$

$= 0{,}15$

$0{,}36\, \beta_1 = 0{,}36 \times 0{,}76$

$= 0{,}28$

$(\omega_{pw} + d/dp\ (\omega_w - \omega_w')) < 0{,}36\ \beta_1$
$(0{,}14 + 727{,}5/588{,}23\ (0{,}15 - 0{,}0736)) < 0{,}28$
$0{,}24 < 0{,}28$ (Tulangan Normal)

Maka perhitungan momen nominal menggunakan rumus:

$$Mn = A_{ps}\, f_{ps}(d_p - \frac{a}{2}) + A_s f_y(d - \frac{a}{2}) + A_s' f_y(\frac{a}{2} - d')$$
$$= 1701{,}70\ .\ 1148{,}94\ (588{,}23 - \frac{167{,}55}{2}) + 5890.49 \times 400\ (727{,}5 - \frac{167{,}55}{2}) + 2945{,}24 \times 400\ (\frac{167{,}55}{2} - 72{,}5)$$
$$= 2516302460\ \text{Nmm}$$

Kontrol Momen nominal
Mu = 1194941957 Nmm (tumpuan)
Mn = 1194941957 Nmm / 0,9
= 1327713286 Nmm (dibutuhkan)
$Mn_{\text{dibutuhkan}} < Mn_{\text{tersedia}}$
1327713286 Nmm < 2516302460 Nmm

<u>Lapangan</u>
$dp_{lapangan} = Yt + e_{lapangan}$
= 341,77 + 308,23
= 650 mm
ρ_p = Aps / (b × dp)
= 1701,70 mm^2 / (550 mm × 650 mm)
= 0,00476
L/h = 16200 mm / 800 mm
= 20,25 < 35
Rasio bentang/tinggi < 35

Menurut SNI 2847:2013 pasal 18.7.2(b) untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi sebesar 35 atau kurang digunakan rumus

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100\,\rho_p}$$

$$= 1002{,}90 + 70 + \frac{40}{100 \times 0{,}00476}$$

$$= 1156.93 \text{ MPa}$$

Tetapi f_{ps} tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:

f_{py} = 1654,35 MPa, dan

f_{se}+ 420 = 1002,90 MPa + 420

= 1422,90 MPa

Maka digunakan f_{ps} = 1156.93 MPa

$$a = \frac{A_{ps}\, f_{ps} + A_s\, f_y - A_{s'}\, f_y}{0{,}85\, f'_c\, b}$$

$$= \frac{1701{,}70 \times 1155{,}64 + 4417{,}86 \times 400 + 2945{,}24 \times 400}{0{,}85 \times 40 \times 550}$$

$$= 136{,}78 \text{ mm}$$

Kontrol $a \leq t_p$

136,78 mm $\geq$ 120

Maka perhitungan dilanjutkan dengan metode untuk penampang bersayap, dimana:

$$A_{pw} f_{ps} = A_{ps}\, f_{ps} + A_s\, f_y - 0{,}85\, f'_c\, (b - b_w)\, t_p$$

$$= 1701{,}70 \times 1156.93 + 4417{,}86 \times 400 - 0{,}85 \times 40 \times (1308 - 550)\, 120$$

$$= 1233534.82 \text{ N}$$

$$a = \frac{A_{pw}\, f_{ps}}{0{,}85\, f'_c\, b_w}$$

$$= \frac{1233534.82}{0{,}85 \times 40 \times 550}$$

$$= 65{,}96 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan berlebih

$(\omega_{pw} + d/dp\ (\omega_w - \omega_w')) < 0{,}36\ \beta_1$

dimana,

$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$
$= \frac{4417,86}{550 \times 727,5}$
$= 0,011$

$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d}$
$= \frac{2945,24}{550 \times 727,5}$
$= 0,0074$

$\omega_w = \rho (f_y / f_c')$
$= 0,011 (400/40)$
$= 0,110$

$\omega_w' = \rho' (f_y / f_c')$
$= 0,0074 (400/40)$
$= 0,074$

$\omega_{pw} = \rho_p (f_{ps} / f_c')$
$= 0,00476 (1156.93/40)$
$= 0,138$

$0,36 \beta_1 = 0,36 \times 0,76$
$= 0,28$

$(\omega_{pw} + d/dp (\omega_w - \omega_w')) < 0,36 \beta_1$
$(0,138 + 727,5/650 (0,110 - 0,074)) < 0,28$
$0,18 < 0,28$ (Tulangan Normal)

Maka perhitungan momen nominal menggunakan rumus:

$Mn = A_{pw} f_{ps}(d - \frac{a}{2}) + A_s f_y (d - d_p) + 0,85 f'_c (b - b_w) t_p (dp - \frac{t_p}{2})$
$= 1233534.82 (650 - \frac{65,96}{2}) + 4417,86 \times 400 (727,5 - 650) + 0,85\ 40(1308 - 550)\ 120 (650 - \frac{120}{2})$
$= 2721998221$ Nmm

4.6.13.2. Kekuatan lentur yang disumbang baja prategang

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.5, baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari seperempat kekuatan lentur positif atau negative di penampang kritis pada daerah sendi plastis dan harus diangkur pada atau melewati muka eksterior join,
Sehingga:

Momen nominal prategang pada daerah tumpuan:

$$Mn = A_{pw} f_{ps}(d - \frac{a}{2})$$
$$= 1219944.76 \ (588{,}23 - \frac{167{,}55}{2})$$
$$= 615401214.7 \text{ Nmm}$$

$$PPR = \frac{Mn_{prategang}}{Mn_{total}}$$
$$= \frac{615401214.7 \text{ Nmm}}{2516302460 \text{ Nmm}} \times 100\%$$
$$= 24{,}5\% < 25\% \text{ (OK)}$$

4.6.14. Kontrol Momen Retak

Perhitungan kuat ultimate dari beton pratekan harus memenuhi persyaratan SNI 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 $\phi \ M_u > 1.2M_{cr}$, dengan nilai $\phi = 0.9$.

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retak retak rambut pertama pada balok prategang dihitung dengan teori elastis dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tarik pada serat beton mencapai modulus keruntuhannya. Harus diperhatikan pula bahwa modulus keruntuhan hanyalah merupakan ukuran permulaan retak rambut pertama seringkali

tidak terlihat oleh mata telanjang. Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut :

Untuk serat bawah mengalami Tarik (pada daerah lapangan) maka :

$$M_{CR} = \left(\frac{Fe}{A} \times \frac{I}{y_b}\right) + \left(\frac{Fe \times e \times y_b}{I} \times \frac{I}{y_b}\right) + \left(f_r \times \frac{I}{y_b}\right)$$

$M_{CR} = (Fe \times K_t) + (Fe \times e) + (f_r \times W_b)$

$= 1706630{,}64 \times 132{,}71 + 1706630{,}64 \times 308{,}23 + 3{,}92 \times 70459692{,}15$

$= 1028807381$ Nmm

Kontrol Momen Retak

$Mn > 1.2\ M_{CR}$

2721998221 Nmm > 1,2 . 1028807381 Nmm

2721998221 Nmm > 1,2 . 1028807381 Nmm

2721998221 Nmm > 1234568858 Nmm (memenuhi)

4.6.15. Angkur Ujung

Balok pratekan pasca tarik, kegagalan 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, untuk itu pada perhitungan ini digunakan P_{pu} yaitu gaya prategang terfaktor.

Penulangan pengekang diseluruh zona angkur harus sedemikian hingga mencegah gaya pencaran, pengelupasan dan gaya tarik tepi longitudinal yang timbul akibat pengankuran tendon sesuai pasal 18.13.3.2.

Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh gaya pratekan awal adalah sebagai berikut :

$F_o = 210000$ N

$P_{pu} = 1{,}2\ F_o$

$= 1{,}2 \times 210000$ N

$= 2520000$ N

$T_{pencar} = 0{,}25\ P_{pu} \left(1 - \frac{a}{h}\right)$

$d_{pencar} = 0{,}5\ (h - 2e)$

dimana :

P_{pu} = gaya prategang terfaktor

a = tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

e = eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang

h = tinggi penampang pada arah yang ditinjau

Diperoleh nilai sebagai berikut :

a = 265 mm (angkur dengan strand 5-19, VSL tabel)

e = 130 mm

h = 800 mm

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

T_{pencar} $= 0{,}25 \times 2520000 \left(1 - \frac{265}{800}\right)$

$= 421312.5$ N

d_{pencar} $= 0{,}5\ (h - 2e)$

$= 0{,}5\ (800 - 2 \times 130)$

$= 270$ mm

A_{vp} $= T_{pencar} / f_y$

$= 421312.5$ N $/ 400$ MPa

$= 1053{,}28$ mm^2

Digunakan tulangan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm ($A_v = 265{,}465$ mm^2), maka kebutuhan tulangan sengkang ialah sebanyak :

$n = A_{vp} / A_v$

$= 1053{,}28$ mm^2 / $265{,}465$ mm^2

$= 3{,}97$ buah ≈ 4 buah

Spasi antar sengkang ialah sebesar :

$s = d_{pencar} / n$

$= 270$ mm / 4 buah

$= 67{,}5$ mm ≈ 50 mm

Sehingga digunakan tulangan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm dengan jarak antar tulangan sebesar 50 mm

BAB V
STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN TORSI PADA BALOK PRATEKAN MENGGUNAKAN SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 DAN ACI 318M-14.

Parameter perbandingan berupa perbandingan secara kuantitatif. Perbandingan dilakukan pada hasil kekuatan torsi dan jumlah tulangan yang akan dibutuhkan. Untuk parameter lain seperti gaya dalam, dimensi balok, mutu beton dan baja semua disamakan.

5.1. Studi Perbandingan Kekuatan Torsi pada Balok Pratekan Menggunakan SNI 2847-2002

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

A_{cp} = b_{balok} . h_{balok}
= 550 mm . 800 mm
= 440000 mm^2

Parimeter luar irisan penampang beton

P_{cp} = 2 . (b_{balok} + h_{balok})
= 2 . (550 mm + 800 mm)
= 2700 mm

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

A_{oh} = (b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}). (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})
= (550 mm – (2.50 mm) – 10 mm).(800 mm – (2.50 mm) – 10 mm)
= 303600 mm^2

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

P_h = 2. [(b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}) + (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})]
= 2. [(550 mm – (2.50 mm) – 10 mm) + (800 mm – (2.50 mm) – 10 mm)]
= 2260 mm

Momen puntir ultimate

Tu = 201876149,8 Nmm
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

f_{pc} = f_e / A_c
= 1706630,6 N / 530923.8 mm^2
= 3,214 MPa

Sesuai SNI 2847-03-2002 Pasal 13.6.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu dari komponen struktur prategang kurang dari

$$Tu_{min} = \frac{\phi.\sqrt{f_c'}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) \sqrt{1+\frac{3\ f_{pc}}{\sqrt{f_c'}}}$$

$$= \frac{0,75.\sqrt{40}}{12} \left(\frac{(440000)^2}{2700}\right) \sqrt{1+\frac{3\ .\ 3,214}{\sqrt{40}}}$$

= 45036100.52 Nmm

Tu < Tu min

201876149,8 Nmm > 45036100.52 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Menurut SNI 2847-03-2002 Pasal 13.6.2(2) Pada struktur statis tak tentu dimana dapat terjadi pengurangan momen puntir pada komponen strukturnya yang disebabkan oleh redistribusi gaya-gaya dalam akibat adanya keretakan, momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat dikurangi menjadi:
Untuk komponen struktur prategang

$$Tu = \frac{\phi.\sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) \sqrt{1+\frac{3\ f_{pc}}{\sqrt{f_c'}}}$$

$$= \frac{0,75.\sqrt{40}}{3} \left(\frac{(440000)^2}{2700}\right) \sqrt{1+\frac{3\ .\ 3,214}{\sqrt{40}}}$$

= 180144402.1 Nmm

Sehingga,
Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{180144402.1\ Nmm}{0,75} = 240192536.1\ Nmm$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai SNI 2847-03-2002 Pasal 13.6.3(1) bahwa dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A^2_{oh}}\right)^2} \le \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2 \cdot \sqrt{f_c'}}{3}\right)$$

Dengan V_c didapatkan dari hasil perhitungan pada bab 4.6.12.3 didapatkan:

V_c = 430936.00 N

Vu = 491420,74 N
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A^2_{oh}}\right)^2} \le \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2 \cdot \sqrt{f_c'}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{491420{,}74\ \text{N}}{550\ \text{mm} .\ 727{,}5\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{180144402.1\ \text{Nmm} .\ 2260\ \text{mm}}{1{,}7\left(303600\ \text{mm}^2\right)^2}\right)^2} \le 0{,}75\left(\frac{430936.00\ \text{N}}{550\ \text{mm} .\ 727{,}5\ \text{mm}} + \frac{2 \cdot \sqrt{40}}{3}\right)$$

1,23 ≤ 5,02 (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Dari perencanaan tendon pratekan didapatkan:

f_{se} = 1002,90 MPa

f_{pu} = 1838,20 MPa

A_{ps} = 1701,7 mm^2

$A_{ps} f_{se}$ = 1701,7 mm^2 . 1002,90 MPa
= 1706630,64 N

Sedangkan dari perhitungan tulangan lentur pada bab 4.6.12.2 didapatkan:

As = 5890,49 mm^2

$40\% (A_{ps} f_{pu} + As\ f_y) = 40\% (1701,7 . 1838,20 + 5890,49 . 400)$

$= 2193677,80$ N

$A_{ps} f_{se} < 40\% (A_{ps} f_{pu} + As\ f_y)$

$1706630,64$ N $< 2193677,80$ N

Sesuai SNI 2847-03-2002 Pasal 13.6.3(6), Untuk beton prategang dengan gaya prategang efektif kurang dari 40% kekuatan tarik tulangan longitudinal

$\theta = 45^o$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 . Ao . fyt . \cot\theta}$$

SNI 2847-03-2002 Pasal 13.6.3(6)

$$\frac{At}{s} = \frac{240192536.1\ Nmm}{2 . 0.85 . 303600\ mm^2 . 280\ MPa . \cot 45}$$

$\frac{At}{s} = 1,66\ mm^2 / mm /$ satu kaki

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar $1,66\ mm^2$ / mm / satu kaki

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

Tumpuan

Pada bab 4.6.12.3 perhitungan tulangan geser daerah tumpuan didapatkan:

$\frac{Av}{S} = 2,05\ mm^2/mm$ / dua kaki

Sesuai pasal 13.6.5(2) SNI 2847-2002, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 . At}{S} + \frac{Av}{S}$$

$= 2 . 1,66 + 2,05$

$= 5,38\ mm^2/mm$

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

$A_{D13} = 0,25 . \pi . 13^2 . 3$

$= 398,2\ mm^2$

$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$
$$= \frac{398{,}2 \text{ mm}^2}{5{,}38 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$
$$= 74{,}0 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 4D13-70 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 13.6.5(2) SNI 2847-2002
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$$\frac{75\sqrt{f_c'}}{1200}\frac{bw \,.\, s}{fyt} = \frac{75\sqrt{40}}{1200}\frac{550 \,.\, 70}{280}$$
$$= 54{,}4 \text{ mm}^2 < 452{,}4 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$
$$\text{dan } \frac{1}{3}\frac{bw \,.\, s}{fyt} = \frac{1}{3}\frac{550 \,.\, 70}{280}$$
$$= 45{,}8 \text{ mm}^2 < 452{,}4 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Lapangan
Pada bab 4.6.12.3 perhitungan tulangan geser daerah lapangan didapatkan:

$$\frac{Av}{S} = 0{,}77 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ / dua kaki}$$

Sesuai pasal 13.6.5(2) SNI 2847-2002, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \,.\, At}{S} + \frac{Av}{S}$$
$$= 2 \,.\, 1{,}66 + 0{,}77$$
$$= 5{,}38 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

$$A_{D13} = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 13^2 \,.\, 3$$
$$= 398{,}2 \text{ mm}^2$$
$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$

$$= \frac{398{,}2 \text{ mm}^2}{5{,}38 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$
$$= 97{,}3 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3D13-90 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 13.6.5(2) SNI 2847-2002
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$$\frac{75\sqrt{f_c'}}{1200}\frac{bw \,.\, s}{fyt} = \frac{75\sqrt{40}}{1200}\frac{550 \,.\, 90}{280}$$
$$= 69{,}9 \text{ mm}^2 < 398{,}2 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$
$$\text{dan } \frac{1}{3}\frac{bw \,.\, s}{fyt} = \frac{1}{3}\frac{550 \,.\, 90}{280}$$
$$= 58{,}93 \text{ mm}^2 < 398{,}2 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal
Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-03-2002 pasal 13.6.3.7.

$$Al = \frac{At}{s} \,.\, P_h \,.\, \frac{f_{yt}}{f_y} \,.\, \cot^2\theta$$
$$= 1{,}66 \,.\, 2260 \text{ mm} \,.\, \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \,.\, \cot^2 45$$
$$= 2629{,}4 \text{ mm}^2$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min} harus sesuai dengan SNI 2847-03-2002 pasal 13.6.5(3)

At/s = 1,66 mm, tidak boleh diambil kurang dari
$b_w / 6\, f_{yt}$ = 550 / 6 . 280
= 0,38
Maka digunakan At/s = 1,66 mm

$$Al_{min} = \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot Acp}{12\, f_y} - \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{5\sqrt{40\ MPa} \cdot 440000\ mm^2}{12 \cdot 400\ MPa} - 1{,}66 \cdot 2260\ mm \cdot \frac{280\ MPa}{400\ MPa}$$

$$= 269{,}35\ mm^2$$

Nilai yang digunakan adalah Al = 2629,40 mm^2

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{2629{,}40\ mm^2}{4} = 657{,}35\ mm^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$$2 \cdot \frac{Al}{4} = 2 \cdot 657{,}35\ mm^2 = 1314{,}7\ mm^2$$

Dipasang tulangan torsi 4D22

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

$As = 0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$

$= 0{,}25 \cdot \pi \cdot (22\ mm)^2 \cdot 4$

$= 1520{,}53\ mm^2$

Kontrol

As pasang $\geq$ As perlu

1520,53 $mm^2 \geq$ 1314,7 mm^2 (memenuhi)

Penambahan kebutuhan tulangan torsi pada tulangan lentur *Tumpuan*

Pada bab 4.6.12.2 perhitungan tulangan lentur daerah tumpuan didapatkan:

As = 4918.19 mm^2

- Tulangan lentur tarik

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$$= 4918.19\ mm^2 + 657{,}35\ mm^2$$

$= 5575{,}54\ mm^2$

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{5575{,}54\ mm^2}{490.87\ mm^2}$

$= 11{,}35$ buah

Dipasang tulangan lentur 12D25

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 12.\ 490.87\ mm^2$

$= 5890.49\ mm^2$

Kontrol

$As_{perlu} < As_{pasang}$

$5575{,}54\ mm^2 < 5890.49\ mm^2$ (memenuhi)

- Tulangan lentur tekan

  Dipasang ½ tulangan lentur tarik = 6D25

  As = n . luasan tulangan lentur

  $= 6.\ 490.87\ mm^2$

  $= 2945{,}24\ mm^2$

  Kontrol

  $As_{perlu} < As_{pasang}$

  $657{,}35\ mm^2 < 2945{,}24\ mm^2$ (memenuhi)

Lapangan

Pada bab 4.6.12.2 perhitungan tulangan lentur daerah lapangan didapatkan:

$As = 3625{,}2\ mm^2$

- Tulangan lentur tarik

  $As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

  $= 3625{,}2\ mm^2 + 657{,}35\ mm^2$

  $= 4282{,}56\ mm^2$

  $n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

  $= \frac{4282{,}56\ mm^2}{490.87\ mm^2}$

= 8,72 buah

Dipasang tulangan lentur 9D25

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

= 9. 490.87 mm^2

= 4417,86 mm^2

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

4282,56 mm^2 < 4417,86 mm^2 (memenuhi)

- Tulangan lentur tekan

Dipasang ¼ tulangan lentur tarik tumpuan = 6D25

As = n . luasan tulangan lentur

= 6. 490.87 mm^2

= 2945,24 mm^2

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

657,35 mm^2< 2945,24 mm^2 (memenuhi)

5.2. Studi Perbandingan Kekuatan Torsi pada Balok Pratekan Menggunakan SNI 2847-2013

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

A_{cp} = b_{balok} . h_{balok}

= 550 mm . 800 mm

= 440000 mm^2

Parimeter luar irisan penampang beton

P_{cp} = 2 . (b_{balok} + h_{balok})

= 2 . (550 mm + 800 mm)

= 2700 mm

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

A_{oh} = (b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}). (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})

= (550 mm – (2.50 mm) – 10 mm).(800 mm – (2.50 mm) – 10 mm)

= 303600 mm^2

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

P_h = 2. [(b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}) + (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})]
= 2. [(550 mm – (2.50 mm) – 10 mm) + (800 mm – (2.50 mm) – 10 mm)]
= 2260 mm

Momen puntir ultimate

Tu = 201876149,8 Nmm
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

f_{pc} = f_e / A_c
= 1706630,6 N / 530923.8 mm^2
= 3,214 MPa

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1(b), pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu dari komponen struktur prategang kurang dari

$$Tu_{min} = \phi.0{,}083 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) \sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0{,}33\,\lambda\sqrt{f_c'}}}$$

$$=0{,}75 \,.\, 0{,}083.\sqrt{40}.\left(\frac{(440000)^2}{2700}\right) \sqrt{1+\frac{3{,}214}{0{,}33\,\sqrt{40}}}$$

= 44992563,56 Nmm

Tu < Tu min
201876149,8 Nmm > 44992563,56 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan, Tu maksimum boleh direduksi menjadi:
Untuk komponen struktur prategang

$$Tu = \phi.0{,}33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right) \sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0{,}33\,\lambda\sqrt{f_c'}}}$$

$$= 0{,}75 \cdot 0{,}33.\sqrt{40}.\left(\frac{(440000)^2}{2700}\right) \sqrt{1+\frac{3{,}214}{0{,}33\,\sqrt{40}}}$$

$$= 178886096{,}1 \text{ Nmm}$$

Sehingga,

Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{178886096{,}1 \text{ Nmm}}{0{,}75} = 238514794{,}8 \text{ Nmm}$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2{}_{oh}}\right)^2} \le \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

Dengan V_c dihitung sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 dimana untuk balok prategang, V_c haruslah dipilih yang lebih kecil dari V_{cw} dan V_{ci}.

Dari hasil perhitungan pada bab 4.6.12.3 didapatkan:

V_c = 430936,00 N

Vu = 491420,74 N

(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2{}_{oh}}\right)^2} \le \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{491420{,}74\ \text{N}}{550\ \text{mm}.\ 727{,}5\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{178886096{,}1\ \text{Nmm}\ .\ 2260\ \text{mm}}{1{,}7\left(303600\ \text{mm}^2\right)^2}\right)^2}$$

$$\leq 0{,}75\left(\frac{430936{,}00\ \text{N}}{550\ \text{mm}.\ 727{,}5\ \text{mm}} + 0{,}66\sqrt{40\ \text{MPa}}\right)$$

1,23 ≤ 4,98 (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Dari perencanaan tendon pratekan didapatkan:

f_{se} = 1002,90 MPa

f_{pu} = 1838,20 MPa

A_{ps} = 1701,7 mm^2

$A_{ps}\, f_{se}$ = 1701,7 mm^2 . 1002,90 MPa

= 1706630,64 N

Sedangkan dari perhitungan tulangan lentur pada bab 4.6.12.2 didapatkan:

As = 5890,49 mm^2

40% ($A_{ps}\, f_{pu}$ + As f_y) = 40% (1701,7 . 1838,20 + 5890,49 . 400)

= 2193677,80 N

$A_{ps}\, f_{se}$ < 40% ($A_{ps}\, f_{pu}$ + As f_y)

1706630,64 N < 2193677,80 N

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6(a), Untuk beton prategang dengan gaya prategang efektif kurang dari 40% kekuatan tarik tulangan longitudinal

θ = 45°

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2\ .\ Ao\ .\ fyt\ .\ \cot\theta}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6

$$\frac{At}{s} = \frac{238514794.8 \text{ Nmm}}{2 \ . \ 0.85 \ . \ 303600 \text{ mm}^2 \ . \ 280 \text{ MPa} \ . \ \cot 45}$$

$$\frac{At}{s} = 1{,}65 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki}$$

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar 1,65 mm^2 / mm / satu kaki

Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi

Tumpuan

Pada bab 4.6.12.3 perhitungan tulangan geser daerah tumpuan didapatkan:

$\frac{Av}{S}$ = 2,05 mm^2/mm / dua kaki

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \ . \ At}{S} + \frac{Av}{S}$$

$$= 2 \ . \ 1{,}65 + 2{,}05$$

$$= 5{,}35 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

$$A_{D13} = 0{,}25 \ . \ \pi \ . \ 13^2 \ . \ 3$$

$$= 398{,}2 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$$

$$= \frac{398{,}2 \text{ mm}^2}{5{,}35 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$

$$= 74{,}4 \text{ mm}$$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm

Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3D13-70 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013

Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \ . \ s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{40} \frac{550 \ . \ 70}{280}$$

$= 53{,}9\ mm^2 < 398{,}2\ mm^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 550 \cdot 70) / 280$

$= 48{,}1\ mm^2 < 398{,}2\ mm^2$ (memenuhi)

Lapangan

Pada bab 4.6.12.3 perhitungan tulangan geser daerah lapangan didapatkan:

$\frac{Av}{S} = 0{,}77\ mm^2/mm$ / dua kaki

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \cdot At}{S} + \frac{Av}{S}$

$= 2 \cdot 1{,}65 + 0{,}77$

$= 4{,}07\ mm^2/mm$

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

$A_{D13} = 0{,}25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 3$

$= 398{,}2\ mm^2$

$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_s}$

$= \frac{398{,}2\ mm^2}{4{,}07\ mm^2/mm}$

$= 97{,}8\ mm$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm

Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3D13-90 mm

Kontrol Avt pakai sesuai pasal 11.5.5.2 SNI 2847-2013

Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{40} \frac{550 \cdot 90}{280}$

$= 69{,}3\ mm^2 < 398{,}2\ mm^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 550 \cdot 90) / 280$

$= 61{,}9\ mm^2 < 398{,}2\ mm^2$ (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7.

$$Al = \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2\theta$$

$$= 1{,}65 \cdot 2260 \text{ mm} \cdot \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \cdot \cot^2 45$$

$$= 2611.04 \text{ mm}^2$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min} harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.3.

At/s = 1,65 mm, tidak boleh diambil kurang dari

$0{,}175\ b_w / f_{yt} = 0{,}175 \cdot 550/280$

$= 0{,}40$

Maka digunakan At/s = 1,65 mm

$$Al_{min} = \frac{0{,}42 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot Acp}{fy} - \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{0{,}42 \sqrt{40 \text{ MPa}} \cdot 440000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} - 1{,}92 \cdot 2260\text{mm} \frac{280 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}$$

$$= 310.91 \text{ mm}^2$$

Nilai yang digunakan adalah Al = 2611.04 mm^2

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{2611.04 \text{ mm}^2}{4} = 652.76 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$$2 \cdot \frac{Al}{4} = 2 \cdot 652.76 \text{ mm}^2 = 1305{,}52 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan torsi 4D22

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

As $= 0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$
$= 0{,}25 \cdot \pi \cdot (22\ mm)^2 \cdot 4$
$= 1520.53\ mm^2$

Kontrol
As pasang $\geq$ As perlu
$1520.53\ mm^2 \geq 1305{,}52\ mm^2$ (memenuhi)

<u>Penambahan kebutuhan tulangan torsi pada tulangan lentur *Tumpuan*</u>
Pada bab 4.6.12.2 perhitungan tulangan lentur daerah tumpuan didapatkan:
$As = 4918.19\ mm^2$

- Tulangan lentur tarik

  $As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$
  $= 4918.19\ mm^2 + 652.76\ mm^2$
  $= 5570.95\ mm^2$

  $n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$
  $= \frac{5570.95\ mm^2}{490.87\ mm^2}$
  $= 11{,}3$ buah

  Dipasang tulangan lentur 12D25
  As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur
  $= 12.\ 490.87\ mm^2$
  $= 5890.49\ mm^2$

  Kontrol
  $As_{perlu} < As_{pasang}$
  $5570.95\ mm^2 < 5890.49\ mm^2$ (memenuhi)

- Tulangan lentur tekan

  Dipasang ½ tulangan lentur tarik = 6D25
  As = n . luasan tulangan lentur
  $= 6.\ 490.87\ mm^2$
  $= 2945{,}24\ mm^2$

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

652.76 mm^2 < 2945,24 mm^2 (memenuhi)

Lapangan

Pada bab 4.6.12.2 perhitungan tulangan lentur daerah lapangan didapatkan:

As = 3625,2 mm^2

- Tulangan lentur tarik

$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

$= 3625.21\ mm^2 + 652,76\ mm^2$

$= 4277.97\ mm^2$

$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

$= \frac{4277.97 mm^2}{490.87\ mm^2}$

$= 8,72 \approx 9$ buah

Dipasang tulangan lentur 9D25

As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

$= 9 . 490,87\ mm^2$

$= 4417.86\ mm^2$

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

4277.97 mm^2 < 4417.86 mm^2 (memenuhi)

- Tulangan lentur tekan

Dipasang ¼ tulangan lentur tarik tumpuan = 6D25

As = n . luasan tulangan lentur

$= 6. 490.87\ mm^2$

$= 2945,24\ mm^2$

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

652,76 mm^2 < 2945,24 mm^2 (memenuhi)

5.3. Studi Perbandingan Kekuatan Torsi pada Balok Pratekan Menggunakan ACI 318M-14

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

A_{cp} = b_{balok} . h_{balok}
= 550 mm . 800 mm
= 440000 mm^2

Parimeter luar irisan penampang beton

P_{cp} = 2 . (b_{balok} + h_{balok})
= 2 . (550 mm + 800 mm)
= 2700 mm

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

A_{oh} = (b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}). (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})
= (550 mm – (2.50 mm) – 10 mm).(800 mm – (2.50 mm) – 10 mm)
= 303600 mm^2

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

P_h = 2. [(b_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser}) + (h_{balok} – 2.$t_{decking}$ – D_{geser})]
= 2. [(550 mm – (2.50 mm) – 10 mm) + (800 mm – (2.50 mm) – 10 mm)]
= 2260 mm

Momen puntir ultimate

Tu = 201876149,8 Nmm
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

f_{pc} = f_e / A_c
= 1706630,6 N / 530923.8 mm^2
= 3,214 MPa

Sesuai ACI 318M-14 Pasal 22.7.1.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor Tu dari komponen struktur prategang kurang dari

$$Tu_{min} = \phi.0{,}083 \,.\, \lambda \,.\, \sqrt{f_c'} \,.\, \left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right) \sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0{,}33\,\lambda\sqrt{f_c'}}}$$

$$=0{,}75\ .\ 0{,}083.\sqrt{40}.\left(\frac{(440000)^2}{2700}\right)\sqrt{1+\frac{3{,}214}{0{,}33\ \sqrt{40}}}$$

$$= 44992563{,}56 \text{ Nmm}$$

Tu $<$ Tu min

201876149,8 Nmm > 44992563,56 Nmm (Tulangan puntir tidak dapat diabaikan)

Menurut ACI 318M-14 Pasal 22.7.3.2 Pada struktur statis tak tentu dimana Tu > ϕ T_{cr}, reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan, maka diizinkan untuk mereduksi Tu menjadi ϕT_{cr}. Dengan ϕT_{cr} Untuk komponen struktur prategang:

$$\phi T_{cr} = \phi.0{,}33\ .\ \lambda\ .\ \sqrt{f_c'}\ .\left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0{,}33\ \lambda\sqrt{f_c'}}}$$

$$= 0{,}75\ .\ 0{,}33.\sqrt{40}.\left(\frac{(440000)^2}{2700}\right)\sqrt{1+\frac{3{,}214}{0{,}33\ \sqrt{40}}}$$

$$= 178886096{,}1 \text{ Nmm}$$

Dipakai Tu = 178886096,1 Nmm

Sehingga,

Momen puntir nominal

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} = \frac{178886096{,}1 \text{ Nmm}}{0{,}75} = 238514794{,}8 \text{ Nmm}$$

Cek kecukupan penampang menahan momen torsi

Sesuai ACI 318M-14 Pasal 22.7.7.1 bahwa dimensi penampang untuk kekuatan momen torsi pada penampang solid harus memenuhi ketentuan sebagai berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2{}_{oh}}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

Dengan V_c didapatkan dari hasil perhitungan pada bab 4.6.12.3 didapatkan:

V_c = 430936,00 N

Vu = 491420,74 N
(didapat dari ETABS kombinasi envelope maksimum)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2{}_{oh}}\right)^2} \le \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{491420{,}74\ \text{N}}{550\ \text{mm}.\ 727{,}5\ \text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{178886096{,}1\ \text{Nmm}\ .\ 2260\ \text{mm}}{1{,}7\left(303600\ \text{mm}^2\right)^2}\right)^2}$$

$$\le 0{,}75\left(\frac{430936{,}00\ \text{N}}{550\ \text{mm}.\ 727{,}5\ \text{mm}} + 0{,}66\sqrt{40\ \text{MPa}}\right)$$

1,23 ≤ 4,98 (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser

Dari perencanaan tendon pratekan didapatkan:

f_{se} = 1002,90 MPa

f_{pu} = 1838,20 MPa

A_{ps} = 1701,7 mm^2

$A_{ps} f_{se}$ = 1701,7 mm^2 . 1002,90 MPa
= 1706630,64 N

Sedangkan dari perhitungan tulangan lentur pada bab 4.6.12.2 didapatkan:

As = 5890,49 mm^2

40% ($A_{ps} f_{pu}$ + As f_y) = 40% (1701,7 . 1838,20 + 5890,49 . 400)
= 2193677,80 N

$A_{ps} f_{se}$ < 40% ($A_{ps} f_{pu}$ + As f_y)

1706630,64 N < 2193677,80 N

Sesuai ACI 318M-14 Pasal 22.7.6.1.2, Untuk beton prategang dengan gaya prategang efektif kurang dari 40% kekuatan tarik tulangan longitudinal

$\theta = 45^o$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \,.\, Ao \,.\, fyt \,.\, \cot\theta}$$

ACI 318M-14 Pasal 22.7.6.1(a)

$$\frac{At}{s} = \frac{238514794.8 \text{ Nmm}}{2 \;.\; 0.85 \;.\; 303600 \text{ mm}^2 \;.\; 280 \text{ MPa} \;.\; \cot 45}$$

$$\frac{At}{s} = 1{,}65 \text{ mm}^2 / \text{mm} / \text{satu kaki}$$

Kebutuhan tulangan torsi untuk geser sebesar 1,65 mm^2 / mm / satu kaki

<u>Penambahan kebutuhan tulangan geser torsi</u>

<u>*Tumpuan*</u>

Pada bab 4.6.12.3 perhitungan tulangan geser daerah tumpuan didapatkan:

$\frac{Av}{S}$ = 2,05 mm^2/mm / dua kaki

Sesuai ACI 318M-14 Pasal 9.6.4.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \,.\, At}{S} + \frac{Av}{S}$$

$= 2 \,.\, 1{,}65 + 2{,}05$

$= 5{,}35 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

$A_{D13} = 0{,}25 \,.\, \pi \,.\, 13^2 \,.\, 3$

$= 398{,}2 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_S}$$

$$= \frac{398{,}2 \text{ mm}^2}{5{,}35 \text{ mm}^2/\text{mm}}$$

$= 74{,}4$ mm

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3D13-70 mm

Kontrol Avt pakai sesuai ACI 318M-14 Pasal 9.6.4.2
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062 \sqrt{f_c'} \frac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062 \sqrt{40} \frac{550 \cdot 70}{280}$
$= 53{,}9 \text{ mm}^2 < 398{,}2 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 550 \cdot 70) / 280$
$= 48{,}1 \text{ mm}^2 < 398{,}2 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Lapangan
Pada bab 4.6.12.3 perhitungan tulangan geser daerah lapangan didapatkan:

$\frac{Av}{S} = 0{,}77 \text{ mm}^2/\text{mm}$ / dua kaki

Sesuai ACI 318M-14 Pasal 9.6.4.2, luas minimum sengkang tertutup transversal harus dihitung dengan:

$\frac{Avt}{S} = \frac{2 \cdot At}{S} + \frac{Av}{S}$
$= 2 \cdot 1{,}65 + 0{,}77$
$= 4{,}07 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Dengan sengkang 3 kaki berdiameter 13 mm:

$A_{D13} = 0{,}25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 3$
$= 398{,}2 \text{ mm}^2$

$s = \frac{A_{D13}}{Avt/_S}$
$= \frac{398{,}2 \text{ mm}^2}{4{,}07 \text{ mm}^2/\text{mm}}$
$= 97{,}8 \text{ mm}$

Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari ph/8 = 2260/8 = 283 mm atau 300 mm
Sehingga, Tulangan sengkang setelah ditambah torsi dipakai 3D13-90 mm

Kontrol Avt pakai sesuai ACI 318M-14 Pasal 9.6.4.2
Luas sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari:

$0{,}062\sqrt{f_c'}\,\frac{bw \cdot s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{40}\,\frac{550 \cdot 90}{280}$

$= 69{,}3\ mm^2 < 452{,}4\ mm^2$ (memenuhi)

dan $(0{,}35 \cdot bw \cdot s) / fyt = (0{,}35 \cdot 550 \cdot 90) / 280$

$= 61{,}9\ mm^2 < 452{,}4\ mm^2$ (memenuhi)

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi Al, harus sesuai dengan ACI 318M-14 pasal 22.7.6.1(b).

$$Al = \frac{Tn\ Ph}{2 \cdot Ao \cdot fyt \cdot \cot\theta}$$

$$= \frac{238514794.8\ Nmm \cdot 2260}{2 \cdot 0.85 \cdot 303600\ mm^2 \cdot 400\ MPa \cdot \cot 45}$$

$$= 2611.04\ mm^2$$

Luas total minimum tulangan torsi longitudinal Al_{min} harus sesuai dengan ACI 318M-14 pasal 11.5.5.3.

At/s = 1,65 mm, tidak boleh diambil kurang dari

$0{,}175\ b_w / f_{yt} = 0{,}175 \cdot 550/280$

$= 0{,}40$

Maka digunakan At/s = 1,65 mm

$$Al_{min} = \frac{0{,}42 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot Acp}{fy} - \frac{At}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{0{,}42\sqrt{40\ MPa} \cdot 440000\ mm^2}{400\ MPa} - 1{,}65 \cdot 2260\ mm\ \frac{280\ MPa}{400\ MPa}$$

$$= 310.91\ mm^2$$

Nilai yang digunakan adalah $Al = 2611{,}04\ mm^2$

Dari Al yang didapatkan didistribusikan sebanyak 25% ke setiap sisi, maka didapatkan Al untuk setiap sisi sebesar:

$$\frac{Al}{4} = \frac{2611{,}04\ mm^2}{4} = 652{,}76\ mm^2$$

Luasan tulangan torsi yang dibutuhkan pada samping kanan-kiri balok

$2 \cdot \frac{Al}{4} = 2 \cdot 652{,}76\ mm^2 = 1305{,}52\ mm^2$

Dipasang tulangan torsi 6D22

Luasan tulangan pasang torsi pada samping kanan-kiri balok

$As = 0{,}25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$

$= 0{,}25 \cdot \pi \cdot (22\ mm)^2 \cdot 6$

$= 2280{,}80\ mm^2$

Kontrol

As pasang $\geq$ As perlu

$2280{,}80\ mm^2 \geq 2175{,}86\ mm^2$ (memenuhi)

<u>Penambahan kebutuhan tulangan torsi pada tulangan lentur</u>

<u>Tumpuan</u>

Pada bab 4.6.12.2 perhitungan tulangan lentur daerah tumpuan didapatkan:

$As = 4918.19\ mm^2$

- Tulangan lentur tarik

  $As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

  $= 4918.19\ mm^2 + 652.76\ mm^2$

  $= 5570.95\ mm^2$

  $n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

  $= \frac{5570.95\ mm^2}{490.87\ mm^2}$

  $= 11{,}3$ buah

  Dipasang tulangan lentur 12D25

  $As_{pasang} = n \cdot$ luasan tulangan lentur

  $= 12 \cdot 490.87\ mm^2$

  $= 5890.49\ mm^2$

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

5570.95 mm^2 < 5890.49 mm^2 (memenuhi)

- Tulangan lentur tekan

  Dipasang ½ tulangan lentur tarik = 6D25

  As = n . luasan tulangan lentur

  = 6. 490.87 mm^2

  = 2945,24 mm^2

  Kontrol

  As_{perlu} < As_{pasang}

  652.76 mm^2 < 2945,24 mm^2 (memenuhi)

Lapangan

Pada bab 4.6.12.2 perhitungan tulangan lentur daerah lapangan didapatkan:

As = 3625,2 mm^2

- Tulangan lentur tarik

  $As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$

  = 3625.21 mm^2 + 652,76 mm^2

  = 4277.97 mm^2

  $n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}}$

  $= \frac{4277.97 mm^2}{490.87\ mm^2} = 8,72 \approx 9$ buah

  Dipasang tulangan lentur 9D25

  As_{pasang} = n . luasan tulangan lentur

  = 9 . 490,87 mm^2

  = 4417.86 mm^2

  Kontrol

  As_{perlu} < As_{pasang}

  4277.97 mm^2 < 4417.86 mm^2 (memenuhi)

- Tulangan lentur tekan

  Dipasang ¼ tulangan lentur tarik tumpuan = 6D25

As = n . luasan tulangan lentur
= 6. 490.87 mm^2
= 2945,24 mm^2

Kontrol

As_{perlu} < As_{pasang}

652,76 mm^2 < 2945,24 mm^2 (memenuhi)

5.4. Rekapitulasi Hasil Studi Perbandingan

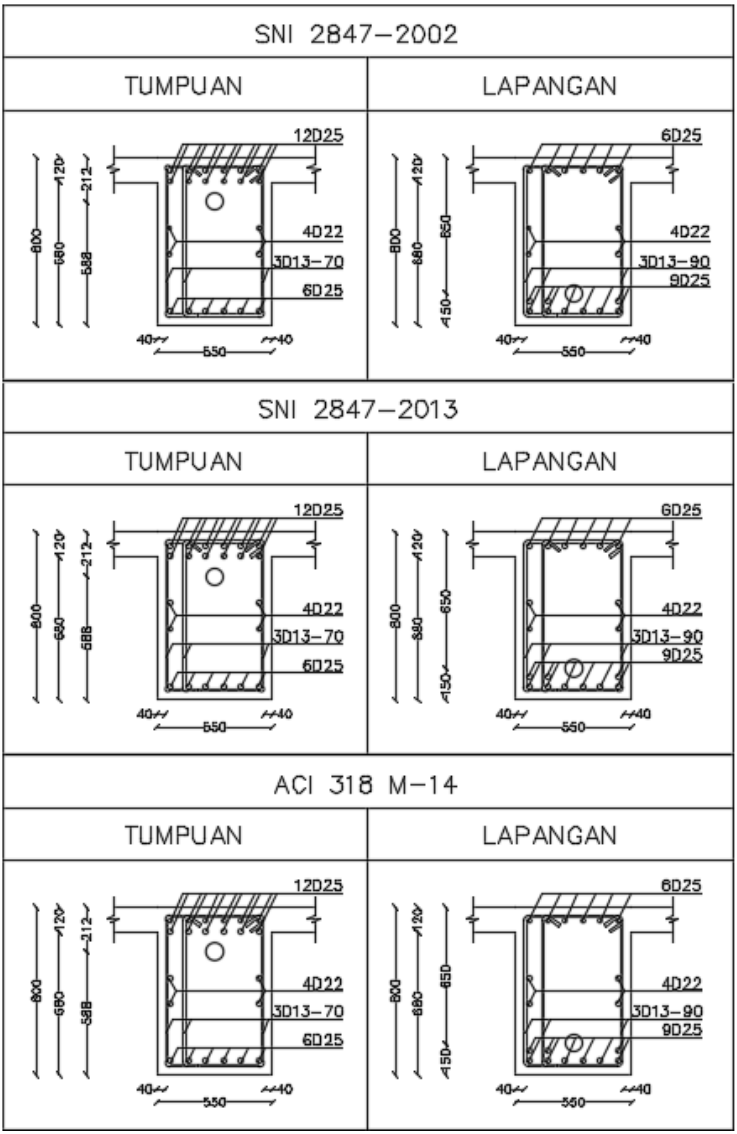
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Studi Perbandingan Perhitungan Torsi pada balok pratekan menggunakan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 dan ACI 318 M-14

Parameter	**SNI 2847 - 03 - 2002**	**SNI 2847:2013**	**ACI 318M-14**
f_c' (MPa)	40	40	40
f_y (MPa)	400	400	400
f_{yt} (MPa)	280	280	280
ϕ	0,75	0,75	0,75
b (mm)	550	550	550
h (mm)	800	800	800
d (mm)	727,5	727,5	727,5
L (mm)	16200	16200	16200
Tu (Nmm)	201876149,8	201876149,8	201876149,8
A_{cp} (mm^2)	440000	440000	440000
P_{cp} (mm)	2700	2700	2700
Tu_{min} (Nmm)	**45036101.52**	**44992563,56**	**44992563,56**
$Tu_{reduksi}$ (Nmm)	**180144402.1**	**178886096,1**	**178886096,1**
Tn (Nmm)	**240192536.1**	**238514794,8**	**238514794,8**
A_{oh} (mm^2)	303600	303600	303600
P_h (mm)	2260	2260	2260
f_{pc} (MPa)	3,214	3,214	3,214
V_c (N)	430204,16	430204,16	430204,16

V_u (N)	491420,7	491420,7	491420,7
Cek kecukupan penampang	**1,23 ≤ 5,02**	**1,23 ≤ 4,98**	**1,23 ≤ 4,98**
A_{ps} f_{se} (N)	1706630,64	1706630,64	1706630,64
40%(A_{ps} f_{pu} + As f_y) (N)	2096665.41	2096665.41	2096665.41
θ	45°	45°	45°
Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser Daerah Tumpuan			
At/s	**1,66**	**1,65**	**1,65**
$Av/s_{lapangan}$	2,05	2,05	2,05
Avt/s	**5,38**	**5,35**	**5,35**
Avt_{pakai}	398,2	398,2	398,2
s	**74,0**	**74,4**	**74,4**
s_{pakai}	**70**	**70**	**70**
Kontrol Avt_{pakai} (1)	**54,4**	**53,9**	**53,9**
Kontrol Avt_{pakai} (2)	**45,8**	**48,1**	**48,1**
Tulangan pakai	**3D13-70**	**3D13-70**	**3D13-70**
Kebutuhan Tulangan Torsi untuk Geser Daerah Lapangan			
At/s	**1,66**	**1,65**	**1,65**
$Av/s_{lapangan}$	0,77	0,77	0,77
Avt/s	**4,09**	**4,07**	**4,07**
Avt_{pakai}	398,2	398,2	398,2
s	**97,3**	**97,8**	**97,8**
s_{pakai}	**90**	**90**	**90**
Kontrol Avt_{pakai} (1)	**69,9**	**69,3**	**69,3**
Kontrol Avt_{pakai} (2)	**58,93**	**61,9**	**61,9**
Tulangan pakai	**3D13-90**	**3D13-90**	**3D13-90**

Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal			
Al	**2629,40**	**2611,04**	**2611,04**
At/s	**1,66**	**1,65**	**1,65**
$0{,}175b_w/ f_{yt}$	0,38	0,40	0,40
$\mathbf{Al_{min}}$	**269,35**	**310,91**	**310,91**
$\mathbf{Al_{pakai}}$	**2629,40**	**2611,04**	**2611,04**
Al/4	**657,35**	**652,76**	**652,76**
2 . Al/4	**1314,7**	**1305,52**	**1305,52**
$\mathbf{As_{pasang}}$	**4D22**	**4D22**	**4D22**
Penambahan kebutuhan torsi pada tulangan lentur tumpuan			
As	4918,19	4918,19	4918,19
Al/4	**657,35**	**652,76**	**652,76**
$\mathbf{As_{perlu}}$	**5575,54**	**5570,97**	**5570,97**
$\mathbf{As_{pasang}}$	12D25	12D25	12D25
$\mathbf{As'_{pasang}}$	6D25	6D25	6D25
Penambahan kebutuhan torsi pada tulangan lentur lapangan			
As	3625,21	3625,21	3625,21
Al/4	**657,35**	**652,76**	**652,76**
$\mathbf{As_{perlu}}$	**4282,56**	**4277,97**	**4277,97**
$\mathbf{As_{pasang}}$	9D25	9D25	9D25
$\mathbf{As'_{pasang}}$	6D25	6D25	6D25

Dari hasil perbandingan diatas didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda, untuk SNI 2847-2013 dan ACI 318M-14 memiliki kesamaan hasil. Sedangkan SNI 2847-2002 dengan peraturan lainnya memiliki perbedaan yg tidak signifikan, sehingga didapatkan hasil tulangan dengan ukuran dan jumlah yang sama. Hal ini disebabkan karena perbedaan yang tecantum pada SNI 2847-2002 dan peraturan lainnya hanya sebatas pembulatan koefisien pada rumus.



Gambar 5. 1 Rekapitulasi Hasil Studi Perbandingan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir yang berjudul "Studi Kekuatan Torsi Balok Beton Pratekan di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan ACI 318M-14, SNI 2847:2013, dan SNI-2847-2002 pada Studi Kasus Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga" ini dapat ditarik kesimpulan, diantaranya sebagai berikut:

1. Bangunan Gedung yang ditinjau masuk dalam KDS D sehingga perencanaan menggunakan SPRMK.
2. Penggunaan beton pratekan pada bangunan ini memiliki rasio PPR 24,5% sehingga telah memenuhi ketentuan yang berlaku.
3. Hasil tulangan torsi pada balok pratekan yang didapatkan dari studi perbandingan tiga peraturan tersebut menghasilkan perbedaan yang tidak signifikan. Perbedaan hasil perhitungan ditemukan pada SNI 2847-2002, sedangkan perhitungan dengan SNI 2847-2013 dan ACI 318M-14 memiliki hasil yang sama.

Tabel 6. 1 Kesimpulan Studi Perbandingan

Parameter	SNI 2847 - 03 - 2002	SNI 2847:2013	ACI 318M-14
Tulangan Geser Torsi (tumpuan)	3D13-70	3D13-70	3D13-70
Tulangan Geser Torsi (lapangan)	3D13-90	3D13-90	3D13-90
Tulangan Torsi Longitudinal	4D22	4D22	4D22

6.2. Saran

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat diajukan:

1. Diperlukan adanya studi lanjutan tentang perbedaan kekuatan geser dan lentur pada balok beton pratekan sesuai SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14.
2. Diperlukan adanya studi lanjutan tentang perbedaan biaya material yang dibutuhkan untuk tulangan torsi.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14).* Farmington Hills: American Concrete Institute.

Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton.* Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1971). *Peraturan Beron Bertulang Indonesia.* Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung.* Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.

Ghosh, S. K. (2016). Significant Changes from The 2011 to The 2014 Edition of ACI 318. *PCI Journal*, 56-80.

Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1.* Jakarta: Binarupa Aksara.

Purwono, R., & Aji, P. (2014). *Disain Kapasitas Struktur Daktail Tahan Gempa Kuat.* Surabaya: ITS Press.

Raju, N. K. (1989). *Beton Prategang Edisi Kedua.* Jakarta: Penerbit Erlangga.

Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Nafiri.

Wang, C., Salmon, C. G., & Hariandja, d. B. (1989). *Desain Beton Bertulang Jilid II.* Jakarta: Penerbit Erlangga.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BROSUR LIFT

iris

Technical Data Passenger

● Layout Dimensions | Speed : 1.0 m/s

[Standard]

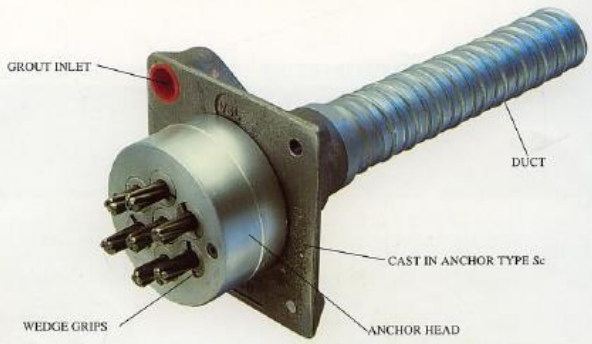
(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Entrance Opening (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load(kg)			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		AN	BN	AH	BH	AH	BH	AM	BM	AM	BM	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

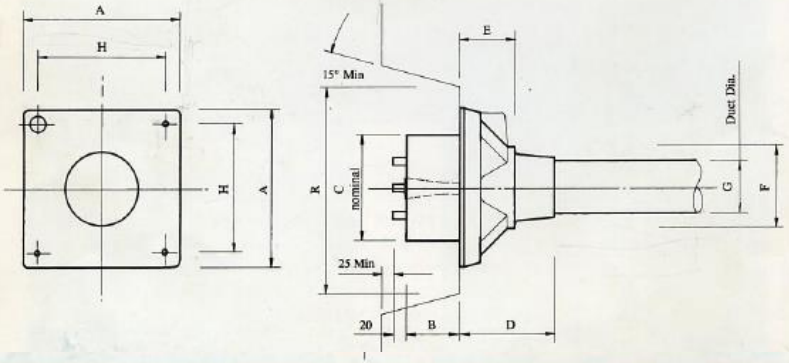
[EN Code]

1.0	6	450	800	1150	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	3600	2000	3800	3150
	7	525	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	8	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	9	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	10	800	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	12	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	13	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	16	1250	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8900	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	18	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	21	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

MULTISTRAND POST-TENSIONING



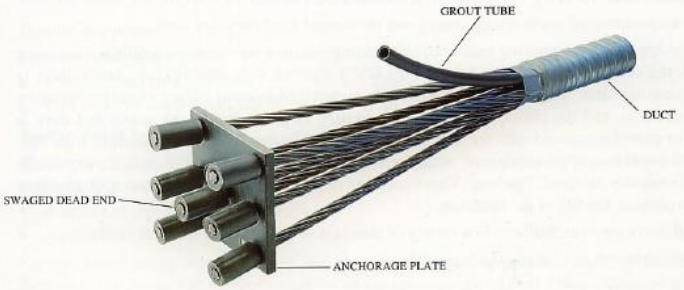
VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc
LIVE END



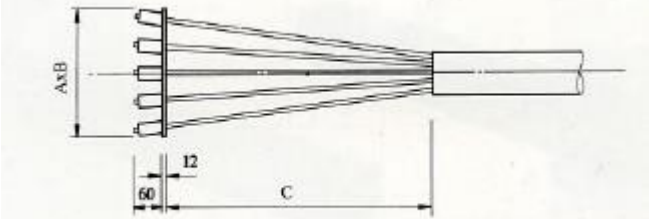
TENDON UNIT		Dimensions (mm)								
		A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R
STRAND TYPE 12.7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	54	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	200	215	140	153	90	230	360
	5-27	315	92	220	250	160	176	96	250	360
	5-31	315	92	230	250	161	175	105	250	360
	5-37	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	5-42	390	112	290	346	168	217	118	325	650
	5-48	430	122	300	340	161	233	127	365	750
	5-55	465	142	320	340	160	400	135	400	750
STRAND TYPE 15.2mm	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
	6-7	215	54	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	92	220	250	160	175	96	250	360
	6-22	315	92	230	250	160	175	105	250	360
	6-27	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	6-31	390	112	290	340	160	217	118	325	650
	6-37	430	122	300	340	160	235	135	365	750
	6-42	465	142	320	340	160	250	135	400	750
	*6-48P	575	155	340	1035	110	269	144	495	900
	*6-55P	600	190	360	1070	120	294	154	520	900

Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases. Refer VSL office for details.

*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.



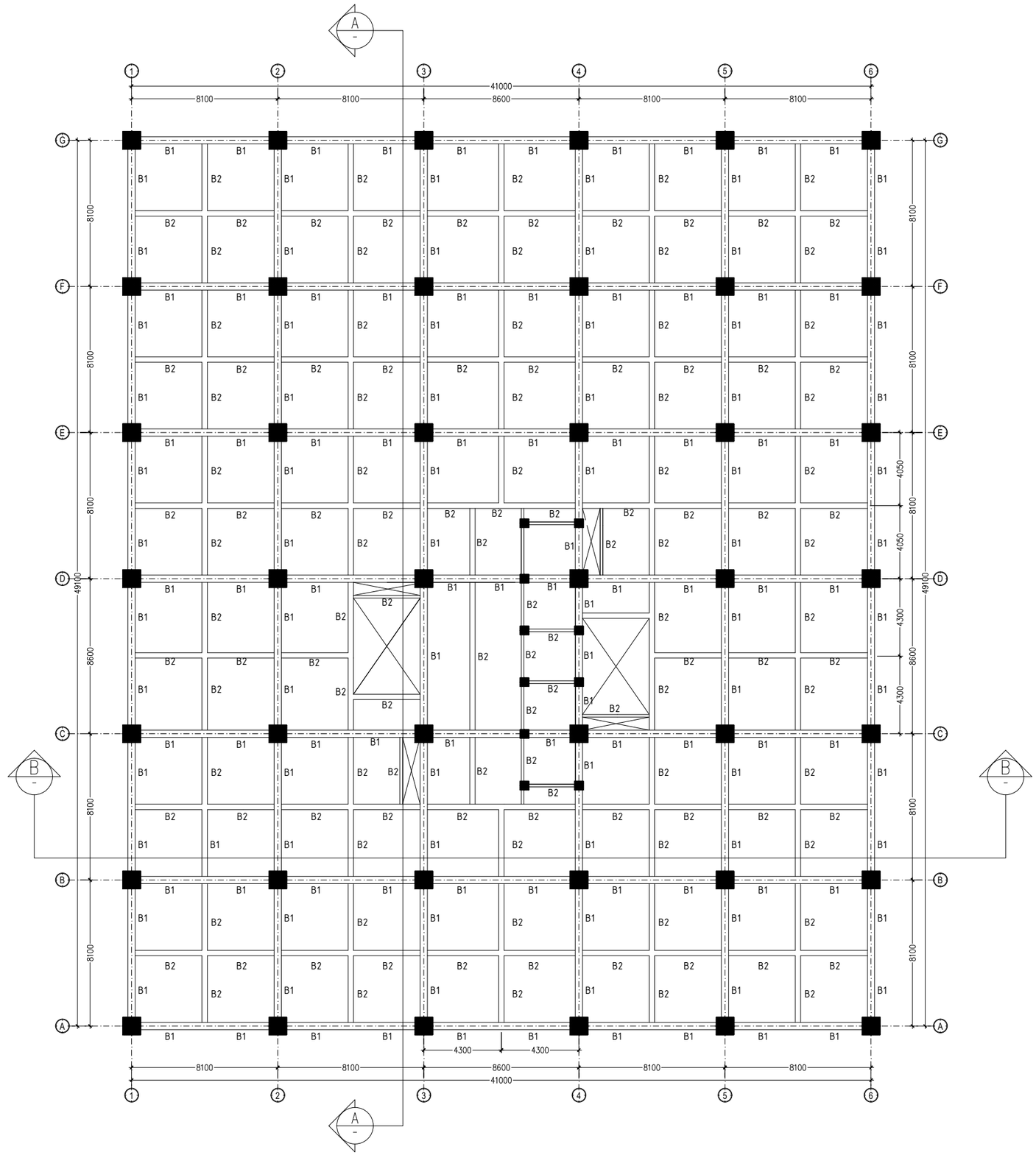
VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P



STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	A	B	C
	Dimensions (mm)		
5-3	100	100	100
5-4	120	120	150
5-7	150	150	250
5-12	200	200	350
5-19	250	250	500
5-22	300	250	500
5-27	300	300	650
5-31	350	300	650
5-37	375	350	850
5-42	375	375	850
5-48	400	400	1000
5-55	425	425	1000

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	A	B	C
	Dimensions (mm)		
6-3	150	150	250
6-4	150	150	250
6-7	200	200	350
6-12	250	250	500
6-19	300	300	500
6-22	300	300	500
6-27	350	350	650
6-31	350	350	650
6-37	400	350	850
6-42	400	350	850
6-48	475	475	1000
6-55	550	475	1000

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DENAH BALOK LANTAI DASAR – LANTAI 1

SKALA 1 : 250

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

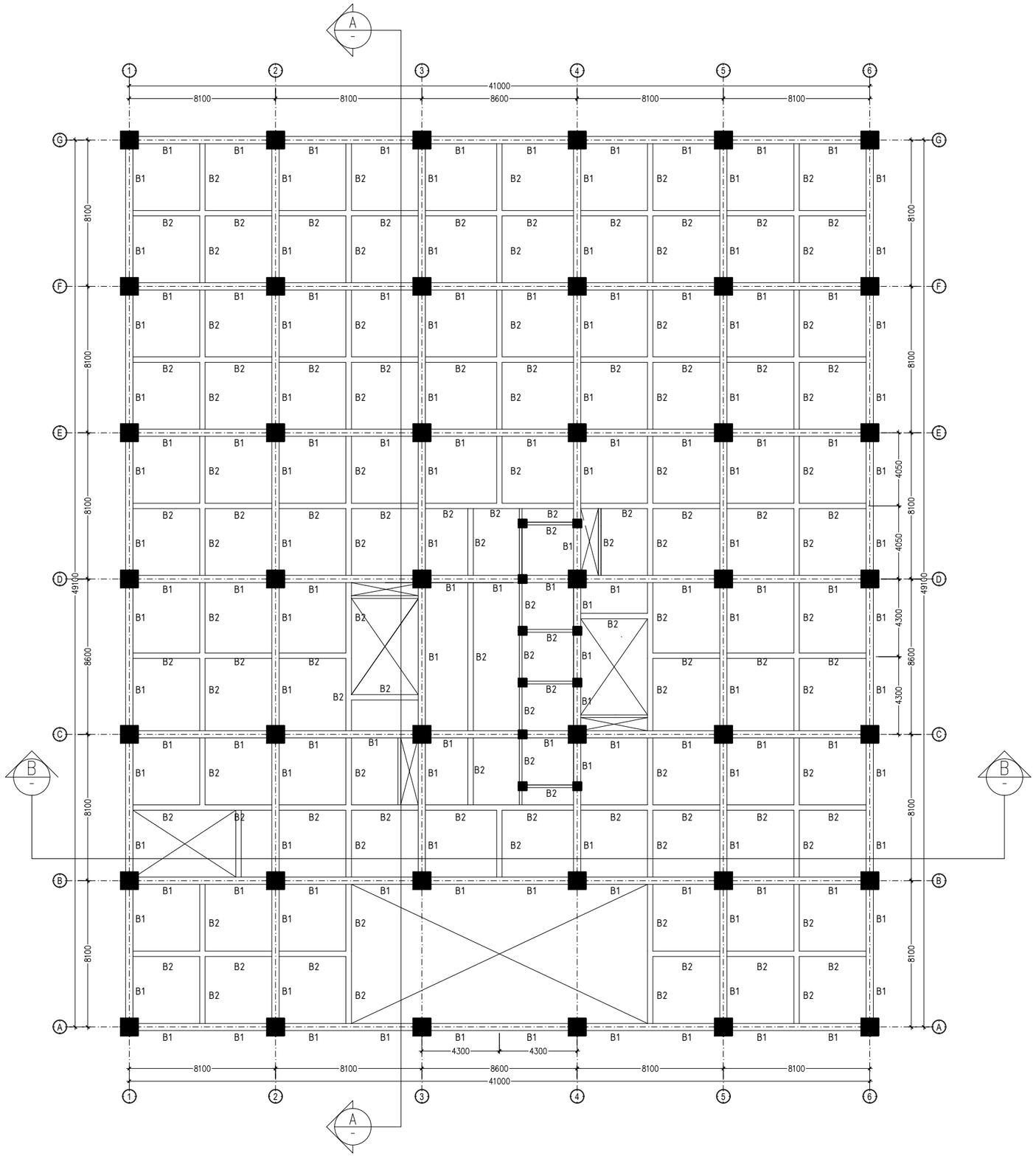
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI DASAR – LANTAI 1

NOMOR	JUMLAH
1	25



DENAH BALOK LANTAI 2 – LANTAI 3

SKALA 1 : 250

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

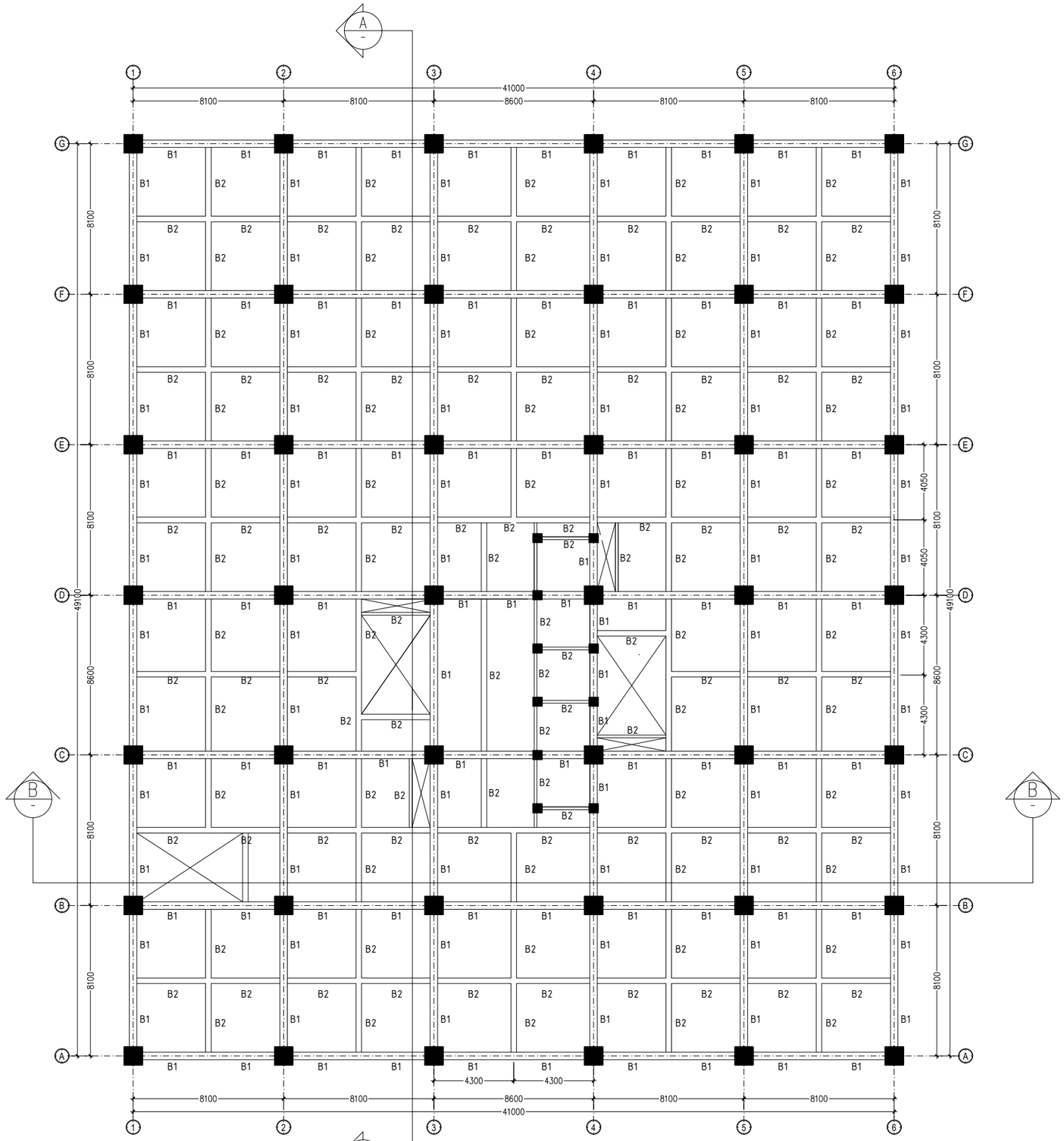
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI 2 - LANTAI 3

NOMOR	JUMLAH
2	25



DENAH BALOK LANTAI 4 – LANTAI 12

SKALA 1 : 250

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

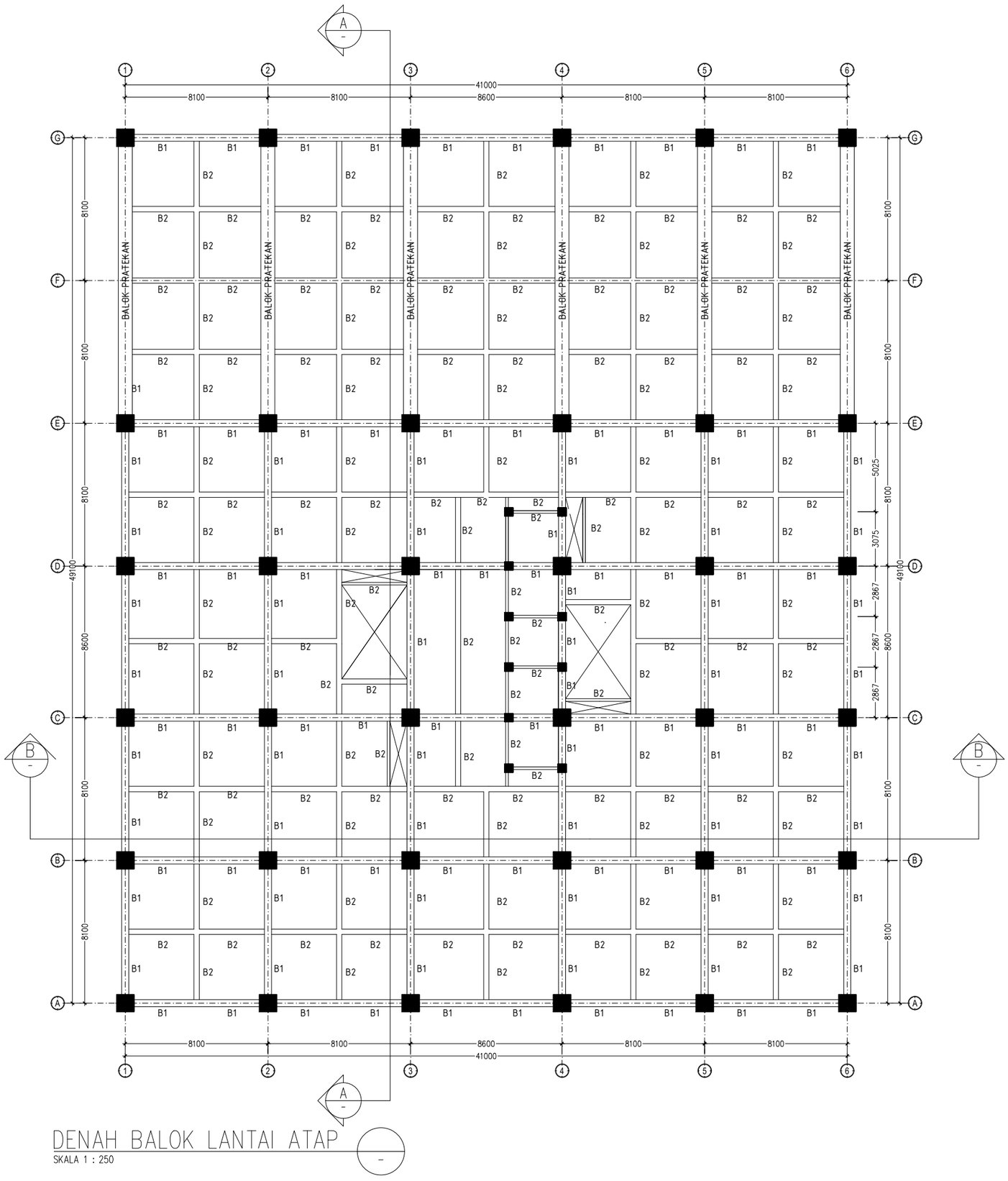
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI 4 - LANTAI 12

NOMOR	JUMLAH
3	25



DENAH BALOK LANTAI ATAP

SKALA 1 : 250

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

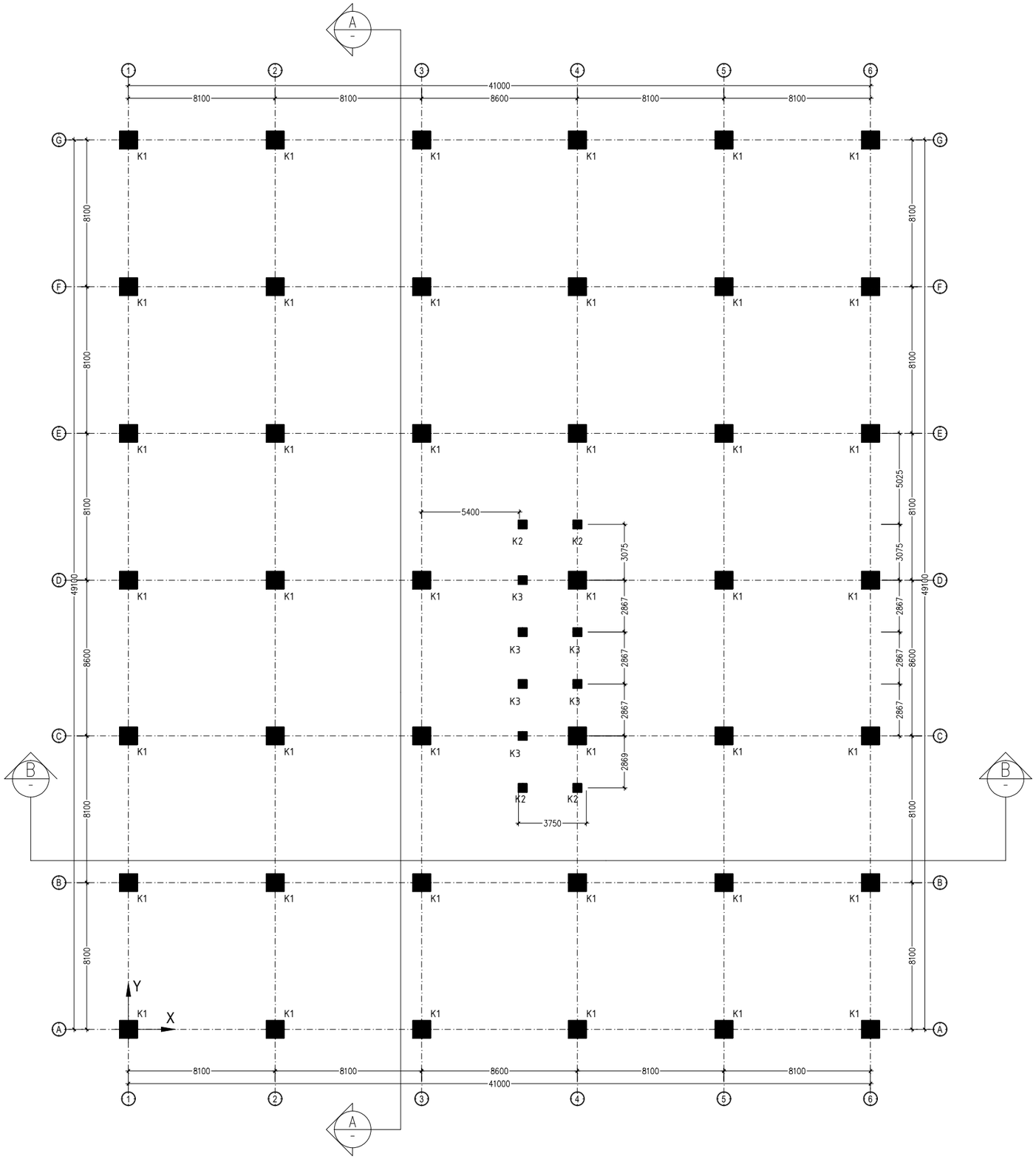
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI ATAP

NOMOR	JUMLAH
4	25



DENAH KOLOM LANTAI DASAR – LANTAI 11

SKALA 1 : 250

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

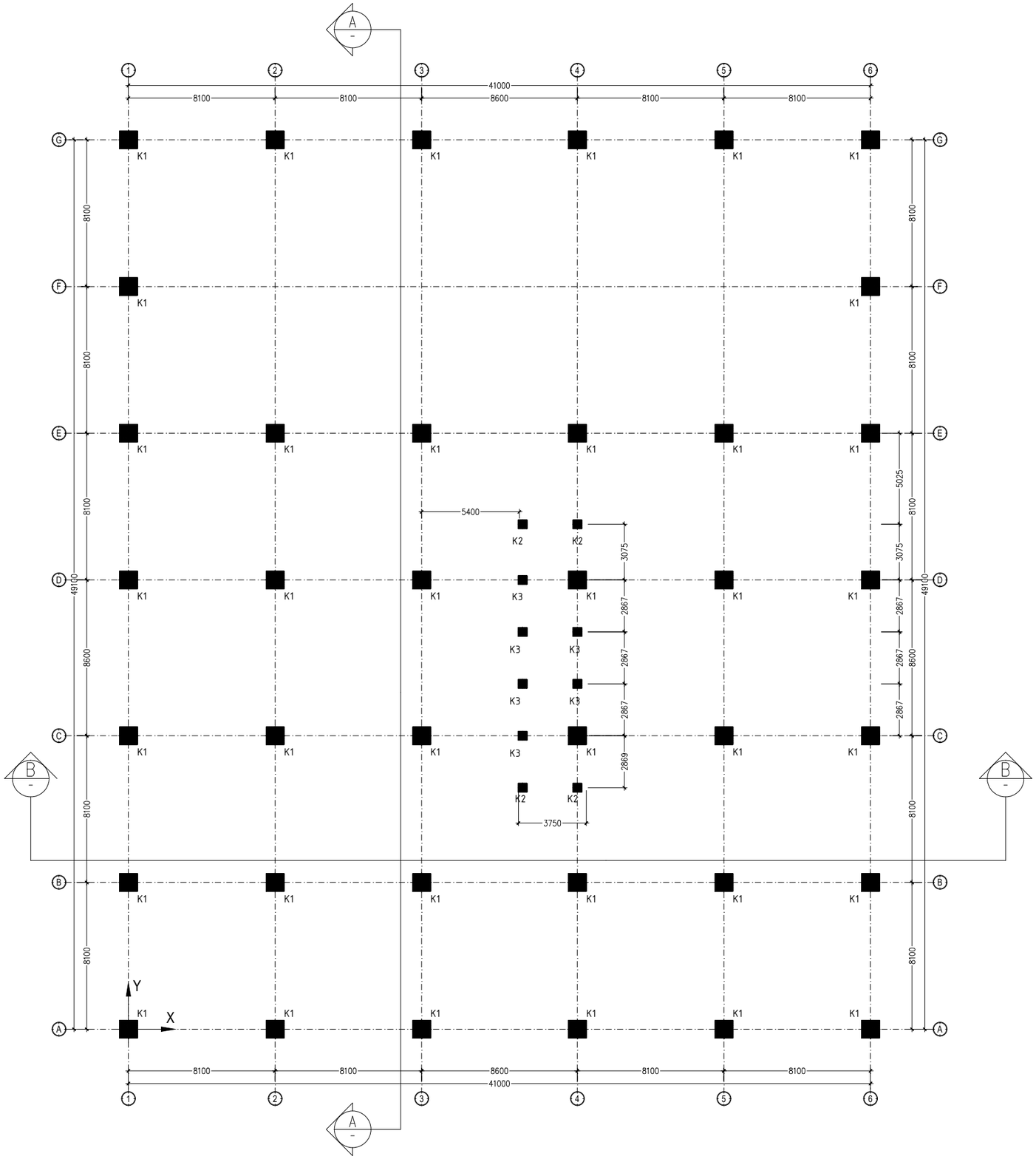
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DENAH KOLOM
LANTAI DASAR - LANTAI 11

NOMOR	JUMLAH
5	25



DENAH KOLOM LANTAI 12

SKALA 1 : 250

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

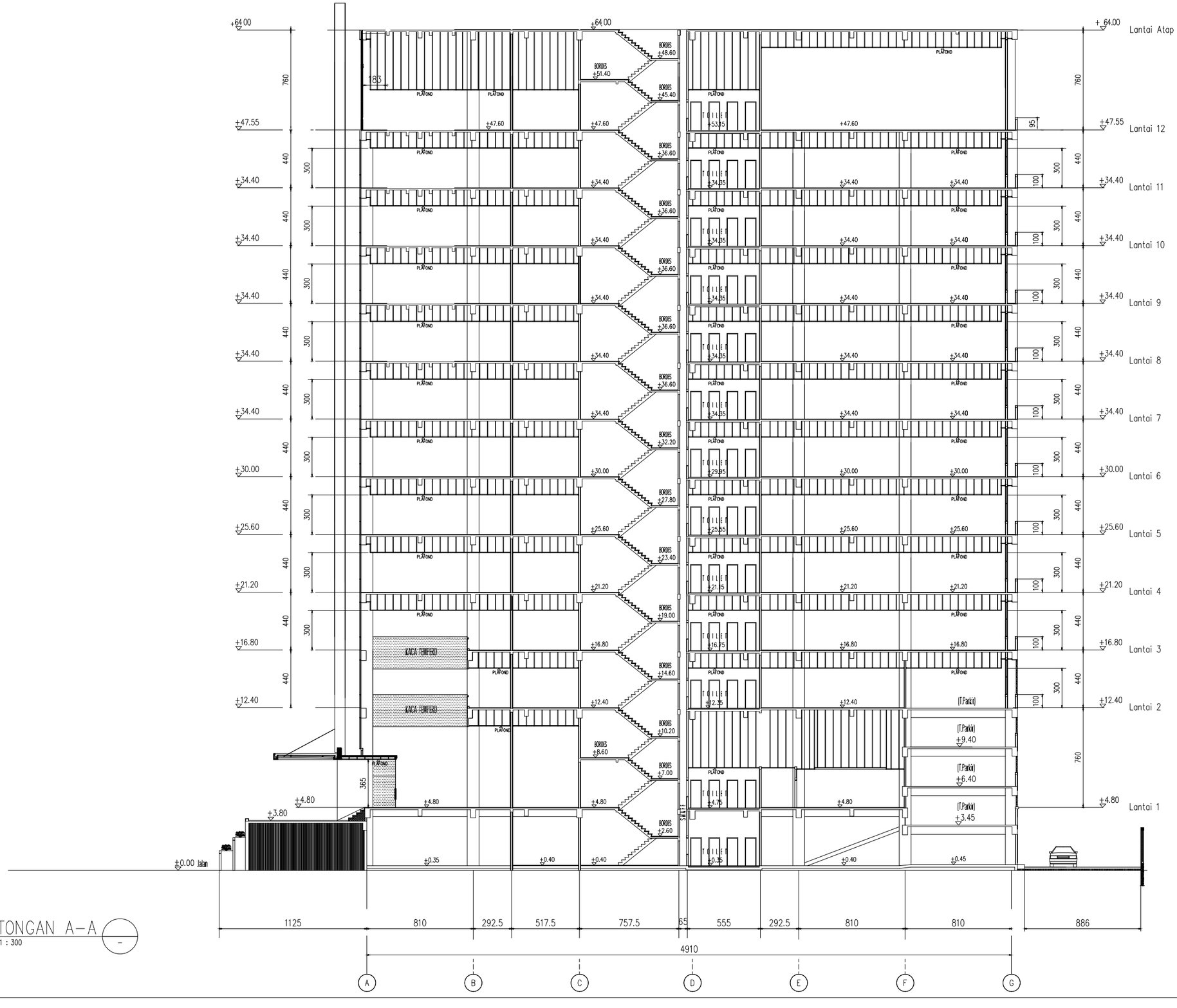
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DENAH KOLOM LANTAI 12

NOMOR	JUMLAH
6	25



POTONGAN A-A

SKALA 1 : 300

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

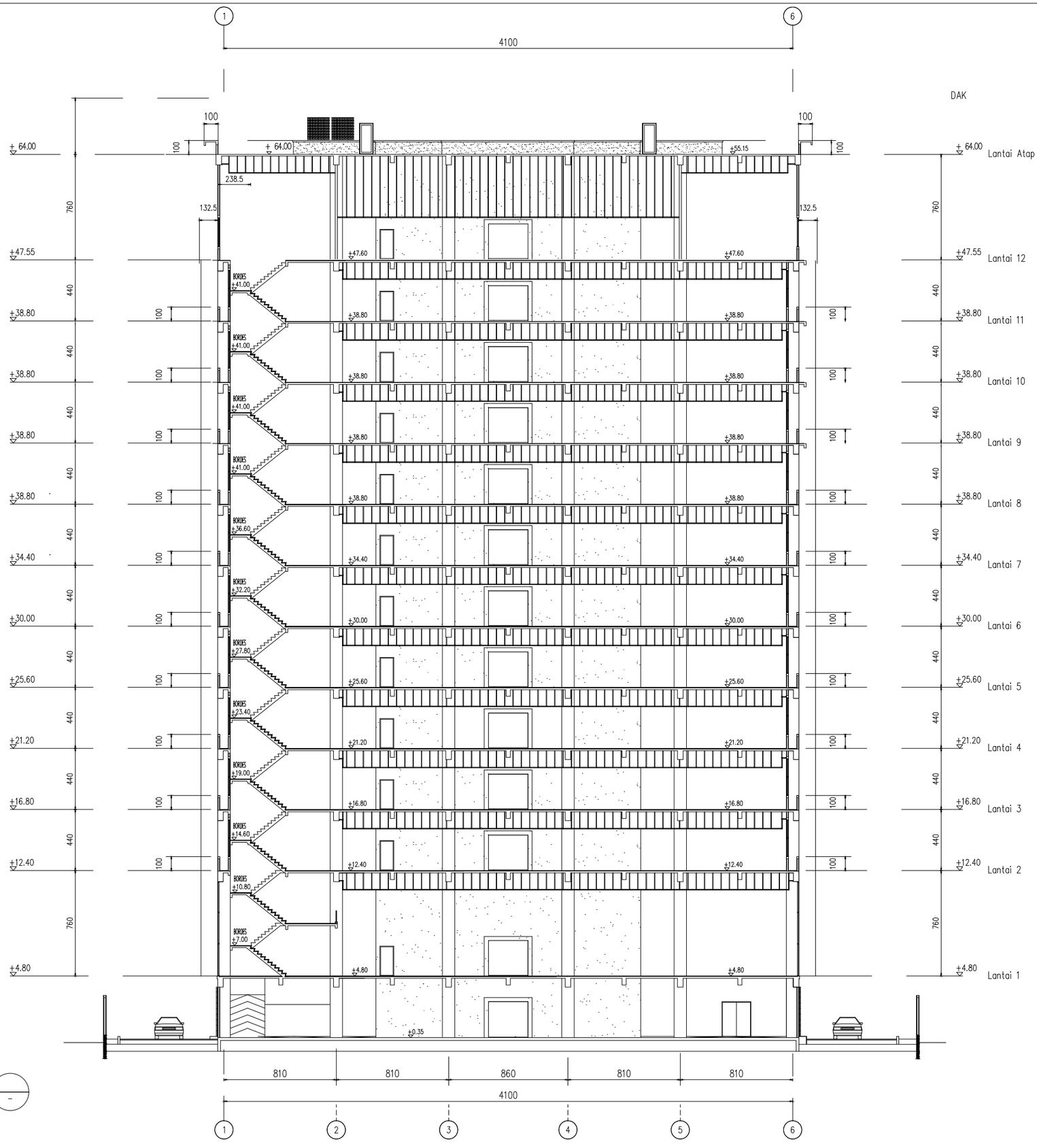
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

POTONGAN A-A

NOMOR	JUMLAH
7	25



POTONGAN B-B

SKALA 1 : 300

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

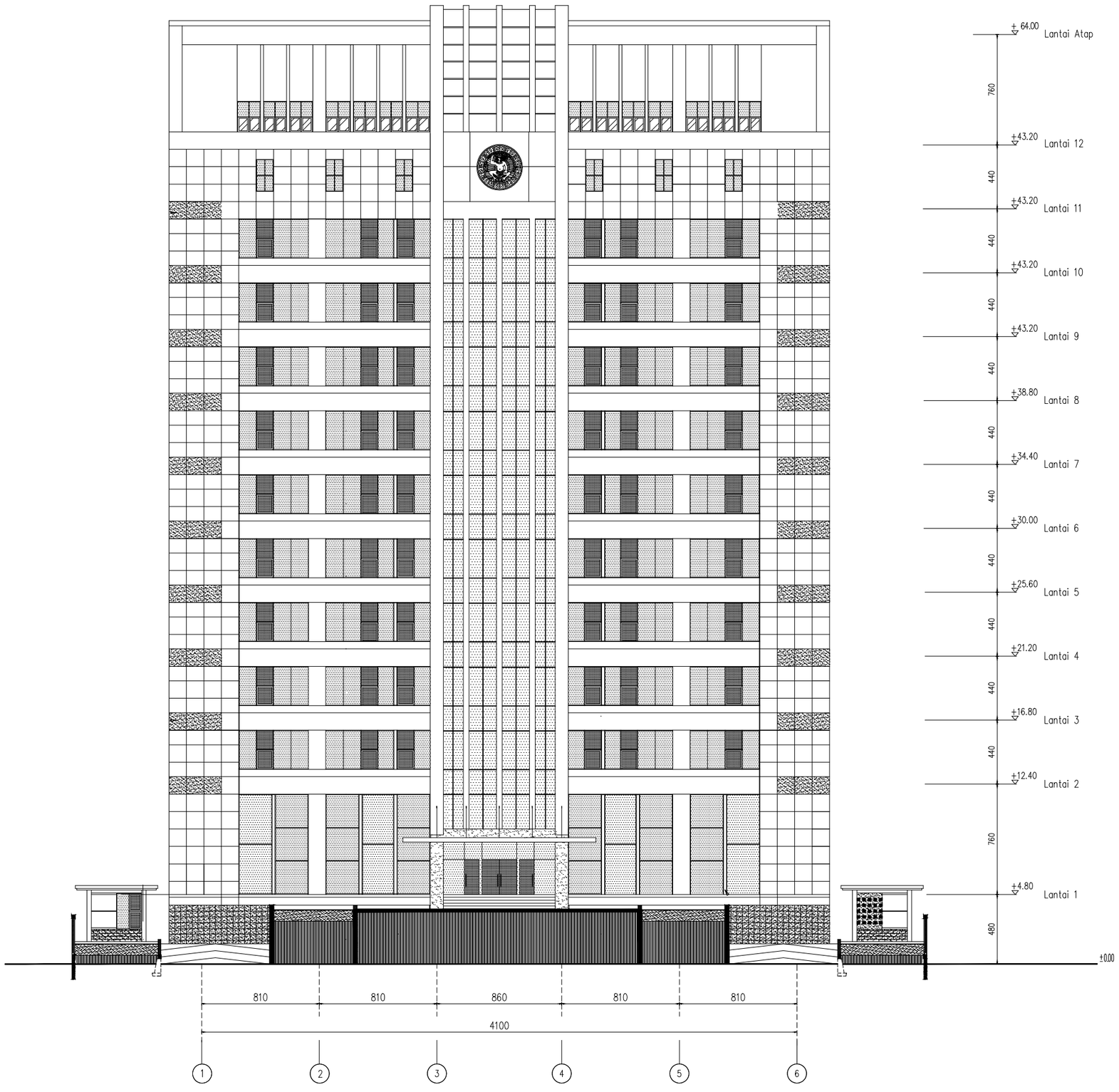
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

POTONGAN B-B

NOMOR	JUMLAH
8	25



TAMPAK DEPAN

SKALA 1 : 300

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

TAMPAK DEPAN

NOMOR	JUMLAH
9	25

TAMPAK SAMPING KANAN

SKALA 1 : 300

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

TAMPAK SAMPING KANAN

NOMOR	JUMLAH
10	25

TAMPAK SAMPING KIRI

SKALA 1 : 300

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

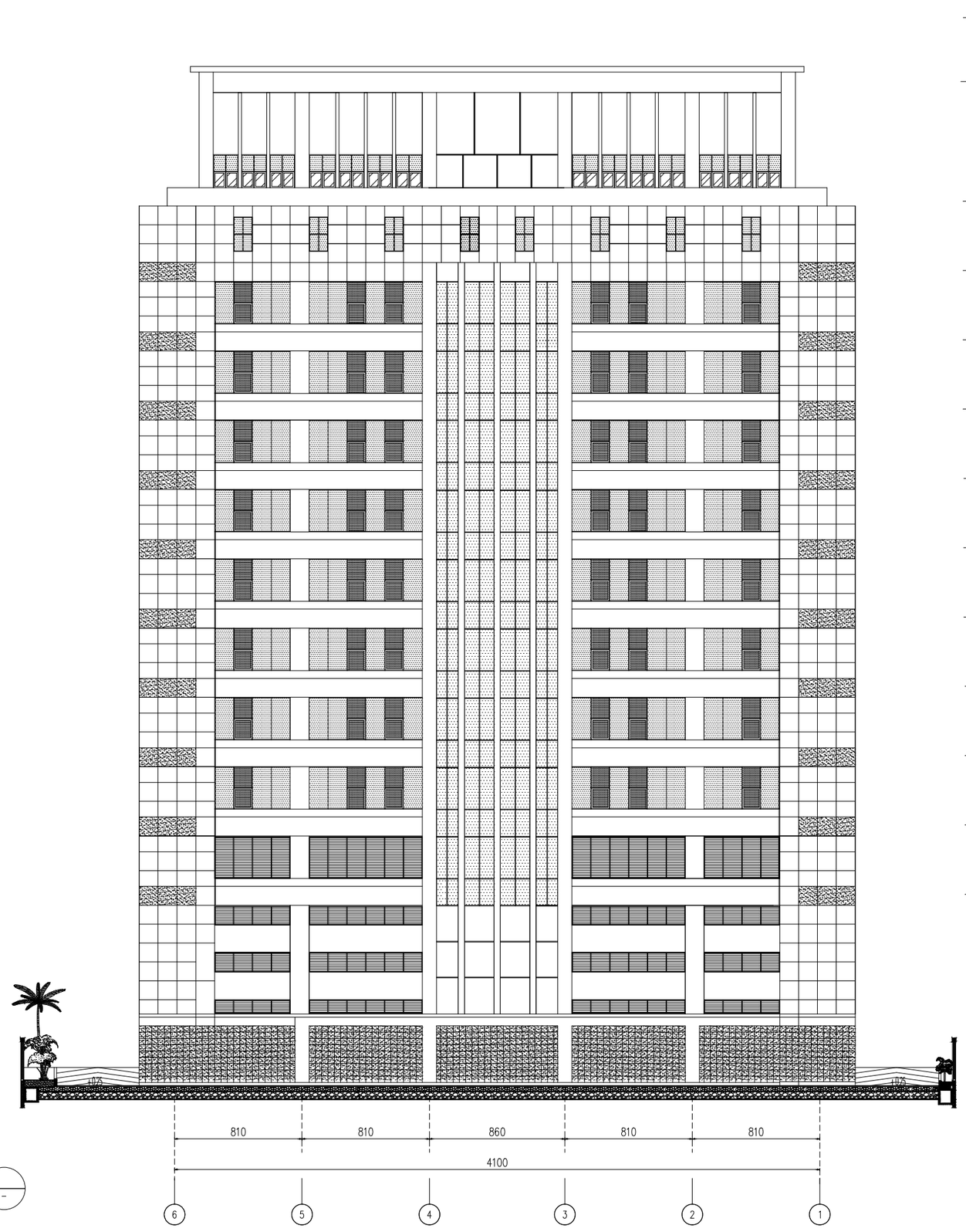
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

TAMPAK SAMPING KIRI

NOMOR	JUMLAH
11	25



TAMPAK BELAKANG

SKALA 1 : 300

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

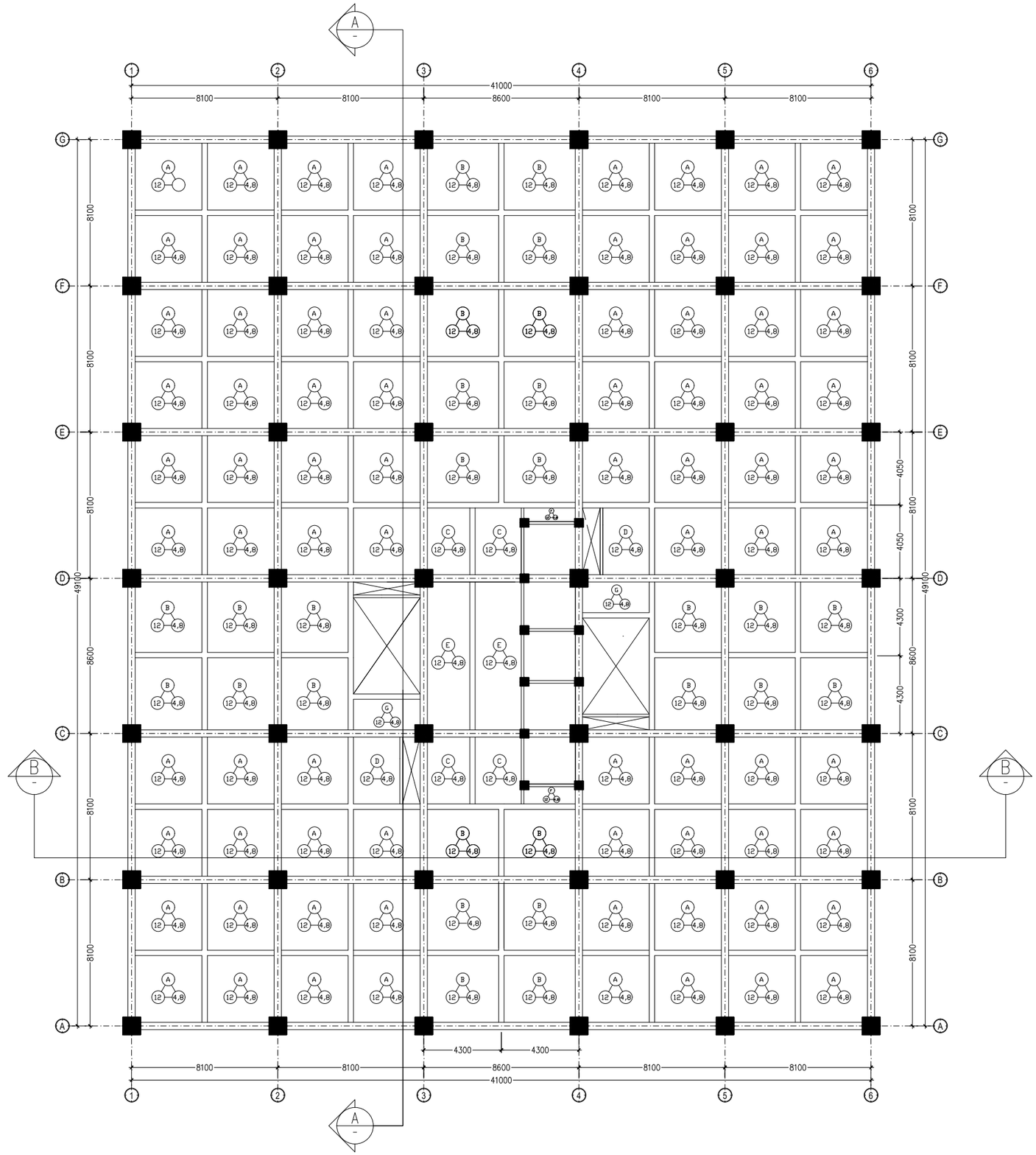
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

TAMPAK BELAKANG

NOMOR	JUMLAH
12	25



DENAH TIPE PLAT

SKALA 1 : 250

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

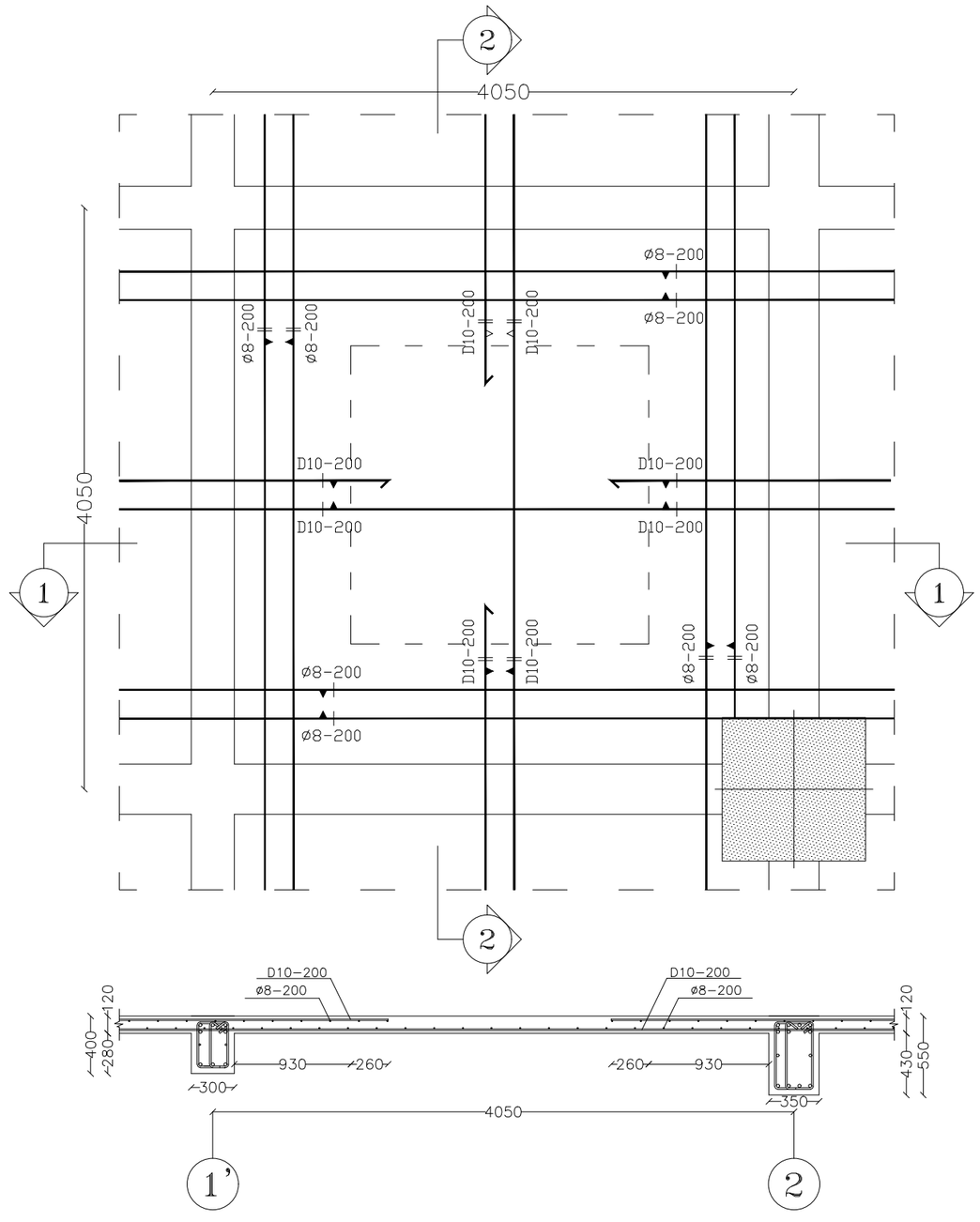
NAMA MAHASISWA

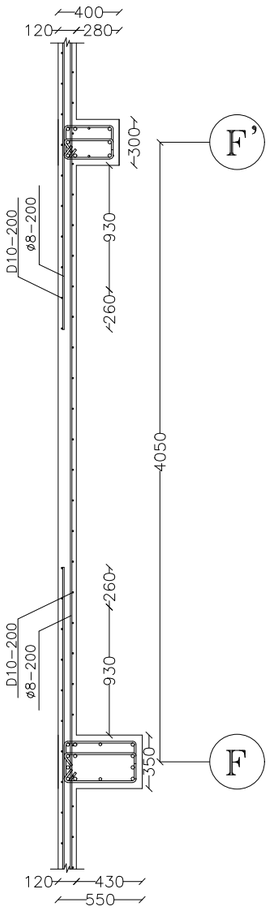
MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DENAH TIPE
PLAT

NOMOR	JUMLAH
13	25





DETAIL PENULANGAN PLAT TIPE A

SKALA 1 : 40

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

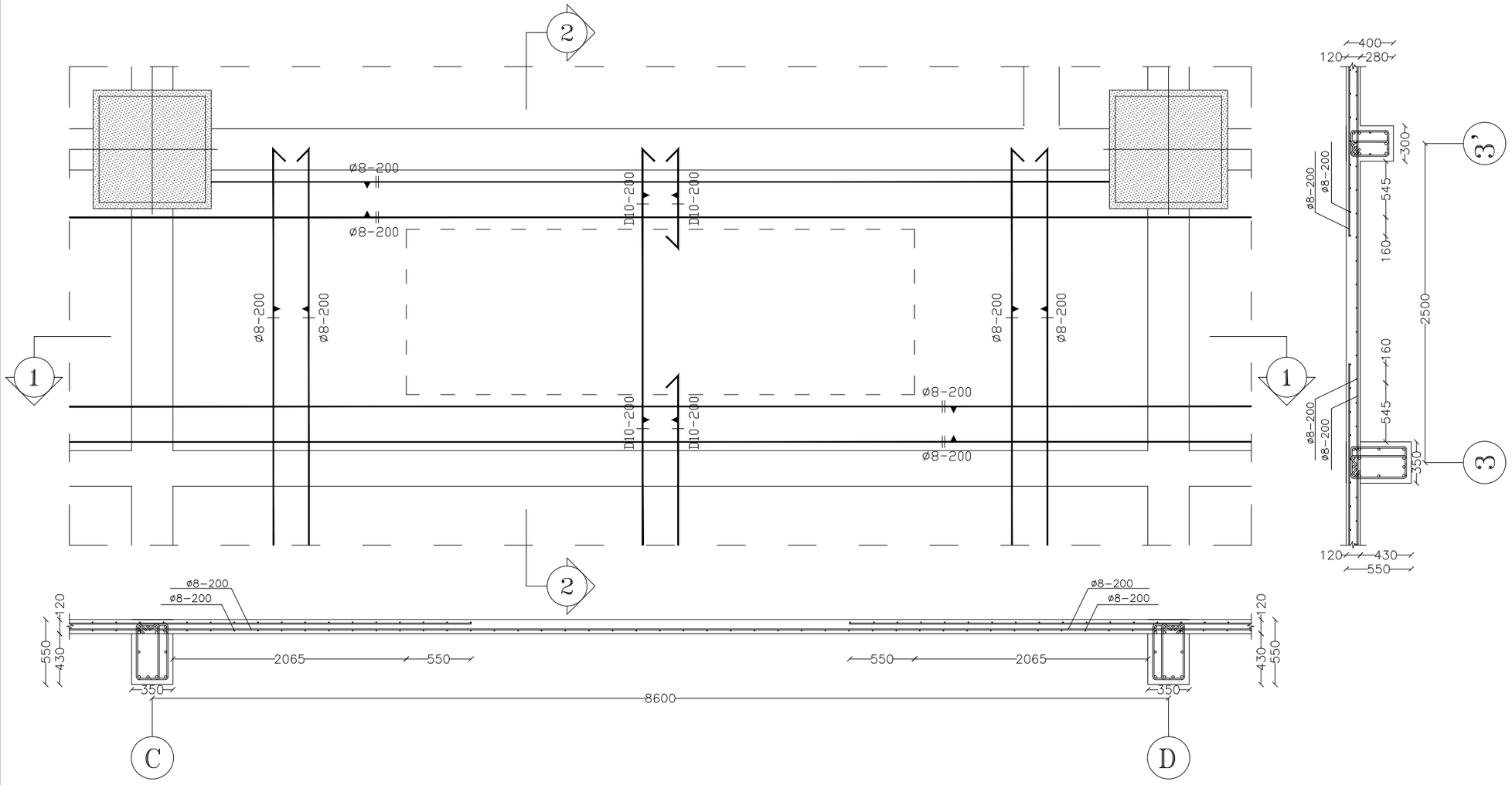
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PLAT
TIPE A

NOMOR	JUMLAH
14	25



DETAIL PENULANGAN PLAT TIPE E

SKALA 1 : 40

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

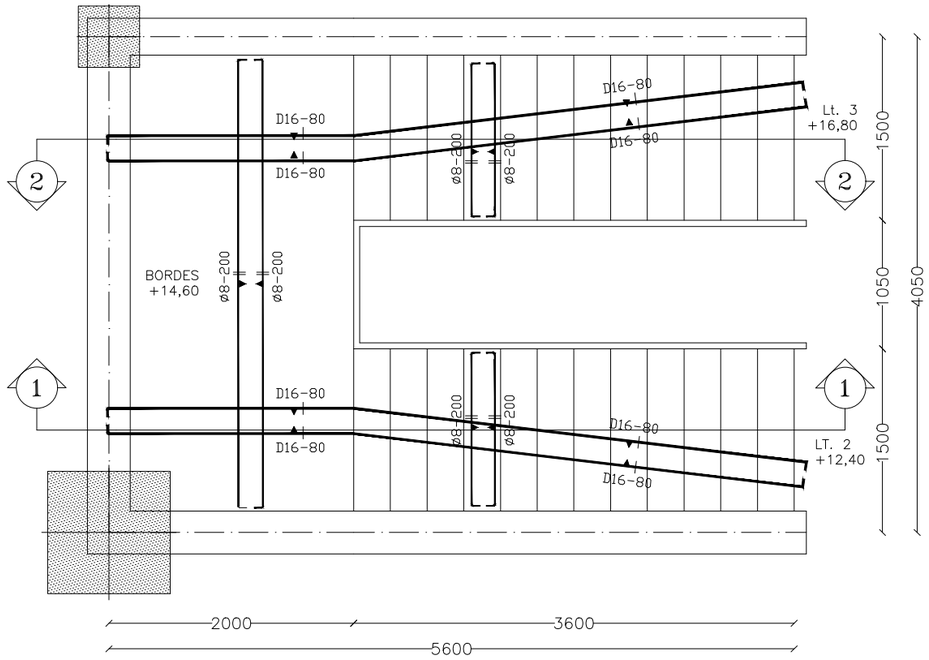
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

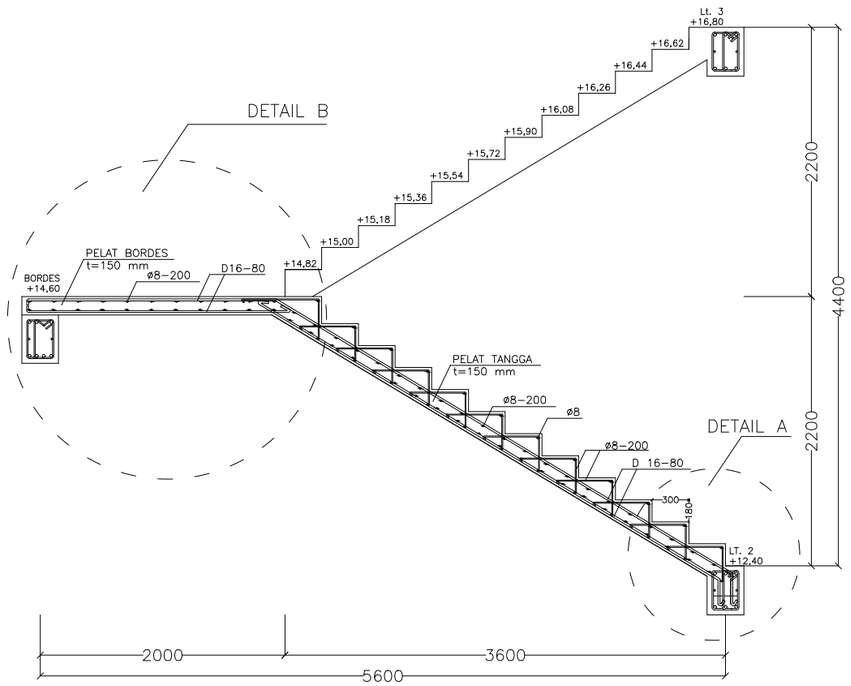
DETAIL PENULANGAN PLAT
TIPE E

NOMOR	JUMLAH
15	25



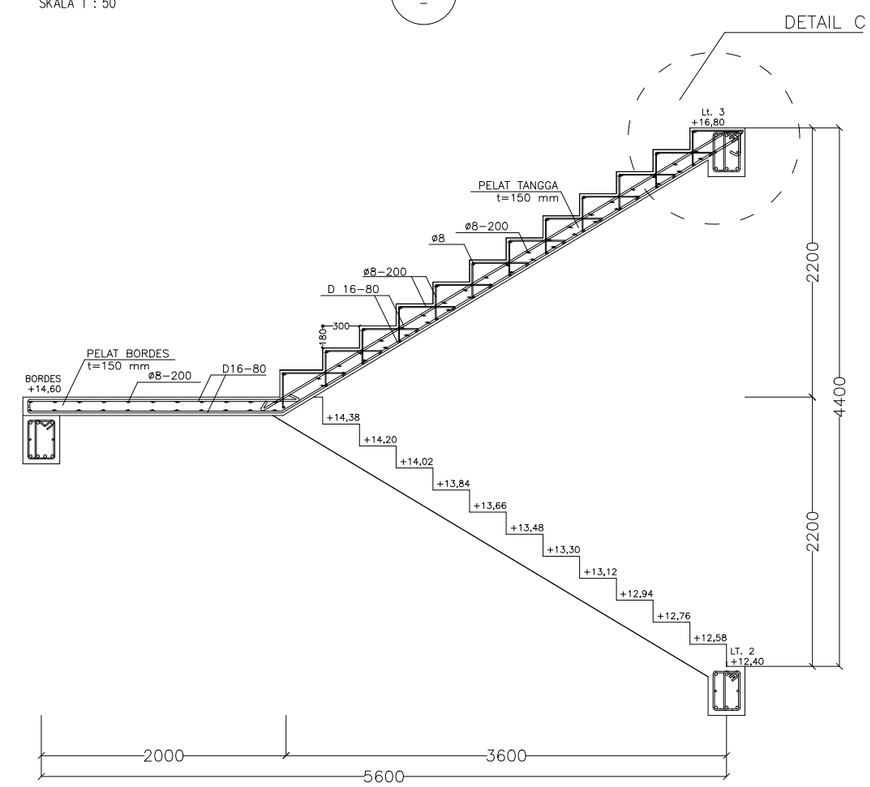
DETAIL PENULANGAN TANGGA

SKALA 1 : 50



POTONGAN 1-1 TANGGA

SKALA 1 : 50



POTONGAN 2-2 TANGGA

SKALA 1 : 50

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

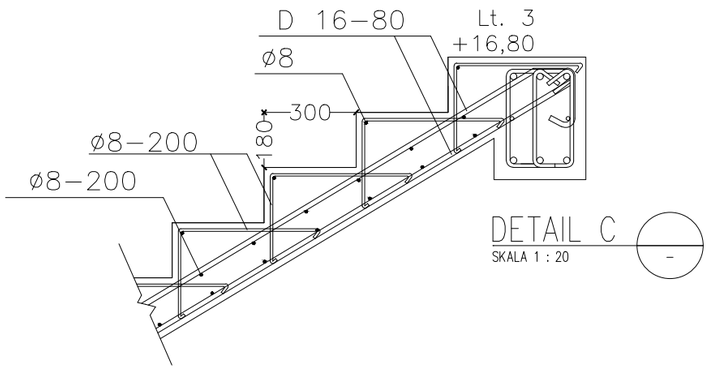
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

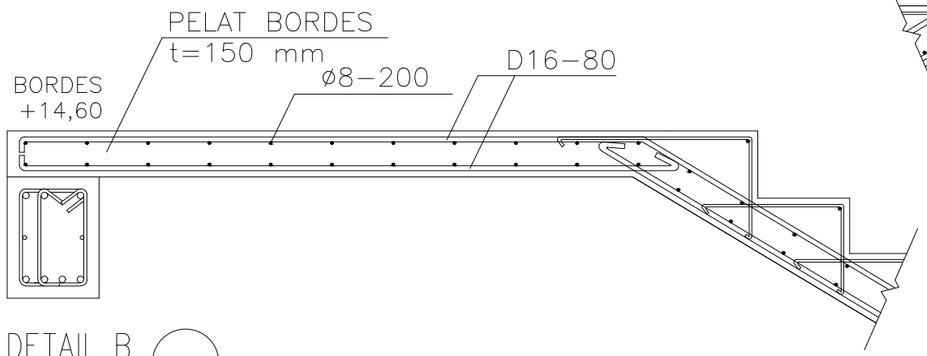
NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN TANGGA

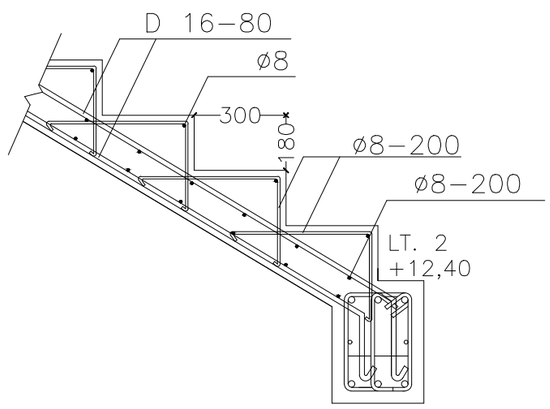
NOMOR	JUMLAH
16	25



DETAIL C
SKALA 1 : 20



DETAIL B
SKALA 1 : 20



DETAIL A
SKALA 1 : 20

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

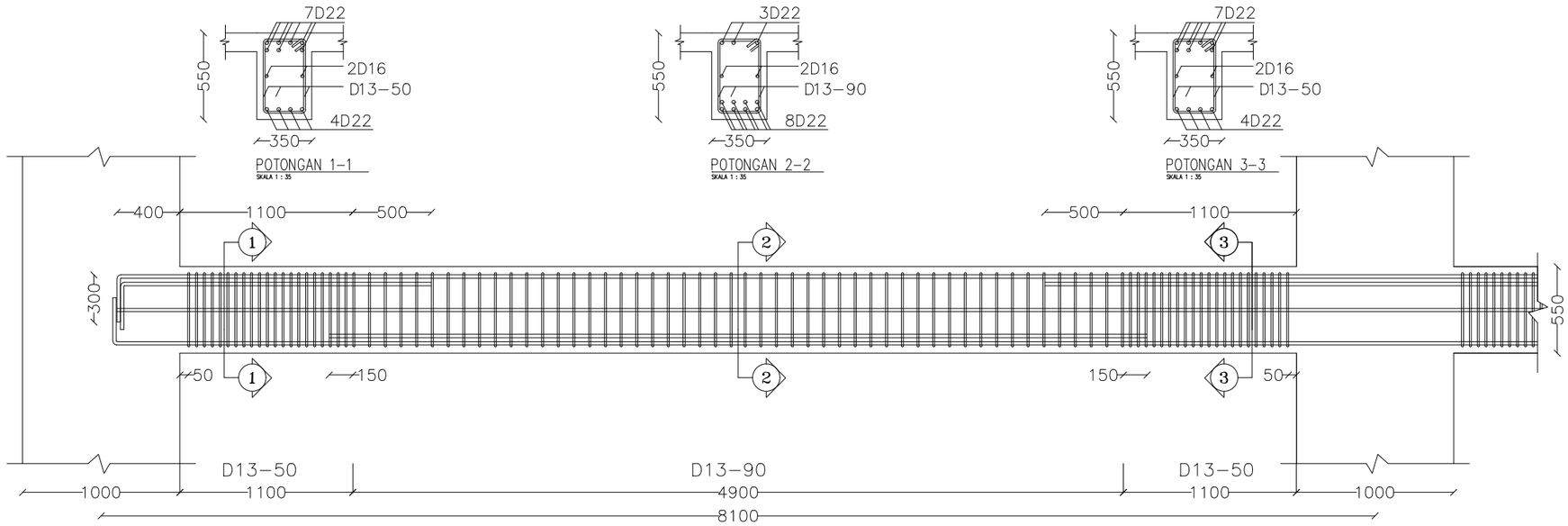
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

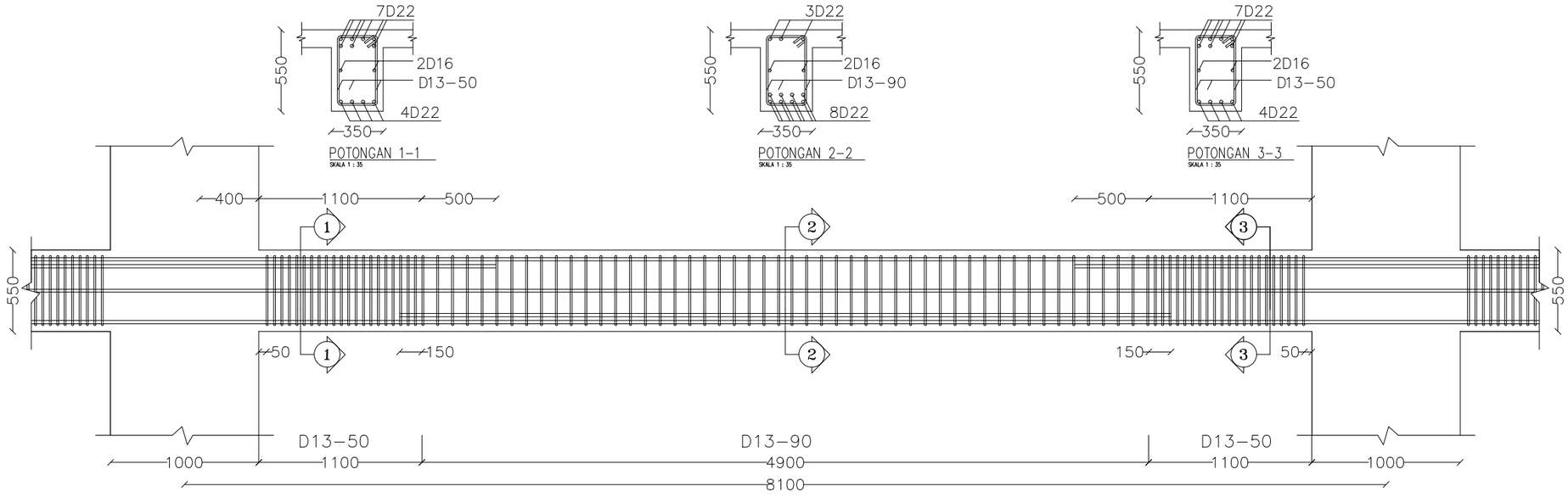
DETAIL PENULANGAN TANGGA

NOMOR	JUMLAH
17	25



PENULANGAN BALOK INDUK (TEPI)

SKALA 1 : 35



PENULANGAN BALOK INDUK (TENGAH)

SKALA 1 : 35

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

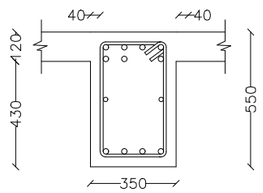
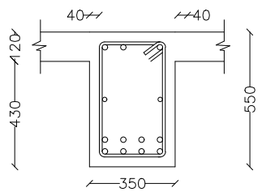
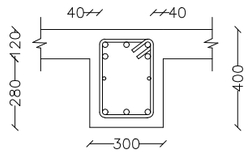
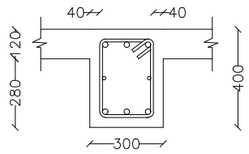
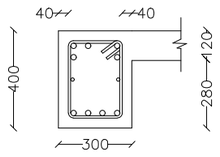
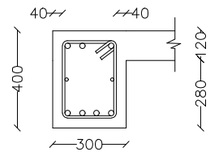
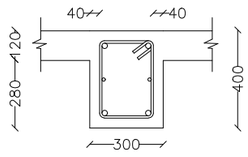
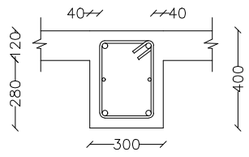
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK

NOMOR	JUMLAH
18	25

KODE	BALOK INDUK		BALOK ANAK	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI	350 x 550	350 x 550	400 x 300	400 x 300
TULANGAN ATAS	7D22	3D22	5D22	3D22
TULANGAN BAWAH	4D22	8D22	3D22	3D22
TULANGAN TORSI	2D16	2D16	2D13	2D13
SENGKANG	D13–50	D13–90	D13–60	D13–90
KODE	BALOK BORDES		BALOK LIFT	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI	300 x 400	300 x 400	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	5D22	3D22	2D22	2D22
TULANGAN BAWAH	4D22	4D22	2D22	2D22
TULANGAN TORSI	2D13	2D13	2D13	2D13
SENGKANG	D13–60	D13–130	D13–80	D13–130

DETAIL PENULANGAN BALOK
SKALA 1 : 25

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

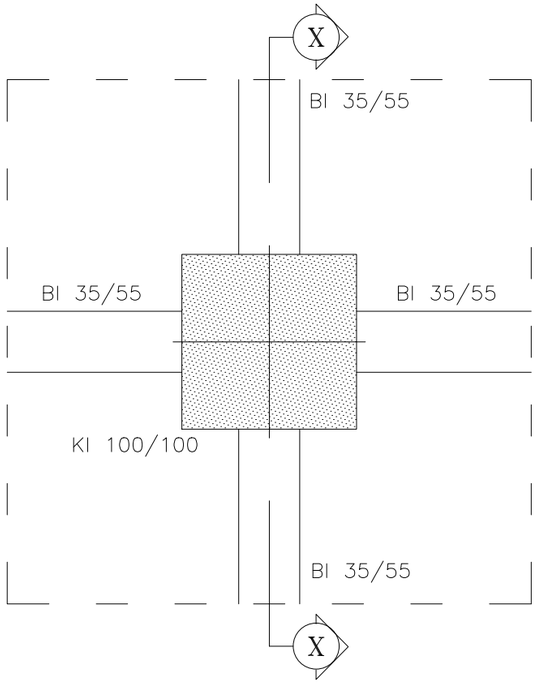
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

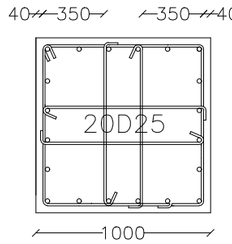
DETAIL PENULANGAN
BALOK

NOMOR	JUMLAH
19	25



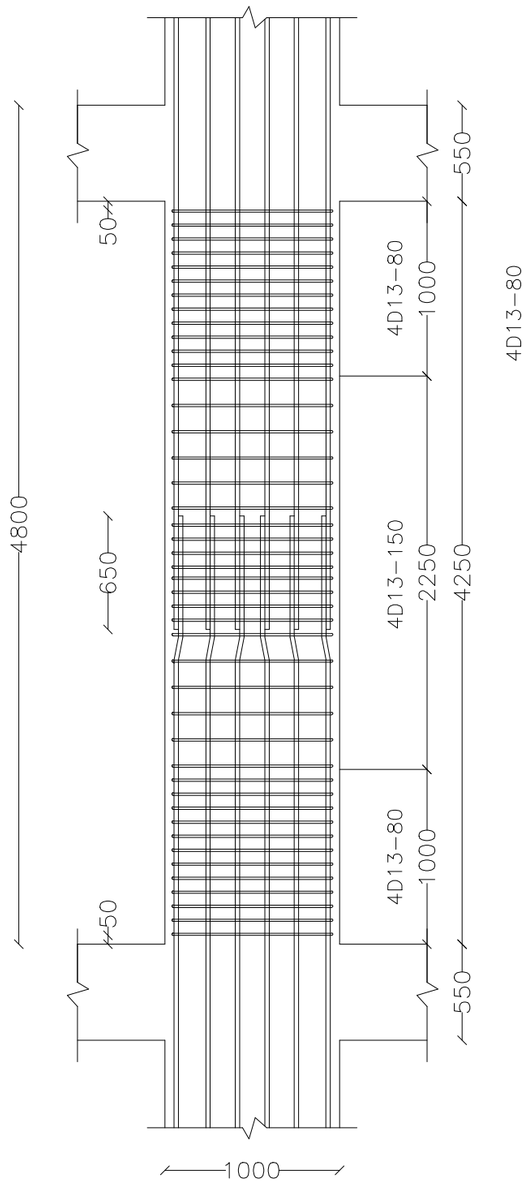
DENAH KOLOM TIPE K1

SKALA 1 : 35



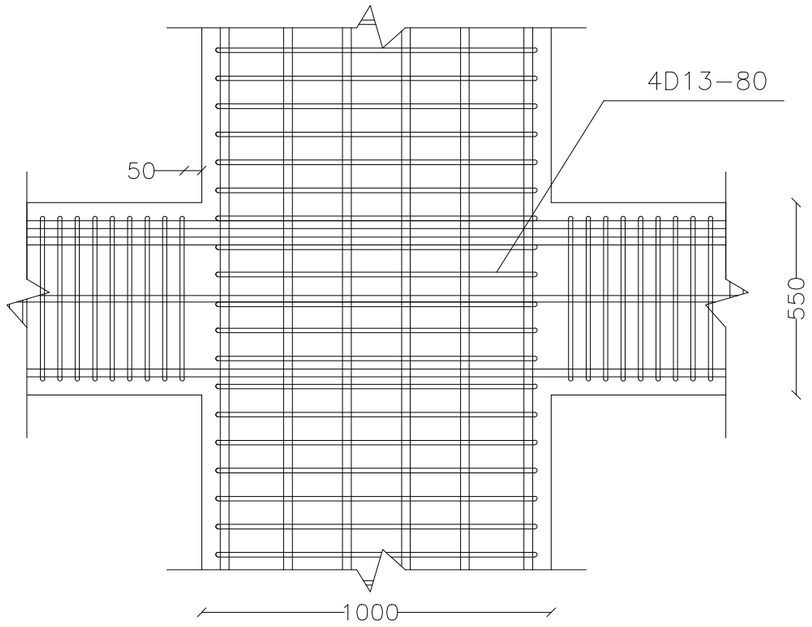
KOLOM K1

SKALA 1 : 35



PENULANGAN KOLOM POT X-X

SKALA 1 : 35



DETAIL HBK POT X-X

SKALA 1 : 70

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

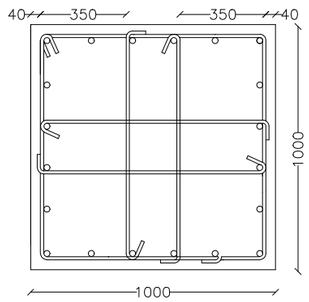
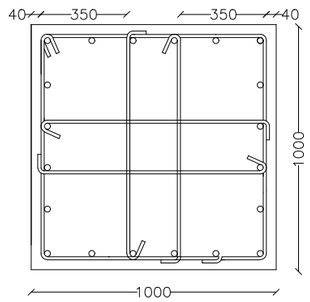
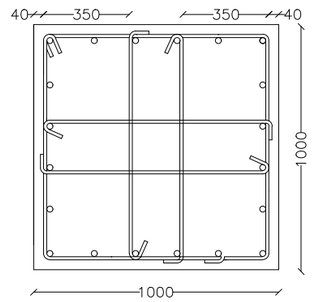
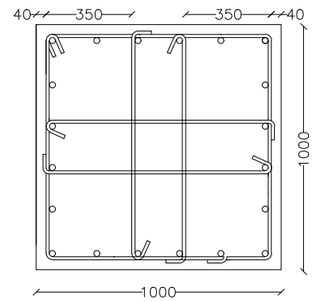
NAMA MAHASISWA

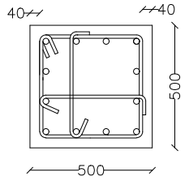
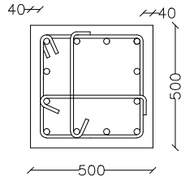
MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM
K1

NOMOR	JUMLAH
20	25

KODE	K1		K2	
LOKASI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI	1000 x 1000	1000 x 1000	1000 x 1000	1000 x 1000
TULANGAN UTAMA	20D25	20D25	20D25	20D25
SENGKANG	4D13–80	4D13–150	4D13–50	4D13–100

KODE	K3	
LOKASI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI	500 x 500	500 x 500
TULANGAN UTAMA	12D22	12D22
SENGKANG	3D13–100	3D13–130

DETAIL PENULANGAN KOLOM
SKALA 1 : 25

-

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

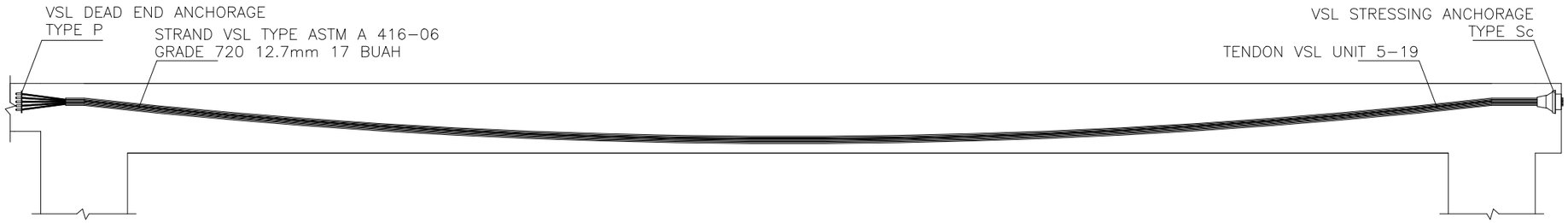
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

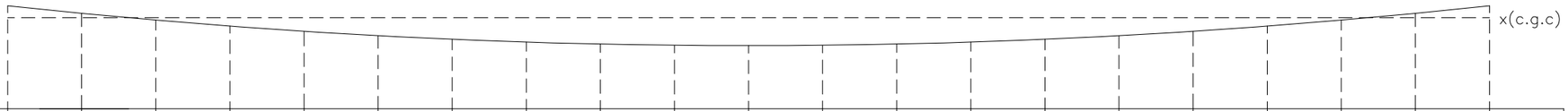
NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM

NOMOR	JUMLAH
21	25

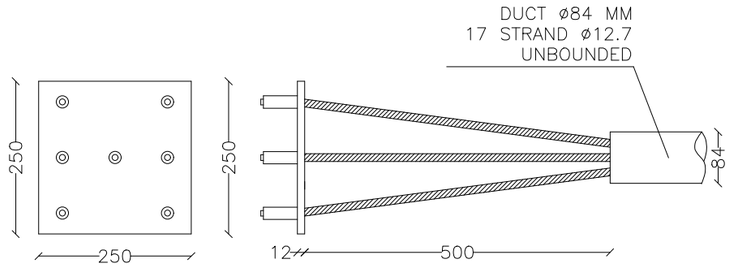


DETAIL TENDON
SKALA 1 : 60

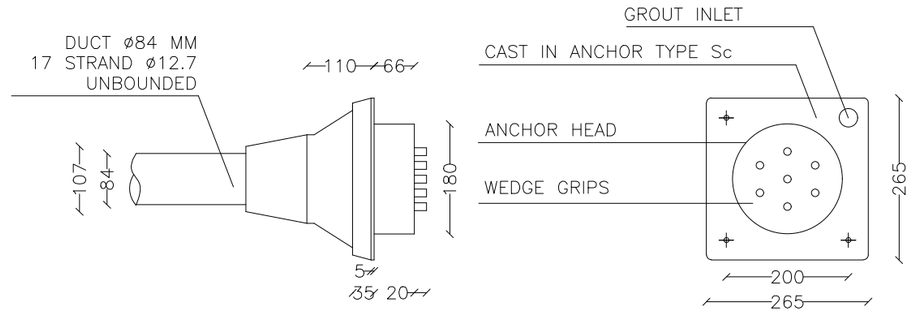


x (mm)	0	810	1620	2430	3240	4050	4860	5670	6480	7290	8100	8910	9720	10530	11340	12150	12960	13770	14580	15390	16200
y (mm)	130	46.74	−27.76	−93.50	−150.46	−198.67	−238.11	−268.79	−290.70	−303.84	−308.23	−303.84	−290.70	−268.79	−238.11	−198.67	−150.46	−93.50	−27.76	46.74	130

DETAIL KOORDINAT TENDON
SKALA 1 : 60



DETAIL ANGKUR MATI
SKALA 1 : 10



DETAIL ANGKUR HIDUP
SKALA 1 : 10

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

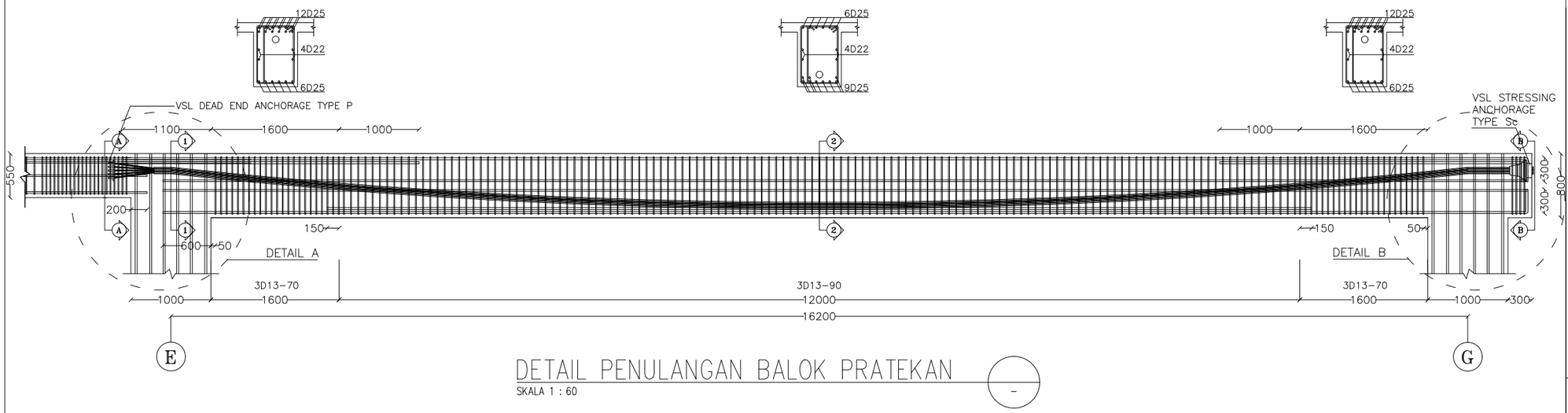
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

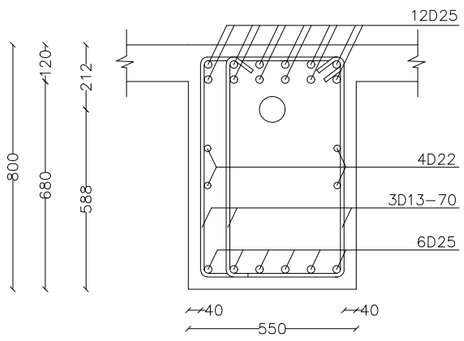
DETAIL PENULANGAN
BALOK PRATEKAN

NOMOR	JUMLAH
23	25



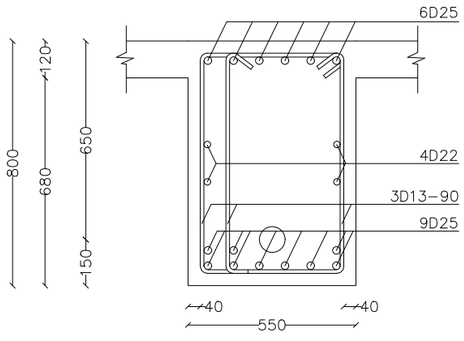
DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEKAN

SKALA 1 : 60



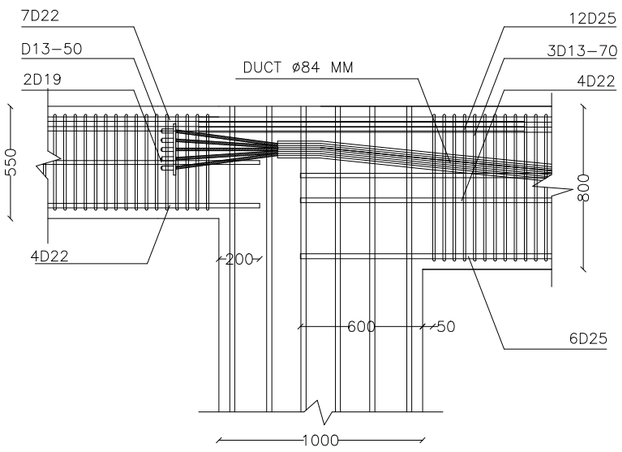
POTONGAN 1-1

SKALA 1 : 20



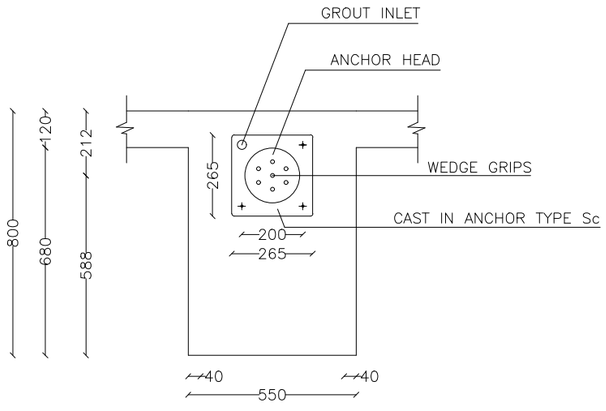
POTONGAN 2-2

SKALA 1 : 20



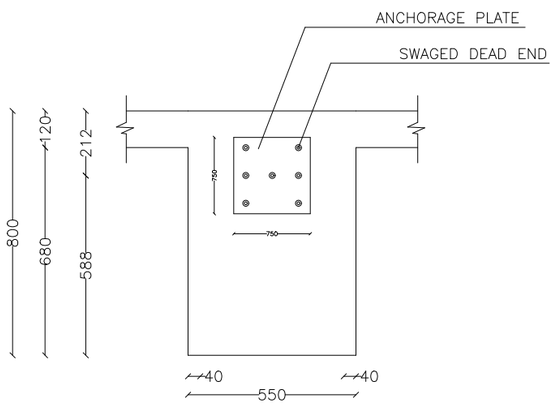
DETAIL A

SKALA 1 : 30



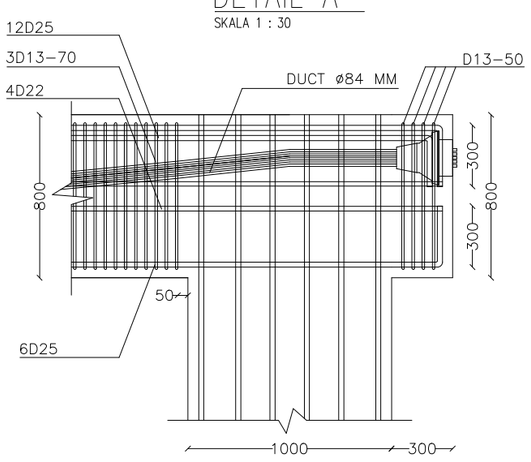
POTONGAN A-A

SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B

SKALA 1 : 20



DETAIL B

SKALA 1 : 30

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK PRATEKAN

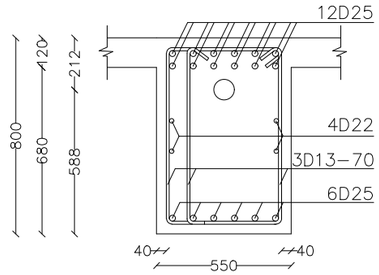
NOMOR	JUMLAH
22	25

HASIL STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN TORSI BALOK PRATEKAN DENGAN MENGGUNAKAN SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, DAN ACI 318-M14

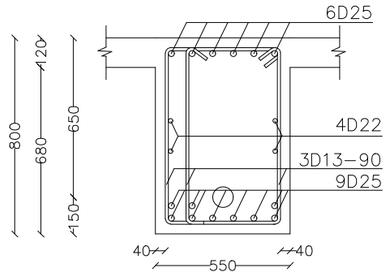
SKALA 1 : 25

SNI 2847-2002

TUMPUAN

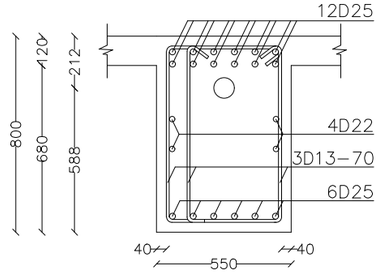


LAPANGAN

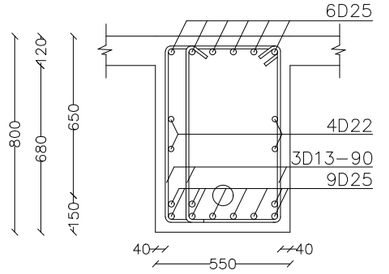


SNI 2847-2013

TUMPUAN

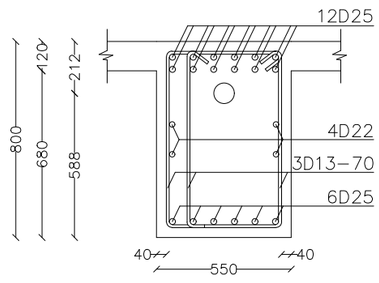


LAPANGAN

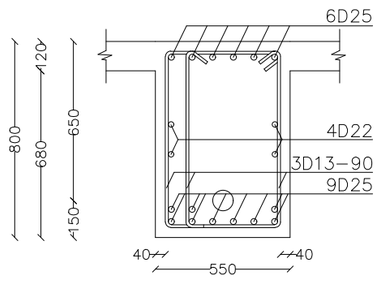


ACI 318 M-14

TUMPUAN



LAPANGAN



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

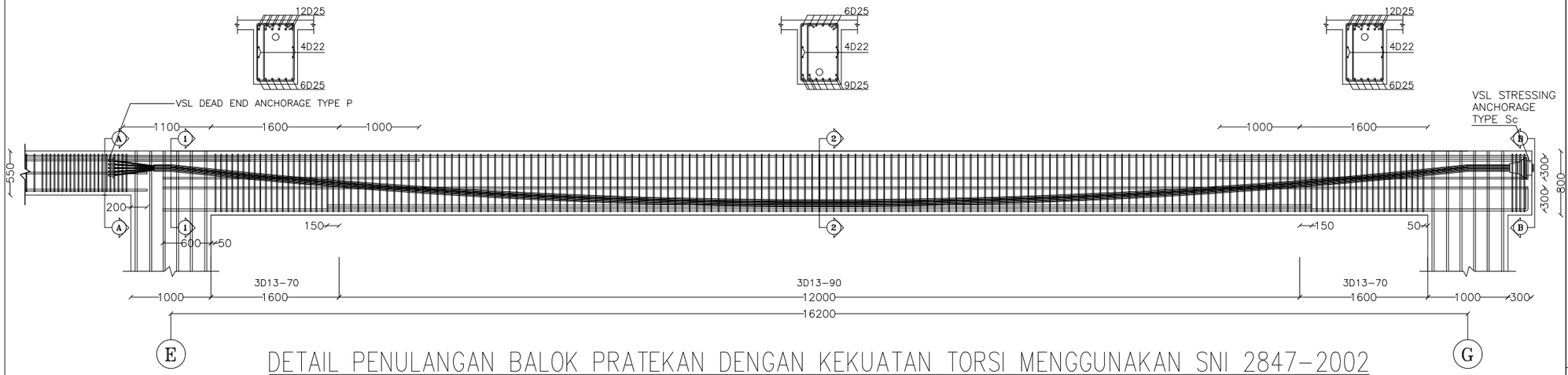
NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

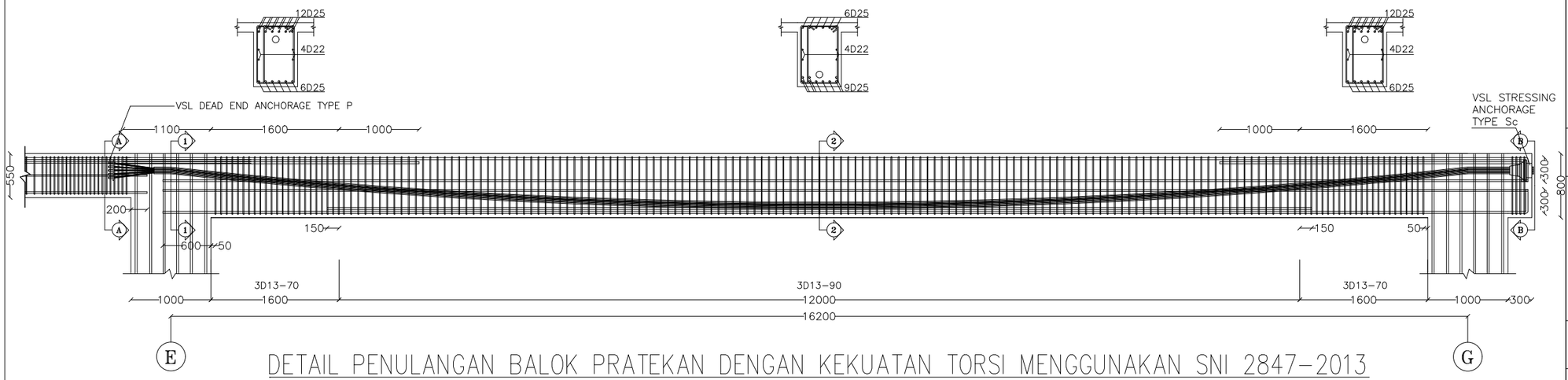
HASIL STUDI PERBANDINGAN

NOMOR	JUMLAH
24	25



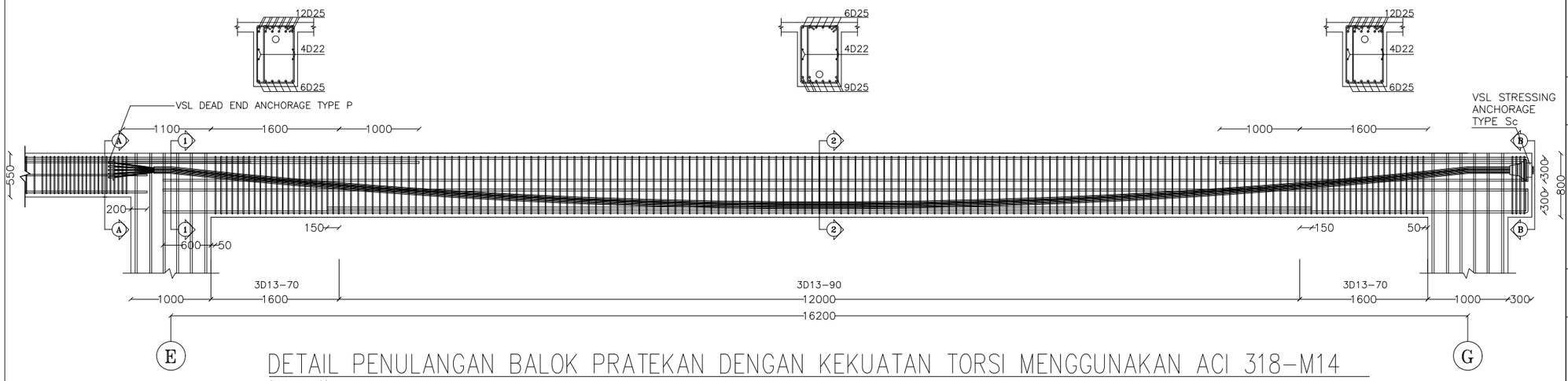
DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEKAN DENGAN KEKUATAN TORSI MENGGUNAKAN SNI 2847-2002

SKALA 1 : 60



DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEKAN DENGAN KEKUATAN TORSI MENGGUNAKAN SNI 2847-2013

SKALA 1 : 60



DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEKAN DENGAN KEKUATAN TORSI MENGGUNAKAN ACI 318-M14

SKALA 1 : 60

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

GEDUNG FAKULTAS FARMASI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

NAMA DOSEN ASISTEN

Prof. TAVIO, ST., MT., PhD.
Prof.Dr.Ir. I GUSTI PUTU RAKA

NAMA MAHASISWA

MUHAMMAD FARIED
3116105057

NAMA GAMBAR

HASIL STUDI PERBANDINGAN

NOMOR	JUMLAH
25	25

Form AK/ TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Tavio, ST. MT. PhD
NAMA MAHASISWA	: MUHAMMAD FARIED
NRP	: 03 III CAS 0000 57
JUDUL TUGAS AKHIR	: Studi Perbandingan Kekuatan Torsi Balok Prategang di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan ACI 318M-14, SNI 2847:2013, dan SNI 2847-2002 Pada Studi Kasus
TANGGAL PROPOSAL	: Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga 25 januari 2018
NO. SP-MMTA	: 02573/IT2.VI.4.1/PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	8/3 2018	- Preliminari Desain	- lanjutkan perhitungan pembebanan.	
2.	22/3 2018	- Beban, angin, salju, dan hujan tidak diperhitungkan - Beban mati boleh memakai PPIUG	- lanjutkan perhitungan struktur sekunder.	
3	20/4 2018	- Beban hidup tangga samakan dengan lantai - Penulangan tangga pake mektek, arah y nya pake Pmin. (Shrinkage & Suhu) - Perhitungan mektek dilampirkan di word.	- lanjutkan remodelan dan beban gempa.	
4	18/5 2018	- cek lagi spreetsal desain yang diinput-kan ke ETABS.	- Perhitungan struktur Prategan.	
5.	4/6 2018	- Lantai paling atas tidak perlu di cek Strong column Weak beam. - PCACOL menggunakan biaxial - Parsial Prestress 25% (kombinasi gempa)		

Form AK/ TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Spil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
NAMA MAHASISWA	: MUHAMMAD FARIED
NRP	: 03111 645 000057
JUDUL TUGAS AKHIR	: Studi Perbandingan Kekuatan Torsi Balok Prategang di Daerah Risiko Gempa
	Berdasarkan ACI 318 M-14, SNI 2847:2013, dan SNI 2847-2002 Pada Studi Kasus Gedung
TANGGAL PROPOSAL	: Fakultas Farmasi Universitas Airlangga 25 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 025753 / IT2.VI.4.1 / PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	**RENCANA MINGGU DEPAN**	
1	22/3/18	- Preliminari Desain	- Lanjutkan Permodelan dan Perhitungan struktur sekunder.	
2	20/4/18	- Beban hidup atap ditambah air hujan - tidak memperhitungkan beban angin - jangan lupa masukkan beban struktur sekunder - Beban tactisi diperhitungkan, bisa pake brosur	- Lanjutkan beban gempa	
3.	31/5/18	- Metode pelaksanaan balok Prategan dan balok anak - Momen saat transfer → hitung manual momen saat servis → ETABS	Perhitungan struktur Prategan	
4	20/7/18.	- Cek tulangan plat menggunakan D-10-400 - Cek apakah masih mampu digunakan panjang penyaluran ld, sebelum menggunakan kait. - Tambahkan garis diantara balok & plat bordes. - Cek lagi sambungan lewatan kolom - Balok induk yang disebelah balok Prategan, digambar lebih panjang.	- Perbaiki gambar.	

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN
PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR

Pada hari ini **Selasa** tanggal **24 Juli 2018** jam **12.00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000057	Muhammad Faried	Studi Perbandingan Kekuatan Torsi Balok Beton Pratekan di Daerah Resiko Gempa Berdasarkan ACI 318-M14, SNI 2847-2013, dan SNI 2847-2002 pada Studi Kasus Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga

Dengan Hasil :

□ Lulus Tanpa Perbaikan	□ Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
☑ Lulus Dengan Perbaikan	□ Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :
- Seyby $12 dagabi nilai D-12
- Pemaskh harus mampu beda & lampu dibahas!
- Kan ada
- Alumia 2002 & 2013 beda cukup banyak!

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Budi Suswanto, ST. MT. PhD	.....
Dr. techn. Pujo Aji, ST. MT	.....

Surabaya, 24 Juli 2018
Dosen Pembimbing I
(Ketua)

Prof. Tavio, ST. MT. PhD

Dosen Pembimbing 2
(Sekretaris)

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Dosen Pembimbing 3
(Sekretaris)

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Muhammad Faried, dilahirkan pada tanggal 27 bulan Februari tahun 1996 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Tropodo 3 Waru Sidarjo, SMPN 2 Waru Sidarjo, dan SMA Muhammadiyah 3 Surabaya. Setelah lulus SMA tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS, dengan mengambil konsentrasi studi bangunan gedung. Setelah menempuh pendidikan diploma selama 3 tahun, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil ITS dengan NRP 3116 105 057 dan mengambil konsentrasi bidang struktur. Apabila ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat berkomunikasi via email : muharied@gmail.com