



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN GESER
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO
GEMPA BERDASARKAN SNI 2847-2002, SNI
2847:2013, DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR
LIFE STYLE HOTEL SURABAYA**

NURUSSOFA RIZQYANI
NRP. 3116 105 019

Dosen Pembimbing I
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN GESER
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO
GEMPA BERDASARKAN SNI 2847-2002, SNI
2847:2013, DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR
LIFE STYLE HOTEL SURABAYA**

NURUSSOFA RIZQYANI
NRP. 3116 105 019

Dosen Pembimbing I
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT- RC14-1501

STUDY COMPARISON OF PRESTRESSED BEAM'S SHEAR STRENGTH ON EARTHQUAKE RISK AREA BASED ON SNI-2847-2002, SNI 2847:2013, AND ACI 318M-14 ON LIFE STYLE HOTEL'S STRUCTURE SURABAYA

NURUSSOFA RIZQYANI
NRP. 3116 105 019

Academic Supervisor I
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Academic Supervisor II
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS

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

**STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN GESER BALOK
PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA
BERDASARKAN SNI-2847-2002, SNI 2847:2013, DAN ACI
318M-14 PADA STRUKTUR LIFE STYLE HOTEL
SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
NURUSSOFA RIZQYANI
NRP. 03111645000019

Disetujui oleh pembimbing tugas akhir :

1. Prof. Tavio ST., MT., Ph.D (Pembimbing 1)

2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. (Pembimbing 2)

SURABAYA
JULI, 2018

**STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN GESEN BALOK
PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA
BERDASARKAN SNI-2847-2002, SNI 2847:2013, DAN ACI
318M-14 PADA STRUKTUR LIFE STYLE HOTEL
SURABAYA**

**Nama Mahasiswa : Nurussofa Rizqyani
NRP : 03111645000019
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Tavio, ST. MT. PhD
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo MS**

Abstrak

Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan beton mutu tinggi dengan baja mutu tinggi,, dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kemampuan beton dalam menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Sehingga, beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi. Kebutuhan ruangan yang luas tanpa kolom di tengah ruangan serta panjang bentang yang jauh pada gedung Life Style Hotel Surabaya,, maka elemen struktur yang pada awalnya menggunakan balok beton bertulang biasa diganti menggunakan beton pratekan.

Dalam Studi ini penulis membandingkan penggunaan tiga jenis peraturan yaitu SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14. Studi ini dilakukan untuk mendapatkan peraturan yang paling efisien untuk merencanakan gedung menggunakan balok beton prategang.

Kata Kunci : Beton Prategang, Kuat Geser, SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, ACI 318M-14, Life Style Hotel Surabaya

“halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY COMPARISON OF PRESTRESSED BEAM'S SHEAR STRENGTH ON EARTHQUAKE RISK AREA BASED ON SNI-2847-2002, SNI 2847:2013, AND ACI 318M-14 ON LIFE STYLE HOTEL'S STRUCTURE SURABAYA

Student Name	: Nurussofa Rizqyani
NRP	: 03111645000019
Department	: Teknik Sipil FTSLK-ITS
Academic Supervisor	: Prof. Tavio, ST. MT. PhD Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo MS

Abstract

Prestressed concrete is a concrete construction technology that combines high quality concrete with high-quality steel, by pulling the steel and holding it to concrete, thus making the concrete in a stressed state. The ability of concrete to withstand tug is improved by applying pressure, while its ability to withstand the pressure is not reduced. Thus, prestressing concrete is an ideal combination of two high-powered modern materials. The need for a spacious room with no columns in the middle of the room as well as the long span that far away in Life Style Hotel Surabaya, then the structural elements that initially use reinforced concrete beams are replaced by using prestressed concrete.

In this study, the authors compare the use of three types of regulations named SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, and ACI 318M-14. This study was conducted to obtain the most efficient regulation to design the building using prestressed concrete beams.

Keywords : Prestressed Concrete, Shear Strength SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, ACI 318M-14, Life Style Hotel Surabaya

“halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Perbandingan Kekuatan Geser Balok Prategang di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan SNI-2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14 pada Struktur Life Style Hotel Surabaya**”. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaiannya Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Semua anggota keluarga yang telah memberikan semangat selama menjalani perkuliahan di ITS
2. Prof. Tavio, ST. MT. PhD. dan Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo MS. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini
3. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama masa perkuliahan penulis

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Jadi dengan rasa hormat penulis mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap tugas akhir ini. Sehingga kedepannya, diharapkan ada perbaikan terhadap proposal tugas akhir ini serta dapat menambah pengetahuan bagi penulis.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Beton Prategang	5
2.2.1 Prinsip Dasar	5
2.2.2 Metode Pemberian Gaya Prategang	9
2.2.3 Tahapan Pembebanan.....	10
2.2.4 Material Beton Prategang	12
2.3 Kehilangan Gaya Prategang	13
2.4 Perbandingan SNI 2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14	15
2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ...	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Umum.....	25
3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir	25
3.3 Pengumpulan Data	27
3.4 Studi Literatur.....	27
3.5 Kriteria Desain	28
3.6 Preliminary Design Balok Prategang	28
3.7 Pembebanan.....	28
3.8 Perhitungan Struktur Utama Prategang	38
3.8.1 Gaya Prategang.....	39

3.8.2	Tegangan Ijin.....	39
3.8.3	Pemilihan Tendon Baja Prategang	40
3.8.4	Kehilangan Prategang.....	40
3.8.5	Kontrol Momen Retak.....	44
3.8.6	Kontrol Momen Nominal	44
3.8.7	Kontrol Kuat Batas Beton Prategang	45
3.8.8	Kontrol Geser	45
3.8.9	Kontrol Lendutan	45
3.8.10	Daerah Limit Kabel	46
3.8.11	Pengangkuran	47
3.9	Hasil Perbandingan dan Pembahasan	47
BAB IV PEMBAHASAN	49
4.1	Preliminary Design.....	49
4.1.1	Umum.....	49
4.1.2	Permodelan Gedung	49
4.1.3	Premilinary Balok Prategang.....	49
4.1.4	Premilinary Balok Non Beton Prategang	50
4.1.5	Tebal Pelat Lantai.....	52
4.1.6	Premilinary Desain Kolom	59
4.2	Permodelan Struktur.....	60
4.2.1	Perhitungan Berat Struktur	61
4.2.2	Analisis beban Seismik	62
4.2.3	Kontrol Desain	65
4.3	Perencanaan Struktur Sekunder.....	72
4.3.1	Perencanaan Tulangan Pelat.....	72
4.3.2	Desain Struktur Tangga	81
4.3.3	Perhitungan Balok Bordes.....	89
4.3.4	Perhitungan Balok Anak.....	119
4.3.5	Perhitungan Balok Lift	148
4.4	Perencanaan Struktur Utama Non Pratekan	177
4.4.1	Perhitungan Balok Induk.....	177
4.4.2	Perencanaan Kolom.....	207
4.5	Perhitungan Struktur Utama Prategang	217
4.5.1	Perhitungan Tendon Pratekan.....	217
4.5.2	Perhitungan Kebutuhan Tulangan Lunak	237

4.5.3	Kontrol Momen Nominal	266
4.5.4	Pengangkuran Ujung	271
4.6	Studi Perbandingan Menggunakan SNI 2847-2002 dan ACI 318M-14	273
4.6.1	Perhitungan Tulangan Geser Menggunakan SNI 2847-2002.....	273
4.6.2	Perhitungan Tulangan Geser Menggunakan ACI 318M-14	283
BAB V		295
HASIL PERBANDINGAN STUDI GAYA GESER PADA BALOK PRATEKAN MENGGUNAKAN SNI 2847-2002, SNI 2847:2013, DAN ACI 318M-14		295
5.1	Umum.....	295
5.2	Rekap Hasil Studi.....	295
BAB VI		297
KESIMPULAN DAN SARAN		297
6.1	Kesimpulan.....	297
6.2	Saran.....	298
DAFTAR PUSTAKA.....		299

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tegangan pada Beton Prategang	6
Gambar 2. 2 Contoh Tendon dengan Eksentrisitas	7
Gambar 2. 3 Tegangan yang Bekerja pada Beton Prategang	7
Gambar 2. 4 Sistem Prategang dengan Baja dan Beton Mutu Tinggi	8
Gambar 2. 5 Beban Merata yang Bekerja pada Tendon.....	9
Gambar 3. 1 Parameter Respons Spectral Percepatan Gempa Terpetakan untuk Periode Pendek 0,2 Detik (S_s) untuk Periode 1 Detik (S_1).....	36
Gambar 3. 2 Sudut Pusat Tendon	41
Gambar 3. 3 Daerah Limit Kabel	47
Gambar 4. 1 Permodelan pada ETABS	61
Gambar 4. 2 Nilai Periode dari ETABS	68
Gambar 4. 3 Struktur Mekanika Tangga	84
Gambar 4. 4 Diagram Gaya Lintang Tangga	85
Gambar 4. 5 Diagram Gaya Momen Tangga	86
Gambar 4. 6 Tinggi Efektif Balok.....	90
Gambar 4. 7 Tinggi Efektif Balok.....	120
Gambar 4. 8 Tinggi Efektif Balok.....	149
Gambar 4. 9 Tinggi Efektif Balok.....	179
Gambar 4. 10 Output pada SpColomn	209
Gambar 4. 11 Respons Spektrum pada Wilayah 2	274

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tipikal Baja Prategang	13
Tabel 2. 2 Perbandingan SNI 2847:2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14	16
Tabel 3. 1 Jenis Pemanfaatan Gedung.....	30
Tabel 3. 2 Faktor Keutamaan Gempa.....	34
Tabel 3. 3 Kelas Situs.....	34
Tabel 3. 4 Koefisien Situs F_a dan F_v	37
Tabel 3. 5 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek (S_{DS}) dan pada Periode 1 Detik (S_{D1}).....	38
Tabel 3. 6 Koefisien Penyusutan.....	43
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	51
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak Prategang	52
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Dimensi Pelat Lantai	58
Tabel 4. 4 Nilai SPT	63
Tabel 4. 5 Kontrol Partisipasi Massa.....	66
Tabel 4. 6 Kontrol Base Shear.....	69
Tabel 4. 7 Kontrol Story Drift	71
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Hasil Penulangan Pelat Lantai.....	81
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Penulangan Tangga	89
Tabel 4. 10 Output ETABS untuk Kolom.....	208
Tabel 4. 11 Total Kehilangan Gaya Pratekan.....	233

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi bangunan saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hal yang pertama kali muncul adalah konstruksi yang kuat terhadap tekan yaitu konstruksi beton. Yang kedua adalah konstruksi yang kuat akan tarik yaitu konstruksi baja. Lalu hingga saat ini telah muncul kombinasi antara kedua konstruksi tersebut, konstruksi yang tahan tarik dan tekan yaitu beton prategang. Pada gedung, penggunaan beton prategang biasanya digunakan untuk memaksimalkan ruang bebas dari suatu gedung.

Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan beton mutu tinggi (*High Strength Concrete*) dengan baja bermutu tinggi (*High Strength Steel*), dengan cara menarik baja tersebut dan ditahan pada beton, sehingga beton akan mendapatkan tekanan akibat tarikan dari baja. Kombinasi aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Kemampuan beton dalam menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Sehingga, beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi (Lin dan Burns, 2000).

Gedung Life Style Hotel Surabaya merupakan gedung dengan 14 lantai. Atas dasar kebutuhan ruangan yang tanpa kolom di tengah ruangan serta panjang bentang balok yang besar, maka elemen struktur balok beton bertulang diganti dengan menggunakan balok beton prategang.

Keunggulan beton prategang dibandingkan dengan beton bertulang biasa adalah bahwa beton prategang memungkinkan pemanfaatan seluruh penampang melintang beton dalam menerima beban dengan penampang melintang yang lebih kecil, beban yang mampu dipikul serta panjang bentangnya sama dengan beton bertulang biasa. Hal ini memberi keunggulan berupa pengurangan berat struktur. (Lin dan Burn, 2000).

Komponen struktur beton prategang memiliki dimensi tinggi balok lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang untuk kondisi beban dan bahan yang sama. Pada umumnya tinggi komponen struktur prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang. Dengan demikian komponen struktur beton prategang membutuhkan lebih sedikit beton sekitar 20 hingga 35 persen (Nawy, 2001).

Dalam studi ini, penulis membandingkan seberapa besarkah pengaruh dari gaya geser dari bealok beton prategang apabila balok didesain dengan 3 peraturan yang berbeda, yaitu SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14.

Dalam studi ini, penulis menggunakan peraturan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, dan ACI 318M-14, SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, dan SNI 1723-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara merencanakan gedung Life Style Hotel Surabaya dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus?
2. Bagaimana merencanakan struktur beton pratekan pada gedung Life Style Hotel Surabaya?
3. Bagaimana perbedaan gaya geser pada balok beton prategang berdasarkan peraturan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui cara merencanakan gedung Life Style Hotel Surabaya dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

2. Mengetahui cara merencanakan struktur beton pratekan pada gedung Life Style Hotel Surabaya.
3. Mengetahui perbedaan gaya geser pada balok beton prategang 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 prategang yang digunakan di ruang pertemuan yang berada di lantai atas.
2. Analisa struktur menggunakan program bantu ETABS.
3. Studi tidak meninjau struktur bangunan bawah atau pondasi dari gedung.
4. Tidak meninjau biaya pelaksanaan konstruksi.

1.5 Manfaat

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

1. Dapat menambah referensi tentang pengetahuan di dalam bidang beton pratekan bagi mahasiswa jurusan Teknik Sipil, khususnya Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember agar ke depannya digunakan sebagai pertimbangan dalam dunia pekerjaan khususnya di bidang perencanaan bangunan beton pratekan.
2. Mendapat pemahaman tentang konsep beton prategang yang memenuhi persyaratan keamanan struktur.
3. Dapat memberikan atau menjadi panduan dalam penerapan sistem perencanaan beton prategang

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam tinjauan pustakan ini akan dibahas beberapa jurnal dan dasar teori yang berhubungan dengan pengaruh gaya geser pada balok prategang berdasarkan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14 pada proyek gedung The Life Style Hotel Surabaya.

2.2 Beton Prategang

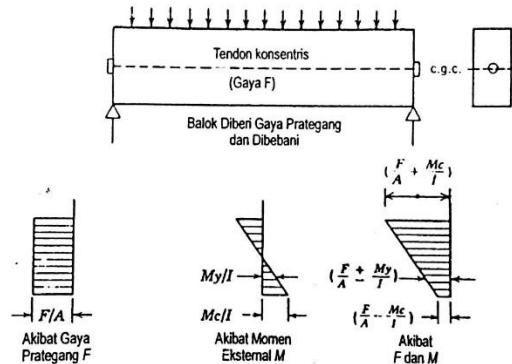
Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu (T.Y Lin, 2000). Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton prategang adalah beton bertulang mengkombinasikan beron dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan beton prategang mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara aktif (T.Y. Lin, 2000).

2.2.1 Prinsip Dasar

Beton prategang memiliki beberapa prinsip dasar, berdasarkan “*Desain Struktur Beton Prategang, (T.Y Lin,2000)*” terdapat 3 prinsip beton prategang, yaitu :

1. Sistem Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis

Eugene Freyssinet menyatakan dalam “*Desain Struktur Beton Prategang, (T.Y Lin,2000)*” bahwa beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut.



Gambar 2. 1 Tegangan pada Beton Prategang

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 , 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 :

$$f = \frac{M \times C}{I}$$

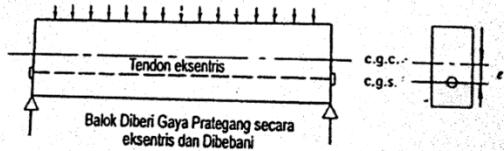
Dimana :

M = Momen lentur pada penampang yang ditinjau

C = Jarak garis netral ke serat terluar penampang

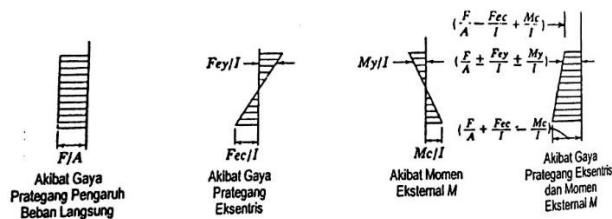
I = Momen Inersia penampang

Untuk meningkatkan kemampuan beton prategang kita dapat menambahkan eksentrisitas tegangn baja terhadap garis netral beton.



Gambar 2. 2 Contoh Tendon dengan Eksentrisitas

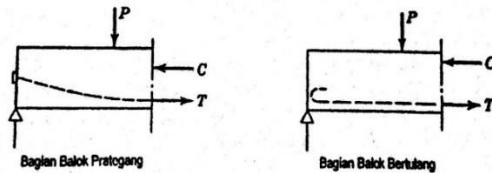
Akibat adanya pergeseran eksentrisitas baja terhadap garis pusat beton, maka terjadi tegangan sebesar F_e/W dimana e adalah eksentrisitas tegangan dan W adalah momen resisten (I/y).



Gambar 2. 3 Tegangan yang Bekerja pada Beton Prategang

2. Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, di mana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan berikutnya berfungsi sebagai penahan untuk melawan momen eksternal. Konsep ini hampir sama dengan konsep beton bertulang.

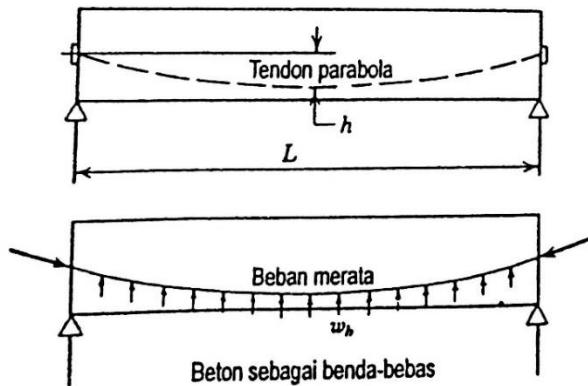


Gambar 2. 4 Sistem Prategang dengan Baja dan Beton Mutu Tinggi

Pada beton prategang, baja prategang ditarik dengan gaya prategang T yang mana membentuk momen kopel dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen akibat beban luar.

3. Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan Beban

Konsep ini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebahan yang terjadi.



Gambar 2. 5 Beban Merata yang Bekerja pada Tendon

Balok beton diatas dua tumpuan diberi gaya prategang F melalui suatu tendon prategang dengan bentuk parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata kearah atas dinyatakan oleh T.Y Lin, 2000 sebagai berikut :

$$W_b = \frac{8 \times F \times h}{L^2}$$

Dimana :

- W_b = beban merata kearah atas
- h = tinggi parabola kabel lintasan prategang
- L = bentangan balok
- F = gaya prategang

Jadi beban merata akibat beban diimbangi oleh gaya merata akibat prategang

2.2.2 Metode Pemberian Gaya Prategang

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

- a. Pre-tensioned Prestressed Concrete (Pratarik)

Di dalam sistem pratarik, tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok angkur yang tegar (rigid) yang dicetak di atas tanah atau dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik, dan beton selanjutnya dicor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang dibutuhkan. Oleh karena itu semua metode pratarik bersandar pada rekanan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dari alas prapenarikan dan prategang ditransfer ke beton.

b. Post-Tensioned Prestressed Concrete (Pasca Tarik)

Dalam sistem pascatarik, unit beton lebih dulu dicetak dengan memasukkan saluran atau alur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh angkur ujung dan juga apabila kabel melengkung, melalui tekanan radial antara kabel dan saluran. Ruang antara tendon dan saluran pada umumnya di-grout setelah penarikan.

Secara ideal, pascatarik cocok untuk pekerjaan yang dilaksanakan di tempat dengan bentangan menengah sampai panjang di mana biaya penarikan hanya merupakan sebagian kecil dari seluruh pekerjaan dan dalam hal ini lebih ekonomis untuk memakai sedikit kabel atau batang dengan gaya yang besar pada masing-masingnya daripada memakai banyak kabel dengan gaya yang kecil.

2.2.3 Tahapan Pembebaan

Salah satu pertimbangan istimewa pada beton prategang adalah banyaknya tahapan pembebanan di mana sebuah komponen struktur dibebani. Beberapa dari tahapan pembebanan ini terjadi juga pada struktur yang bukan prategang. Untuk struktur yang dicor

setempat, beton prategang harus didesain paling sedikit untuk dua tahap, tahap awal pada saat pemberian prategang dan tahap akhir pada saat dibebani oleh beban eksternal. Untuk beton pracetak, tahap ketiga yaitu pengangkatan dan pengangkutan harus diteliti. Pada setiap tahap dari ketiga tahap ini, ada perbedaan waktu bilamana komponen-komponen atau struktur dibebani pada kondisi yang berbeda-beda.

- Tahap Awal

Batang atau struktur yang diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini selanjutnya dapat dibagi menjadi beberapa tahap, beberapa di antaranya tidak penting dan oeh karenanya dapat diabaikan pada desain-desain tertentu. Pada tahap awal, dibagi menjadi empat tahap, yaitu

1. Saat Struktur Belum Diberi Gaya Prategang
2. Saat Diberi Gaya Prategang
3. Saat Peralihan Gaya Prategang
4. Desentrering dan Penarikan Kembali

- Tahap Antara

Ini adalah tahapan selama pengangkutan dan penempatan. Hal ini terjadi hanya pada komponen-komponen struktur pracetak bila diangkat ke lapangan dan dipasang pada tempatnya. Hal ini penting sekali untuk mejamin bahwa komponen-komponen struktur tersebut telah ditumpu dan diangkat dengan semestinya.

- Tahap Akhir

Ini adalah tahapan bila beban kerja yang sesungguhnya bekerja pada struktur. Seperti pada konstruksi-konstruksi lain, pendesain juga harus mempertimbangkan berbagai macam kombinasi beban hidup pada setiap bagian yang berbeda dari struktur akibat beban-beban lateral seperti angin dan gaya gempa, dan dengan beban-beban regangan seperti yang dihasilkan oleh penurunan pada tumpuan dan pengaruh temperature. Pada tahap ini dibagi menjadi 2 tahap :

1. Beban yang Bekerja Tetap (*Sustainable Load*)
2. Beban Kerja

2.2.4 Material Beton Prategang

a. Beton

Beton yang digunakan pada beton prategang 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 prategang dibagi menjadi 2 kategori, yaitu tegangan ijin pada saat transfer dan tegangan ijin pada saat service.(T.Y Lin, 2000).

b. Baja

Baja prategang 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 prategang *pre-tension*, untuk untaian kawat biasa digunakan dalam beton prategang *post tension*. Jenis tendon lain yang sering digunakan pada beton prategang system pre-tension adalah *seven-wire strand* dan *single wire*. Baja yang digunakan memiliki batasan tegangan ijin sebesar 0.94 fpy Akibat gaya penarikan (*jacking*) dan 0.7 fpu sesaat setelah transfer gaya.

Tabel 2. 1 Tipikal Baja Prategang

Jenis Baja Prategang	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban Putus (kN)	Tegangan Tarik (MPa)
Kawat Tunggal (wire)	3	7.1	13.5	1900
	4	12.6	22.1	1750
	5	19.6	31.4	1600
	7	38.5	57.8	1500
	8	50.3	70.4	1400
Untaian Kawat (strand)	9.3	54.7	102	1860
	12.7	100	184	1840
	15.2	143	250	1750
Kawat Batangan (bar)	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

2.3 Kehilangan Gaya Prategang

Gaya prategang pada beton mengalami proses reduksi yang progresif sejak gaya prategang awal diberikan, sehingga tahapan gaya prategang perlu ditentukan pada setiap tahapan pembebahan, yaitu dari tahapan transfer gaya prategang ke beton sampai ke berbagai tahapan prategang yang terjadi pada kondisi beban kerja hingga mencapai kondisi ultimit.

Pada dasarnya, nilai masing-masing kehilangan gaya prategang adalah kecil, tetapi apabila dijumlahkan dapat menyebabkan penurunan gaya jacking yang signifikan. Berikut ini adalah jenis-jenis kehilangan prategang :

a. Perpendekan Elastis

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

b. Kehilangan Akibat Friksi atau Geseran Sepanjang Tendon

Pada kasus batang pascatarik, apabila kabel-kabel lurus atau agak melengkung ditarik, maka gesekan terhadap

dinding saluran atau kisi-kisi penyekat akan mengakibatkan kehilangan tegangan yang makin bertambah menurut jaraknya dari dongkrak (Krishna Raju, 1989)

c. Kehilangan Akibat Slip Angkur

Di dalam sistem pascatarik, apabila kabel ditarik dan dongkrak dilepaskan untuk mentransfer prategang beton, pasak-pasak gesekan yang dipasang untuk memegang kawat-kawat dapat menggelincir pada jarak yang pendek sebelum kawat-kawat tersebut menempatkan diri secara kokoh di antara pasak-pasak tadi (Krishna Raju, 1989). Besarnya penggelinciran tergantung pada tipe pasak dan tegangan pada kawat.

d. Kehilangan Akibat Susut Beton

Susut beton pada beton prategang mengakibatkan perpendekan kawat-kawat yang ditarik dan dengan demikian ikut menyebabkan kehilangan tegangan. Penyebab utama dari susut adalah hilangnya air yang berlanjut pada beton. Susut pada permukaan batang adalah lebih besar. Perbedaan susut antara bagian dalam dan permukaan batang yang besar dapat mengarah pada retak permukaan. Oleh karena itu perawatan beton yang tepat sangat penting untuk mencegah retak akibat susut pada beton prategang

e. Kehilangan Akibat Relaksasi Baja

Percobaan-percobaan pada baja prategang dengan perpanjangan yang konstan dan dijaga tetap pada suatu selang waktu memperlihatkan bahwa gaya prategang akan berkurang secara perlahan-lahan. Besarnya pengurangan prategang bergantung pada lamanya waktu.

f. Kehilangan Akibat Rangkak Beton

Sifat beton untuk mengalami tambahan regangan akibat beban tetap (mati) menunjukkan variasi perbandingan rangkak terhadap waktu, memperlihatkan sifat alami rangkak. 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)

2.4 Perbandingan SNI 2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14

Ada beberapa peraturan yang digunakan dalam mendesain struktur gedung, salah satunya adalah SNI. Peraturan-peraturan tersebut diperbarui agar dapat menyesuaikan dengan kondisi terkini. Berikut ini adalah perbandingan SNI 2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14 yang meninjau gaya geser

Tabel 2. 2 Perbandingan SNI 2847:2002, SNI 2847-2013, dan ACI 318M-14

SNI 2847-2002	SNI 2847:2013	ACI 318M-14
Ps. 13.4 Kuat Geser yang Disumbangkan Beton pada Komponen Struktur Prategang	Ps. 11.3 Kekuatan Geser yang Disediakan oleh Beton pada Komponen Struktur Prategang	Ps. 22.5.8 Vc for Prestressed Member
Ps. 13.4(1) Untuk gaya prategang efektif tidak kurang dari 40% $V_c = \left(\frac{\sqrt{f_c}}{20} + 5 \frac{V_u}{M_u} d \right) b_w \cdot d$ $V_c \geq \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$ $V_c \leq 0,4 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$	Ps. 11.3.2 Untuk gaya prategang efektif tidak kurang dari 40% $V_c = \left(0,05 \cdot \lambda \sqrt{f_c} + 4,8 \frac{V_u}{M_u} d_p \right) b_w$ $V_c \geq 0,17 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$ $V_c \leq 0,42 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$	Ps. 22.5.8.2 Vc shall be permitted to calculate Vc the least of : $V_c = \left(0,05 \cdot \lambda \sqrt{f_c} + 4,8 \frac{V_u}{M_u} d_p \right) b_w \cdot d$ $V_c = (0,05 \cdot \lambda \sqrt{f_c} + 4,8) b_w \cdot d$ $0,17 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \leq V_c \leq 0,42 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$

Ps. 13.4(2)

Untuk gaya prategang efektif kurang dari 40%, V_c harus diambil dari yang terkecil di antara V_{ci} atau V_{cw}

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f_c}}{20} b_w \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}} \right)$$

Dengan

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right)$$

$$V_{ci} \geq \frac{\sqrt{f_c}}{7} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{cw} = 0,3 \cdot (\sqrt{f_c} + f_{pc}) \cdot b_w \cdot d + V_p$$

Ps. 11.3.3

Untuk gaya prategang efektif kurang dari 40%, V_c harus diambil dari yang terkecil di antara V_{ci} atau V_{cw}

$$V_{ci} = \left(0,05 \cdot \lambda \sqrt{f_c} b_w \cdot d_p + V_d + \frac{V_i}{M} \right)$$

Dimana d_p tidak perlu diambil kurang dari $0,80h$

Dengan

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{y_t} \right) (0,5 \cdot \lambda \sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d)$$

$$V_{ci} \geq 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$V_{cw} =$

$$(0,29 \cdot \lambda \sqrt{f_c} + 0,3 \cdot f_{pc}) \cdot b_w \cdot d_p + V_p$$

Ps. 22.5.8.3

For prestressed member, V_c shall be permitted to be the lesser of V_{ci} calculated in accordance with 22.5.8.3.1 and V_{cw} calculated in accordance with 22.5.8.3.2

Ps. 22.5.8.3.1

Shall be the greater of :

Ps. 22.5.8.3.1a

$$V_{ci} = \left(0,05 \cdot \lambda \sqrt{f_c} b_w \cdot d_p + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}} \right)$$

Ps. 22.5.8.1b

$$V_{ci} = 0,14 \cdot \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

Ps. 22.5.8.3.1c

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{y_t} \right) (0,5 \cdot \lambda \sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d)$$

Ps. 22.5.8.3.2

		$V_{cw} =$ $(0,29 \cdot \lambda \sqrt{f_c} + 0,3 \cdot f_{pc}) \cdot b_w \cdot d_p + V_p$
--	--	--

Ps. 13.5(5) Tulangan Geser Minimum 1. Bila pada komponen struktur lentur beton bertulang (prategang maupun non-prategang) bekerja gaya geser terfaktor V_u yang lebih besar dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka harus selalu dipasang tuangan geser minimum, kecuali untuk : a. Pelat dan fondasi telapak b. Konstruksi pelat rusuk yang didefinisikan dalam 10.11 c. Balok dengan tinggi total yang tidak lebih dari nilai terbesar di antara 250 mm, 2,5 kali	Ps. 11.4.6 Tulangan Geser Minimum Ps. 11.4.6.1 Luas tulangan geser minimum, $A_{v,min}$, harus disediakan semua komponen struktur lentur beton bertulang (prategang dan non-prategang) dimana V_u melebihi $0,5\phi V_c$, kecuali pada komponen struktur yang memenuhi satu atau lebih (a) sampai (f) : (a) Fondasi tapak (footing) dan slab solid (b) Unit inti berlubang (hollow core) dengan tinggi tanpa slab total tidak lebhor besar dari 315 mm dan unit ini	Ps. 9.6.3 Minimum Shear Reinforcement Ps. 9.6.3.1 A minimum area of shear reinforcement, $A_{v,min}$, shall be provided in all regions where $V_u > 0,5\phi V_c$ except for the cases below. For these cases, at least $A_{v,min}$ shall be provided where $V_u > \phi V_c$. a. Shallow depth beam with $h \leq 10$ in b. Integral with slab with $h \leq$ greater of $2,5t_f$ or $0,5b_w$ and $h \leq 24$ c. Constructed with steel fiber-reinforced normalweight concrete conforming to 26.4.1.5.1(a), 26.12.5.1(a) and with $f'_c \leq 6000$ psi with $h \leq 24$ in and $V_u \leq \phi 2\sqrt{f'_c b_w d}$
---	--	--

<p>tebal sayap, atau 0,5 kali lebar badan</p> <p>2. Ketentuan tulangan geser minimum dari $15.5((1))$ dapat diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian bahwa komponen struktur tersebut mampu mengembangkan kuat lentur dan geser noinal yang diperlukan tanpa adanya tulangan geser. Pengujian tersebut harus mensimulasikan pengaruh perbedaan penurunan fondasi, rangkak, susut, dan perubahan suhu, dengan mempertimbangkan secara realistik mengenai kemungkinan dari pengaruh-pengaruh</p>	<p>berlubang dimana V_u tidak lebih besar dari $0,5\phi V_c$.</p> <p>(c) Konstruksi balok jois (joist) beton yang didefinisikan dalam 8.13</p> <p>(d) Balok dengan h tidak lebih besar dari 250 mm</p> <p>(e) Balok yang menyatu dengan slab dengan h tidak lebih besar dari 600 mm dan tidak lebih besar dari yang lebih besar dari 2,5 kali tebal sayap (flange), dan 0,5 kali lebar badan (web)</p> <p>(f) Balok yang dibangun dari beton berat normal bertulangan</p>	<p>d. One way joist system in accordance with 9.8</p> <p>Ps. 9.6.3.3</p> <p>If shear reinforcement is required and torsional effects can be neglected according to 9.5.4.1, $A_{v,min}$ shall be in accordance with :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nonprestressed and prestressed beam with $A_{ps}.f_{se} < 0,4(A_{ps}.f_{pu} + A_s.f_y)$ must be greater of : $A_{v,min} = 0,062\sqrt{f_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$ <p style="text-align: center;">and</p> $(0,35b_w.s)/f_{yt}.$ <ol style="list-style-type: none"> 2. Prestressed with $A_{ps}.f_{se} \geq 0,4(A_{ps}.f_{pu} + A_s.f_y)$ must be lesser of :
--	---	--

<p>tersebut selama masa layan struktur.</p> <p>3. Bila menurut 13.5(5(1)) atau hasil analisis diperlukan tulangan geser dan bila 13.6(1) memperbolehka untuk mengabaikan pengaruh puntir, maka luas tulangan geser minimum untuk komponen struktur prategang (kecuali yang diatur dalam 13.5(5(4))) dan komponen struktur non-prategang harus dihitung dari :</p> $A_v = \frac{75\sqrt{f_c}b_w s}{1200f_y}$ <p>Tetapi A_v tidak boleh kurang dari</p>	<p>serat baja dengan f'_c tidak melebihi 40 MPa, h tidak lebih besae dari 600 mm, dan V_u tidak lebih besar dari $0,17\sqrt{f'_c}b_w d$</p> <p>Ps. 11.4.6.3</p> <p>Bila tulangan geser yang disyaratkan oleh 11.4.6.1 atau untuk kekuatan dan bila 1.5.1 memperbolehkan torsi untk diabaikan, maka $A_{v,min}$ untuk komponen struktur prategang (kecuali seperti diberikan dalam 11.4.6.4) dan non-prategang harus dihitung dengan :</p> $A_{v,min}=0,062\sqrt{f_c'}\frac{b_w s}{f_{yt}}$	<p>a. Greater of $A_{v,min} = 0,062\sqrt{f_c'}\frac{b_w s}{f_{yt}}$ and $(0,35b_w s)/f_{yt}$.</p> <p>b. $A_v = \frac{A_{ps} f_{pu,s}}{800f_{yt} \cdot d} \times \sqrt{\frac{d}{b_w}}$</p>
--	--	--

$\frac{1b_w s}{3f_y}$ <p>Dengan b_w dan s dinyatakan dalam milimeter</p> <p>4. Untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategan efektif tidak kurang dari 40% kuat tarik tulangan lentur, luas tulangan geser minimum tidak boleh kurang dari nilai A_v terkecil yang dihasilkan oleh persamaan :</p> $A_v = \frac{75\sqrt{f_c} b_w s}{1200 f_y}$ <p>dan</p> $A_v = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} \cdot s}{800 f_{yt} \cdot d} \times \sqrt{\frac{d}{b_w}}$	<p>Tapi tidak boleh kurang dari $(0,35b_w \cdot s)/f_{yt}$.</p> <p>Ps 11.4.6.4</p> <p>Untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif tidak kurang dari 40 persen kekuatan tarik tulangan lentur, $A_{v\min}$ tidak boleh kurang dari nilai yang lebih kecil dari :</p> $A_{v,\min} = 0,062\sqrt{f_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$ <p>dan</p> $A_v = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} \cdot s}{800 f_{yt} \cdot d} \times \sqrt{\frac{d}{b_w}}$
--	--

2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

SRPM adalah singkatan dari Sistem Rangka Pemikul Momen. Istilah SRPM sering didengar dalam pembahasan perencanaan struktur gedung tahan gempa. Di dalam beban lateral khususnya gempa ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Peranan balok, kolom, dan sambungan sangat penting.

SRPM adalah sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu :

- a. SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)
- b. SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)
- c. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

Pembagian sistem tersebut berdasarkan apada jenis tanah wilayah.

Sistem rangka pemikul momen khusus adlaah sistem rangka ruang dalam yang mana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona risiko gempa tinggi. Struktur harus direncanakan menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan detailing yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh

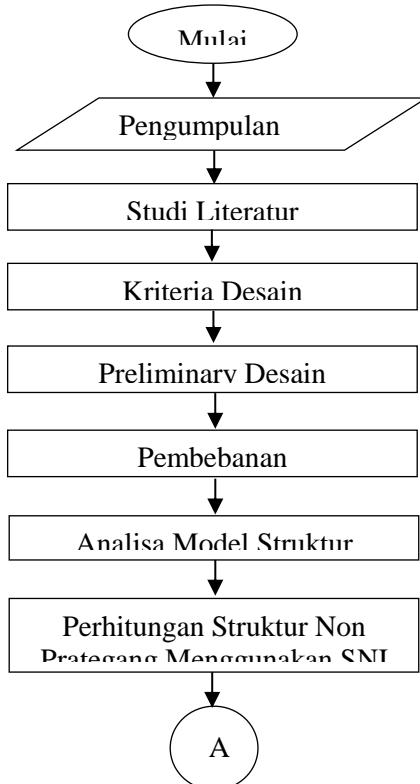
“halaman ini sengaja dikosongkan”

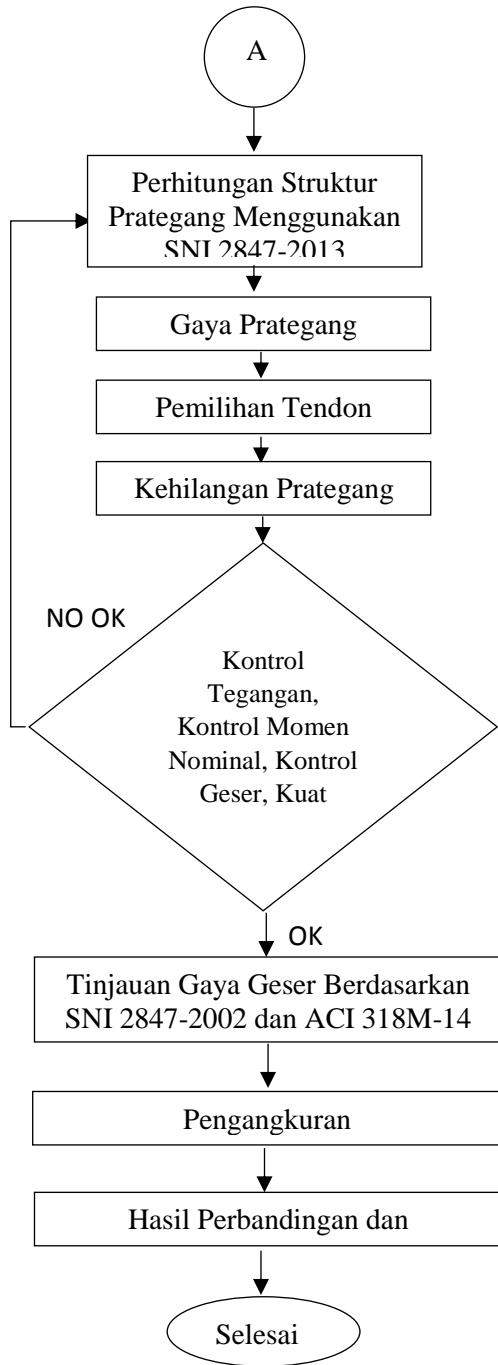
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Sebelum melakukan studi perbandingan gaya geser balok beton prategang dengan berbagai peraturan pada proyek gedung Life Style Hotel Surabaya, perlu disusun langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literature dan pedoman perancangan, sampai mencapai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan.

3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir





3.3 Pengumpulan Data

Nama Gedung	: Life Style Hotel
Fungsi Bangunan	: Hotel
Lokasi	: Jl. Sumatra No. 16
Surabaya	
Tinggi Total Bangunan	: 47.00 m
Tinggi Tiap Lantai	: Lantai 1 = 4,5 meter Lantai 2-14 = 3,2 meter
Mutu Beton (f_c')	
Kolom	: 40 MPa
Pelat dan Balok	: 40 MPa
Mutu Baja (f_y)	: $400 \text{ MPa} \geq D13$: $280 \text{ MPa} \leq \emptyset 12$

3.4 Studi Literatur

Studi literature yang dilakukan adalah dengan menggunakan beberapa buku dan tinjauan pustaka yang terlampir pada bab II yang bisa membantu mengenai perencanaan struktur balok beton prategang adalah sebagai berikut :

1. Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1 (T. Y. Lin dan Burns)
2. Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1 (T. Y. Lin dan Burns)
3. Beton Prategang Edisi Kedua (N Krishna Raju)

Selain mengkaji studi literature yang ada, juga harus mengkaji beberapa peraturan-peraturan yang berlaku yang bisa digunakan dalam perencanaan struktur gedung tersebut, seperti :

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)
2. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
3. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14)
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)

5. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)

3.5 Kriteria Desain

Perencanaan permodelan yang akan digunakan dalam studi ini adalah :

Gedung	: Life Style Hotel
Fungsi Bangunan	: Hotel
Lokasi	: Jl. Sumatra No. 16
Surabaya	
Bentuk Bangunan	: Persegi Panjang
Ketinggian	: 47.00 m
Jumlah Lantai	: 14 lantai
Variabel Desain	: Beton Prategang
Lokasi Beton Prategang	: Lantai Atap (denah terlampir)
Mutu Beton Prategang	: 40 MPa
Jenis Tanah	: Tanah Lunak (SE)

3.6 Preliminary Design Balok Prategang

Preliminary desain dilakukan dengan memperkirakan dimensi awal struktur sesuai dengan peraturan SNI 2847:2013. Penampang awal balok beton prategang di desain menggunakan beberapa asumsi yang sesuai dengan ketentuan tinggi dimensi balok

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

Selain itu, balok prategang harus didesain berdasarkan ketentuan ketentuan yang ada pada SNI 2847:2013 pasal 18.

3.7 Pembebanan

1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat struktur sendiri, dinding, pelat, serta berat finishing arsitektur (PPIUG 1983 Tabel 3).

2. Beban Hidup

Beban hidup untuk ruang apartemen (hotel) adalah 1,92 kN/m², 4,79 kN /m² untuk *multifunction hall* dan 92 kN /m² untuk beban hidup atap dan 4,79 kN /m² untuk atap sebagai taman diatasnya (SNI 1727:2013).

3. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 1726:2012, 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 Ps.7.8. V ini harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung ke masing-masing lantai (F) sesuai SNI 1726:2012 Ps.7.8.3. Menurut SNI 2847:2013, beban gempa yang dialami oleh struktur sebagian dipikul oleh komponen baja prategang hanya diperbolehkan maksimal 25% dari beban gempa yang terjadi.

Ada beberapa tinjauan mengenai perhitungan gempa yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kriteria design yang paling cocok untuk perhitungan struktur yang tahan gempa. Menurut SNI 1726:2012, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

- Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko dapat ditinjau pada tabel di bawah ini :

Tabel 3. 1 Jenis Pemanfaatan Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah took dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/rumah susun • Pusat perbelanjaan/mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur 	II

<ul style="list-style-type: none"> • Pabrik 	
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedan dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo 	III
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air 	

<ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumentasi • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki 	IV

<p>fasilitas bedah dan unit gawat darurat</p> <ul style="list-style-type: none">• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angina badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya.• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat• Pusat pembangkit energy dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat darurat• Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau	
--	--

peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko	

Tabel 3. 2 Faktor Keutamaan Gempa

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

- Kelas Situs
Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data.

Tabel 3. 3 Kelas Situs

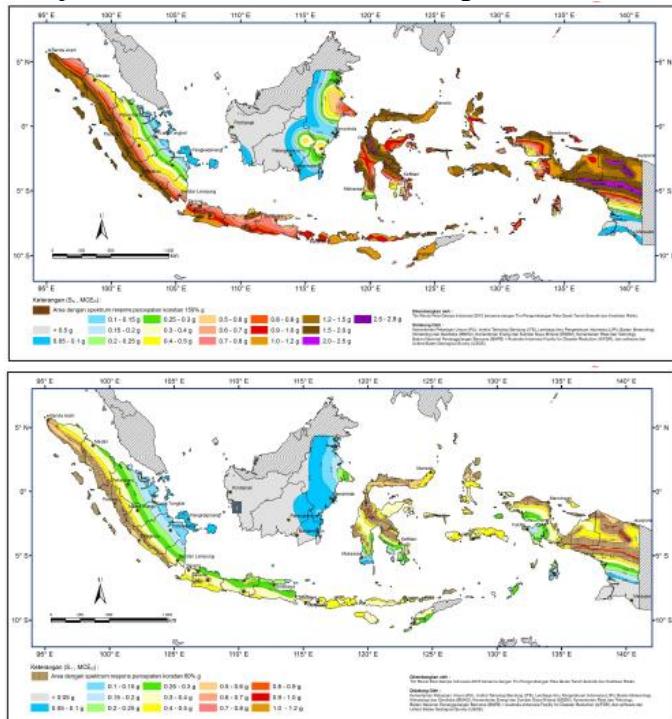
Kelas Situs	γ_s	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat)	350 sampai 750	>50	≥ 100

padat dan batuan lunak)			
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
	< 175	< 15	< 50
SE (tanah lunak)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah karakteristik sebagai berikut :		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, PI > 20 2. Kadar air, w ≥ 40% 3. Kuat geser niralir, $s_u << 25 \text{ kPa}$ 		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan H > 3m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m, dengan Indeks Plastisitas PI>75) 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H>35 m dengan $s_u < 50 \text{ kPa}$ 		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

- Parameter Respons Spectral

Untuk daerah Surabaya mempunyai parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek 0,2 detik (S_s) sebesar 0,600g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk periode 1 detik (S_1) sebesar 0,200g



Gambar 3. 1 Parameter Respons Spectral Percepatan Gempa Terpetakan untuk Periode Pendek 0,2 Detik (S_s) untuk Periode 1 Detik (S_1)

- Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (SD) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Dimana SMS dan SM1 didapat dari tabel berikut

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

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

F_a dan F_v didapat dari tabel Koefisien Situs

Tabel 3. 4 Koefisien Situs F_a dan F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^D				

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

- Kategori Desain Seismik

Menurut SNI 1726:2012 kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel 3.6

Tabel 3. 5 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek (S_{DS}) dan pada Periode 1 Detik (S_{D1})

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

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 < S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 < S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

4. Kombinasi Pembebatan
Beban-beban yang dibebankan kepada struktur tersebut dibebankan kepada komponen struktur menggunakan kombinasi beban berdasarkan SNI 2847:2013 ps. 9.2 sehingga struktur memenuhi syarat keamanan.

$$U = 1,4D$$

$$U = 1,2D + 1,6L$$

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E$$

$$U = 0,9D \pm 1,0E$$

3.8 Perhitungan Struktur Utama Prategang

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

3.8.1 Gaya Prategang

Penentuan gaya prategang awal berpengaruh pada momen total, yang kemudian gaya tersebut akan disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai pemilihan penampang. Gaya prategang berpengaruh pada tendon dan baja sesuai dengan eksentrisitas yang digunakan. Penentuan gaya prategang ditentukan dengan menggunakan rumus umum sebagai berikut:

$$\sigma_{ct,b} = \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e}{w_{t,b}} \pm \frac{M_{DL}}{w_{t,b}} \pm \frac{M_{LL}}{w_{t,b}}$$

Dimana :

F = gaya prategang yang diberikan

A = luasan penampang beton

e = eksentrisitas antara kabel prategang dengan sumbu netral beton

w = momen resisten beton (I/y)

M_{DL} = momen yang terjadi akibat beban mati

M_{LL} = momen yang terjadi akibat beban hidup

3.8.2 Tegangan Ijin

Penentuan tegangan ijin berdasarkan SNI 2847:2013. Tegangan beton tidak boleh melampaui 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)

$0,60f_{ci}$ tegangan tekan serat terluar

$0,50\sqrt{f_{ci}}$ tegangan tarik serat terluar

- Tegangan ijin pada saat beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang

$0,45f_c$ tegangan tekan serat terluar

$f_t \leq 0,62\sqrt{f'_c}$	tegangan tarik serat terluar kelas U
$0,62\sqrt{f'_c} \leq f_t \leq \sqrt{f'_c}$	tegangan tarik serat terluar kelas T
$f_t > \sqrt{f'_c}$	tegangan tarik serat terluar kelas C

Tegangan baja tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

- Tegangan ijin pada saat penarikan kebel (jacking) $0,94 f_{py}$ atau $< 0,8 f_{pu}$
- Tegangan ijin pada saat segera setelah peralihan gaya pratekan

$$0,7 f_{pu}$$

3.8.3 Pemilihan Tendon Baja Prategang

Pemilihan tendon baja prategang sangat dipengaruhi oleh gaya prategang yang ada. Setelah memilih tendon baja prategang, 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.

3.8.4 Kehilangan Prategang

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

1. Kehilangan Segera (Langsung)

Kehilangan gaya prategang langsung akibat :

- a. Perpendekan Elastis Beton

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton :

$$ES = Kes \cdot n \cdot f_{cir}$$

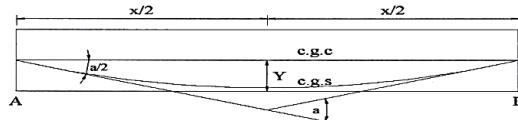
Dimana :

Kes = koefisien perpendekan (untuk pasca tarik Kes = 0,5)

n = perbandingan modulus elastisitas beton dan baja (E_s/E_c)

f_{cir} = tegangan pada penampang beton (F_o/A)

b. Kehilangan Akibat Friksi Atau Geseran Sepanjang Beton



Gambar 3. 2 Sudut Pusat Tendon

Kehilangan gaya prategang akibat friksi dan *wobble effect*:

$$F_2 = F_1 \cdot e^{-\mu\alpha \cdot KL}$$

F_2 = gaya prategang pada titik 1

F_1 = gaya prategang pada titik 2

e = panjang kabel prategang dari titik 1 ke titik 2

μ = koefisien gesera akibat kelengkungan kabel

α = sudut pada tendon

K = koefisien wobble

L = panjang kabel prategang dari titik 1 dan titik 2

$$\Delta_a = \frac{\sigma L}{E_s}$$

c. Kehilangan Akibat Slip Angkur

Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur :

$$\Delta = \frac{S_{\text{rata-rata}}}{\Delta_a} \times 100\%$$

$$\Delta_a = \frac{\sigma L}{E_s}$$

Dimana :

Δ	= kehilangan gaya prategang (%)
Δ_a	= deformasi pada angkur
σ	= tegangan pada beton
E_s	= modulus elastisitas baja
prategang	
L	= panjang kabel
S rata-rata	= harga rata-rata slip angkur (2,5 mm)

2. Kehilangan Tergantung Waktu

Kehilangan gaya prategang tergantung waktu akibat :

a. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak

- Perhitungan rangkak pada bonded tendon

$$CR = K_{cr} \cdot (E_s/E_c) \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana :

CR = kehilangan prategang akibat rangkak

K_{cr} = koefisien rangkak; pratarik (2,0); pasca tarik (1,6)

E_s = modulus elastisitas baja

E_c = modulus elastisitas beton

F_{cir} = tegangan beton sesaat setelah transfer gaya prategang

F_{cds} = tegangan beton pada pusat berat tendon akibat dead load

- Perhitungan rangkak pada unbonded tendon

$$CR = K_{cr} \cdot (E_s/E_c) \cdot f_{cpa}$$

Dimana :

f_{cpa} = tegangan tekan beton rata-rata pada pusat berat tendon

b. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut

Kehilangan gaya prategang akibat susut :

$$SH = \frac{8,2}{10^{-6}} \times K_{SH} \times E_s \left[1 - 0,06 \left(\frac{V}{S} \right) \right] [100 - RH]$$

SH = kehilangan tegangan ada beton akibat penyusutan

Es = modulus elastisitas baja

v = volume beton dari suatu komponen struktur prategang

s = luas permukaan dari komponen struktur beton prategang

RH = kelembaban udara relative

Ksh = koefisien penyusutan

Tabel 3. 6 Koefisien Penyusutan

Selisih waktu antara pengecoran dan prategang	1	3	5	7	10	20	30	60
Ksh	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

- c. Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja
 Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja :
 $RE = [Kre - J(SH+CR+ES)] \cdot C$

Dimana :

RE = kehilangan tegangan

C = faktor relaksasi yang tergantung jenis kawat

Kre = koefisien relaksasi

J = faktor waktu

SH = kehilangan tegangan akibat susut

CR = kehilangan tegangan akibat rangkak

ES = kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

3.8.5 Kontrol Momen Retak

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retakan-retakan kecil pertama pada balok beton prategang 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 :

$$M_{cr} = M_1 + M_2$$

$$M_1 = F \times (e + Kt)$$

$$M_2 = f_r \times W_b$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$$

Dimana :

M_{cr} = momen crack

F = gaya prategang pada saat servis

e = eksentrisitas tendon terhadap garis netral penampang beton

Kt = daerah kern sumbu netral beton

f_r = tegangan tarik pada serat terluar beton

W_b = momen resisten bawah (I/Y_b)

3.8.6 Kontrol Momen Nominal

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap penampang mencapai kuat nominal (f_{ps}) yang menghasilkan nilai momen nominal. Nilai f_{ps} 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 :

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2} \right) = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - 0,59 \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{b f'_c} \right)$$

Dengan ketentuan :

$$\varphi M_n > M_u ; \varphi M_n > 1,2 M_{cr}$$

Dimana :

M_n = momen nominal

M_u	= momen ultimate ($1,2 M_D + 1,6 M_L$)
A_{ps}	= luasan tendon prategang
f_{ps}	= tegangan pada tulangan prategang 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)

3.8.7 Kontrol Kuat Batas Beton Prategang

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

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

Dimana :

M_{cr}	= momen retak yang terjadi pada balok prategang
M_u	= momen <i>ultimate</i> balok prategang
M_n	= Kapasitas penampang
ϕ	= Faktor reduksi

3.8.8 Kontrol Geser

Kontrol geser serta perhitungan tulangan geser didasari pada SNI 2847:2013 ps.11.3. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

3.8.9 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 mempengaruhinya. (SNI 2847:2013 Ps.9.5.4) batas lendutan terdapat pada SNI 2847:2013 tabel 9.5(b) Lendutan pada elemen struktur beton prategang disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

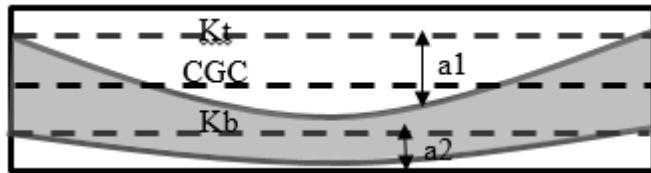
- Lendutan yang diakibatkan eksentrisitas tepi balok

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 prategang
Tendon yang diberikan gaya prategang mengakibatkan balok menerima lendutan dengan arah ke atas.
- c. Lendutan yang diakibatkan beban sendiri balok
Balok prategang memiliki berat sendiri yang mengakibatkan terjadinya lendutan ke arah bawah pada balok itu sendiri.
- d. Lendutan yang diakibatkan beban mati dan hidup yang bekerja di atas balok
Beton prategang 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.

3.8.10 Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel merupakan daerah batas penempatan pada tendon. Tegangan tarik pada serat beton terjauh akibat beban layan tidak boleh melebihi nilai maksimum yang diijinkan oleh peraturan yang ada. Oleh karena itu diperlukan daerah batas pada penampang beton dimana pada daerah tersebut gaya prategang dapat diterapkan pada penampang tanpa menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada penampang beton.



Gambar 3. 3 Daerah Limit Kabel

Dimana ;

$$a1(\text{atas}) = M_{\max}/F$$

$$a2(\text{bawah}) = M_{\min}/F_o$$

3.8.11 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 prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarluaskan secara lebih merata pada seluruh penampang.

3.9 Hasil Perbandingan dan Pembahasan

Hasil analisa dengan SNI 2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14 ditabelkan dan dibandingkan. Hasil perbandingan berupa volume tulangan geser yang dibutuhkan pada balok dengan dimensi penampang yang sama.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

4.1.1 Umum

Preliminary design merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, pelat, kolom, dan balok pratekan. Sebelum melakukan preliminary dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.1.2 Permodelan Gedung

Permodelan menggunakan beton bertulang pada keseluruhan struktur gedung. Berikut ini adalah data-data permodelan struktur gedung :

Gedung	: The Life Style Hotel Surabaya
Fungsi Bangunan	: Hotel
Lokasi	: Surabaya
Ketinggian	: 46,1 m
Jumlah Lantai	: 14 Lantai
Variable Desain	: Beton Prategang
Lokasi Beton Prategang	: Lantai Atap (Denah Terlampir)
Mutu Beton Prategang	: $f_c = 40 \text{ MPa}$
Mutu Baja Prategang	: Brosur Terlampir
Jenis Tanah	: Tanah Lunak (SE)

4.1.3 Premilinary Balok Prategang

Dimensi balok pratekan pada portal pada preliminary desain direncanakan sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{L}{20}$$
$$b = \frac{h}{2}$$

dimana :

L = panjang balok (cm)

h = tinggi balok (cm)

b = lebar balok (cm)

Balok pratekan yang direncanakan memiliki $L = 1200$ cm, sehingga diperoleh perencanaan

$$h_{\min} = \frac{L}{20} = \frac{1200}{20} = 60 \text{ cm} \approx 75 \text{ cm}$$

$$b = \frac{h}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ cm} \approx 55 \text{ cm}$$

Sehingga direncanakan balok pratekan dengan dimensi 45/65.

4.1.4 Preliminary Balok Non Beton Prategang

- Balok Induk

Dimensi balok induk non pratekan pada portal pada preliminary desain direncanakan sebagai berikut :

$$h = \frac{L}{16}$$

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

dimana :

L = panjang balok (cm)

h = tinggi balok (cm)

b = lebar balok (cm)

Balok induk non pratekan yang direncanakan memiliki $L = 600$ cm, sehingga diperoleh perencanaan

$$h_{\min} = \frac{L}{16} = \frac{600}{16} = 37,5 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}60 = 40 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

Sehingga direncanakan balok induk dengan dimensi 45/60

Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan preliminary design balok induk non prategang

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Type	L Balok (cm)	b (cm)	h (cm)
BI1	600	45	60
BI2	300	30	35
BI3	700	45	60
BI4	500	35	45
BI5	400	35	45

- Balok Anak

Dimensi balok anak pada portal pada preliminary desain direncanakan sebagai berikut :

$$h = \frac{L}{21}$$

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

dimana :

L = panjang balok (cm)

h = tinggi balok (cm)

b = lebar balok (cm)

Balok induk non pratekan yang direncanakan memiliki $L = 600$ cm, sehingga diperoleh perencanaan

$$h_{\min} = \frac{L}{21} = \frac{600}{21} = 28,57 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \cdot 40 = 26,67 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

Sehingga direncanakan balok induk dengan dimensi 35/40

Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan preliminary design balok anak

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak Prategang

Type	L Balok	b	h
	(cm)	(cm)	(cm)
BA1	600	35	40
BA2	500	35	40
BA3	400	25	30
BA4	300	25	30

4.1.5 Tebal Pelat Lantai

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan dan hasil gambar perencanaan dimensi Pelat Lantai data perencanaan dimensi struktur gedung Apartemen Taman Melati @MERR Surabaya adalah sebagai berikut :

- ❖ Data-data Perencanaan :
 - Kuat Tekan Beton (f_c') : 30 MPa
 - Kuat Leleh Tulangan (f_y) : 400 MPa
 - Rencana Tebal Pelat : 12 cm
 - Bentang Panjang Pelat (L_y) : 500 cm
 - Bentang Pendek Pelat (L_x) : 300 cm

- ❖ Gambar Denah Perencanaan :

- ❖ Perhitungan Perencanaan :
 - Bentang Bersih Pelat Sumbu Panjang :

$$L_n = L_y - \left[\frac{b_w}{2} + \frac{b_w}{2} \right]$$

$$L_n = 500 - \left[\frac{25}{2} + \frac{45}{2} \right]$$

$$L_n = 475 \text{ cm}$$

- Bentang Bersih Pelat Sumbu Pendek :

$$S_n = L_x - \left[\frac{b_w}{2} + \frac{b_w}{2} \right]$$

$$S_n = 300 - \left[\frac{35}{2} + \frac{35}{2} \right]$$

$$S_n = 255 \text{ cm}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek,

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = 1,9 < 2 \quad \text{Two Way Slab}$$

- Balok BA (25/30)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_{e1} = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ &= 25 + 2(30 - 12) \\ &= 61 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ &= 25 + (8 \times 12) \\ &= 121 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 61 \text{ cm}$$

- Faktor Modifikasi (Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG G. SALMON 16.4.2.b)

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{61}{25} - 1 \right) \times \left(\frac{12}{30} \right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{30} \right) + 4 \left(\frac{12}{30} \right)^2 + \left(\frac{60}{25} - 1 \right) \times \left(\frac{12}{30} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{60}{25} - 1 \right) \times \left(\frac{12}{30} \right)}$$

$$K = 1,487$$

- Momen Inersia Penampang-T

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

$$I_b = 1,487 \times 25 \times \frac{30^3}{12}$$

$$I_b = 83637,05 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

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

$$I_p = 0,5 \times \frac{500 \times 12^3}{12}$$

$$I_p = 36000 \text{ cm}^4$$

- Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

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

$$\alpha_l = 2,32$$

- Balok BA (25/30)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_{e1} = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h-t)$$

$$= 25 + 2(30 - 12)$$

$$= 61 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + (8 \times t)$$

$$= 25 + (8 \times 12)$$

$$= 121 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 61 \text{ cm}$$

- Faktor Modifikasi (Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG G. SALMON 16.4.2.b)

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{61}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{30}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{30}\right) + 4\left(\frac{12}{30}\right)^2 + \left(\frac{60}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{30}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{60}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{30}\right)}$$

$$K = 1,487$$

- Momen Inersia Penampang-T

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

$$I_b = 1,487 \times 25 \times \frac{30^3}{12}$$

$$I_b = 83637,05 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

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

$$I_p = 0,5 \times \frac{500 \times 12^3}{12}$$

$$I_p = 36000 \text{ cm}^4$$

- Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_2 = 2,32$$

- Balok BI (45/60)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_{e1} = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ &= 45 + 2(60 - 12) \\ &= 141 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ &= 45 + (8 \times 12) \\ &= 141 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 141 \text{ cm}$$

- Faktor Modifikasi (Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG G. SALMON 16.4.2.b)

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,591$$

- Momen Inersia Penampang-T

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

$$I_b = 1,487 \times 45 \times \frac{60^3}{12}$$

$$I_b = 1288931 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

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

$$I_p = 0,5 \times \frac{500 \times 12^3}{12}$$

$$I_p = 36000 \text{ cm}^4$$

- Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_3 = 3,804$$

- Balok BI (45/60)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T
(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_{e1} = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ &= 45 + 2(60 - 12) \\ &= 141 \text{ cm} \\ b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ &= 45 + (8 \times 12) \\ &= 141 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 141 \text{ cm}$$

- Faktor Modifikasi (Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG G. SALMON 16.4.2.b)

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{141}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{141}{45} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,591$$

- Momen Inersia Penampang-T

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

$$I_b = 1,487 \times 45 \times \frac{60^3}{12}$$

$$I_b = 1288931 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

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

$$I_p = 0,5 \times \frac{500 \times 12^3}{12}$$

$$I_p = 36000 \text{ cm}^4$$

- Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_4 = 3,804$$

❖ Dari keempat balok di atas didapatkan nilai rata-rata :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = 19,06 > 2$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3(c))

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

$$t = \frac{4750\left(0,8 + \frac{400}{1400}\right)}{36 + 9 \times 1,9} \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = 97,74 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan pelat dengan tebal $t = 130 \text{ mm}$

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Dimensi Pelat Lantai

Tipe	Ly (cm)	Lx (cm)	Tebal Pelat (cm)
1	500	300	13
2	600	200	13
3	400	300	13
4	300	300	13
5	600	350	13
6	400	300	13
7	700	300	13
8	600	350	13

9	500	300	13
10	700	600	13
11	600	500	13
12	600	400	13

4.1.6 Preliminary Desain Kolom

Dalam perencanaan kolom, pemilihan yang dilakukan adalah kolom yang mengalami pembebahan 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.

Karena denah yang tidak simetris, untuk mendapatkan beban aksial terfaktor terbesar dilakukan analisa struktur menggunakan SAP 2000 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 : 1000/1600

Berat total yang dipikul oleh kolom didapatkan dari beban beraktor yaitu :

$$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Sehingga kebutuhan luasan kolom dapat diperhitungkan menggunakan rumus berikut :

$$A_{\text{perlu}} = \frac{W_u}{\frac{1}{3} \times f_c}$$

Dari hasil analisa awal menggunakan program ETABS didapatkan hasil sebagai berikut :

$$W_u (\text{max}) = 915350.32 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \frac{W_u}{\frac{1}{3} \times f_c} \\
 &= \frac{915350.32}{\frac{1}{3} \times 400} \\
 &= 6865.1 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

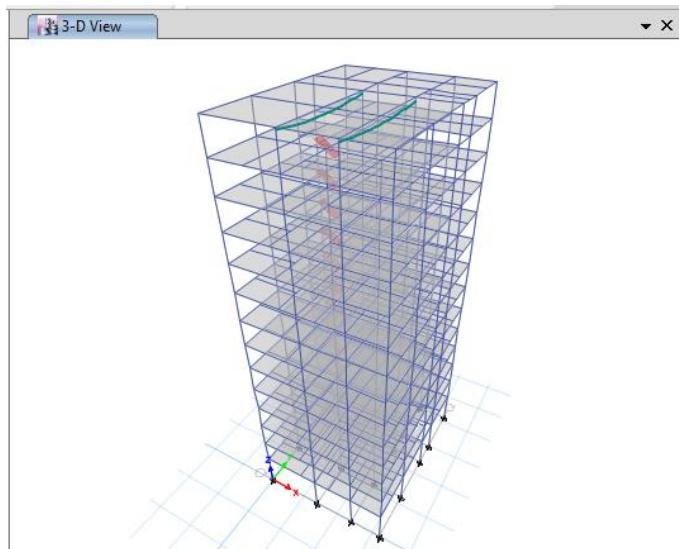
$$\begin{aligned}
 A_{\text{pakai}} &= 70 \text{ cm} \times 140 \text{ cm} \\
 &= 9800 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{pakai}} &> A_{\text{perlu}} \\
 9800 \text{ cm}^2 &> 6865.1 \text{ cm}^2 & (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

4.2 Permodelan Struktur

Struktur yang direncanakan adalah gedung hotel yang terdiri dari 14 lantai dengan total tinggi struktur 46.1 meter. Permodelan struktur gedung Life Style Hotel Surabaya dilakukan menggunakan program bantu ETABS. 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 Permodelan pada ETABS

4.2.1 Perhitungan Berat Struktur

Data perencanaan struktur seperti data luas lantai, tinggi struktur, panjang balok induk, dan balok anak merupakan data data yang diperlukan dalam perhitungan berat struktur.

4.2.1.1 Berat Total Bangunan

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk mengecek apakah perhitungan struktur gedung Life Style Hotel yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya geser nya sudah mencapai 85% gaya geser statik.

Pada tugas akhir ini perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis menggunakan program ETABS untuk kombinasi 1D + 1L.

4.2.1.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1726:2012 bangunan tahan gempa sebagai berikut :

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EL
- 0,9 DL + 1,0 EL

Keterangan :

DL = beban hidup

LL = beban mati

EL = beban gempa

4.2.2 Analisis beban Seismik

Pada struktur gedung Life Style Hotel ini mempunyai jumlah lantai 14 tingkat dengan ketinggian 46,1 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.

4.2.2.1 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 Respons Spektrum X :

- 100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
- Gempa Respons Spektrum Y
100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektivitas arah X

4.2.2.2 Penentuan Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 5.1 penentuan klasifikasi situs dilakukan dengan menentukan tahanan penetrasi rata-rata (\bar{N}) yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai SPT

Lapisan ke-i	Tebal Lapisan	Nilai SPT	di/Ni
1	3	8	0.375
2	3	8	0.375
3	3	14	0.21429
4	3	8	0.375
5	3	8	0.375
6	3	10	0.3
7	3	12	0.25
8	3	50	0.06
9	3	50	0.06
10	3	50	0.06
Σ	30		2.44429

$$\begin{aligned} N &= \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \\ &= 12,27 < 15 \end{aligned}$$

Maka tergolong tanah lunak

4.2.2.3 Faktor Keutamaan (I_e)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan apartemen. Pada Tabel 1 SNI 1726:2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai $I_e = 1,0$.

4.2.2.4 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 surabaya dengan kondisi tanah lunak (kelas situs SE) :

- $PGA = 0,327$
- $S_S = 0,665$
- $S_1 = 0,249$
- $CR_S = 0,991$
- $CR_1 = 0,928$
- $F_a = 1,37$
- $F_v = 3,006$
- $S_{MS} = 0,911$
- $PSA = 0,366$
- $S_{M1} = 0,747$
- $S_{DS} = 0,607$
- $S_{D1} = 0,498$
- $T_0 = 0,164$
- $T_S = 0,82$

4.2.2.5 Kategori Desain Seismik (KDS)

Semua struktur harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, SDS dan SD1. 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 II dimana nilai parameter SDS = 0,607 ($0,50 \leq SDS$) dan SD1 = 0,498 ($0,20 \leq SD1$). Sehingga kategori desain seismik berdasarkan data tersebut adalah termasuk dalam kategori desain seismik D

4.2.2.6 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini menggunakan material beton bertulang dan direncanakan dengan sistem rangka pemikul momen – Rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK). Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 nilai koefisien modifikasi respon (R) = 8 dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω) = 3.

4.2.3 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu ETABS, 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.

4.2.3.1 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. 5 Kontrol Partisipasi Massa

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.0022	0.7338
Modal	2	0.7055	0.7364
Modal	3	0.7117	0.7381
Modal	4	0.7117	0.8425
Modal	5	0.833	0.8425
Modal	6	0.8364	0.8426
Modal	7	0.8364	0.886
Modal	8	0.8878	0.886
Modal	9	0.8879	0.9122
Modal	10	0.9091	0.9135
Modal	11	0.9228	0.9428
Modal	12	0.9485	0.9509

Dari tabel di atas, didapat partisipasi massa arah X sebesar 90,91% pada moda ke 10 dan partisipasi massa arah Y sebesar 91% pada moda ke 10. 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%.

4.2.3.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T_f)

dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:2012, periode fundamental struktur harus ditentukan dari :

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

Nilai T_a di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atasnya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai S_{D1} .

Struktur gedung Life Style Hotel memiliki tinggi dari lantai dasar hingga atas gedung adalah 46,1 m. Pada struktur ini digunakan tipe struktur rangka beton pemikul momen sehingga pada Tabel 15 SNI 1726:2012 didapatkan nilai :

$$C_t = 0,0466^a$$

$$x = 0,9$$

$$h_n = 46,1 \text{ m}$$

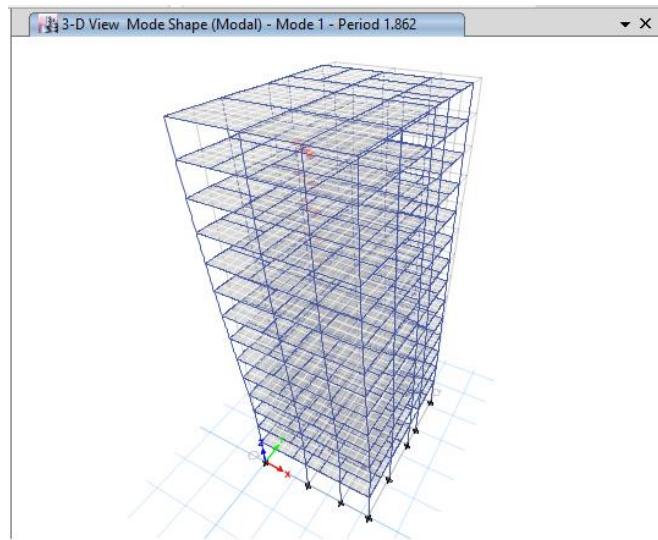
maka :

$$T_a = 0,0466 \times 46,1^{0,9} = 1,465 \text{ s}$$

Nilai $C_u = 1,4$, didapat dari Tabel 14 SNI 1726:2012, untuk $S_{D1} = 0,427$, maka :

$$T = C_u \times T_a = 1,4 \times 1,465 = 2,05 \text{ s}$$

Dari hasil analisa ETABS didapat :



Gambar 4. 2 Nilai Periode dari ETABS

Dari gambar di atas didapat $T = 1,862$ s. maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental nilai T masih lebih kecil dari $C_u \times T_a$. Jadi analisis struktur gedung Life Style Hotel masih memenuhi syarat SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.

4.2.3.3 Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

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

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1})$$

Dimana :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0,6}{\frac{8}{I}} = 0,075$$

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

Beban gempa dinamik :

$$T_c = 1,862$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,427}{1,862 \times \frac{8}{1}} = 0,032$$

Maka diambil nilai $C_s = 0,032$

Dan tidak lebih kecil dari :

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\ &= 0,044 \times 0,6 \times 1 \\ &= 0,0264 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai $C_s = 0,032$

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung ini adalah 9108578 kg

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_s \times W \\ &= 0,032 \times 9108578 \text{ kg} \\ &= 290198 \text{ kg} \end{aligned}$$

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

Tabel 4. 6 Kontrol Base Shear

Beban Gempa	Global FX	Global FY
	Kgf	Kgf
Gempa X	272806	1379,53
Gempa Y	1331,72	271644,6

Kontrol :

- Gempa Arah X

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

$$272806 \text{ kg} \geq 85\% 290198 \text{ kg}$$

$$272806 \text{ kg} \geq 221762 \text{ kg (OK)}$$

- Gempa Arah Y
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% V_{\text{statik}}$
 $271644,6 \text{ kg} \geq 85\% 290198 \text{ kg}$
 $271644,6 \text{ kg} \geq 221762 \text{ kg (OK)}$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung ini masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.

4.2.3.4 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus :

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana :

Δ_i = simpangan yang terjadi

Δ_a = simpangan ijin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1 :

$$\Delta_1 = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I}$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2 :

$$\Delta_2 = \frac{C_d}{I} \times \delta_{e2} - \delta_{e1}$$

Dimana :

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

$$I = \text{faktor keutamaan gedung}$$

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 didapatkan nilai $I = 1$. Dari tabel 16 SNI 1726:2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar lantai ijinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,025 \times h_{sx}$$

Dimana :

$$h_{sx} = \text{tinggi tingkat dibawah tingkat } x$$

untuk tinggi tingkat 3,2 m, simpangan ijinnya adalah :

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,025 \times 3,2 \text{ m} \\ &= 0,08 \text{ m}\end{aligned}$$

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

Tabel 4. 7 Kontrol Story Drift

Story	Load	Drift	Δ	$\Delta \cdot C_d / I_e$	h	Δ_{izin}	CEK
	case	mm		mm	mm	mm	
Lantai Atap	Quake X Max	33.88	1.451	5.320	3200	84.000	OKE
Lantai 13	Quake X Max	32.429	1.631	5.980	3200	84.000	OKE
Lantai 12	Quake X Max	30.798	1.877	6.882	3200	84.000	OKE
Lantai 11	Quake X Max	28.921	2.151	7.887	3200	84.000	OKE
Lantai 10	Quake X Max	26.77	2.427	8.899	3200	84.000	OKE
Lantai 9	Quake X Max	24.343	2.685	9.845	3200	84.000	OKE

Lantai 8	Quake X Max	21.658	2.907	10.659	3200	84.000	OKE
Lantai 7	Quake X Max	18.751	3.076	11.279	3200	84.000	OKE
Lantai 6	Quake X Max	15.675	3.174	11.638	3200	84.000	OKE
Lantai 5	Quake X Max	12.501	3.173	11.634	3200	84.000	OKE
Lantai 4	Quake X Max	9.328	3.040	11.147	3200	84.000	OKE
Lantai 3	Quake X Max	6.288	2.725	9.992	3200	84.000	OKE
Lantai 2	Quake X Max	3.563	2.162	7.927	3200	84.000	OKE
Lantai 1	Quake X Max	1.401	1.401	5.137	3200	84.000	OKE
Base	Quake X Max	0	0	0	4500	112.500	OKE

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

4.3 Perencanaan Struktur Sekunder

4.3.1 Perencanaan Tulangan Pelat

Pelat/slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam desain, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya dua kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (*one way slab*), dengan tulangan utama sejajar dengan gelagar dan tulangan susut dan suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan bila perbandingan bentang

panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya kurang dari dua, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat menyebabkan kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung disekelilingnya, dengan demikian, pelat tersebut dapat didefinisikan sebagai pelat dua arah (*two way slab*), dengan tulangan utama dipasang dua arah yaitu searah sumbu x dan sumbu y, sedangkan tulangan susut dan tulangan suhu dipasang mengitari pelat tersebut.

Pelat direncanakan menerima beban berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Dimana:

- U = beban ultimate pelat
- DL = beban mati pelat
- LL = beban hidup pelat

Dikarenakan pelat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya sehingga pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3 Tabel 1.3(1) pelat termasuk dalam tipe II, dimana persamaan gaya dalam momen yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$M_{tx} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{lx} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = + 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

Dimana:

$$M_{tx} = \text{momen tumpuan arah x}$$

$$M_{lx} = \text{momen lapangan arah x}$$

$$M_{ty} = \text{momen tumpuan arah y}$$

$$M_{ly} = \text{momen lapangan arah y}$$

$$X = \text{koefisien (tabel 13.3(1) PBBI 1971)}$$

4.3.1.1 Pembebanan Pelat Lantai

- Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1:

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Berat pelat (13 cm) | = 0.13 m x 2400 kg/m ³ |
| | = 312 kg/m ² |
| Berat spesi (1 cm) | = 1 cm x 21 kg/m ² |
| | = 21 kg/m ² |
| Berat keramik (1 cm) | = 1 cm x 24 kg/m ² |
| | = 24 kg/m ² |
| Berat plafond | = 11 kg/m ² |
| Berat penggantung plafond | = 7 kg/m ² |
| Berat perpipaan air | = 25 kg/m ² |
| Instalasi listrik, AC, dll | <u>= 40 kg/m²</u> + |
| q DL | = 440 kg/m ² |
- Beban hidup sesuai dengan PPIUG 1983 tabel 3.1
Beban hidup lantai = 192 kg/m²
 - Beban ultimate

$$\begin{aligned} U &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (440 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 835,2 \text{ kg/m}^2. \end{aligned}$$

4.3.1.2 Pembebanan Pelat Atap

- Beban mati sesuai PPIUG 1983 tabel 2.1:

Berat pelat (13 cm)	= 0.13 m x 2400 kg/m ³
	= 312 kg/m ²
Berat aspal (4 cm)	= 4 cm x 14 kg/m ²
	= 56 kg/m ²
Berat plafond	= 11 kg/m ²
Berat penggantung plafond	= 7 kg/m ²
Berat perpipaan air	= 25 kg/m ²
Instalasi listrik, AC, dll	<u>= 40 kg/m²</u> +
q DL	= 451 kg/m ²
- Beban hidup sesuai dengan PPIUG 1983 tabel 3.1
Beban hidup lantai atap = 96 kg/m²
- Beban ultimate

$$\begin{aligned} U &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (451 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (96 \text{ kg/m}^2) \\ &= 694,8 \text{ kg/m}^2. \end{aligned}$$

4.3.1.3 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

a. Data Perencanaan Pelat

$$\text{Mutu Beton (f'_c)} = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Baja (f_y)} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Baja (f_y)s} = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut Beton} = 20 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7)

$$\varnothing \text{ tulangan lentur} = 12 \text{ mm}$$

$$\varnothing \text{ tulangan susut} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Bentang pelat sumbu panjang (L_y)} = 500 \text{ cm}$$

$$\text{Bentang pelat sumbu pendek (L_x)} = 300 \text{ cm}$$

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{500}{300} = 1,7 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

b. Momen Terjadi

Koefisien momen untuk pelat lantai 500 cm x 300 cm adalah :

$$\text{Nilai Ctx} = 38$$

$$\text{Nilai Cty} = 81$$

$$\text{Nilai Clx} = 14$$

$$\text{Nilai Cly} = 57$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 835,2 \text{ kg/m}^2 \cdot (3 \text{ m})^2 \cdot 38 \\ &= 285,64 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

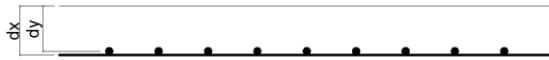
$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 835,2 \text{ kg/m}^2 \cdot (3 \text{ m})^2 \cdot 81 \\ &= 608,86 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\ &= 0,001 \cdot 835,2 \text{ kg/m}^2 \cdot (3 \text{ m})^2 \cdot 14 \\ &= 105,24 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,001 \cdot 835,2 \text{ kg/m}^2 \cdot (3 \text{ m})^2 \cdot 57 \\
 &= 428,46 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

c. Tebal Manfaat Pelat



$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \varnothing \\
 &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}) \\
 &= 105 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing \\
 &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}) \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d. Tulangan Minimum dan Maksimum

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600+f_y} = 0,033$$

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,69$$

e. Kebutuhan Tulangan

- o Tulangan Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 285,64 \text{ kg/m}^2 = 2856400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\theta} = 3173760 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = 0,29627$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1-2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0012$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$

$$0,0035 > 0,0012 < 0,025$$

(Tidak Oke)

Maka digunakan ρ_{\min}

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

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

$$= 367,5 \text{ mm}^2$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}}} \\ &= \frac{1000}{\frac{367,5}{113,04}} \\ &= 307,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D13-130

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \cdot h \\ &= 2 \cdot 130 \text{ mm} \\ &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 608,86 \text{ kg/m}^2 = 6088600 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\theta} = 6765120 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = 0,63$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0027$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$

$$0,0035 > 0,0027 < 0,025$$

(Tidak Oke)

Maka digunakan ρ_{\min}

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

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

$$= 367,5 \text{ mm}^2$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned}\text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}}} \\ &= \frac{1000}{\frac{367.5}{113.04}} \\ &= 307.7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D13-130

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$\begin{aligned}S_{\max} &= 2 \cdot h \\ &= 2 \cdot 130 \text{ mm} \\ &= 260 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Tulangan Lapangan Arah Y

$$M_{ly} = 105.24 \text{ kg/m}^2 = 1052400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\theta} = 1169280 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = 0,143$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,000597$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,0035 > 0,000597 < 0,025$ (Tidak Oke)

Maka digunakan ρ_{\min}

$$\begin{aligned}As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 367.5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned}\text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}}} \\ &= \frac{1000}{\frac{367.5}{113.04}} \\ &= 307.7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D13-130

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \cdot h \\ &= 2 \cdot 130 \text{ mm} \\ &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tulangan Tumpuan Arah Y

$$M_{ty} = 428,46 \text{ kg/m}^2 = 4284600 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\theta} = 4760640 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = 0,58126$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,00245$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,0035 > 0,00245 < 0,025$ (Tidak Oke)

Maka digunakan ρ_{\min}

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 367,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}}} \\ &= \frac{1000}{\frac{367,5}{113,04}} \\ &= 307,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D13-300

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \cdot h \\ &= 2 \cdot 130 \text{ mm} \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tulangan Susut

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1 : untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) = 0,0018

$$\begin{aligned} A_{susut} &= \rho_{susut} \times b \times \text{tebal pelat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 130 \text{ mm} \\ &= 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø8 mm

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}}} \\ &= \frac{1000}{\frac{234}{50,27}} \\ &= 215,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D8-200

Syarat : $S_{\max} \leq 5h$ atau $S_{\max} \leq 450$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 5 \times 130 \text{ mm} \\ &= 650 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Regangan

Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{spakai} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1021 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} \\ &= 16,02 \end{aligned}$$

Rasio dimensi panjang terhadap pendek

$$\beta = 0,85$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{16,02}{0,85} = 18,84 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 105 = 39,375 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$18,84 \text{ mm} \leq 48,75 \text{ mm} \quad (\text{asumsi benar}, \varnothing = 0,9)$$

(SNI 2837:2013 pasal 9.3.2)

Regangan tarik

$\varepsilon_0 = 0,003$ berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.2.3

Regangan tarik netto

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon_0 \times (d_x - c)}{c} = \frac{0,003 \times (130 - 18,84)}{18,84} = 0,018 > 0,005$$

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Hasil Penulangan Pelat Lantai

Tipe	Ly	Lx	Lap-x	Lap-y	Tum-x	Tum-y
			mm	mm	mm	mm
1	5	3	13-130	13-130	13-130	13-130
2	6	2	13-130	13-130	13-130	13-130
3	4	3	13-130	13-130	13-130	13-130
4	3	3	13-130	13-130	13-130	13-130
5	6	3.5	13-130	13-130	13-130	13-130
6	4	3	13-130	13-130	13-130	13-130
7	7	3	13-130	13-130	13-130	13-130
8	6	3.5	13-130	13-130	13-130	13-130
9	5	3	13-130	13-130	13-130	13-130
10	7	6	13-130	13-130	13-130	13-130
11	6	5	13-130	13-130	13-130	13-130
12	6	4	13-130	13-130	13-130	13-130

4.3.2 Desain Struktur Tangga

Perencanaan tangga pada Gedung Life Style Hotel Surabaya ini dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi perletakan berupa sendi dan rol (diletakkan pada ujung bordes).

- **Desain Tangga Tipe 1**

Data Desain :

- Tinggi antar lantai = 320 cm
- Lebar injakan = 30 cm
- Tinggi injakan = 20 cm
- Tebal pelat tangga = 15 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm

- Lebar bordes = 300 cm
 - Lebar tangga = 130 cm
 - Jumlah tanjakan dan injakan (ni)
- $$nt = \frac{160 \text{ cm}}{20} = 8 \text{ buah}$$
- $$ni = nt - 1 = 8 - 1 = 7 \text{ buah}$$

Syarat Desain Tangga

$$60 \text{ cm} < 2t + i \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} < 2.20 + 30 \leq 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} < 70 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm}$$

Syarat Kemiringan

$$\tan^{-1} \left(\frac{160}{240} \right) = 33.69 < 40 \quad (\text{Memenuhi})$$

Tebal Pelat Rata-rata

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{i}{2} \right) \times \sin\alpha \\ &= \left(\frac{30}{2} \right) \times \sin 33.69 \\ &= 11.44 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal Rata-rata} &= T + \text{tebal pelat tangga} \\ &= 11.44 \text{ cm} + 15 \text{ cm} \\ &= 26.44 \text{ cm} \end{aligned}$$

A. Pembebanan Tangga

- Pembebanan Pelat Tangga

1. Beban Mati

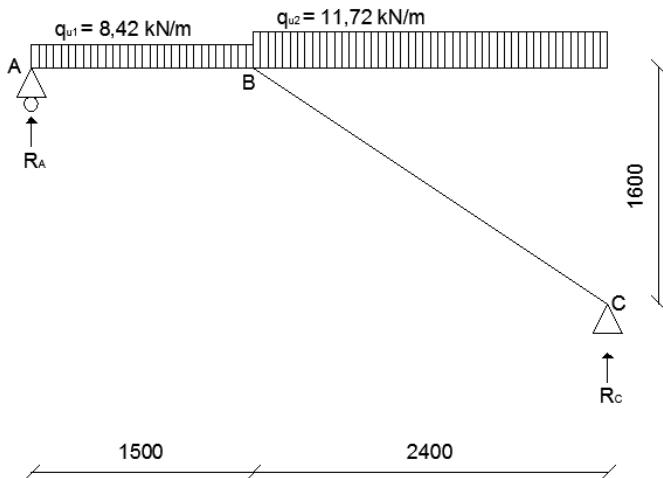
$$\begin{aligned} \text{Berat Sendiri} &= 0.264 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 6.34 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Railing} &= 0.2 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Keramik} &= 1 \text{ cm} \times 0.24 \text{ kN/m}^3 = 0.24 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Spesi} &= 2 \text{ cm} \times 0.21 \text{ kN/m}^3 = 0.42 \text{ kN/m}^2 \\ \text{TOTAL} &= 7.21 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

Beban Hidup	= 1.92 kN/m ²
3. Beban Ultimate (1.2 D + 1.6 L)	= 11.72 kN/m ²
• Pembebaan Bordes	
1. Beban Mati	
Berat Sendiri	= 0.15 m x 24 kN/m ³ = 3.6 kN/m ²
Railing	= 0.2 kN/m ²
Keramik	= 1 cm x 0.24 kN/m ³ = 0.24 kN/m ²
Spesi	= 2 cm x 0.21 kN/m ³ = 0.42 kN/m ²
	TOTAL = 4.46 kN/m ²
2. Beban Hidup	
Beban Hidup	= 1.92 kN/m ²
3. Beban Ultimate (1.2 D + 1.6 L)	= 8.42 kN/m ²

B. Analisis Struktur Tangga

Pada proses analisis struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tertentu dengan perletakan berupa sendi rol seperti ditunjukkan pada gambar



Gambar 4. 3 Struktur Mekanika Tangga

Analisis Gaya Dalam pada Tangga

- Reaksi Perletakan

$$\sum M_A = 0$$

$$-R_C \times 3.9 + 28.13 \times 2.7 + 12.64 \times 0.75 = 0$$

$$-R_C \times 3.9 + 75.94 + 9.48 = 0$$

$$R_C = 21.901 \text{ kN}$$

$$\sum M_C = 0$$

$$R_A \times 3.9 - 12.64 \times 3.15 + 28.13 \times 1.2 = 0$$

$$R_A \times 3.9 - 39.80 - 33.75 = 0$$

$$R_A = 18.860 \text{ kN}$$

- Perhitungan Gaya Lintang

Potongan X_1

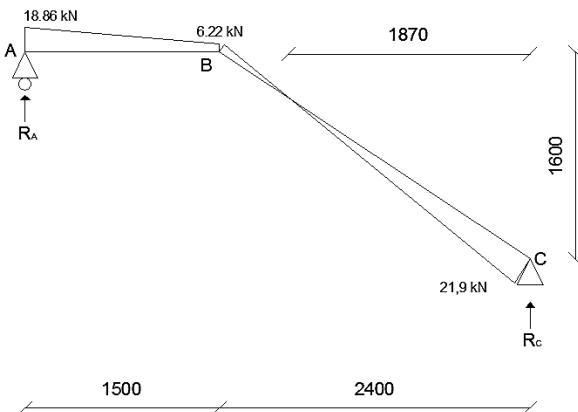
$$\begin{aligned} DX_1 &= R_A - q_1 \times X_1 \\ &= 18.86 - 8.42X_1 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll} X_1 & = 0, & D_A = 18.86 \text{ kN} \\ X_1 & = 1.5, & D_B = 6.22 \text{ kN} \end{array}$$

Potongan X_2

$$\begin{aligned} DX_2 &= R_C - q_2 \times X_2 \\ &= 21.90 - 11.72X_2 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll} X_2 & = 0, & D_C = 21.90 \text{ kN} \\ X_2 & = 2.4, & D_B = -6.22 \text{ kN} \end{array}$$



Gambar 4. 4 Diagram Gaya Lintang Tangga

- Perhitungan Momen

Potongan X_1

$$\begin{aligned} MX_1 &= R_A \times X_1 - \frac{q_1 \times X_1^2}{2} \\ &= 18.86 \times X_1 - \frac{8.42 \times X_1^2}{2} \\ X_1 &= 0, \quad M_A = 0 \text{ kN.m} \\ X_1 &= 1.5, \quad M_B = 18.81 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Potongan X_2

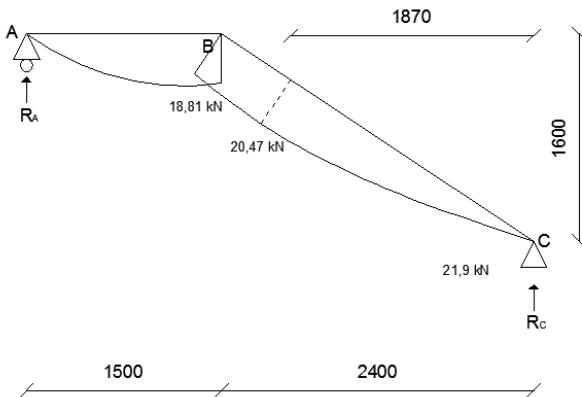
$$MX_2 = R_C \times X_2 - \frac{q_2 \times X_2^2}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 21.90 \times X_2 - \frac{11.72 \times X_2^2}{2} \\
 X_2 &= 0, \quad M_c = 0 \text{ kN.m} \\
 X_2 &= 2.4, \quad M_B = 18.81 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen Maksimum

$$\begin{aligned}
 R_C + q_2 \times X_2 &= 0 \\
 21.90 + 11.72X_2 &= 0 \\
 X_2 &= 1.87 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= R_C \times X_2 - \frac{q_2 \times X_2^2}{2} \\
 &= 21.90 \times X_2 - \frac{11.72 \times X_2^2}{2} \\
 &= 20.47 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 5 Diagram Gaya Momen Tangga

C. Penulangan Tulangan Lentur Tangga

Data Desain :

- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- β_1 = 0.85
- Tebal pelat (t) = 15 cm
- Selimut beton = 20 mm

- Diameter tulangan = 13 mm
- Kuat tarik (f_y) = 400 MPa
- ρ_{min} untuk pelat = 0.002
- ϕ = 0.8

Sehingga nilai ρ perlu dapat dihitung sebagai berikut :

Direncanakan menggunakan tulangan D13-100

$$Mu = 20.47 \text{ kN.m} = 20465572.7 \text{ N.mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.81 \times f_c} = \frac{400}{0.81 \times 30} = 15.69$$

$$d = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan} \\ = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\ = 123.5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d} \\ = \frac{20465572.7 \text{ N.mm}}{0.8 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm}} \\ = 1.68 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1-2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{15.69} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1-2 \times 15.69 \times 1.68}{400}} \right) \\ = 0.0043 > \rho_{min} \quad (\text{maka digunakan } \rho_{perlu})$$

Sehingga didapatkan :

$$A_{spesial} = \rho_{perlu} \times b \times d \\ = 0.0043 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm} \\ = 536.106 \text{ mm}^2$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\text{Jarak} = \frac{1000}{\frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}}} \\ = \frac{1000}{\frac{536.106}{132.73}} \\ = 247.5 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan D13-100

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2h \\ 100 \text{ mm} &\leq 2 \times 150 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} &\leq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

D. Penulangan Tulangan Lentur Bordes

Data Desain :

- Mutu beton (f_c) = 30 MPa
- β_1 = 0.85
- Tebal pelat (t) = 15 cm
- Selimut beton = 20 mm
- Diameter tulangan = 13 mm
- Kuat tarik (f_y) = 400 MPa
- ρ_{\min} untuk pelat = 0.002
- ϕ = 0.9

Sehingga nilai ρ perlu dapat dihitung sebagai berikut :

Direncanakan menggunakan tulangan D13-100

$$M_u = 18.81 \text{ kN.m} = 18812815.22 \text{ N.mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.81 \times f_c} = \frac{400}{0.81 \times 30} = 15.69$$

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{diameter tulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\ &= 123.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d} \\ &= \frac{18812815.22 \text{ N.mm}}{0.9 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm}} \\ &= 1.49 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1-2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15.69} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1-2 \times 15.69 \times 1.49}{400}} \right) \\ &= 0.0038 > \rho_{\min} \quad (\text{maka digunakan } \rho_{\text{perlu}}) \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} A_s_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0.0038 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 474,62 \text{ mm}^2$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned}\text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}}} \\ &= \frac{1000}{\frac{474,62}{132,73}} \\ &= 279,66 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D13-200

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$200 \text{ mm} \leq 2 \times 150 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Penulangan Tangga

Tipe Tangga	Tinggi Tangga	Tulangan Pelat Tangga	Tulangan Pelat Bordes
1	3.2 m	13-100	13-200
2	4.5 m	13-80	13-80

4.3.3 Perhitungan Balok Bordes

a. Data Perencanaan

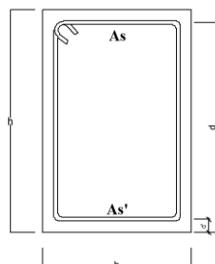
Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

Tipe Balok	= BB
Bentang Balok (L)	= 3000 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 350 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 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_{lentur})	= 16 mm
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 8 mm

Diameter Tulangan Puntir (D_{puntir})	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (S_{sejajar})	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{\text{antar lapis}}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 30 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,9
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ)	= 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 400 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\
 &= 354 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 30 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\
 &= 46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 6 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa ETABS

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari

beberapa macam kombinasi pembebahan. Kombinasi pembebahan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebahan non-gempa

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L$
3. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$
4. $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebahan gempa

5. $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
6. $U = 0,9 D + 1,0 E$

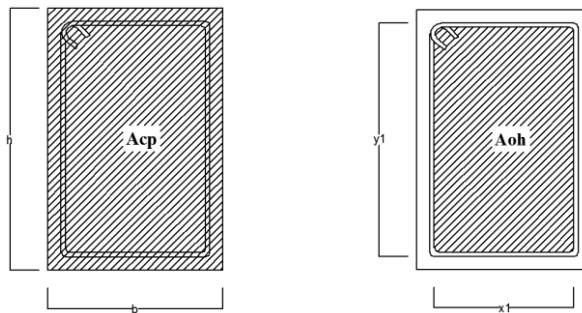
Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi Envelope adalah kombinasi kritis dalam permodelan.

Hasil Output ETABS

Torsi	= 61468500 N.mm
Momen Tumpuan Kanan	= 112261900 N.mm
Momen Tumpuan Kiri	= 104127300 N.mm
Momen Lapangan	= 40735900 N.mm
Gaya Geser Tump. Kanan	= 31087,9 N
Gaya Geser Tump. Kiri	= 27784,5 N

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 35/40



Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 350 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 140000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} \times h_{balok}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} \\ &\quad - \emptyset_{geser}) \\ &= (350 \text{ mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \times (400 \text{ mm} \\ &\quad - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\ &= 93624 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - \\ &\quad 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(350 \text{ mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \times (400 \\ &\quad \text{mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm})] \\ &= 1196 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.3.3.1 Perhitungan Penulangan Puntir

$$Tu = 61468500 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= 81958000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 31087,9 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu biasanya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_{u \min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(140000 \text{ mm})^2}{1500 \text{ mm}} \right) \\ &= 4473068 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \max} &= \phi \times 0,033 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(140000 \text{ mm})^2}{1500 \text{ mm}} \right) \\ &= 17892270 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$

$17720600 \text{ N.mm} < 61468500 \text{ N.mm} \rightarrow (\text{maka memerlukan tulangan puntir})$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang (longitudinal).

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + 0,66\sqrt{f'_c} \right)$$

$0,224 < 3,185$ (memenuhi)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{F_y t}{F_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_y t}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 93624 \text{ mm}^2 \\ &= 79580,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_y t \times \cot \phi} \\ &= \frac{28382000 \text{ N.mm}}{2 \times 79580,4 \times 280 \times \cot 45} \\ &= 1,839 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \left(\frac{F_y t}{F_y} \right) \cot^2 \phi \\ &= 1,839 \text{ mm} \times 1196 \text{ mm} \times \left(\frac{280}{400} \right) \times \cot^2 45^\circ \\ &= 1539,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsional longitudinal minimum harus dihitung dengan :

$$A_l \min = \frac{0,42 \times \sqrt{f'_c} \times A_{ep}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{F_y t}{F_y}$$

$$= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 140000}{400} - 1,839 \times 1196 \times \frac{280}{400}$$

$$= -740,9 \text{ mm}^2$$

Digunakan nilai Al yang maksimum yaitu 1539,67 mm².

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{\text{Al}}{4} = \frac{1539,67 \text{ mm}^2}{4} = 384,92 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok.

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok.

Maka masing sisi atas bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 310,35mm²

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{\text{Al}}{4} = 2 \times \frac{384,92}{4} = 769,833 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

Direncanakan tulangan diameter 19 mm

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{\text{Luasan D puntir}} \\ &= \frac{769,833}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 2,7 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan puntir 4D19

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} As &= n \times \text{Luasan D puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontol:

$As_{pasang} \geq As_{perlu}$
 $1134,115 \text{ mm}^2 \geq 769,833 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 4D19

4.3.3.2 Perhitungan Penulangan Lentur DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 354 \text{ mm} \\ &= 212 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 212 \text{ mm} \\ &= 159 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 80 \text{ mm} \\ &= 606900 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{f_y} \\
 &= \frac{606900 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 1517 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\
 &= 1517 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(354 - \frac{0,85}{2} \right) \\
 &= 194208000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned}
 M_{u_{tumpuan}} &= 112261900 \text{ N.mm} \\
 M_n &= M_{ux} / \phi \\
 &= 112261900 / 0,9 \\
 &= 124735444,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_n > M_{nc}$ → maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$ → maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$

$124735444,4 \text{ N.mm} < 194208000 \text{ N.mm}$
 (tidak perlu tulangan lentur tekan)
 Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,6863
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} \\
 &= 0,0034 \\
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,0325 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244 \\
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 112261900 / 0,9 \\
 &= 124735444,4 \text{ N.mm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{124735444,4 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \times (354 \text{ mm})^2} \\
 &= 2,8 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 2,8}{400}} \right] \\
 &= 0,0076
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0,0034 &< 0,0076 < 0,0244 \quad (\text{Oke})
 \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0076 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\
 &= 936,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$At = 384,92 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= 936,4 \text{ mm}^2 + 384,92 \text{ mm}^2 \\ &= 1321 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \varnothing \text{ lentur}} \\ &= \frac{1321}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 5,105 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1701,0575 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\ 1321 \text{ mm}^2 &< 1701,0575 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,5 \times As \\ &= 0,5 \times 1701,0575 \text{ mm}^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \varnothing \text{ lentur}} \\ &= \frac{850,59}{0,25 \times \pi \times 19^2} \end{aligned}$$

$$= 3 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,1149 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{\text{perlu}} < A_{\text{pasang}}$$

$$850,59 \text{ mm}^2 < 1134,1149 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 6D19 dan tulangan tekan 1 lapis 3D19

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \varnothing_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (6 \cdot 19)}{6-1} \\ &= 53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$53 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \varnothing_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (3 \cdot 19)}{4-1} \\ &= 66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$66 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1701,0575 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,1149 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ M lentur tumpuan (-)

$$1134,1149 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 1701,0575 \text{ mm}^2$$

1134,1149 mm² $\geq 850,529 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{1701,0575}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 76 / 0,85 \\ &= 89,7 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \varphi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \varphi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$89,7 / 354 < 0,375$$

$$0,25 < 0,375$$

Maka asumsi $\phi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{1701,0575}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 76 \\ &= 680468,97 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\ &= 680468,97 \times (354 - 0,85 \times 76/2) \\ &= 218836585,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$218836585,5 \text{ N.mm} > 140327375 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok BB (35/40)
untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 6D19
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 3D19

DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d$$

$$= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 354 \text{ mm}$$

$$= 212 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 212 \text{ mm}$$

$$= 159 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d'$$

$$= 46 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 80 \text{ mm}$$

$$= 606900 \text{ N}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$Asc = \frac{C_c'}{f_y}$$

$$= \frac{606900 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$= 1517 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right)$$

$$= 1517 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(354 - \frac{0,85}{2} \right)$$

$$= 194208000 \text{ N.mm}$$

Momen Lentur Nominal

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 40735900 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= M_{ux} / \phi \\
 &= 40735900 / 0,9 \\
 &= 45262111,11 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_n > M_{nc}$ → maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$ → maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$

$50919875 \text{ N.mm} < 194208000 \text{ N.mm}$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,6863
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} \\
 &= 0,0034
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= M_u / \phi \\
 &= 40735900 / 0,8 \\
 &= 45262111,11 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\
 &= \frac{45262111,11 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \times (354 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,03 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 1,03}{400}} \right] \\
 &= 0,0026
 \end{aligned}$$

Syarat :

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

$$0,0034 > 0,0026 < 0,0244 \quad (\text{Oke})$$

Karena nilai dari ρ_{perlu} kurang dari ρ_{\min} , maka digunakan nilai ρ_{\min} .

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0034 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\
 &= 424,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$At = 384,92 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}
 As_{\text{perlu}} &= 424,1 \text{ mm}^2 + 384,92 \text{ mm}^2 \\
 &= 809,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{809,1}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 2,854 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &< A_{\text{pasang}} \\
 809,1 \text{ mm}^2 &< 850,586 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,5 \times As \\
 &= 0,5 \times 809,1 \text{ mm}^2 \\
 &= 404,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \varnothing_{\text{lentur}}} \\
 &= \frac{404,5}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 1,427 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &< A_{\text{pasang}} \\
 404,5 \text{ mm}^2 &< 850,59 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D19 dan tulangan tekan 1 lapis 3D19

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (3 \cdot 19)}{3-1} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

109 mm > 25 mm (**memenuhi**)

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (2 \cdot 19)}{3-1} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

109 mm > 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2*)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ M lentur tumpuan (-)

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 850,59 \text{ mm}^2$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 425,295 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{850,59}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 38 / 0,85 \\ &= 44,8 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \phi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$44,8/354 < 0,375$$

$$0,13 < 0,375$$

Maka asumsi $\phi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{850,59}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 38 \\ &= 340234,48 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_{\text{pasang}} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\
 &= 340234,48 \times (354 - 0,85 \times 38/2) \\
 &= 114930650,1 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 Mn_{\text{pasang}} &> Mn_{\text{perlu}} \\
 114930650,1 \text{ N.mm} &> 50919875 \text{ N.mm} \\
 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BB (35/40) untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 3D19
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 3D19

4.3.3.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe Balok	= BB
Lebar Balok (b_{balok})	= 350 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 mm
Bentang Balok	= 3000 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 280 MPa
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 &= \left(\frac{1134,115 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \\
 &= 38,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1134,115 \times 400 \times \left(354 - \frac{38,1}{2} \right) \\
 &= 189929802 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tarik} \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \right) \\
 &= \left(\frac{1417,644 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \\
 &= 63,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr2} &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1417,644 \times 400 \times \left(354 - \frac{63,54}{2} \right) \\
 &= 274086159 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejauh dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Syarat Kuat Tekan Beton (fc')

Nilai $\sqrt{fc'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3$ MPa

$$\sqrt{fc'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$ bila

a. Gaya geser akibat gempa (M_{pr}) $> 0,5 \times$ total geser akibat kombinasi gempa dan gravitasi
 $\frac{274086159 + 189929802}{2650} > 15543,95 \text{ N}$

$$157182,457 \text{ N} > 15543,95 \text{ N} (\text{Oke})$$

b. Gaya aksial tekan $< 0,2 \times A_g \times (350 \times 400) \times 30 \text{ MPa}$
 Karena nilai P pada balok sangat kecil maka syarat kedua memenuhi

Sehingga digunakan nilai $V_c = 0$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s\min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\ &= 41300 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada daerah tumpuan
 Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2} \\ &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + V_u \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)

Dimana :

V_e = Gaya geser pada muka perletakan

M_{pr1} = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kanan

M_{pr2} = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kiri

\ln = panjang bersih balok

Maka,

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{274086159 + 189929802}{2650} + 31087,9 \\ &= 199820,98 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan :

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{perlu}}} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{199820,98 - 0,75 \times 0}{0,75} \\ &= 266428 \text{ N} \end{aligned}$$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} \text{Av/s} &= V_s / (f_y \cdot d) \\ &= 266428 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 354 \text{ mm}) \\ &= 2,688 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Avt/s} &= 2 \cdot \text{At/s} + \text{Av/s} \\ &= 2 \times 1,839 + 2,688 \\ &= 6,366 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} \text{Av} &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{Av}}{\text{Avt/s}} \\ &= \frac{398,2}{6,366} \\ &= 62,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-60 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} s &< P_h/8 \\ 60 \text{ mm} &< 149,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

s	$< 300 \text{ mm}$	
60 mm	$< 300 \text{ mm}$	(memenuhi)

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

- $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 25,469 \text{ mm}^2$
- $(0,35 \times b_w \times s) / f_{y_s} = 26,25 \text{ mm}^2$

Avt	$> 26,25 \text{ mm}^2$
6,366 x 60 mm	$> 26,25 \text{ mm}^2$
381,964 mm ²	$> 26,25 \text{ mm}^2$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$S_{\text{pakai}} \leq d/4$
 $60 \text{ mm} < 88,5 \text{ mm}$ (memenuhi)

$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
 $60 \text{ mm} < 96 \text{ mm}$ (memenuhi)

$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$
 $60 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$ (memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BB (daerah tumpuan) dipasang 3D13-60 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u_2}}{\frac{1}{2} \ln -2h} &= \frac{V_e}{\frac{1}{2} \ln} \\ V_{u_2} &= \frac{V_e \times \left(\frac{1}{2} \ln -2h \right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{199820,977 \times \left(\frac{1}{2} \cdot 2650 - 2.400 \right)}{\frac{1}{2} \cdot 2650} \\ &= 83561,50 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok adalah sebagai berikut :

$$V_{S_{\min}} = 41300 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 350 \times 354 \\ &= 115366,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{perlu}}} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{199820,98 - 0,75 \times 115366,8}{0,75} \\ &= -3951 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol Vs

$$V_{S_{\min}} < V_s$$

$$41300 \text{ N} > -3951 \text{ N} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Digunakan $V_{S_{\min}}$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} \text{Av/s} &= V_s / (f_y \cdot d) \\ &= 41300 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 354 \text{ mm}) \\ &= 0,417 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Avt/s} &= 2 \cdot A_t/s + \text{Av/s} \\ &= 2 \times 1,839 + 0,417 \\ &= 4,095 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} \text{Av} &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{Av}}{\text{Avt/s}} \\ &= \frac{398,2}{4,095} \\ &= 97,245 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-80 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} s &< P_h/8 \\ 80 \text{ mm} &< 149,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< 300 \text{ mm} \\ 80 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

- a. $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 33,959 \text{ mm}^2$
b. $(0,35 \times b_w \times s) / f_{y_s} = 35 \text{ mm}^2$

$$\begin{array}{ll} A_{vt} & > 35 \text{ mm}^2 \\ 4,095 \times 80 \text{ mm} & > 35 \text{ mm}^2 \\ 327,58 \text{ mm}^2 & > 35 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
- b. $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$80 \text{ mm} < 88,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$80 \text{ mm} < 96 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BB (daerah lapangan) dipasang 3D13-80 mm

4.3.3.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-

masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \right) d_b$$

Dimana :

l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1,5

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1
(beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} l_d &= \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{400 \times 1 \times 1,5}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) \cdot 19 \\ &= 991,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $l_d > 300 \text{ mm}$

991,12 mm > 300 mm (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{1447}{1701,0575} \cdot 991,12 \\ &= 843,09 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 200 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2**

panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b && \text{atau} && (0,043 f_y) d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 19 && \text{atau} && (0,043 \cdot 400) 19 \\ &= 333,02 \text{ mm} && \text{atau} && 326,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil 333,02 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} l_d \\ &= \frac{404,5}{567,058} \cdot 333,02 \\ &= 237,55 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2** untuk batang tulangan ulir λ_d harus sebesar $(0,24, \Psi_e, f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan yang dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 19 \\ &= 333,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$333,02 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{1447}{1701,0575} \cdot 333,02 \\ &= 283,3 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait :

$$12 \times d_b = 12 \times 19 \text{ mm} = 228 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

4.3.4 Perhitungan Balok Anak

a. Data Perencanaan

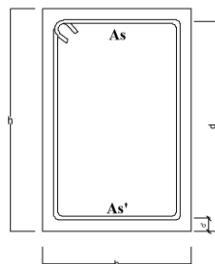
Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

Tipe Balok	= BA
Bentang Balok (L)	= 6000 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 350 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 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_{lentur})	= 16 mm
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 8 mm
Diameter Tulangan Puntir (D_{puntir})	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar ($S_{sejajar}$)	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{antar lapis}$)	= 25 mm

Tebal Selimut Beton (decking)	= 30 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,9
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ)	= 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 400 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\
 &= 354 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\
 &= 30 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\
 &= 46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 7 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa ETABS

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebatan non-gempa

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L$
3. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$
4. $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebatan gempa

5. $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
6. $U = 0,9 D + 1,0 E$

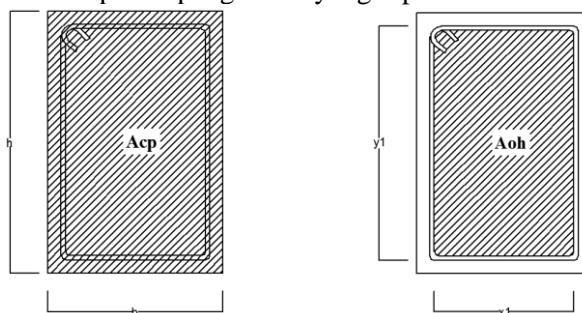
Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi Envelope adalah kombinasi kritis dalam permodelan.

Hasil Output ETABS

Torsi	= 17720600 N.mm
Momen Tumpuan Kanan	= 59973400 N.mm
Momen Tumpuan Kiri	= 87633800 N.mm
Momen Lapangan	= 47054300 N.mm
Gaya Geser Tump. Kanan	= 52548,5 N
Gaya Geser Tump. Kiri	= 62832,9 N

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 35/40



Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 350 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 140000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} \times h_{balok}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} \\ &\quad - \emptyset_{geser}) \\ &= (350 \text{ mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \times (400 \text{ mm} \\ &\quad - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\ &= 93624 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - \\ &\quad 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(350 \text{ mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \times (400 \\ &\quad \text{mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm})] \\ &= 1196 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.3.4.1 Perhitungan Penulangan Puntir

$$Tu = 21286500 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= 28382000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 59072,6 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu biasanya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 Tu_{\min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(140000 \text{ mm})^2}{1500 \text{ mm}} \right) \\
 &= 4473068 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 Tu_{\max} &= \phi \times 0,033 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(140000 \text{ mm})^2}{1500 \text{ mm}} \right) \\
 &= 17892270 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$$\begin{aligned}
 Tu_{\min} > Tu &\rightarrow \text{tidak memerlukan tulangan puntir} \\
 Tu_{\min} < Tu &\rightarrow \text{memerlukan tulangan puntir} \\
 Tu_{\min} < Tu & \\
 17720600 \text{ N.mm} < 4473068 \text{ N.mm} &\rightarrow (\text{maka} \\
 &\text{memerlukan tulangan puntir})
 \end{aligned}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang (longitudinal).

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bw \times d} \right)^2 + \left(\frac{Tu \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{bw \times d} + 0,66 \sqrt{fc'} \right)$$

$0,477 < 3,185$ (**memenuhi**)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Al = \frac{At}{s} \times P_h \times \left(\frac{Fyt}{Fy} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times Fyt}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } Ao &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 93624 \text{ mm}^2 \\ &= 79580,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fyt \times \cot \phi} \\ &= \frac{28382000 \text{ N.mm}}{2 \times 79580,4 \times 280 \times \cot 45} \\ &= 0,637 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} Al &= \frac{At}{s} Ph \left(\frac{Fyt}{Fy} \right) \cot^2 \phi \\ &= 0,637 \text{ mm} \times 1196 \text{ mm} \times \left(\frac{280}{400} \right) \times \cot^2 45^\circ \\ &= 533,185 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan :

$$\begin{aligned} Al \min &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{At}{s} \right) Ph \frac{Fyt}{Fy} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 140000}{400} - 0,637 \times 1196 \times \frac{280}{400} \\ &= 265,577 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan nilai Al yang maksimum yaitu 533,19 mm².

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{533,19 \text{ mm}^2}{4} = 133,3 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok.

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok.

Maka masing sisi atas bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar $310,35\text{mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{\text{Al}}{4} = 2 \times \frac{133,3}{4} = 266,593 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

Direncanakan tulangan diameter 19 mm

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{Luasan D \text{ puntir}} \\ &= \frac{266,593}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 0,9 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan puntir 2D19

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} As &= n \times Luasan D \text{ puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,0575 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontol:

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &\geq As \text{ perlu} \\ 567,0575 \text{ mm}^2 &\geq 221,933 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2D19

4.3.4.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 354 \text{ mm} \\
 &= 212 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 212 \text{ mm} \\
 &= 159 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= d' \\
 &= 46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 80 \text{ mm} \\
 &= 606900 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{C_c'}{f_y} \\
 &= \frac{606900 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 1517 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\
 &= 1517 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(354 - \frac{0,85}{2} \right) \\
 &= 194208000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} Mu_{tumpuan} &= 97507000 \text{ N.mm} \\ Mn &= Mux / \phi \\ &= 97507000 / 0,9 \\ &= 108341111,1 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

 $Mn > Mnc \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan $Mn < Mnc \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan $Mn < Mnc$ $108341111,1 \text{ N.mm} < 194208000 \text{ N.mm}$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

• Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,6863 \\ \rho_{min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} \\ &= 0,0034 \\ \rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0325 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0244 \\ Mn &= Mu / \phi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 87633800 / 0,9 \\
 &= 108341111,1 \text{ N.mm} \\
 &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{108341111,1 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \times (354 \text{ mm})^2} \\
 &= 2,5 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 2,5}{400}} \right] \\
 &= 0,0065
 \end{aligned}$$

Syarat :

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

$$0,0034 < 0,0065 < 0,0244 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0065 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\
 &= 806,3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$At = 133,3 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}
 As_{\text{perlu}} &= 806,3 \text{ mm}^2 + 133,3 \text{ mm}^2 \\
 &= 939,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\
 &= \frac{939,6}{0,25 \times \pi \times 19^2}
 \end{aligned}$$

$$= 3,3 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,1149 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pasang}}$$

$$1047 \text{ mm}^2 < 1134,1149 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,5 \times As \\ &= 0,5 \times 1047 \text{ mm}^2 \\ &= 523,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \varnothing_{\text{lentur}}} \\ &= \frac{523,45}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 1,8 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pasang}}$$

$$523,45 \text{ mm}^2 < 850,59 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$
 $S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$
 Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (4 \cdot 19)}{4-1} \\ &= 66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

66 mm > 25 mm (**memenuhi**)

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (3 \cdot 19)}{2-1} \\ &= 108,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

108,5 mm > 25 mm (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$A_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}}$

$$\begin{aligned}
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 1134,1149 \text{ mm}^2 \\
 \text{As'}_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ M lentur tumpuan (-)
 $850,586 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 1134,1149 \text{ mm}^2$
 $850,586 \text{ mm}^2 \geq 567,06 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{\text{As pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{1134,1149}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\
 &= 51 \text{ mm} \\
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 51 / 0,85 \\
 &= 60 \\
 c/d < 0,375 &\rightarrow \varphi = 0,9 \\
 c/d > 0,600 &\rightarrow \varphi = 0,8
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 c/d < 0,375 \\
 60 / 354 < 0,375 \\
 0,17 < 0,375
 \end{aligned}$$

Maka asumsi $\varphi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{\text{As pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{1134,1149}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\
 &= 51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\
 &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 51 \\
 &= 453645,98 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\
 &= 453645,98 \times (354 - 0,85 \times 51/2)
 \end{aligned}$$

$$= 150790930,2 \text{ N.mm}$$

Syarat :

Mn pasang > Mn perlu

$150790930,2 \text{ N.mm} > 121883750 \text{ N.mm}$
(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (35/40)
untuk daerah tumpuan :

Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 4D19

Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 3D19

DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 354 \text{ mm} \\ &= 212 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 212 \text{ mm} \\ &= 159 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 80 \text{ mm} \\ &= 606900 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{C_c'}{f_y} \\ &= \frac{606900 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 1517 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\ &= 1517 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(354 - \frac{0,85}{2} \right) \\ &= 194208000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_{ulapangan} &= 48302100 \text{ N.mm} \\ M_n &= M_{ux} / \phi \\ &= 48302100 / 0,9 \\ &= 53669000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_n > M_{nc} \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc} \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$

$53669000 \text{ N.mm} < 194208000 \text{ N.mm}$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,6863 \\
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} \\
 &= 0,0034 \\
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,0325 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244 \\
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 48302100 / 0,8 \\
 &= 53669000 \text{ N.mm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{53669000 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \times (354 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,2 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 1,2}{400}} \right] \\
 &= 0,0031
 \end{aligned}$$

Syarat :

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

$$0,0034 < 0,0031 < 0,0244 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0034 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\
 &= 424,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$At = 133,3 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}
 As_{\text{perlu}} &= 424,1 \text{ mm}^2 + 133,3 \text{ mm}^2 \\
 &= 557,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\
 &= \frac{557,4}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\
 &= 0,98 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\
 557,4 \text{ mm}^2 &< 850,586 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,5 \times As \\
 &= 0,5 \times 557,4 \text{ mm}^2 \\
 &= 278,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{278,7}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 0,98 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$285,93 \text{ mm}^2 < 850,59 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2.30) - (2.8) - (3.19)}{3-1} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

109 mm > 25 mm (memenuhi)

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2.30) - (2.8) - (2.19)}{3-1} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$109 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2*)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq 1/2 M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 850,59 \text{ mm}^2$$

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 425,295 \text{ mm}^2$$
 (**memenuhi**)

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{850,59}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 38 \text{ mm} \\ &= a / \beta_1 \\ &= 38 / 0,85 \\ &= 45 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \varphi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \varphi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$45 / 354 < 0,375$$

$$0,13 < 0,375$$

Maka asumsi $\varphi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{850,59}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 38 \\ &= 340234,48 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{pasang}} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\ &= 340234,48 \times (354 - 0,85 \times 38/2) \\ &= 114930650,1 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$M_{\text{pasang}} > M_{\text{perlu}}$

$114930650,1 \text{ N.mm} > 60377625 \text{ N.mm}$
(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (35/40)
untuk daerah tumpuan :

Tulangan lentur tarik susun satu lapis

Lapis 1 = 3D19

Tulangan lentur tekan susun satu lapis

Lapis 1 = 3D19

4.3.4.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe Balok	= BA
Lebar Balok (b_{balok})	= 350 mm

Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 mm
Bentang Balok	= 6000 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_yv)	= 280 MPa
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tekan} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{850,586 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \\ &= 38,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,586 \times 400 \times \left(354 - \frac{38,1}{2} \right) \\ &= 142447351 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1134,115 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \\ &= 50,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1134,115 \times 400 \times \left(354 - \frac{50,83}{2} \right) \\ &= 186326954 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang
Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$5,477 < 8,33$ (**memenuhi**)

Tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$ bila

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

$$\frac{186326954+142447351}{5650} > 29536,3 \text{ N}$$

 $58190,143 \text{ N} > 29536,3 \text{ N}$ (Oke)

b. Gaya aksial tekan $< 0,2 \times A_g \times (350 \times 400) \times 30 \text{ MPa}$
 Karena nilai P pada balok sangat kecil maka syarat kedua memenuhi

Sehingga digunakan nilai $V_c = 0$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\ &= 41300 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada daerah tumpuan
 Gaya geser diperoleh dari :

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{ln} + \frac{W_u \times ln}{2}$$

$$= \frac{Mpr1 + Mpr2}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)

Dimana :

V_e = Gaya geser pada muka perletakan

$Mpr1$ = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kanan

$Mpr2$ = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kiri

ln = panjang bersih balok

Maka,

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{186326954 + 142447351}{5650} + 59072,6 \\ &= 116250,74 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan :

$$\begin{aligned} V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_e \cdot \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{116250,74 \cdot 0,75 \times 0}{0,75} \\ &= 155000,99 \text{ N} \end{aligned}$$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} Av/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\ &= 155000,99 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 354 \text{ mm}) \\ &= 1,564 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Avt/s &= 2 \cdot At/s + Av/s \\ &= 2 \times 0,637 + 1,564 \\ &= 2,838 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 Av &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{kaki} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2 \\
 &= 265,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{Av}{Avt/s} \\
 &= \frac{265,46}{2,838} \\
 &= 93,556 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-70 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

s	< Ph/8
70 mm	< 149,5 mm (memenuhi)

s	< 300 mm
70 mm	< 300 mm (memenuhi)

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

- $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 29,714 \text{ mm}^2$
- $(0,35 \times b_w \times s) / f_y s = 30,625 \text{ mm}^2$

Avt	> 30,625 mm ²
2,838 x 70 mm	> 30,625 mm ²
198,63 mm ²	> 30,625 mm ²

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke

arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $6 \times \text{Ø}_{\text{tulangan longitudinal}}$
- 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$70 \text{ mm} < 88,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \text{Ø}_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$70 \text{ mm} < 96 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$70 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BA (daerah tumpuan) dipasang $3\text{Ø}12-70 \text{ mm}$

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)
Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{V_e}{\frac{1}{2} \ln} \\ V_{u2} &= \frac{V_e \times \left(\frac{1}{2} \ln - 2h\right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{116250,74 \times \left(\frac{1}{2} \ln 5650 - 2.400\right)}{\frac{1}{2} \ln 5650} \\ &= 83330,177 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok adalah sebagai berikut :

$$V_s_{\min} = 41300 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 350 \times 354 \\
 &= 115366,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_e - \emptyset V_c}{\emptyset} \\
 &= \frac{83330,177 - 0,75 \times 115366,8}{0,75} \\
 &= -4260 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol Vs

$V_{s_{\text{min}}} < V_s$

$41300 \text{ N} > -3951 \text{ N}$ (tidak memenuhi)

Digunakan $V_{s_{\text{min}}}$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned}
 Av/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\
 &= 41300 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 354 \text{ mm}) \\
 &= 0,417 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Avt/s &= 2 \cdot At/s + Av/s \\
 &= 2 \times 0,637 + 0,417 \\
 &= 1,690 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 Av &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2 \\
 &= 265,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{Av}{Avt/s} \\
 &= \frac{265,46}{1,690}
 \end{aligned}$$

$$= 157,04 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-80 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

s	< $P_h/8$
80 mm	< 149,5 mm (memenuhi)

s	< 300 mm
80 mm	< 300 mm (memenuhi)

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

$$\text{a. } 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y} = 33,959 \text{ mm}^2$$

$$\text{b. } (0,35 \times b_w \times s) / f_{ys} = 35 \text{ mm}^2$$

Avt	> 35 mm ²
135,23 mm ²	> 35 mm ²

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. d/4
- b. $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

- $S_{\text{pakai}} \leq d/4$
 $80 \text{ mm} < 88,5 \text{ mm}$ (memenuhi)
 $S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \varnothing_{\text{tulangan longitudinal}}$
 $80 \text{ mm} < 96 \text{ mm}$ (memenuhi)
 $S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$ (memenuhi)
 Jadi, penulangan geser balok untuk balok BA (daerah lapangan) dipasang $3\varnothing 12-80 \text{ mm}$

4.3.4.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) d_b$$

Dimana :

- l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik
- d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan
- ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0
- ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1,5
- λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) d_b$$

$$= \left(\frac{400 \times 1 \times 1,5}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) \cdot 19 \\ = 991,12 \text{ mm}$$

Syarat $l_d > 300 \text{ mm}$
 $991,12 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{\text{reduksi}} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ = \frac{1047}{1134,1149} \cdot 991,12 \\ = 914,99 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1**)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2**

panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b \quad \text{atau} \quad (0,043 f_y) d_b \\ = \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 19 \quad \text{atau} \quad (0,043 \cdot 400) 19 \\ = 333,02 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 326,8 \text{ mm}$$

Diambil 333,02 mm

$571,9 \text{ mm}^2 < 850,586$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$l_{\text{reduksi}} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ = \frac{571,9}{850,586} \cdot 333,02 \\ = 223,92 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5**
 Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1**)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2** untuk batang tulangan ulir λ_d harus sebesar $(0,24, \psi_e, f_y / \lambda\sqrt{f_{c'}}) / d_b$ dengan ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan yang dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 19 \\ &= 333,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

333,02 mm > 150 mm (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{1047}{1134,1149} \cdot 333,02 \\ &= 307,44 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 400 mm.

Panjang kait :

$$12 \times d_b = 12 \times 19 \text{ mm} = 228 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

4.3.5 Perhitungan Balok Lift

a. Data Perencanaan

Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

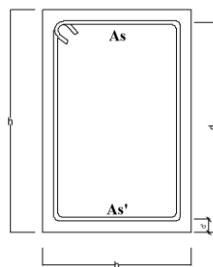
Tipe Balok	= BL
Bentang Balok (L)	= 4000 mm

Lebar Balok (b_{balok})	= 350 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 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_{lentur})	= 16 mm
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 8 mm
Diameter Tulangan Puntir (D_{puntir})	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar ($S_{sejajar}$)	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{antar\ lapis}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 30 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,9
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ)	= 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 400 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\ &= 354 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 30 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{1}{2} 16 \text{ mm} \\ &= 46 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 8 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa ETABS

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L$
3. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$
4. $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebanan gempa

5. $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
6. $U = 0,9 D + 1,0 E$

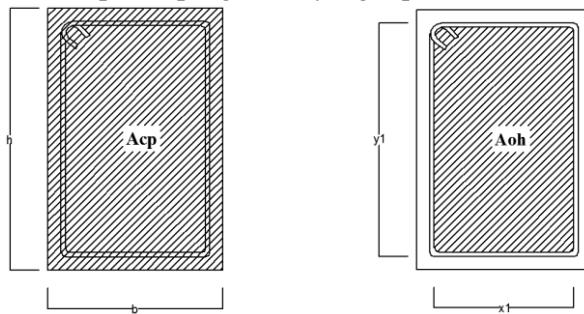
Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi Envelope adalah kombinasi kritis dalam permodelan.

Hasil Output ETABS

Torsi	= 1769700 N.mm
Momen Tumpuan Kanan	= 10737500 N.mm
Momen Tumpuan Kiri	= 7225700 N.mm
Momen Lapangan	= 10344500 N.mm
Gaya Geser Tump. Kanan	= 11647 N
Gaya Geser Tump. Kiri	= 12612 N

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 35/40



Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 350 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 140000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} \\ &\quad - \emptyset_{geser}) \\ &= (350 \text{ mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \times (400 \text{ mm} \\ &\quad - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \\ &= 93624 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - \\ &\quad 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(350 \text{ mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm}) \times (400 \\ &\quad \text{mm} - (2 \times 30 \text{ mm}) - 8 \text{ mm})] \\ &= 1196 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.3.5.1 Perhitungan Penulangan Puntir

$$Tu = 1769700 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} Tn &= \frac{Tu}{\phi} \\ &= 2359600 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$Vu = 12612 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu biasanya kurang daripada :

$$\begin{aligned} Tu_{\min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(140000 \text{ mm})^2}{1500 \text{ mm}} \right) \\ &= 4473068 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \phi \times 0,033 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(140000 \text{ mm})^2}{1500 \text{ mm}} \right) \\ &= 17892270 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tum_{\min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tum_{\min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tum_{\min} < Tu$

$17720600 \text{ N.mm} > 1769700 \text{ N.mm} \rightarrow (\text{maka tidak memerlukan tulangan puntir})$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang (longitudinal). Maka dipasang tulangan puntir minimum.

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Al = \frac{At}{s} \times P_h \times \left(\frac{Fyt}{Fy} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times Fyt}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } Ao &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 93624 \text{ mm}^2 \\ &= 79580,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fyt \times \cot \phi} \\ &= \frac{2359600 \text{ N.mm}}{2 \times 79580,4 \times 280 \times \cot 45} \\ &= 0,053 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan :

$$\begin{aligned} Al \min &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c} \times A_{ep}}{Fy} - \left(\frac{At}{s} \right) P_h \frac{Fyt}{Fy} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 140000}{400} - 0,053 \times 1196 \times \frac{280}{400} \\ &= 754,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan nilai Al yang maksimum yaitu 754,43 mm².

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{754,43 \text{ mm}^2}{4} = 188,61 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok.
 Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok.

Maka masing sisi atas bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 310,35mm²

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{\pi}{4} = 2 \times \frac{188,61}{4} = 377,217 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

Direncanakan tulangan diameter 19 mm

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{Luasan D \text{ puntir}} \\ &= \frac{377,217}{0,25 \pi 19^2} \\ &= 1,3 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan puntir 2D19

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} As &= n \times Luasan D \text{ puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,0575 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontol:

As pasang \geq As perlu
 $567,0575 \text{ mm}^2 \geq 221,933 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2D19

4.3.5.2 Perhitungan Penulangan Lentur DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 354 \text{ mm} \\ &= 212 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 212 \text{ mm} \\ &= 159 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 80 \text{ mm} \\ &= 606900 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{C_c'}{f_y} \\ &= \frac{606900 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 1517 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right)$$

$$= 1517 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(354 - \frac{0,85}{2} \right) \\ = 194208000 \text{ N.mm}$$

Momen Lentur Nominal

$$M_{u_{tumpuan}} = 10737500 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 10737500 / 0,9$$

$$= 11930555,56 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_n > M_{nc} \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc} \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_n < M_{nc}$$

$$11930555,56 \text{ N.mm} < 194208000 \text{ N.mm}$$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ = \frac{400}{0,85 \times 30} \\ = 15,6863$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \\ = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} \\ = 0,0034$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ = \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244 \\
 \text{Mn} &= \text{Mu} / \phi \\
 &= 10737500 / 0,9 \\
 &= 11930555,56 \text{ N.mm} \\
 \text{Rn} &= \frac{\text{Mn}}{b \times d^2} \\
 &= \frac{11930555,56 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \times (354 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,3 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,3}{400}} \right] \\
 &= 0,0008
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0,0034 &< 0,0008 < 0,0244 \quad (\text{Oke})
 \end{aligned}$$

Karena nilai dari ρ_{perlu} kurang dari ρ_{\min} , maka digunakan nilai ρ_{\min} .

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 \text{As} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0034 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\
 &= 424,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$\text{At} = 188,61 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir} \\
 \text{As}_{\text{perlu}} &= 424,1 \text{ mm}^2 + 188,61 \text{ mm}^2 \\
 &= 612,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{612,8}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 1,5 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &< A_{s\text{pasang}} \\ 612,8 \text{ mm}^2 &< 1134,115 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,5 \times As \\ &= 0,5 \times 424,1 \text{ mm}^2 \\ &= 212,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{212,1}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 0,75 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$212,1 \text{ mm}^2 < 850,59 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1}$$

$$= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (4 \cdot 19)}{4-1}$$

$$= 66 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$66 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1}$$

$$= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (3 \cdot 19)}{3-1}$$

$$= 108,5 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$108,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ M lentur tumpuan (-)

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 1134,115 \text{ mm}^2$$

$850,59 \text{ mm}^2 \geq 567,06 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{1134,115}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 51 / 0,85 \\ &= 60 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \phi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$60 / 354 < 0,375$$

$$0,17 < 0,375$$

Maka asumsi $\phi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{1134,115}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 51 \text{ mm} \\
 Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\
 &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 51 \\
 &= 453645,98 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\
 &= 453645,98 \times (354 - 0,85 \times 51/2) \\
 &= 150790930,2 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &> Mn \text{ perlu} \\
 150790930,2 \text{ N.mm} &> 13421875 \text{ N.mm} \\
 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BL (35/40)
untuk daerah tumpuan :

Tulangan lentur tarik susun satu lapis

Lapis 1 = 4D19

Tulangan lentur tekan susun satu lapis

Lapis 1 = 3D19

DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 354 \text{ mm} \\
 &= 212 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 212 \text{ mm} \\
 &= 159 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 80 \text{ mm} \\ &= 606900 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{C_c'}{f_y} \\ &= \frac{606900 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 1517 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\ &= 1517 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(354 - \frac{0,85}{2} \right) \\ &= 194208000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} Mu_{\text{lapangan}} &= 10344500 \text{ N.mm} \\ Mn &= Mux / \phi \\ &= 10344500 / 0,8 \\ &= 11493888,89 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mn > M_{nc} \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mn < M_{nc} \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_n < M_{nc}$$

$$11493888,89 \text{ N.mm} < 194208000 \text{ N.mm}$$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,6863 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 10344500 / 0,8 \\ &= 11493888,89 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{11493888,89 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \times (354 \text{ mm})^2} \\ &= 0,3 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,3}{400}} \right] \\ &= 0,0007 \end{aligned}$$

Syarat :

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

$$0,0034 > 0,003 < 0,0244 \quad (\text{Oke})$$

Karena nilai dari ρ_{perlu} kurang dari ρ_{\min} , maka digunakan nilai ρ_{\min} .

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0034 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\ &= 424,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{424,1}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 0,748 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{\text{Spasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &< A_{\text{Spasang}} \\ 424,1 \text{ mm}^2 &< 850,586 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,5 \times As \\ &= 0,5 \times 424,1 \text{ mm}^2 \\ &= 212,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{sp}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{212,1}{0,25 \times \pi \times 19^2} \\ &= 0,75 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{sp} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{sp} &< A_{sp} \\ 850,59 \text{ mm}^2 &< 567,06 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (3 \cdot 19)}{3-1} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$109 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{350 - (2 \cdot 30) - (2 \cdot 8) - (2 \cdot 19)}{3-1} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$109 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ M lentur tumpuan (-)

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 850,59 \text{ mm}^2$$

850,59 mm² $\geq 425,295 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{850,59}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 38 / 0,85 \\ &= 45 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \varphi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \varphi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$45 / 354 < 0,375$$

$$0,13 < 0,375$$

Maka asumsi $\phi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{850,59}{350} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 354 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 38 \\ &= 340234,48 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{pasang}} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\ &= 340234,48 \times (354 - 0,85 \times 38/2) \\ &= 114930650,1 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{\text{pasang}} > M_{\text{perlu}}$$

$$114930650,1 \text{ N.mm} > 12930625 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok BL (35/40)
untuk daerah tumpuan :

Tulangan lentur tarik susun satu lapis

Lapis 1 = 3D19

Tulangan lentur tekan susun satu lapis

Lapis 1 = 3D19

4.3.5.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe Balok	= BL
Lebar Balok (b_{balok})	= 350 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 mm

Bentang Balok	= 4000 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_yv)	= 280 MPa
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tekan} \times fy}{0,85 \times f'_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{850,586 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \\ &= 38,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,586 \times 400 \times \left(354 - \frac{38,1}{2} \right) \\ &= 142447351 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tarik} \times fy}{0,85 \times f'_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1134,115 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right) \\ &= 50,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1134,115 \times 400 \times \left(354 - \frac{50,83}{2} \right) \\ &= 186326954 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang
Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$5,477 < 8,33$ (**memenuhi**)

Tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$ bila

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

$$\frac{186326954 + 142447351}{3650} > 6306 \text{ N}$$

 $90075,15 \text{ N} > 6306 \text{ N}$ (Oke)

- Gaya aksial tekan $< 0,2 \times A_g \times (350 \times 400) \times 30 \text{ MPa}$
Karena nilai P pada balok sangat kecil maka syarat kedua memenuhi

Maka digunakan nilai $V_c = 0$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 350 \text{ mm} \times 354 \text{ mm} \\ &= 41300 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)
Gaya geser diperoleh dari :

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2}$$

$$= \frac{Mpr1 + Mpr2}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)

Dimana :

V_e = Gaya geser pada muka perletakan

$Mpr1$ = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kanan

$Mpr2$ = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kiri

ln = panjang bersih balok

Maka,

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{142447351 + 186326954}{3650} + 12612 \\ &= 102687,15 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan :

$$\begin{aligned} V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_e \cdot \emptyset V_c}{\emptyset} \\ &= \frac{102687,15 \cdot 0,75 \times 0}{0,75} \\ &= 133714 \text{ N} \end{aligned}$$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} Av/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\ &= 133714 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 354 \text{ mm}) \\ &= 1,349 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Avt/s &= 2 \cdot At/s + Av/s \\ &= 2 \times 0,053 + 1,349 \\ &= 1,455 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{kaki} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av}{Avt/s} \\ &= \frac{265,46}{1,455} \\ &= 182,46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-70 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{array}{lll} s & < P_h/8 \\ 70 \text{ mm} & < 149,5 \text{ mm} & (\text{memenuhi}) \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} s & < 300 \text{ mm} \\ 70 \text{ mm} & < 300 \text{ mm} & (\text{memenuhi}) \end{array}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

$$\begin{array}{ll} a. \quad 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 29,714 \text{ mm}^2 \\ b. \quad (0,35 \times b_w \times s) / f_{y_s} = 30,625 \text{ mm}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} Avt & > 30,625 \text{ mm}^2 \\ 1,697 \times 70 \text{ mm} & > 30,625 \text{ mm}^2 \\ 118,817 \text{ mm}^2 & > 30,625 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke

arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$70 \text{ mm} < 88,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$70 \text{ mm} < 96 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$70 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BL (daerah tumpuan) dipasang D13-70 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)
Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{V_e}{\frac{1}{2} \ln} \\ V_{u2} &= \frac{V_e \times \left(\frac{1}{2} \ln - 2h\right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{102687,1522 \times \left(\frac{1}{2} 3650 - 2.400\right)}{\frac{1}{2} 3650} \\ &= 57673,606 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok adalah sebagai berikut :

$$V_s_{\min} = 41300 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 350 \times 354 \\
 &= 115366,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_e - \emptyset V_c}{\emptyset} \\
 &= \frac{57673,606 - 0,75 \times 115366,8}{0,75} \\
 &= -39442 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol Vs

$V_{s_{\text{min}}} < V_s$

$41300 \text{ N} > -39442 \text{ N}$ (tidak memenuhi)

Digunakan $V_{s_{\text{min}}}$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned}
 Av/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\
 &= 41300 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 354 \text{ mm}) \\
 &= 0,417 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Avt/s &= 2 \cdot At/s + Av/s \\
 &= 2 \times 0,053 + 0,417 \\
 &= 0,523 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 Av &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2 \\
 &= 265,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{Av}{Avt/s} \\
 &= \frac{265,46}{0,523}
 \end{aligned}$$

$$= 508,01 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-80 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

s	< $P_h/8$
80 mm	< 149,5 mm (memenuhi)

s	< 300 mm
80 mm	< 300 mm (memenuhi)

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

$$\text{a. } 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y} = 33,959 \text{ mm}^2$$

$$\text{b. } (0,35 \times b_w \times s) / f_{ys} = 35 \text{ mm}^2$$

Avt	> 35 mm ²
48,772 mm ²	> 35 mm ²

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. d/4
- b. $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$S_{\text{pakai}} \leq d/4$	
80 mm < 88,5 mm	(memenuhi)
$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \varnothing_{\text{tulangan longitudinal}}$	
80 mm < 96 mm	(memenuhi)
$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$	
80 mm < 150 mm	(memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BL (daerah lapangan) dipasang D13-80 mm

4.3.5.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12*

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2*
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1*)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2* sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \right) d_b$$

Dimana :

l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1,5

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} l_d &= \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{400 \times 1 \times 1,5}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) \cdot 19 \\ &= 991,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $l_d > 300 \text{ mm}$
 $991,12 \text{ mm} > 300 \text{ mm} (\text{memenuhi})$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{212,1}{567,06} \cdot 991,12 \\ &= 370,71 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
 Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**
 Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1**)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2**

panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times d_b & \text{atau} & (0,043 f_y) d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 19 & \text{atau} & (0,043 \cdot 400) \cdot 19 \\ &= 333,02 \text{ mm} & \text{atau} & 326,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil 333,02 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{424,1}{850,586} \cdot 333,02 \\ &= 166,04 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2** untuk batang tulangan ulir λ_d harus sebesar $(0,24, \Psi_e \cdot f_y / (\lambda \sqrt{f_{c'}}) / d_b)$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan yang dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 19 \\ &= 333,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

333,02 mm > 150 mm (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{212,1}{567,06} \cdot 333,02 \\ &= 124,56 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 200 mm.

Panjang kait :

$$12 \times d_b = 12 \times 19 \text{ mm} = 228 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

4.4 Perencanaan Struktur Utama Non Pratekan

4.4.1 Perhitungan Balok Induk

- Data Perencanaan

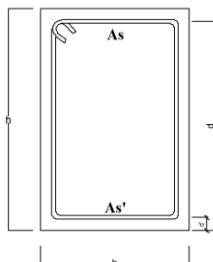
Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

Tipe Balok	= BI
Bentang Balok (L)	= 7000 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 450 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 600 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_{lentur})	= 19 mm
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 10 mm
Diameter Tulangan Puntir (D_{puntir})	= 19 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar ($S_{sejajar}$)	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{antar\ lapis}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,9
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ)	= 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset_{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset_{tulangan\ lentur} \\ &= 600 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 19 \text{ mm} \\ &= 540,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset_{sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset_{tulangan\ lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 19 \text{ mm} \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 9 Tinggi Efektif Balok

b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa ETABS

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L$
3. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$
4. $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebanan gempa

5. $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
6. $U = 0,9 D + 1,0 E$

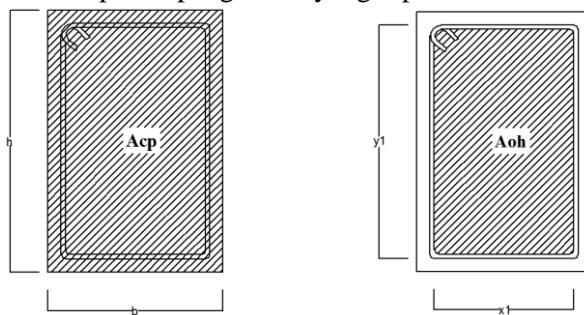
Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi Envelope adalah kombinasi kritis dalam permodelan.

Hasil Output ETABS

Torsi	= 124222000 N.mm
Momen Tumpuan Kanan	= 344187600 N.mm
Momen Tumpuan Kiri	= 278125400 N.mm
Momen Lapangan	= 219171000 N.mm
Gaya Geser Tump. Kanan	= 159522,5 N
Gaya Geser Tump. Kiri	= 126706,2 N

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 45/60



Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 450 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 270000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (450 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\ &= 2100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} \\ &\quad - \emptyset_{geser}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (600 \text{ mm} \\
 &\quad - (2 \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \\
 &= 183600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} \\
 &\quad - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (600 \\
 &\quad \text{mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})] \\
 &= 1704 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.4.1.1 Perhitungan Penulangan Puntir

$$Tu = 124222000 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= 165629333 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$V_u = 159522,5 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu biasanya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 Tu_{min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(270000 \text{ mm})^2}{2100 \text{ mm}} \right) \\
 &= 11883623 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 Tu_{max} &= \phi \times 0,033 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(270000 \text{ mm})^2}{2100 \text{ mm}} \right) \\
 &= 47534493 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{um} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{um} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{um} < T_u$

$11883623 \text{ N.mm} < 124222000 \text{ N.mm} \rightarrow (\text{maka memerlukan tulangan puntir})$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang (longitudinal).

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bw \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{bw \times d} + 0,66\sqrt{f_{c'}} \right)$$

$0,521 < 3,185$ (**memenuhi**)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Al = \frac{At}{s} \times P_h \times \left(\frac{F_y t}{F_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013

pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times F_y t}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

Dimana, $Ao = 0,85 \times A_{oh}$

$$= 0,85 \times 183600 \text{ mm}^2$$

$$= 156060 \text{ mm}^2$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times Ao \times F_y t \times \cot \phi}$$

$$= \frac{165629333 \text{ N.mm}}{2 \times 156060 \times 280 \times \cot 45^\circ} \\ = 1,895 \text{ mm}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} Al &= \frac{At}{s} Ph \left(\frac{Fyt}{Fy} \right) \cot^2 \phi \\ &= 1,895 \text{ mm} \times 1704 \text{ mm} \times \left(\frac{280}{400} \right) \times \cot^2 45^\circ \\ &= 2260,61 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan :

$$\begin{aligned} Al_{\min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{fc'} \times Acp}{Fy} - \left(\frac{At}{s} \right) Ph \frac{Fyt}{Fy} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 140000}{400} - 2,211 \times 1704 \times \frac{280}{400} \\ &= -720,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan nilai Al yang maksimum yaitu 2260,61 mm².

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{2260,61 \text{ mm}^2}{4} = 565,15 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok.

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok.

Maka masing sisi atas bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 310,35mm²

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2x \frac{Al}{4} = 2 \times \frac{565,15}{4} = 1130,3 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

Direncanakan tulangan diameter 19 mm

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\text{Luasan D puntir}} \\
 &= \frac{1130,3}{0,25 \pi 25^2} \\
 &= 2,3 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan puntir 4D25

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned}
 A_s &= n \times \text{Luasan D puntir} \\
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 1963,495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontol:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{pasang}} &\geq A_s \text{ perlu} \\
 1963,495 \text{ mm}^2 &\geq 1130,3 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 4D25

4.4.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 540,5 \text{ mm} \\
 &= 324 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 324 \text{ mm} \\
 &= 243 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned}X_{\min} &= d' \\&= 59,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned}C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\&= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 100 \text{ mm} \\&= 975375 \text{ N}\end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned}Asc &= \frac{C_c'}{f_y} \\&= \frac{975375 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\&= 2438 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\&= 2438 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(540,5 - \frac{0,85}{2} \right) \\&= 485736750 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned}Mu_{\text{tumpuan}} &= 344187600 \text{ N.mm} \\Mn &= Mux / \phi \\&= 344187600 / 0,9 \\&= 382430666,7 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mn > M_{nc} \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mn < M_{nc} \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mn < M_{nc}$$

$430234500 \text{ N.mm} < 485736750 \text{ N.mm}$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

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

$$= \frac{400}{0,85 \times 30}$$

$$= 15,6863$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400}$$

$$= 0,0034$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,0325$$

$$= 0,0244$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 344187600 / 0,8$$

$$= 382430666,7 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{382430666,7 \text{ N.mm}}{350 \text{ mm} \times (354 \text{ mm})^2}$$

$$= 2,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 2,9}{400}} \right]$$

$$= 0,0077$$

Syarat :

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

$$0,0034 < 0,0077 < 0,0244 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0077 \times 450 \text{ mm} \times 540,5 \text{ mm} \\ &= 1883 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$At = 565,15 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= 1883 \text{ mm}^2 + 565,15 \text{ mm}^2 \\ &= 2448 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{2448}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 4,988 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 25 \\ &= 2945,243 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\ 2702 \text{ mm}^2 &< 2945,243 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,5 \times As \\ &= 0,5 \times 2945,243 \text{ mm}^2 \\ &= 1473 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{1473}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 3 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\ 1473 \text{ mm}^2 &< 1963,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{450 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (6 \cdot 25)}{6-1} \\ &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$40 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi_b)}{n-1} \\ &= \frac{450 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (4 \cdot 25)}{4-1} \\ &= 83,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$
 $108,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm } (\text{memenuhi})$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \phi_{\text{lentur}} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2945,243 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \phi_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq 1/2 M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

$$1963,5 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 2945,243 \text{ mm}^2$$

$$1963,5 \text{ mm}^2 \geq 1472,62 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kondisi Penampang

$$a = \left(\frac{A_{\text{spasang}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{2945,243}{450} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 540,5 \\
 &= 103 \text{ mm} \\
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 103 / 0,85 \\
 &= 121 \\
 c/d &< 0,375 \rightarrow \varphi = 0,9 \\
 c/d &> 0,600 \rightarrow \varphi = 0,8
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 c/d &< 0,375 \\
 121 / 540,5 &< 0,375 \\
 0,22 &< 0,375
 \end{aligned}$$

Maka asumsi $\varphi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{As \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{2945,243}{450} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 540,5 \\
 &= 103 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\
 &= 0,85 \times 30 \times 450 \times 103 \\
 &= 1178097,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{pasang}} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\
 &= 1178097,2 \times (540,5 - 0,85 \times 103/2) \\
 &= 585357371,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{pasang}} &> M_{\text{perlu}} \\
 585357371,4 \text{ N.mm} &> 430234500 \text{ N.mm} \\
 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BI (45/60) untuk daerah tumpuan :
Tulangan lentur tarik susun satu lapis

Lapis 1 = 6D25
 Tulangan lentur tekan susun satu lapis
 Lapis 1 = 4D25

DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 540,5 \text{ mm} \\ &= 324 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 324 \text{ mm} \\ &= 243 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 100 \text{ mm} \\ &= 975375 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{C_c'}{f_y} \\ &= \frac{975375 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \end{aligned}$$

$$= 2438 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\ &= 2438 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times \left(540,5 - \frac{0,85}{2} \right) \\ &= 485736750 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_u_{lapangan} &= 219171000 \text{ N.mm} \\ M_n &= M_u / \phi \\ &= 219171000 / 0,9 \\ &= 243523333,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_n > M_{nc} \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc} \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$

$243523333,3 \text{ N.mm} < 485736750 \text{ N.mm}$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,6863 \\ \rho_{min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_{c'} \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600+400}$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,0325$$

$$= 0,0244$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 219171000 / 0,9$$

$$= 243523333,3 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{243523333,3 \text{ N.mm}}{450 \text{ mm} \times (540,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,6863} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 1,9}{400}} \right]$$

$$= 0,0048$$

Syarat :

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

$$0,0034 < 0,0048 < 0,0244 \quad (\text{Oke})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

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

$$= 0,0048 \times 450 \text{ mm} \times 540,5 \text{ mm}$$

$$= 832,6 \text{ mm}^2$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$A_t = 565,15 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= 832,6 \text{ mm}^2 + 565,15 \text{ mm}^2 \\ &= 1398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{S\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{1398}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 2,848 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{S\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &< A_{S\text{pasang}} \\ 1398 \text{ mm}^2 &< 1963,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,5 \times As \\ &= 0,5 \times 1398 \text{ mm}^2 \\ &= 698,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{S\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{698,9}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 1,424 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{S\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{perlu} < A_s \text{pasang}$$

$$698,9 \text{ mm}^2 < 1472,62 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D25 dan tulangan tekan 1 lapis 3D22

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{450 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (4 \cdot 25)}{4-1} \\ &= 83,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$83,3 \text{ mm} > 25 \text{ mm (**memenuhi**)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{450 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 25)}{3-1} \\ &= 137,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$137,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (**memenuhi**)}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung

komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$
 Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq 1/2 M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 1963,5 \text{ mm}^2$$

$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 981,75 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{1963,5}{450} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 540,5 \\ &= 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 68 / 0,85 \\ &= 81 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \phi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$81 / 540,5 < 0,375$$

$$0,15 < 0,375$$

Maka asumsi $\phi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{\text{As pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\
 &= \left(\frac{1963,5}{450} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 30} \right) \times 540,5 \\
 &= 68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\
 &= 0,85 \times 30 \times 450 \times 68 \\
 &= 785398,16 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{pasang}} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\
 &= 785398,16 \times (540,5 - 0,85 \times 68/2) \\
 &= 401661400,8 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{pasang}} &> M_{\text{perlu}} \\
 401661400,8 \text{ N.mm} &> 273963750 \text{ N.mm} \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BI (45/60) untuk daerah tumpuan :

Tulangan lentur tarik susun satu lapis

Lapis 1 = 4D25

Tulangan lentur tekan susun satu lapis

Lapis 1 = 3D25

4.4.1.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe Balok	= BI
Lebar Balok (b_{balok})	= 450 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 600 mm
Bentang Balok	= 7000 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{gv})	= 280 MPa
Diameter Tulangan Geser (D_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tulangan tekan} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1963,5 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right) \\ &= 85,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1963,5 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{85,6}{2} \right) \\ &= 488637747 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan hasil luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{2945,243 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right) \\ &= 128 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2945,243 \times 400 \times \left(540,5 - \frac{128}{2} \right) \\ &= 701458956 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang
 Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Syarat Kuat Tekan Beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{fc'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi $25/3$ MPa

$$\sqrt{fc'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$5,477 < 8,33$ (**memenuhi**)

Tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$ bila

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

$$\frac{488637747 + 701458956}{6550} > 159522 \text{ N}$$

$$181694,1531 \text{ N} > 79761 \text{ N} \text{ (Oke)}$$

- b. Gaya aksial tekan $< 0,2 \times A_g \times (350 \times 400) \times 30$ MPa
Karena nilai P pada balok sangat kecil maka syarat kedua memenuhi

Maka digunakan nilai $V_c = 0$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s\min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 450 \text{ mm} \times 540,5 \text{ mm} \\ &= 81075 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)
Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2} \\ &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + V_u \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3)

Dimana :

V_e = Gaya geser pada muka perletakan

M_{pr1} = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kanan

M_{pr2} = momen nominal aktual balok pada daerah tumpuan kiri
 l_n = panjang bersih balok

Maka,

$$V_e = \frac{701458956 + 488637747}{6550} + 159522,5 \\ = 341216,6531 \text{ N}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan :

$$V_s_{perlu} = \frac{V_u \cdot \phi V_c}{\phi} \\ = \frac{341216,653 - 0,75 \times 0}{0,75} \\ = 454955,54 \text{ N}$$

Av/s dihitung dengan cara :

$$Av/s = V_s / (f_y \cdot d) \\ = 454955,54 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 540,5 \text{ mm}) \\ = 3,006 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$Avt/s = 2 \cdot At/s + Av/s \\ = 2 \times 1,895 + 3,006 \\ = 6,797 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av = (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{kaki} \\ = (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ = 398,2 \text{ mm}^2$$

$$S_{perlu} = \frac{Av}{Avt/s} \\ = \frac{398,2}{6,797}$$

$$= 58,588 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-50 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

s	< $P_h/8$
50 mm	< 213 mm (memenuhi)

s	< 300 mm
50 mm	< 300 mm (memenuhi)

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

- $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 27,288 \text{ mm}^2$
- $(0,35 \times b_w \times s) / f_{ys} = 28,125 \text{ mm}^2$

Avt	> 28,125 mm^2
7,929 x 40 mm	> 28,125 mm^2
317,17 mm^2	> 28,125 mm^2

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $6 \times \varnothing_{\text{tulangan longitudinal}}$
- 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$50 \text{ mm} < 135 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$50 \text{ mm} < 114 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BI (daerah tumpuan) dipasang 3D13-50 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu_2}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{Ve}{\frac{1}{2} \ln} \\ Vu_2 &= \frac{Ve \times \left(\frac{1}{2} \ln - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{341216,653 \times \left(\frac{1}{2} \ln 6550 - 2,600 \right)}{\frac{1}{2} \ln 6550} \\ &= 216190,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 350 \times 540,5 \\ &= 226474 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs_{\text{perlu}} &= \frac{Ve - \emptyset Vc}{\emptyset} \\ &= \frac{216190,7 - 0,75 \times 226474}{0,75} \\ &= 61781 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok adalah sebagai berikut :

$$V_{S_{\min}} = 81075 \text{ N}$$

Kontrol Vs

$$V_{S_{\min}} < Vs$$

$$81075 \text{ N} > 61781 \text{ N} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Digunakan $V_{S_{\min}}$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} Av/s &= Vs / (f_y \cdot d) \\ &= 81075 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 540,5 \text{ mm}) \\ &= 0,536 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Avt/s &= 2 \cdot At/s + Av/s \\ &= 2 \times 1,895 + 0,536 \\ &= 4,326 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av}{Avt/s} \\ &= \frac{398,2}{4,326} \\ &= 92,044 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-90 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} s &< P_h/8 \\ 90 \text{ mm} &< 213 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

s	< 300 mm	
90 mm	< 300 mm	(memenuhi)

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013

Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

- a. $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 49,119 \text{ mm}^2$
- b. $(0,35 \times b_w \times s) / f_y s = 50,625 \text{ mm}^2$

Avt	> 50,625 mm ²
5,04 x 90 mm	> 50,625 mm ²
302,83 mm ²	> 50,625 mm ²

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. d/4
- b. $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$S_{\text{pakai}} \leq d/4$	
90 mm < 135 mm	(memenuhi)
$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$	
90 mm < 114 mm	(memenuhi)
$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$	
90 mm < 150 mm	(memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok untuk balok BI (daerah lapangan) dipasang 3D13-90 mm

4.4.1.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12*

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2*

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2* sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) d_b$$

Dimana :

l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1,5

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} l_d &= \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) .25 \\ &= 1610,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $l_d > 300 \text{ mm}$

$1610,95 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{2702}{2945,243} \cdot 1610,95 \\ &= 1477,90 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1**)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2**

panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{ck}}} \times d_b && \text{atau} && (0,043 f_y) d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 25 && \text{atau} && (0,043 \cdot 400) 25 \\ &= 438,18 \text{ mm} && \text{atau} && 430 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil 438,18 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{1398}{1963,5} \cdot 438,18 \\ &= 432,49 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1**)

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2* untuk batang tulangan ulir λ_d harus sebesar $(0,24, \Psi_e, f_y / \lambda\sqrt{f_{c'}}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan yang dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 25 \\ &= 438,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$438,18 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{2702}{2945,243} \cdot 438,18 \\ &= 401,99 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 500 mm.

Panjang kait :

$$12 \times d_b = 12 \times 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

4.4.2 Perencanaan Kolom

Pada perencanaan tugas akhir ini kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom interior lantai 1. Data perencanaan kolom adalah sebagai berikut :

- Mutu Beton = 40 MPa
- Mutu Baja Tulangan = 400 MPa
- Dimensi Kolom = 70/140 cm
- Tebal Decking = 50 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) = 25 mm
- Diameter Sengkang (ϕ) = 13 mm

$$\begin{aligned}
 d &= h_{\text{selimut}} - \varphi - (0,5 \times D_0) \\
 &= 1400 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm} \\
 &= 1324,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan software ETABS diperoleh besarnya gaya pada kolom adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Output ETABS untuk Kolom

Kombinasi Pembebanan	P	M _x	M _y
	kN	kN.m	kN.m
1.4 D	8808.027	11.735	63.523
1.2 D + 1.6 L	8915.457	12.070	67.776
1.2 D + 1 L + 0.3 EX + 1 EY	9251.912	494.865	338.537
1.2 D + 1 L + 1 EX + 0.3 EY	9253.358	174.803	944.172
0.9 D + 1 EX + 0.3 EY	6512.349	171.031	942.243
0.9 D + 0.3 EX + 1 EY	6510.903	491.093	336.607

Kontrol Dimensi Kolom

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847:2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi $A_g f_c' / 10$ harus memenuhi ketentuan pada pasal 21.6.4; 21.6.5; dan 21.7.3.

$$\text{Gaya aksial terfaktor} \geq A_g f_c' / 10$$

$$9253358,3 \text{ N} \geq 700 \text{ mm} \times 1400 \text{ mm} \times 30 \text{ MPa} / 10$$

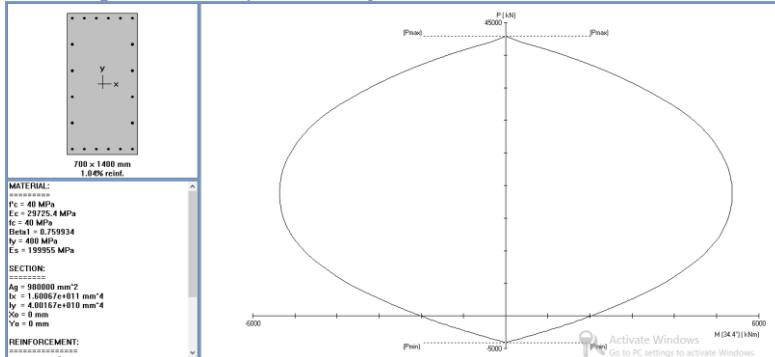
$$9253358,3 \text{ N} \geq 3920000 \text{ N}$$

Dari hasil analisa dengan menggunakan program bantu ETABS didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 9253358,3 N. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi $A_g f_c' / 10$ maka pasal tersebut di atas berlaku.

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. 10 Output pada SpCololumn

Berdasarkan hasil tersebut, kolom memerlukan tulangan memanjang (longitudinal) sebanyak 20D25 ($\rho = 1,04\%$). 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 = $9817,477 \text{ mm}^2$
- $I_x = 1,60067 \times 10^{11} \text{ mm}^4$
- $I_y = 4,00167 \times 10^{11} \text{ mm}^4$
- $A_g = 980000 \text{ mm}^2$

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.

$$\begin{aligned}\phi P_n (\max) &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 30 \times (980000 - 9817,477) + \\ &\quad 400 \times 9817,477]\end{aligned}$$

$$= 19194862,23 \text{ N}$$

Syarat :

$$P_n \max > P_u$$

$$19194862,23 \text{ N} > 9253358,3 \text{ N} (\text{OKE})$$

Jadi tulangan 20D25 dapat digunakan.

Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana Ve

- Geser pada Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain, V_e ditentukan sebagai berikut :

$$V_e = \frac{2 \times M_{pr}}{L}$$

M_{pr} 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 f_y untuk analisa geser sebesar 1,25
 $f_y = 1,25 \times 400 \text{ MPa} = 500 \text{ MPa}$

Dari hasil analisa menggunakan SpCololumn diperoleh hasil sebagai berikut :

$$M_{prt} = 7125,72 \text{ kN.m}$$

$$M_{prb} = 2084,24 \text{ kN.m}$$

$$M_{nt} = 2124,56 \text{ kN.m}$$

$$M_{nb} = 5955,17 \text{ kN.m}$$

$$L = 4500 \text{ mm} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{prt} + M_{prb}}{L} \\ &= \frac{7125,72 + 2084,24}{4,5} \\ &= 2046,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Geser pada Balok

Data Balok :

$$\begin{aligned}
 b &= 450 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 d &= 540,5 \text{ mm} \\
 A_s &= 2945,243 \text{ mm}^2 \\
 A_{s'} &= 1963,495 \text{ mm}^2 \\
 L &= 7000 \text{ mm} \\
 f_c' &= 30 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \circ M_{pr1} \\
 a &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 2945,243 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \\
 &= 128,3 \text{ mm} \\
 M_{pr1} &= 1,25 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a) \\
 &= 1,25 \times 2945,243 \times 400 \times (540,5 - \frac{1}{2} \\
 &\quad 128,3) \\
 &= 701458955,7 \text{ N.mm} \\
 \circ M_{pr2} \\
 a &= \frac{1,25 \times A_{s'} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 1963,495 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \\
 &= 85,6 \text{ mm} \\
 M_{pr2} &= 1,25 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a) \\
 &= 1,25 \times 1963,495 \times 400 \times (540,5 - \frac{1}{2} 85,6) \\
 &= 488637747,2 \text{ N.mm} \\
 V_u &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} \\
 &= \frac{701458955,7 + 488637747,2}{6300} \\
 &= 188904,2 \text{ N} = 188,9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Geser rencana akibat kolom tidak perlu lebih dari M_{pr} akibat balok. Maka digunakan $V_e = 188,9$ kN. Tapi tidak boleh kurang dari V_e dari hasil analisa struktur pada ETABS = 116,113 kN. Maka digunakan $V_e = 188,9$ kN.

Persyaratan Strong Column 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 ΣM_{nc} adalah momen kapasitas kolom dan ΣM_{nb} merupakan momen kapasitas balok. Perlu diperhatikan bahwa M_{nc} 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

$$M_{nt} = 2124,56 \text{ kN.m}$$

$$M_{nb} = 5955,17 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma M_{nc} = 8079,73 \text{ kN.m}$$

- Momen Nominal Balok

$$\circ M_{n1}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{1 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1 \times 2945,243 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \\ &= 102,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= 1 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a) \\ &= 1 \times 2945,243 \times 400 \times (540,5 - \frac{1}{2} 102,7) \\ &= 576286043,8 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\circ M_{n2}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{1 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1 \times 1963,495 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \\ &= 68,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= 1 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a) \\ &= 1 \times 1963,495 \times 400 \times (540,5 - \frac{1}{2} 68,4) \\ &= 397629699,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\circ \Sigma M_{nb} = 576286043,8 + 397629699,7$$

$$= 973915743,5 \text{ N.mm}$$

Cek syarat Strong Column Weak Beam

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \times \Sigma M_{nb}$$

$$8079,73 \text{ kN.m} > 1,2 \times 973915743,5 \text{ N.mm}$$

$$8079730000 \text{ N.mm} > 1168698892 \text{ N.mm (OKE)}$$

Pengekangan Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1 panjang 10 tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

$$L_0 \geq h = 1400 \text{ mm}$$

$$\geq 1/6 \times L_n = 1/6 \times 4500 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

$$\geq 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan L_0 adalah 1400 mm.

$$V_u = 188904,2 \text{ N}$$

Gaya geser disumbang beton

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{9253360}{14 \times 980000} \right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 1400 \times 1324,5$$

$$= 1669165 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1669165 \text{ N}$$

$$= 1251874 \text{ N}$$

Gaya geser desain

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 188904,2 \text{ N} - 1251874 \text{ N}$$

$$= -1062970 \text{ N}$$

Maka digunakan V_s min

$$V_s \text{ min} = 0,33 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{40} \times 700 \times 1324,5$$

$$= 1935058 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang dengan 4 kaki $\varphi 13$ mm

$$\begin{aligned}
 A_{sv} &= 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 4 \\
 &= 531 \text{ mm} \\
 s &= \frac{\varphi \times A_{sv} \times f_{yt} \times d}{V_s} \\
 &= \frac{0,8 \times 531 \times 280 \times 1324,5}{1935058} \\
 &= 65,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times b_c \times f_{c'}}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

Atau

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times b_c \times f_{c'}}{f_{yt}}$$

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 :

$$\begin{aligned}
 b_c &= 587 \text{ mm} \\
 A_{ch} &= 780000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh} / s &= 0,3 \times \frac{b_c \times f_{c'}}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\
 &= 0,3 \times \frac{587 \times 40}{400} \left[\left(\frac{980000}{780000} \right) - 1 \right] \\
 &= 4,52 \text{ mm/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh} / s &= 0,09 \times \frac{b_c \times f_{c'}}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \times \frac{587 \times 40}{400} \\
 &= 5,3 \text{ mm/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka A_{sh}/s pakai adalah $5,3 \text{ mm/mm}^2$

Bila digunakan :

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 5,3 \text{ mm/mm}^2 \times 100 \text{ mm} \\ &= 528,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_v \text{ pasang} > A_{sh}$$

$$531 \text{ mm}^2 > 528,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{OKE})$$

Spasi terkecil pada sendi plastis

$$S_0 < \frac{1}{4} b$$

$$< 175 \text{ mm}$$

$$S_0 < 6 \times d_b$$

$$< 150 \text{ mm}$$

$$S_0 < 150 \text{ mm}$$

S_0 dipakai yang paling minimum yaitu 150 mm

Syarat :

$$S \text{ pasang} < S_0$$

$$100 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{OKE})$$

Penulangan Sengkang di Luar Sendi Plastis

$$\begin{aligned} V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times \left(\frac{L}{2} - L_0\right)}{\frac{L}{2}} \\ &= \frac{188,9 \times \left(\frac{4500}{2} - 1400\right)}{\frac{4500}{2}} \\ &= 71,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 23613 \text{ N} - 1251874 \text{ N} \\ &= -1228261 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan $V_s \text{ min}$

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b_w \times d \\ &= 0,33 \times 700 \times 1324,5 \\ &= 309050 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang dengan 4 kaki $\varphi 13$ mm

$$Asv = 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 4$$

$$= 531 \text{ mm}$$

$$s = \frac{Asv \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{531 \times 280 \times 1324,5}{309050}$$

$$= 546,1 \text{ mm}$$

Spasi terkecil di luar sendi plastis

$$S_0 = 6 \text{ db} = 150 \text{ mm}$$

$$S_0 = 150 \text{ mm}$$

$$S \text{ perlu} = 273,5 \text{ mm}$$

$$S_0 \text{ menentukan} = 150 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S \text{ pasang} < S_0$$

$$150 \text{ mm} < 150 \text{ mm} (\text{OKE})$$

Hubungan Balok Kolom

Lebar join efektif diambil yang terkecil dari nilai berikut :

1. B balok + h kolom

$$b_{eff} = 450 \text{ mm} + 1400 \text{ mm}$$

$$= 1850 \text{ mm}$$

2. B balok + 2 x X

$$\text{Dimana } X = 0,5 \times (h \text{ kolom} - b \text{ balok})$$

$$= 0,5 \times (1400 \text{ mm} - 450 \text{ mm})$$

$$= 475 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 450 \text{ mm} + 2 \times 475 \text{ mm}$$

$$= 1400 \text{ mm}$$

Maka b_{eff} adalah 1400 mm

$$A_j = h \text{ kolom} + b_{eff}$$

$$= 1400 \text{ mm} + 1400 \text{ mm}$$

$$= 2800 \text{ mm}$$

Untuk balok yang terkekang 4 muka

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \sqrt{f_c} \times A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{40} \times 2800 \\ &= 21073418 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_n > V_u$$

$$21073418 \text{ N} > 188904,2 \text{ N}$$

Perhitungan Panjang Penyaluran

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2* panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned} \lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b \quad \text{atau} \quad (0,043 f_y) d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 25 \quad \text{atau} \quad (0,043 \cdot 400) \cdot 25 \\ &= 438,18 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 430 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil 438,18 mm \approx 450 mm

4.5 Perhitungan Struktur Utama Prategang

4.5.1 Perhitungan Tendon Pratekan

Data dan Perencanaan

Berikut ini adalah data perencanaan beton pratekan :

- Panjang bentang = 12 meter
- Dimensi balok pratekan = 55/75
- f_c (beton pratekan) = 40 MPa
- f_c (pelat) = 30 MPa
- d' = 15 cm

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)

- $f_{ci} = 0,88 \times 40 \text{ MPa} = 35,2 \text{ MPa}$
- $t_f = 13 \text{ cm}$

Mencari Lebar Efektif

Dalam mencari lebar efektif (b_w), maka digunakan beberapa 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

Perhitungan lebar efektif sebagai berikut :

$$b_{eff} = \frac{1}{4} L$$

$$= \frac{1}{4} 12 \text{ m}$$

$$= 3 \text{ m}$$

$$b_{eff} = b_w + (8 \times t_p)$$

$$= 0,55 \text{ m} + (8 \times 0,13 \text{ m})$$

$$= 1,51 \text{ m}$$

$$b_{eff} = b_w + 0,5 (L_{x1} + L_{x2})$$

$$= 0,55 \text{ m} + 0,5 (5,45 \text{ m} + 3,45 \text{ m})$$

$$= 5 \text{ m}$$

$$Ec \text{ pelat} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

$$Ec \text{ balok} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{40} = 29725,4 \text{ MPa}$$

$$n = Ec \text{ pelat} / Ec \text{ balok} = 1,155$$

$$b_{eff} \text{ pakai} = b_{eff} / n = 1,307 \text{ m}$$

Hingga nilai b_{eff} yang terkecil ialah 1,51 m untuk. Sesuai dengan persyaratan pertama dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, atau sepanjang 3 m. Penggunaan lebar efektif di dalam perhitungan beton pratekan hanya digunakan pada saat analisa tegangan yang terjadi pada beton pratekan sendiri, sementara untuk perhitungan beban yang ada lebar yang digunakan ialah selebar 5 m, sesuai dengan jarak antar balok pratekan yang sebenarnya.

Penentuan Tegangan Ijin Baja Beton

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)

- Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya pratekan 0,70 fpu (SNI 2847:2013 Ps.18.5.1)

Namun berdasarkan T.Y Lin dan Burns perumusan diatas juga berlaku untuk tendon pratarik segera setelah peralihan gaya pratekan.

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

- Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :
 - Tegangan tekan : 0,60 f_{ci} (SNI 2847:2013 pasal 18.4.1)

$$\sigma_{tk} = 0,6 \times f_{ci} = 0,6 \times 35,2 \text{ MPa} = 21,12 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik terluar direncanakan untuk dapat terjadi retak, sehingga diklasifikasikan sebagai kelas C :

$$\sigma_{tr} = f_t > 0,25\sqrt{f_{ci}} \quad (\text{SNI } 2847:2013 \text{ pasal 18.4.1})$$

$$\sigma_{tr} = 0,25\sqrt{35,2} = 0,25\sqrt{35,2} = 1,48 \text{ MPa}$$

- Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya pratekan.

- Tegangan tekan akibat pratekan ditambah beban tetap : 0,45 f_c (SNI 2847:2013 pasal 18.4.2 a)

$$\sigma_{tk} = 0,45 f_c = 0,45 \times 40 \text{ MPa} = 18 \text{ MPa}$$

- Tegangan tekan akibat pratekan ditambah beban total : 0,6 f_c (SNI 2847:2013 pasal 18.4.2 b)

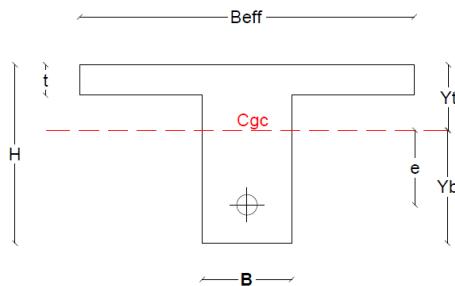
$$\sigma_{tk} = 0,6 f_c = 0,6 \times 40 \text{ MPa} = 24 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik $0,62\sqrt{f_c}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.3.3)

$$\sigma_{tr} = 0,62\sqrt{40} = 3,92 \text{ MPa}$$

Analisa Penampang Global

Penampang balok pratekan menjadi 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,



Luas penampang balok pratekan didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_{pelat} &= b_e \times t_f \\ &= 1,307 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} \\ &= 0,16 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{balok} &= b \times (h - t_f) \\ &= 0,55 \text{ m} \times (0,75 \text{ m} - 0,12 \text{ m}) \\ &= 0,346 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{total} &= A_{pelat} + A_{balok} \\ &= 0,16 \text{ m}^2 + 0,346 \text{ m}^2 \\ &= 0,503 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Nilai statis momen garis netral penampang balok sebagai berikut :

$$c = (h - t_f)/2 = (0,55 \text{ m} - 0,13 \text{ m})/2 = 0,375 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{A_{pelat} \times \frac{t_f}{2} + A_{balok} \times c}{A_{total}} \\ &= \frac{0,16 \times \frac{13}{2} + 0,346 \times 0,375}{0,503} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_b &= 0,277 \text{ m} \\
 &= h - y_t \\
 &= 0,75 \text{ m} - 0,277 \text{ m} \\
 &= 0,473 \text{ m} \\
 d_t &= y_t - t_f/2 = 0,277 \text{ m} - 0,12/2 = 0,217 \text{ m} \\
 d_b &= y_b - \frac{h-t_f}{2} = 0,473 \text{ m} - \frac{0,75-0,12}{2} = 0,158 \text{ m}
 \end{aligned}$$

nilai I_i didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{12} b \times h^3 + (A_{balok} \times d_b^2) + \frac{1}{12} \frac{b_e}{n} t_f^3 + (A_{pelat} \times d_t^2) \\
 &= 27696973828 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Setelah didapat data-data di atas diperlukan nilai batasan letak kabel tendon hendak dipasang yang disebut daerah limit kabel kabel. Tendon dipasang pada daerah yang menyebabkan beton menjadi tertekan dimana daerah tersebut dibatasi oleh nilai dan wilayah kern pada penampang balok.

Dimana :

$$\begin{aligned}
 K_t &= \frac{W_b}{A_{total}} \\
 K_b &= \frac{W_t}{A_{total}} \\
 W_t &= \frac{I}{y_t} \\
 W_b &= \frac{I}{y_b}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
 K_t &= \text{kern atas} & I &= \text{moment inersia} \\
 K_b &= \text{kern bawah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_t &= \frac{27696973828}{277} = 100054322,5 \text{ mm}^3 \\
 W_b &= \frac{27696973828}{473} = 58530601,59 \text{ mm}^3 \\
 K_t &= \frac{100054322,5}{503424} = 116,27 \text{ mm} \\
 K_b &= \frac{58530601,59}{503424} = 198,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mencari Gaya Prategang Awal (F_o)

Tegangan pada beton yang diijinkan

- Pada saat transfer

$$\text{Tarik ijin} = 1,48 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekan ijin} = 21,12 \text{ MPa}$$

- Pada saat beban layan

$$\text{Tarik ijin} = 3,92 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekan ijin} = 24 \text{ MPa}$$

Digunakan $d' = 150 \text{ mm} = 15 \text{ cm}$

Eksentrisitas

$$\text{Pada tumpuan (e)} = yt - d' = 277 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 127 \text{ mm}$$

$$\text{Tengah bentang (e)} = yb - d' = 473 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 323 \text{ mm}$$

Besar gaya prategang yang dibutuhkan diambil berdasarkan beberapa persamaan, yaitu persamaan pada serat atas dan bawah tengah bentang saat transfer dan saat beban layan.

Kondisi Saat Transfer Gaya Prategang

Beban saat transfer

$$\text{Balok} = 2400 \times 0,62 \times 0,55 = 831,6 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat} = 2400 \times 0,12 \times 1,31 = 376,62 \text{ kg/m}$$

$$qD = 1208,22 \text{ kg/m}$$

kombinasi 1D

$$U = 1208,22 \text{ kg/m}$$

$$M_{\max} \text{ lapangan} = \frac{1}{24} \times q \times L^2 = 7249,3 \text{ kg.m}$$

$$M_{\max} \text{ tumpuan} = \frac{1}{12} \times q \times L^2 = 14498,6 \text{ kg.m}$$

a. Serat Atas

$$\sigma_{tr} > -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$1,48 > \frac{f_o}{503424} + \frac{f_o \times 323}{100054322,5} - \frac{72493027,66}{100054322,5}$$

$$1,48 > \frac{f_o}{503424} + \frac{f_o}{309584} - 0,72$$

$$f_o = 1775105,6 \text{ N} \\ = 1775,1 \text{ kN}$$

b. Serat Bawah

$$\sigma_{tr} > \frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_d}{W_b}$$

$$-21 > \frac{f_o}{503424} - \frac{f_o \times 323}{58530601,59} + \frac{72493027,66}{58530601,59}$$

$$-21 > \frac{f_o}{503424} - \frac{f_o}{181103} + 1,24$$

$$f_o = -2977916,4 \text{ N}$$

$$= -2977,9 \text{ kN}$$

Kondisi Saat Beban Layan

Didapat dari ETABS dengan kombinasi 1D + 1L

Momen tumpuan = 32466,9 kg.m

Momen lapangan = 20778,5 kg.m

a. Serat Atas

$$\sigma_{tr} > -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$3,92 > \frac{f_o}{503424} + \frac{f_o \times 323}{100054322,5} - \frac{207785400}{100054322,5}$$

$$3,92 > \frac{f_o}{503424} + \frac{f_o}{309584} - 2,08$$

$$f_o = 4822496,9 \text{ N}$$

$$= 4822,5 \text{ kN}$$

b. Serat Bawah

$$\sigma_{tr} > \frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_d}{W_b}$$

$$-24 > \frac{f_o}{503424} - \frac{f_o \times 323}{58530601,59} + \frac{207785400}{58530601,59}$$

$$-24 > \frac{f_o}{503424} - \frac{f_o}{181103} + 3,55$$

$$f_o = -3669365,3 \text{ N}$$

$$= -3669,4 \text{ kN}$$

Dari kondisi beban layan dan saat transfer diambil gaya paling minimum

$$f_o < 1775,1 \text{ kN}$$

$$f_o = 1770 \text{ kN}$$

Penentuan Tendon Yang Digunakan

Digunakan tendon dengan tipe 7 wire uncoated ASTM A416 dengan nilai dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter} &= 12,7 \text{ mm} \\
 \text{Luas Kawat} &= 100,1 \text{ mm}^2 \\
 \text{Min. Breaking Load} &= 184 \text{ kN} \\
 \text{Tegangan izin baja prategang} \\
 f_{pu} &= \frac{\text{min breaking load}}{A_s} \\
 &= \frac{184000 \text{ N}}{100,1} \\
 &= 1838,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan diambil paling minimum dari :

$$\begin{aligned}
 f_{py} &= 0,9 f_{pu} \\
 &= 0,9 \times 1838,16 \text{ MPa} \\
 &= 1654,346 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan tarik pada baja prategang tidak boleh melebihi berikut ini :

- Akibat gaya penarikan (jacking) baja prategang 0,94 f_{py} (SNI 2847:2013 pasal 18.5.1 a)
 $0,94 f_{py} = 0,94 \times 1654,346 \text{ MPa} = 1555,085 \text{ MPa}$
- Tetapi tidak lebih besar dari yang lebih kecil dari 0,80 f_{pu} dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pembuat baja prategang atau perangkat angkur (SNI 2847:2013 pasal 18.5.1 a)
 $0,80 f_{pu} = 0,80 \times 1838,16 \text{ MPa} = 1470,529 \text{ MPa}$
- Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur dan kopler (couplers), sesaat setelah transfer gaya 0,70 f_{pu} (SNI 2847:2013 pasal 18.5.1 b)
 $0,70 f_{pu} = 0,70 \times 1838,16 \text{ MPa} = 1286,71 \text{ MPa}$

Maka tegangan yang menentukan adalah yang paling minimum 1286,71 MPa

Luasan tendon yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 A_{ps} &= \frac{F}{f_{st}} \\
 &= \frac{1770000}{1286,71}
 \end{aligned}$$

$$= 1357,6 \text{ mm}^2$$

Jumlah Strand

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{ps}}{A_s} \\ &= \frac{1357,6}{100,1} \\ &= 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

Perhitungan Kehilangan Gaya Pratekan

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

Kehilangan Segera (Kehilangan Langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada komponen balok pratekan. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis
Dikarenakan jumlah tendon yang digunakan hanya berjumlah 1 buah, maka kehilangan gaya pratekan akibat perpendekan elastis tidak mempengaruhi.
2. Kehilangan Akibat Wobble Effect

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 :

$$\alpha = 8y/L = 0,215 \text{ rad}$$

$$f_1 = F_i / A_{ps} = 1770000 / 1375,6 = 1286,71 \text{ MPa}$$

untuk kawat dengan 7 untaian :

$$K = 0,0016$$

$$\mu = 0,15$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pf} &= f_1 (1 - e^{-\mu\alpha+KL}) \\ &= 64,6115 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Prosentase kehilangan pratekan akibat gesekan di tengah bentang adalah :

$$\begin{aligned}\Delta f_{pf} &= 64,6115 / 1286,71 \times 100\% \\ &= 5,02\%\end{aligned}$$

3. Kehilangan Akibat Slip Angkur

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 :

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

Dengan ketentuan sebagai berikut :

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$g = 0,8 \text{ mm}$$

$$f_{pakai} = 1286,71 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,15$$

$$K = 0,0016$$

$$\alpha = 0,215 \text{ rad}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$X = 5381,8 \text{ mm} < 6000 \text{ mm (OKE)}$$

Sehingga nilai Δf_{pa} :

$$\begin{aligned}\Delta f_{pa} &= 2 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) X \\ &= 59,46 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Prosentase kehilangan pratekan akibat slip angkur adalah :

$$\begin{aligned}\Delta f_{pa} &= 59,46 / 1286,71 \times 100\% \\ &= 4,62\%\end{aligned}$$

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.

Dapat di hitung kahilangan yang terjadi akibat gaya prategang ini. Perumusan yang digunakan untuk kehilangan gaya pratekan akibat kekangan kolom ialah sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{h}$$

Dari hasil perhitungan pada ETABS, diperoleh nilai displacement :

Node 1 = 0,000246 mm

Node 2 = 0,071 mm

Sehingga didapatkan nilai $\Delta L = 0,07075$ mm

Properties Kolom :

Lk = 3200 mm

$I_k = 1/12 \times b \times h^3$

$$= 1/12 \times 700 \text{ mm} \times 1400^3$$

$$= 160066666666,67 \text{ mm}^4$$

Properties Balok :

$$L_b = 12000 \text{ mm}$$

$$I_b = 27696073828 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{L_k \times I_b}{L_b \times L_k} \\ &= \frac{3200 \times 27696073828}{12000 \times 16006666666,67} \\ &= 0,04614 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \xi_{bb} &= \Delta L / L \\ &= 0,071 \text{ mm} / 3200 \text{ mm} \\ &= 0,000022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{3 \times (k+1)}{k \times (k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= 189098012 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= \frac{3}{(k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= 8340322 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Distribusi Momen Akibat Beban Merata

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{(k+2)} \times \frac{W \times L_b^2}{12} \\ &= 70858295 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= \frac{-2}{(k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= -141716590 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Distribusi Momen Akibat Eksentrisitas

$$\begin{aligned} M_p &= F_0 \times e \\ &= 1770000 \times 323 \\ &= 572045648,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{(k+2)} \times M_p \\ &= 279572950,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_b = \frac{-2}{(k+2)} \times M_p \\ = -559145901,8 \text{ N.mm}$$

Kehilangan Pratekan Akibat Kekangan Kolom :
Akibat Perpendekan Kolom

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{h} \\ = \frac{189098012 - 8340322}{12000} \\ = 15063 \text{ N}$$

Akibat Beban Merata

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{h} \\ = \frac{70858295 - (-141716590)}{12000} \\ = 17715 \text{ N}$$

Akibat Eksentrisitas

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{h} \\ = \frac{279572950,9 - (-559145901,8)}{12000} \\ = 69893 \text{ N}$$

Total Kehilangan Akibat Kekangan Kolom :

$$= 15063 + 17715 + 69893 \\ = 102671 \text{ N} \\ \Delta f_p = 102671 \text{ N} / 1375,598 \text{ mm}^2 \\ = 74,64 \text{ MPa}$$

Prosentase kehilangan pratekan akibat kekangan kolom adalah :

$$\Delta f_{pa} = 74,64 / 1286,71 \times 100\% \\ = 5,80\%$$

Totak kehilangan tegangan langsung
% Total = 0% + 5,02% + 4,62% + 5,8%

$$= 15,44\%$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan Sisa} &= 1286,7 \text{ MPa} \times (100\% - 15,44\%) \\ &= 1088,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kehilangan yang tergantung oleh waktu (kehilangan tidak langsung)

Hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat pemberian gaya pratekan), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut :

a. Tahap 1

- Relaksasi Baja

$$f_{pi} = 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1838 = 1286,71 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,7 \times f_{pu} = 0,9 \times 1838 = 1654,35 \text{ MPa}$$

$$\text{sehingga } f_{pi}/f_{py} = 0,778 > 0,55$$

kehilangan akibat relaksasi baja :

$$\Delta f_{pr} = f_{pi} \times \left(\frac{\log t}{10} \right) \times \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

Diasumsikan transfer terjadi setelah 18 jam dan penyebut suku log adalah 45 (low relaxation steel)

Maka nilai Δf_{pr} :

$$\begin{aligned}\Delta f_{pr} &= 1286,71 \times \left(\frac{18}{45} \right) \times \left(\frac{1286,71}{1654,35} - 0,55 \right) \\ &= 8,176 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Total kehilangan pada tahap I

$$\begin{aligned}f_{pt} &= \Delta f_{pA} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{cR} + \Delta f_{pSH} \\ &= 0 + 8,176 + 0 + 0 \\ &= 8,176 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan akhir tahap I

$$\begin{aligned}f_{pe} &= f_i - f_{pt} \\ &= 1088,0 \text{ MPa} - 8,176 \text{ MPa} \\ &= 1079,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b. Tahap 2

- Relaksasi Baja

$$f_{ps} = 1079,8 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 1654,35 \text{ MPa}$$

sehingga :

$$f_{ps} / f_{py} = 0,653 > 0,55$$

diasumsikan kehilangan terjadi saat penambahan beban mati tambahan yaitu pada hari ke 30

$$\begin{aligned}\Delta f_{pr} &= f_{pi} \times \left(\frac{\log 2 - \log 1}{10} \right) \times \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1079,8 \times \left(\frac{30 \times 24 - 18}{45} \right) \times (0,653 - 0,55) \\ &= 3,949 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Susut

Kehilangan akibat susut (SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.d)

$$SH = (8,2 \times 10^{-6}) K_{sh} E_{ps} [1 - 0,06(v/s)] \cdot [100 - RH]$$

$$RH = 80\%$$

$$K_{sh} = 0,58 \text{ (30 hari)}$$

$$v/s = 6332400000 / 54240000 = 116,75 \text{ mm} = 11,7 \text{ cm}$$

$$SH = 33,4 \text{ MPa}$$

- Rangkak

Rumus perhitungan kehilangan pratekan akibat rangkak :

$$CR = K_{cr} \cdot (E_s / E_c) \cdot (f_{c'ir} - f_{c'ds})$$

Dimana :

$$K_{cr} = 2 \text{ untuk metode pratarik}$$

$$= 1,6 \text{ untuk metode pasca tarik}$$

$f_{c'ds}$ = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat seluruh beban mati pada struktur setelah diberi gaya prategang

$f_{c'ir}$ = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat gaya awal pratekan

momen akibat beban mati saat jacking :

$$Md = 7249,3 \text{ kg.m}$$

$$Ms = 11699,17 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned} f_{c_{ir}} &= \frac{f_0}{A} - \frac{f_0 \times e^2}{I_c} + \frac{M_d}{I_c} \\ &= \frac{1524730}{503424} - \frac{1524730 \times 104452}{27696073828} + \frac{23428994934}{27696073828} \\ &= 7,933 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{c_{ds}} &= \frac{Ms \times e}{I_c} \\ &= 1,365 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR &= 1,6 \cdot (200000 / 29752,4) \cdot (7,933 - 1,365) \\ &= 70,705 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Total kehilangan pada tahap II :

$$\begin{aligned} f_{pt} &= 3,9 \text{ MPa} + 33,4 \text{ MPa} + 70,705 \text{ MPa} \\ &= 108,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Peningkatan tegangan akibat penambahan beban :

$$\begin{aligned} f_{sd} &= n \times f_{csd} \\ &= E_s / E_c \times f_{cds} \\ &= 6,7 \times 1,365 \text{ MPa} \\ &= 9,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan akhir pada tahap II

$$\begin{aligned} f_{pe} &= f_{ps} - f_{pt} + f_{sd} \\ &= 1079,8 - 108,0 + 9,2 \\ &= 981 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Tahap 3

- Relaksasi Baja

$$f_{ps} = 981 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 1654,35 \text{ MPa}$$

sehingga :

$$f_{ps} / f_{py} = 0,59 > 0,55$$

diasumsikan kehilangan terjadi selama rentang waktu antara hari ke-30 hingga hari ke-720

$$\begin{aligned}\Delta f_{pr} &= f_{pi} \times \left(\frac{\text{Logt2-logt1}}{10} \right) \times \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 981 \times \left(\frac{720-24-30}{45} \right) \times (0,653 - 0,55) \\ &= 1,29 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Total kehilangan prategang :

$$f_{pt} = f_{pr} = 1,29 \text{ MPa}$$

Tabel 4. 11 Total Kehilangan Gaya Pratekan

Level Tegangan Tiap Tahap	Tegangan Baja	Persen
	MPa	%
Tegangan Efektif		
Sesudah penarikan	1286,7	100%
Kehilangan Langsung		
Perpendekan Elastis	0	0
Slip Angkur	59,46	4,6%
Wobble Effect	64,61	5,02%
Kekangan Kolom	74,64	5,8%
Kehilangan Tak Langsung		
Rangkak	70,70	5,5%
Susut	33,39	2,6%
Relaksasi Baja	13,42	1,04%
Total Kehilangan	316,22	24,6%
Penambahan		
Overtopping	9,2	0,7%
Total Penambahan	9,2	0,7%
Tegangan Efektif	979,68	76,1%

Kontrol Gaya Pratekan Setelah Kehilangan

$$f_e = 979,68 \text{ MPa}$$

$$\text{jumlah strands} = 14 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{luasan kawat} &= 100,1 \text{ mm}^2 \\
 F_{\text{efektif}} &= f_e \times \text{jumlah strands} \times \text{luas kawat} \\
 &= 1372918 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tegangan pada Lapangan

a. Serat Atas

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tr} &> -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_t}{W_t} \\
 3,92 &> \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 323}{100054322,5} - \frac{207785400}{100054322,5} \\
 -24 \text{ MPa} &< -0,4 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

b. Serat Bawah

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tk} &> \frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_t}{W_b} \\
 -24 &> \frac{1372918}{503424} - \frac{1372918 \times 323}{58530601,59} + \frac{207785400}{58530601,59} \\
 -24 \text{ MPa} &< -6,8 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

Tegangan pada Tumpuan

a. Serat Atas

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tr} &> -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_t}{W_t} \\
 3,92 &> \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 110}{100054322,5} - \frac{324669000}{100054322,5} \\
 -24 \text{ MPa} &< -0,99 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

b. Serat Bawah

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tk} &> \frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_t}{W_b} \\
 -24 &> \frac{1372918}{503424} - \frac{1372918 \times 110}{58530601,59} + \frac{324669000}{58530601,59} \\
 -24 \text{ MPa} &< -5,69 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

Daerah Limit Kabel

$$\begin{aligned}
 a_{\max} &= M_i / F_e \\
 &= 207785400 / 1372918,347 \\
 &= 151,346 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_{\max} < (y_b + k_t - d')$$

$$151,346 \text{ mm} < (473 + 16 - 65)$$

$$151,346 \text{ mm} < 525 \text{ mm (OKE)}$$

$$\begin{aligned} a_{\min} &= M_d / F_0 \\ &= 72493027,66 / 1770000 \\ &= 40,9565 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih syarat} &= a_{\min} - (y_b - k_b - d') \\ &= 40,9565 - (473 - 199 - 65) \\ &= -169 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga e_{lapangan} :

$$a_{\max} - k_t < e_{\text{lapangan}} < k_b + a_{\min} - \text{selisih}$$

$$151,346 - 116 < 323,2 \text{ mm} < 199 + 41 + 169$$

$$35 \text{ mm} < 323,2 \text{ mm} < 409 \text{ mm} \quad (\text{OKE})$$

e_{tumpuan} :

$$e_{\text{tumpuan}} < k_t$$

$$110 \text{ mm} < 116,27 \text{ mm (OKE)}$$

Momen Retak

$$\begin{aligned} M_{ce} &= F_e x k_t + F_e x e + f_r x w_b \\ &= 1372918 x 116,3 + 1372918 x 323,2 + 3,9 x \\ &\quad 58530601,6 \\ &= 832847034,6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{izin}} &= L / 480 \\ &= 12000 / 480 \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lendutan Awal Jacking

- Akibat Tekanan Tendon

$$P_o = \frac{8 \times f_o \times f}{L^2}$$

$$= \frac{8 \times 1770000 \times 323,2}{12000^2}$$

$$= 31,78 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I}$$

$$= \frac{5 \times 31,78 \times 12000^4}{384 \times 29725,41 \times 19335937500}$$

$$= -14,9289 \text{ mm (Ke Atas)}$$

- Akibat Eksentrisitas Tepi Balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_o \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I}$$

$$= \frac{1770000 \times 110 \times 12000^2}{8 \times 29725,41 \times 19335937500}$$

$$= 6,097 \text{ mm (Ke Bawah)}$$

- Akibat Berat Sendiri Balok dan Pelat

$$\Delta l_{qo} = \frac{5 \times q_o \times L^4}{384 \times E_c \times I}$$

$$= \frac{5 \times 12,08 \times 12000^4}{384 \times 29725,41 \times 19335937500}$$

$$= 5,676 \text{ mm (Ke Bawah)}$$

- Total Lendutan saat Transfer

$$\Delta tr = \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo}$$

$$= -14,9289 + 6,097 + 5,676$$

$$= -3,156 \text{ mm (Ke Atas)}$$

Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta tr$$

$$25 \text{ mm} > -3,156 \text{ mm (OKE)}$$

Lendutan Saat Servis

- Akibat Tekanan Tendon

$$P_o = \frac{8 \times F_e \times f}{L^2}$$

$$= \frac{8 \times 1372918 \times 323,2}{12000^2}$$

$$= 24,6507 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I}$$

$$= \frac{5 \times 24,6507 \times 12000^4}{384 \times 29725,41 \times 19335937500} \\ = -11,58 \text{ mm (Ke Atas)}$$

- Akibat Eksentrisitas Tepi Balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_o \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} \\ = \frac{1372918 \times 110 \times 12000^2}{8 \times 29725,41 \times 19335937500} \\ = 4,73 \text{ mm (Ke Bawah)}$$

- Akibat Berat Sendiri Balok, Pelat, Dan Beban Tambahan

$$\Delta l_{qo} = \frac{5 \times q_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} \\ = \frac{5 \times 67,17 \times 12000^4}{384 \times 29725,41 \times 19335937500} \\ = 31,55 \text{ mm (Ke Bawah)}$$

- Total Lendutan

$$\Delta tr = \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo} \\ = -11,58 + 4,73 + 31,55 \\ = 24,7 \text{ mm (Ke Bawah)}$$

Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta tr$$

$$25 \text{ m} > 24,7 \text{ mm (OKE)}$$

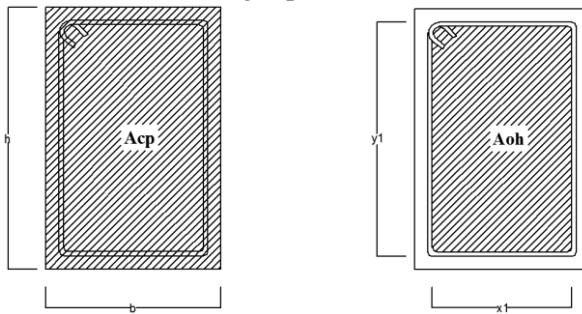
4.5.2 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Lunak Hasil Output ETABS

Torsi	= 114310100 N.mm
Momen Tumpuan Kanan	= 427867300 N.mm
Momen Tumpuan Kiri	= 449105400 N.mm
Momen Lapangan	= 269766300 N.mm
Gaya Geser Tump. Kanan	= 217184,6 N

Gaya Geser Tump. Kiri = 209674,9 N

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 55/75



Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 550 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} \\ &= 412500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} \times h_{balok}) \\ &= 2 \times (550 \text{ mm} + 750 \text{ mm}) \\ &= 2600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} \\ &\quad - \emptyset_{geser})) \\ &= (550 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (750 \text{ mm} - (2 \times 40 \\ &\quad \text{mm}) - 10 \text{ mm}) \\ &= 281600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser}) \times ((h_{balok} - \\ &\quad 2 \cdot \text{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(550 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) \times (750 \text{ mm} - (2 \\ &\quad \times 40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})] \end{aligned}$$

$$= 2100 \text{ mm}$$

4.5.2.1 Perhitungan Penulangan Puntir

$$Tu = 114310100 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} Tn &= \frac{Tu}{\phi} \\ &= 152413467 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

$$Vu = 217184,6 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu biasanya kurang daripada :

$$\begin{aligned} Tu_{\min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{40} \times \left(\frac{(412500 \text{ mm})^2}{2600 \text{ mm}} \right) \\ &= 25869293,66 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \phi \times 0,033 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,033 \times 1 \times \sqrt{40} \times \left(\frac{(412500 \text{ mm})^2}{2600 \text{ mm}} \right) \\ &= 103477174,6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tu_{\min} > Tu \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{\min} < Tu \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$Tu_{\min} < Tu$

$25869293,66 \text{ N.mm} < 114310100 \text{ N.mm} \rightarrow (\text{maka memerlukan tulangan puntir})$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang (longitudinal).

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bw \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{bw \times d} + 0,66\sqrt{f_c'} \right)$$

$0,649 < 3,291$ (**memenuhi**)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Al = \frac{At}{s} \times P_h \times \left(\frac{F_y t}{F_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$Tn = \frac{2 \times Ao \times At \times F_y t}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } Ao &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 281600 \text{ mm}^2 \\ &= 239360 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times Ao \times F_y t \times \cot \phi} \\ &= \frac{152413467 \text{ N.mm}}{2 \times 239360 \times 280 \times \cot 45^\circ} \\ &= 1,137 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} Al &= \frac{At}{s} Ph \left(\frac{F_y t}{F_y} \right) \cot^2 \phi \\ &= 1,137 \text{ mm} \times 2100 \text{ mm} \times \left(\frac{280}{400} \right) \times \cot^2 45^\circ \\ &= 1671,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan :

$$\begin{aligned} Al_{\min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{fc'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{At}{s} \right) Ph \frac{F_y}{F_y} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{40} \times 412500}{400} - 1,1372100 \times \frac{280}{400} \\ &= 1046,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan nilai Al yang maksimum yaitu 1671,48 mm².

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{1671,48 \text{ mm}^2}{4} = 417,87 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok.

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok.

Maka masing sisi atas bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 310,35mm²

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2x \frac{Al}{4} = 2 \times \frac{417,87}{4} = 835,74 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

Direncanakan tulangan diameter 19 mm

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{Luasan D puntir} \\ &= \frac{835,74}{0,25 \pi 25^2} \\ &= 1,7 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan puntir 2D25

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

As = n x Luasan D puntir

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ = 981,75 \text{ mm}^2$$

Kontol:

As pasang \geq As perlu
 $981,75 \text{ mm}^2 \geq 835,74 \text{ mm}^2$ **(memenuhi)**

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2D25

4.5.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\ = \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 677,5 \text{ mm} \\ = 406,5 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b \\ = 0,75 \times 406,5 \text{ mm} \\ = 305 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' \\ = 72,5 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ = 0,85 \times 40 \text{ N/mm}^2 \times 550 \text{ mm} \times 0,85 \times 200 \text{ mm}$$

$$= 2879800 \text{ N}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned} \text{Asc} &= \frac{Cc'}{fy} \\ &= \frac{2879800 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 7200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= \text{Asc} \times fy \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\ &= 7200 \text{ mm}^2 \times 40 \text{ N/mm}^2 \times \left(677,5 - \frac{0,85}{2} \right) \\ &= 1729319900 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_{u_{tumpuan}} &= 449105400 \text{ N.mm} \\ M_n &= M_{ux} / \phi \\ &= 449105400 / 0,9 \\ &= 499006000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_n > M_{nc} \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc} \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$

$561381750 \text{ N.mm} < 1729319900 \text{ N.mm}$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{400}{0,85 \times 40} \\
 &= 11,8 \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} \\
 &= 0,0040 \\
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 40 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,393 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,393 \\
 &= 0,029
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1 nilai ρ_{\max} tidak boleh lebih dari 0,025.

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 449105400 / 0,8 \\
 &= 499006000 \text{ N.mm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{499006000 \text{ N.mm}}{550 \text{ mm} \times (677,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 2 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{11,8} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,8 \times 2}{400}} \right] \\
 &= 0,0051
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0,0040 &< 0,0051 < 0,025 \quad (\text{Oke})
 \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0051 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 1898 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$At = 417,87 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= 1898 \text{ mm}^2 + 417,87 \text{ mm}^2 \\ &= 2316 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } \emptyset \text{ lentur}} \\ &= \frac{2316}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 4,7 \text{ buah} \approx 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 9 \times 0,25 \times \pi \times 25 \\ &= 4417,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\ 2562 \text{ mm}^2 &< 4417,86 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan Pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,5 \times As \\ &= 0,5 \times 4417,86 \text{ mm}^2 \\ &= 2208,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } \varnothing \text{ lentur}} \\ &= \frac{2208,9}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 4,5 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$2208,9 \text{ mm}^2 < 2454,37 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 9D25 dan tulangan tekan 1 lapis 5D25

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \varnothing \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{450 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (9 \cdot 25)}{9-1} \\ &= 42,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$42,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \varnothing \text{ geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{450 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (5 \cdot 25)}{5-1} \\ &= 76,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$76,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2*)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 9 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 4417,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}} (+) &\geq 1/2 M_{\text{lentur tumpuan}} (-) \\ 2454,37 \text{ mm}^2 &\geq 1/2 \times 4417,87 \text{ mm}^2 \\ 2454,37 \text{ mm}^2 &\geq 2208,94 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As_{\text{pakai}}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{4417,87}{550} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 40} \right) \times 677,5 \\ &= 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 94 / 0,85 \\ &= 111 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \varphi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \varphi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$111 / 677,5 < 0,375$$

$$0,16 < 0,375$$

Maka asumsi $\varphi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{4417,87}{550} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 40} \right) \times 677,5 \\ &= 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 40 \times 550 \times 94 \\ &= 1767145,87 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{pasang}} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\ &= 1767145,87 \times (677,5 - 0,85 \times 94/2) \\ &= 1126268495 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$M_{\text{pasang}} > M_{\text{perlu}}$

$1126268495 \text{ N.mm} > 561381750 \text{ N.mm}$

(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok pratekan (55/75)
untuk daerah tumpuan :

Tulangan lentur tarik susun satu lapis

Lapis 1 = 9D25

Tulangan lentur tekan susun satu lapis

Lapis 1 = 5D25

DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi envelope

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 406,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 406,5 \text{ mm} \\ &= 305 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 72,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 200 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 40 \text{ N/mm}^2 \times 550 \text{ mm} \times 0,85 \times 200 \text{ mm} \\ &= 2879800 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{C_c'}{f_y} \\ &= \frac{2879800 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ &= 7200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) \\ &= 7200 \text{ mm}^2 \times 40 \text{ N/mm}^2 \times \left(677,5 - \frac{0,85}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 1729319900 \text{ N.mm}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{lapangan}}} &= 269766300 \text{ N.mm} \\ M_n &= M_{ux} / \phi \\ &= 269766300 / 0,9 \\ &= 299740333,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_n > M_{nc} \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc} \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_n < M_{nc}$

$337207875 \text{ N.mm} < 1729319900 \text{ N.mm}$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

- Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 40} \\ &= 11,8 \\ \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} \\ &= 0,0040 \\ \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 40 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,393 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,393 \end{aligned}$$

$$= 0,029$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1 nilai ρ_{\max} tidak boleh lebih dari 0,025

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 269766300 / 0,8 \\ &= 299740333,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{299740333,3 \text{ N.mm}}{550 \text{ mm} \times (677,5 \text{ mm})^2} \\ &= 1,2 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,8} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,8 \times 1,2}{400}} \right] \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0039 &< 0,003 < 0,025 \end{aligned} \quad (\text{Oke})$$

Karena ρ_{perlu} nilainya lebih kecil daripada ρ_{\min} , maka digunakan nilai ρ_{\min}

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0039 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 1473 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik, maka luasannya pun bertambah besar

$$At = 417,87 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= 1473 \text{ mm}^2 + 417,87 \text{ mm}^2 \\ &= 1891 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } \varnothing \text{ lentur}} \\
 &= \frac{1891}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\
 &= 3,85 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing \text{ lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 2454,37 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &< A_{s\text{pasang}} \\
 1891 \text{ mm}^2 &< 2454,37 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan Pasang (A') Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.2 luasan tulangan tidak boleh kurang dari setengah tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A' &= 0,25 \times A_s \\
 &= 0,25 \times 4417,87 \text{ mm}^2 \\
 &= 613,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } \varnothing \text{ lentur}} \\
 &= \frac{613,59}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\
 &= 1,25 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } \varnothing \text{ lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 1472,62 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$613,59 \text{ mm}^2 < 1472,62 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D25 dan tulangan tekan 1 lapis 3D22

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b \cdot (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \phi \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{550 - (2.50) - (2.10) - (5.25)}{5-1} \\ &= 76,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$76,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b \cdot (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \phi \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n-1} \\ &= \frac{550 - (2.50) - (2.10) - (3.25)}{3-1} \\ &= 177,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$177,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/2$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n_{pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s'_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luasan } \varnothing_{lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{lentur\ tumpuan\ (+)} \geq 1/2 M_{lentur\ tumpuan\ (-)}$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1227,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kondisi Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{2454,37}{550} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 40} \right) \times 677,5 \\ &= 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 52 / 0,85 \\ &= 62 \end{aligned}$$

$$c/d < 0,375 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$c/d > 0,600 \rightarrow \phi = 0,8$$

Maka,

$$c/d < 0,375$$

$$62 / 677,5 < 0,375$$

$$0,09 < 0,375$$

Maka asumsi $\phi = 0,9$ adalah benar

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai}}{b} \right) \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right) \times d \\ &= \left(\frac{2454,37}{550} \right) \times \left(\frac{400}{0,85 \times 40} \right) \times 677,5 \\ &= 52 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\
 &= 0,85 \times 40 \times 550 \times 52 \\
 &= 981747,704 \text{ N} \\
 Mn \text{ pasang} &= cc' \times (d - 0,85 \times a/2) \\
 &= 981747,704 \times (677,5 - 0,85 \times 52/2) \\
 &= 643228875 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &> Mn \text{ perlu} \\
 643228875 \text{ N.mm} &> 337207875 \text{ N.mm} \\
 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok pratekan (55/75)
untuk daerah lapangan :

Tulangan lentur tarik susun satu lapis

Lapis 1 = 5D25

Tulangan lentur tekan susun satu lapis

Lapis 1 = 3D25

4.5.2.3 Perhitungan Penulangan Geser

Perhitungan Tulangan Geser pada Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 d_p &= e_{tumpuan} + y_b \\
 &= 110 \text{ mm} + 473,19 \text{ mm} \\
 &= 583,19 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tetapi nilai d_p tidak boleh diambil kurang dari $0,8h$

$$\begin{aligned}
 d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\
 &= 0,8 \times 750 \text{ mm} \\
 &= 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, nilai d_p diambil sebesar 600 mm

$$\begin{aligned}
 f_{pc} &= F_e/A_c \\
 &= 11372918,3 \text{ N} / 503424 \text{ mm}^2 \\
 &= 2,272 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$V_p = F_e \times \frac{\frac{el-et}{L}}{2}$$

$$= 11372918,3 \times \frac{323,2-110}{\frac{12000}{2}}$$

$$= 48782 \text{ N}$$

Digunakan nilai $\lambda = 1$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc})b_wd + V_p \\ &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{30} + 0,3 \times 2,727)550 \times 600 + 48782 \\ &= 924031 \text{ N} \\ f_{pe} &= \frac{Fe}{Ac} + \frac{Fe \times e_{tumpuan}}{W_t} \\ &= \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 110}{100054323} \\ &= 4,237 \text{ MPa} \\ f_d &= M_d \text{ tumpuan} / W_t \\ &= 144986055,3 \text{ N.mm} / 100054323 \\ &= 1,449 \text{ MPa} \\ M_{cre} &= \left(\frac{1}{y_t}\right) \times (0,5\lambda\sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d) \\ &= \left(\frac{27696073828,4}{276,8}\right) \times (0,5 \times 1 \times \sqrt{30} + 4,237 - 1,449) \\ &= 595198874 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d + V_d + \frac{V_l \times M_{cre}}{M_{max}} \\ &= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 550 \times 600 + 72493 + \frac{241772,3 \times 595198874}{449105400} \\ &= 497323 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara V_{cw} dan V_{ci} , maka digunakan nilai $V_{ci} = 497323 \text{ N}$

Namun pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2, nilai V_c harus sama dengan 0 bilamana keduanya a dan b terjadi :

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum panjang tersebut

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tarik} \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{4417,865 \times 400}{0,85 \times 40 \times 550} \right) \\ &= 94,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 4417,865 \times 400 \times \left(677,5 - \frac{94,5}{2} \right) \\ &= 1113743878 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tekan} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 550} \right) \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454,3 \times 400 \times \left(677,5 - \frac{52,5}{2} \right) \\ &= 63936352,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times l_n}{2} \\ &= \frac{1113743878 + 63936352,7}{11300} + 217184,6 \\ &= 372326,82 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat : $V_e > \frac{1}{2} V_u$
 $: 372326,82 > \frac{1}{2} 217184,6$ (Oke)

- b. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$

$$P_u < A_g f'_c / 20$$

$$1770000 \text{ N} < 825000 \text{ N} \quad (\text{Tidak Oke})$$

Maka V_c diperhitungkan.

$$\begin{aligned} V_s &= V_e / \phi - V_c \\ &= 372326,82 / 0,75 - 497323 \\ &= -886,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum. Digunakan $V_{s_{min}}$

$$\begin{aligned} V_{s_{min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 124208,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} \text{Av/s} &= \text{Vs} / (\text{f}_y \cdot \text{d}) \\ &= 124208,3 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 677,5 \text{ mm}) \\ &= 0,655 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Avt/s} &= 2 \cdot \text{At/s} + \text{Av/s} \\ &= 2 \times 1,137 + 0,655 \\ &= 2,929 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} \text{Av} &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{Av}}{\text{Avt/s}} \\ &= \frac{398,2}{2,929} \\ &= 135,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-110 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} s &< P_h/8 \\ 110 \text{ mm} &< 262,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< 300 \text{ mm} \\ 110 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai dibawah ini :

a. $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 84,726 \text{ mm}^2$

$$b. (0,35 \times b_w \times s) / f_{ys} = 75,625 \text{ mm}^2$$

Avt	> 84,726 mm ²
2,929 x 110 mm	> 84,726 mm ²
322,18 mm ²	> 84,726 mm ²

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. d/4
- b. $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$110 \text{ mm} < 169 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$110 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$110 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah tumpuan) dipasang 3D13-110 mm

Perhitungan Tulangan Geser pada Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} d_p &= e_{\text{lapangan}} + y_t \\ &= 323,2 \text{ mm} + 276,81 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tetapi nilai d_p tidak boleh diambil kurang dari $0,8h$

$$\begin{aligned} d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\ &= 0,8 \times 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

Maka, nilai d_p diambil sebesar 600 mm

$$\begin{aligned} f_{pc} &= F_e/A_c \\ &= 1372918,3 \text{ N} / 503424 \text{ mm}^2 \\ &= 2,727 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p &= Fe \times \frac{\text{el-et}}{\frac{L}{2}} \\ &= 11372918,3 \times \frac{323,2-110}{\frac{12000}{2}} \\ &= 48782 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai $\lambda = 1$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc})b_w d + V_p \\ &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{30} + 0,3 \times 2,727) 550 \times 600 + 48782 \\ &= 924031 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{Fe}{Ac} + \frac{Fe \times e_{lapangan}}{W_b} \\ &= \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 323,2}{58530601,59} \\ &= 10,308 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_d &= M_d \text{ lapangan} / W_b \\ &= 72493028 \text{ N.mm} / 58530601,59 \\ &= 1,239 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left(I/y_t \right) \times (0,5\lambda\sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d) \\ &= \left(27696073828,4 / 276,8 \right) \times (0,5 \times 1 \times \sqrt{40} + 10,308 - 1,239) \\ &= 1223840686 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d \text{ lapangan} &= \frac{0,5 \times L - X}{0,5 \times L} \times V_d \\ &= 54369,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_l \text{ lapangan} &= \frac{0,5 \times L - X}{0,5 \times L} \times V_l \\ &= 181329,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{ci} = 0,05 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d + V_d + \frac{V_l \times M_{cre}}{M_{max}}$$

$$= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 550 \times 600 + 54369,8 + \frac{181329,2 \times 1223840686}{269766300}$$

$$= 981356 \text{ N}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara V_{cw} dan V_{ci} , maka digunakan nilai $V_{cw} = 707395,9 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_{c\min} &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{40} \times 550 \times 600 \\ &= 354808 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang terbesar antara $V_{c\min}$ dan V_{cw} , maka digunakan nilai $V_{cw} = 924031 \text{ N}$. maka V_c pakai adalah 924031 N.

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{V_e}{\frac{1}{2} \ln} \\ V_{u2} &= \frac{V_e \times \left(\frac{1}{2} \ln - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{372326,82 \times \left(\frac{1}{2} \cdot 11300 - 2.750 \right)}{\frac{1}{2} \cdot 11300} \\ &= 372326,559 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (V_u / \phi) - V_c \\ &= (372326,559 / 0,75) - 924031 \\ &= -427595,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum.

Digunakan $V_{s\min}$

$$\begin{aligned} V_{s\min} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 124208,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Av/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} Av/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\ &= 124208,3 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 677,5 \text{ mm}) \end{aligned}$$

$$= 0,655 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Avt/s} &= 2.\text{At/s} + \text{Av/s} \\ &= 2 \times 1,137 + 0,655 \\ &= 2,929 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}\text{Av} &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{Av}}{\text{Avt/s}} \\ &= \frac{398,2}{2,929} \\ &= 135,96 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-120 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned}s &< P_h/8 \\ 120 \text{ mm} &< 262,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &< 300 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai dibawah ini :

- $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 84,726 \text{ mm}^2$
- $(0,35 \times b_w \times s) / f_{ys} = 75,625 \text{ mm}^2$

Avt	$> 84,726 \text{ mm}^2$
2,929 x 120 mm	$> 84,726 \text{ mm}^2$
351,47 mm^2	$> 84,726 \text{ mm}^2$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
- b. $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$120 \text{ mm} < 169 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$120 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah lapangan) dipasang 3D13-120 mm

4.5.2.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) d_b$$

Dimana :

l_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1,5

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1
(beton normal)

Perhitungan

$$\begin{aligned} l_d &= \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) .25 \\ &= 1610,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $l_d > 300$ mm

1610,95 mm > 300 mm (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{2562}{4417,86} .1610,95 \\ &= 934,22 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**

Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1*)

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2*

panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 25 \\ &= 438,18 \text{ mm} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \text{atau} \quad (0,043 f_y) d_b \\ \text{atau} \quad (0,043 \cdot 400) 25 \\ \text{atau} \quad 430 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil 438,18 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{reduksi} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{2208,9}{2454,37} \cdot 438,18 \\ &= 394,36 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5*
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1*)

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.2* untuk batang tulangan ulir λ_d harus sebesar $(0,24, \Psi_e, f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$ dengan Ψ_e diambil sebesar 1,2 untuk tulangan yang dilapisi epoksi, dan λ diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya, Ψ_e dan λ harus diambil sebesar 1,0

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b \\ &= \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 25 \\ &= 438,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $l_{dh} > 150 \text{ mm}$
 $438,18 \text{ mm} > 150 \text{ mm} (\text{memenuhi})$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} l_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} l_d \\ &= \frac{2562}{4417,86} \cdot 438,18 \\ &= 254,31 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang kait :

$$12 \times d_b = 12 \times 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

4.5.3 Kontrol Momen Nominal

Kontrol Momen Nominal Daerah Tumpuan

Setelah ditentukan jumlah tulangan lunak terpasang untuk masing-masing tumpuan dan lapangan maka dilakukan pengecekan momen nominal balok terhadap momen ultimate dan batas layan yaitu momen retak. Desain balok prategang terhadap momen nominalnya harus memenuhi kontrol momen batas yang disyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 18.7

Dari perhitungan tendon pratekan diketahui data-data sebagai berikut :

f_{pu}	= 1838,2 MPa
f_{py}	= 1654,35 MPa
f_{se}	= 979,68 MPa
f_{py}/f_{pu}	= 0,9
γ_p	= 0,28 (SNI 2847:2013 pasal 18.7.2)
t_p	= 120 mm
A_{ps}	= 1401,4 mm ²
b_{eff}	= 1308 mm
M_{cr}	= 832847034,6 N.mm
d_p	= 600 mm

$$\begin{aligned}\rho.ps &= A.ps / (b_w \times d_p) \\ &= 1401,4 / (550 \times 600) \\ &= 0,00425\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L/h &= 12000 \text{ mm} / 750 \text{ mm} \\ &= 16\end{aligned}$$

Karena nilai $L/h < 35$, maka digunakan rumus f_{ps} sebagai berikut :

$$\begin{aligned}f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} \\ &= 979,68 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00425} \\ &= 1144 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{ps} &= f_{py} \\ &= 1654,35 \text{ MPa} \\ f_{ps} &= f_{se} + 420 \\ &= 979,68 + 420 \\ &= 1399,68 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Digunakan nilai f_{ps} yang paling minimum yaitu 1144 MPa.

$$\begin{aligned}a &= \frac{A.ps \times f_{ps} + A.s \text{ pakai} \times f_y - A.s' \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1401,4 \times 1141,23 + 4417,865,495 \times 400 - 2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 550} \\ &= 128 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek :

$a > t_p \rightarrow$ Balok T

$a < t_p \rightarrow$ Balok Biasa

128 mm > 120 mm \rightarrow Balok T

$$\begin{aligned}Apw.fps &= Aps.fps + As_{\text{pakai}}.fy - (0,85.f_c' (b_{\text{eff}} - b).t_p) \\ &= 1401,4 \times 1141,23 + 4417,87 \times 400 - (0,85.40(1308-550) \times 120) \\ &= 278753 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= Apw.fps / (0,85 \times f_c' \times b_w) \\ &= 278753 / (0,85 \times 40 \times 550) \\ &= 14,91 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= As_{\text{pakai}} / (b_w.d) \\ &= 4417,87 / (550 \times 677,5)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho' &= 0,0119 \\
 &= A_s' \text{ pakai} / (b_w \cdot d) \\
 &= 2454,37 / (550 \times 677,5) \\
 &= 0,0066 \\
 \omega &= \rho \cdot f_y / f_c \\
 &= 0,0119 \times 400 / 40 \\
 &= 0,119 \\
 \omega' &= \rho' \cdot f_y / f_c \\
 &= 0,0066 \times 400 / 40 \\
 &= 0,066 \\
 \omega_p &= \rho \cdot f_{ps} \times f_{ps} / f_c' \\
 &= 0,00425 \times 1143,87 / 40 \\
 &= 0,1214
 \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,77 \\
 0,36 \beta_1 &= 0,28 \\
 \text{Rasio} &= \omega_p + \frac{d}{d_p} \times (\omega - \omega') \\
 &= 0,1214 + \frac{677,5}{600} \times (0,119 - 0,066) \\
 &= 0,18
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio} &< 0,36 \beta_1 \\
 0,18 &< 0,28 \rightarrow \text{Tulangan Normal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_p w \cdot f_{ps} (d_p - \frac{1}{2} a) + A_s \text{ pakai} \cdot f_y \times (d - d_p) + 0,85 f_c' \cdot (b_{eff} - b) \times t_p (d_p - \frac{1}{2} t_p) \\
 &= 1971488950 \text{ N.mm} \\
 1,2M_{cr} &= 1,2 \times 832847034,6 \text{ N.mm} \\
 &= 999416441,5 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 0,9 M_n &> 1,2 M_{cr} \\
 1774340055 &> 999416441,5 \quad (\text{OKE})
 \end{aligned}$$

$$M_{np} = A_p w \cdot f_{ps} (d_p - \frac{1}{2} a)$$

$$\begin{aligned}
 &= 165174119 \text{ N.mm} \\
 \text{PPR} &= M_{np}/M_n \\
 &= 165174119,1 / 1971488950 \\
 &= 8,4\%
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \text{PPR} &< 25\% \\
 8,4\% &< 25\% \quad (\text{OKE})
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen Nominal Daerah Lapangan

Diketahui data-data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 f_{pu} &= 1838,2 \text{ MPa} \\
 f_{py} &= 1654,35 \text{ MPa} \\
 f_{se} &= 979,68 \text{ MPa} \\
 f_{py}/f_{pu} &= 0,9 \\
 \gamma_p &= 0,28 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 18.7.2)} \\
 t_p &= 120 \text{ mm} \\
 A_{ps} &= 1401,4 \text{ mm}^2 \\
 b_{eff} &= 1308 \text{ mm} \\
 M_{cr} &= 832847034,6 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_p &= 600 \text{ mm} \\
 \rho_{ps} &= A_{ps} / (b_w \times d_p) \\
 &= 1401,4 / (550 \times 600) \\
 &= 0,00179 \\
 L/h &= 12000 \text{ mm} / 750 \text{ mm} \\
 &= 16
 \end{aligned}$$

Karena nilai $L/h < 35$, maka digunakan rumus f_{ps} sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} \\
 &= 979,68 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00179} \\
 &= 1274 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= f_{py} \\
 &= 1654,35 \text{ MPa} \\
 f_{ps} &= f_{se} + 420 \\
 &= 979,68 + 420
 \end{aligned}$$

$$= 1399,68 \text{ MPa}$$

Digunakan nilai f_{ps} yang paling minimum yaitu 1274 MPa.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \text{ pakai} \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\ &= \frac{1401,4 \times 1274 + 2454,37 \times 400 - 1472,62 \times 400}{0,85 \times 40 \times 1308} \\ &= 62,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek :

$$a > t_p \rightarrow \text{Balok T}$$

$$a < t_p \rightarrow \text{Balok Biasa}$$

62,2 mm < 120 mm → Balok Persegi Panjang

$$\begin{aligned} \rho &= A_s \text{ pakai} / (b_{eff} \cdot d) \\ &= 2454,37 / (1308 \times 677,5) \\ &= 0,00277 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= A_s' \text{ pakai} / (b_{eff} \cdot d) \\ &= 1472,62 / (1308 \times 677,5) \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= \rho \cdot f_y / f_c \\ &= 0,00277 \times 400 / 40 \\ &= 0,0277 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega' &= \rho' \cdot f_y / f_c \\ &= 0,0017 \times 400 / 40 \\ &= 0,017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_p &= \rho \cdot p_s \times f_{ps} / f_c' \\ &= 0,00179 \times 1273,6 / 40 \\ &= 0,0569 \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\beta_1 = 0,77$$

$$0,36 \beta_1 = 0,28$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \omega_p + \frac{d}{dp} \times (\omega - \omega') \\ &= 0,0569 + \frac{677,5}{600} \times (0,028 - 0,017) \\ &= 0,0,0694 \end{aligned}$$

Cek :

$$\text{Rasio} < 0,36 \beta_1$$

$0,0694 < 0,28 \rightarrow$ Tulangan Normal

$$\begin{aligned} M_n &= A_{ps}.f_{ps}(d_p - \frac{1}{2}a) + A_{spakai}.f_y (d_p - \frac{1}{2}a) + A_{spakai}'f_y (\frac{1}{2}a - d_p) \\ &= 1269223069 \text{ N.mm} \\ 1,2M_{cr} &= 1,2 \times 832847034,6 \text{ N.mm} \\ &= 99916441,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek :

$$0,9 M_n > 1,2 M_{cr}$$

$1142300762 > 999416441,5 \quad (\text{OKE})$

$$\begin{aligned} M_{np} &= A_{ps}.f_{ps}(d_p - \frac{1}{2}a) \\ &= 1015387201 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PPR &= M_{np}/M_n \\ &= 1015387201 / 1269223069 \\ &= 80\% \end{aligned}$$

4.5.4 Pengangkuran 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, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuran global diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 18.13.4.2. Bila diperlukan, pada daerah pengangkuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya pencar, pengelupasan dan gaya tarik tepi longitudinal yang timbul akibat pengangkuran tendon sesuai pasal 18.13.3.2

Dalam studi ini digunakan angkur hidup. Hal ini dikarenakan metode pemberian gaya pratekan dengan sistem pasca tarik. Penulangan pengekangan di seluruh pengangkuran harus sedemikian rupa hingga mencegah pembelahan dan bursting yang merupakan hasil dari gaya tekan terpusat besar yang disalurkan

melalui alat angkur. Metode perhitungan perencanaan daerah pengangkuran global sesuai dengan SNI 2847:2013Ps.18.13.3.2 mensyaratkan untuk mengalihkan gaya tendon dengan faktor beban sebesar 1,2.

Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh gaya pratekan awal adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_o &= 1770000 \text{ N} \\ P_u &= 1,2 F_o \\ &= 1,2 \times 1770000 \text{ N} \\ &= 2124000 \text{ N} \\ T_{\text{pencar}} &= 0,25 \sum P_u \left(1 - \frac{a}{h} \right) \\ d_{\text{pencar}} &= 0,5 (h - 2e) \end{aligned}$$

dimana :

- ΣP_u = jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau
- 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 = 110 mm
- h = 750 mm

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{\text{pencar}} &= 0,25 \times 2124000 \left(1 - \frac{265}{750} \right) \\ &= 343380 \text{ N} \\ d_{\text{pencar}} &= 0,5 (h - 2e) \\ &= 0,5 (750 - 2 \times 110) \\ &= 265 \text{ mm} \\ A_{vp} &= T_{\text{pencar}} / f_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 343380 \text{ N} / 400 \text{ MPa} \\
 &= 858,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm ($A_v = 265,46 \text{ mm}^2$), maka kebutuhan tulangan sengkang ialah sebanyak :

$$\begin{aligned}
 n &= A_{vp} / A_v \\
 &= 858,5 \text{ mm}^2 / 265,46 \text{ mm}^2 \\
 &= 3,234 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Spasi antar sengkang ialah sebesar :

$$\begin{aligned}
 s &= d_{pencar} / n \\
 &= 265 \text{ mm} / 4 \text{ buah} \\
 &= 66,3 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan sengkang 2 kaki berdiameter 13 mm dengan jarak antar tulangan sebesar 50 mm

4.6 Studi Perbandingan Menggunakan SNI 2847-2002 dan ACI 318M-14

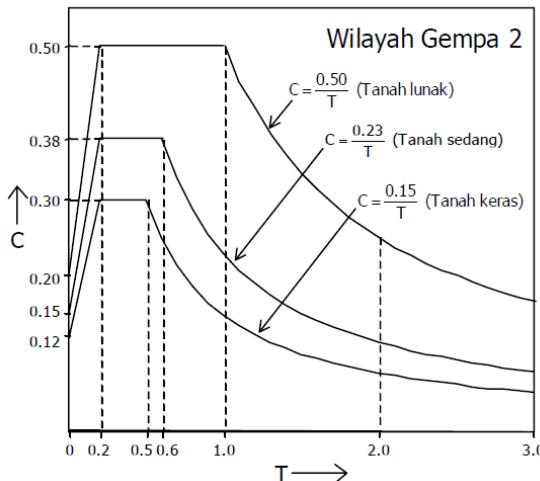
4.6.1 Perhitungan Tulangan Geser Menggunakan SNI 2847-2002

Data Perencanaan :

f_c	= 40 MPa
f_y	= 400 MPa
f_{ys}	= 280 MPa
b	= 550 mm
h	= 750 mm
L	= 12000 mm
Cover	= 50 mm
d	= 677,5 mm
d'	= 72,5 mm

Pada perhitungan tulangan geser menggunakan SNI 2847-2002, perencanaan gempanya menggunakan peraturan SNI 1726-2002.

Kota Surabaya tergolong pada wilayah 2, maka didapatkan respons spektrum sebagai berikut :



Gambar 4. 11 Respons Spektrum pada Wilayah 2

Menurut SNI 1726-2002 pasal 7.2.1 menyatakan bahwa analisa respons spektrum rencana, nilai ordinatnya harus dikalikan dengan I/R . Nilai $I = 1$ didapatkan dari SNI SNI 1726-2002 pada Tabel 1, dan nilai $R = 8,5$ dari tabel 3.

Dan didapatkan output dari ETABS sebagai berikut :

$$M_{\text{tumpuan}} = 437398200 \text{ N.mm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 269434500 \text{ N.mm}$$

$$V_1 = 241772,3 \text{ N}$$

Dari hasil perhitungan tendon pratekan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil :

$$F = 1286,71 \text{ N}$$

$$F_e = 1372918,3 \text{ N}$$

$$A_c = 503424 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{lapangan}} = 323,2 \text{ mm}$$

$$e_{\text{tumpuan}} = 110 \text{ mm}$$

w_b	= 58530601,6 mm ³
w_t	= 100054323 mm ³
Y_b	= 473,19 mm
Y_t	= 276,81 mm
I	= 27696073828 mm ⁴
V_d	= 72493 N
M_d tumpuan	= 144986055,3 N.mm
M_d lapangan	= 72493028 N.mm

Perhitungan tulangan geser pada daerah tumpuan

$$\begin{aligned} d_p &= e_{tumpuan} + y_b \\ &= 110 \text{ mm} + 473,19 \text{ mm} \\ &= 583,19 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tetapi nilai d_p tidak boleh diambil kurang dari 0,8h

$$\begin{aligned} d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\ &= 0,8 \times 750 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, nilai d_p diambil sebesar 600 mm

$$\begin{aligned} f_{pc} &= F_c/A_c \\ &= 11372918,3 \text{ N} / 503424 \text{ mm}^2 \\ &= 2,727 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p &= Fe \times \frac{el-et}{\frac{L}{2}} \\ &= 11372918,3 \times \frac{323,2-110}{\frac{12000}{2}} \\ &= 48782 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= 0,3(\sqrt{f_c} + f_{pc})b_w d + V_p \\ &= 0,3(\sqrt{30} + 0,003)550 \times 600 + 48782 \\ &= 944902 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{Fe}{Ac} + \frac{Fe \times e_{tumpuan}}{Wt} \\ &= \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 110}{100054323} \\ &= 4,237 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_d = M_d \text{ tumpuan} / W_t$$

$$= 144986055,3 \text{ N.mm} / 100054323$$

$$= 1,449 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left(I/y_t \right) \times (\sqrt{f_c}/2 + f_{pe} - f_d) \\ &= \left(27696073828,4 / 276,8 \right) \times (\sqrt{30}/2 + 4,237 - 1,449) \\ &= 595298874 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= \frac{\sqrt{f_c}}{20} \times b_w \times d + V_d + \frac{V_l \times M_{cre}}{M_{max}} \\ &= \frac{\sqrt{40}}{20} \times 550 \times 600 + 72493 + \frac{241772,3 \times 595298874}{449105400} \\ &= 514467 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara V_{cw} dan V_{ci} , maka digunakan nilai $V_{ci} = 514467 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_{cmin} &= \frac{\sqrt{f_c}}{7} \times b_w \times d \\ &= \frac{\sqrt{40}}{7} \times 550 \times 600 \\ &= 298158 \text{ N} \end{aligned}$$

Namun pada SNI 2847-2002 pasal 23.3.4), nilai V_c harus sama dengan 0 bilamana keduanya a dan b terjadi :

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum panjang tersebut

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tarik} \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{4417,865 \times 400}{0,85 \times 40 \times 550} \right) \\ &= 94,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 4417,865 \times 400 \times \left(677,5 - \frac{94,5}{2} \right) \\ &= 1113743878 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{As \text{ pakai tulangan tekan} \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 550} \right) \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr2} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454,3 \times 400 \times \left(677,5 - \frac{52,5}{2} \right) \\ &= 63936352,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{\text{Mpr1} + \text{Mpr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2} \\ &= \frac{1113743878 + 63936352,7}{11300} + 217184,6 \\ &= 372326,82 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat : $V_e > \frac{1}{2} V_u$
 : $372326,82 > \frac{1}{2} 217184,6$ (Oke)

- b. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c / 20$
- $$P_u < A_g f_c / 20$$
- $$1770000 \text{ N} < 825000 \text{ N} \quad (\text{Tidak Oke})$$

Maka V_c diperhitungkan.

$$\begin{aligned} V_s &= V_e / \phi - V_c \\ &= 372326,82 / 0,75 - 514467 \\ &= -18030,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum. Digunakan $V_{S_{\min}}$

$$\begin{aligned} V_{S_{\min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 124208,3 \text{ N} \end{aligned}$$

A_v/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned} A_v/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\ &= 124208,3 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 677,5 \text{ mm}) \\ &= 0,655 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, $A_{vt/s}$ dihitung sebagai berikut :

$$A_{vt/s} = 2 \cdot A_t/s + A_v/s$$

$$= 2 \times 1,137 + 0,655 \\ = 2,929 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av}{Avt/s} \\ &= \frac{398,2}{2,929} \\ &= 135,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-110 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} s &< P_h/8 \\ 110 \text{ mm} &< 262,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< 300 \text{ mm} \\ 110 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai dibawah ini :

$$\begin{aligned} a. \quad 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} &= 84,726 \text{ mm}^2 \\ b. \quad (0,35 \times b_w \times s) / f_y s &= 75,625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Avt &> 84,726 \text{ mm}^2 \\ 2,929 \times 110 \text{ mm} &> 84,726 \text{ mm}^2 \\ 322,18 \text{ mm}^2 &> 84,726 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
- b. $8 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. $24 \times \emptyset_{\text{tulangan sengkang}}$
- d. 300 mm

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2)*)

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$110 \text{ mm} < 169 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 8 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$110 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 24 \times \emptyset_{\text{tulangan sengkang}}$$

$$110 \text{ mm} < 312 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

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

$$110 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah lapangan) dipasang 3D13-110 mm

Perhitungan tulangan geser pada daerah lapangan

$$\begin{aligned} d_p &= e_{\text{lapangan}} + y_t \\ &= 323,2 \text{ mm} + 276,81 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tetapi nilai d_p tidak boleh diambil kurang dari $0,8h$

$$\begin{aligned} d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\ &= 0,8 \times 750 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, nilai d_p diambil sebesar 600 mm

$$\begin{aligned} f_{pc} &= F/A_c \\ &= 1286,71 \text{ N} / 503424 \text{ mm}^2 \\ &= 0,003 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p &= Fe \times \frac{\frac{el-et}{L}}{\frac{2}{2}} \\ &= 11372918,3 \times \frac{323,2-110}{\frac{12000}{2}} \\ &= 48782 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai $\lambda = 1$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= 0,3(\sqrt{f_c} + f_{pc})b_w d + V_p \\ &= 0,3(\sqrt{30} + 0,003)550 \times 600 + 48782 \\ &= 1060651 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{Fe}{Ac} + \frac{Fe \times e_{lapangan}}{W_b} \\ &= \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 323,2}{58530601,59} \\ &= 10,308 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_d &= M_d \text{ lapangan} / W_b \\ &= 72493028 \text{ N.mm} / 58530601,59 \\ &= 1,239 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left(\frac{I}{y_t} \right) \times (0,5\lambda\sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d) \\ &= \left(\frac{27696073828,4}{276,8} \right) \times (0,5 \times 1 \times \sqrt{40} + 10,308 - 1,239) \\ &= 1223840686 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{d \text{ lapangan}} &= \frac{0,5 \times L - X}{0,5 \times L} \times V_d \\ &= 54369,8 \text{ N} \\ V_{l \text{ lapangan}} &= \frac{0,5 \times L - X}{0,5 \times L} \times V_l \\ &= 181329,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= \frac{\sqrt{f_c}}{20} \times b_w \times d + V_d + \frac{V_l \times M_{cre}}{M_{max}} \\ &= \frac{\sqrt{40}}{20} \times 550 \times 600 + 54369,8 + \frac{181329,2 \times 1223840686}{269434500} \\ &= 995848 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara V_{cw} dan V_{ci} , maka digunakan nilai $V_{cw} = 995848 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_{c\min} &= \frac{\sqrt{f_c}}{7} \times b_w \times d \\ &= \frac{\sqrt{40}}{7} \times 550 \times 600 \\ &= 298158 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang terbesar antara $V_{c\min}$ dan V_{cw} , maka digunakan nilai $V_{cw} = 995848 \text{ N}$. maka V_c pakai adalah 995848 N.

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2}\ln-2h} &= \frac{V_e}{\frac{1}{2}\ln} \\ V_{u2} &= \frac{V_e \times (\frac{1}{2}\ln-2h)}{\frac{1}{2}\ln} \\ &= \frac{372326,82 \times (\frac{1}{2}11300 - 2.750)}{\frac{1}{2}11300} \\ &= 372326,559 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (V_u / \varphi) - V_c \\ &= (372326,559 / 0,75) - 995848 \\ &= -499412,588 \text{ N} \end{aligned}$$

Tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum.
Digunakan $V_{s\min}$

$$\begin{aligned} V_{s\min} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 124208,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Av/s dihitung dengan cara :

$$Av/s = V_s / (f_y \cdot d)$$

$$\begin{aligned}
 &= 124208,3 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 677,5 \text{ mm}) \\
 &= 0,655 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, Avt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Avt/s} &= 2 \cdot \text{At/s} + \text{Av/s} \\
 &= 2 \times 1,137 + 0,655 \\
 &= 2,929 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 \text{Av} &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\
 &= 398,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{Av}}{\text{Avt/s}} \\
 &= \frac{398,2}{2,929} \\
 &= 135,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-120 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned}
 s &< P_h/8 \\
 120 \text{ mm} &< 262,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &< 300 \text{ mm} \\
 120 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai dibawah ini :

- $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 84,726 \text{ mm}^2$
- $(0,35 \times b_w \times s) / f_{ys} = 75,625 \text{ mm}^2$

Avt	> 84,726 mm ²
2,929 x 120 mm	> 84,726 mm ²
351,47 mm ²	> 84,726 mm ²

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. d/4
- b. $6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$120 \text{ mm} < 169 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \emptyset_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$120 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah lapangan) dipasang 3D13-120 mm

4.6.2 Perhitungan Tulangan Geser Menggunakan ACI 318M-14

Data Perencanaan :

f_c	= 40 MPa
f_y	= 400 MPa
f_{ys}	= 280 MPa
b	= 550 mm
h	= 750 mm

$$L = 12000 \text{ mm}$$

$$\text{Cover} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 677,5 \text{ mm}$$

$$d' = 72,5 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan pada ETABS didapatkan output sebagai berikut :

$$M_{\text{tumpuan}} = 449105400 \text{ N.mm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 269766300 \text{ N.mm}$$

$$V_1 = 241772,3 \text{ N}$$

Kemudian V_u diambil pada $\frac{1}{2} d$ dari muka joint.



Dari hasil perhitungan tendon pratekan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil :

$$F = 1286,71 \text{ N}$$

$$F_e = 1372918,3 \text{ N}$$

$$A_c = 503424 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{lapangan}} = 323,2 \text{ mm}$$

$$e_{\text{tumpuan}} = 110 \text{ mm}$$

$$w_b = 58530601,6 \text{ mm}^3$$

$$w_t = 100054323 \text{ mm}^3$$

$$Y_b = 473,19 \text{ mm}$$

$$Y_t = 276,81 \text{ mm}$$

$$I = 27696073828 \text{ mm}^4$$

$$V_d = 72493 \text{ N}$$

$$M_{d \text{ tumpuan}} = 144986055,3 \text{ N.mm}$$

$$M_{d \text{ lapangan}} = 72493028 \text{ N.mm}$$

Perhitungan Tulangan Geser pada Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} d_p &= e_{tumpuan} + y_b \\ &= 110 \text{ mm} + 473,19 \text{ mm} \\ &= 583,19 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tetapi nilai d_p tidak boleh diambil kurang dari $0,8h$

$$\begin{aligned} d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\ &= 0,8 \times 750 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, nilai d_p diambil sebesar 600 mm

$$\begin{aligned} f_{pc} &= F_e/A_c \\ &= 11372918,3 \text{ N} / 503424 \text{ mm}^2 \\ &= 2,727 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p &= Fe \times \frac{el-et}{\frac{l}{2}} \\ &= 11372918,3 \times \frac{323,2-110}{\frac{12000}{2}} \\ &= 48782 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai $\lambda = 1$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc})b_wd + V_p \\ &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{30} + 0,3 \times 2,727)550 \times 600 + 48782 \\ &= 924031 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{Fe}{Ac} + \frac{Fe \times e_{tumpuan}}{W_t} \\ &= \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 110}{100054323} \\ &= 4,237 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_d &= M_d \text{ tumpuan} / W_t \\ &= 144986055,3 \text{ N.mm} / 100054323 \\ &= 1,449 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left(\frac{l}{y_t}\right) \times (0,5\lambda\sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d) \\ &= \left(27696073828,4 / 276,8\right) \times (0,5 \times 1 \times \sqrt{30} + 4,237 - 1,449) \\ &= 595198874 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara V_{cw} dan V_{ci} , maka digunakan nilai $V_{ci} = 497323 \text{ N}$

Nilai Vci harus diambil yang paling besar dari :

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d + V_d + \frac{V_{l \times M_{cre}}}{M_{max}} \\ &= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 550 \times 600 + 72493 + \frac{241772,3 \times 595198874}{449105400} \\ &= 497323 \text{ N} \end{aligned}$$

Dan

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,14 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 292194 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai $V_{ci} = 497323 \text{ N}$

Digunakan nilai yang paling minimum antara V_{cw} dan V_{ci} , maka digunakan nilai $V_{ci} = 497323 \text{ N}$

Namun pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2, nilai V_c harus sama dengan 0 bilamana keduanya a dan b terjadi :

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum panjang tersebut

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \right) \\ &= \left(\frac{4417,865 \times 400}{0,85 \times 40 \times 550} \right) \\ &= 94,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 4417,865 \times 400 \times \left(677,5 - \frac{94,5}{2} \right) \\ &= 1113743878 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tulangan tekan} \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \right) \\ &= \left(\frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 550} \right) \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454,3 \times 400 \times \left(677,5 - \frac{52,5}{2} \right) \\ &= 63936352,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2} \\
 &= \frac{1113743878 + 63936352,7}{11300} + 217184,6 \\
 &= 372326,82 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat : $V_e > \frac{1}{2} V_u$
 : $372326,82 > \frac{1}{2} 217184,6$ (Oke)

- b. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$
 $P_u < A_g f'_c / 20$
 $1770000 \text{ N} < 825000 \text{ N}$ (Tidak Oke)

Maka V_c diperhitungkan.

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_e / \phi - V_c \\
 &= 372326,82 / 0,75 - 497323 \\
 &= -886,87 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum. Digunakan $V_{s_{min}}$

$$\begin{aligned}
 V_{s_{min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\
 &= 1/3 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\
 &= 124208,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

A_v/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned}
 A_v/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\
 &= 124208,3 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 677,5 \text{ mm}) \\
 &= 0,655 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, $A_{vt/s}$ dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A_{vt/s} &= 2 \cdot A_t/s + A_v/s \\
 &= 2 \times 1,137 + 0,655 \\
 &= 2,929 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v}{A_v/t/s} \\ &= \frac{398,2}{2,929} \\ &= 135,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-110 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} s &< P_h/8 \\ 110 \text{ mm} &< 262,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< 300 \text{ mm} \\ 110 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

- $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 84,726 \text{ mm}^2$
- $(0,35 \times b_w \times s) / f_y s = 75,625 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_v &> 84,726 \text{ mm}^2 \\ 2,929 \times 110 \text{ mm} &> 84,726 \text{ mm}^2 \\ 322,18 \text{ mm}^2 &> 84,726 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang

pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $6 \times \text{Ø}_{\text{tulangan longitudinal}}$
- 150 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$110 \text{ mm} < 169 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \text{Ø}_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$110 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$110 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah tumpuan) dipasang $3\text{Ø}13-110$ mm

Perhitungan Tulangan Geser pada Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} d_p &= e_{\text{lapangan}} + y_t \\ &= 323,2 \text{ mm} + 276,81 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tetapi nilai d_p tidak boleh diambil kurang dari 0,8h

$$\begin{aligned} d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\ &= 0,8 \times 750 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, nilai d_p diambil sebesar 600 mm

$$\begin{aligned} f_{pc} &= F_e/A_c \\ &= 1372918,3 \text{ N} / 503424 \text{ mm}^2 \\ &= 2,727 \text{ N/mm}^2 \\ V_p &= F_e \times \frac{e_{\text{el-et}}}{\frac{L}{2}} \\ &= 11372918,3 \times \frac{323,2-110}{\frac{12000}{2}} \end{aligned}$$

$$= 48782 \text{ N}$$

Digunakan nilai $\lambda = 1$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pe})b_w d + V_p \\ &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{30} + 0,3 \times 2,727) 550 \times 600 + 48782 \\ &= 924031 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{Fe}{Ac} + \frac{Fe \times e_{lapangan}}{Wb} \\ &= \frac{1372918}{503424} + \frac{1372918 \times 323,2}{58530601,59} \\ &= 10,308 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_d &= M_d \text{ lapangan} / W_b \\ &= 72493028 \text{ N.mm} / 58530601,59 \\ &= 1,239 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left(I/y_t \right) \times (0,5\lambda\sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d) \\ &= \left(27696073828,4 / 276,8 \right) \times (0,5 \times 1 \times \sqrt{40} + 10,308 - 1,239) \\ &= 1223840686 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{d \text{ lapangan}} &= \frac{0,5 \times L - X}{0,5 \times L} \times V_d \\ &= 54369,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{l \text{ lapangan}} &= \frac{0,5 \times L - X}{0,5 \times L} \times V_l \\ &= 181329,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d + V_d + \frac{V_l \cdot M_{cre}}{M_{max}} \\ &= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 550 \times 600 + 54369,8 + \frac{181329,2 \times 1223840686}{269766300} \\ &= 981356 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara V_{cw} dan V_{ci} , maka digunakan nilai $V_{cw} = 707395,9 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_{cmin} &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{40} \times 550 \times 600 \\ &= 354808 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang terbesar antara $V_{c\min}$ dan V_{cw} , maka digunakan nilai $V_{cw} = 924031$ N. maka V_c pakai adalah 924031 N.

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{V_e}{\frac{1}{2} \ln} \\ V_{u2} &= \frac{V_e \times \left(\frac{1}{2} \ln - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{372326,82 \times \left(\frac{1}{2} \cdot 11300 - 2.750 \right)}{\frac{1}{2} \cdot 11300} \\ &= 372326,559 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= (V_u / \varphi) - V_c \\ &= (372326,559 / 0,75) - 924031 \\ &= -427595,6 \text{ N}\end{aligned}$$

Tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum.

Digunakan $V_{s\min}$

$$\begin{aligned}V_{s\min} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 550 \text{ mm} \times 677,5 \text{ mm} \\ &= 124208,3 \text{ N}\end{aligned}$$

A_v/s dihitung dengan cara :

$$\begin{aligned}A_v/s &= V_s / (f_y \cdot d) \\ &= 124208,3 \text{ N} / (280 \text{ MPa} \cdot 677,5 \text{ mm}) \\ &= 0,655 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Selanjutnya, A_vt/s dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}A_vt/s &= 2 \cdot A_t/s + A_v/s \\ &= 2 \times 1,137 + 0,655 \\ &= 2,929 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan tiga kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 3 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v}{A_v/t/s} \\ &= \frac{398,2}{2,929} \\ &= 135,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang tiga kaki D13-120 mm

Cek Persyaratan Spasi Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} s &< P_h/8 \\ 120 \text{ mm} &< 262,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &< 300 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Avt Sesuai dengan Syarat SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.2

Nilai Avt harus lebih besar diantara yang maksimum dari nilai di bawah ini :

- $0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y t} = 84,726 \text{ mm}^2$
- $(0,35 \times b_w \times s) / f_y s = 75,625 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_v &> 84,726 \text{ mm}^2 \\ 2,929 \times 120 \text{ mm} &> 84,726 \text{ mm}^2 \\ 351,47 \text{ mm}^2 &> 84,726 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang

pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- d. $d/4$
- e. $6 \times \mathcal{O}_{\text{tulangan longitudinal}}$
- f. 150 mm

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2)*)

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$120 \text{ mm} < 169 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \mathcal{O}_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$120 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah lapangan) dipasang 3D13-120 mm

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

HASIL PERBANDINGAN STUDI GAYA GESER PADA BALOK PRATEKAN MENGGUNAKAN SNI 2847-2002, SNI 2847:2013, DAN ACI 318M-14

5.1 Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari studi yang telah dilakukan. Hasil berupa rekapitulasi perhitungan dari masing-masing studi gaya geser menggunakan peraturan-peraturan tersebut yang ditabelkan dan nantinya akan dibandingkan.

5.2 Rekap Hasil Studi

Perhitungan dari masing masing peraturan telah dijelaskan pada BAB IV sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Parameter Perbandingan	SNI 2847-2002		SNI 2847:2013		ACI 318M-14	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Lebar Balok	550 mm		550 mm		550 mm	
Tinggi Balok	750 mm		750 mm		750 mm	
Panjang Bentang	12 m		12 m		12 m	
Peraturan Gempa	SNI 1726-2002		SNI 1726:2012		SNI 1726:2012	
Vd	72493 N	54369,8 N	72493 N	54369,8 N	72493 N	54369,8 N
Vl	241772 N	181329,2 N	241772 N	181329,2 N	241772 N	181329,2 N
d _p	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm
Vci	516895 N	995848 N	499627 N	981356 N	499627 N	981356 N
Vcw	944902 N	944902 N	924031 N	924031 N	924031 N	924031 N
Vc Pakai	516895 N	944902 N	499627 N	924031 N	499627 N	924031 N
Vs	-20459 N	-703130 N	-3192 N	-427596 N	-3192 N	-427596 N
Vs Pakai	124208,3 N	124208,3 N	124208,3 N	124208,3 N	124208,3 N	124208,3 N
Tulangan Geser	3D13-110	3D13-120	3D13-110	3D13-120	3D13-110	3D13-120

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir yang berjudul Studi Perbandingan “Kekuatan Geser Balok Prategang di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan SNI-2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14 pada Struktur Life Style Hotel Surabaya” ini dapat ditarik kesimpulan, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Hasil tulangan geser pada balok pratekan yang didapatkan dari tiga peraturan tersebut menghasilkan perbedaan yang tidak signifikan. Sehingga untuk struktur-struktur gedung lain yang sudah didesain berdasarkan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, maupun ACI 318M-14 tidak akan menemui masalah dalam kebutuhan tulangan geser yang sudah terpasang pada struktur.
2. Jika ditinjau dari kekuatan geser yang didapatkan dari balok beton pratekan (V_c), nilai V_c yang dihasilkan dari peraturan SNI 2847-2002 bernilai lebih besar dari SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14, hal ini menunjukkan bahwa nilai V_s yang dihasilkan dari perhitungan SNI 2847-2002 lebih kecil dari dua peraturan lainnya sehingga tulangan geser yang didapatkan akan lebih sedikit. Maka terjadi penambahan kebutuhan tulangan geser pada SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat diajukan :

1. Diperlukan studi lanjutan terhadap dimensi beton pratekan yang paling efisien hingga mendapatkan tulangan lunak berdasarkan SNI 2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14.
2. Diperlukan adanya studi lanjutan berupa biaya material yang dibutuhkan untuk tulangan geser.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14)*. Oakland: University of Texas.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2002)*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (1989). *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta: Erlangga.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Nawy, E. G. (2002). *Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar (Jilid 1)*. Jakarta: Erlangga.
- Raju, N. K. (1989). *Beton Prategang Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.

STRAND PROPERTIES – TO AS1311

Nominal Diameter	Nominal Steel Area	Nominal Mass	Minimum Breaking Load	Minimum Proof Load (0.2% Offset)	Min. Elong. to Fracture in 600mm	Relaxation After 1,000hrs at 0.7 Breaking Load	Modulus of Elasticity
mm	mm ²	kg/m	kN	kN	%	%	MPa
12.7	100.1	0.786	184	156.4	3.5	2.5	180–205
15.2	143.3	1.125	250	212.5	3.5	2.5	$\times 10^3$

TENDON PROPERTIES

STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
5-3	2	368	39
	3	552	39
5-7	4	736	51
	5	920	51
	6	1100	51
	7	1290	51
5-12	8	1470	69
	9	1660	69
	10	1840	69
	11	2020	69
	12	2210	69
5-19	13	2390	84
	14	2580	84
	15	2760	84
	16	2940	84
	17	3130	84
	18	3310	84
	19	3500	84
5-22	20	3680	90
	21	3860	90
	22	4050	90
5-27	23	4230	96
	24	4420	96
	25	4600	96
	26	4780	96
	27	4970	96
5-31	28	5150	105
	29	5340	105
	30	5520	105
	31	5700	105
5-37	32	5890	115
	33	6070	115
	34	6260	115
	35	6440	115
	36	6620	115
	37	6810	115
5-42	38	6990	118
	39	7180	118
	40	7360	118
	41	7540	118
	42	7730	118
5-48	43	7910	127
	44	8100	127
	45	8280	127
	46	8460	127
	47	8650	127
	48	8830	127
5-55	49	9020	135
	50	9200	135
	51	9380	135
	52	9570	135
	53	9750	135
	54	9940	135
	55	10120	135

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
6-3	2	500	39
	3	750	39
6-4	4	1000	51
6-7	5	1250	69
	6	1500	69
	7	1750	69
6-12	8	2000	84
	9	2250	84
	10	2500	84
	11	2750	84
	12	3000	84
6-19	13	3250	96
	14	3500	96
	15	3750	96
	16	4000	96
	17	4250	96
	18	4500	96
	19	4750	96
6-22	20	5000	105
	21	5250	105
	22	5500	105
6-27	23	5750	115
	24	6000	115
	25	6250	115
	26	6500	115
	27	6750	115
6-31	28	7000	118
	29	7250	118
	30	7500	118
	31	7750	118
6-37	32	8000	127
	33	8250	127
	34	8500	127
	35	8750	127
6-42	36	9000	135
	37	9250	135
	38	9500	135
	39	9750	135
	40	10000	135
	41	10250	135
	42	10500	135
6-48	43	10750	144
	44	11000	144
	45	11250	144
	46	11500	144
	47	11750	144
	48	12000	144
6-55	49	12250	154
	50	12500	154
	51	12750	154
	52	13000	154
	53	13250	154
	54	13500	154
	55	13750	154

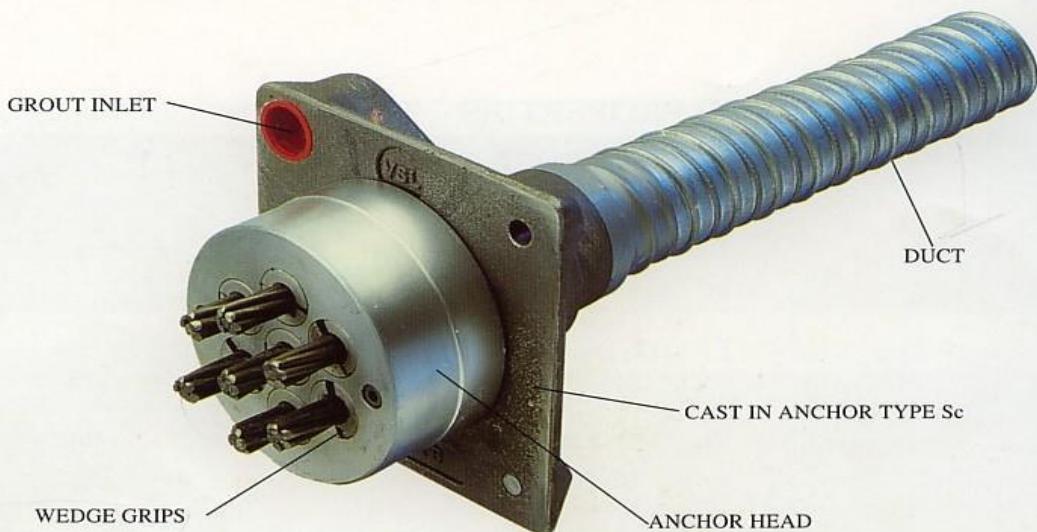
Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.

2. Duct diameters are for corrugated steel duct.

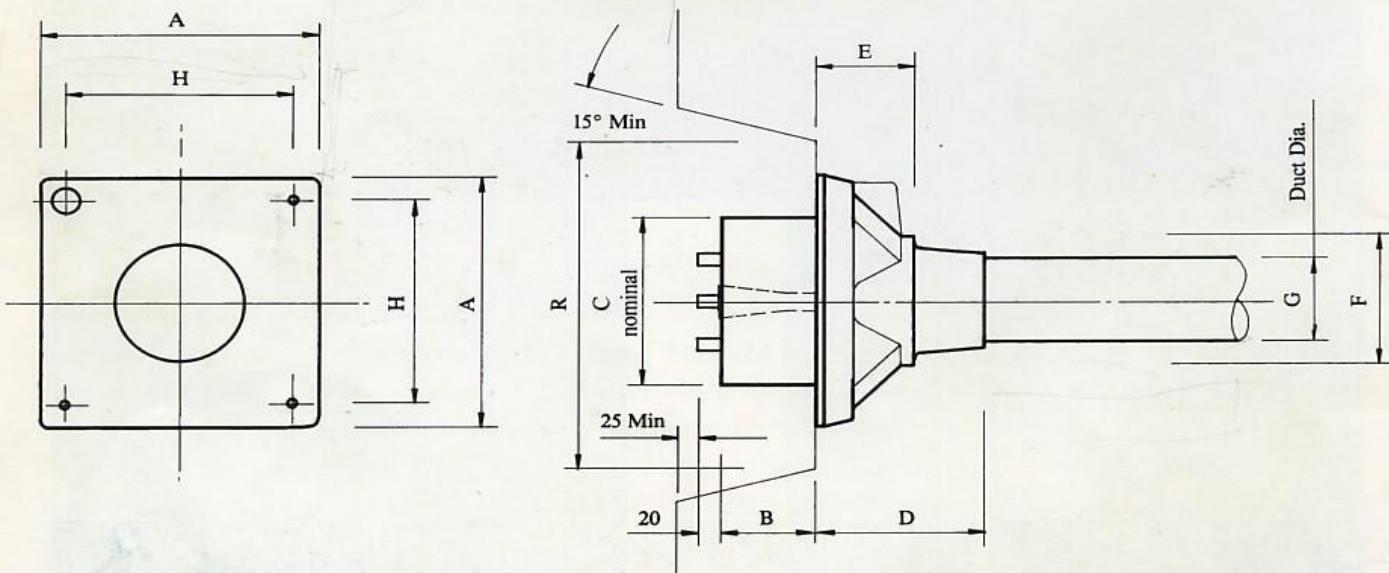
3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal

4. Corrugated polyethylene PT-Plus™ duct is also available, refer page 14.

5. For special applications other strand and tendon capacities are available.



**VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc
LIVE END**

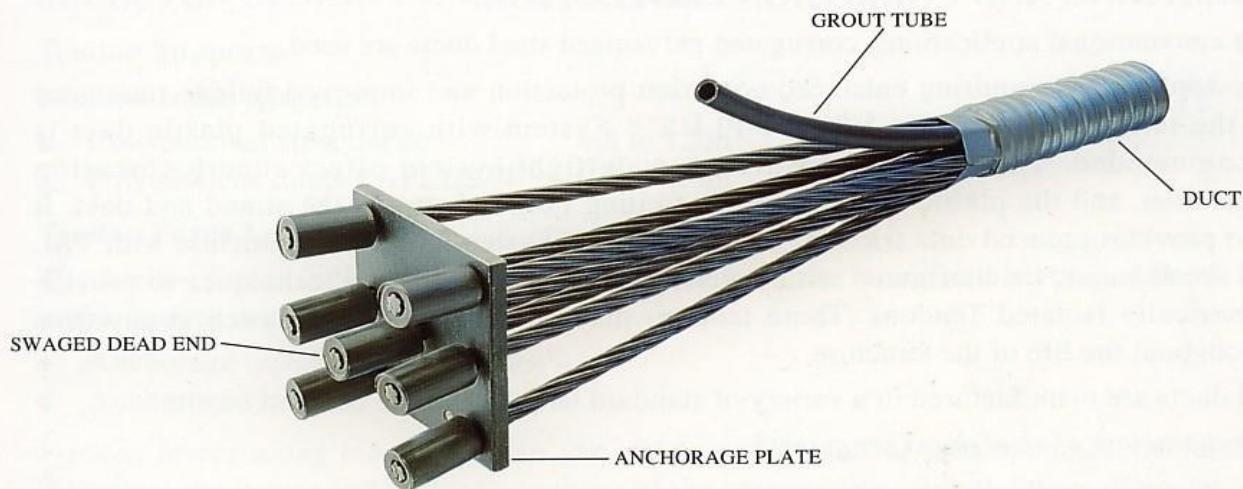


TENDON UNIT		Dimensions (mm)								
		A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R
STRAND TYPE 12.7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	54	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	200	215	140	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
	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
STRAND TYPE 15.2mm	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

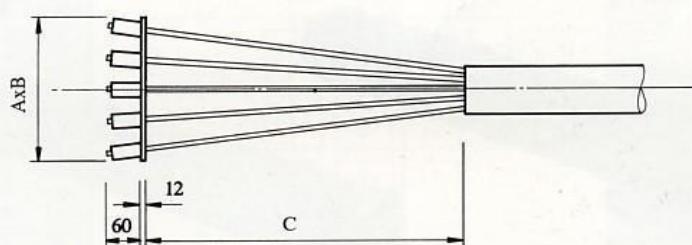
Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.

Refer VSL office for details.

*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.

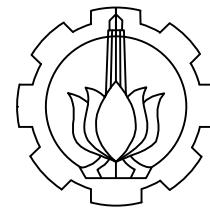


VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P



STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	A	B Dimensions (mm)	C
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 Dimensions (mm)	C
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



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK LT. 1-13

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

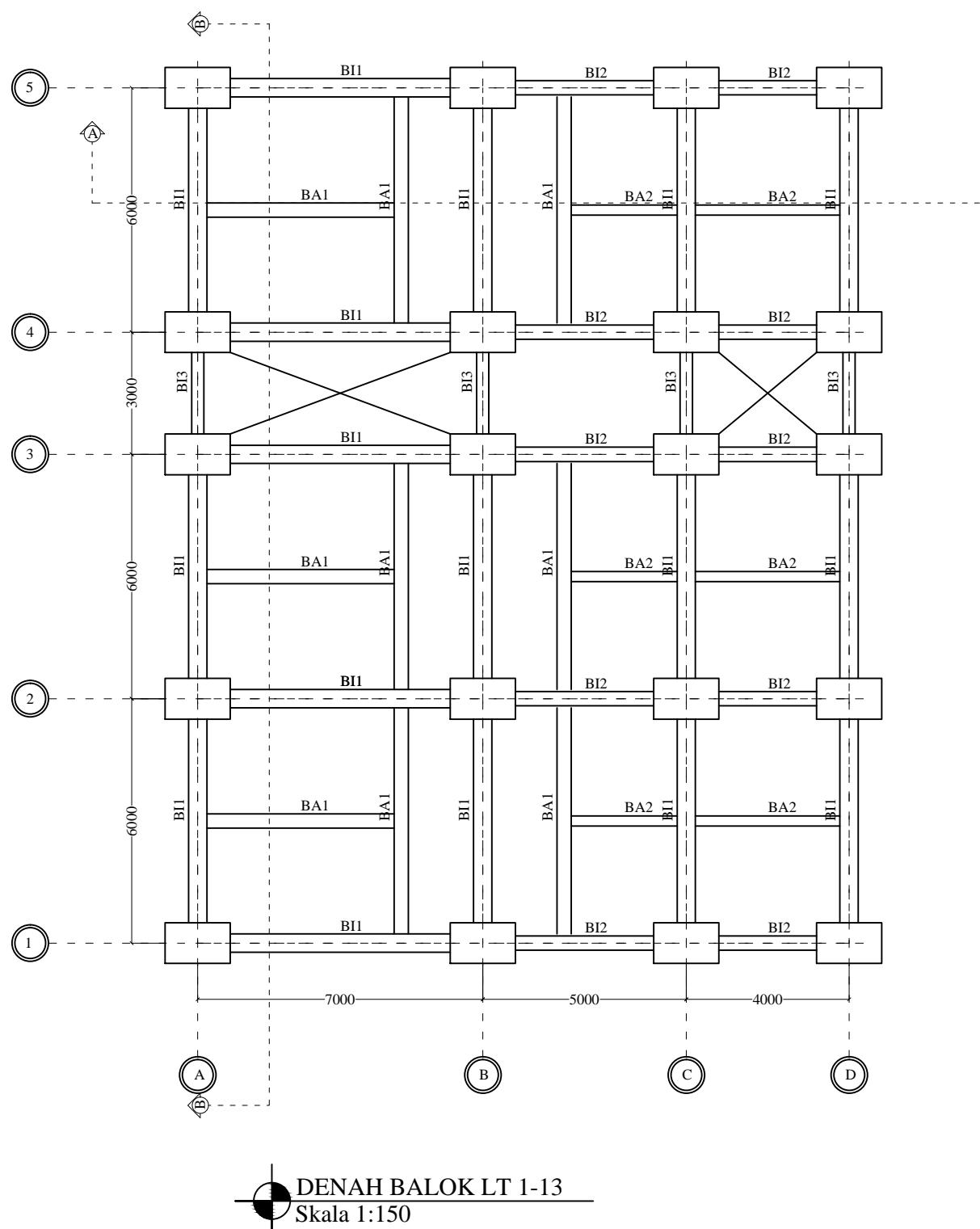
NAMA MAHASISWA

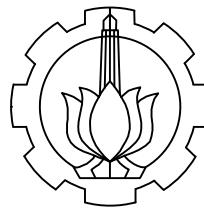
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

1

22





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK LT. 14

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

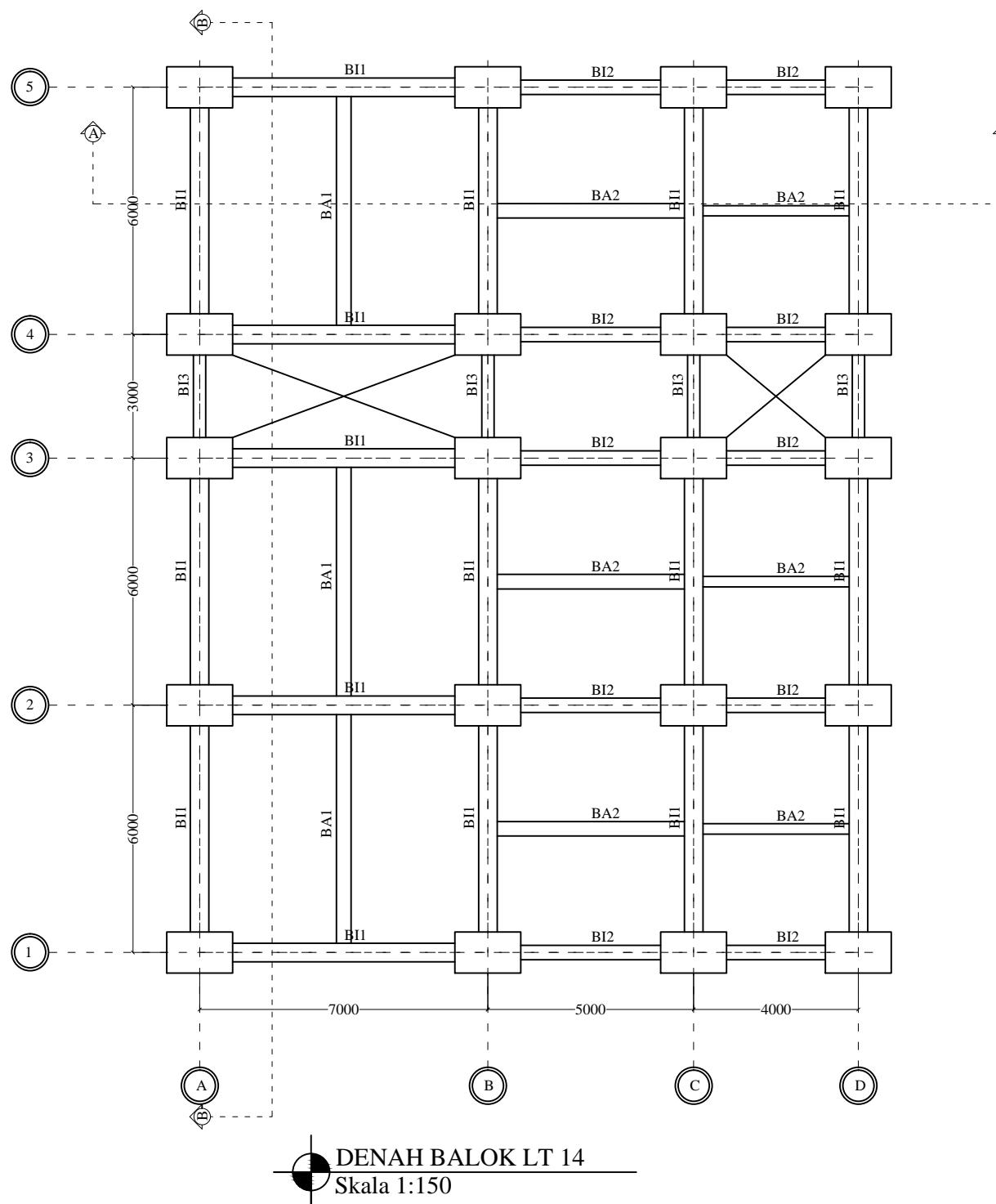
NAMA MAHASISWA

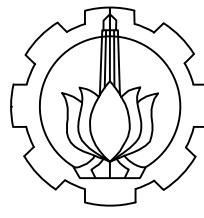
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

2

22





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DENAH BALOK LT. ATAP

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

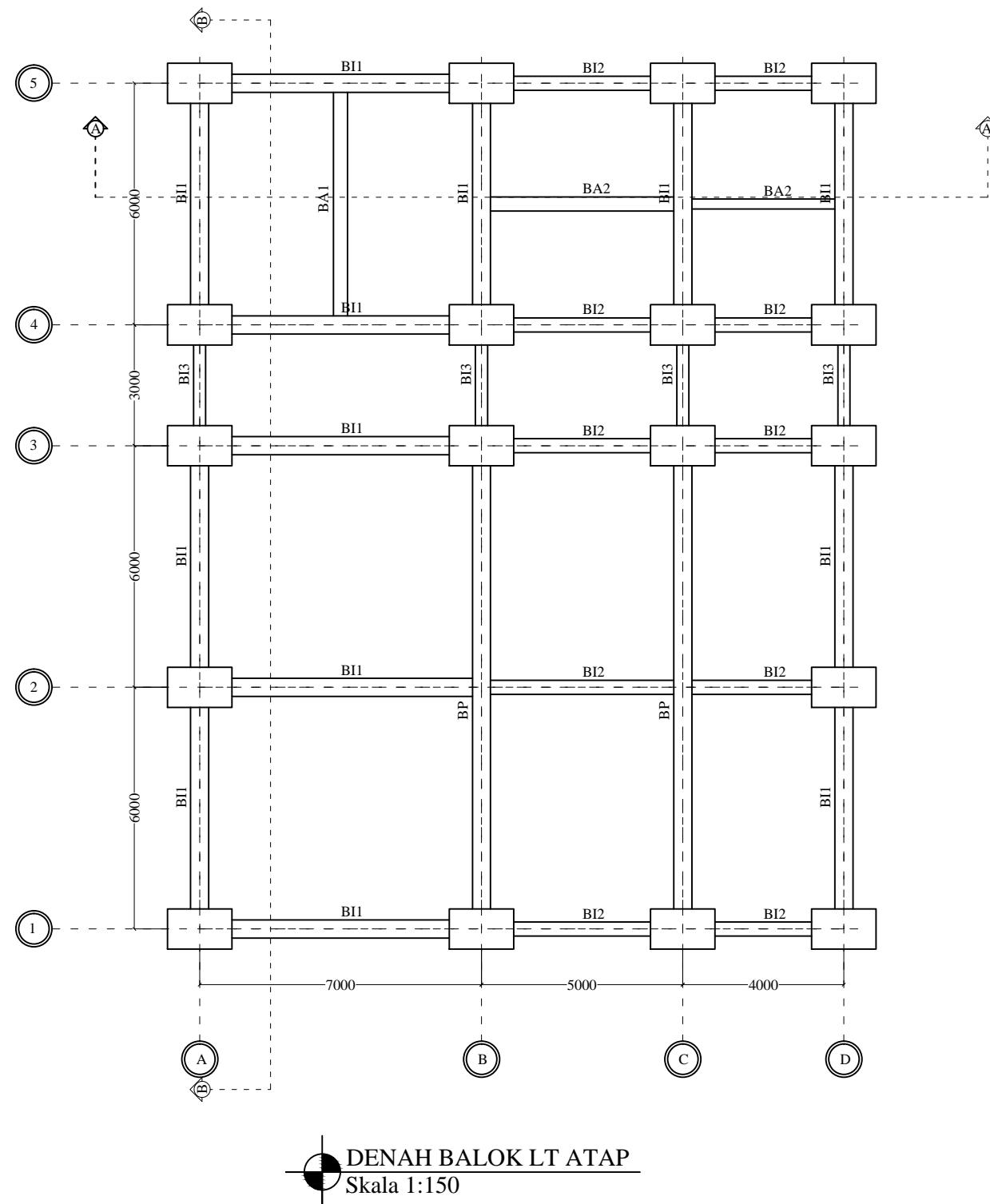
NAMA MAHASISWA

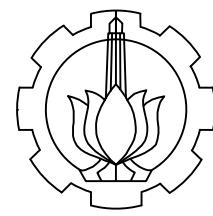
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

3

22





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 1-13

NAMA DOSEN PEMBIMBING

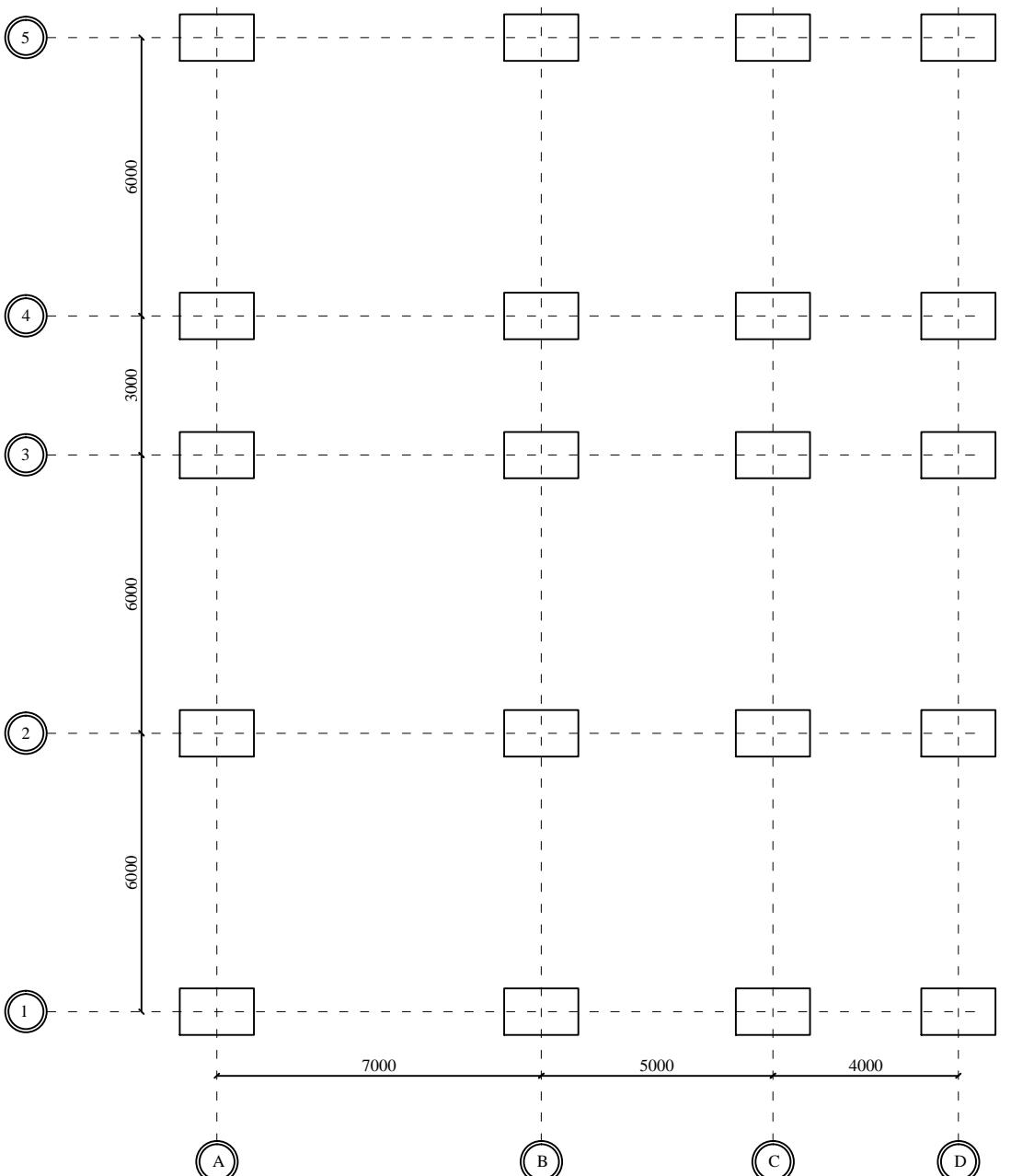
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

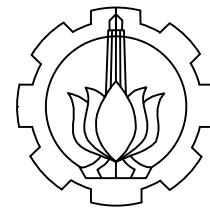
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

4	22
---	----



DENAH KOLOM LT 1-13
Skala 1:150



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DENAH KOLOM LT. 14

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

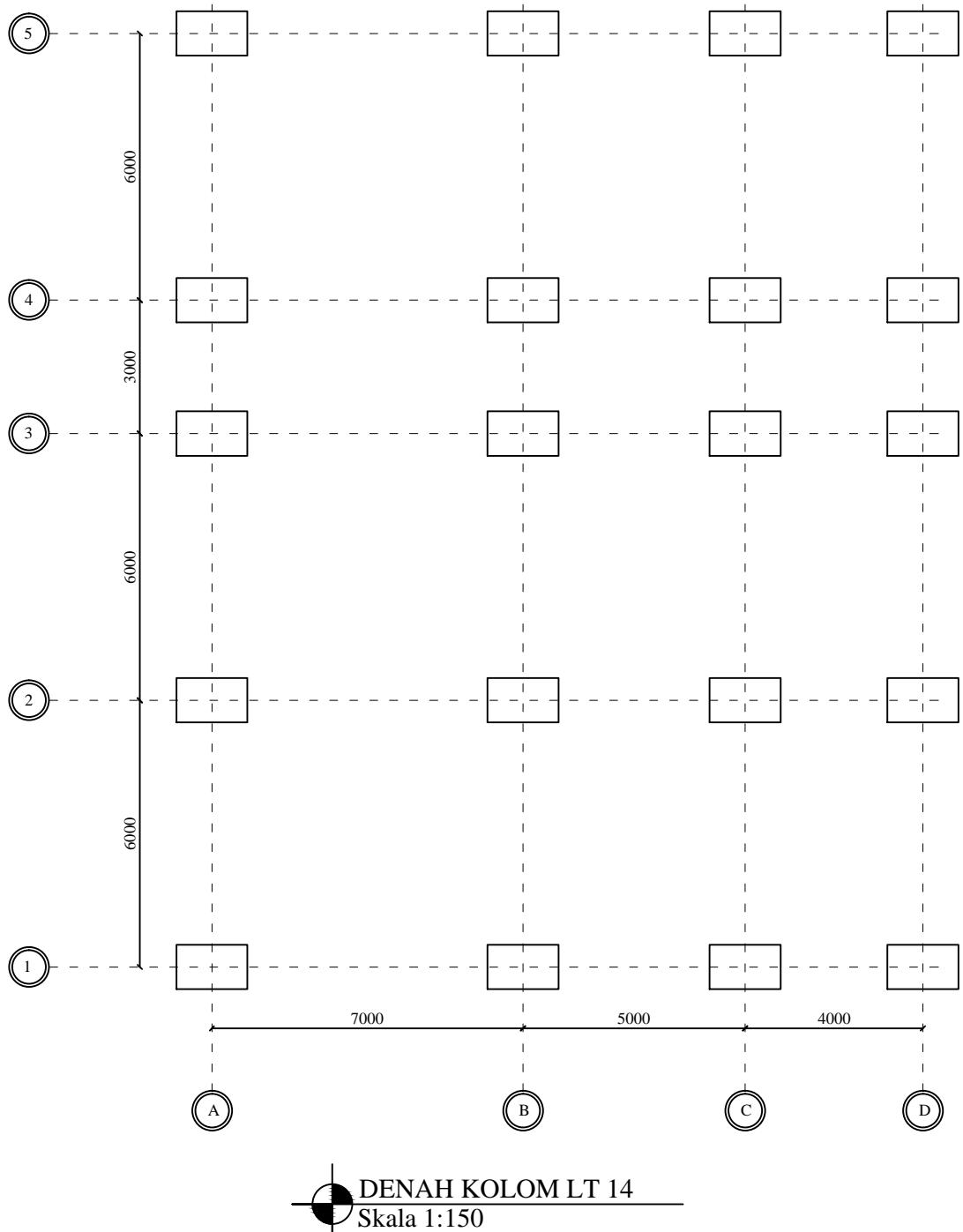
NAMA MAHASISWA

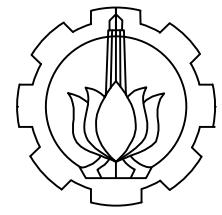
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

5

22





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DENAH KOLOM LT. ATAP

NAMA DOSEN PEMBIMBING

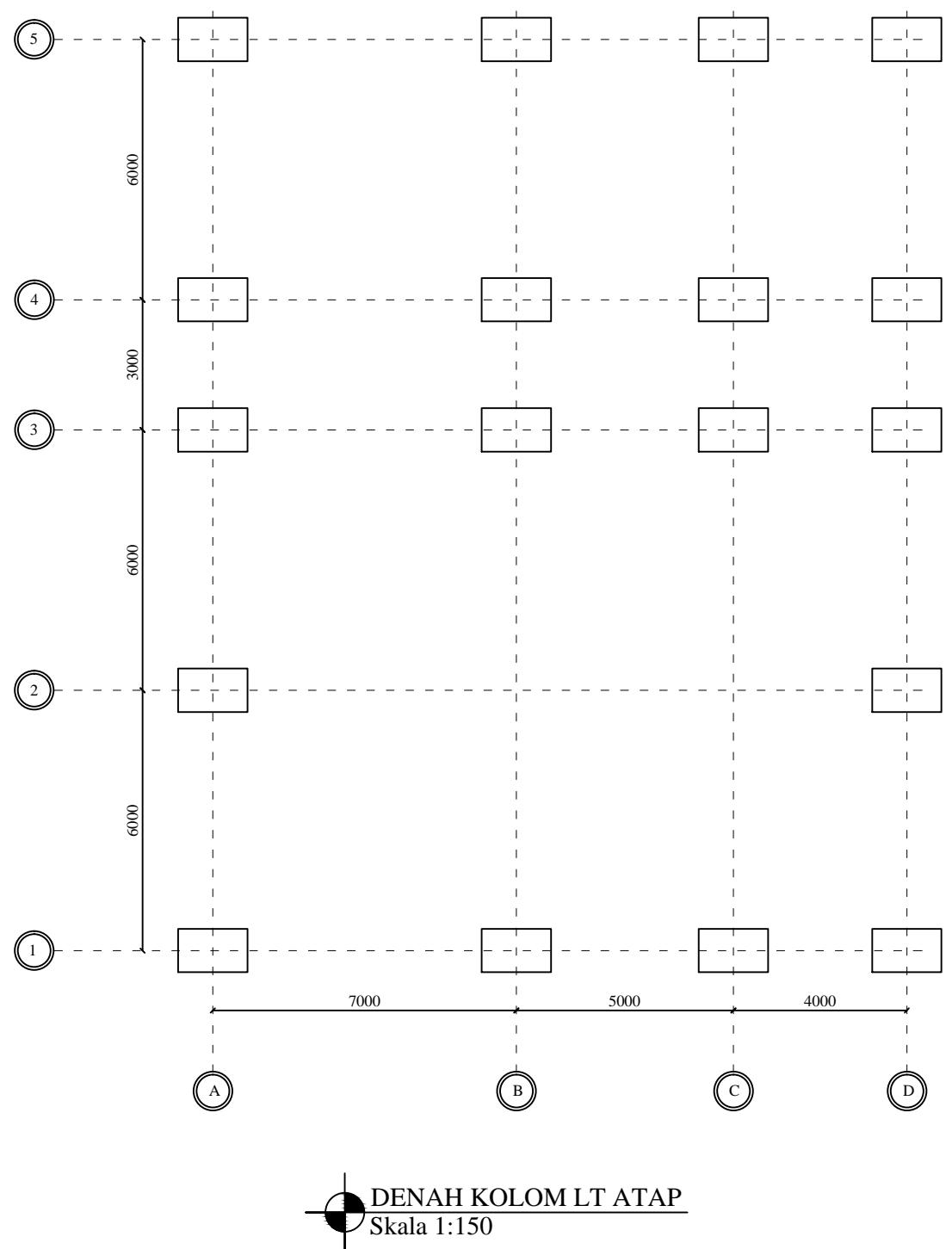
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

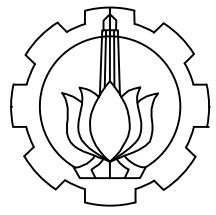
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

6	22
---	----





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

POTONGAN A-A
POTONGAN B-B

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

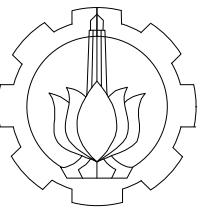
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------



POTONGAN A-A
Skala 1:300

POTONGAN B-B
Skala 1:300



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

TAMPAK DEPAN
TAMPAK BELAKANG

NAMA DOSEN PEMBIMBING

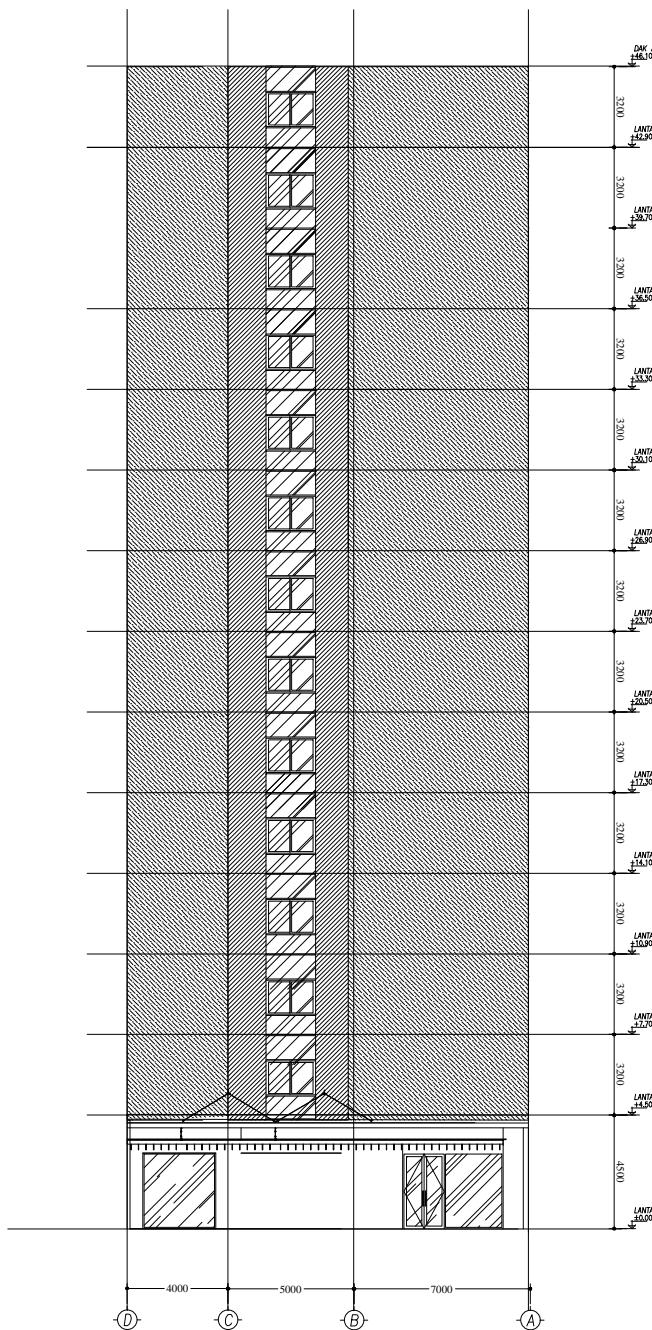
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

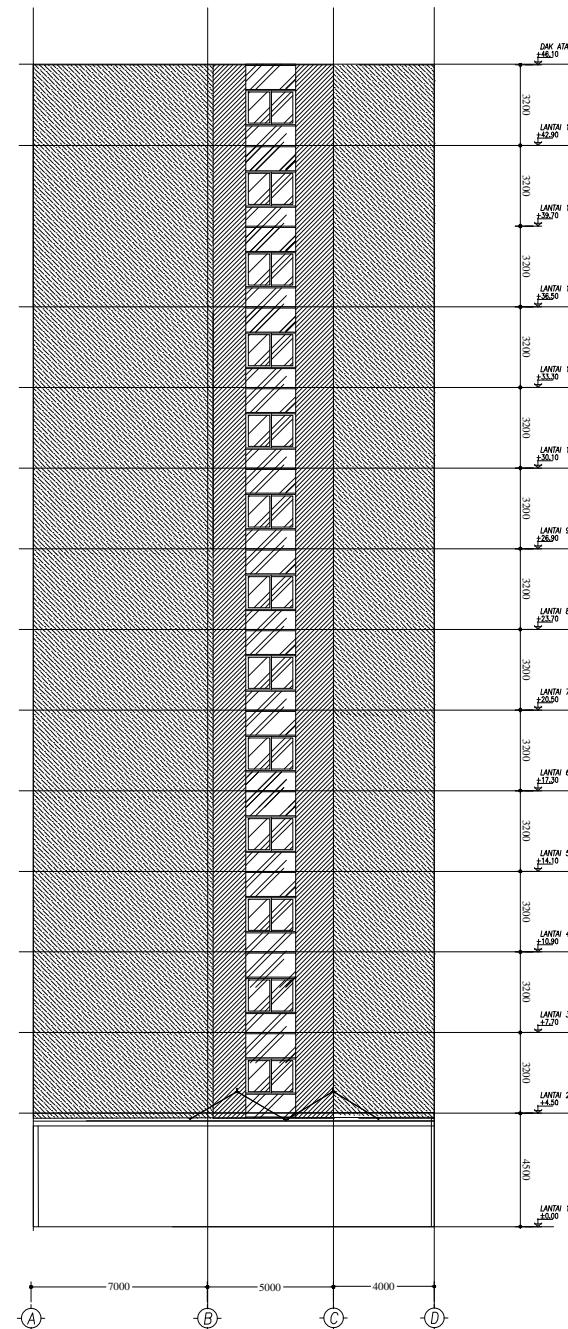
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

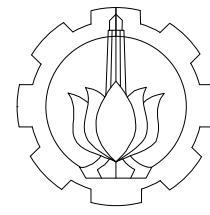
8	22
---	----



TAMPAK DEPAN
Skala 1:300



TAMPAK BELAKANG
Skala 1:300



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

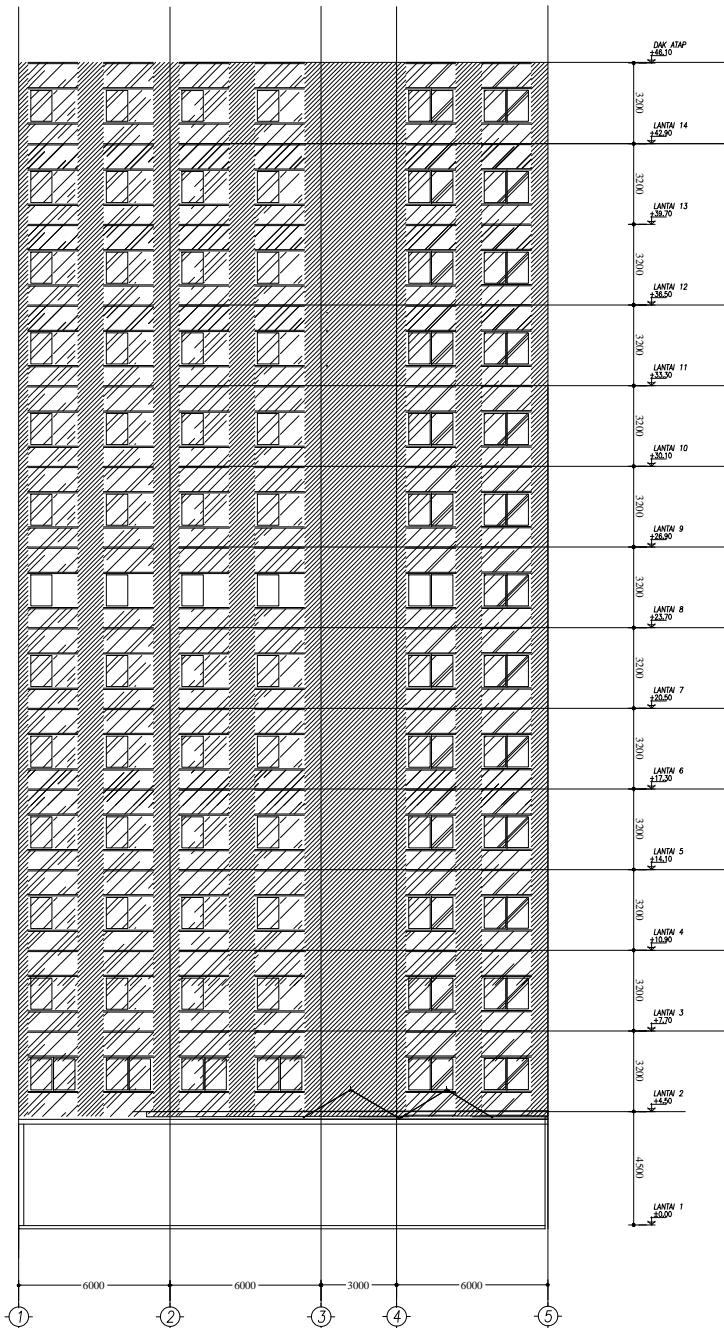
TAMPAK SAMPING KANAN
TAMPAK SAMPING KIRI

NAMA DOSEN PEMBIMBING

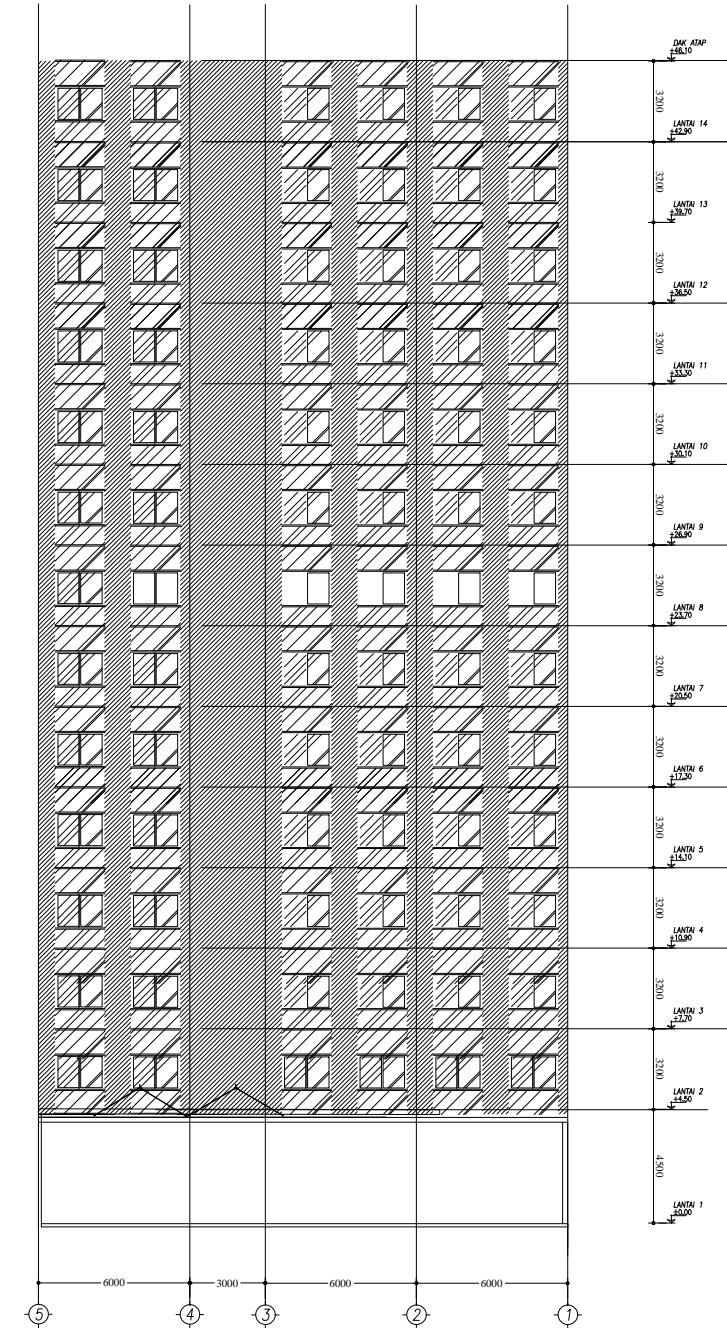
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019



TAMPAK SAMPING KIRI
Skala 1:300

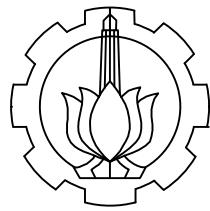
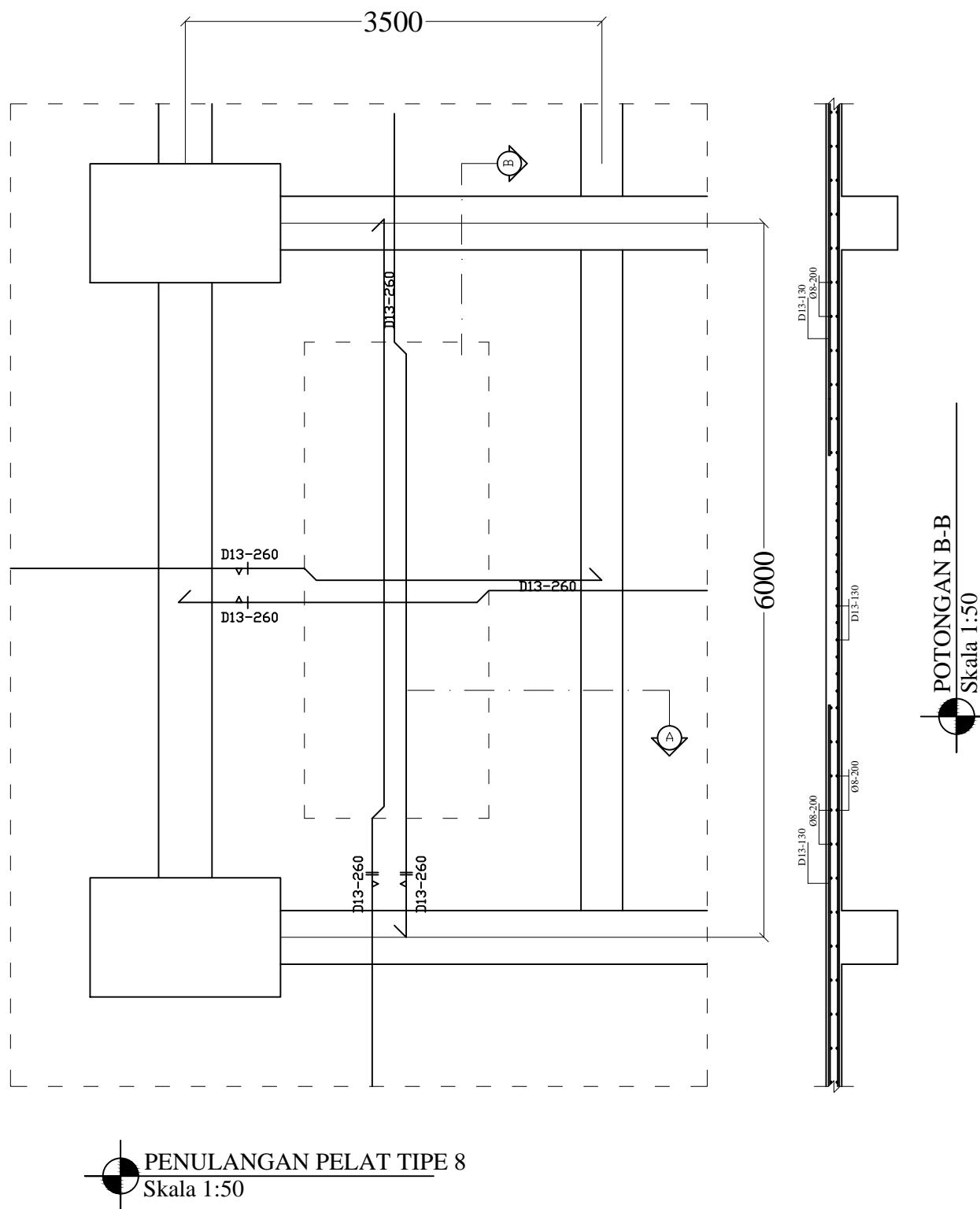


TAMPAK SAMPING KANAN
Skala 1:300

NO.	JUMLAH
-----	--------

9

22



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

PENULANGAN PELAT

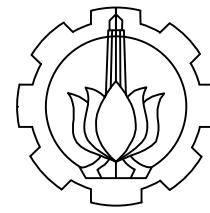
NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
10	22



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

PENULANGAN PELAT

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

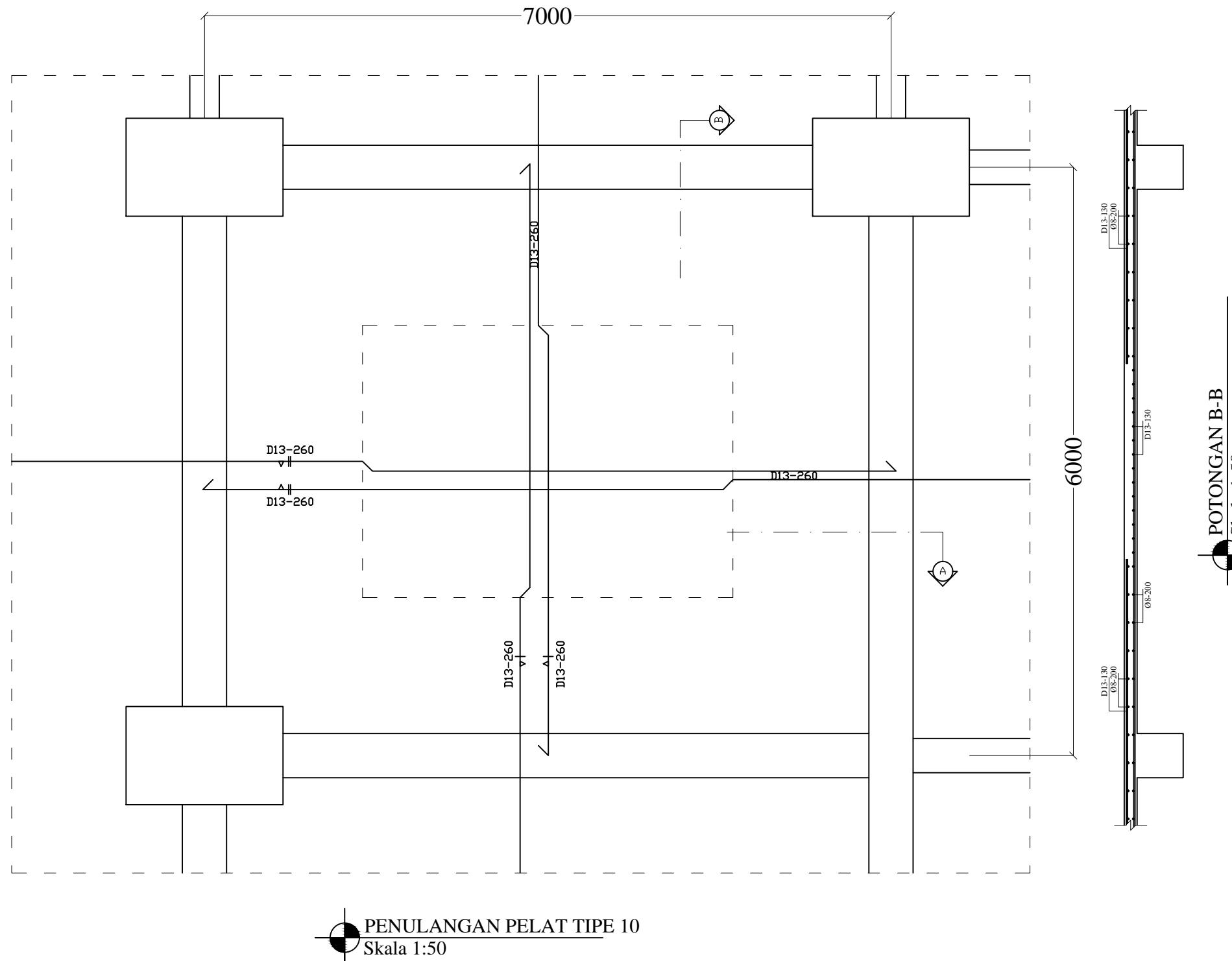
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

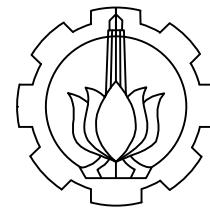
11

22



PENULANGAN PELAT TIPE 10
Skala 1:50

POTONGAN A-A
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

PENULANGAN TANGGA

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

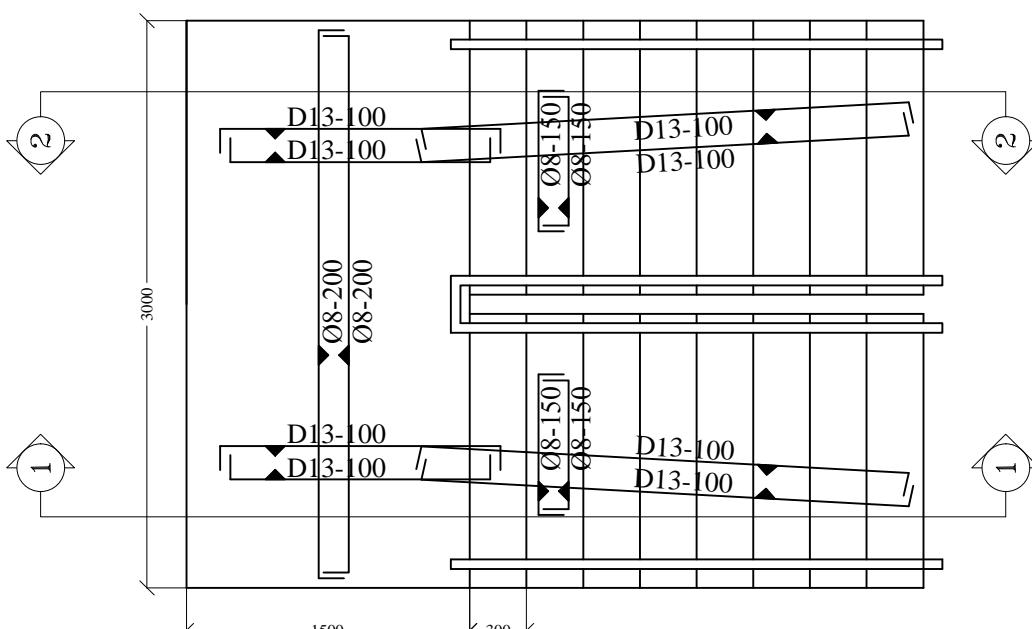
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

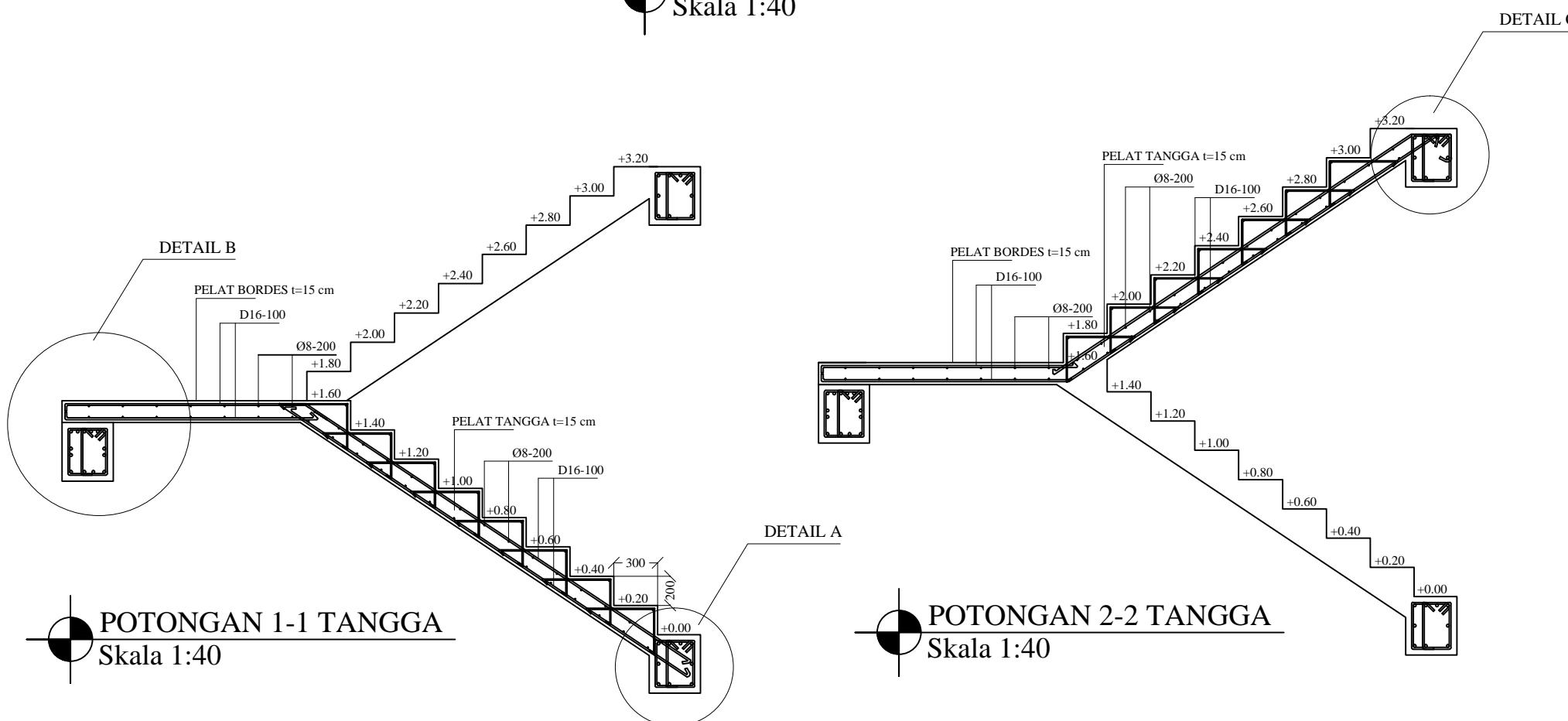
NO.	JUMLAH
-----	--------

12

22

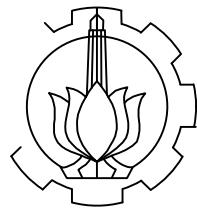


PENULANGAN TANGGA
Skala 1:40



POTONGAN 1-1 TANGGA
Skala 1:40

POTONGAN 2-2 TANGGA
Skala 1:40



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN TANGGA

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

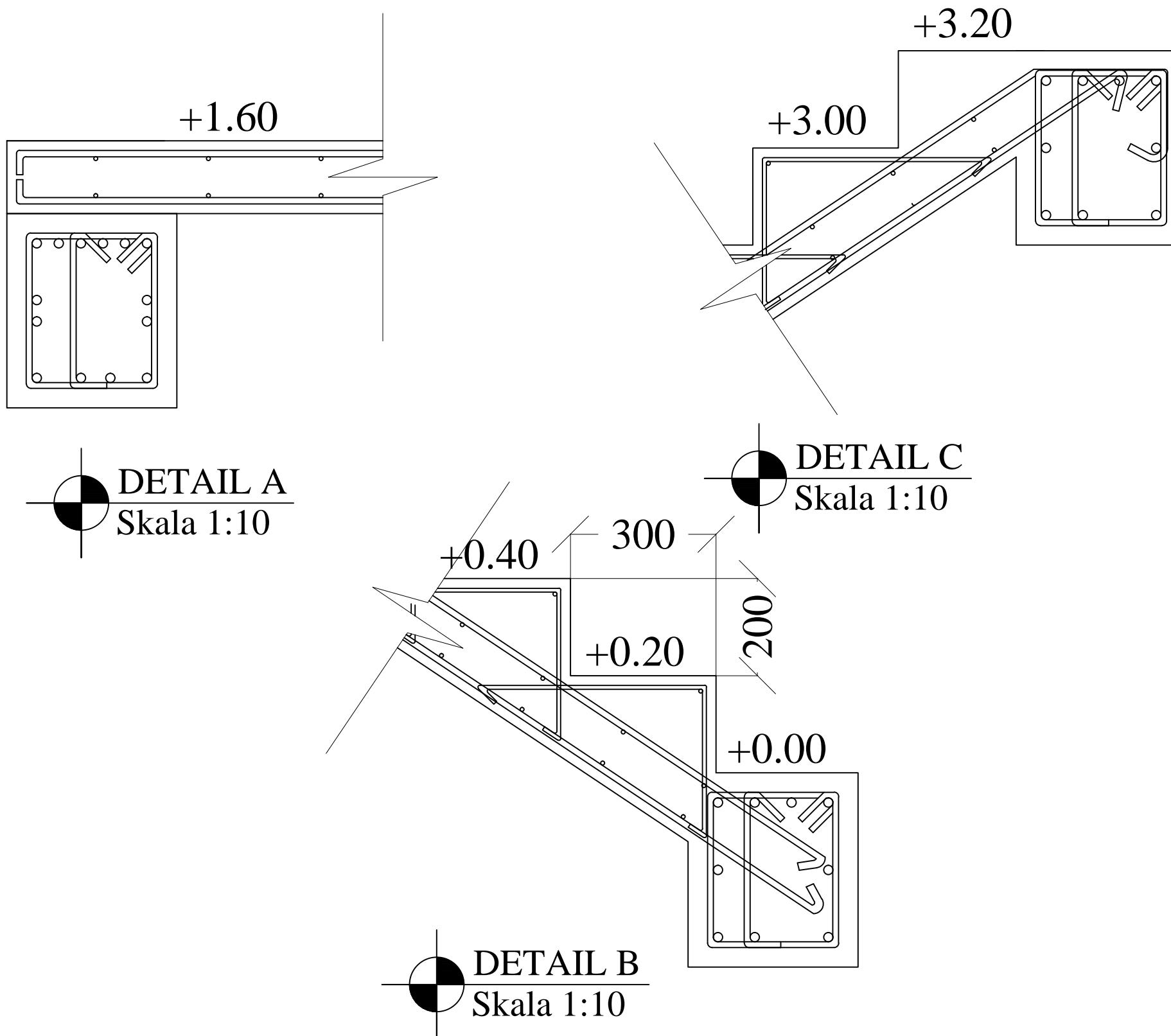
NAMA MAHASISWA

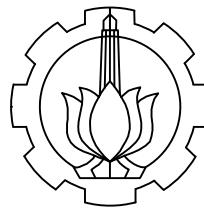
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

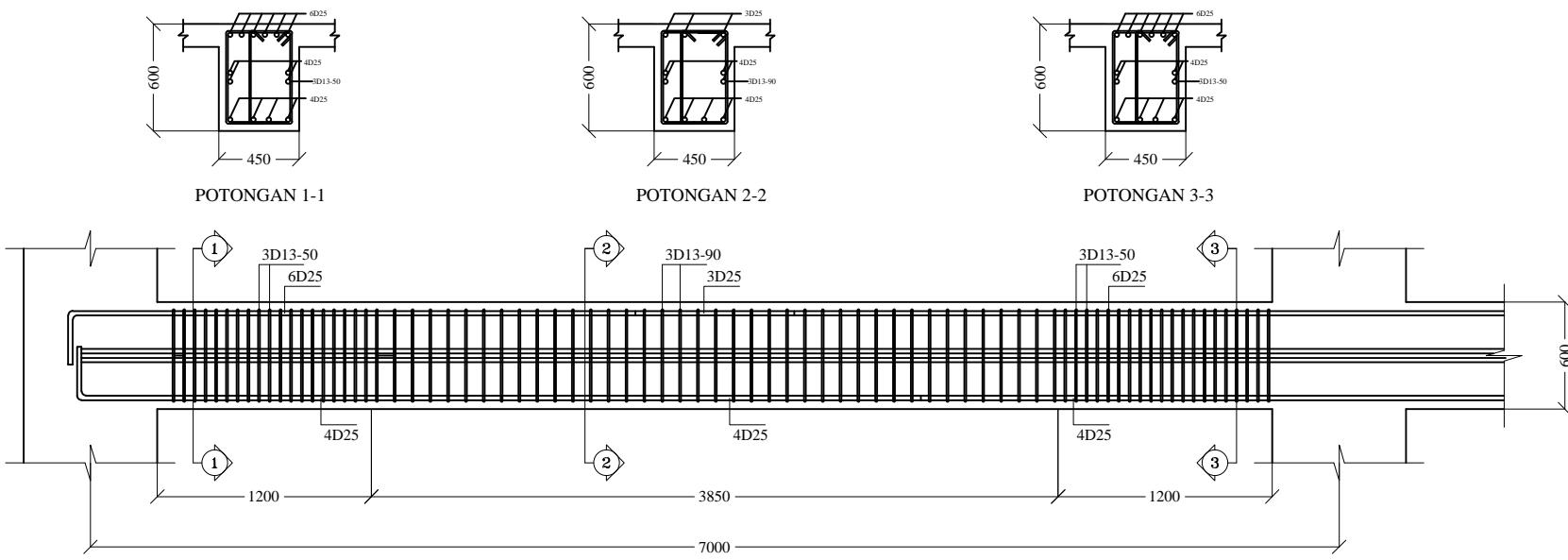
13

22

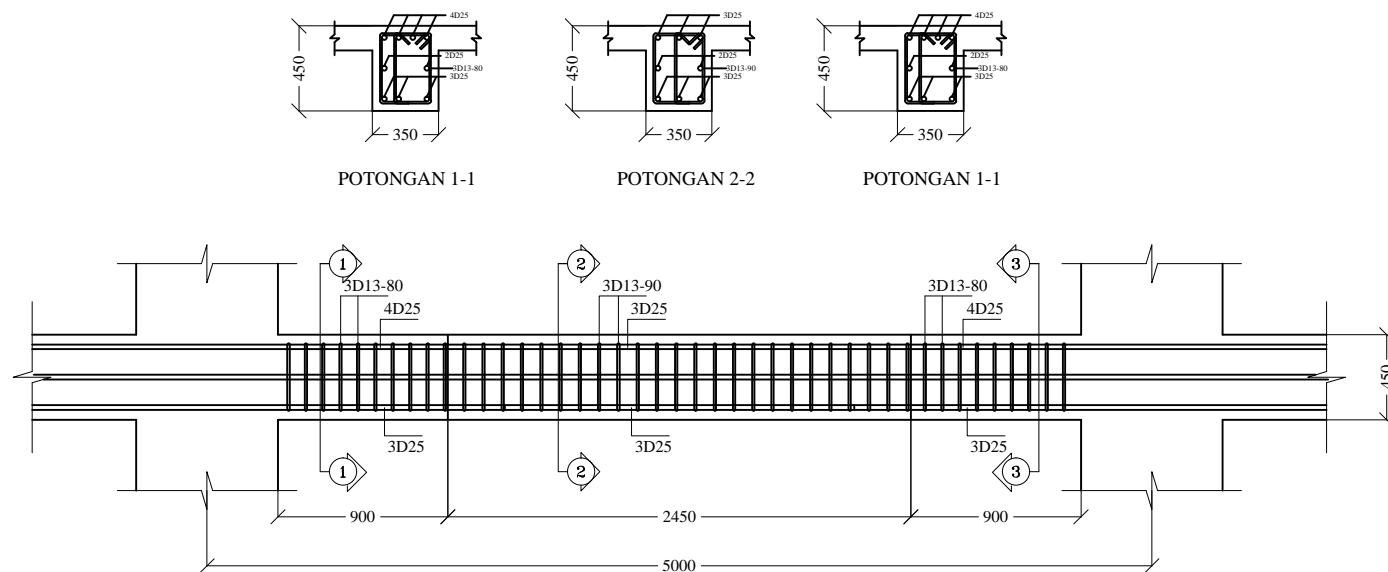




JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



DETAIL PENULANGAN BI1
Skala 1:40



DETAIL PENULANGAN BI2
Skala 1:40

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

PENULANGAN BALOK

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

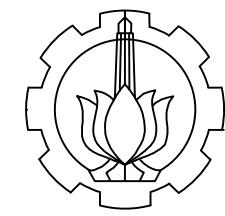
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

14

22



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

PENULANGAN KOLOM

NAMA DOSEN PEMBIMBING

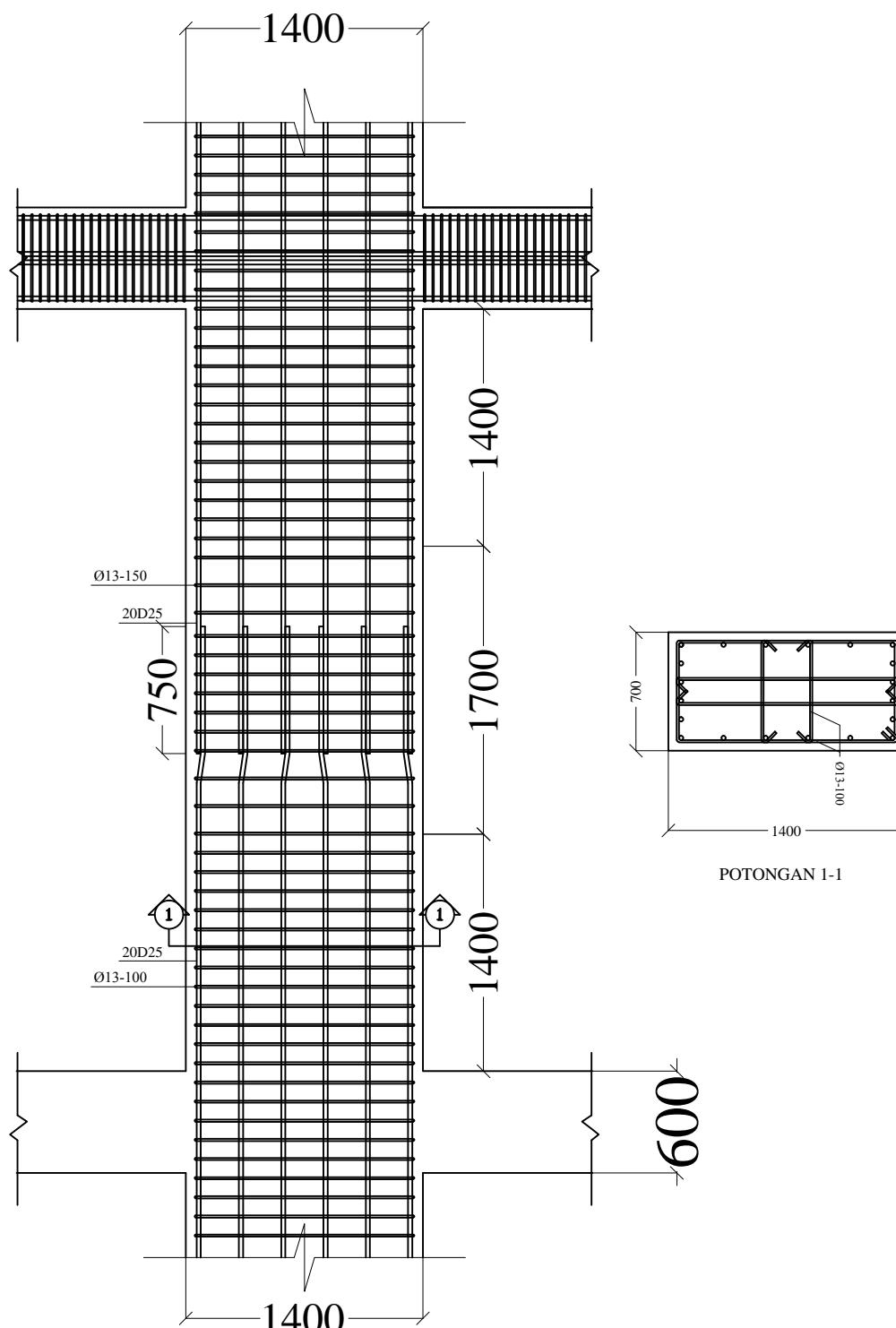
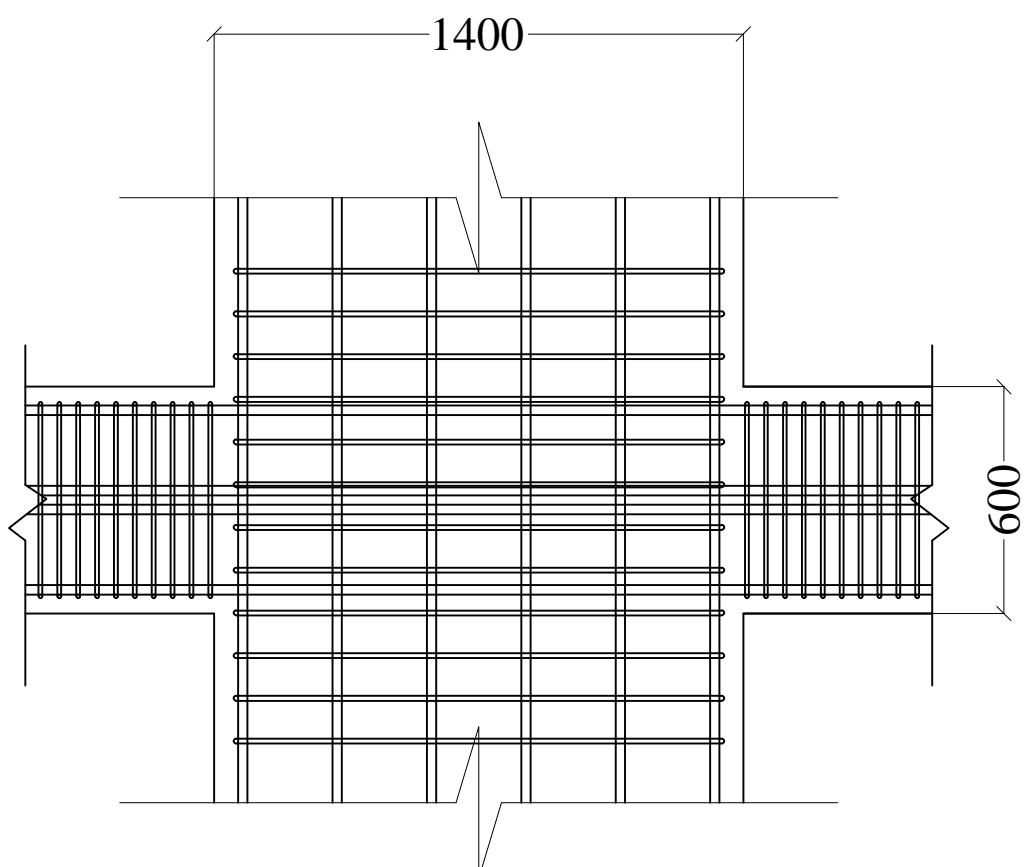
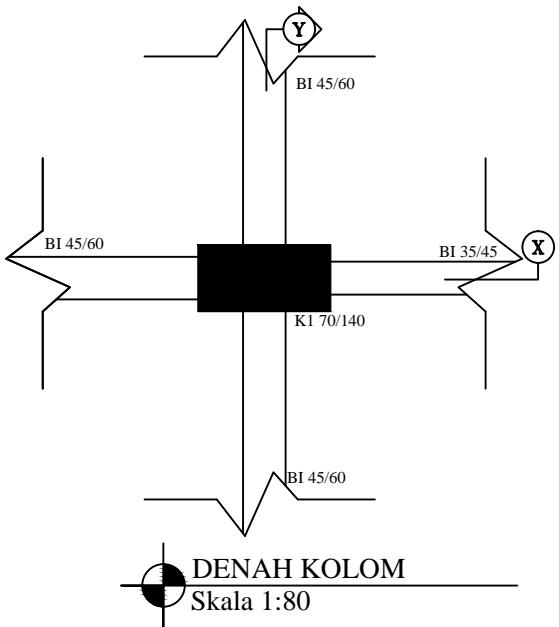
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

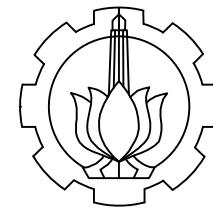
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

15	22
----	----



PENULANGAN KOLOM POT. X-X
Skala 1:40



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

PENULANGAN KOLOM

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

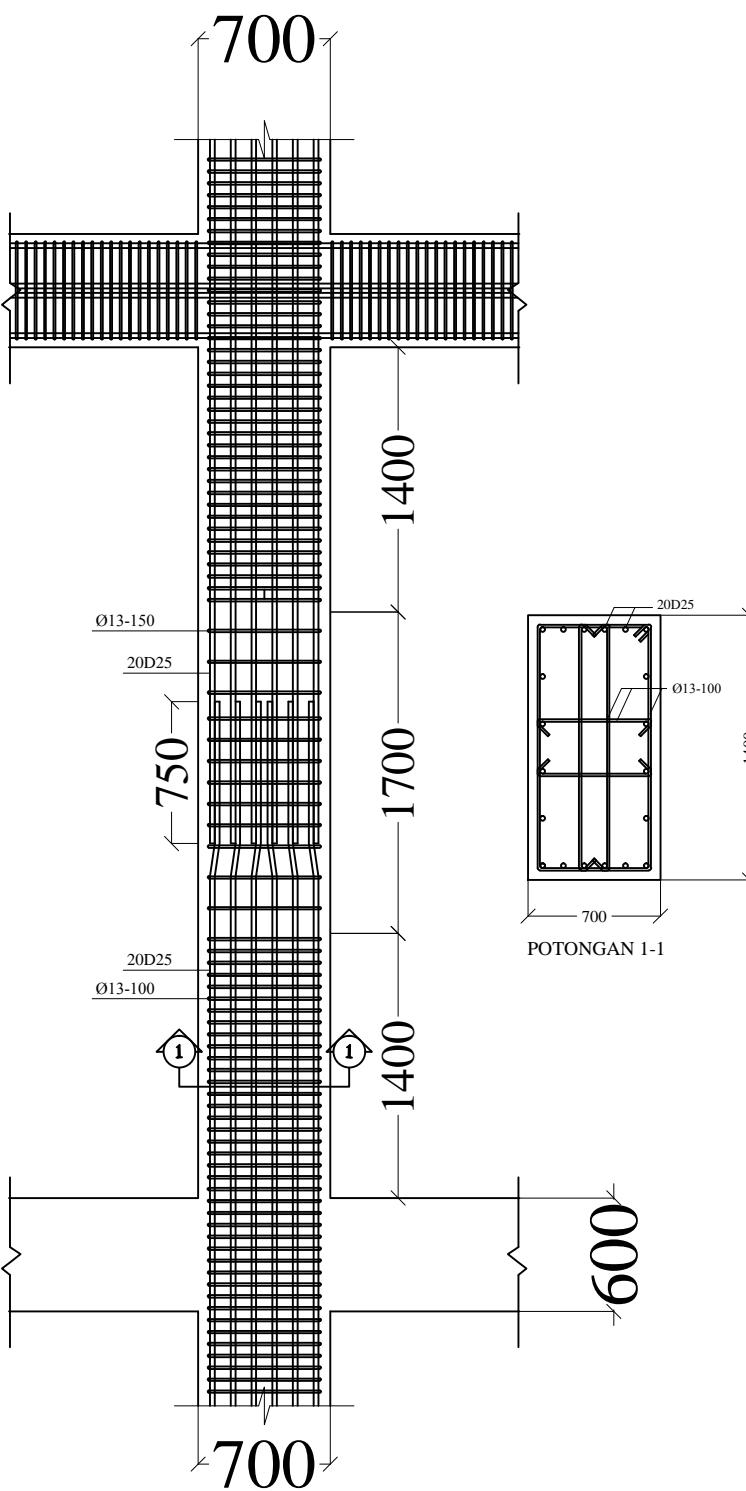
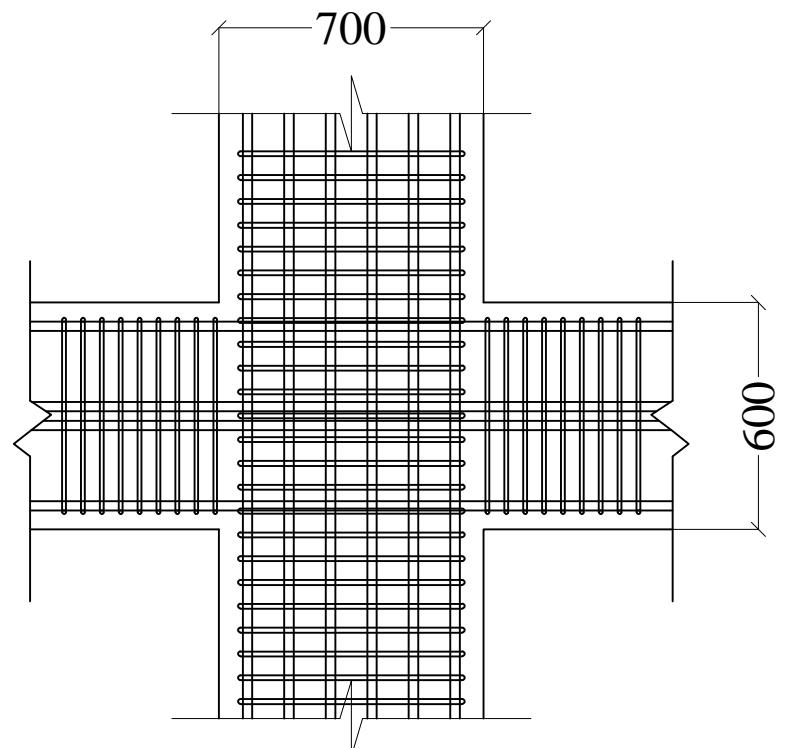
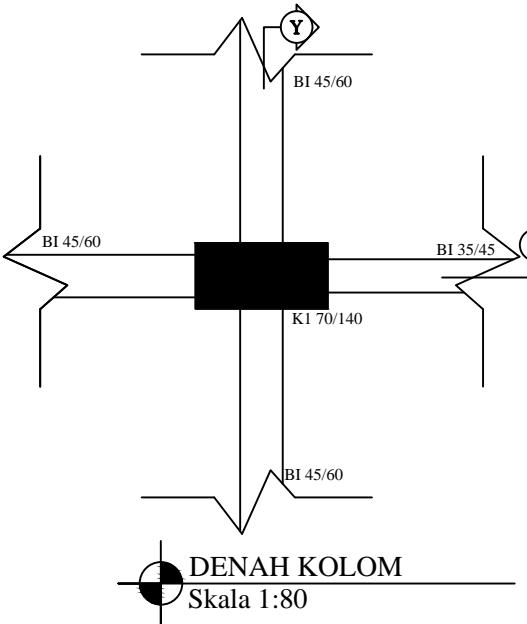
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

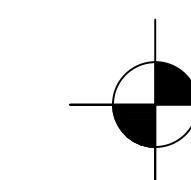
NO.	JUMLAH
-----	--------

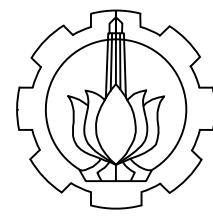
16

22



PENULANGAN KOLOM POT. Y-Y
Skala 1:40





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK DAN KOLOM

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

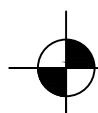
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

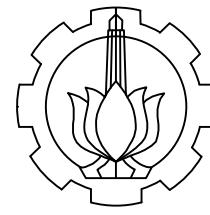
NO. JUMLAH

17 22

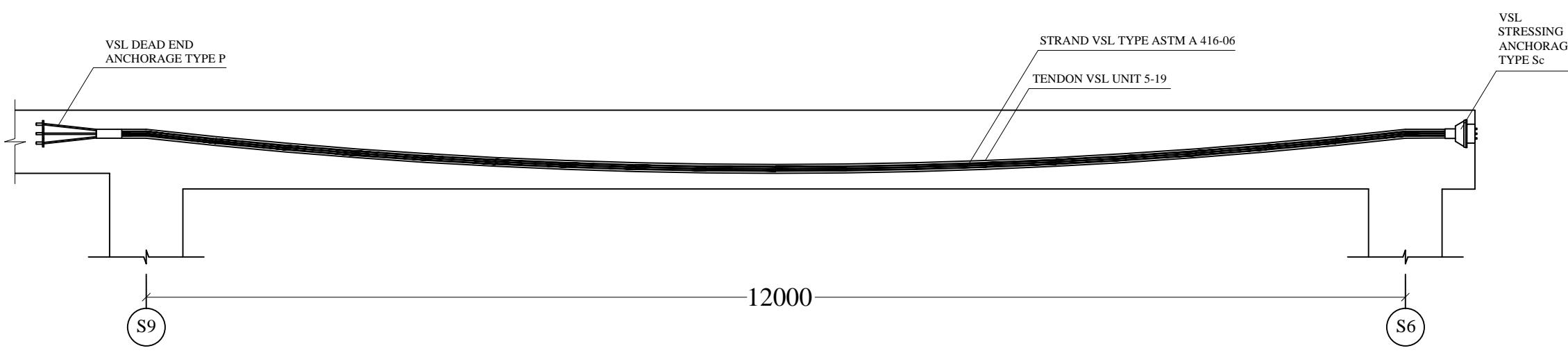
PENULANGAN BALOK	BALOK INDUK 1 45/60			BALOK INDUK 2 35/45			BALOK INDUK 2 30/35		
	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
TUL. ATAS	6D25	3D25	6D25	4D25	3D25	4D25	3D25	3D25	3D25
TUL. BAWAH	4D25	4D25	4D25	3D25	3D25	3D25	3D25	3D25	3D25
TUL. TORSI	4D25	4D25	4D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25
TUL. SENGKANG	3D13-50	3D13-90	3D13-50	3D13-80	3S13-90	3D13-80	D13-60	D13-70	D13-60
PENULANGAN BALOK	BALOK ANAK 1 35/40			BALOK ANAK 2 25/30			BALOK Bordes 35/40		
	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
TUL. ATAS	4D19	3D19	4D19	3D19	3D19	3D19	6D19	3D19	6D19
TUL. BAWAH	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	4D19	3D19	4D19
TUL. TORSI	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	4D19	4D19	4D19
TUL. SENGKANG	D13-70	D13-80	D13-70	D13-50	D13-60	D13-50	3D13-60	3D13-80	3D13-60
PENULANGAN BALOK	BALOK LIFT 35/40			KOLOM 70/140			PENULANGAN KOLOM		
	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN	LAPANGAN		TUMPUAN	LAPANGAN	
TUL. ATAS	4D19	3D19	4D19	20D25	20D25		20D25	20D25	
TUL. BAWAH	3D19	3D19	3D19	Ø13-100	Ø13-100		Ø13-100	Ø13-100	
TUL. TORSI	2D19	2D19	2D19						
TUL. SENGKANG	D13-70	D13-80	D13-70	TUL. LENTUR	20D25		TUL. LENTUR	20D25	
				TUL. SENGKANG	4 Ø13-100		TUL. SENGKANG	4 Ø13-150	

 DETAIL PENULANGAN BALOK DAN KOLOM
Skala 1:40

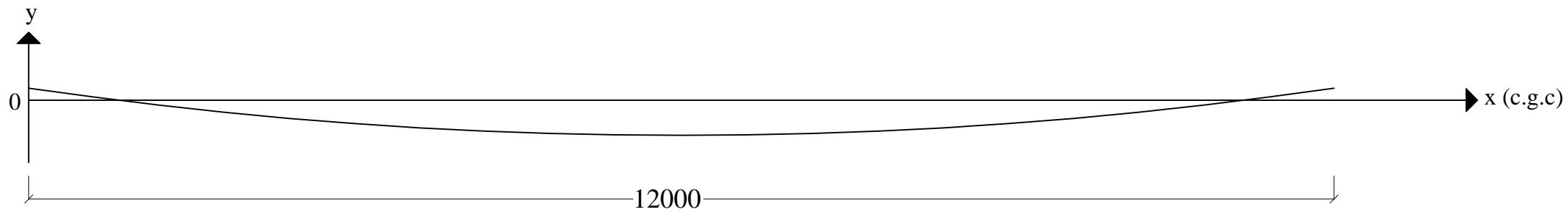
17 22



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



POSI SI TENDON PRATEKAN
Skala 1:50



x (mm)	0	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000	6600	7200	7800	8400	9000	9600	10200	10800	11400	12000
y (mm)	110	27.69	-45.95	-110.9	-167.3	-214.9	-253.9	-284.2	-305.9	-318.9	-323.2	-318.9	-305.9	-284.2	-253.9	-214.9	-167.3	-110.9	-45.95	27.69	110

KOORDINAT TENDON PRATEKAN
Skala 1:50

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DETAIL PRATEKAN

NAMA DOSEN PEMBIMBING

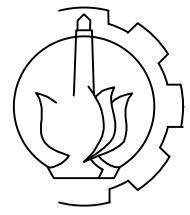
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO. JUMLAH

18 22



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DETAIL PRATEKAN

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

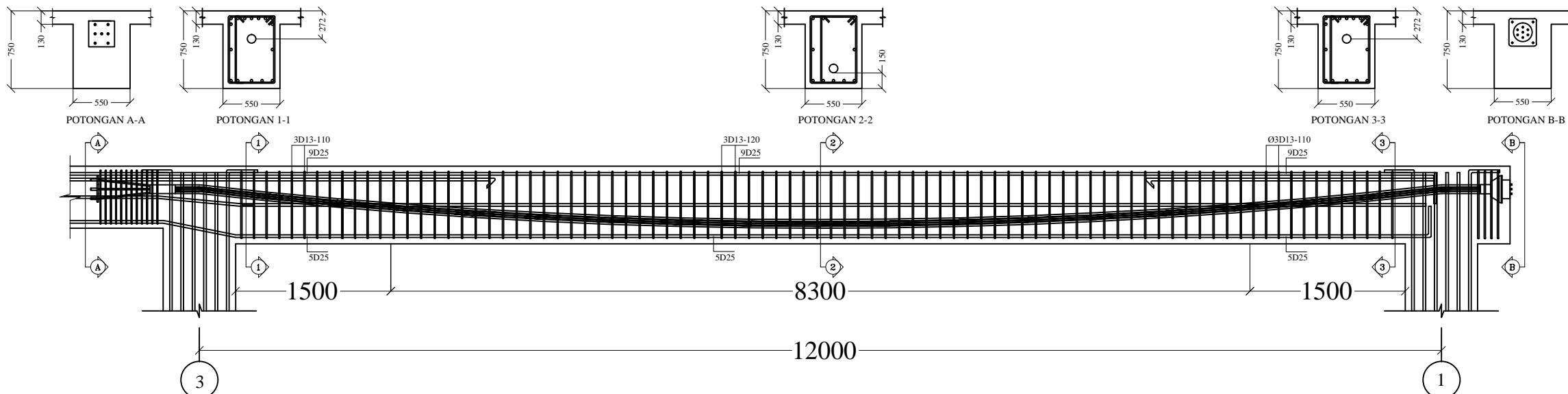
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

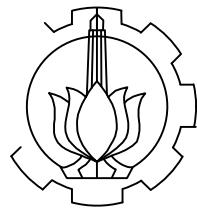
NO.	JUMLAH
-----	--------

19

22



DETAIL BALOK PRATEKAN
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

DETAIL ANGKUR

NAMA DOSEN PEMBIMBING

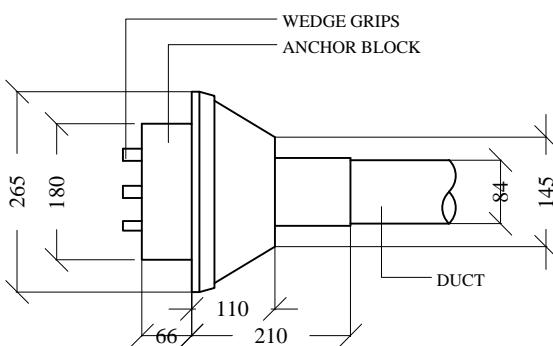
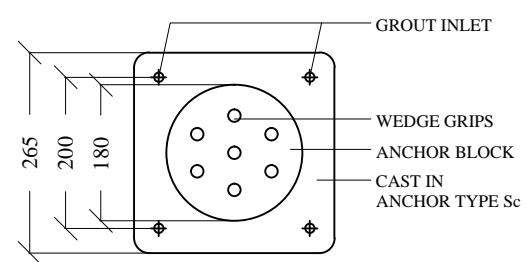
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

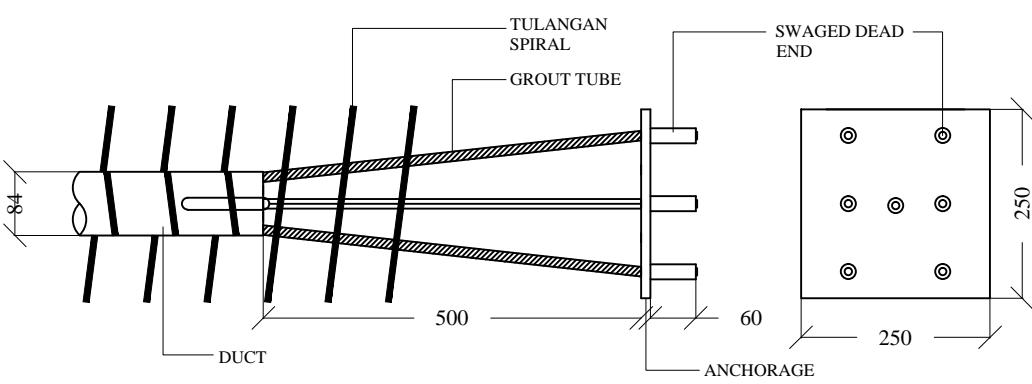
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO.	JUMLAH
-----	--------

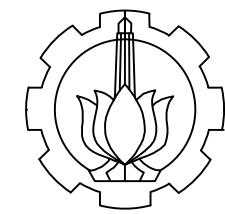
20	22
----	----



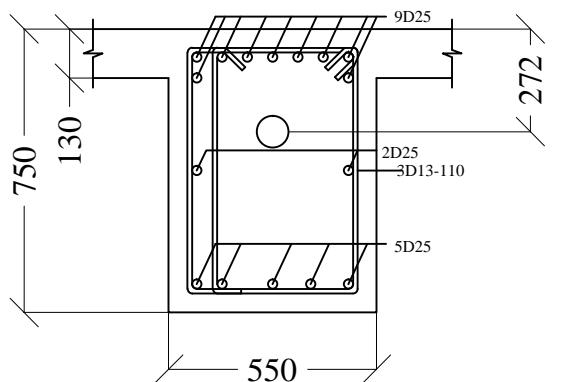
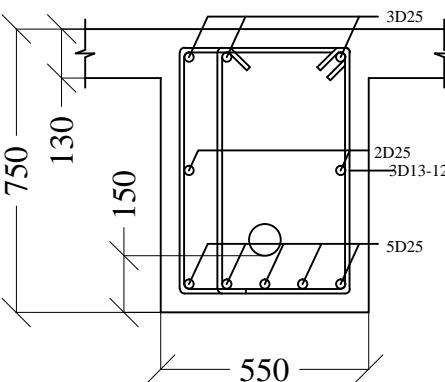
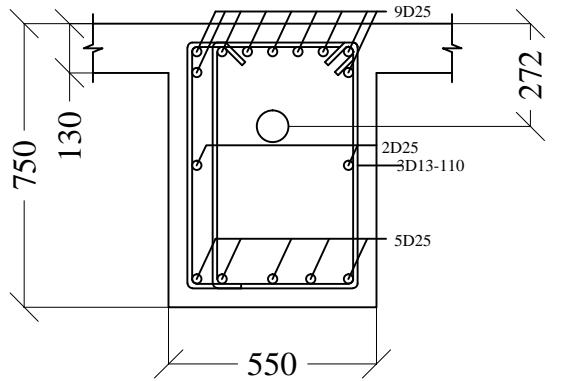
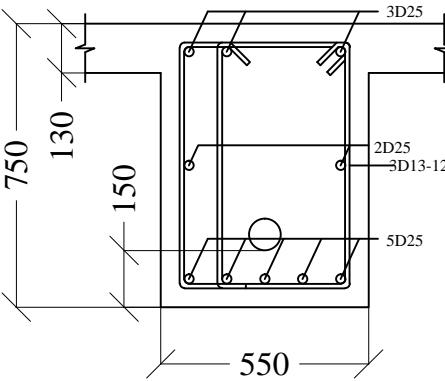
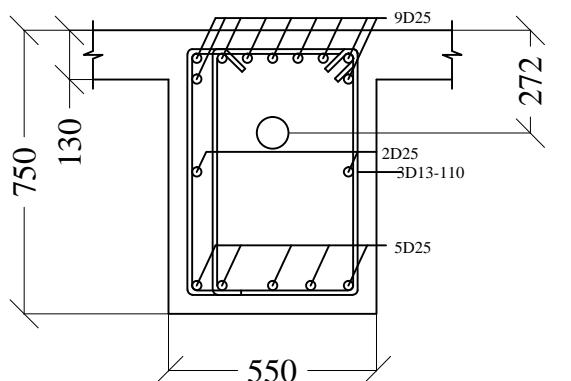
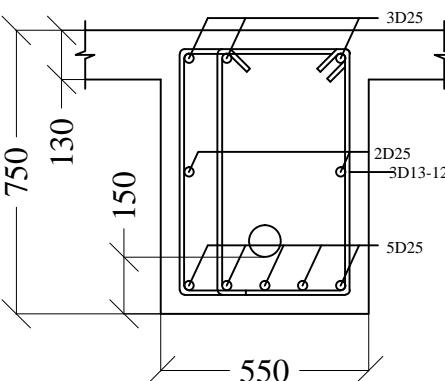
DETAIL VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc
Skala 1:10



DETAIL VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P
Skala 1:10



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

PENULANGAN BALOK	SNI 2847-2002	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
PENULANGAN BALOK	SNI 2847-2002	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
PENULANGAN BALOK	SNI 2847-2002	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		



STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN GESER

Skala 1:20

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

STUDI PERBANDINGAN

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

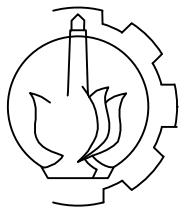
NAMA MAHASISWA

NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO. JUMLAH

21

22



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN,
DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

NAMA TUGAS

TUGAS AKHIR

NAMA GAMBAR

STUDI PERBANDINGAN

NAMA DOSEN PEMBIMBING

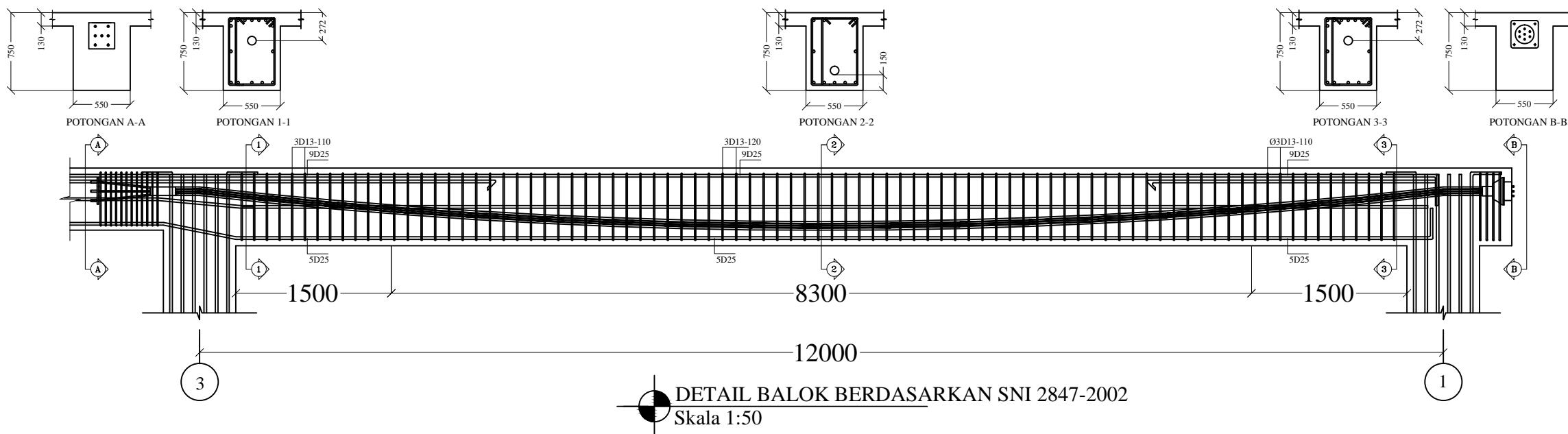
Prof. TAVIO ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO MS.

NAMA MAHASISWA

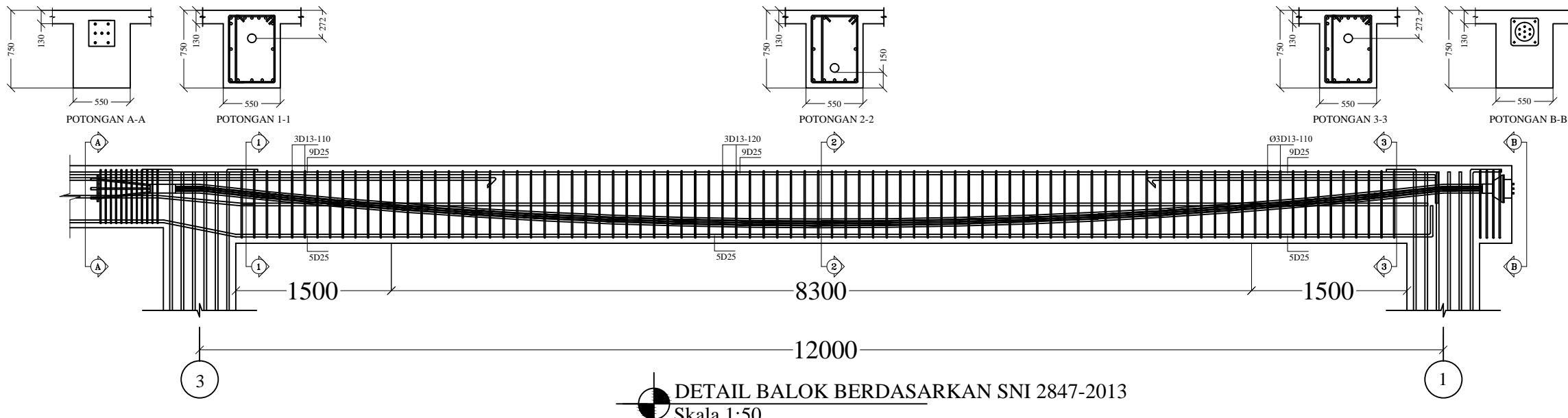
NURUSSOFA RIZQYANI
03111645000019

NO. JUMLAH

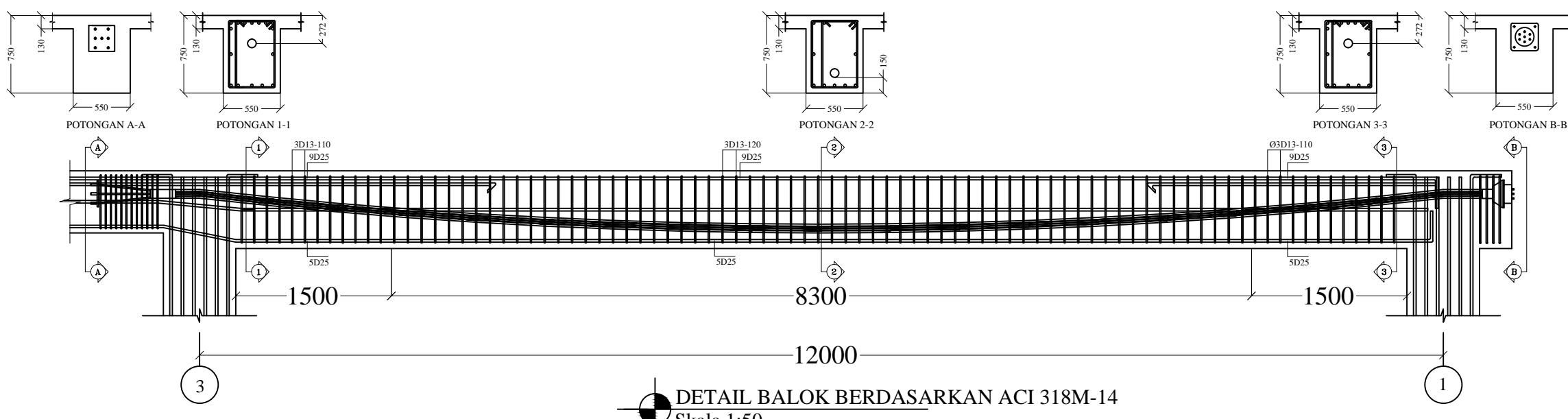
22 22



DETAIL BALOK BERDASARKAN SNI 2847-2002
Skala 1:50



DETAIL BALOK BERDASARKAN SNI 2847-2013
Skala 1:50



DETAIL BALOK BERDASARKAN ACI 318M-14
Skala 1:50

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Nurussofa Rizqyani, dilahirkan di Surabaya, 9 Juni 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Ta'miriyah Surabaya, SMP Negeri 5 Surabaya, dan SMA Negeri 21 Surabaya. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS dan mengambil Bidang Bangunan Gedung. Setelah menempuh pendidikan diploma selama 3 tahun, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil ITS dengan NRP 03111645000019 dan mengambil konsentrasi bidang struktur. Apabila ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat berkomunikasi via email : evarizqyani@gmail.com.



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



Form AK/TA-04
rev01

Telp. 031-5946094, Fax. 031-5947284

NAMA PEMBIMBING	:	Prof. TAVIO , ST, MT, Ph.D
NAMA MAHASISWA	:	NURUSSOFA RIZQYANI
NRP	:	03 111 645 000019
JUDUL TUGAS AKHIR	:	STUDI PERBANDINGAN KERAKTAN BESER BALOK PRATEEAMG DI DAERAH RISIKO GEMPA BERDASARKAN SNI 2847-2002, SNI 2847-2013, DAN ACC 318M-14 PADA GEPUNG LIFE STYLE HOTEL SURABAYA
TANGGAL PROPOSAL	:	
NO. SP-MMTA	:	

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	8/3/18	- Preliminary design	- Lanjutkan perhitungan pembebanan	
2	22/3/18	- Beban angin, salju, hujan tidak diperhitungkan - Beban mati bisa pakai PPIUG	- Lanjutkan perhitungan sekunder & permodelan	
3.	20/4/18	- Menghitung momen plat pakai PBI. - Beban hidup tangga pakai beban hidup pelat - Tulangan melintang tangga pakai tulangan minimum w/ shrinkage	- Lanjutkan perhitungan beban gempa dan permodelan	
4.	18/5/18	- Cek kontrol etabs. - Jumlah ragam diperhatikan	- Perhitungan struktur utama	
5.	4/6/18	- Partial prestress 25% (kombinasi gempa) - Lantai atas tidak perlu di lapis SCWP		



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	: Dr. Ir. HIDAYAT SOEGIHARDJO, MS
NAMA MAHASISWA	: NURUSSOFA RIZQYANI
NRP	: 03111645000019
JUDUL TUGAS AKHIR	: STUDI PERBANDINGAN KELASIFIKASI GRESI BALOK PRATEKAN DI DABARAH FISIKO GEMPA BERDASARAN CNI 2847-2002, SNI 2847:2013, DAN ACC 718M-14 PADA GROUND FLOOR STYLE HOTEL SURABAYA
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	23/3/18		Lampirkan data tanah Pakai ETABS Hitung KDS	
2.			Pelajari dasar kenapa rumus antar peraturan. Cari inti perbedaannya. Latar belakang	
3.	7/6/18	yang menimbulkan momen negatif dari pratekan pada tumpuan siapa? Disarankan pakai SNI Gempa yang lama yaitu SNI 2002-nya		

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN
PROGRAM SARJANA (S1)
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK - ITS

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini Senin tanggal 23 Juli 2018 jam 09.00 WIB telah diselenggarakan UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

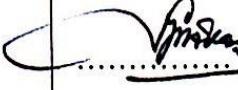
NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000019	Nurussofa Rizqyani	Studi Perbandingan Kekuatan Geser Balok Prategang di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan SNI-2847-2002, SNI 2847:2013, dan ACI 318M-14 pada Struktur Life Style Hotel Surabaya

Dengan Hasil :

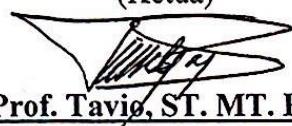
<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- Cek sy dg D tulaya → semua hasil ulir*
- rockers fd atk Mer → ✗ → wa?
- Gesr dari mba holom! → cek ACI
- Tulaya banlh pelet ditupna bisa dikongsi → cek ACI
- Coba Lsp kkes? gnis hrs semua dlysai lepatng.
- Ya (Lx / ~~Lx~~) · 0.22 Lux dll! bawels
-
-
-
-

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka	
Ir. Faimun, MSc. PhD DJOKO IRawan	

Surabaya, 23 Juli 2018
Dosen Pembimbing I
(Ketua)


Prof. Tavio, ST. MT. PhD

Dosen Pembimbing 2
(Sekretaris)

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS