



TUGAS AKHIR – RC 184803

**DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK
BETON PRATEKAN PADA LANTAI ATAP**

MUHAMMAD RIDHO
NRP. 0311 16 45 000 033

Dosen Pembimbing 1 :
Harun Al Rasyid, ST.,MT.,PhD
NIP. 198308082008121005

Dosen Pembimbing 2 :
Dr. Candra Irawan, ST. MT
NIP. 199008232015041001

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR – RC 184803

**MODIFICATION DESIGN OF AT-TAUHID
TOWER MUHAMMADIYAH UNIVERSITY
SURABAYA BUILDING USING PRESTRESSING
CONCRETE BEAMS ON THE ROOF FLOOR**

MUHAMMAD RIDHO
NRP. 0311 16 45 000 033

Counsellor Lecturer 1 :
Harun Al Rasyid, ST.,MT.,PhD
NIP. 198308082008121005

Counsellor Lecturer 2 :
Dr. Candra Irawan, ST. MT
NIP. 199008232015041001

**DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering Environment and Earth
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020**

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

MUHAMMAD RIDHO

NRP. 03111645000033

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. Harun Al Rasyid, ST.,MT.,PhD
(Pembimbing I)

2. Dr. Candra Irawan, ST.,MT
(Pembimbing II)



DN: cn=Harun Alrasyid, o=Institut
Teknologi Sepuluh Nopember,
ou=Civil Engineering Department,
email=harun.ce.its@gmail.com, c=ID
Date: 2020.08.21 10:34:13 +07'00'

Surabaya, Agustus 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA DENGAN MENGUNAKAN BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

Nama Mahasiswa : MUHAMMAD RIDHO
NRP : 03111645000033
Dosen Pembimbing 1 : Harun Al Rasyid, ST.,MT.,PhD
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Candra Irawan, ST. MT

ABSTRAK

Gedung AT-TAUHID TOWER Universitas Muhammadiyah Surabaya yang ditinjau penulis merupakan gedung multifungsi yang terdiri dari 13 lantai dengan tinggi bangunan 48 meter. Dimana pada lantai 12 terdapat ruang pertemuan tanpa adanya struktur kolom di tengah ruangan dengan bentang balok sepanjang 12 meter. Sebagai solusi dari struktur ruang pertemuan tersebut maka diperlukan perencanaan balok beton pratekan. Perkembangan sistem beton pratekan yang semakin pesat dalam perencanaan gedung membutuhkan pertimbangan tertentu, untuk itu digunakan sistem post tension (pasca tarik) untuk kemudahan konstruksi pada gedung

Selain balok pratekan perencanaan juga memperhitungkan kondisi kegempaan yang ada. Berdasarkan identifikasi data tanah hasil uji Standart Penetration Test (SPT) dan Peta Hazard 2010, diketahui bahwa Kota Surabaya merupakan wilayah dengan jenis tanah sedang serta memiliki nilai respon spektra percepatan 0,2 detik sebesar 0,6g dan nilai Sds sebesar 0,528 sehingga masuk kondisi desain seismik D (KDS D). Dengan kondisi tanah yang masuk KDS D, maka struktur bangunan direncanakan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Desain struktur pada bangunan ini meliputi perhitungan struktur atas dan struktur bawah. Dimana struktur atas terdiri dari perhitungan kolom, balok, pelat lantai, tangga. Sedangkan struktur bawah terdiri dari perhitungan poer, dan fondasi. Untuk material dalam perencanaan struktur menggunakan mutu bahan : $f_c' = 30$ Mpa, $f_y = 400$ Mpa. Perhitungan yang dilakukan dalam tugas akhir ini mengacu pada peraturan yang ditetapkan pada SNI 2847-2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa, dan SNI 1727-2013 untuk beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain.

Dari perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, gaya pratekan yang didapat sebesar 2000 kN dengan kehilangan gaya pratekan sebesar 23,50%. Dan selanjutnya akan dituangkan dalam bentuk laporan perhitungan struktur dengan disertai gambar teknik yang dapat dijadikan acuan dalam pembangunan.

Kata Kunci : AT-TAUHID TOWER , Beton Pratekan, SRPMK

**MODIFICATION DESIGN OF AT-TAUHID TOWER
MUHAMMADIYAH UNIVERSITY SURABAYA BUILDING
USING PRESTRESSING CONCRETE BEAMS ON THE
ROOF FLOOR**

Student : MUHAMMAD RIDHO
NRP : 03111645000033
Counsellor Lecturer 1 : Harun Al Rasyid, ST.,MT.,PhD
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Candra Irawan, ST. MT

ABSTRACT

At-Tauhid tower Muhammadiyah University Surabaya reviewed by the author is a multifunctional building consisting of 13th floors with 48 meters high building. Where on the 12th floor there is a meeting room without a column structure in the middle of the room with beam span along 12 meters. As a solution of the meeting room space structure is required prestressed beam planning. The development of prestressing concrete systems which is increasingly in building planning, for this reason a post tension system is using for ease of construction in building.

In addition to prestressing beams the planning also takes into account existing seismic conditions. Based on the identification of soil data of test results of Standard Penetration Test (SPT) and Hazard Map 2017, it is known that Surabaya is an area with soft soil type and has a response value of 0.2 second acceleration spectra of 0.3g and Sds value of 0.468 so that enter design conditions seismic D (KDS D). With the condition of land entering KDS D, then the structure of the building is planned with the method of Special Moment Frame System (SRPMK).

The structural design of this building includes the calculation of the upper and lower structures. Where the upper structure consists of columns, beams, floor plates, stairs. While the bottom structure consists of calculations sloof, poer, and the foundation. For materials in structural planning use the material

quality: $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, $f_y = 400 \text{ Mpa}$. The calculations performed in this thesis refers to the regulations set forth in SNI 2847-2013 on the requirements of structural concrete for building structures, SNI 1726-2012 on earthquake resistance planning procedures, and SNI 1727-2013 for minimum loads for the planning of buildings and structures other.

From the calculations and analisis result, prestressed force obtained at 2000 kN and has loss of prestresing force at 23,50%. And next will be poured in the form of structural calculation report with accompanied by a technique that can be used as a referense in development

Key Words : AT-TAUHID TOWER , Beton Pratekan, SRPMK

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat, dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Desain Modifikasi Gedung AT-TAUHID TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA Dengan Menggunakan Balok Beton Pratekan Pada Lantai Atap” ini dengan baik dan tepat waktu. Adapun maksud dari penulisan Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulisan Tugas Akhir ini adalah salah satu wujud pengaplikasian dari ilmu teknik sipil. Dengan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak dapat diselesaikan tanpa pihak yang mendukung, membimbing dan membantu dalam pengerjaannya, sehingga penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Teruntuk kedua orang tua dan saudara Penulis yang selalu memberikan doa terbaiknya dan memberi motivasi.
2. Bapak Harun Al Rasyid, ST. MT. Ph.D sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak arahan dan ilmu yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Dr. Candra Irawan, ST. MT sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak arahan dan ilmu yang sangat bermanfaat.

4. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSLK ITS Surabaya yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, atas kesabarannya memberikan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat.
5. Bapak dan Ibu TU yang selalu membantu saya dan memudahkan dalam hal administrasi .

Akhir kata Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca umumnya

Surabaya , Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum.....	7
2.2 Bangunan Gedung	7
2.2.1 Pengertian.....	7
2.2.2 Persyaratan Dasar Bangunan Gedung	7
2.3 Struktur Gedung	8
2.3.1 Klasifikasi Bangunan Gedung	8
2.3.2 Sistem Struktur	14
2.4 Perencanaan Struktur.....	14
2.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen	14
2.5 Pengaruh Gempa Pada Bangunan.....	15
2.5.1 Beban dan Analisis Gempa	15
2.6 Beton Pratekan.....	28
2.6.1 Sistem Pratekan untuk Mengubah Beton menjadi Bahan yang Elastis.	32
2.6.2 Sistem Pratekan untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton	34

2.6.3	Sistem Pratekan untuk mencapai kesetimbangan beban 34	
2.6.4	Kehilangan Pratekan	35
2.6.5	Kehilangan Langsung (<i>Immediate Elastic Losses</i>).....	35
2.6.6	Kehilangan Jangka Panjang (<i>Time dependent Losses</i>)	35
2.6.7	Tahap Pembebanan	36
2.6.8	Tahap Transfer.....	36
2.6.9	Tahap Service	36
2.6.10	Material Beton Prategang	36
2.6.11	Angkuran Beton Prategang.....	37
2.6.12	Selonsong (<i>duct</i>) Sistem Pasca-Tarik.....	37
2.6.13	Grouting untuk Tendon	38
2.6.14	Angkur dan Koplek Pasca-Tarik.....	38
2.7	Sistem Hubungan Balok Kolom.....	39
2.7.1	Sistem Sendi.....	39
2.7.2	Sistem Konsol Pendek.....	39
2.8	Perencanaan Pondasi	39
2.8.1	Daya Dukung Satu Tiang Pancang.....	40
2.8.2	Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok.....	41
2.8.3	Perencanaan Pile Cap Grup Tiang Pancang	41
2.8.4	Perencanaan Sloof Pondasi (<i>Tie Beam</i>).....	41
BAB III METODOLOGI.....		43
3.1	Umum.....	43
3.2	Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....	43
3.3	Pengumpulan Data.....	44
3.4	Studi Literatur.....	44
3.5	Perencanaan Struktur Sekunder.....	45
3.5.1	Perencanaan Pelat	45
3.5.2	Perencanaan Dimensi Tangga	47
3.5.3	Perencanaan Balok Anak.....	48
3.6	Preliminary Desain	48
3.6.1	Preliminary desain struktur beton bertulang.....	48
3.6.2	Preliminary desain balok (struktur pratekan)	51
3.7	Pembebanan.....	51
3.7.1	Beban Mati	52

3.7.2	Beban Hidup.....	52
3.7.3	Beban Gempa	52
3.7.4	Kombinasi.....	52
3.8	Analisa Stuktur	53
3.8.1	Kontrol Permodelan Struktur.....	53
3.9	Perencanaan Struktur.....	53
3.9.1	Desain Struktur Utama Non Pratekan	53
3.9.2	Analisa Struktur Utama Pratekan	54
3.10	Sistem Hubungan Balok Kolom	57
3.11	Metode Pelaksanaan	57
3.12	Perencanaan Pondasi	60
3.13	Gambar	61
3.14	Kesimpulan dan Saran.....	61
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		63
4.1	Perencanaan Dimensi (<i>Preliminary Design</i>)	63
4.1.1	Perencanaan Dimensi Balok.....	63
4.1.2	Perencanaan Dimensi Kolom	66
4.1.3	Perencanaan Dimensi Pelat	68
4.1.4	Perencanaan Dimensi Tangga	71
4.2	Perhitungan Struktur Sekunder.....	72
4.2.1	Perencanaan Penulangan Pelat Lantai	72
4.2.2	Perencanaan Penulangan Tangga dan Balok Bordes...80	
4.2.3	Perencanaan Penulangan Balok Lift.....	95
4.2.4	Perencanaan Penulangan Balok Anak	100
4.3	Pembebanan dan Pemodelan Struktur	107
4.3.1	Umum	107
4.3.2	Pemodelan Struktur	108
4.3.3	Pembebanan Gravitasi	108
4.3.4	Pembebanan Gempa	109
4.4	Perhitungan Struktur Utama	122
4.4.1	Umum.....	122
4.4.2	Perhitungan Penulangan Balok Induk	122
4.4.3	Perhitungan Penulangan Kolom	142
4.4.4	Perhitungan Balok Pratekan	153
4.5	Perhitungan Struktur Bawah.....	207

4.5.1 Perhitungan pondasi tiang pancang	207
4.5.2 Perhitungan penulangan lentur poer	221
BAB V KESIMPULAN	224
5.1 Kesimpulan	224
5.2 Saran	226
DAFTAR PUSTAKA	229
LAMPIRAN	231

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur (SNI 1726:2012).....	9
Tabel 2. 2 Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan (SNI 1726:2012).....	12
Tabel 2. 3 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).....	17
Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2012).....	20
Tabel 2. 5 Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2012).....	21
Tabel 2. 6 Koefisien situs, F_v (SNI 1726:2012).....	21
Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek, S_{DS} (SNI 1726:2012).	22
Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 detik, S_{D1} (SNI 1726:2012).	23
Tabel 2. 9 Prosedur analisis (SNI 1726:2012).....	24
Tabel 2. 10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x (SNI 1726:2012).....	27
Tabel 3. 1 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior (SNI 2847:2013).....	46
Tabel 4. 1 Rekapitulasi perhitungan penulangan pelat.....	80
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga dan bordes....	95
Tabel 4. 3 Rekapitulasi penulangan Balok Bordes.....	95
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Penulangan Balok Lift.....	100
Tabel 4. 5 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak (BA).....	107
Tabel 4. 6 Perhitungan SPT Rata-Rata.....	110
Tabel 4. 7 Nilai Periode Fundamental (T) dan Percepatan Respon Spektra.....	112
Tabel 4. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan, C_t dan x	114
Tabel 4.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	115

Tabel 4. 10 Perioda Struktur pada Modal di Program SAP 2000 untuk 12 Mode Pertama.....	115
Tabel 4. 11 Berat Struktur dari Base Reaction Fz untuk Beban Mati, Beban Mati Tambahan dan Beban Hidup.....	117
Tabel 4. 12 Gaya Geser Dasar Hasil SAP 2000.....	117
Tabel 4. 13 Jumlah Respon Ragam.....	118
Tabel 4. 14 Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa	120
Tabel 4.15 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X.....	120
Tabel 4.16 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah Y.....	121
Tabel 4.17 Hasil Output SAP (Denah 1, fc' 30 MPa, Kolom (800x800).....	122
Tabel 4. 18 Kehilangan gaya prategang pada tiap tahap.....	168
Tabel 4. 19 Daya dukung satu tiang metode Mayerhoff.....	208
Tabel 4. 20 Kebutuhan tiang akibat beban aksial.....	209
Tabel 5. 1 Rekapitulasi penulangan pelat.....	224
Tabel 5. 2 Rekapitulasi penulangan tangga.....	224
Tabel 5. 3 Rekapitulasi penulangan balok bordes.....	224
Tabel 5. 4 Rekapitulasi penulangan balok lift.....	225
Tabel 5. 5 Rekapitulasi penulangan balok anak.....	225
Tabel 5. 6 Rekapitulasi penulangan balok induk.....	225
Tabel 5. 7 Rekapitulasi penulangan kolom.....	225
Tabel 5. 8 Rekapitulasi penulangan balok pratekan.....	226
Tabel 5. 9 Rekapitulasi penulangan tiang pancang.....	226

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Zona Gempa Indonesia (Ss) (SNI 1726:2012).....	16
Gambar 2.2 Peta Zona Gempa Indonesia (S1) (SNI 1726:2012).....	16
Gambar 2. 3 Proses Beton Metode Pratarik (Lin & Burns, 2000).....	29
Gambar 2. 4 Proses Beton Metode Pascatarik (Lin & Burns, 2000).....	30
Gambar 2. 5 Konsep Beton Pratekan sebagai Bahan yang Elastis (Lin dan Burns, 2000).....	32
Gambar 2. 6 Tendon dengan Eksentrisitas (Lin dan Burns, 2000).....	33
Gambar 2. 7 Diagram Tegangan Beton Prategang (Lin dan Burns, 2000).....	33
Gambar 2. 8 Perbandingan Penulangan Prategang dan Beton Bertulang (Lin dan Burns, 2000).....	34
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....	44
Gambar 3. 2 Pemasangan bekisting dan scaffolding	58
Gambar 3. 3 Pemasangan Tulanagn, Tendon dan selongsong balok pratekan	59
Gambar 3. 4 Pengecoran Balok Pratekan	59
Gambar 3. 5 Pemberian Gaya Pratekan.....	60
Gambar 4. 1 Denah Balok Induk yang ditinjau.....	63
Gambar 4. 2 Denah Balok pratekan yang ditinjau.....	64
Gambar 4. 3 Denah Balok Anak yang ditinjau.....	65
Gambar 4. 4 Denah Kolom Tipe 1 yang ditinjau	66
Gambar 4. 5 Momen didalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya akibat beban merata (terjepit penuh) ...	74

Gambar 4. 6 Denah Tangga	81
Gambar 4. 7 Potongan Tangga.....	82
Gambar 4. 8 Permodelan Struktur Tangga.....	83
Gambar 4. 9 Gaya Dalam (Gaya Lintang)	86
Gambar 4. 10 Gaya Dalam (Momen).....	86
Gambar 4. 11 Permodelan pada SAP 2000	108
Gambar 4. 12 Grafik respon spektrum Desain	113
Gambar 4. 13 Luasan (Acp) dan Keliling (Pcp).....	124
Gambar 4. 14 Luasan (Aoh) dan Keliling (Poh)	124
Gambar 4. 15 Diagram interaksi P-M kolom K1 atas as 2-D	143
Gambar 4. 16 Output gaya kolom atas as 6-E.....	144
Gambar 4. 17 Output gaya kolom bawah as 6-E.....	145
Gambar 4. 18 Output momen nominal kolom atas as 6-E	150
Gambar 4. 19 Output momen nominal kolom bawah as 6-E	150
Gambar 4. 20 Denah balok pratekan tinjau.....	153
Gambar 4. 21 Potongan penampang tengah bentang balok pratekan.....	155
Gambar 4. 22 Luasan Acp dan Aoh	172
Gambar 4. 23 Panjang jepit kritis tanah	220

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gedung AT-TAUHID TOWER Universitas Muhammadiyah Surabaya merupakan gedung kantor yang terletak di Jl Sutorejo No 59 Surabaya. Gedung ini merupakan gedung yang terdiri dari 13 lantai. Pada Tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi gedung pada lantai 12 yang akan beralih fungsi dari awalnya ruangan kantor menjadi ruang pertemuan. Modifikasi ini dilakukan untuk menyediakan fasilitas ruang pertemuan pada gedung yang mana memiliki bentang yang panjang dengan kapasitas yang besar.

Ruang pertemuan yang akan di desain akan memiliki bentang yang panjang dan tidak ada kolom ditengah bentang, maka diperlukan modifikasi struktur. Penggunaan Struktur baja pada aula ini merupakan salah satu pilihan yang dapat diambil. Namun, harus diketahui bahwa terdapat kelemahan pada struktur baja yang digunakan untuk bentang yang besar. Resiko yang pasti terjadi pada penggunaan baja adalah korosi dan lendutan pada struktur. Korosi ini sangat berdampak buruk pada struktur karena dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Lendutan dapat terjadi karena pada elemen struktur baja pasti terjadi tegangan tarik yang tidak dapat dihindari sehingga lendutan pasti terjadi. Sebagai solusi dari kelemahan struktur baja pada ruang aula Gedung AT-TAUHID TOWER Universitas Muhammadiyah Surabaya maka diperlukan perencanaan beton pratekan. Karena terbuat dari beton maka potensi korosi pada elemen struktur tidak akan terjadi. Selain itu pada beton pratekan dapat didesain agar tidak terjadi lendutan dengan memberikan gaya pratekan pada tendon.

Modifikasi yang akan dilakukan adalah perubahan bentang balok beton bertulang menjadi balok beton pratekan untuk meningkatkan panjang bentang dengan dimensi penampang yang relative kecil. Pada umumnya balok beton bertulang hanya mampu mencapai panjang maksimal 8 m, tetapi dengan modifikasi menjadi balok beton pratekan bentang balok menjadi lebih besar.

Beton pratekan merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan dua jenis bahan mutu tinggi yaitu beton dan baja dengan cara aktif yaitu dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. 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 pratekan merupakan kombinasi yang ideal dari dua bahan modern yang berkekuatan tinggi (Lin dan Burns, 1988).

Pada sistem struktur rangka pemikul momen khusus ada bagian elemen-elemen struktur yang mengalami sendi-sendi plastis sebagai tempat untuk mendisipasikan beban gempa yang terjadi. Pada system struktur rangka pemikul momen khusus struktur akan mengalami perilaku *inelastic* yang diterima melalui pembentukan sendi-sendi plastis tersebut. Sistem rangka pemikul momen khusus mempunyai sifat fleksibilitas yang tinggi, sehingga mampu meredam gaya geser sehingga gaya geser yang terjadi pada struktur akan berkurang, dan system ini juga mempunyai kapasitas yang tinggi untuk mendisipasikan beban gempa yang terjadi pada sendi-sendi plastis yang terbentuk pada ujung-ujung balok

Desain modifikasi struktur ini ditinjau dengan menggunakan analisa respon dinamik dan menggunakan panduan peraturan perencanaan struktur beton untuk

bangunan gedung SNI 2847:2013, perencanaan ketahanan gempa SNI 1726:2012 dan peraturan pembebanan PPIUG 1983. Diharapkan dengan dibuatnya Tugas Akhir ini akan dapat membantu perencana untuk merencanakan pembangunan Gedung dengan model aula yang memiliki kapasitas yang besar dengan tidak adanya kolom di tengah bentang. Berdasarkan hasil analisis sistem yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung AT-TAUHID TOWER Universitas Muhammadiyah Surabaya sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) serta adanya balok beton pratekan pada lantai atap.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah ada, maka rumusan masalah yang akan diselesaikan dalam modifikasi struktur pada gedung AT-TAUHID TOWER ini adalah :

1. Bagaimana menentukan *preliminary design* dari struktur primer dan sekunder ?
2. Bagaimana menghitung pembebanan pada struktur tersebut ?
3. Bagaimana memodelkan dan menganalisa struktur gedung dengan menggunakan program bantu SAP 2000 ?
4. Bagaimana metode pelaksanaan balok beton pratekan ?
5. Bagaimana merencanakan balok beton pratekan yang memenuhi kriteria ?
6. Bagaimana merencanakan pondasi yang sesuai dengan beban yang dipikul ?
7. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan struktur gedung ke dalam gambar teknik sesuai standar ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah didapat, maka tujuan dalam modifikasi struktur pada gedung AT-TAUHID TOWER ini adalah :

1. Dapat menentukan *preliminary design* dari struktur primer dan sekunder.
2. Dapat menghitung pembebanan pada struktur tersebut.
3. Dapat memodelkan dan menganalisis struktur gedung dengan menggunakan program bantu SAP 2000.
4. Dapat menentukan metode pelaksanaan balok beton pratekan.
5. Dapat merencanakan balok beton pratekan yang memenuhi kriteria perancangan struktur.
6. Dapat merencanakan pondasi yang sesuai dengan beban yang dipikul ?
7. Dapat menuangkan hasil perhitungan dalam bentuk gambar desain.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah:

1. Perencanaan tidak menghitung manajemen kontruksi dan analisis biaya.
2. Pada struktur memodifikasi bangunan dengan menggunakan balok beton pratekan pada lantai atap.
3. Meninjau metode pelaksanaan yang hanya berkaitan dengan perhitungan struktur.
4. Perencanaan ini tidak meninjau dari segi arsitektural.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mampu menerapkan perhitungan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) .
2. Mampu menerapkan perencanaan balok beton pratekan pada struktur gedung dengan bentang yang panjang pada lantai atap gedung Apartment selatan AT-TAUHID TOWER
3. Dapat mengurangi penggunaan kolom pada gedung Apartment selatan AT-TAUHID TOWER sehingga lebih ekonomis dan efisien.
4. Dari perencanaan ini dapat diketahui hal-hal yang harus diperhatikan pada saat perancangan beton pratekan sehingga kegagalan struktur bisa diminimalisasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada tinjauan pustaka ini akan dibahas beberapa jurnal ilmiah dan dasar teori yang berkaitan dengan perencanaan bangunan “Gedung AT-TAUHID TOWER Universitas Muhammadiyah Surabaya ”. Dalam perencanaannya perlu tinjauan khusus terhadap perencanaan struktur gedung menggunakan beton pratekan dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

2.2 Bangunan Gedung

2.2.1 Pengertian

Bangunan gedung merupakan struktur yang dibuat manusia yang terdiri atas dinding dan atap yang dibangun secara permanen di suatu tempat. Struktur gedung memiliki beragam bentuk, ukuran, dan fungsi. Struktur pada bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan struktur bawah, yaitu :

1. Struktur atas adalah struktur yang berada diatas tanah, contohnya lantai, atap dan dinding.
2. Struktur bawah adalah struktur yang berada di bawah muka tanah, contohnya struktur basemen atau struktur pondasi.

2.2.2 Persyaratan Dasar Bangunan Gedung

Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah desain harus diasumsikan terjadi di sepanjang setiap arah horizontal struktur bangunan gedung. Gaya gempa desain, dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai yang

ditunjukkan dalam Pasal 7.6 SNI 1726:2012 dan gaya dalam serta deformasi yang terkait pada komponen-elemen struktur tersebut harus ditentukan.

2.3 Struktur Gedung

2.3.1 Klasifikasi Bangunan Gedung

Bangunan gedung diklasifikasikan berdasarkan tingkat kompleksitas dan ketinggian :

1. Klasifikasi berdasarkan ketinggian meliputi: bangunan gedung bertingkat tinggi, bangunan gedung bertingkat sedang, dan bangunan gedung bertingkat rendah.
2. Klasifikasi berdasarkan konfigurasi horizontal dan vertikal (bangunan beraturan dan tidak beraturan).

2.3.1.1 Klasifikasi berdasarkan ketinggian menurut Peraturan Menteri Tahun 2007:

1. Bangunan gedung bertingkat tinggi dengan jumlah lantai lebih dari 8 (delapan) lantai;
2. Bangunan gedung bertingkat sedang dengan jumlah lantai 5 (lima) lantai sampai dengan 8 (delapan) lantai; dan
3. Bangunan gedung bertingkat rendah dengan jumlah lantai 1 (satu) lantai sampai dengan 4 (empat) lantai.

2.3.1.2 Klasifikasi berdasarkan konfigurasi horizontal dan vertikal

Pembagian ketidakberaturan gedung diatur dalam SNI 1726;2002.

Adapun penggolongannya adalah :

1. Struktur gedung beraturan : Struktur gedung beraturan harus memenuhi ketentuan SNI 1726:2012 Pasal 7.3.2. Pengaruh gempa rencana struktur gedung dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa *static equivalen* sehingga dapat menggunakan analisa *static equivalen*.

2. Struktur gedung tidak beraturan : Struktur gedung yang tidak memenuhi syarat struktur gedung beraturan (atau tidak sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.3.2) menggunakan pembebanan dinamik, sehingga menggunakan analisa respon dinamik. Analisis respon dinamik menggunakan 2 metode, yaitu analisis respon spektrum dan analisis respon dinamik riwayat gempa (*time history*). Ketidakberaturan tersebut dibagi menjadi 2 sesuai dengan arahnya, yaitu :

a. Ketidakberaturan horizontal

Struktur bangunan gedung yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam Tabel 2.1 harus dianggap sebagai struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismic sebagaimana yang terdaftar dalam Tabel 2.1 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal SNI 1726:2012 yang terdapat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. 1 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur (SNI 1726:2012).

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Kategori desain seismic
1a	Ketidakteraturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E,dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

	dalam pasal pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.		
1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakteraturan torsi berlebihan dalam pasal pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F

	dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.		
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidakberaturan sistem nonpararel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E dan F

b. Ketidakberaturan Vertikal

Struktur bangunan gedung yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam Tabel 2.2 harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik sesuai yang terdaftar dalam Tabel 2.2 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal SNI 1726:2012 sesuai pada tabel berikut .

Pengecualian :

1. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2 dalam Tabel 2.2 tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar lantai akibat gaya gempa lateral desain yang nilainya lebih besar dari 130 % rasio simpangan antar lantai tingkat di atasnya. Pengaruh torsi tidak perlu ditinjau pada perhitungan simpangan antar lantai.

- Hubungan rasio simpangan antar lantai tingkat untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi;
2. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b dan 2 dalam Tabel 2.2 tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori desain seismic atau bangunan dua tingkat yang dirancang untuk kategori desain seismic B, C, atau D.

Tabel 2. 2 Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan (SNI 1726:2012).

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Kategori desain seismic
1a	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	D, E, dan F
1b	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
2	Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen	Tabel 13	D, E, dan F

	massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu di tinjau.		
3	Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 13	D, E, dan F
4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakteraturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.73.3.1 Tabel 13	E, dan F D, E, dan F
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E, dan F B, dan C D, E, dan F

	tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.		
--	---	--	--

2.3.2 Sistem Struktur

Menurut SNI 1726:2012 sistem struktur penahan gaya gempa ada 8, yaitu:

- a. Sistem dinding penumpu.
- b. Sistem rangka bangunan.
- c. Sistem rangka pemikul momen.
- d. Sistem ganda dengan SRPMK mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan.
- e. Sistem ganda dengan SRPMM mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempayang ditetapkan.
- f. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa.
- g. Sistem kolom kantilever.
- h. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik.

2.4 Perencanaan Struktur

Perancangan struktur yang digunakan merupakan konsep desain yang hendak digunakan pada perhitungan perencanaan gedung

2.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

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 :

1. SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa),

2. SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan
3. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

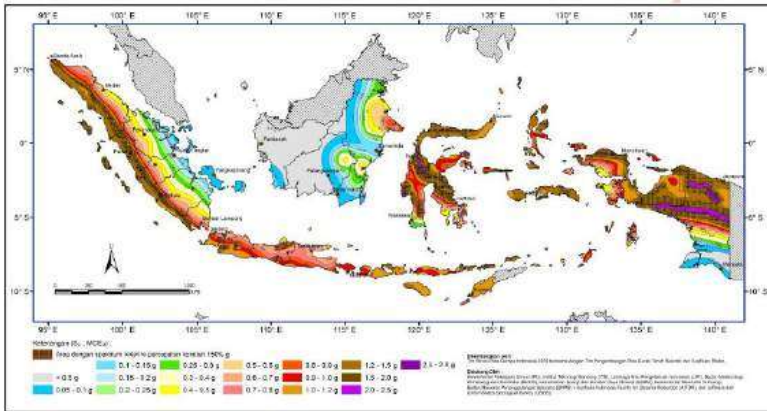
2.5 Pengaruh Gempa Pada Bangunan

2.5.1 Beban dan Analisis Gempa

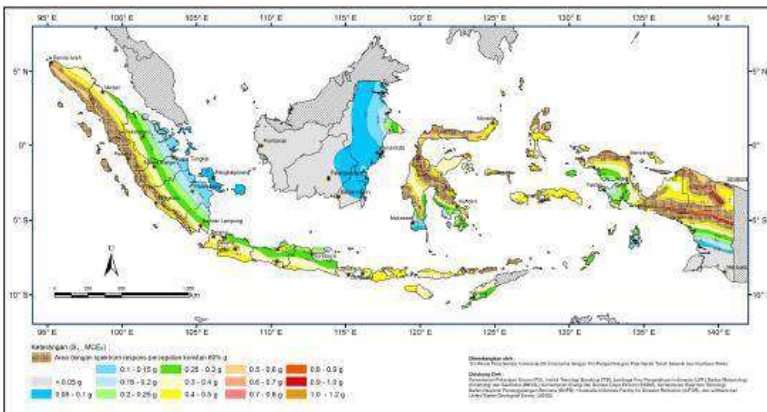
Gempa adalah getaran atau guncangan yang terjadi dipermukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Pembagian sistem struktur menurut wilayah gempa dibagi menjadi sebagai berikut: (Purwono,2003)

1. Wilayah gempa 1 dan 2 (resiko gempa rendah), desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dan dinding struktur dengan beton biasa.
2. Wilayah gempa 3 dan 4 (resiko gempa sedang), dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dan Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB) dengan beton tanpa detailing khusus
3. Wilayah gempa 5 dan 6 (resiko gempa tinggi), dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus dengan beton khusus.

Pembagian wilayah gempa di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Peta Zona Gempa Indonesia (Ss) (SNI 1726:2012).



Gambar 2.2 Peta Zona Gempa Indonesia (S1) (SNI 1726:2012).

Perhitungan gempa yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2012 :

a. Gempa Rencana

Gempa rencana dalam perancangan ditetapkan sebagai gempa yang kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

b. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Sesuai Tabel 1 SNI 172:2012, untuk berbagai resiko struktur bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu factor keutamaan *I_e* menurut Tabel 2 SNI 1726:2012.

Tabel 2. 3 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).

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

<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 bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan missal 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 - 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>III</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 monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi - kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<p>IV</p>
---	-----------

Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2012).

kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

c. Kombinasi Beban dan pengaruh beban Gempa

Peninjauan dan penghitungan beban pada perancangan gedung ini berdasarkan pada Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012 Pasal 4.2.2 dan Pasal 7.4.

$$1,4 D \quad (2.1)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2.2)$$

$$1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.3)$$

$$1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2.4)$$

$$1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (2.5)$$

$$0,9D + 1,0W \quad (2.6)$$

$$0,9D + 1,0E \quad (2.7)$$

d. Parameter Percepatan Gempa

Menghitung koefisien atau parameter percepatan gempa berdasarkan kelas situs terdahulu dan nilai dari peta gempa supaya bisa didapatkan respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER). Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi sesmik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran

terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (SMS) dan perioda 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$\text{SMS} = F_a \cdot S_S \quad (2.8)$$

$$\text{SM1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.9)$$

Dengan nilai F_a dan F_v ditentukan oleh Tabel 2.5 dan Tabel 2.6

Tabel 2. 5 Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2012).

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 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 ^b				

Tabel 2. 6 Koefisien situs, F_v (SNI 1726:2012).

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ 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	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Catatan :

1. Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
2. S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

e. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} harus ditentukan melalui persamaan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{Ms} \quad (2.10)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.11)$$

f. Kategori Desain Seismik (KDS)

Dari nilai S_{DS} , S_{D1} dan ketegori resiko gedung akan didapatkan dua kategori desain seismik. Nilai yang diambil adalah yang paling besar dari kedua KDS tersebut. Nilai tersebut didapatkan harus dari nilai dalam Tabel 2.7 dan Tabel 2.8:

Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Perioda Pendek, S_{DS} (SNI 1726:2012).

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

Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 detik, S_{D1} (SNI 1726:2012).

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

g. Sistem Struktur dan Parameter Struktur

Sistem struktur yang dipilih harus sesuai dengan batasan dan memperhatikan koefisien dalam jenis sistem struktur sesuai dengan SNI 1726:2012, Pasal 7.2.2.

h. Prosedur Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen

1. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismic (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut: (SNI 1726:2012, Pasal 7.8.1)

$$V = C_s \cdot W \quad (2.12)$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismic

W = Berat seismic efektif

2. Berat Seismik Efektif

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

Daerah yang digunakan untuk penyimpanan :

- Minimum sebesar 25% beban hidup lantai Jika ketentuan untuk partisi diisyaratkan dalam desain beban lantai, diambil yang terbesar diantara berat partisi actual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0.46 kN/m^2 .

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

Prosedur analisis dalam perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa harus sesuai dengan Tabel 2.9 .

Tabel 2. 9 Prosedur analisis (SNI 1726:2012).

Kategori desain seismik	Karakteristik Struktur	Analisi gaya lateral ekuivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur riwayat respons seismik Pasal 11
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat.	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat.	I	I	I
	Semua struktur lainnya.	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I

Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
Struktur beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan.	I	I	I
Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan mempunyai hanya ketidakberaturan horisontal Tipe 2, 3, 4 atau 5 dari Tabel 10 atau ketidakaturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11.	I	I	I
Semua struktur lainnya.	TI	I	I

3. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik, C_s harus ditentukan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan pada SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

Dimana :

- S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek
- R = Faktor modifikasi respons yang ditentukan oleh system penahan gempa yang dipilih

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan oleh kategori resiko

Nilai C_s yang dihitung \leq dari :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.14)$$

Dan $C_s \geq$ dari :

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e > 0,01 \quad (2.15)$$

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

$$C_s = \frac{0.5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.16)$$

Dimana :

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode 1,0 detik.

T = Periode fundamental struktur (detik).

S_1 = Parameter percepatan spektrum respons maksimum.

4. Penentuan Periode

Periode fundamental struktur harus ditentukan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.

$$T = T_a \times C_u \quad (2.17)$$

T_a = periode fundamental pendekatan

Pendekatan yang digunakan untuk struktur dengan SNI 1726:2012 adalah:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.18)$$

Dimana:

h_n = Ketinggian struktur

C_t = Nilai parameter perioda pendekatan

Nilai C_t dan x dapat dilihat pada tabel berikut yang diambil dari SNI 1726-2012.

Tabel 2. 10 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x (SNI 1726:2012)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jikadikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,7 5
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,7 5
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,7 5

5. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

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

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.19)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \quad (2.20)$$

Dimana :

C_{vx}	= faktor distribusi vertikal
V	= gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilo newton (kN)
w_i dan w_x	= bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x (kN)
h_i dan h_x	= tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dalam meter(m)
k	= eksponen yang terkait dengan perioda struktur berikut ini: struktur dengan perioda 0,5 atau kurang, $k=1$ struktur dengan perioda 2,5 atau lebih, $k=2$ struktur dengan perioda 0,5-2,5 $k=2$, atau interpolasi linear antara 1 dan 2.

Persyaratan untuk desain dan pelaksanaan konstruksi komponen struktur dimana gaya desain, terkait dengan pergerakan gempa, telah ditentukan dengan dasar disipasi energi dalam rentang respon nonlinier. (SNI 2847:2013 Pasal 21.1.1.1) Semua struktur harus ditetapkan sebagai kategori desain seismic (KDS) sesuai dengan SNI 1726:2012. (SNI 2847:2013 Pasal 21.1.1.2).

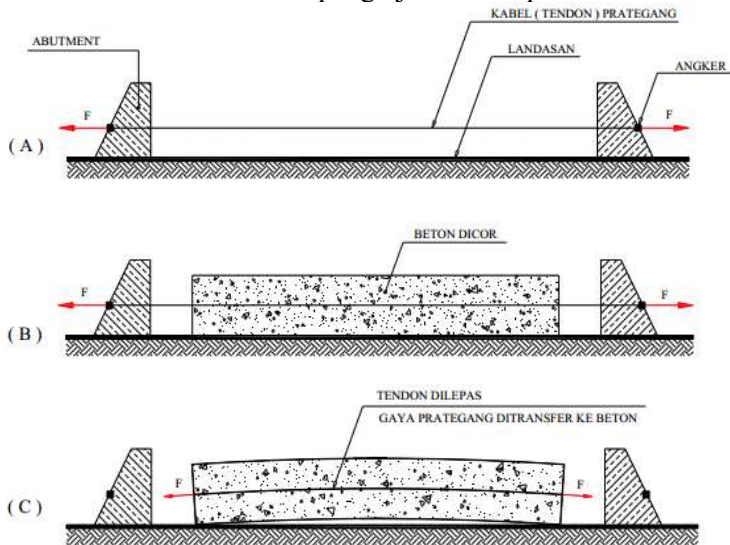
2.6 Beton Pratekan

Beton pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi yang sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal (Lin dan Burns,1988). Menurut SNI 2847:2013, tendon pada beton pratekan tidak boleh sama sekali memikul beban gempa, bahkan tidak dianjurkan digunakan pada zona gempa tinggi. Tetapi jika ada gempa maka beban tersebut dipikul oleh tulangan lunak.

Jenis Beton pratekan dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Beton Pratekan metode Pratarik (Pretension)

Beton pratekan metode pratarik adalah beton prategang yang dihasilkan dengan memberi tegangan awal pada tendon baja sebelum proses pengecoran. Berikut metode pengerjaan beton pratarik.



Gambar 2. 3 Proses Beton Metode Pratarik (Lin & Burns, 2000).

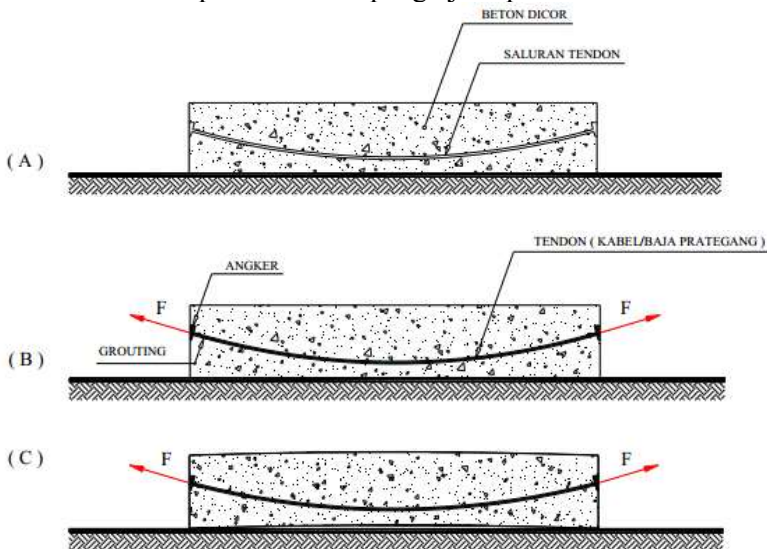
- Tahap 1: Tendon prategang ditarik atau diberi gaya prategang lalu diangker pada suatu abutment tetap (gambar 2.3 (A)).
- Tahap 2: Beton dicor pada cetakan (formwork) dan landasan yang telah disediakan kup tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering (gambar 2.3 (B)).
- Tahap 3: Setelah beton mengering dan umur yang cukup sehingga kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga

gaya prategang ditransfer ke beton (gambar 2.3 (C)).

Setelah gaya prategang ditransfer ke beton, balok beton akan melengkung keatas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tersebut akan rata.

2. Beton Pratekan metode Pascatarik (*Post tension*)

Merupakan beton pratekan yang dihasilkan dengan memberikan tegangan pada tendon baja setelah proses pengecoran beton (dimana beton telah mengeras mencapai sebagian kekuatannya). Berikut merupakan metode pengerjaan pasca Tarik.



Gambar 2. 4 Proses Beton Metode Pascatarik (Lin & Burns, 2000).

- Tahap 1: Dengan cetakan (*formwork*) yang telah disediakan dengan selongsong kabel prategang

(*tendon duct*) yang dipasang dengan bentuk sesuai bidang momen balok, beton dicor (Gambar 2.4 (A)).

- Tahap 2 : Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (*tendon duct*), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangker,

kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Dapat juga dengan menarik dikedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangker, kemudian saluran di *grouting* melalui lubang yang telah disediakan. (Gambar 2.4 (B)).

- Tahap 3 : Setelah diangker, balok beton menjadi tertekan, gaya prategang telah ditransfer kebeton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata kebalok yang arahnya ke atas, sehingga balok melengkung keatas (Gambar 2.4 (C)).

Alasan dipilih metode pasca tarik karena:

1. Pelaksanaannya yang lebih memungkinkan dalam pelaksanaan di struktur gedung,
2. Layout tendon dapat dibuat fleksibel (menyesuaikan dengan bentuk bidang momen), yang umumnya berbentuk parabola sehingga lebih efisien.

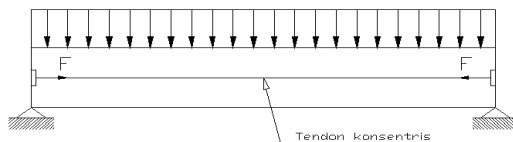
Pengecoran balok pratekan yang digunakan adalah *system cast in place* (pengecoran di tempat). Pengecoran di tempat dipilih daripada pracetak karena mempunyai

keunggulan diantaranya mudah dibentuk dan tidak mengalami kesulitan dalam hal penentuan sambungan. Akan tetapi, perlu diwaspadai karena pemberian gaya pratekan diberikan setelah beton mengeras. Ini memberikan dampak kepada kolom saat *jacking*. Dampak yang akan timbul akibat proses *jacking* terhadap struktur portal ialah sebagai berikut: Gaya perlawanan kolom menyebabkan gaya pratekan menjadi berkurang karena sebagian gaya pratekan yang diberikan digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.

1. Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok pratekan maka semakin besar gaya pratekan yang hilang untuk melawan kolom
2. Hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari *jacking* yang terjadi.

2.6.1 Sistem Pratekan untuk Mengubah Beton menjadi Bahan yang Elastis.

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton tidak mampu menahan tarikan dan kuat menahan tekanan, namun beton yang elastis dapat memikul tegangan tarik. (Lin dan Burns, 2000) (Gambar 2.5).



Gambar 2. 5 Konsep Beton Pratekan sebagai Bahan yang Elastis (Lin dan Burns, 2000).

Akibat gaya tekan yang diberikan, gaya F yang bekerja akan memberikan tegangan tekan secara merata diseluruh penampang beton sebesar F/A , dimana A adalah luas penampang. Akibat dari beban merata yang memberikan tegangan tarik di bawah garis netral dan tegangan tekan di atas garis netral, maka perumusan sebagai berikut :

$$F = \frac{M \times C}{I} \quad (2.21)$$

Dimana :

M = Momen lentur pada penampang yang ditinjau

C = Jarak garis netral ke serat terluar

penampang

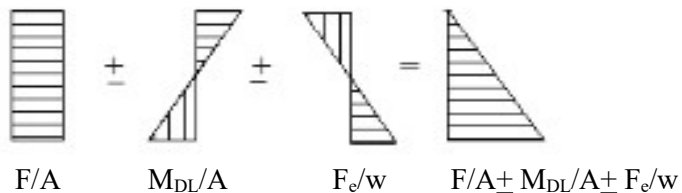
I = Momen Inersia penampang

Agar kemampuan beton prategang meningkat, dapat ditambahkan eksentrisitas tendon baja terhadap garis netral beton



Gambar 2. 6 Tendon dengan Eksentrisitas (Lin dan Burns, 2000).

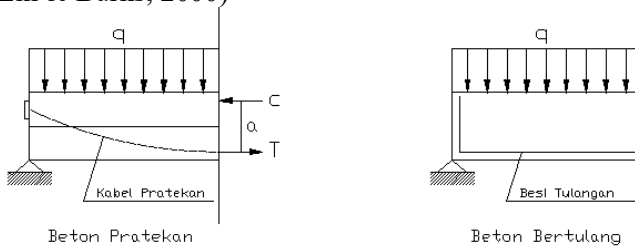
Karena adanya pergeseran eksentrisitas baja terhadap garis pusat, maka terjadi tegangan sebesar $F.e/W$ dimana e merupakan eksentrisitas tendon dan W adalah momen resisten (I/y) seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Diagram Tegangan Beton Prategang (Lin dan Burns, 2000).

2.6.2 Sistem Pratekan untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Konsep ini mempertimbangkan beton pratekan sebagai kombinasi dari baja dan beton, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal (T.Y.Lin & Burns, 2000)



Gambar 2. 8 Perbandingan Penulangan Prategang dan Beton Bertulang (Lin dan Burns, 2000).

Pada beton prategang, baja pategang ditarik dengan gaya prategang (T) yang akan membentuk momen kopel dengan gaya tekan pada beton (C) untuk melawan momen akibat beban luar. $M_{dalam} = C \times a$ (beton prategang).

Pada beton bertulang biasa, tulangan akan menahan gaya tarik (T) akibat beban luar, yang akan membentuk momen kopel dengan gaya tekan pada beton (C) untuk melawan momen akibat beban luar. Dengan nilai $C=T$ dan $M_{max} = M_{dalam}$, dimana nilai $M_{dalam} = C \times Z$ (beton bertulang).

2.6.3 Sistem Pratekan untuk mencapai kesetimbangan beban

Konsep ini bertujuan untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada sebuah batang. Pada desain beton pratekan, pengaruh pratekan dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi (Lin & Burns, 2000).

Balok beton yang terletak diatas dua perletakan yang diberi gaya prategang (P) dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata kearah atas dinyatakan sebagai berikut :

$$W_b = \frac{8 \times F \times h}{L^2} \quad (2.22)$$

Dimana :

- W_b = Beban merata kearah atas
- h = Tinggi parabola kabel lintasan pratekan
- L = Bentangan balok
- F = Gaya pratekan

2.6.4 Kehilangan Pratekan

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

2.6.5 Kehilangan Langsung (*Immediate Elastic Losses*)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

1. Kehilangan akibat perpendekan elastis
2. Kehilangan akibat pengangkutan (akibat slip di ankur)
3. Kehilangan akibat gesekan (*Woble* efek)
4. Kehilangan akibat kekangan kolom

2.6.6 Kehilangan Jangka Panjang (*Time dependent Losses*)

Kehilangan yang bergantung pada waktu disebut sebagai Kehilangan prategang secara tidak langsung, hal ini dikarenakan hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat *jacking*), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan akibat rangkai (*Creep*) pada beton
2. Kehilangan akibat susut beton
3. Kehilangan akibat relaksasi baja pratekan

2.6.7 Tahap Pembebanan

Pada beton prategang terdapat dua tahapan pembebanan. Pada setiap tahapan harus dilakukan pengecekan kondisi beton baik pada bagian yang tertekan maupun yang tertarik untuk setiap penampang. Tahapan yang terdapat dalam beton pratekan diantaranya :

2.6.8 Tahap Transfer

Pada metode pratarik, tahap transfer terjadi saat angker dilepas dan gaya prategang di transfer ke beton. Sedangkan untuk metode pascatarik, tahap transfer terjadi saat beton telah cukup umur dan dilakukan penarikan beton prategang. Pada saat ini beban layan belum bekerja.

2.6.9 Tahap Service

Tahap ini terjadi setelah beton prategang digunakan / berfungsi sebagai komponen struktur. Pada saat ini semua beban layan sudah bekerja, sehingga pada saat ini semua kehilangan prategang sudah harus diperhitungkan dalam analisa struktur.

2.6.10 Material Beton Prategang

1. Beton

Beton yang digunakan pada beton prategang pada umumnya merupakan beton mutu tinggi, workability tinggi, dapat mencapai kekuatan tertentu dalam waktu singkat dan kehilangan prategang (*loss of prestressed*) kecil. Tegangan ijin pada beton prategang dibagi menjadi dua, yaitu pertama tegangan ijin saat transfer dan tegangan ijin saat service (Lin dan Burns, 2000)

2. Tendon Baja

Dalam struktur beton prategang terdapat 2 jenis baja didalamnya yaitu baja bermutu tinggi yang mengalami gaya prategang sebagai tulangan aktif dan baja non pratekan sebagai

tulangan pasif yang terbuat dari *mild steels* dan *cold-worked steels*.
Macam-macam baja prategang yang digunakan adalah :

- *Wire* : Kawat baja pejal dalam gulungan
- *Bar* : Kawat baja pejal dalam lonjoran. Batang baja (*Bar*)
- *Strand* : Sekelompok kawat digabung dan dipintal pada arah longitudinal

2.6.11 Angkuran Beton Prategang

Kegagalan beton pratekan dapat diakibatkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah dibelakang angkur tendon. Kegagalan ini diperhitungkan saat transfer yang merupakan kondisi ekstrim, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkutan global di oleh SNI 2847:2013 pasal 18.13.2.2 dan 18.13.1.2.

Jenis-jenis angkur adalah sebagai berikut:

1. Angkur hidup : Angkur ini dapat ditarik lagi setelah penegangan tendon Pratekan. Pegangkutan ini sering dijumpai dalam pratekan dengan sistem paska tarik
2. Angkur mati : Angkur ini tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah penegangan tendon dilakukan. Angkur jenis ini sering digunakan dalam pratekan dengan system Pratarik.

2.6.12 Selongsong (*duct*) Sistem Pasca-Tarik

Syarat untuk selongsong (*duct*) pasca tarik terdapat pada SNI 2847:2013 pasal 18.17. Menurut Peraturan SNI 2847:2013 pasal 18.17.1 yaitu:

- a. Selongsong untuk tendon yang di-*grout* atau tanpa lekatan harus mortar, kedap air dan tidak reaktif dengan beton, tendon, baja prategang, *grout* atau bahan pengisinya dan sifatnya pencegah korosi;

- b. Selongsong (*ducts*) untuk tendon yang di-*grout* harus kedap mortar dan tidak reaktif dengan beton, baja prategang, *grout*, dan pencegah korosi;
- c. Selongsong (*ducts*) untuk tendon kawat tunggal, *strand* tunggal, atau batang tulangan tunggal yang di-*grouting* harus mempunyai diameter dalam paling sedikit 6 mm lebih besar dari diameter baja prategang. (SNI 2847:2013 pasal 18.17);
- d. Selongsong (*ducts*) untuk tendon kawat majemuk, *strand* majemuk, atau batang tulangan majemuk yang di-*grouting* harus mempunyai luas penampang dalam paling sedikit dua kali luas penampang baja prategang;
- e. Selongsong (*ducts*) harus dijaga bebas dari air genangan jika komponen struktur yang di-*grouting* terpapar terhadap suhu di bawah pembekuan sebelum di-*grouting*.

2.6.13 Grouting untuk Tendon

Dalam SNI 2847:2013, bahan pengisi selubung tendon berfungsi untuk merekatkan tendon ke beton setelah penarikan (untuk keadaan pascatarik) dan untuk mencegah baja berkarat. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 18.18.2, bahan untuk *grouting* biasanya terdiri dari semen *portland* dan air, sedangkan untuk selubung yang besar sering ditambah pasir. Pada saat pelaksanaan *grouting*, suhu komponen struktur harus di atas 2°C dan harus dijaga di atas 2°C hingga kubus *grouting* 50 mm yang dirawat di lapangan mencapai kekuatan tekan minimum sebesar 5,5 MPa (pasal 18.18.4.1) dan suhu *grouting* tidak boleh di atas 32°C selama pencampuran dan pemompaan (pasal 18.18.4.2).

2.6.14 Angkur dan Koplek Pasca-Tarik

Perencanaan angkur dan koplek diatur pada SNI 2847:2013 pasal 18.21. Angkur dan koplek untuk tendon harus mengembangkan paling sedikit 95 % dari fpu. Untuk tendon dengan lekatan harus dikembangkan pada penampang kritis

hingga 100% dari fpu setelah baja prategang dilekatkan (Pasal 18.21.1). Pada kontruksi tanpa lekatan yang dikenai beban berulang, perhatian harus diberikan pada kemungkinan kelelahan (*fatigue*) dalam angkur dan kopler (Pasal 18.21.3). Angkur, kopler dan penutup ujung harus dilindungi secara permanen terhadap korosi (Pasal 18.21.4).

2.7 Sistem Hubungan Balok Kolom

2.7.1 Sistem Sendi

Sebagai upaya mengeliminasi tahanan terhadap gerakan horizontal, maka dasar kolom dapat didesain dengan sendi, sehingga kekakuan lentur relative kolom tidak akan mempengaruhi efektifitas *post tension*. Desain sendi sementara (*temporary hinge*) Sendi bagian bawah kolom, akan secara praktis mengeliminasi tahanan terhadap gerakan dalam kolom. Kalau sebuah sendi tidak diinginkan, kelanjutan dapat dibangun kembali setelah rangkai telah terjadi. Penambahan bahan *grouting* ke dalam dasar kolom akan merubah sifatnya menjadi jepit.

2.7.2 Sistem Konsol Pendek

Tumpuan pada balok prategang dengan sistem konsol pendek atau *bracket corbel*, sehingga kolom tidak merupakan hubungan yang kaku. Sistem ini digunakan untuk menghindari adanya pengurangan gaya prateka akibat kekangan kolom. Konsol pendek merupakan *simple supported beam*, gaya-gaya yang timbul dari balok prategang akan disalurkan ke kolom dengan perantara konsol pendek.

2.8 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan komponen struktur bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah yang diterima dari kolom. Struktur pondasi sangat penting meningat sebagai struktur terbawah dalam menahan beban struktur di atasnya. Terdapat dua macam pondasi yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Dikatakan pondasi dangkal apabila

perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dengan diameternya (B) kurang dari 4 atau lima ($D/B < 4$ atau 5) atau 5. Sedangkan pondasi dalam memiliki perbandingan kedalaman pondasi dengan diameternya lebih besar sama dengan 10 ($D/B = 10$) (Wahyudi, 1999).

Hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan pondasi diantaranya adalah jenis tanah, kondisi tanah dan struktur tanah. Hal tersebut sangat berkaitan dengan daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi di atasnya.

Pada perencanaan pondasi gedung At-Tauhid Tower Universitas Muhammadiyah Surabaya menggunakan pondasi tiang pancang yang termasuk jenis pondasi dalam.

2.8.1 Daya Dukung Satu Tiang Pancang

Pondasi yang direncanakan menggunakan tiang pancang dengan perhitungan daya dukung pondasi berdasarkan hasil dari Standard Penetration Test (SPT)

a. Persamaan Luciano Decourt

Luciano Decourt (1996) menyajikan metode sebagai berikut:

$$Q_L = Q_P + Q_s \quad (2.23)$$

Dimana :

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_P = *Resistance ultimate* di dasar pondasi

Q_s = *Resistance ultimate* akibat tekanan lateral

$$Q_p = q_p \cdot A_p = \alpha \cdot \tilde{N}_p \cdot K \cdot A_p \quad (2.24)$$

Dimana:

N_p = harga rata-rata SPT di sekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi (B=diameter pondasi)

K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi

12 t/m² = 117,7 kPa, untuk lempung (clay)

20 t/m² = 196 kPa, untuk lempung berlanau (silty clay)

25 t/m² = 245 kPa, untuk pasir berlanau (silty sand)

40 t/m² = 392 kPa, untuk pasir (sand)

A_p = Luas penampang dasar tiang

q_p = Tegangan di ujung tiang

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s \quad (2.25)$$

Dimana:

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m²

N_s = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan: 3 ≤ N ≤ 50, khususnya untuk aspek friction.

A_s = keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

2.8.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk kasus daya dukung tiang pancang grup, harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi C_e.

$$Q_L (\text{group}) = Q_L (1 \text{ tiang}) \times n \times C_e \quad (2.26)$$

2.8.3 Perencanaan Pile Cap Grup Tiang Pancang

Dalam perancangan *pile cap* pada tugas akhir ini penulis meninjau gaya geser *pons* dan penulangan momen lentur.

1. Kontrol Tebal Minimum *Pile Cap*
2. Kontrol Geser *Pons*
3. Penulangan *Pile Cap*

2.8.4 Perencanaan Sloof Pondasi (*Tie Beam*)

Struktur sloof digunakan agar penurunan pada pondasi terjadi secara bersamaan. Dalam hal ini sloof berfungsi sebagai pengaku yang menghubungkan pondasi satu

dengan pondasi yang lain. Adapun beban yang ditimpakan ke sloof terdiri dari berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan/tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

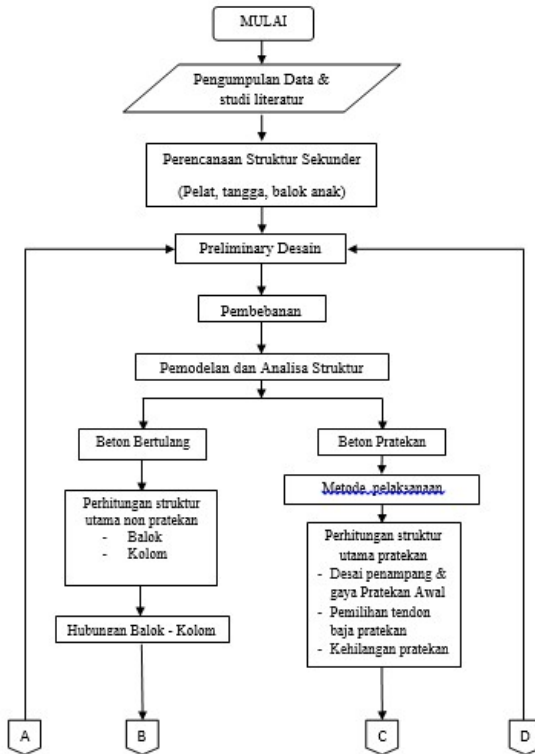
BAB III METODOLOGI

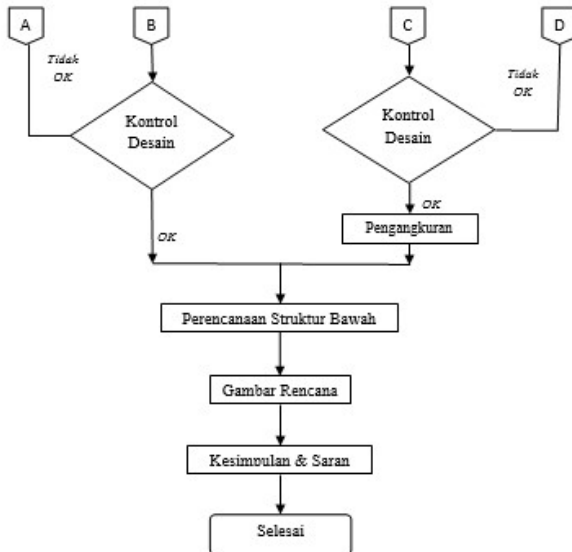
3.1 Umum

Sebelum mengerjakan Tugas Akhir, maka perlu disusun langkah – langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan data, sampai tujuan akhir dari analisa.

3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Lingkup pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini akan diterangkan sesuai bagan alir pada **Gambar 3.1** di bawah ini:





Gambar 3. 1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir.

3.3 Pengumpulan Data

Data bangunan yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir yaitu:

Tipe Bangunan : Gedung AT-TAUHID TOWER
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA

Lokasi : Jl Sutorejo No 59 Surabaya

Ketinggian Lantai : 4,0 m

Mutu Beton (f_c) : 40 Mpa

Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa

3.4 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan menggunakan beberapa peraturan mengenai perancangan beton pratekan dan struktur gedung secara umum yang akan sangat membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Desain modifikasi struktur ini ditinjau dengan menggunakan analisa

respon dinamik dan menggunakan panduan peraturan perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung SNI 2847:2013, perencanaan ketahanan gempa SNI 1726:2012 dan peraturan pembebanan PPIUG 1983.

3.5 Perencanaan Struktur Sekunder

Perencanaan struktur sekunder dipisah dari struktur utama karena struktur sekunder hanya meneruskan beban yang ada ke struktur utama. Perencanaan struktur sekunder antara lain meliputi:

3.5.1 Perencanaan Pelat.

1. Perencanaan Dimensi Pelat

Untuk memenuhi syarat lendutan, ketebalan minimum dari pelat harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3.

a. Menentukan tebal minimum pelat

$$\alpha_{fm} = \frac{(E \text{ balok} \times I \text{ balok})}{(E \text{ pelat} \times I \text{ pelat})} \quad (3.1)$$

$$I \text{ balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3 \quad (3.2)$$

$$I \text{ pelat} = \frac{hf^3}{12} \times Ly \quad (3.3)$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)} \quad (3.4)$$

Jika: $\alpha_{fm} \leq 0.2$, maka nilai h menggunakan Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior (SNI 2847:2013).

Teg leleh, f_y MPa	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/33$	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$
<p>Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain. Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.</p> <p>*panel drop didefinisikan dalam SNI 2847-2013 pasal 13.2.5</p> <p>*pelat dengan balok diantara kolom kolomnya disepanjang tepi eksterior. Nilai untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0.8</p>						

- $0.2 \leq \alpha_{fm} \leq 2$, maka nilai h

$$h = \frac{\ln \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0.2)} \text{ dan } \geq 125\text{mm} \quad (3.5)$$

- $\alpha_{fm} \geq 2$, maka nilai h

$$h = \frac{\ln \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \text{ dan } \geq 90\text{mm} \quad (3.6)$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} < 2 (\text{pelat 2 arah}) \quad (3.7)$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} > 2 (\text{pelat 1 arah}) \quad (3.8)$$

dimana :

ln = Panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi 2 arah

β = Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek pelat

α_{fm} = Nilai rata-rata untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel

b. Menentukan Lebar Efektif

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 8.12.2 dan Pasal 8.12.3 disebutkan bahwa kriteria menentukan lebar efektif (be) dari balok

- Interior tidak boleh melebihi :

$$Be_1 = \frac{1}{4} \times L \quad (3.9)$$

$$be_2 = bw + 8t \quad (3.10)$$

$$be_3 = bw + \frac{1}{2}S \quad (3.11)$$

- Eksterior tidak boleh melebihi :

$$be_1 = \frac{1}{12} \times L \quad (3.12)$$

$$Be_2 = bw + 6t \quad (3.13)$$

$$Be_3 = bw + \frac{1}{2}S \quad (3.14)$$

2. Penulangan Pelat Lantai

3.5.2 Perencanaan Dimensi Tangga

Persyaratan dalam perencanaan dimensi tangga adalah sebagai berikut :

$$60 \leq (2t + i) \leq 65 \quad (3.15)$$

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ \quad (3.16)$$

dimana:

t = tinggi tanjakan

i = lebar injakan

3.5.3 Perencanaan Balok Anak

Perencanaan dimensi balok anak

Perencanaan balok anak mengikuti peraturan SNI

2847:2013 pasal 9.5.2.2

- a. Perencanaan Tinggi Balok Anak

$$h = \frac{L}{21} \times \left(0.4 + \frac{fy}{700} \right) \quad (3.17)$$

- b. Perencanaan Lebar Balok Anak

$$b = \frac{2}{3} \times h \quad (3.18)$$

3.6 Preliminary Desain

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

3.6.1 Preliminary desain struktur beton bertulang

1. Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan balok mengikuti peraturan SNI

2847:2013 pasal 9.5.2.2

- a. Perencanaan Tinggi Balok

$$h = \frac{L}{16} \times \left(0.4 + \frac{fy}{700} \right) \quad (3.19)$$

Perkalian dengan $\left(0.4 + \frac{fy}{700} \right)$, jika fy tidak 420

MPa

- b. Perencanaan Lebar Balok

$$b = \frac{2}{3} \times h \quad (3.20)$$

- c. Penulangan Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur balok adalah sebagai berikut:

- Menentukan data-data tinggi efektif balok (d) dan Mu
- Menentukan harga β_1 (SNI 2847:2013 pasal (10.2.7.3))

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'c - 28)}{7} \quad (3.21)$$

- Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut:

Menurut SNI 2847:2013

$$\rho b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.22)$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal (21.5.2.1)

$$\rho \max \leq 0.025 \quad (3.23)$$

Menurut SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3)

$$\rho \max \leq 0.75 < b \quad (3.24)$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal (10.5.1)

$$\rho \min = \frac{0.25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times bw \times d \quad (3.25)$$

dan \geq dari

$$\rho \min = \frac{1,4}{f_y} \times bw \times d \quad (3.26)$$

Dari kedua harga $\rho \min$ tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

- a. Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} \quad (3.27)$$

- b. Menentukan R_n (SNI 2847:2013 pasal (9.3.2.7))

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} \quad (3.28)$$

Diketahui harga $\phi = 0.75$

- c. Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan:

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - f_y \frac{2 \times m \times Rn}{f'_c}} \right) \quad (3.29)$$

dimana : $\rho_{\min} < \rho \text{ pakai} < \rho_{\max}$

- d. Menentukan luas tulangan (AS) dari ρ yang didapat

$$\rho = \frac{As}{b \times d} \quad (3.30)$$

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

- e. Menentukan jumlah dan jarak tulangan

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{As_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi} \quad (3.31)$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{b - n \times \phi L - 2d' - 2\phi S}{n - 1} \quad (3.32)$$

dimana:

b = lebar pelat per satuan meter

d = tinggi pelat

ρ = rasio tulangan

As = luas tulangan perlu

f_y = mutu baja (MPa)

f'_c = mutu beton (MPa)

2. Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan Kolom awalnya harus menentukan beban yang akan membebani kolom tersebut, kemudian dikalikan dengan factor beban, lalu dapat dicari luasan dari kolom tersebut.

$$A = \frac{W}{\frac{1}{3} \times f'c} \quad (3.33)$$

Dimana :

A = Luas kolom rencana

W = Beban total terfaktor

f'c = Mutu beton (MPa)

3.6.2 Preliminary desain balok (struktur pratekan)

Menentukan dimensi awal balok pratekan yang akan digunakan sesuai dengan SNI 2847-2013. Penampang awal beton prategang didesain berdasarkan ketentuan-ketentuan sesuai SNI 2847:2013 pasal 18. Selain itu juga dapat didesain dengan asumsi yang sesuai dengan ketentuan tinggi dimensi balok.

$$\text{Tinggi balok pratekan } h_{\min} = \frac{L}{20} \quad (3.34)$$

$$\text{Lebar balok pratekan } b = \frac{2h}{3} \quad (3.35)$$

3.7 Pembebanan

Penggunaan beban yang ada mengikuti peraturan yang ada di SNI 1727:2013 dan kombinasi pembebanan menggunakan SNI 1727:2013 Pasal 2.3.2 antara lain:

1. Beban Mati (SNI 1727:2013) pasal 3.
2. Beban Hidup (SNI 1727:2013) pasal 4.
3. Beban Gempa (SNI 1726:2012).

3.7.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur, dinding, pelat, serta berat peralatan layan (SNI 1727:2013 Pasal 3.1.1).

3.7.2 Beban Hidup

Beban hidup untuk lantai ruang pertemuan adalah sebesar 4,79 kN/m², lantai apartemen sebesar 1,92kN/m², dan untuk beban atap sebesar 0,96 kN/m².

3.7.3 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 1726:2012, dimana gempa yang digunakan merupakan gempa dinamik, karena bangunan mempunyai ketidakberaturan horizontal. Pada tugas akhir ini digunakan analisis gempa dengan menggunakan respon spectrum.

$$V = C_s \cdot W \quad (3.36)$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismic

W = Berat seismic efektif

3.7.4 Kombinasi

Beban-beban yang dibebankan kepada struktur tersebut dibebankan kepada komponen struktur menggunakan kombinasi beban berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.2.1 sehingga struktur memenuhi syarat keamanan, antara lain

$$1,4 D \quad (3.37)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (3.38)$$

$$1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (3.39)$$

$$1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (3.40)$$

$$1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (3.41)$$

$$0,9D + 1,0W \quad (3.42)$$

$$0,9D + 1,0E \quad (3.43)$$

3.8 Analisa Struktur

Analisa struktur utama menggunakan SAP 2000 untuk mendapatkan reaksi-reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada struktur rangka utama. Pada analisa ini digunakan pembebanan gempa dinamik, sehingga menggunakan analisa respons dinamik sesuai ketentuan SNI 1726:2012.

3.8.1 Kontrol Permodelan Struktur

Kontrol permodelan struktur dilakukan setelah memperoleh analisa dari program bantu SAP 2000, hal ini dilakukan agar mengetahui desain yang dilakukan telah memenuhi syarat keamanan dan sesuai dengan standar yang terdapat pada peraturan. Kontrol permodelan struktur yang dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan pengecekan antara perhitungan manual dan perhitungan dengan menggunakan program bantu SAP 2000, selisih keakuratan antara kedua metode $\pm 5\%$
2. Menghitung partisipasi massa, dengan syarat partisipasi massa $\geq 90\%$
3. Menghitung lama waktu getar (T)
4. Menghitung Base Shear Statik, harus memenuhi ketentuan yang ada $\pm 85\%$
5. Menghitung simpangan yang terjadi.

3.9 Perencanaan Struktur

Perencanaan struktur yang digunakan merupakan konsep desain yang hendak digunakan pada perhitungan perencanaan gedung.

3.9.1 Desain Struktur Utama Non Pratekan

Setelah memperoleh analisa gaya dalam menggunakan SAP 2000 dilakukan kontrol desain serta penulangan struktur utama sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 2847:2013. Kontrol desain dilakukan

untuk analisa struktur bangunan, sehingga memenuhi syarat keamanan dan sesuai dengan standar yang terdapat pada pertauran. Kontrol desain yang dilakukan berupa pengecekan terhadap kontrol geser, kontrol lentur, momen nominal, beban layan (*servisibility*) dan beban ultimate. Apabila desain memenuhi, maka dilanjutkan ke output gambar. Jika tidak memenuhi, maka harus mendesain ulang dimensi struktur bangunan.

3.9.2 Analisa Struktur Utama Pratekan

Dalam perencanaan beton pratekan pada Tugas Akhir ini, langkah-langkah perencanaan yang digunakan ialah sebagai berikut :

3.9.2.1 Gaya Pratekan

Penentuan gaya prategang awal berpengaruh pada momen total, gaya tersebut kemudian akan disalurkan ke penampang. Gaya prategang mempengaruhi tendon dan baja sesuai dengan eksentrisitas yang digunakan (Lin & Burns, 2000)

3.9.2.2 Pemilihan Tendon Baja Pratekan

Pemilihan tendon baja pratekan sangat dipengaruhi oleh gaya pratekan yang ada. Pemilihan tendon harus disesuaikan dengan tegangan ijin yang berlaku pada SNI 2847:2013 Pasal 18.5.1.

Setelah memilih tendon baja pratekan, maka dilanjutkan dengan menentukan tata letak kabel sesuai dengan batas yang telah ditetapkan pada peraturan SNI 2847:2013. Tata letak kabel sangat ditentukan oleh jenis kabel yang digunakan, agar tidak melebihi batas yang telah ditetapkan.

3.9.2.3 Kehilangan Pratekan

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat stressing.

Kehilangan pratekan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu :

1. Kehilangan segera (Kehilangan langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada pada komponen balok pratekan

2. 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 pratekan)

3.9.2.4 Kontrol Momen Nominal

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada saat penampang mencapai kuat nominal (f_{ps}) yang menghasilkan nilai momen nominal. Nilai f_{ps} pada balok dihitung dengan rumus pada SNI 2847:2013 Pasal 18.7. Momen nominal merupakan momen batas yang dimiliki oleh penampang beton yang fungsinya menahan momen ultimate dan momen retak yang terjadi.

3.9.2.5 Kontrol Kuat Batas Beton Prategang

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

$$1.2M_{cr} \leq M_u \leq \phi M_n \quad (3.43)$$

dimana :

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

M_u = momen *ultimate* balok prategang

M_n = Kapasitas penampang

Φ = Faktor reduksi

3.9.2.6 Kontrol Momen Retak

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retakanreatakankecil 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).

3.9.2.7 Kontrol Lentur

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

3.9.2.8 Kontrol Geser

Kontrol geser dan perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.3.1, dimana dapat digunakan dua perumusan yaitu perumusan secara umum dan perumusan secara rinci. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

3.9.2.9 Kontrol Lendutan

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 beba eksternal mempengaruhi.

3.9.2.10 Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel adalah daerah batas dimana tendon dapat diletakkan. Tegangan tarik pada serat beton terjauh akibat beban layan tidak boleh melebihi nilai maksimum yang diijinkan persyaratan 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.

3.9.2.11 Pengangkuran

Kegagalan pada balok pratekan pasca tarik bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat

besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuran global disyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 18.13.2.2 Bila diperlukan, pada daerah pengangkuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya pencah, belah dan pecah yang timbul akibat pengangkuran tendon sesuai SNI 2847:2013 Pasal 18.13.1.2.

Daerah pengangkuran dianggap tersusun dari dua buah daerah, yaitu:

- a. Daerah local : Prisma persegi (atau prisma persegi ekivalen untuk angkur oval) dari beton yang langsung mengelilingi alat angkur dan sebagian tulangan pengekang,
- b. Daerah umum : Daerah tempat pengangkuran dimana gaya prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarakan secara merata pada seluruh penampang.

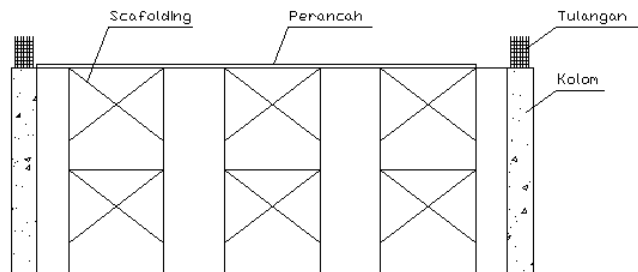
3.10 Sistem Hubungan Balok Kolom

Sistem yang digunakan untuk balok pratekan dengan kolom yaitu sistem monolit struktur monolit merupakan salah satu dari tiga penentu komponen struktur puntir (SNI 2847:2013 Pasal 13.7.5.1). Struktur monolit diasumsikan mampu menahan geser vertikal, akan tetapi desain harus dengan bentuk penampang yang sama (SNI 2847:2013 Pasal 17.4.2).

3.11 Metode Pelaksanaan

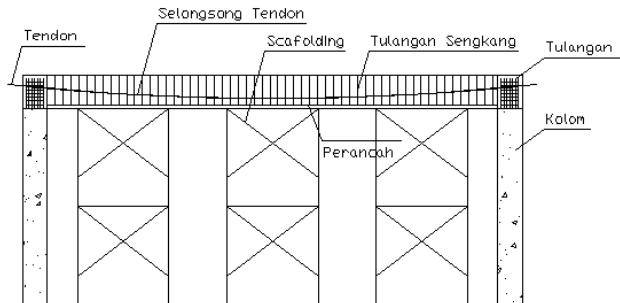
Metode balok beton pratekan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah metode pasca tarik (*post tensioned*). Dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Balok beton pratekan dibuat secara *case in place* atau pengecoran ditempat.. Metode pelaksanaan yang digunakan untuk beton pasca tarik (*post tensioned*) adalah sebagai berikut:

1. Dimulai dengan mempersiapkan tulangan kolom lantai atap
2. Setelah tulangan siap dilanjutkan dengan pengecoran kolom
3. Setelah beton di cor dan cukup umur (7 hari) dilanjutkan dengan pemasangan scaffolding dan balok-balok suri sebagai penumpu bekisting balok pratekan.



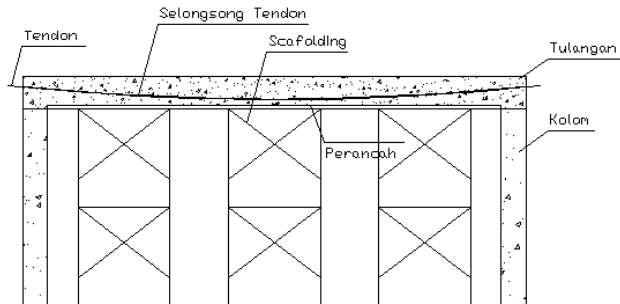
Gambar 3. 2 Pemasangan bekisting dan scaffolding

4. Kemudian pasang penulangan lunak balok prategang berupa tulangan longitudinal dan transversal serta torsi.
5. Setelah semua tulangan terpasang dilanjutkan dengan pemasangan beton decking dan pipa selongsong tendon. Setelah itu masukan strand tendon prategang pada selongsong tendon serta pemasangan angkur mati sesuai koordiat yang telah diberikan.



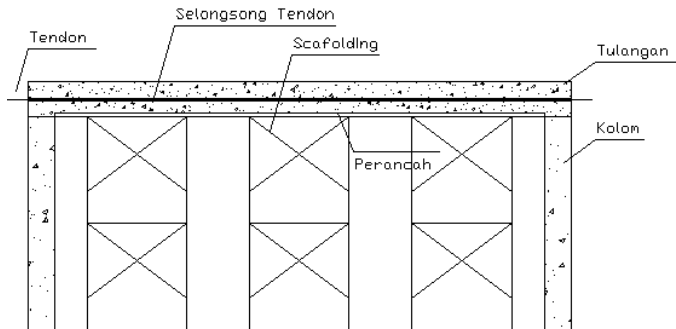
Gambar 3. 3 Pemasangan Tulanagn, Tendon dan selongsong balok pratekan

6. Lalu dilanjutkan dengan pengecoran balok prategang dengan mutu beton sesuai perencanaan, dan curing dilakukan pada 7 hari.



Gambar 3. 4 Pengecoran Balok Pratekan

7. Setelah beton berumur 14 hari, dillanjutkan dengan pemberian gaya prategang pada balok prategang dimana angkur hidup diletakkan dimuka joint.



Gambar 3. 5 Pemberian Gaya Pratekan

8. Setelah diberikan gaya pratekan celah pada decking tendon pratekan di grouting sesuai kebutuhan.
9. Lalu dilanjutkan pengecoran struktur lainnya seperti pelat dan struktur lainnya.
10. Setelah 24 jam terhitung setelah jacking atau pemberian pratekan maka dilakukan perubahan perilaku yang sebelumnya kolom berperilaku sebagai sendi diubah menjadi jepit (monolit) dengan melakukan grouting pada kolom sendi.

3.12 Perencanaan Pondasi

Setelah menghitung beban struktur atas secara keseluruhan, maka kita harus meneruskan beban tersebut ke struktur bawah (pondasi). Langkah-langkah yang dikerjakan dalam perencanaan struktur bawah adalah :

1. Menghitung beban total dari struktur atas
2. Mencari daya dukung tanah
3. Menentukan jenis pondasi yang akan digunakan (dalam Tugas Akhir ini digunakan pondasi grup tiang pancang)

4. Menentukan efisiensi dari pondasi grup tiang pancang serta jumlah tiang pondasi.
5. Merencanakan pile cap

3.13 Gambar

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

3.14 Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan dari hasil Tugas Akhir ini, serta memberikan saran mengenai Tugas Akhir ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi (*Preliminary Design*)

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

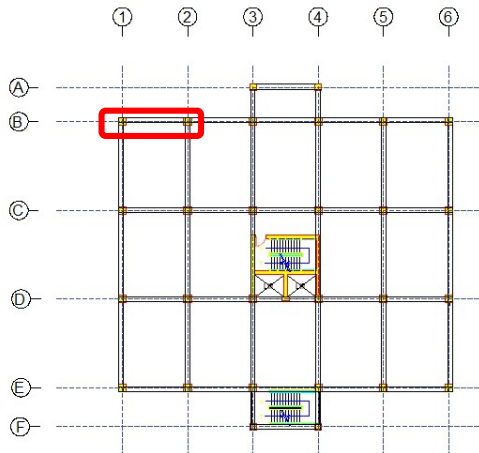
4.1.1a Balok Induk

Dasar Perencanaan (SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a)

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/12$.
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times (f_y/700)$.

1. Balok As 2

- Jenis Balok : Balok Induk
- Bentang Balok : 600 cm
- Kuat leleh Tulangan Lentur : 400 Mpa



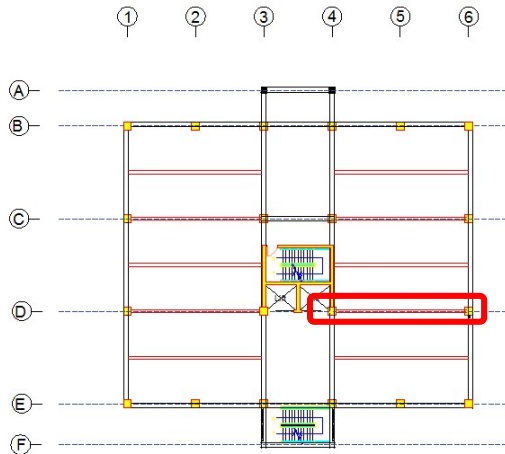
Gambar 4. 1 Denah Balok Induk yang ditinjau

- Dimensi rencana

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{1}{12} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \\
 &= \frac{1}{12} \times 600 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \\
 &= 48,571 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm} \\
 b &= \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 60 \text{ cm} = 40 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm} \\
 &\text{maka BI dipakai } 40/70
 \end{aligned}$$

2. Balok As D

- Jenis Balok : Balok Pratekan
- Bentang Balok : 1200 cm
- Kuat leleh Tulangan Lentur : 400 Mpa



Gambar 4. 2 Denah Balok pratekan yang ditinjau

- Dimensi rencana

$$\begin{aligned}
 h \text{ min} &= \frac{l}{20} \\
 h \text{ min} &= \frac{1200}{20}
 \end{aligned}$$

$h_{\min} = 60 \text{ cm}$, $h_{\text{direncanakan}} = 80 \text{ cm}$
 $b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 70 \text{ cm} = 46,7 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$
 maka BP dipakai 50/80

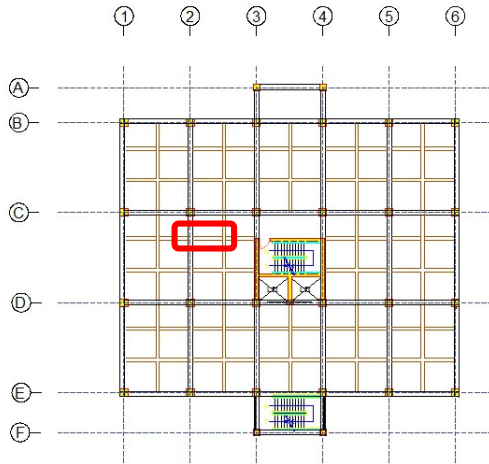
4.1.1b Balok Anak

Dasar Perencanaan (SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a)

- Komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $L/21$.
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) selain 420 Mpa, hasil nilai perencanaan tebal minimum (h) harus dikalikan dengan $0,4 \times (f_y/700)$.

1. Balok As 2'

- Jenis Balok : Balok Anak
- Bentang Balok : 400 cm
- Kuat leleh Tulangan Lentur : 400 Mpa



Gambar 4. 3 Denah Balok Anak yang ditinjau

- Dimensi rencana

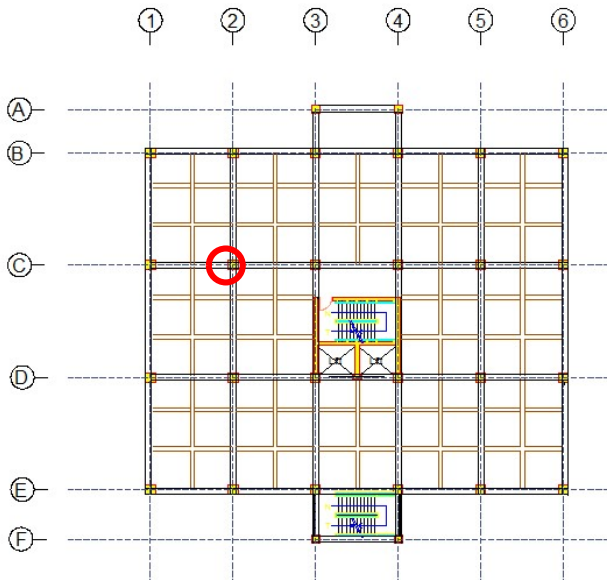
$$h = \frac{1}{21} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{21} \times 800 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) \\
 &= 38,25 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm} \\
 b &= \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 40 \text{ cm} = 25,50 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \\
 &\text{maka BA dipakai } 30/40
 \end{aligned}$$

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam menentukan dimensi kolom direncanakan berdasarkan ketentuan dasar bangunan metode SRPMK yaitu kolom kuat balok lemah. Dimensi kolom dihitung dengan memperhitungkan gaya aksial dengan syarat $P \leq A_g \cdot f_c / 3$

As kolom: 2 : C



Gambar 4. 4 Denah Kolom Tipe 1 yang ditinjau

Beban aksial kolom

a. Beban mati (dead load)

Beban Mati Lantai 1-13

Komponen	Dimensi			Berat	Jml	Total
Plat	4	6	0,12	2400	13	183081,6 kg
Plafond	4	6		11	13	6992,7 kg
Penggantung	4	6		7	13	4449,9 kg
BI Melintang	6	0,7	0,4	2400	13	52416,0 kg
BI Memanjang	4	0,7	0,4	2400	13	71198,4 kg
Dinding as 2	4	3,75		250	13	99328,1 kg
Dinding as C	6	3,75		250	13	73125,0 kg
Balok Anak	22,3	0,4	0,3	2400	13	83491,2 kg
Spesi (2 cm)	4	6	0,02	2100	13	26699,4 kg
Tegel	4	6		24	13	15256,8 kg
Plumbing	4	6		40	13	25428,0 kg
Berat Total (DL)						641.467,125 kg

Beban Mati Lantai Atap

Komponen	Dimensi			Berat	Jml	Total
Plat	4	6	0,10	2400	1	11736 kg
Plafond	4	6		11	1	537,9 kg
Penggantung	4	6		7	1	342,3 kg
BI Melintang	6	0,7	0,4	2400	1	4032 kg
BI Memanjang	4	0,7	0,4	2400	1	5476,8 kg
Balok Anak (Bal)	22,3	0,4	0,3	2400	1	6422,4 kg
Spesi (1 cm)	4	6	0,01	2100	1	1026,9 kg
Aspal	4	6	0,01	1400	1	684,6 kg
Berat Total (DL)						30.258,900 kg

Berat total (DL)= Beban lantai 1-12 + Beban lantai atap

$$= 641467,125 \text{ kg} + 30258,900 \text{ kg}$$

$$= 671726,03 \text{ kg}$$

b. Beban hidup (*life load*)

Komponen	Dimensi		Berat	Jml	Total
Atap	4	6	100	1	4890 kg
Lantai	4	6	250	13	158925 kg
Berat Total (LL)				163800	Kg

Koefisien reduksi untuk beban hidup = 0,4

Berat total (LL) = 0,4 x 163800 kg

$$= 65526 \text{ kg}$$

Dimensi kolom K1

Beban yang diterima

$$Q_d = 671726,03 \text{ kg}$$

$$Q_i = 65526 \text{ kg}$$

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

$$= 1,2(671726,03) + 1,6(65526)$$

$$= 910912,83 \text{ kg}$$

$$= 9109128,3 \text{ N}$$

$$A_g = \frac{P_u \times 3}{f'_c} = \left(\frac{9109128,3}{40} \right) = 6831,846 \text{ mm}^2$$

$$b = d = \sqrt{A_g} = \sqrt{68318,64} = 826 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$$

maka kolom K1 dipakai 80/80

4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat

Dimensi pelat lantai

Data perencanaan

(Ly) : 300 cm

(Lx) : 400 cm

(Fc')

: 40 Mpa

(fy) : 400 Mpa

BI (As C-1/2) : 40 x 70 cm

BA (As C'-1/2) : 30 x 40 cm

BI (As 1-C/C') : 40 x 70 cm

BI (As 2-C/C') : 40 x 70 cm

Dimensi tebal pelat rencana → 12 cm

Cek Persyaratan Dimensi Tebal Pelat Lantai

➤ Menghitung nilai β

Bentang bersih sumbu panjang (l_n) :

$$\begin{aligned} l_n &= L_y - \frac{b \text{ BI As C}}{2} - \frac{b \text{ BI As C}}{2} \\ &= 300 \text{ cm} - \frac{40 \text{ cm}}{2} - \frac{40 \text{ cm}}{2} \\ &= 260 \text{ cm} \end{aligned}$$

Bentang bersih sumbu pendek (l_n) :

$$\begin{aligned} l_n &= L_x - \frac{b \text{ BI As 3}}{2} - \frac{b \text{ BI As 3}}{2} \\ &= 400 \text{ cm} - \frac{40 \text{ cm}}{2} - \frac{40 \text{ cm}}{2} \\ &= 360 \text{ cm} \end{aligned}$$

❖ Maka nilai β adalah :

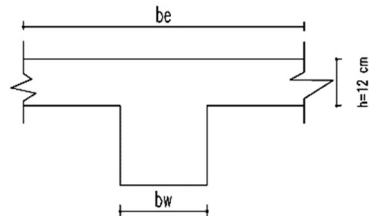
$$\beta = \frac{l_n}{l_n} = \frac{360 \text{ cm}}{260 \text{ cm}} \rightarrow 1,50 \text{ Pelat 2 arah}$$

➤ Menghitung nilai ratio kekakuan balok terhadap pelat :

Untuk balok BI (As C-1/2) 40cm x 70cm

- Menentukan lebar efektif flens (Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.12.3)

$$\begin{aligned} be_1 &= \frac{1}{4} l \\ &= \frac{1}{4} \times 560 \\ &= 140 \text{ cm} \\ be_2 &= b_w + 8t \\ &= 40 \text{ cm} + (8 \times 12 \text{ cm}) \\ &= 136 \text{ cm} \\ be_3 &= b_w + \frac{1}{2} S \\ &= 40 \text{ cm} + (\frac{1}{2} \times 372,5 \text{ cm}) \\ &= 226,3 \text{ cm} \end{aligned}$$



(dipilih nilai be yang terkecil yaitu 136 cm)

- Menentukan faktor modifikasi

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{136}{40}\right) \times \left(\frac{12}{70}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + \left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$K = 1,612$$

- Memon inersial penampang T

$$I_b = K \left(\frac{b_w \cdot h^3}{12} \right)$$

$$= 1,612 \left(\frac{40 \cdot 70^3}{12} \right) \rightarrow 1843576,767 \text{ cm}^4$$

- Momen inersial lajur pelat

$$I_p = \frac{l_y \times t^3}{12}$$

$$= \frac{560 \times 12^3}{12} \rightarrow 80640 \text{ cm}^4$$

- ❖ Maka nilai kekakuan balok terhadap pelat adalah :

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

$$= \frac{1843576,767 \text{ cm}^4}{80640 \text{ cm}^4} \rightarrow 22,86$$

Untuk balok BA (As C'-1/2), BA (As 1-C/C') dan BI (As 2-C/C')

- Rata-rata ratio kekakuan pelat dari 4 balok :

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

$$= \frac{22,86 + 29,60 + 29,60 + 3,58}{4}$$

$$= 21,41$$

Menurut SNI 2847-2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung pasal 9.5.3.3 berbunyi bahwa untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum h harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

Jika nilai rata-rata ratio kekakuan pelat (αm) lebih besar dari 2,0 maka ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang $h =$

$\frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$ dan tidak boleh kurang dari 90 cm.

$$h \text{ min} = \frac{5600 \text{ mm} \left(0,8 + \frac{410 \text{ Mpa}}{1400}\right)}{36 + (9 \times 1,503)}$$

$$= 119,92 \text{ mm} \approx \text{dipakai } 120 \text{ cm}$$

4.1.4 Perencanaan Dimensi Tangga

Dalam perencanaan dimensi tangga terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan dan perhitungan perencanaan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :

a. Data-data perencanaan :

- Tangga Tipe : 1
- Kuat tekan beton (f_c') : 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan (f_y) : 400 Mpa
- Tebal Pelat : 15 cm
- Diameter tulangan lentur : 13 mm
- Tebal selimut beton : 40 cm
- Lebar injakan (i) : 30 cm
- Tinggi injakan (t) : 20 cm
- Tinggi tangga : 400 cm
- Tinggi bordes : 200 cm
- Panjang datar tangga : 300 cm

b. Perhitungan Perencanaan :

- Panjang miring tangga

$$L = \sqrt{\text{Tinggi bordes}^2 + \text{Panjang tangga}^2}$$

$$= \sqrt{200^2 + 300^2}$$

$$= 360,55 \text{ cm}$$

- Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi tanjakan}}$$

$$n_t = \frac{200}{20}$$

$$n_t = 10 \text{ buah}$$

- Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$

$$n_i = 10 - 1$$

$$n_i = 9 \text{ buah}$$

- Sudut kemiringan

$$\alpha = \arctan \frac{t}{\frac{1}{20}}$$

$$\alpha = \arctan \frac{20}{30}$$

$$\alpha = 33,69^\circ$$

- Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 33,69^\circ \leq 40^\circ \text{ (memenuhi)}$$

4.2 Perhitungan Struktur Sekunder

4.2.1 Perencanaan Penulangan Pelat Lantai

Pada analisa pelat Gedung parametrik ini menggunakan tebal 12 cm sesuai preliminary desain. Pada analisa perhitungan plat 2 arah yang ditinjau adalah pada pelat lantai ukuran 4m x 6m dengan fungsi ruang sebagai ruang hunian.

4.2.1.1 Data-Data Perencanaan Pelat Lantai

Type Pelat	: Kantor
Mutu beton	: 40 MPa
Mutu baja	: 400 MPa
Tebal pelat atap	: 12 cm
Tebal pelat lantai	: 12 cm
Diameter tulangan lentur (D)	: 10 mm
Diameter tulangan lentur (Ø)	: 10 mm
Bentang pelat sumbu panjang (Ly)	: 300 cm

Bentang pelat sumbu pendek (Lx)	:	400 cm
Bentang bersih pelat sb Panjang (Sn)	:	360 cm
Bentang bersih pelat sb Panjang (ln)	:	260 cm

4.2.1.2 Pembebanan Pelat

1. Pembebanan pelat lantai

a. Beban Mati :

B.S Pelat	=	0,12m x 24 kN/m ²	=	2,88	kN/m ²
Spesi 1 cm	=	1 x 0,21 kN/m ²	=	0,21	kN/m ²
Keramik	=	1 x 0,24 kN/m ²	=	0,24	kN/m ²
Plafon	=	0,11 kN/m ²	=	0,11	kN/m ²
Penggantung	=	0,07 kN/m ²	=	0,07	kN/m ²
Ducting	=	0,65 kN/m ²	=	0,65	kN/m ²
			<hr/>		
q _d			=	4,16	kN/m ²

b. Beban hidup

$$\text{Beban hidup lantai Kantor (q}_l\text{)} = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban ultimit :

$$\begin{aligned} q_{\text{ultimate t}} &= 1,2D + 1,6L \\ &= (1,2 \times 3,75) + (1,6 \times 2,50) = 8,992 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Pembebanan Pelat Atap

a. Beban Mati :

B.S Pelat	=	0,10m x 24 kN/m ²	=	2,40	kN/m ²
Aspal 1cm	=	1 x 0,14 kN/m ²	=	0,14	kN/m ²
Plafon	=	0,11 kN/m ²	=	0,11	kN/m ²
Penggantung	=	0,07 kN/m ²	=	0,07	kN/m ²
Air hujan	=	0,2 kN/m ²	=	0,20	kN/m ²
Ducting	=	0,65 kN/m ²	=	0,65	kN/m ²
			<hr/>		
q _d			=	3,71	kN/m ²

b. Beban hidup

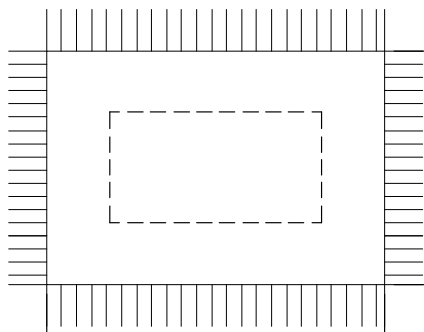
$$\text{Beban hidup lantai Atap (q}_l\text{)} = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban ultimit :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ultimate t}} &= 1,2D+1,6 L \\
 &= (1,2 \times 3,71) + (1,6 \times 2,50) = 8,452 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.1.3 Perhitungan Gaya Pelat Lantai

Perhitungan momen yang terjadi pada pelat diasumsikan sebagai terjepit penuh pada keempat tumpuannya sehingga perhitungannya menggunakan persamaan :



Gambar 4. 5 Momen didalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya akibat beban merata (terjepit penuh)

Pelat Lantai Untuk Kantor

$$Q_u = 8,452 \text{ kN/m}^2$$

$$L_x = 400 \text{ cm}$$

$$L_y = 300 \text{ cm}$$

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat:

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{400}{300} = 1,4 < 2 \text{ (Dua arah)}$$

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen sebagai berikut (ly/lx=1.0)

$$\text{Tumpuan : X Mtx} = 76$$

$$\text{X Mty} = 57$$

$$\text{Lapangan : X Mlx} = 36$$

$$\text{X Mly} = 17$$

$$\text{Mlx} = 0.001 q \cdot l_x^2 \cdot X$$

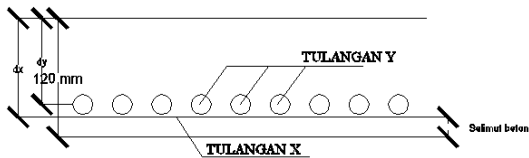
$$\begin{aligned}
 &= 0.001 \times 8,452 \times 4^2 \times 36 \\
 &= 537,544 \text{ kgm} \\
 Mly &= 0.001 \text{ q.lx}^2.X \\
 &= 0.001 \times 8,452 \times 4^2 \times 17 \\
 &= 253,84 \text{ kgm} \\
 Mtx &= 0.001 \text{ q.lx}^2.X \\
 &= 0.001 \times 8,452 \times 4^2 \times 76 \\
 &= 1134,81 \text{ kgm} \\
 Mty &= 0.001 \text{ q.lx}^2.X \\
 &= 0.001 \times 8,452 \times 4^2 \times 57 \\
 &= 851,111 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

4.2.1.4 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

a. Data Perencanaan :

Tipe Pelat	= Kantor
Bentang sumbu pendek (Lx)	= 400 cm
Bentang sumbu panjang (Ly)	= 300 cm
Mutu beton (fc')	= 40 MPa
Mutu Baja (fy)	= 410 Mpa
β_1	= 0,78
ϕ	= 0,8
Selimut beton	= 20 mm

b. Tebal manfaat



$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \phi \\
 dx &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}\right) \\
 dx &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$dy = \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \phi$$

$$dy = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}\right)$$

$$dy = 85 \text{ mm}$$

c. Tulangan minimum dan maksimum

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{410}{0,85 \times 40} = 12,059$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,00341 \text{ atau}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,03836$$

Diambil yang terbesar

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0482 \end{aligned}$$

d. Penulangan pada pelat

1. Tulangan Lapangan x

Menghitung kebutuhan tulangan awal :

$$Mu = 994203 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{537544,01 \text{ Nmm}}{0,8} = 671930,01 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{671930,01 \text{ Nmm}}{1000 \times 95^2} = 0,0745$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{12,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,126}{400}} \right) \\ &= 0,000182 \end{aligned}$$

Cek :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$
$$0,00341 < 0,000182 < 0,0482 \quad (\text{NO OK})$$

Maka di pakai ρ_{\min}

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\min} \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,00341 \times 1000 \times 95$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 324,39 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D10) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,50 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s (D10)} = \frac{324,39 \text{ mm}^2}{78,50 \text{ mm}^2} = 4,13 \approx 5 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\max} \leq 3h$

$$S_{\max} = 3 \times 120 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D10 –200 mm**

2. Tulangan Lapangan Y

$$M_u = 253840,23 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{253840,23 \text{ Nmm}}{0,8} = 317300,28 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{317300,28 \text{ Nmm}}{1000 \times 85^2} = 0,0439$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$
$$= \frac{1}{12,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,059 \times 0,126}{400}} \right)$$
$$= 0,000107$$

Cek :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$
$$0,00341 < 0,000107 < 0,0482 \quad (\text{NO OK})$$

Maka di pakai ρ_{\min}

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d$$

$$A_{s\text{perlu}} = 0,00341 \times 1000 \times 85$$

$$A_{s\text{perlu}} = 290,24 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D10) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,50 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s (D10)} = \frac{327,25 \text{ mm}^2}{78,50 \text{ mm}^2} = 3,70 \approx 4 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 3h$
 $S_{\text{maks}} = 3 \times 120 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$
 Dipakai tulangan **D10-250 mm**

3. Tulangan Tumpuan X

Menghitung kebutuhan tulangan awal :

$$M_u = 2461836 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{11348001 \text{ Nmm}}{0,8} = 14185189 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{14185189 \text{ Nmm}}{1000 \times 95^2} = 1,572$$

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

$$= \frac{1}{15,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,312}{400}} \right)$$

$$= 0,003926$$

Cek :

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

$$0,00341 > 0,003926 < 0,0482$$

OK

Maka dipakai ρ_{perlu}

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,003926 \times 1000 \times 95$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 373,020 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D10) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,50 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s (D10)} = \frac{377,020 \text{ mm}^2}{78,50 \text{ mm}^2} = 4,75 \approx 5 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 3h$
 $S_{\text{max}} = 3 \times 120 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$
 Dipakai tulangan **D10 -200 mm**

4. Tulangan Tumpuan Y

Menghitung kebutuhan tulangan awal :

$$M_u = 8511113,5 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8511113,5 \text{ Nmm}}{0,8} = 10638892 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{10638892 \text{ Nmm}}{1000 \times 85^2} = 1,473$$

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

$$= \frac{1}{12,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,312}{400}} \right)$$

$$= 0,0036728$$

Cek :

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

$$0,00341 > 0,003673 < 0,0482$$

OK

Maka dipakai ρ_{perlu}

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,003673 \times 1000 \times 85$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 312,190 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D10) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,50 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s (D10)} = \frac{312,190 \text{ mm}^2}{78,50 \text{ mm}^2} = 3,98 \approx 4 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 3h$

$$S_{\text{max}} = 3 \times 120 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D10-250 mm**

4.2.1.5 Rekapitulasi Penulangan Pelat

Tabel 4. 1 Rekapitulasi perhitungan penulangan pelat

Tipe Plat	Lx	Ly	Tumpuan		Lapangan		Tipe Arah
			X	Y	X	Y	
Lantai	4 m	3 m	D10-200	D10-250	D10-200	D10-250	Dua Arah
Atap	4 m	3 m	D10-250	D10-250	D10-250	D10-250	Dua Arah

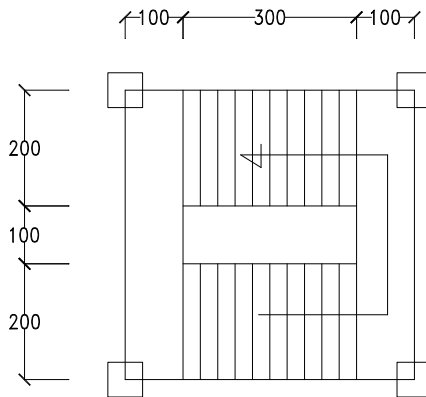
4.2.2 Perencanaan Penulangan Tangga dan Balok Bordes

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakan. Dalam perencanaan tangga ini diasumsikan sebagai frame 2 dimensi yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya-gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tertentu. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi-sendi, sendijepit, sendi-rol maupun jepit-jepit. Perbedaan asumsi menentukan cara penulangan konstruksi serta pengaruh terhadap struktur secara keseluruhan. Dalam perhitungan ini perletakan diasumsikan sebagai sendi-rol.

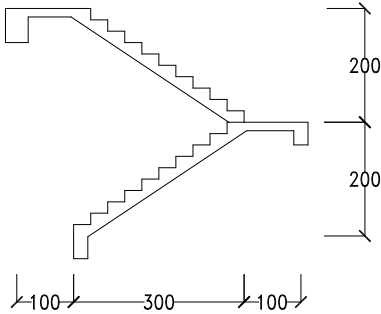
Dalam Tugas Akhir ini jenis Tangga hanya menggunakan 1 type yang nantinya diaplikasikan ke semua bangunan , karena semua denah tangga juga mempunyai lebar dan Panjang serta tinggi yang sama.

4.2.2.1 Data-Data Perencanaan Tangga

Tinggi antar lantai	= 400 cm
Tinggi bordes	= 200 cm
Panjang tangga	= 300 cm
Panjang bordes	= 150 cm
Lebar bordes	= 400 cm
Tebal bordes	= 15 cm
Lebar injakan trap tangga	= 30 cm
Tinggi injakan trap tangga	= 20 cm
Tebal pelat tangga	= 15 cm



Gambar 4. 6 Denah Tangga



Gambar 4. 7 Potongan Tangga

4.2.2.2 Pembebanan Tangga dan bordes

1. Pembebanan tangga

- Beban Mati

$$\text{B.S Tangga} = \frac{0.15 \text{ m} \times 2400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{\text{Cos } 33,69^\circ} = 432,66 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi 2cm} = 2 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik} = 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Railing} = 20 \text{ kg/m}^2 = 20 \text{ kg/m}^2$$

$$q_d = 518,66 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{dt} = q_d \times \text{Lebar Tangga} = 518,66 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} = 1037,33 \text{ kg/m}$$

- Beban Hidup

$$q_{lt} = q_l \times \text{Lebar Tangga} = 479 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} = 958 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{ultimate t}} = 1,2D + 1,6 L = 1,2 \cdot 1037,33 + 1,6 \cdot 958 = 2777.59 \text{ kg/m}$$

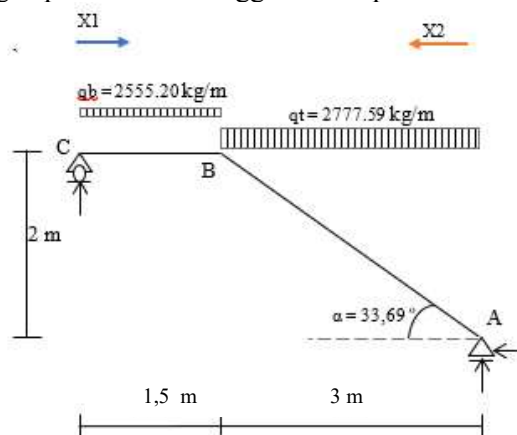
2. Pembebanan Bordes

- Beban Mati

B.S Bordes	=	$0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	360	kg/m^2
Spesi 2cm	=	$2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	=	42	kg/m^2
Keramik	=	$1 \times 24 \text{ kg/m}^2$	=	21	kg/m^2
<hr/>					
q_d	=	q_d	=	426,00	kg/m^2
q_{dt}	=	$q_d \times \text{Lebar Tangga}$	=	$426,00 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$	$= 852,00 \text{ kg/m}$
• Beban Hidup					
q_{lb}	=	$q_l \times \text{Lebar Tangga}$	=	479	kg/m^2
		$479 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$	=	958	kg/m
$q_{\text{ultimate b}}$	=	$1,2D + 1,6 L$			
		$1,2 \cdot 852,00 + 1,6 \cdot 958$	=	2555.20	kg/m

4.2.2.3 Perhitungan Gaya tangga

Pada proses analisa struktur tangga, perhitungan dengan menggunakan mekanika teknik statis dengan permisalan sendi-rol, dengan pembebanan tangga dan output.



Gambar 4. 8 Permodelan Struktur Tangga

Perhitungan gaya

$$\sum H = 0$$

$$H_a = 0$$

$$\sum M_c = 0$$

$$V_a \quad (\uparrow)$$

$$-V_a \cdot 4m + 2777.59 \text{ kg/m} \cdot 3m \cdot 2,5m + 2555,2 \text{ kg/m} \cdot 1.5m \cdot 0.5m = 0$$

$$V_a \cdot 4m = 22109.59 \text{ kgm}$$

$$V_a = 5527.40 \text{ kg} \quad (\uparrow)$$

$$\sum M_a = 0$$

$$V_c \quad (\uparrow)$$

$$V_c \cdot 4m - 2777.59 \text{ kg/m} \cdot 3m \cdot 1,5m - 2555,2 \text{ kg/m} \cdot 1.5m \cdot 3.5m = 0$$

$$V_c \cdot 4m = 21442.39 \text{ kgm}$$

$$V_c = 6360.59 \text{ kg} \quad (\uparrow)$$

Kontrol

$$\sum V = 0$$

$$V_a + V_c - q_b \cdot r - q_t \cdot r = 0$$

$$5527.40 \text{ kg} + 6360.59 \text{ kg} - 2777.59 \text{ kg/m}^2 \cdot 3m - 2555,20 \text{ kg/m}^2 \cdot 1m = 0$$

$$5527.40 \text{ kg} + 6360.59 \text{ kg} - 8332.79 \text{ kg} - 2555,20 \text{ kg} = 0$$

$$0 = 0 \text{ (OK)}$$

Perhitungan gaya Dalam pada Tangga

1. Gaya Lintang (D)

Potongan X_1 ($0 \leq X_1 \leq 1,0 \text{ m}$)

$$D_{x1} = V_c - q_b \cdot x_1$$

$$D_{x1} = 6360.59 \text{ kg} - (2555,20 \text{ kg/m} \cdot x_1)$$

Untuk

$$x_1 = 0 \text{ m} \quad DC = 6360.59 \text{ kg}$$

$$x_1 = 1,0 \text{ m} \quad DB = 6360.59 \text{ kg} - (2555,20 \text{ kg/m} \cdot 1,0m)$$

$$DB = 2805,4 \text{ kg}$$

Potongan X_2 ($0 \leq X_2 \leq 3,0 \text{ m}$)

$$D_{x2} = V_a \cos 33,69^\circ - q_t \cdot x_2 \cos 33,69^\circ$$

$$D_{x2} = 5527.40 \text{ kg} \cdot \cos 33,69^\circ - (2777.59 \text{ kg/m} \cdot x_2 \cdot \cos$$

$$33,69^\circ)$$

Untuk

$$x_2 = 0 \text{ m} \quad DA = 5527.40 \text{ kg} \cdot \cos 33,69^\circ$$

$$DA = 4599.07 \text{ kg}$$

$$x_2 = 3,0 \text{ m} \quad DB = 5527.40 \text{ kg} \cdot \cos 33,69^\circ - (2777.59 \text{ kg/m} \cdot 3 \text{ m} \cdot \cos 33,69^\circ)$$

$$DB = -2334.23 \text{ kg}$$

Gaya Momen (M)

Potongan X1 $(0 \leq X_1 \leq 1,0 \text{ m})$

$$\begin{aligned} M_{x1} &= V_c x_1 - q_b \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} x_1 \\ &= 6360.59 \text{ kg} x_1 - (2555,20 \text{ kg/m} \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} x_1) \end{aligned}$$

Untuk

$$x_1 = 0 \text{ m} \quad MC = 0$$

$$\begin{aligned} x_1 = 1,0 \text{ m} \quad MB &= 6360.59 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} - (2555,20 \text{ kg/m} \cdot 1 \text{ m} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,0 \text{ m}) \\ MB &= 4082.99 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Potongan X2 $(0 \leq X_2 \leq 3,0 \text{ m})$

$$\begin{aligned} M_{x2} &= V_a x_2 - q_t \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2 \\ &= 5527.40 \text{ kg} x_2 - (2777.59 \text{ kg/m} \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2) \end{aligned}$$

Untuk

$$x_2 = 0 \text{ m} \quad MA = 0$$

$$\begin{aligned} x_2 = 3,0 \text{ m} \quad MB &= 5527.40 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m} - (2777.59 \text{ kg/m} \cdot 3 \text{ m} \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 \text{ m}) \\ MB &= 4082.99 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen Maksimum terjadi pada Tangga

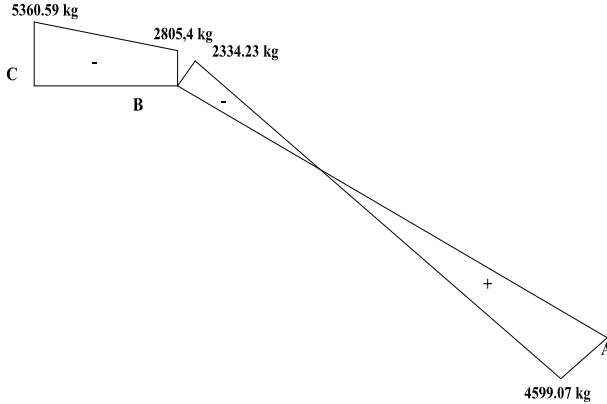
$$D_{x2} = V_a - (q_t \cdot x_2) = 0$$

$$D_{x2} = 5527.40 \text{ kg} - (2777.59 \text{ kg/m} \cdot x_2) = 0$$

$$x_2 = \frac{5527.40 \text{ kg}}{2777.59 \frac{\text{kg}}{\text{m}}} = 1,99 \text{ m}$$

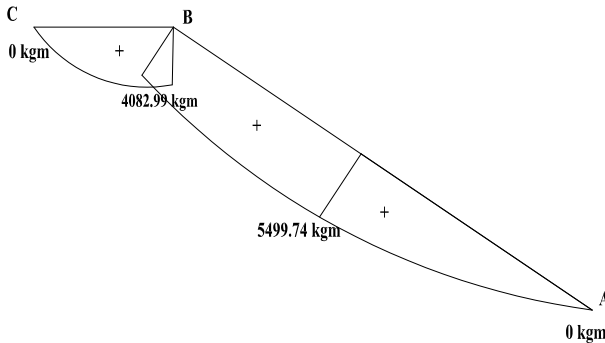
$$\begin{aligned} M_{\max} &= V_a \cdot x_2 - q_t \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2 \\ &= 5527.40 \text{ kg} \cdot 1,99 \text{ m} - 2777.59 \text{ kg/m} \cdot 1,99 \text{ m} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,99 \text{ m} \\ &= \mathbf{5499.74 \text{ kgm}} \end{aligned}$$

Bidang D



Gambar 4. 9 Gaya Dalam (Gaya Lintang)

Bidang M



Gambar 4. 10 Gaya Dalam (Momen)

4.2.2.4 Perhitungan Tulangan Tangga dan Balok Bordes

Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan balok bordes adalah sebagai berikut :

- a. Data perencanaan :
- | | |
|---------------------------|-----------|
| Mutu beton (f_c') | = 30 MPa |
| Mutu Baja (f_y) | = 400 MPa |
| Mutu Geser (f_{yv}) | = 240 MPa |
| β_1 | = 0,85 |
| ϕ | = 0,9 |
| Tebal pelat (h) | = 150 mm |
| D-tulangan lentur | = 16 mm |
| D-tulangan Bordes | = 16 mm |
| \emptyset Tulangan Bagi | = 10 mm |
| Cover Balok | = 40 mm |
| Cover Pelat | = 20 mm |

- b. Tebal manfaat

$$dx = \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} D$$

$$dx = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 16 \text{ mm}\right)$$

$$dx = 122 \text{ mm}$$

$$dy = \text{tebal pelat} - \text{tebal selimut} - \emptyset - \frac{1}{2} D$$

$$dy = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 16 \text{ mm}\right)$$

$$dy = 106 \text{ mm}$$

- c. Tulangan Minimum dan Maksimum

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

Untuk Pelat ρ_{\min}

$$\rho_{\min} = 0,0020 \text{ Untuk mutu } < 420 \text{ Mpa}$$

Untuk Balok ρ_{\min} diambil yang terbesar

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

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0244\end{aligned}$$

d. Perhitungan Penulangan

Gaya dalam pada plat tangga, dan bordes

$$M_{\max} = 5499.74 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{bordes}} = 4082.99 \text{ kgm}$$

1. Penulangan Pelat Tangga

a. Tulangan Memanjang (Lentur)

$$M_u = 54997369.61 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b \times d^2} = \frac{54997369.61 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 4,106$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 4,106}{400}} \right) \\ &= 0,0113\end{aligned}$$

Cek :

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

$$0,002 < 0,0113 < 0,0244$$

OK

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0113 \times 1000 \times 122$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 1373.50 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D16) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s (D16)} = \frac{1373,5 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 6,84 \approx 7 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{7} = 146,3 \approx 125 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 3h$

$$S_{\text{maks}} = 3 \times 150 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan **D16 – 125 mm** maka diperoleh A_s pasang
 $= 1607,68 \text{ mm}^2$

$$A_{s\text{pasang}} > A_{s\text{perlu}}$$

$$1607,68 \text{ mm}^2 > 1373,50 \text{ mm}^2 \quad \text{Memenuhi}$$

b. Tulangan Melintang (Bagi)

Tulangan arah melintang merupakan tulangan minimum atau tulangan bagi struktur tangga. Dengan ρ untuk mutu tulangan <420 MPa adalah 0,0020

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s\text{perlu}} = 0,0020 \times 1000 \text{ mm} \times 106 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{perlu}} = 212 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D10) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s (D10)} = \frac{212 \text{ mm}^2}{78,5 \text{ mm}^2} = 2,7 \approx 3 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{3} = 333,34 \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 3h$

$$S_{\text{maks}} = 3 \times 150 \text{ mm} = 450$$

Dicoba tulangan **Ø10 – 300 mm** maka diperoleh A_s pasang
 $= 261,67 \text{ mm}^2$

$$A_{s\text{pasang}} > A_{s\text{perlu}}$$

$$261,67 \text{ mm}^2 > 212 \text{ mm}^2 \quad \text{Memenuhi}$$

2. **Penulangan Pelat Bordes**

a. Tulangan Memanjang (Lentur)

$$M_u = 40054216,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b x d^2} = \frac{40054216.4 \text{ Nmm}}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 2,990$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,990}{400}} \right) \\ &= 0,00797 \end{aligned}$$

Cek :

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

$$0,002 < 0,00797 < 0,0244$$

OK

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,00797 \times 1000 \times 122$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 972.82 \text{ mm}^2$$

$$A_s (\text{D16}) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s (\text{D16})} = \frac{972.82 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 4,84 \approx 5 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{\text{maks}} \leq 3h$

$$S_{\text{maks}} = 3 \times 150 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan **D16 – 200 mm** maka diperoleh A_s pasang = 1004.8 mm^2

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$1004.8 \text{ mm}^2 > 972.82 \text{ mm}^2$$

Memenuhi

b. Tulangan Melintang (Bagi)

Tulangan arah melintang merupakan tulangan minimum atau tulangan bagi struktur tangga. Dengan ρ untuk mutu tulangan < 420 MPa adalah 0,0018

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{perlu}} = 0,002 \times 1000 \text{ mm} \times 106 \text{ mm}$$

$$A_{s_{perlu}} = 212 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D10) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_s (D10)} = \frac{212 \text{ mm}^2}{78,5 \text{ mm}^2} = 2,7 \approx 3 \text{ bh}$$

$$S \text{ tulangan} = \frac{1000}{n \text{ tulangan}} = \frac{1000}{3} = 333,34 \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan : $S_{maks} \leq 3h$

$$S_{max} = 3 \times 150 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan **Ø10 – 300** mm maka diperoleh A_s pasang
 $= 261,67 \text{ mm}^2$

$$A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}}$$

$$261,67 \text{ mm}^2 > 212 \text{ mm}^2$$

Memenuhi

3. Penulangan Balok Bordes

Gunakan dimensi balok bordes 25/40.

Beban Mati

$$\text{Pelat bordes} = 360 \text{ kg/m}^2 \times 1.0 \text{ m}$$

$$= 360 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat balok} = 0,25 \times 0,40 \times 2400$$

$$= 240 \text{ kg/m}$$

$$q_{DT} = 600 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup

$$q_{LT} = 479 \text{ kg/m}^2 \times 1.0 \text{ m}$$

$$= 479 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kombinasi} = 1,2 \cdot q_{DT} + 1,6 \cdot q_{LT}$$

$$= (1,2 \times 600 \text{ kg/m}) + (1,6 \times 479 \text{ kg/m})$$

$$= 1486,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Mu} = -1/10 \times Q_u \times l^2$$

$$= -1/10 \times 1486,4 \times 5^2$$

$$= -3716,0 \text{ kgm}$$

$$= -36453960 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= 0,5 \times Q_u \times l \\
 &= 0,5 \times 1486,4 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} \\
 &= 3716 \text{ kg} \\
 &= 37160 \text{ N} \\
 d &= 400 - 40 - 0,5 \cdot 16 - 10 = 342 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

a. Penulangan Lentur

Tulangan Tarik

$$M_u = 36453960 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b \times d^2} = \frac{36453960 \text{ Nmm}}{0,9 \times 250 \times 342^2} = 1,38$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,37}{400}} \right) \\
 &= 0,00356
 \end{aligned}$$

Cek :

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

$$0,0035 < 0,00356 < 0,0244$$

OK

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,00356 \times 250 \times 342$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 304,59 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D16) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s (D16)} = \frac{304,59 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 1,51 \approx 2 \text{ bh}$$

Maka digunakan Tulangan Tarik **2D16** → **As Pakai 401.92 mm²**

Tulangan Tekan

Maka :

$$A_{S'_{\text{perlu}}} = 0,3 \cdot A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$As'_{\text{perlu}} = 0,3 \times 302,72 \text{ mm}^2 = 90,82 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{As'_{\text{perlu}}}{As \text{ (D16)}} = \frac{90,82 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 0,4 \approx 2 \text{ bh}$$

Karena nilai banyaknya tulangan kurang dari minimum maka tulangan tekan dibulatkan menjadi 2 buah untuk kebutuhan pengekangan.

Maka digunakan Tulangan Tekan **2D16** → **As Pakai 401.92 mm²**

b. Penulangan Geser

$$V_u = 37160 \text{ N}$$

Berdasarkan ACI 318M Pasal 11.2.1.1 nilai V_c adalah :

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d = 0.17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 250 \cdot 342$$

$$V_c = 79611,47 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 79611,47 \text{ N} = 59708,6 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 0,5 \cdot 59708,6 \text{ N} = 29854,30 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} b_w d = \frac{1}{3} \cdot 250 \cdot 342 = 28500 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1

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

$$37160 \text{ N} \leq 29854,30 \text{ N}$$

Tidak Memenuhi

Kondisi 2

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

$$29854,30 \text{ N} \leq 37160 \text{ N} \leq 59708,6 \text{ N} \quad \text{Memenuhi}$$

Karena, termasuk dalam kondisi 2, maka perlu tulangan geser minimum. Untuk perhitungan V_s perlu menggunakan rumus tulangan V_s min

Direncanakan sengkang 2 Ø10

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi D^2 \right) = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi 10^2 \right) = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser :

$$S_{\text{Perlu}} = \frac{A_v f_{yv} d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{\text{Perlu}} = \frac{157,14 \cdot 240 \cdot 342}{28500} = 452,16 \text{ mm}$$

Kontrol spasi tulangan geser :

$$S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2}$$

$$S_{\text{max}} \leq \frac{342 \text{ mm}}{2}$$

$$S_{\text{max}} \leq 171 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang **2 Ø10-150 mm**.

- Wilayah Lapangan (2h – tengah bentang)

$$\frac{V_{u2}}{0,5L - 2h} = \frac{V_u}{0,5L}$$

$$\frac{V_{u2}}{0,5 \cdot 5000 - 2 \cdot 450} = \frac{V_u}{0,5 \cdot 5000}$$

$$V_{u2} = 2526,88 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1

$$V_{u2} \leq 0,5 \cdot \phi V_c$$

$$2526,88 \text{ N} \leq 29854,30 \text{ N}$$

Memenuhi

Karena, termasuk dalam kondisi 1, maka tidak perlu tulangan geser.

Direncanakan sengkang 2 Ø10

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi D^2 \right) = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi 10^2 \right) = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser :

$$S_{\text{Perlu}} = \frac{A_v f_{yv} d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{\text{Perlu}} = \frac{157,14 \cdot 240 \cdot 342}{28500} = 452,16 \text{ mm}$$

Kontrol spasi tulangan geser :

$$S_{max} \leq \frac{d}{2}$$

$$S_{max} \leq \frac{342 \text{ mm}}{2}$$

$$S_{max} \leq 171 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang **2 Ø10-150 mm.**

4.2.2.5 Rekapitulasi Penulangan Tangga dan Balok Bordes

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga dan bordes

Penulangan Pelat Tangga dan bordes					
Gaya Dalam (Momen)		Tulangan			
		Memanjang		Melintang	
Pelat	54.99 kNm	D16	-125	Ø10	-300
Bordes	40.05 kNm	D16	-200	Ø10	-300

Tabel 4. 3 Rekapitulasi penulangan Balok Bordes

Penulangan Balok Bordes 25/40						
Gaya Dalam	Momen		Geser			
	36.45 kNm		37.16 kN			
Tarik	2D	16	Tumpuan	2Ø	10-	150
Tekan	2D	16	Lapangan	2Ø	10-	150

4.2.3 Perencanaan Penulangan Balok Lift

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

Kecepatan = 1 m/s

Kapasitas = 9 orang / 600 kg

Lebar pintu = 800 mm

Dimensi sangkar :	
Outside	= 1460 x 1295
Inside	= 1400 x 1130
Hoistway	= 3700 x 1710
Beban ruang mesin :	
R1	= 4100 kg
R2	= 2450 kg

Dalam perencanaan struktur gedung ini dimensi balok lift yang digunakan adalah 40/60 untuk bentang 600 cm,

4.2.3.1 Data-Data Perencanaan Balok Lift

Bentang Balok Penggantung	= 6000 mm
Lebar balok Penggantung	= 400 mm
Tinggi balok Penggantung	= 600 mm
Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Mutu Baja Lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu Baja geser (f_{yv})	= 400 MPa
D lentur	= 22 mm
Ø geser	= 13 mm
Jarak spasi (s)	= 25 mm
Selimum beton	= 40 mm
f.reduksi lentur (ϕ)	= 0.9
f.reduksi geser (ϕ)	= 0.75
Faktor β_1	= 0,85

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{selimum} - \phi \text{sengkang} - D.\text{lentur}/2 \\
 &= 600 - 40 - 13 - 22/2 \\
 &= 636 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

Untuk Balok ρ_{\min} diambil yang terbesar

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

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0244$$

4.2.3.2 Pembebanan Balok Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpu
Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari ruang mesin yaitu R1 dan R2
2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran
Pasal 3.3.(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut :

$$\psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1.15$$

Dimana :

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1.15

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

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

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

Jadi beban yang bekerja pada balok adalah :

$$P = \Sigma R \cdot \psi$$

$$= (4100 \times 2450) \times (1 + 0.6 \times 1.3 \times 1)$$

$$= 11659 \text{ kg}$$

4.2.3.3 Perhitungan Gaya Balok Lift

- Beban mati (qd) :
 Berat sendiri balok = $0.4 \times 0.6 \times 2400 = 576 \text{ kg/m}$
 Berat pelat beton = $0.12 \times 5 \times 2400 = 720 \text{ kg/m}$
 $q_d = 1296 \text{ kg/m}$
- Beban hidup (ql) :
 $q_l = 400 \text{ kg/m}$
- Beban ultimate :
 $q_u = 1.2 q_d + 1.6 q_l$
 $= 1.2 (1296) + 1.6 (400)$
 $= 2195 \text{ kg/m}$
- Beban terpusat :
 $P = 11659 \text{ kg}$

$$V_u = \frac{1}{2} q_u \cdot L + \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} 2195 \cdot 5 + \frac{1}{2} 11659$$

$$V_u = 13618 \text{ kg} = 132169.12 \text{ N}$$

$$M_u = \frac{1}{2} q_u \cdot L^2 + \frac{1}{2} P L = \frac{1}{2} 2195 \cdot 5^2 + \frac{1}{2} 11659 \cdot 5$$

$$M_u = 21434 \text{ kgm} = 210,19 \text{ kNm} = 210193284.4 \text{ Nmm}$$

4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Lentur

$$M_u = 210193284.4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b \times d^2} = \frac{210193284.4 \text{ Nmm}}{0,9 \times 250 \times 636^2} = 2,75$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,75}{400}} \right)$$

$$= 0,0073$$

Cek :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$
$$0,0035 < 0,0073 < 0,0244 \quad \text{OK}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0073 \times 250 \times 636$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 1560,97 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D16) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s (D16)} = \frac{1560,97 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 4,11 \approx 5 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **5 D22** → $A_{S_{\text{pakai}}} = 1899,7 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan (s) :

$$S = \frac{b - 2t_{\text{selimut}} - 2\phi_{\text{geser}} - n D_{\text{Lentur}}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.13 - 2.22}{5 - 1}$$

$$S = 46 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

memenuhi

4.2.3.5 Perhitungan Tulangan Geser

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$
$$= 0.17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 636$$
$$= 199633.9178 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s \text{ min}} = 0.33 \times b \times d$$
$$= 0.33 \times 400 \times 636$$
$$= 70752 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0.33 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$
$$= 0.33 \times \sqrt{30} \times 400 \times 636$$
$$= 387524.6639 \text{ N}$$

Penulangan geser balok

Pada daerah tumpuan dan Lapangan

$$V_u = 132169.12 \text{ N}$$

- Kondisi 1

$$V_u \leq 0.5 \times \phi \times V_c$$

$$132169.12 \text{ N} > 74862.72 \text{ N} \quad \text{Tidak Memenuhi}$$

- Kondisi 2

$$0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$74862.72 \text{ N} \leq 132169.12 \text{ N} \leq 149725.44 \text{ N} \quad \text{Memenuhi}$$

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} \\ = 70752 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser

$$D = 13, n \text{ kaki} = 2$$

$$A_v = 0.25 \times \pi \times D^2 \times n \text{ kaki} \\ = 0.25 \times \pi \times 13^2 \times 2 \\ = 265,46 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (Sperlu)

$$S_{\text{Perlu}} = \frac{A_v f_{yv} d}{V_s \text{ perlu}} \\ S_{\text{Perlu}} = \frac{265,46 \cdot 400 \cdot 636}{70752 \text{ N}} = 804,44 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 250 mm antar tulangan.

$$S_{\text{max}} < d/2 \quad \text{atau} \quad S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} < 268 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 250 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai tulangan geser **2 D13 – 250**

4.2.3.6 Rekapitulasi Penulangan Balok Lift

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Penulangan Balok Lift

Penulangan Balok Lift (BL) 40/60						
Gaya	Momen		Geser			
Dalam	236.67 kNm		132.17 kN			
Tarik	5D	22	Tumpuan	2D	13	250
Tekan	3D	22	Lapangan	2D	13	250

4.2.4 Perencanaan Penulangan Balok Anak

Balok anak merupakan struktur sekunder yang berfungsi sebagai pembagi/pendistribusi beban. Dalam perencanaan struktur gedung ini dimensi balok anak yang digunakan adalah 30/40 untuk bentang 600 cm,

4.2.4.1 Data-Data Perencanaan Balok Anak

$$\text{Bentang Balok} = 400 \text{ mm}$$

Lebar balok	= 300 mm
Tinggi balok	= 400 mm
Mutu beton ($f'c$)	= 40 MPa
Mutu Baja Lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu Baja geser (f_{yv})	= 240 MPa
D lentur	= 16 mm
Ø geser	= 10 mm
Jarak spasi (s)	= 25 mm
Selimit beton	= 40 mm
f.reduksi lentur (ϕ)	= 0.9
f.reduksi geser (ϕ)	= 0.75
Faktor β_1	= 0,85
Pembebanan :	
Qd = 416 kg/m	
Ql = 250 kg/m	

Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok} &= b \times h \times B_j \text{ Beton} \\ &= 0,3\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \\ &= 288\text{kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat mati pelat} = 2 \times q_{ek} \text{ trapesium}$$

$$= 2 \times \frac{1}{2} q_d \cdot l_x \cdot \left(1 - \frac{1}{3 \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2} \right)$$

$$= 2 \times \frac{1}{2} \times 416 \times 4,075 \cdot \left(1 - \frac{1}{3 \left(\frac{4,075}{6} \right)^2} \right)$$

$$= 1434,55 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total beban mati} = 288\text{kg/m} + 1434,55 \text{ kg/m}$$

$$= 1722,55 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (LL)

$$\text{Berat hidup pelat} = 2 \times q_{ek} \text{ trapesium}$$

$$= 2 \times \frac{1}{2} q_d \cdot l_x \cdot \left(1 - \frac{1}{3 \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2} \right)$$

$$= 2 \times \frac{1}{2} \times 250 \times 407,5 \left(1 - \frac{1}{3 \left(\frac{4,075}{6} \right)^2} \right)$$

$$= 862,11 \text{ kg/m}$$

Kombinasi pembebanan

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(1722,55 \text{ kg/m}) + 1,6(862,11 \text{ kg/m}) \\ &= 3100,842 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

4.2.4.2 Perhitungan Momen

a. Momen Tumpuan (-)

$$\begin{aligned} M_u &= 1/12 \cdot q \cdot l \\ &= 1/12 \times 3100,842 \times 4 \\ &= 9302,526 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Momen Lapangan (+)

$$\begin{aligned} M_u &= 1/16 \cdot q \cdot l \\ &= 1/16 \times 3100,842 \times 4 \\ &= 6976,894 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \phi \text{senggang} - D \cdot \text{lentur}/2 \\ &= 400 - 40 - 10 - 16/2 \\ &= 342 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{410}{0,85 \times 40} = 11,059$$

Untuk Balok ρ_{\min} diambil yang terbesar

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,00341 \text{ atau}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,85 \times 40}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right) \\ &= 0,04842 \end{aligned}$$

4.2.4.3 Perhitungan Tulangan Lentur

a. Tumpuan atas (negatif)

$$M_u = 930255256,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b x d^2} = \frac{930255256,8 \text{ Nmm}}{0,9 \times 300 \times 342^2} = 2,95$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$
$$= \frac{1}{12,509} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,509 \times 2,95}{410}} \right)$$
$$= 0,0075$$

Cek :

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

$$0,00341 < 0,0075 < 0,04842 \quad (\text{OK})$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0075 \times 300 \times 342$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 772,18 \text{ mm}^2$$

$$A_s (\text{D16}) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s (\text{D16})} = \frac{772,18 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 3,84 \approx 4 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **4D16** → $A_{S_{\text{pakai}}} = 803,84 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan (s) :

$$S = \frac{b - 2t_{\text{selimut}} - 2\phi_{\text{geser}} - n D_{\text{Lentur}}}{n - 1}$$

$$S = \frac{300 - 2.40 - 2.10 - 2.16}{4 - 1}$$

$$S = 45,3 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

b. Tumpuan bawah (positif)

$$A_{S_{\text{min}}} = \frac{1}{2} \times A_{S_{\text{perlu}}}$$
$$= \frac{1}{2} \times 772,18 \text{ mm}^2$$
$$= 386,09 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D16) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s (D16)} = \frac{386,09 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 1,92 \approx 2 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **2D16** → **As Pakai 401.92 mm²**

c. Lapangan bawah (positif)

$$M_u = 69768942,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b \times d^2} = \frac{69768942,6 \text{ Nmm}}{0,9 \times 300 \times 342^2} = 2,49$$

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

$$= \frac{1}{12,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,059 \times 0,705}{410}} \right)$$

$$= 0,0063$$

Cek :

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

$$0,0035 < 0,0063 < 0,0244 \quad (\text{OK})$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s\text{perlu}} = 0,0063 \times 300 \times 342$$

$$A_{s\text{perlu}} = 646,5 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D16) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s (D16)} = \frac{646,5 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 3,22 \approx 4 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **4D16** → **As Pakai 803,84 mm²**

Jarak tulangan (s) :

$$S = \frac{b - 2t_{\text{selimut}} - 2\phi_{\text{geser}} - n D_{\text{Lentur}}}{n - 1}$$

$$S = \frac{300 - 2.40 - 2.10 - 2.16}{4 - 1}$$

$$S = 45,3 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

(memenuhi)

d. Tumpuan Atas (negatif)

$$\begin{aligned} A_{Smin} &= \frac{1}{2} \times A_{Sperlu} \\ &= \frac{1}{2} \times 646,5 \text{ mm}^2 \\ &= 323,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s (D16) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{Sperlu}}{A_s (D16)} = \frac{323,25 \text{ mm}^2}{200,96 \text{ mm}^2} = 1,614 \approx 2 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **2D16** → $A_{s \text{ Pakai}} = 401.92 \text{ mm}^2$

4.2.4.4 Perhitungan Tulangan Geser

$$Q_u = 3100,842 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser terfaktor } (V_u) &= \frac{1}{2} \cdot Q_u \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \times 3100,842 \times 4 \\ &= 9302,525 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u'} &= \frac{V_u}{1/2L} \cdot 1/2Ln - d \\ &= 39559 \text{ N} \end{aligned}$$

1. Kuat geser beton (SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0.17 \times \sqrt{40} \times 300 \times 342 \\ &= 110312,894 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0.33 \times b \times d \\ &= 0.33 \times 300 \times 342 \\ &= 34200 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0.33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0.33 \times \sqrt{40} \times 300 \times 342 \\ &= 214136,614 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Penulangan geser balok

1. Pada daerah tumpuan

$$V_{u1} = 39559 \text{ N}$$

• Kondisi 1

$$\begin{aligned} V_u &\leq 0.5 \times \phi \times V_c \\ 39559 \text{ N} &\leq 29854.30 \text{ N} \end{aligned}$$

Tidak memenuhi

- Kondisi 2

$$0.5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$29854.30 \text{ N} \leq 39559 \text{ N} \leq 59708.61 \text{ N} \quad \text{Memenuhi}$$

Syarat :

- Apabila masuk kondisi 1, maka tidak perlu tulangan geser
- Apabila masuk kondisi 2, maka perlu tulangan geser minimum

Perhitungan Tulangan geser masuk kondisi 2

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min}$$

$$= 28215 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser

$$\phi = 10, n \text{ kaki} = 2$$

$$A_v = 0.25 \times \pi \times \phi^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 0.25 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157.08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (Sperlu)

$$S_{\text{Perlu}} = \frac{A_v f_{yv} d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{Perlu}} = \frac{157,08 \times 240 \times 342}{28215} = 456,96 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan.

$$S_{\text{max}} < d/2 \quad \text{atau} \quad S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 196 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai tulangan geser **2Ø10 – 150**

2. Pada daerah lapangan

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

$$\frac{V_{u2}}{0,5L - 2h} = \frac{V_u}{0,5L}$$

$$\frac{V_{u2}}{0,5 \cdot 5000 - 2 \cdot 400} = \frac{39559 \text{ N}}{0,5 \cdot 4000}$$

$$V_{u2} = 25799.35 \text{ N}$$

- Kondisi 1

$$V_{u2} \leq 0.5 \times \phi \times V_c$$

25799.35 N ≤ 29854.30 N Memenuhi
 Perhitungan tulangan geser masuk kondisi 1

Apabila masuk kondisi 1, maka tidak perlu tulangan geser, tetapi tetap memakai tulangan geser yang dipasang sama dengan daerah tumpuan.

Sehingga dipakai tualangan geser 2Ø10 – 150

4.2.4.5 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Tabel 4. 5 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak (BA)

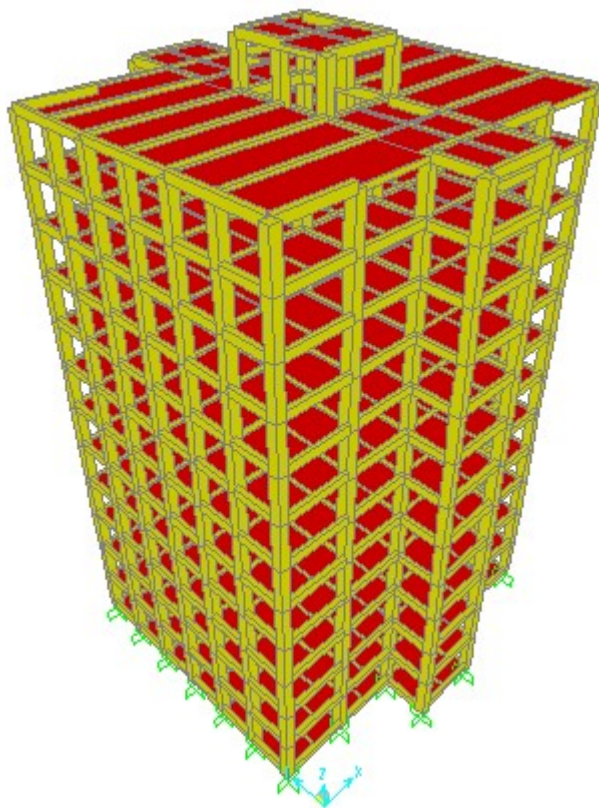
Penulangan Balok Anak 30/40								
Gaya Dalam	Tumpuan		Lapangan		Geser			
		93,025 kNm		69,76 kNm		39.559 kN		
Tarik	4D	16	4D	16	Tumpuan	2Ø	10-	150
Tekan	2D	16	2D	16	Lapangan	2Ø	10-	150

4.3 Pembebanan dan Pemodelan Struktur

4.3.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 1727:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012.

4.3.2 Pemodelan Struktur



Gambar 4. 11 Permodelan pada SAP 2000

4.3.3 Pembebanan Gravitasi

Data-data perencanaan pembebanan Gedung parametrik digunakan adalah sebagai berikut :

1. Mutu beton (f_c') : 30 MPa
2. Mutu Baja (f_y) : 400 MPa
3. Mutu Baja Transversal : 400 MPa
4. Ketinggian Lantai : @4m
5. Dimensi Balok Induk : 40/70

- 6. Dimensi Balok Anak : 30/40
- 7. Dimensi Kolom : 80 x 80
- Input beban hidup :
- a. Beban Hidup Atap
 - Hujan : 20 kg/m²
 - Pekerja : 100 kg/m²
- b. Beban Hidup Lantai :
 - Lantai Kantor : 2,40 kN/m²
- Input Beban mati tambahan :
 - Keramik : 0,24 kN/m²
 - Spesi : 0,21 kN/m²
 - Dinding bata ringan : 0,82 kN/m²
 - Plafon : 0,11 kN/m²
 - Penggantung : 0,07 kN/m²
 - Plumbing + ducting : 0,30 kN/m²

*berat sendiri elemen dikalkulasi oleh SAP 2000, sehingga didapatkan rekap pembebanan gravitasi sesuai SAP 2000

4.3.4 Pembebanan Gempa

Dalam pembebanan gempa untuk gedung parametrik ini menggunakan acuan SNI 1726:2016, yang didalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa

4.3.4.1 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung parametrik ini adalah II yaitu sesuai fungsi kantor dengan faktor keutamaan gempa (I_e) 1,00.

4.3.4.2 Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Pada Studi ini data tanah yang digunakan berada di **Kota Surabaya** dan didapatkan nilai N (tes NSPT) kedalaman 30 m

Tabel 4. 6 Perhitungan SPT Rata-Rata

Lapisan ke-i	tebal lapisan (m)	Nilai SPT (N)	di/Ni
1	1		
2	3,5	19,5	0,17949
3	6	13,33	0,45
4	3,5	21,5	0,16279
5	3,5	29,5	0,11864
6	4	27	0,14815
7	6	39,33	0,15254
8	2,5	27,5	0,09091
Σ	30		1,30252

Sehingga didapat nilai \bar{N} sebagai berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}}$$

$$\bar{N} = \frac{30}{1,3025}$$

$$\bar{N} = 23,03$$

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 3, $15 < N < 50$ maka tanah termasuk kelas situs SD (Tanah Sedang)

4.3.4.3 Parameter Respon Spectra

Direncanakan bangunan berumur 2% dalam 50 tahun (gempa 2500 tahun). Lokasi berada di kota Surabaya.

$S_s = 0,6$ g dan $S_1 = 0,2$ g

4.3.4.4 Parameter Percepatan Spectral Desain

Parameter percepatan spectra didisain untuk periode pendek 0,2 detik (SD_s) dan periode 1 detik (SD_1) adalah sebagai berikut:

(Fa) = 1,32 sesuai SNI 1726:2012 tabel 4

(Fv) = 2 sesuai SNI 1726:2012 tabel 5

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 didapat :

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,32 \times 0,6 = 0,792$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2 \times 0,2 = 0,4$$

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 didapat :

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,792 = 0,528$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,4 = 0,267$$

Untuk perioda pendek 0.2 detik (S_s) sebesar **0,60** g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (S_1) sebesar **0,20** g dengan kelas situs SD didapatkan daerah Denpasar memiliki S_{DS} sebesar **0,528** dan S_{D1} sebesar **0,267**

4.3.4.5 Kategori Desain Seismic

Kategori desain seismic dibagi berdasarkan tabel pada SNI 1726:2012 Tabel 6 dan tabel 7 yaitu $0,5 \leq S_{DS}$, $0,2 \leq S_{D1}$. Untuk S_{DS} sebesar 0,528 dan S_{D1} sebesar 0,267 dan kategori resiko II kategori desain seismic tergolong kategori D.

Berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2013 maka struktur dapat didesain dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK). Dengan itu didapatkan parameter koefisien modifikasi respon (R), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) yaitu :

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

4.3.4.6 Respon Spektrum Desain

Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

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

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain

$$S_a = S_{DS}$$

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 6.4 didapatkan :

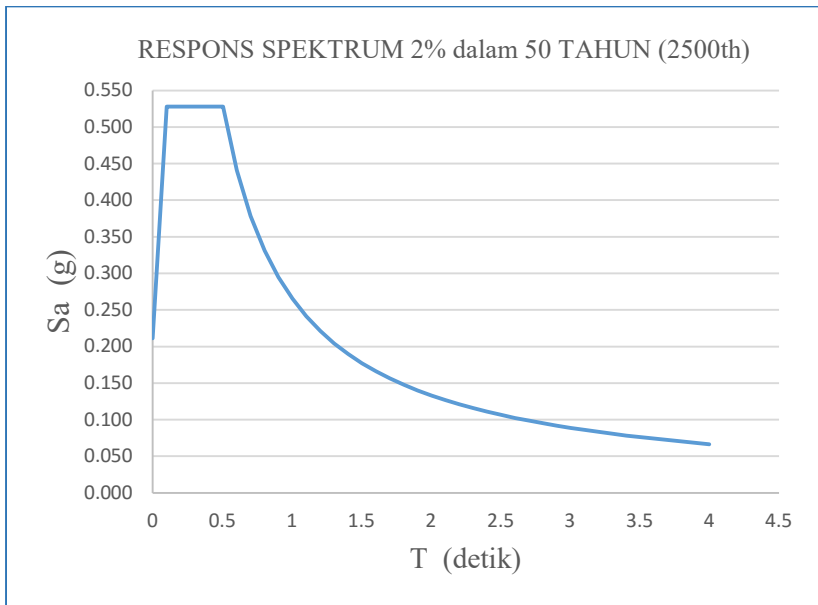
$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \cdot \frac{0,267}{0,528} = 0,101 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{Sd1}{Sds} = \frac{0,267}{0,528} = 0,505 \text{ detik}$$

Tabel 4. 7 Nilai Periode Fundamental (T) dan Percepatan Respon Spektra

T	T	Sa
(detik)	(detik)	(g)
0	0	0.211
To	0.101	0.528
Ts	0.505	0.528
Ts+0,1	0.605	0.441
Ts+0,2	0.705	0.378
Ts+0,3	0.805	0.331
Ts+0,4	0.905	0.295
Ts+0,5	1.005	0.265
Ts+0,6	1.105	0.241
Ts+0,7	1.205	0.221
Ts+0,8	1.305	0.204
Ts+0,9	1.405	0.190
Ts+1,0	1.505	0.177
Ts+1,1	1.605	0.166
Ts+1,2	1.705	0.156
Ts+1,3	1.805	0.148
Ts+1,4	1.905	0.140
Ts+1,5	2.005	0.133
Ts+1,6	2.105	0.127
Ts+1,7	2.205	0.121
Ts+1,8	2.305	0.116
Ts+1,9	2.405	0.111

T _s +2,0	2.505	0.106
T _s +2,1	2.605	0.102
T _s +2,2	2.705	0.099
T _s +2,3	2.805	0.095
T _s +2,4	2.905	0.092
T _s +2,5	3.005	0.089
T _s +2,6	3.105	0.086
T _s +2,7	3.205	0.083
T _s +2,8	3.305	0.081
T _s +2,9	3.405	0.078
4	4.000	0.067



Gambar 4. 12 Grafik respon spektrum Desain

4.3.4.7 Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Respon Spektrum SAP 2000 untuk SRPMK

Faktor skala gaya gempa diambil dari persamaan sebagai berikut:

$$\text{Faktor pembebanan} = \frac{I}{R} g = \frac{1}{8} \times 9,81 = 1,226$$

Faktor beban tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan dikenakan gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau sehingga faktor skala gaya pada arah tegak lurus gempa yang ditinjau adalah $0,3 \times 1,226 = \mathbf{0,368}$.

4.3.4.8 Kontrol Waktu getar Alami Fundamental

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 15 dengan batas bawah sebesar :

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

Dimana :

h_n = Ketinggian struktur

C_t = Parameter pendekatan tipe struktur

x = Parameter pendekatan tipe struktur

Untuk nilai parameter perioda pendekatan dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. 8 Nilai Parameter Perioda Pendekatan, C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Untuk nilai struktur beton SRPMK didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. sehingga :

$$T_a = 0,0466 \times (48 \text{ m})^{0,9} = 1,5188 \text{ detik}$$

Dengan batas atas perioda fundamental struktur berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 14 sebesar :

Tabel 4.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter Percepatan Respon Spektral Desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Karena nilai $S_{D1} = 0,267$ diantara $C_u 0,4$ dan $C_u 0,3$ sehingga nilai C_u :

$$C_u = 1,4 + \frac{(0,267 - 0,3) \times (1,5 - 1,4)}{(0,2 - 0,3)}$$

$$C_u = 1,44$$

$$C_u \cdot T_a = 1,43 \cdot 1,5188 \text{ detik} = 2,172 \text{ detik}$$

Dari permodelan pada SAP 2000 didapatkan :

Tabel 4. 10 Perioda Struktur pada Modal di Program SAP 2000 untuk 12 Mode Pertama

Output Case	Step Type	Step Num	Period	Frequency	Circ Freq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
MODAL	Mode	1	1.910	0.524	3.290	10.821
MODAL	Mode	2	1.613	0.620	3.896	15.180
MODAL	Mode	3	1.582	0.632	3.971	15.766
MODAL	Mode	4	0.615	1.625	10.213	104.300
MODAL	Mode	5	0.525	1.903	11.957	142.970
MODAL	Mode	6	0.515	1.943	12.208	149.020
MODAL	Mode	7	0.346	2.892	18.171	330.180

MODAL	Mode	8	0.300	3.332	20.937	438.370
MODAL	Mode	9	0.295	3.393	21.317	454.410
MODAL	Mode	10	0.232	4.318	27.133	736.220
MODAL	Mode	11	0.207	4.838	30.395	923.870
MODAL	Mode	12	0.200	4.999	31.406	986.350

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut :

$$\begin{array}{rcl}
 T & \leq & \text{Cu.Ta} \\
 1,910 \text{ s} & \leq & 2,172 \text{ s} \qquad \text{OK}
 \end{array}$$

4.3.4.9 Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Kontrol gaya dinamis struktur digunakan untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan *respon spectrum* sudah sesuai dengan yang di isyaratkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.1. Untuk kontrol gaya gempa dasar dinamis ditentukan koefisien C_s adalah sebagai berikut :

1. Nilai C_s minimum

$$C_{s\min} = 0,044 S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$C_{s\min} = 0,044 \cdot 0,528 \cdot 1,00 \geq 0,01$$

$$C_{s\min} = 0,0232 \geq 0,01$$

2. Nilai C_s

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,528}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,066$$

3. Nilai C_s max

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,267}{1,910 \cdot \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0170$$

Kontrol :

$$\begin{array}{rcl}
 C_s \min & < & C_s & < & C_s \max \\
 0,0232 & < & 0,066 & > & 0,0170 \qquad \text{(No Ok)}
 \end{array}$$

Maka digunakan C_s min Sebagai nilai C_s yaitu 0,0232

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana :

C_s = Koefisien respon seismic

W_t = Total beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup

Tabel 4. 11 Berat Struktur dari Base Reaction Fz untuk Beban Mati, Beban Mati Tambahan dan Beban Hidup

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights				
GroupName	SelfMass	SelfWeight	TotalMassX	TotalMassY
Text	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	10015.41	98217.6	10015.41	10015.41

Maka diperoleh berat struktur 98217.6 kN

$$\begin{aligned} V &= C_s \cdot W_t \\ &= 0,0232 \times 98217.6 \text{ kN} \\ &= 2278,648 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_t}$ (SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1). Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 didapatkan gaya geser dasar ragam (V_t)

Tabel 4. 12 Gaya Geser Dasar Hasil SAP 2000

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
QUAKE X	LinRespSpec	Max	3733.826	6049.063
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	6049.063	4391.465

$$V = 2278,648 \text{ kN}$$

$$V_{tx} = 3733.826 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 4391.465 \text{ kN}$$

Untuk Arah x :

$V_{tx} > 0,85 V$
 3733,826 kN > 0,85. 2278,648 kN
 3733,826 kN > 1936,85 kN OK

Untuk Arah y :

$V_{ty} > 0,85 V$
 4391.465 kN > 0,85. 2278,648 kN
 4391.465 kN > 1936,85 kN OK

4.3.4.10 Kontrol Partisipasi Masa

Sesuai dengan SNI 1726:2012, Perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total sekurang-kurangnya adalah 90%.

Tabel 4. 13 Jumlah Respon Ragam

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Output Case	Step Type	Step Num	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.92589	0.76719	0.00000
MODAL	Mode	2	1.62507	0.76719	0.77114
MODAL	Mode	3	1.58757	0.76719	0.77116
MODAL	Mode	4	0.62039	0.86456	0.77116
MODAL	Mode	5	0.52945	0.86456	0.87049
MODAL	Mode	6	0.51640	0.86456	0.87049
MODAL	Mode	7	0.34881	0.90112	0.87049
MODAL	Mode	8	0.30235	0.90112	0.90569
MODAL	Mode	9	0.29577	0.90112	0.90569
MODAL	Mode	10	0.23370	0.92143	0.90569
MODAL	Mode	11	0.20823	0.92143	0.92470
MODAL	Mode	12	0.20078	0.92143	0.92470

4.3.4.11 Kontrol Simpangan Antar Lantai (Drift)

Untuk mengetahui besarnya simpangan antar lantai perlu dicari terlebih dahulu nilai perpindahan elastis, δ_{xe} dari analisis struktur. Setelah itu nilai δ_{xe} dikalikan dengan faktor pembesaran C_d/I_e . Setelah itu dapat diketahui besarnya simpangan antar tingkat yang merupakan selisih nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada suatu tingkat dengan nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada tingkat dibawahnya. Nilai simpangan ini selanjutnya dikontrol terhadap batas simpangan. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{ex}}{I_e} \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.6})$$

Dimana :

C_d = Faktor pembesaran defleksi = 5,5

δ_{xe} = Defleksi pada lantai x yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan = 1

Pada Pasal 7.9.3 SNI 1726-2012 dijelaskan untuk defleksi antar lantai dijelaskan sesuai persamaan

$$\Delta_i = \frac{(\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)}) \cdot C_d}{I_e}$$

δ_{ei} = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e(i-1)}$ = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan di bawahnya

Δ_i = Simpangan antar lantai tingkat desain

$\Delta_i < \Delta_a$

Δ_a = Simpangan antar lantai tingkat ijin

Untuk nilai simpangan antar lantai ijin, Δ_a , berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 16 diperoleh sebagai berikut :

Tabel 4. 14 Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

h_{sx} = tinggi setiap lantai

Δa = 0,020 h_{sx}

= 0,020 4000 mm

= 80 mm

1 Analisa simpangan antar lantai gempa arah X

Tabel 4.15 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X

Lantai	Elevasi (m)	h_i (m)	δ_{ei} (mm)	Δ_i (mm)	Δ_a (mm)	Ket (mm)
Atap	48	4	20.963	2.848	80	OKE
13	44	4	20.445	4.588	80	OKE
11	40	4	19.611	6.321	80	OKE
10	36	4	18.462	7.863	80	OKE
9	32	4	17.032	9.229	80	OKE
8	28	4	15.354	10.482	80	OKE
7	24	4	13.448	11.677	80	OKE
6	20	4	11.325	12.823	80	OKE

5	16	4	8.994	13.847	80	OKE
4	12	4	6.476	14.449	80	OKE
3	8	4	3.849	13.570	80	OKE
2	4	4	1.382	7.599	80	OKE
1	0	4	0.000	0.000	80	OKE

2 Analisa simpangan antar lantai gempa arah Y

Tabel 4.16 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis
Arah Y

Lantai	Elevasi (m)	h_i (m)	δ_{ei} (mm)	Δ_i (mm)	Δ_a (mm)	Ket (mm)
Atap	48	4	17.793	2.846	80	OKE
13	44	4	17.275	4.062	80	OKE
11	40	4	16.537	5.436	80	OKE
10	36	4	15.548	6.670	80	OKE
9	32	4	14.336	7.753	80	OKE
8	28	4	12.926	8.736	80	OKE
7	24	4	11.338	9.671	80	OKE
6	20	4	9.579	10.574	80	OKE
5	16	4	7.657	11.406	80	OKE
4	12	4	5.583	11.995	80	OKE
3	8	4	3.402	11.626	80	OKE
2	4	4	1.288	7.087	80	OKE
1	0	4	0.000	0.000	80	OKE

4.4 Perhitungan Struktur Utama

4.4.1 Umum

Perencanaan struktur primer ini meliputi perencanaan balok induk, kolom, dan hubungan balok kolom. Perhitungan yang dilakukan mengacu pada ketentuan SNI 1726-2012, yang didalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.4.2 Perhitungan Penulangan Balok Induk

Dalam perhitungan balok Induk didapatkan gaya dalam dan diagram gaya dari analisa program SAP 2000 yang memodelkan struktur yang ditinjau. Pada hasil analisa SAP 2000 digunakan data yang menunjukkan analisa gaya-gaya terbesar dari semua frame balok pada struktur bangunan, sehingga didapatkan hasil gaya terbesar dengan kombinasi yang digunakan yaitu Envelope.

Tabel 4.17 Hasil Output SAP (Denah 1, f_c' 30 MPa, Kolom (800x800))

Mu	Tumpuan Kiri (-)	329.886	kNm
	Tumpuan Kiri (+)	54.906	kNm
	Lapangan	107.798	kNm
	Tumpuan Kanan (-)	266.366	kNm
	Tumpuan Kanan (+)	85.247	kNm
Momen Torsi (Tu)		140.850	kNm
Vu (Envelope)		184.542	N

4.4.2.1 Data – data perencanaan

Ket Balok Induk Melintang	: Frame 6(E-F)
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 700 mm
Bentang balok (L)	: 6000 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat Leleh Tul. Lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat Leleh Tul. Geser (f_{yv})	: 400 Mpa
Diameter Tulangan Lentur	: D22
Diameter Tulangan Geser	: D13

Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
Faktor reduksi lentur (ϕ)	: 0,8
Faktor reduksi Geser dan Torsi (ϕ)	: 0,75

A. Tinggi efektif balok :

$d = h - \text{decking} - D \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tul. lentur}$

$$d = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm}\right)$$

$$d = 636 \text{ mm}$$

B. Tulangan Minimum dan Maksimum.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

Rasio Tulangan Minimum dipilih berdasarkan yang paling besar dari persamaan di bawah ini :

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

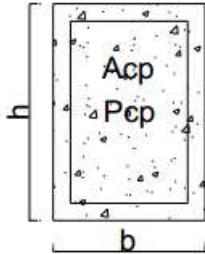
$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0325 = 0,0243$$

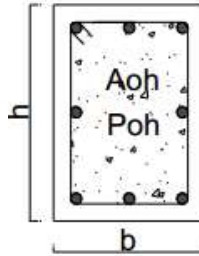
4.4.2.2 Perhitungan Tulangan Balok Induk

A. Perhitungan Tulangan Torsi

Kontrol kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan punter. Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/70



Gambar 4. 13 Luasan (Acp) dan Keliling (Pcp)



Gambar 4. 14 Luasan (Aoh) dan Keliling (Poh)

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\ &= 280000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\ &= (400\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 13\text{mm}) \times (700\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 13\text{mm}) \\ &= 186349\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\ &= 2 \times [(400\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 13\text{mm}) + (700\text{mm} - 2 \cdot 40\text{mm} - 13\text{mm})] \\ &= 1828 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

$$\begin{aligned} \text{Akibat kombinasi} &= \text{Envelope} \\ T_u &= 140850021 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\Phi}$$

$$T_n = \frac{140850021 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$T_n = 187800028 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

$$V_u = 184542,44 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{280000^2}{2200} \right)}{12} \\ &= 12150478 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{30} \left(\frac{280000^2}{2200} \right)}{3} \\ &= 48309130 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

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

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

$T_{u \text{ min}} < T_u$

$12150478 \text{ Nmm} < 48309130 \text{ Nmm} \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 \cdot A_{oh}} \right)^2} &\leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1\sqrt{f_c'}}{6} \right) + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}} \\ \sqrt{\left(\frac{184542,44}{400 \cdot 639} \right)^2 + \left(\frac{48309130 \cdot 1828}{1,7 \cdot 186349} \right)^2} &\leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1\sqrt{30}}{6} \right) + \frac{2\sqrt{30}}{3}} \end{aligned}$$

$0,578 \leq 3,184 \dots$ Memenuhi

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned}A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 186349 \text{ mm}^2 \\ &= 158396,65 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \text{Cot} \theta} \\ &= \frac{18787800028}{2 \times 158396,65 \times 240 \times \text{Cot} 45} \\ &= 2,47\end{aligned}$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &\geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}} \\ 2,47 &\geq \frac{0,175 \times 400}{240}\end{aligned}$$

$$2,47 \geq 0,291$$

Maka A_t/s dipakai = 0,291

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot \text{Ph} \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \text{Cot}^2 \theta$$

$$A_l = 2,47 \times 1804 \left(\frac{240}{400} \right) \text{Cot}^2 45$$

$$A_l = 319,90 \text{ mm}^2$$

$$A_{l \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} \text{Ph} \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$\begin{aligned}A_{l \min} &= \frac{5 \times 280000 \sqrt{30}}{12 \times 400} - 0,291 \times 1828 \times \frac{240}{400} \\ A_{l \min} &= 1290,40 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$A_{l_{perlu}} \leq A_{l_{min}}$ maka gunakan $A_{l_{min}}$

$A_{l_{perlu}} \geq A_{l_{min}}$ maka gunakan $A_{l_{perlu}}$

$A_{l_{perlu}} < A_{l_{min}}$

$319,90 \text{ mm}^2 < 1290 \text{ mm}^2 \rightarrow$ maka gunakan $A_{l_{min}}$

Maka tulangan torsi perlu sebesar $1290,40 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada panampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1290,40 \text{ mm}^2}{4} = 322,60 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar $= 322,60 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{322,60 \text{ mm}^2}{4} = 645,20 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 4D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times 4 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$804,57 \text{ mm}^2 \geq 645,20 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 4D16

B. Perhitungan Tulangan Lentur

Untuk perhitungan penulangan lentur balok di daerah tumpuan kanan dan kiri disamakan. Sehingga nilai momen untuk daerah tumpuan diambil yang terbesar.

Tumpuan Negatif (Tarik)

$M_u = 329885991 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{329885991 \text{ Nmm}}{0,8} = 412357488,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{412357488.8 \text{ Nmm}}{400 \times 636^2} = 2,55$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,55}{400}} \right) \\ &= 0,00673 \end{aligned}$$

Cek :

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

$$0,0034 < 0,00673 < 0,0243 \quad \text{OK}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d + A_t$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (0,00673 \times 400 \times 636) + 645,20 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 2356,38 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D22) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 22^2 = 379.94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s (D22)} = \frac{2356,38 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2} = 6,196 \approx 7 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **7D22** → **A_s Pakai 2662,00 mm²**

Cek :

$$A_{s \text{ Pakai}} > A_{s \text{ Perlu}}$$

$$1901,43 \text{ mm}^2 > 1711,18 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 5 buah

lapis 2 = 2 buah

Kontrol Jarak tulangan :

$$S = \frac{b - 2t_{\text{selimut}} - 2\phi_{\text{geser}} - n n_{\text{Lentur}}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.13 - 5.22}{5 - 1}$$

$$S = 46 \text{ mm}$$

Kontrol :

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

$$46 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$$

OK

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \frac{A_{s\text{pakai}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} = \frac{2662 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 400 \text{ mm}} = 104,39 \text{ mm}$$

$$M_{n\text{pasang}} = A_{s\text{pakai}} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2662 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} \left(636 \text{ mm} - \frac{104,39 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 621,634 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 621,634 \text{ kNm}$$

$$= 559,470 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\phi M_n > M_u$$

$$559,470 \text{ kNm} > 329,886 \text{ kNm}$$

OK

Tumpuan Positif (Tekan)

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik, maka sebagai berikut :

$$A_s \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times \text{lentur tumpuan (-)}$$

$$A_{s'} = \frac{A_s \text{ perlu}}{2}$$

$$A_{s'} = \frac{2356,38 \text{ mm}^2}{2}$$

$$A_{s'} = 1178,19 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s' \text{ perlu}}}{A_s \text{ (D22)}} = \frac{1178,19 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2} = 3,10 \approx 4 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **4D22** → **A_{s Pakai} 1521,14 mm²**

Cek :

$A_{s \text{ Pakai}} > A_{s \text{ Perlu}}$

$$1521,14 \text{ mm}^2 > 1178,19 \text{ mm}^2$$

OK

Kontrol Jarak tulangan :

$$S = \frac{b - 2t_{\text{selimut}} - 2\phi_{\text{geser}} - n n_{\text{Lentur}}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.13 - 4.22}{2 - 1}$$

$$S = 68,67 \text{ mm}$$

Kontrol :

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

$$68,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$$

OK

Lapangan Tarik

Momen ultimate lapangan (SAP) = 110,843 kNm

$M_u = 110843033,6 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{110843033,6 \text{ Nmm}}{0,8} = 138553792 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{138553792 \text{ Nmm}}{400 \times 636^2} = 0,856$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,856}{400}} \right) \\ &= 0,0022 \end{aligned}$$

Cek :

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

$$0,00342 > 0,0022 < 0,0243$$

NO OK

Karena memenehi maka dipakai nilai ρ_{min} .

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d + A_t$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (0,00342 \times 400 \times 636) + 645,20 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 1535,60 \text{ mm}^2$$

$$A_s (\text{D22}) = 0,25 \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s (\text{D22})} = \frac{1535,60 \text{ mm}^2}{379,94 \text{ mm}^2} = 4,04 \approx 5 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **5D22** → $A_{s \text{ Pakai}} \mathbf{1901,43 \text{ mm}^2}$

Cek :

$$A_{s \text{ Pakai}} > A_{s \text{ Perlu}}$$

$$1901,43 \text{ mm}^2 > 1535,60 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Kontrol Jarak tulangan :

$$S = \frac{b - 2t_{\text{selimut}} - 2\phi_{\text{geser}} - n n_{\text{Lentur}}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.13 - 5.22}{3 - 1}$$

$$S = 46 \text{ mm}$$

Kontrol :

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

$$46 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Kemampuan Penampang :

$$a = \frac{A_{s_{\text{pakai}}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} = \frac{1901,43 \text{ mm} \cdot 2.400 \text{ MPa}}{0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 400 \text{ mm}} = 74,57 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{s_{\text{pakai}}} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1901,43 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} \left(636 \text{ mm} - \frac{74,57 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 455,367 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 455,367 \text{ kNm}$$

$$= 409,830 \text{ kNm}$$

Cek :

$$\phi M_n > M_u$$

$$409,830 \text{ kNm} > 110,843 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Lapangan Tekan

$$As' = \frac{As \text{ perlu}}{2}$$

$$As' = \frac{1535,60 \text{ mm}^2}{2}$$

$$As' = 768,80 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{As' \text{ perlu}}{As (D22)} = \frac{768,80 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2} = 3,72 \approx 4 \text{ bh}$$

Jadi dipasang Tulangan **4D22** → **As Pakai 1521,14 mm²**

Cek :

$$As \text{ Pakai} > As \text{ Perlu}$$

$$1521,14 \text{ mm}^2 > 768,80 \text{ mm}^2$$

OK

Kontrol Jarak tulangan :

$$S = \frac{b - 2t_{\text{selimut}} - 2\phi_{\text{geser}} - n n_{\text{Lentur}}}{n - 1}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 2.13 - 4.22}{2 - 1}$$

$$S = 68,67 \text{ mm}$$

Kontrol :

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

$$68,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$$

OK

C. Perhitungan Tulangan Geser

Momen Nominal Kiri

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

$$As \text{ pasang} = 2662,00 \text{ mm}^2$$

$$A' \text{ pasang} = 1521,14 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \text{ pasang} \times 1,25 \cdot fy}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$a = \frac{2662,00 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 130,49 \text{ mm}$$

$$Mn_{kiri} = As \text{ pasang} \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn_{kiri} = 2662,00 \times 400 \times 1,25 \left(636 - \frac{130,49}{2} \right)$$

$$Mn_{kiri} = 607739819,61 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kanan

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

$$As \text{ pasang} = 2662,00 \text{ mm}^2$$

$$A' \text{ pasang} = 1521,14 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \text{ pasang} \times 1/25 \times fy}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$a = \frac{1521,14 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a = 59,65 \text{ mm}$$

$$Mn_{kanan} = A's' \text{ pasang} \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn_{kanan} = 1900,6 \times 400 \times 1,25 \left(636 - \frac{93}{2} \right)$$

$$Mn_{kanan} = 368830699 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output SAP akibat kombinasi 1,2D+L

$$Vu = 78452,00 \text{ N}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + \frac{Wu \times Ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu$$

[SNI 2847:2013 pasal 11.3.2.3]

Maka

$$Vu1 = \frac{607739819,61 \text{ Nmm} + 368830699 \text{ Nmm}}{(6000\text{mm} - 800\text{mm})} + 78452,00 \text{ N}$$

$$Vu1 = 235588,29 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton(f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh lebih dari 25/3 Mpa

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \dots \text{memenuhi}$$

Kuat geser beton

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 636$$

$$V_c = 225035,099 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times 400 \times 636$$

$$V_{s_{\min}} = 83952 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 636$$

$$V_{s_{\max}} = 459824,041 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 400 \times 636$$

$$V_{s_{\max}} = 928937,46 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Wilayah penulangan geser balok dibagi menjadi 2 bagian:

1. Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom
2. Wilayah lapangan dimulai dari wilayah akhir tumpuan sampai ke tengah bentang balok

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah tumpuan
 $V_{u1} = 235588,29 \text{ N}$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser
 $235588,29 \text{ N} \geq 84388,1 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan geser minimum
 $84388,16 \text{ N} \leq 235588,29 \text{ N} \geq 168776,32 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \rightarrow$ Tulangan geser minimum
 $168776,32 \text{ N} \leq 235588,29 \text{ N} \geq 231740,3 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 4

$\emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $231740,3 \text{ N} \leq 235588,29 \text{ N} \leq 513644,355 \text{ N}$ (Memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_s \text{ max}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser
 $231740,3 \text{ N} \geq 235588,29 \text{ N} \leq 86739,351 \text{ N}$ (Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{235588,29 \text{ N} - 225035,099 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 89082,626 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø13 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (13^2) \times 2$$

$$= 265,57 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{265,57 \times 240 \times 636}{89082,626}$$

$$S_{\text{perlu}} = 455,05 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$125 < \frac{636}{2}$$

$$125 \text{ mm} < 318 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø13-125 mm dengan 2 kaki

Cek persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok pada ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah

tengah bentang. Senggang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum senggang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $d/4 = \frac{636 \text{ mm}}{4} = 160 \text{ mm}$
- $6 \times D \text{ lentur}$
 $= 6 \times 22$
 $= 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka S pakai tidak boleh lebih dari 132 mm

Spakai < 132 mm

125 mm < 132 mmmemenuhi

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø13-100 mm dengan senggang 2 kaki

2. Pada wilayah (Daerah Lapangan)

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

$$\frac{Vu2}{\frac{1}{2} \ln - 2h} = \frac{Vu1}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \left(\frac{1}{2} \ln - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln}$$

$$Vu2 = \frac{235588,29 \left(\frac{1}{2} \times 6000 - 2 \times 700 \right)}{\frac{1}{2} \times 6000}$$

$$Vu2 = 108733,06 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \quad \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser

$108733,06 \text{ N} \geq 84388,1 \text{ N}$ (Tidak memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Perlu tulangan geser minimum
 $84388,16 \text{ N} \leq 108733,06 \text{ N} \geq 168776,32 \text{ N}$ (Memenuhi)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser
 $168776,32 \text{ N} \leq 108733,06 \text{ N} \geq 231740,3 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Kondisi 4

$\emptyset(V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser
 $231740,3 \text{ N} \leq 108733,06 \text{ N} \leq 513644,355 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Kondisi 5

$\emptyset(V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_s \text{ max}) \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser
 $231740,3 \text{ N} \geq 108733,06 \text{ N} \leq 858512,386 \text{ N}$ (Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2.

$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min}$

$V_s \text{ perlu} = 83952 \text{ N}$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 13 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (13^2) \times 2 \\ &= 265,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ S_{\text{perlu}} &= \frac{265,57 \times 240 \times 636}{83952} \\ S_{\text{perlu}} &= 482,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 2

$$S_{\max} < \frac{d}{2}$$

$$200 < \frac{636}{2}$$

$$200 \text{ mm} < 318 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\max} < 600$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang $\varnothing 13$ -200 mm dengan sengkang 2 kaki

D. Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan **SNI 2847:2013 pasal 12**.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

$$\text{As perlu} = 2356,38 \text{ mm}^2 \quad f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{As pasang} = 2662,00 \text{ mm}^2 \quad \Psi_e = 1$$

$$D_b = 22 \text{ mm} \quad \Psi_t = 1$$

$$f_c = 30 \text{ Mpa} \quad \lambda = 1$$

Perhitungan :

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \right) 22$$

$$l_d = 945,1 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{2356,38}{2662,00} \times 945,1$$

$$l_d = 850,53 \text{ mm} \approx 850 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$850 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 850 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

$$A_s \text{ perlu} = 2356,38 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$A_s \text{ pasang} = 2662,00 \text{ mm}^2$$

$$\Psi_e = 1$$

$$D_b = 22 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1$$

$$F_c = 30 \text{ Mpa}$$

Perhitungan :

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{30}} \right) 22$$

$$l_{dh} = 386 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{2356,38}{2662,00} \times 386$$

$$l_d = 347,38 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$350 \text{ mm} \geq 8 \times 22$$

$$350 \text{ mm} \geq 176 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

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

$$350 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 350 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 300 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 350 dan panjang kait 300 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran perlu

Properti

$$A_s \text{ perlu} = 1178,19 \text{ mm}^2 \quad f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$A_s \text{ pasang} = 1521,14 \text{ mm}^2 \quad F_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$D_b = 22 \text{ mm} \quad \lambda = 1$$

Perhitungan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24f_y}{\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \right) 22$$

$$l_{dc} = 385 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 22$$

$$l_{dc} = 378 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 385 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{1178,19}{1521,14} \times 385$$

$$l_{dc} = 263,99 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \text{} \textit{memenuhi}$$

Maka dipakai panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 300 mm.

4.4.3 Perhitungan Penulangan Kolom

Berikut akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan P_u ultimate terbesar. Sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As 6-E. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output kolom dalam metode SRPMK, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom sebagai berikut :

4.4.3.1 Data – Data Perencanaan

Tipe kolom	: K(800 x 800)
As kolom	: 6-E
Tinggi kolom	: 4000 mm
b kolom	: 800 mm
h kolom	: 800 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 40 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y lentur)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 13 mm
Tebal selimut beton (decking)	: 50 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
Faktor β_1	: 0,77

Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ) : 0,65
 Faktor reduksi kekuatan geser (Φ) : 0,75

Gaya geser maksimum $V_e = 104,172$ kN

Cek persyaratan struktur penahan gempa

$$\frac{A_g \times f_c}{10} < P_u$$

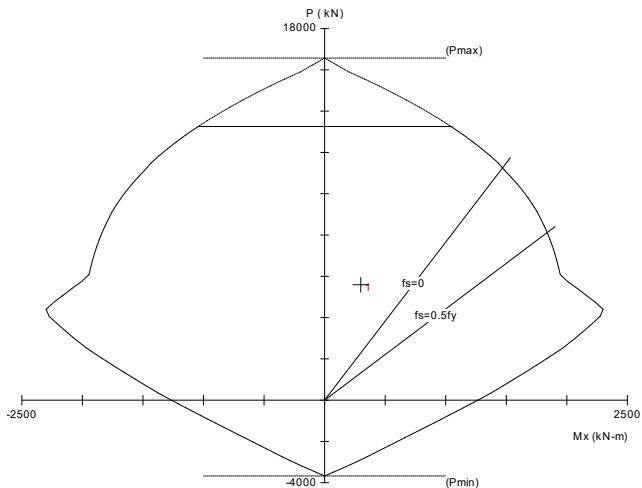
$$\frac{800 \times 800 \times 40}{10} < 5591416 \text{ N}$$

2840000 N < 5591416 N (*Memenuhi*)

4.4.3.2 Perhitungan penulangan lentur

Penulangan lentur kolom menggunakan program bantu *pcaColumn*.

Direncanakan tulangan lentur pasang 20 D 25 dengan $A_s = 9817,4$ mm², dengan output sebagai berikut



Gambar 4. 15 Diagram interaksi P-M kolom K1 atas as 2-D

Dari diagram diatas diketahui bahwa diagram kapasitas kolom menunjukkan kemampuan kolom telah memenuhi dengan rasio

tulangan $\rho = 1,59 \%$. Dari persyaratan SNI 2847:2013 pasal 10.9.1 dinyatakan bahwa struktur tekan memiliki rasio izin tulangan antara 1% - 8 %, maka penulangan lentur hasil desain telah memenuhi.

Aksial kolom

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \times \Phi \times (0,85cfc' (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}) \\ &= 0,85 \times 0,65 \times (0,85 \times 40(800 \times 800 - 9817,4) + 400 \times 9817,4) \\ &= 14007625,54 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 5591416 \text{ N}$$

$$\phi P_n > P_u \text{ max}$$

$$14007625,54 \text{ N} > 5591416 \text{ N (Memenuhi)}$$

4.4.3.3 Perhitungan penulangan geser

Gaya geser desain, V_e , kolom ditentukan dari M_{pr} ujung-ujung kolom sesuai output program `pcaColumn`. Nilai V_e akibat M_{pr} kolom tidak perlu diambil lebih besar dari V_e akibat M_{pr} balok-balok yang merangka pada join.

GESER TUMPUAN

Geser desain akibat M_{pr} kolom

M_{pr} hasil output `pcaColumn`

16	6689.0	60.0	159.0	1160.0	3074.1	19.334
17	8549.0	23.0	47.0	1460.2	2983.9	63.487
18	5778.0	111.0	113.0	2131.7	2170.1	19.205
19	9460.0	75.0	1.0	3841.3	51.2	51.217
20	5778.0	111.0	113.0	2131.7	2170.1	19.205
21	9460.0	75.0	1.0	3841.3	51.2	51.217
22	3971.0	2.0	21.0	289.0	3034.5	144.501
23	4012.0	0.0	19.0	-0.0	3111.0	163.735

Gambar 4. 16 Output gaya kolom atas as 6-E

16	6746.0	146.0	445.0	1038.6	3165.7	7.114
17	8606.0	161.0	562.0	955.4	3334.8	5.934
18	5835.0	422.0	204.0	2832.7	1369.4	6.713
19	9517.0	436.0	321.0	2629.3	1935.8	6.031
20	5835.0	422.0	204.0	2832.7	1369.4	6.713
21	9517.0	436.0	321.0	2629.3	1935.8	6.031
22	4010.0	9.0	14.0	1550.1	2411.1	172.230

Gambar 4. 17 Output gaya kolom bawah as 6-E

Catatan : Momen probable output pcaColumn adalah Mpr dengan faktor reduksi $\Phi = 1$

Dari hasil output di atas maka didapatkan gaya Mpr kolom yaitu :

$$\text{Mpr atas} = 3111 \text{ kNm}$$

$$\text{Mpr bawah} = 2411,2 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} V_{ul} &= \frac{M_{pr \text{ atas}} + M_{pr \text{ bawah}}}{h} \\ &= \frac{3111 \text{ kNm} + 2411,2 \text{ kNm}}{4 \text{ m}} \\ &= 1380,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

Geser desain akibat Mpr balok

Data balok yang merangka ke join :

$$\text{As} = 1901,43 \text{ mm}^2 \quad d = 636 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 1520,5 \text{ mm}^2 \quad f_c = 40 \text{ Mpa}$$

Mpr balok-balok yang merangka

M_{pr1}

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1901,43 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 40 \times 400} \\ &= 69,906 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= \text{As pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1901,43 \times 400 \times 1,25 \left(639 - \frac{69,906}{2} \right) \\ &= 574276543,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

M_{pr2}

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As pasang} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1520,5 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 40 \times 400} \end{aligned}$$

$$= 55,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \text{ pasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1520,5 \times 400 \times 1,25 \left(639 - \frac{55,9}{2}\right) \\ &= 462270012,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u2} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_u} \\ &= \frac{574276543,6 + 462270012,5}{(6000 - 800)} \\ &= 200,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek kondisi desain geser

- Geser desain akibat kolom tidak perlu lebih dari geser desain akibat balok, karena V_e kolom $> V_e$ Balok, $1380,55 \text{ kN} > 200,1 \text{ kN}$, maka $V_e = V_e$ balok $= 200,1 \text{ kN}$
- Geser desain yang diambil tidak boleh kurang dari V_e hasil analisa struktur, karena V_e balok $> V_e$ SAP, $200,1 \text{ kN} > 104,172 \text{ kN}$, maka $V_{e \text{ desain}} = V_e$ balok $= 200,1 \text{ kN}$

Dari kondisi di atas maka $V_{e \text{ desain}} = 200,1 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{5591416}{14 \times (800 \times 800)}\right) 1 \times \sqrt{40} \times 800 \times 725 \\ &= 1012754,44 \text{ N} \end{aligned}$$

Panjang sendi plastis l_o harus diambil yang terkecil dari nilai berikut:

- $L/6 = 4000/6 = 500 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang $= 800 \text{ mm}$
- 450 mm

Dari syarat di atas maka $l_o = 800 \text{ mm}$

Gaya geser desain

$$\begin{aligned} V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 200100 \text{ N} - 0,75 \times 1012754,44 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= -559465,83 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 4 kaki $\emptyset 13$

$$A_v = 0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times n = 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 4 = 531 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\emptyset \times A_v \times f_{yt} \times d}{V_s}$$

$$= \frac{0,75 \times 531 \times 240 \times 725}{-559465,83 \text{ N}}$$

$$= -123,86 \text{ mm}$$

maka dipakai jarak $s = 120 \text{ mm}$

Spasi terkecil, S_o , sengkang pada sendi plastis diambil nilai terkecil dari

- $b/4 = 800/4 = 200 \text{ mm}$
- $6.d_b = 6.25 = 150 \text{ mm}$
- $100 + \left(\frac{100}{h_x}\right) = 125 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka S_o yang diambil adalah 125 mm

Syarat :

$$S_{\text{pasang}} < S_o$$

$$120 \text{ mm} < 125 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Luasan tulangan sengkang yang dipasang harus lebih besar dari nilai berikut

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right]$$

$$= 0,3 \frac{80 \times 800 \times 40}{240} \left[\frac{800 \times 800}{\left(800 - 50 - \frac{25}{2}\right)^2} - 1 \right]$$

$$= 439 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c}{f_{yt}}$$

$$= 0,3 \frac{80 \times 800 \times 40}{240}$$

$$= 495,8 \text{ mm}^2$$

Luas sengkang minimum menentukan $A_{sh} = 495,8 \text{ mm}^2$

Cek syarat :

$$A_v \text{ pasang} > A_{sh} \\ 531 \text{ mm}^2 > 495,8 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{S} \\ = \frac{531 \times 240 \times 725}{120} \\ = 1313253 \text{ N}$$

Gaya geser perlawanan total

$$\emptyset (V_s + V_c) > V_u \\ 0,75 (1313253 + 1372634,4) > 225262,3 \text{ N} \\ 2014415,8 \text{ N} > 225262,3 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka pada daerah lo dipakai tulangan geser 4 kaki $\emptyset 13-120$

DAERAH LAPANGAN

$$V_{u2} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} L - l_o \right)}{\frac{1}{2} L} \\ = \frac{225,3 \left(\frac{1}{2} \times 4 - 0,9 \right)}{\frac{1}{2} \times 4} \\ = 90,1 \text{ kN}$$

Gaya geser desain

$$V_s = V_u - \emptyset V_c \emptyset \\ = 90104,92 \text{ N} - 0,75 \times 1372634,4 \text{ N} \\ = -939370,9 \text{ N}$$

$V_s < 0$, maka dipasang tulangan geser minimum

$$V_{s,\min} = \frac{b_w d}{3} \\ = \frac{800 \times 825}{3} \\ = 247400 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 2 kaki $\emptyset 13$

$$A_v = 0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times n = 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 2 = 265 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\emptyset \times A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\
 &= \frac{0,75 \times 265 \times 400 \times 825}{247400} \\
 &= 212,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai jarak $s = 150 \text{ mm}$

Spasi terkecil, S_o , sengkang di luar sendi plastis diambil nilai terkecil dari

- $6 \cdot d_b = 6 \cdot 25 = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka S_o yang diambil adalah 150 mm

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{pasang}} &\leq S_o \\
 150 \text{ mm} &\leq 150 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

Gaya geser perlawanan sengkang

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{S} \\
 &= \frac{265 \times 400 \times 825}{150} \\
 &= 400200,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser perlawanan total

$$\begin{aligned}
 \emptyset (V_s + V_c) &> V_u \\
 0,75 (400200,9 + 1372634,4) &> 90104,9 \text{ N} \\
 1292126,5 \text{ N} &> 90104,9 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka pada daerah di luar lo dipakai tulangan geser 2 kaki $\emptyset 13-150$

4.4.3.4 Kontrol strong column weak beam (SCWB)

Struktur yang didesain menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus harus didesain agar kolom lebih kuat dari pada balok. Hal ini dibutuhkan agar balok lebih dahulu runtuh dari pada kolom.

Momen nominal kolom didapat dari pca Column sebagai berikut

16	5946.0	119.0	179.0	1649.3	2480.9	13.860
17	7647.0	146.0	445.0	1026.0	3127.2	7.027
18	5117.0	302.0	34.0	3010.2	338.9	9.967
19	8477.0	328.0	300.0	2335.7	2136.3	7.121
20	5117.0	302.0	34.0	3010.2	338.9	9.967
21	8477.0	328.0	300.0	2335.7	2136.3	7.121
22	3579.0	3.0	51.0	159.0	2703.0	52.999
23	3616.0	4.0	59.0	183.5	2706.8	45.879
24	1503.0	313.0	118.0	1968.2	742.0	6.288

Gambar 4. 18 Output momen nominal kolom atas as 6-E

27	5373.0	93.0	40.0	2719.7	1169.8	29.244
28	2602.0	42.0	120.0	795.4	2272.4	18.937
29	4462.0	41.0	86.0	1202.2	2521.8	29.323
30	2602.0	42.0	120.0	795.4	2272.4	18.937
31	4462.0	41.0	86.0	1202.2	2521.8	29.323
32	1691.0	111.0	159.0	1246.4	1785.4	11.229
33	9460.0	93.0	86.0	2352.6	2175.5	25.296

Gambar 4. 19 Output momen nominal kolom bawah as 6-E

Catatan : Momen nominal output pcaColumn adalah M_n dengan faktor reduksi $\Phi = 1$

$$M_{nc} \text{ atas} = 742 \text{ kNm}$$

$$M_{nc} \text{ bawah} = 1785,4 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nc} = 2527,4 \text{ kNm}$$

Momen yang mungkin terjadi pada balok

$$As \text{ pasang} = 5D22, As = 1901,43 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ pasang} = 4D22, As = 1520,5 \text{ mm}^2$$

M_{n1}

$$a = \frac{As_{\text{pasang}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{1901,43 \times 400}{0,85 \times f_c' \times 400}$$

$$= 55,924 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1901,43 \times 400 \left(636 - \frac{55,924}{2} \right)$$

$$= 462456677,7 \text{ Nmm}$$

$$a = \frac{As'_{\text{pasang}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{1520,5 \times 400}{0,85 \times f_c' \times 400}$$

$$= 59,6 \text{ mm}$$

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

$$= 1520,5 \times 400 \left(636 - \frac{59,6}{2} \right)$$

$$= 370514240,3 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_{nb} = M_n 1 + M_n 2$$

$$= 462456677,7 \text{ Nmm} + 370514240,3 \text{ Nmm}$$

$$= 832970918 \text{ Nmm}$$

Cek syarat strong column weak beam

$$\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb}$$

$$2527400000 \text{ Nmm} > 1,2 \times 832970918 \text{ Nmm}$$

$$2527400000 \text{ Nmm} > 999565101,6 \text{ Nmm} \quad (\text{Memenuhi})$$

4.4.3.5 Kontrol Hubungan balok kolom (HBK)

Hubungan balok kolom perlu dicek untuk memenuhi syarat kekuatan join pada sistem rangka pemikul momen khusus.

Lebar join efektif diambil yang terkecil dari nilai berikut:

- B.balok + h.kolom = 400 + 800 = 1200 mm
- B.balok + 2x = 400 + 2(200) = 800 mm

(x adalah jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok kesisi kolom = (h.kolom-b.balok)/2 = (800-400)/2 = 200 mm)

Maka b.efektif = 800 mm

$$A_j = h.kolom \times b.efektif = 800 \times 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

Untuk join terkekang oleh balok pada tiga muka

$$V_n = 1,2 \sqrt{f_c} A_j = 1,2 \times \sqrt{40} \times 640000 = 5750429,5 \text{ N}$$

Cek syarat

$$V_n > V_{u \text{ joint}}$$

$$5750429,5 \text{ N} > 225262,3 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

4.4.3.6 Perhitungan panjang penyaluran

- Panjang penyaluran tulangan kolom

Properti

$$A_s \text{ perlu} = 7429,5 \text{ mm}^2 \quad \Psi_s = 1$$

$$A_s \text{ pasang} = 9817,5 \text{ mm}^2 \quad \Psi_e = 1$$

d_b	$= 25 \text{ mm}$	Ψ_t	$= 1$
F_c	$= 40 \text{ Mpa}$	λ	$= 1$
f_y	$= 400 \text{ Mpa}$	Cover	$= 50 \text{ mm}$

Perhitungan

Nilai C_b diambil yang terkecil dari nilai di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 C_b &= \text{cover} + \emptyset.\text{geser} + \emptyset.\text{lentur}/2 \\
 &= 50 + 13 + 25/2 \\
 &= 75,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{b-2(\text{cover} \times \emptyset_{\text{geser}} \times \frac{\emptyset_{\text{lentur}}}{2})}{2} < 2,5 \\
 &= \frac{800-2(50 \times 13 \times \frac{25}{2})}{2} < 2,5 \\
 &= 377,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai $C_b = 75,5 \text{ mm}$

$$\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} < 2,5$$

$$\frac{75,5 + 0}{25} < 2,5$$

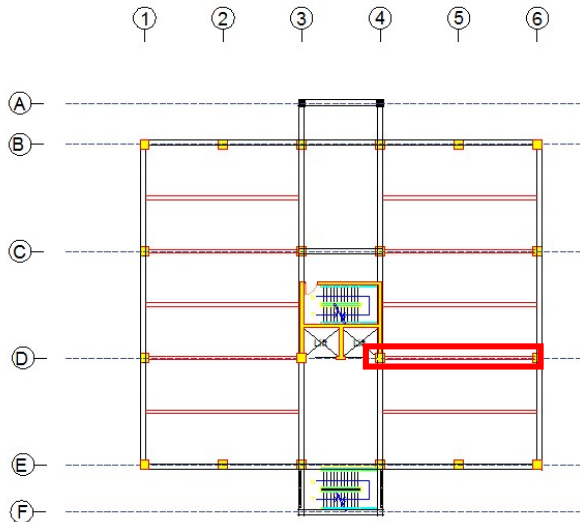
$2,9 > 2,5$, maka dipakai 2,5

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{40}} \frac{1 \times 1 \times 1}{2,5} \right) 25 \\
 &= 799,05 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran kolom $l_d = 800 \text{ mm}$

4.4.4 Perhitungan Balok Pratekan

Balok pratekan : BP(50/80) As D(4-6) elevasi +48,00. Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah balok, hasil output SAP, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, detail perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 20 Denah balok pratekan tinjau

Data-data perencanaan Balok pratekan:

Tipe Balok	= BP
As sloof	= D(4-6)
Bentang balok(L balok)	= 12000 mm
Dimensi balok (b balok)	= 500 mm
Dimensi balok (h balok)	= 800 mm
Kuat tekan beton balok (f_c')	= 40 Mpa
Kuat tekan beton plat (f_c')	= 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur tul.lunak (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 240 Mpa

Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	= 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	= 25 mm
Tebal selimut (t decking)	= 50 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ)	= 0,75

4.4.4.1 Perhitungan Tendon

Dimensi balok penampang T

Menentukan lebar sayap efektif

Dalam mencari lebar efektif (b_w), maka didasarkan pada perumusan yang terdapat pada 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

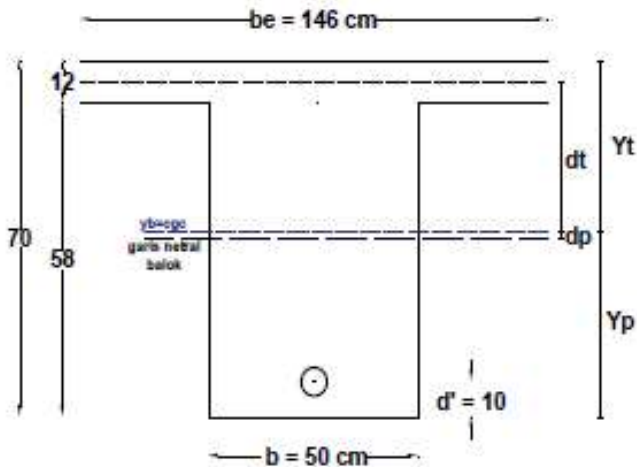
Perhitungan lebar efektif ialah sebagai :

$$b_{e1} = 0,25L_n = 0,25 \times (12000) = 3000 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 2(8t_p) = 500 \times (8 \times 120) = 1460 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = b_w + 0,5(L_{x1} + L_{x2}) = 500 + 0,5(5500 + 3500) = 5000 \text{ mm}$$

Sehingga nilai b_{eff} yang terkecil adalah 1,46 m. Sesuai dengan persyaratan pertama dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok atau 3,0 m.



Gambar 4. 21 Potongan penampang tengah bentang balok pratekan

$$E_c \text{ plat} = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{30} = 25742 \text{ Mpa}$$

$$E_c \text{ balok} = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{40} = 29725,4 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_c \text{ balok}}{E_c \text{ plat}} = \frac{29725,4 \text{ Mpa}}{25742 \text{ Mpa}} = 1,154$$

maka b efektif penampang T menjadi :

$$b_e \text{ pakai} = \frac{b_c}{n} = \frac{1460 \text{ mm}}{1,154} = 1264,3 \text{ mm}$$

Garis netral penampang setelah komposit

$$A_{\text{plat}} = t_p \times b_e = 120 \times 1264,3 = 151727,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{balok}} = b(h-t_p) = 500(800-120) = 340000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{plat}} + A_{\text{balok}} = 151727,6 + 340000 = 491727,6 \text{ mm}^2$$

$$Y_t = \frac{(A_{\text{balok}} \times c) + (A_{\text{plat}} \times t_f/2)}{A_{\text{total}}}$$

$$= \frac{(340000 \times 460) + (151727,6 \times 60)}{491727,6}$$

$$= 336,5 \text{ mm}$$

$$Y_b = h - Y_t = 800 - 336,5 = 463,4 \text{ mm}$$

$$d_t = Y_t - t_p/2 = 336,5 - 120/2 = 276,5 \text{ mm}$$

$$d_b = Y_b - h_b/2 = 463,4 - (800 - 120) = 123,4 \text{ mm}$$

Mencari kern pada balok

$$I_c = \frac{1}{12} \times b \times h^3 + A_{\text{balok}} \times d_b^2 + \frac{1}{12} \times b_e \times t_p^3 + A_{\text{plat}} \times d_t^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 500 \times 680^3 + 340000 \times 123,4^2 + \frac{1}{12} \times 1264,4 \times 120^3 + 151727,6 \times 276,5^2$$

$$= 30069088971 \text{ mm}^4$$

$$W_t = I_c / Y_t = 30069088971 / 336,5 = 89338221 \text{ mm}^3$$

$$W_b = I_c / Y_b = 30069088971 / 463,4 = 64884598,4 \text{ mm}^3$$

$$K_t = W_b / A_{\text{total}} = 64884598,4 / 491727,6 = 131,9 \text{ mm}$$

$$K_b = W_t / A_{\text{total}} = 89338221 / 491727,6 = 181,6 \text{ mm}$$

Tegangan izin balok

Tegangan beton sebelum keras diambil curing 14 hari

$$f_{ci} = 0,88 \times f_c = 0,88 \times 40 \text{ Mpa} = 35,2 \text{ Mpa}$$

Tegangan izin segera saat peralihan (belum ada kehilangan)

Teg. tekan

$$\sigma_{tk} = 0,6 \times f_{ci} = 0,6 \times 35,2 \text{ Mpa} = 21,1 \text{ Mpa}$$

Teg. tarik

$$\sigma_{tr} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,25 \times \sqrt{35,2} = 1,48 \text{ Mpa}$$

Tegangan izin setelah peralihan (sudah ada kehilangan)

Teg. tekan akibat beban tetap

$$\sigma_{tk} = 0,45 \times f_c = 0,45 \times 40 \text{ Mpa} = 21,1 \text{ Mpa}$$

Teg. tekan akibat beban total

$$\sigma_{tk} = 0,6 \times f_c = 0,25 \times 40 = 24 \text{ Mpa}$$

Teg. tarik

$$\sigma_{tr} = 0,62 \times \sqrt{f_c} = 0,25 \times \sqrt{40} = 3,92 \text{ Mpa}$$

Analisa gaya pratekan

Beban saat servis

Beban mati

Pelat (t=12 cm)	= 0,12 x 2400 kg/m ³	= 288	kg/m ²
Aspal		= 28	kg/m ²
Plafon		= 1,49	kg/m ²
Penggantung		= 8	kg/m ²
Instalasi listrik		= 40	kg/m ²
Pipa		= 25	kg/m ²
<hr/>		Total	= 390,4 kg/m ²

$$q_{\text{trap.kiri}} = \frac{1}{6} q_D \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\}$$
$$= \frac{1}{6} \times 390,4 \times 5,7 \left\{ 3 - \left(\frac{6,0}{12} \right)^2 \right\}$$
$$= 1073,85 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{trap.kanan}} = \frac{1}{6} q_D \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\}$$
$$= \frac{1}{6} \times 390,4 \times 4,8 \left\{ 3 - \left(\frac{4,0}{12} \right)^2 \right\}$$
$$= 752,05 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{balok}} = 0,68 \cdot 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 816 \text{ kg/m}^2$$

$$q_d \text{ total} = q_{d.\text{trap kiri}} + q_{d.\text{trap kanan}} + q_{\text{balok}}$$
$$= 1073,85 \text{ kg/m} + 752,05 \text{ kg/m} + 816 \text{ kg/m}^2$$
$$= 2641,9 \text{ kg/m}$$

Beban hidup

$$q_l = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{\text{trap.kiri}} = \frac{1}{6} q_l \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\}$$
$$= \frac{1}{6} \times 96 \times 5,7 \left\{ 3 - \left(\frac{6,0}{12,0} \right)^2 \right\}$$
$$= 263,1 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{trap.kanan}} = \frac{1}{6} q_l \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\}$$

$$= \frac{1}{6} \times 96 \times 4,8 \left\{ 3 - \left(\frac{4,0}{12,0} \right)^2 \right\}$$

$$= 184,9 \text{ kg/m}$$

$$q_l \text{ total} = q_{\text{d.trap kiri}} + q_{\text{d.trap kanan}}$$

$$= 263,1 \text{ kg/m} + 184,9 \text{ kg/m}$$

$$= 448,9 \text{ kg/m}$$

Kombinasi untuk gaya desain tendon $U = D+L$

$$Q_u = q_d \text{ total} + q_l \text{ total}$$

$$= 2641,9 \text{ kg/m} + 448,9 \text{ kg/m}$$

$$= 3090,79 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{.max lap}} = 1/24 \times Q_u \times L^2 = 1/24 \times 3090,8 \times 12,0^2 = 18544,7 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{.max tump}} = 1/12 \times Q_u \times L^2 = 1/12 \times 3090,8 \times 12,0^2 = 37089,5 \text{ kgm}$$

Beban saat transfer

Beban mati

$$\text{Balok} = 0,68 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 816 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat (t=12 cm)} = 0,12 \times 1,46 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 420,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total} = 1236,4 \text{ kg/m}$$

Kombinasi untuk gaya desain tendon $U = 1D$

$$Q_u = q_d$$

$$= 1236,4 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{.max lap}} = 1/24 \times Q_u \times L^2 = 1/24 \times 1236,4 \times 12,0^2 = 7418,9 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{.max tump}} = 1/12 \times Q_u \times L^2 = 1/12 \times 1236,4 \times 12,0^2 = 14837,8 \text{ kgm}$$

Desain pendahuluan untuk gaya prategang awal

Tegangan saat beban layan

Serat atas

$$\sigma_{\text{tr}} > - \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$3,92 > -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{89338221} - \frac{18544,7 \times 10^4}{89338221}$$

$$F_o < 4227197,5 \text{ N}$$

Serat bawah

$$\sigma_{tk} > -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$24 > -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{64884598,4} - \frac{18544,7 \times 10^4}{64884598,4}$$

$$F_o < -3957245,8 \text{ N}$$

Tegangan saat transfer

Serat atas

$$\sigma_{tr} > -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$1,48 > -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{89338221} - \frac{7418,88 \times 10^4}{89338221}$$

$$F_o < 2199644 \text{ N}$$

Serat bawah

$$\sigma_{tk} > -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t}$$

$$21,1 > -\frac{F_o}{491727,6} + \frac{F_o \times 308,4}{64884598,4} - \frac{7418,88 \times 10^4}{64884598,4}$$

$$F_o < -3280265,2 \text{ N}$$

Dari kondisi beban saat transfer dan beban layan diambil gaya yang paling minimum $F_o < 2199644 \text{ N}$, maka diambil

$$F_o = 2000000 \text{ N} = 2000 \text{ kN}$$

Penentuan jumlah strand

Untuk strand tendon yang dipakai diambil spesifikasi sebagai berikut :

Tipe = 7 wire uncoated ASTM A416

Diameter = 12,7 mm

Luas kawat = 100,1 mm

Min breaking load = 184 kN

Tegangan izin baja prategang

$$f_{pu} = \frac{\text{min breaking load}}{A_s} = \frac{184000}{100,1} = 1838,1 \text{ Mpa}$$

Tegangan diambil paling minimum dari :

$$f_{py} = 0,9f_{pu} = 0,9 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

maka

- 1) $0,94 \times f_{py} = 0,94 \times 1654,3 \text{ Mpa} = 1555 \text{ Mpa}$
- 2) $0,8 \times f_{pu} = 0,8 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1470,5 \text{ Mpa}$
- 3) $0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1286,7 \text{ Mpa}$

Tegangan tendon menentukan adalah 1286,7 Mpa

Luas tendon perlu

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{st}} = \frac{2000000}{1286,7} = 1554,3 \text{ mm}^2$$

Jumlah strand

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1554,3}{100,1} = 16 \text{ buah}$$

Kehilangan gaya pratekan

Kehilangan gaya pratekan langsung

Perpendekan elastis

Tendon yang terpasang berjumlah satu buah sehingga hanya terjadi sekali penarikan. Sehingga kehilangan akibat perpendekan elastis sama dengan nol

$$\Delta f_{pES} = 0$$

$$\text{Wobble effect } \alpha = \frac{8 \times f}{L} = \frac{8 \times 308,4}{12000} = 0,2056 \text{ rad}$$

$$f_1 = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{2000000}{1554,3} = 1286,7 \text{ Mpa}$$

Untuk kawat 7 untaian

$$\begin{aligned}
K &= 0,0016 \\
\mu &= 0,15 \\
\Delta f_{pF} &= f_1 (1 - e^{-(\mu\alpha + KL)}) \\
&= 1286,7 (1 - e^{-(0,15 \times 0,2056 + 0,0016 \times 12000)}) \\
&= 62,80 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

Presentase kehilangan akibat wobble effect

$$\% = \frac{\Delta f_{pF}}{\sigma_{izin}} = \frac{62,80}{1286,7} \times 100\% = 4,88 \%$$

Kehilangan slip angkur

Besarnya kehilangan akibat slip angkur dihitung dengan cara berikut

:

$$\begin{aligned}
E_{ps} &= 196500,6 \text{ Mpa} \\
g &= 0,8 \text{ mm} \\
f_{pi} &= 1286,7 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X &= \sqrt{\frac{E_{ps} \times g}{f_1 \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2} \\
&= \sqrt{\frac{196500,6 \times 0,8}{1286,7 \left(\frac{0,15 \times 0,2056}{12000} + 0,0000016 \right)}} < \frac{12000}{2} \\
&= 5412,62 \text{ mm} < 6000 \text{ mm (Memenuhi)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta f_{pA} &= 2 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) X \\
&= 2 \times \left(\frac{0,15 \times 0,2056}{12000} + 0,0000016 \right) 5412,62 \\
&= 58,09 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

Presentase kehilangan akibat slip angkur

$$\% = \frac{\Delta f_{pA}}{\sigma_{izin}} = \frac{58,09}{1286,7} \times 100\% = 4,51 \%$$

Kehilangan akibat kekangan kolom

$$L_k = 4300 \text{ mm}$$

$$L_b = 12000 \text{ mm}$$

$$I_k = 20008333333 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 30069088971 \text{ mm}^4$$

$$k = \frac{L_k \times I_b}{L_b \times I_k} = \frac{4300 \times 30069088971}{12000 \times 20008333333} = 0,54$$

$$\text{Displacement node A} = 0,118 \text{ mm}$$

$$\text{Displacement node B} = 0,644 \text{ mm}$$

$$\Delta_{AB} = 0,526 \text{ mm}$$

$$\xi_{bb} = \frac{\Delta_{AB}}{L} = \frac{0,526}{4300} = 0,00012$$

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3 \times (k+1)}{k \times (k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= \frac{3 \times (0,54+1)}{0,54 \times (0,54+2)} \times \frac{29725 \times 30069088971}{4300} \times 0,00012 \\ &= 85850628 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{3}{(k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= \frac{3}{(0,54+2)} \times \frac{29725 \times 30069088971}{4300} \times 0,00012 \\ &= 30049603 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Distribusi momen akibat beban merata

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{1}{(k+2)} \times \frac{w \times L_b^2}{12} \\ &= \frac{1}{(0,54+2)} \times \frac{12,36 \times 12000^2}{12} \\ &= 58450586 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{-2}{(k+2)} \times \frac{w \times L_b^2}{12} \\ &= \frac{-2}{(0,54+2)} \times \frac{12,36 \times 12000^2}{12} \\ &= -116901172 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Distribusi momen akibat eksentrisitas

$$M_p = F_o \times e = 2000000 \times 308,4 = 616848271,4 \text{ Nmm}$$

$$M_A = \frac{1}{(k+2)} \times M_p$$
$$= \frac{1}{(0,54+2)} \times 616848271,4$$
$$= 242995863,6 \text{ Nmm}$$

$$M_b = -2 \times M_a = -2 \times 242995863,6 = -485991727,3 \text{ Nmm}$$

Kehilangan kekangan kolom

Akibat perpendekan kolom

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_b} = \frac{85850628 - 30049603}{12000} = 4650 \text{ N}$$

Akibat beban merata

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_b} = \frac{58450586 - (-116901172)}{12000} = 14613 \text{ N}$$

Akibat eksentrisitas

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{L_b} = \frac{242995863,6 - (-485991727,3)}{12000} = 46077 \text{ N}$$

Total kehilangan akibat kekangan kolom

$$\Delta f_{pR} = \frac{4650 + 14613 + 46077}{1554,3} = 51,48 \text{ Mpa}$$

Presentase kehilangan akibat kekangan kolom

$$\% = \frac{\Delta f_{pR}}{\sigma_{izin}} = \frac{51,48}{1286,7} \times 100\% = 4,00 \%$$

Total kehilangan tegangan langsung

$$\%_{total} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pA} + \Delta f_{pR}$$
$$= 0\% + 4,88\% + 4,51\% + 4,00\%$$
$$= 13,40\%$$

Tegangan sisa = $\sigma_{izin} \times (100\% - \%_{kehilangan\ total})$

$$= 1286,7 \text{ Mpa} \times (100\% - 13,40\%)$$
$$= 1114,3 \text{ Mpa}$$

Kehilangan gaya pratekan tidak langsung

TAHAP I

Akibat relaksasi baja

$$f_{pi} = 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1286,7 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 0,9 \times 1838,1 \text{ Mpa} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

sehingga

$$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1286,7}{1654,3} = 0,77 > 0,55$$

Asumsi transfer terjadi setelah = 18 jam

Penyebut suku log dibagi = 45 (low relaxatiton steel)

$$\begin{aligned}\Delta f_{pR} &= f_{pi} \left(\frac{\text{Log}t_1 - \text{Log}t_2}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1286,7 \left(\frac{\text{Log}18}{45} \right) (0,77 - 0,55) \\ &= 8,17 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Total kehilangan Tahap I

$$f_{pT} = \Delta f_{pR} = 8,17 \text{ Mpa}$$

Tegangan akhir Tahap I

$$f_{pe} = f_i - f_{pT} = 1114,39 - 8,17 = 1106,2 \text{ Mpa}$$

TAHAP II

Akibat Relaksasi baja

$$f_{ps} = f_i - f_{pT} = 1106,2 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

sehingga

$$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1106,2}{1654,3} = 0,67 > 0,55$$

Terjadi saat penambahan beban mati tambahan 30 hari

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left(\frac{\text{Log}t_1 - \text{Log}t_2}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1121,7 \left(\frac{\text{Log}(30 \times 24) - \text{Log}18}{45} \right) (0,67 - 0,55)$$

$$= 4,67 \text{ Mpa}$$

Kehilangan akibat Susut

Luas penampang

$$S_1 = 2 \times b_e \times L_b = 2 \times 1460 \times 12000 = 35040000 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 2 \times h_b \times L_b = 2 \times 800 \times 12000 = 19200000 \text{ mm}^2$$

Volume penampang

$$V = (t_p \times b_e + h_b \times b_b) L_b$$

$$= (120 \times 1460 + 680 \times 500) 12000$$

$$= 6182400000 \text{ mm}^3$$

$$K_{sh} = 0,58$$

$$E_{ps} = 196500,6$$

$$RH = 80\%$$

$$\Delta f_{pSH} = 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_{ps} \left(1 - 0,0236 \frac{V}{S} \right) (100 - RH)$$

$$= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,58 \times 196500,6 \left(1 - 0,0236 \frac{6182400000}{54240000} \right) (100 - 80)$$

$$= 31,6 \text{ Mpa}$$

Kehilangan akibat rangkai

$$K_{cr} = 1,6$$

$$n = E_{ps} / E_c = 196500,6 / 29725,4 = 6,6$$

Momen akibat beban mati

$$M_d = 7418,9 \text{ kgm (Momen akibat beban balok saja)}$$

$$q_s = 102,4 \text{ kg/m}^2 \text{ (beban mati tambahan)}$$

$$q_{\text{trap.kiri}} = \frac{1}{6} q_s \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\}$$

$$= \frac{1}{6} \times 102,4 \times 6,0 \left\{ 3 - \left(\frac{6,0}{12,0} \right)^2 \right\}$$

$$= 280,9 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{trap.kanan}} &= \frac{1}{6} q_s \times l_x \left\{ 3 - \left(\frac{l_x}{l_y} \right)^2 \right\} \\
 &= \frac{1}{6} \times 102,4 \times 4,0 \left\{ 3 - \left(\frac{4,0}{12,0} \right)^2 \right\} \\
 &= 197,39 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s \text{ total} &= q_{\text{d.trap kiri}} + q_{\text{d.trap kanan}} \\
 &= 280,9 \text{ kg/m} + 197,39 \text{ kg/m} \\
 &= 479,23 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$M_s = 1/12 \times Q_s \times L^2 = 1/12 \times 479,23 \times 12,0^2 = 5750,83 \text{ kgm}$$

Tegangan akibat beban mati

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e^2}{I_c} + \frac{M_d \times e}{I_c} \\
 &= -\frac{1784735}{491727,6} - \frac{1784735 \times 308,4^2}{30069088971} + \frac{7418,9 \times 10^4 \times 308,4}{30069088971} \\
 &= 8,51 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$f_{cd} = \frac{M_s \times e}{I_c} = \frac{5750,83 \times 308,4}{30069088971} = 0,59 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{pC} &= n \times K_{cr} (f_{ci} - f_{cd}) \\
 &= 6,6 \times 1,6 (8,51 - 0,59) \\
 &= 83,82 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Total kehilangan pada Tahap II

$$\begin{aligned}
 f_{pT} &= \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \\
 &= 4,7 + 83,82 + 31,6 \\
 &= 120,1 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Peningkatan tegangan akibat penambahan beban

$$f_{sd} = n \times f_{csd} = 6,6 \times 0,58 = 3,9 \text{ Mpa}$$

Tegangan akhir pada Tahap II

$$f_{pe} = f_{ps} - f_{pt} + f_{sd} = 1106,2 - 120,1 + 3,9 = 990 \text{ Mpa}$$

TAHAP III

Akibat relaksasi baja

$$f_{pi} = 990 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 0,9 \times f_{pu} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

sehingga

$$\frac{f_{ps}}{f_{py}} = \frac{990}{1654,3} = 0,60 > 0,55$$

$$\begin{aligned} \text{Selama rentang waktu } t_1 &= 30 \text{ hari} &= 720 \text{ jam} \\ t_2 &= 720 \text{ hari} &= 17280 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pR} &= f_{pi} \left(\frac{\text{Log}t_1 - \text{Log}t_2}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 990 \left(\frac{\text{Log}(720 \times 24) - \text{Log}(30 \times 24)}{45} \right) (0,60 - 0,55) \\ &= 1,47 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Total kehilangan prategang pada Tahap III

$$f_{pT} = f_{pR} = 1,47 \text{ Mpa}$$

Tegangan akhir pada Tahap III

$$f_{pe} = f_{ps} - f_{pR} = 990 - 1,47 = 988,52 \text{ Mpa}$$

Total kehilangan prategang dari semua tahap dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 18 Kehilangan gaya prategang pada tiap tahap

Level tegangan tiap tahap	Tegangan baja	Persen
	Mpa	%
Tegangan efektif		
Sesudah penarikan 0,7 fpu	1286,7	100%
Kehilangan langsung		
kehilangan perpedekan elastis	0	0
Kehilangan angker slip	58,09	4,5%
Kehilangan wobble effect	62,81	4,9%
Kehilangan Kekangan kolom	51,48	4,0%
Kehilangan tak langsung		
Kehilangan rangkak	83,82	6,5%
Kehilangan susut	31,59	2,5%
Kehilangan relaksasi baja	14,32	1,1%
<i>Total kehilangan</i>	302,09	23,5%
Penambahan		
Penambahan overtopping	3,90	0,3%
<i>Total penambahan</i>	3,90	0,3%
Tegangan efektif	988,52	76,8%

Kontrol tegangan setelah kehilangan

$$f_e = 988,52 \text{ Mpa}$$

$$\text{Jumlah strand} = 16 \text{ buah}$$

$$\text{Luasan kawat} = 100,1 \text{ mm}^2$$

$$F \text{ efektif} = f_e \times \text{Jumlah strand} \times \text{Luas kawat}$$

$$= 1635210,2 \text{ N}$$

Tegangan pada lapangan

Serat atas

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 308,4}{89338221} - \frac{185447472}{89338221} \\ &= -2 \text{ Mpa} < -24 \text{ Mpa (Memenuhi)}\end{aligned}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 308,4}{64884598,4} - \frac{185447472}{64884598,4} \\ &= -6,1 \text{ Mpa} < -24 \text{ Mpa (Memenuhi)}\end{aligned}$$

Tegangan pada tumpuan

Serat atas

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 110}{89338221} - \frac{777380557,2}{89338221} \\ &= 3,4 \text{ Mpa} < 3,9 \text{ Mpa (**Memenuhi**)}\end{aligned}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_d}{W_t} \\ &= -\frac{1635210,2}{491727,6} + \frac{1635210,2 \times 110}{64884598,4} - \frac{777380557,2}{64884598,4} \\ &= -12,5 \text{ Mpa} < -24 \text{ Mpa (**Memenuhi**)}\end{aligned}$$

Cek daerah limit kabel

$$a_{\max} = \frac{M_t}{F_e} = \frac{388690278,6}{1635210,2} = 237,7 \text{ mm}$$

Syarat

$$a_{\max} < (Y_b + k_t - d')$$

$$237,7 < (463 + 132 - 65)$$

$$237,7 \text{ mm} < 530,9 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

$$a_{\min} = \frac{M_d}{F_o} = \frac{146276872}{2000000} = 73,1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih syarat} &= a_{\min} - (Y_b - k_b - d') \\ &= 73,1 - (463 - 182 - 65) \\ &= -144 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga

e lapangan

$$a_{\max} - k_t < e_{\text{lapangan}} < k_b + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

$$237,7 - 132 < 308,4 < 182 + 73,1 - (-144)$$

$$106 \text{ mm} < 308,4 \text{ mm} < 398,9 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

e tumpuan

$$e_{\text{tumpuan}} < k_t$$

$$110 \text{ mm} < 131,9 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Momen retak

$$\begin{aligned} M_{cr} &= F_e \times k_t + F_e \times e + f_r \times W_b \\ &= 1635210,2 \times 132 + 1635210,2 \times 308,4 + 3,9 \times 64884598,5 \\ &= 974535139,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Lentutan

$$\Delta_{\text{izin}} = \frac{L}{480} = \frac{12000}{480} = 35,1 \text{ mm}$$

Lentutan awal jacking

Akibat tekanan tendon

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{L^2} = \frac{8 \times 2000000 \times 308,4}{12000^2} = 17,3 \frac{N}{mm}$$

$$\Delta_{l_{po}} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 17,3 \times 12000^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = -28,7 \text{ mm} (\uparrow)$$

Akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta_{l_{me}} = \frac{F_o \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} = \frac{2000000 \times 110 \times 12000^2}{8 \times 29725,4 \times 21333333333} = 12,3 \text{ mm} (\downarrow)$$

Akibat berat sendiri balok

$$\Delta l_{qo} = \frac{5 \times q_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 12,3 \times 12000^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = 20,4 \text{ mm } (\downarrow)$$

Total lendutan saat transfer

$$\Delta_{tr} = \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo} = -28,7 + 12,3 + 20,4 = 4,01 \text{ mm } (\downarrow)$$

Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta_{tr}$$

$$35,1 \text{ mm} > 4,01 \text{ mm } (\text{Memenuhi})$$

Lendutan saat servis

Akibat tekanan tendon

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{L^2} = \frac{8 \times 1635210,2 \times 308,4}{12000^2} = 14,2 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 14,2 \times 12000^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = -23,5 \text{ mm } (\uparrow)$$

Akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_e \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} = \frac{1635210,2 \times 110 \times 12000^2}{8 \times 29725,4 \times 21333333333} = 10,07 \text{ mm } (\downarrow)$$

Akibat berat sendiri balok, plat, dan beban tambahan

$$\Delta l_{qo} = \frac{5 \times q_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 27,98 \times 12000^4}{384 \times 29725,4 \times 21333333333} = 46,3 \text{ mm } (\downarrow)$$

Total lendutan saat servis

$$\Delta_{tr} = \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo} = -23,5 + 10,07 + 46,3 = 32,8 \text{ mm } (\downarrow)$$

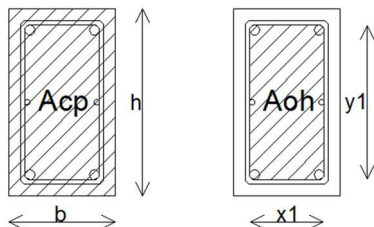
Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta_{tr}$$

$$35,1 \text{ mm} > 32,8 \text{ mm } (\text{Memenuhi})$$

4.4.4.2 Perhitungan Tulangan Puntir

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser lentur dan puntir



Gambar 4. 22 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 500 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \\ &= 400000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Perimeter luar yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (500 \text{ mm} + 800 \text{ mm}) \\ &= 2600 \text{ mm}\end{aligned}$$

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \varnothing_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \varnothing_{geser}) \\ &= (500 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (800 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\ &= 269100 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \varnothing_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \varnothing_{geser})] \\ &= 2 \times [(500 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (800 \text{ mm} - 2 \cdot 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\ &= 2100 \text{ mm}\end{aligned}$$

Momen puntir ultimate

$$\begin{aligned}\text{Akibat kombinasi} &= \text{Envelope} \\ T_u &= 102733900 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{102733900 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$T_n = 136978533,3 \text{ Nmm}$$

Geser ultimate

$$V_u = 343491,9 \text{ N}$$

Cek apakah momen puntir dapat diabaikan

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{40} \left(\frac{400000^2}{2600} \right)}{12} \\ &= 24325212,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \frac{\Phi \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3} \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{40} \left(\frac{400000^2}{2600} \right)}{3} \\ &= 97300851 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

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

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

$T_{u \text{ min}} < T_u$

$24325212,7 \text{ Nmm} < 102733900 \text{ Nmm} \rightarrow$ **memerlukan tulangan puntir**

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 \cdot A_{oh}} \right)^2} \leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1\sqrt{f_c'}}{6} \right) + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{102733900}{500 \cdot 727} \right)^2 + \left(\frac{102733900 \cdot 2100}{1,7 \cdot 269100} \right)^2} \leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1\sqrt{40}}{6} \right) + \frac{2\sqrt{40}}{3}}$$

$0,94 \leq 3,29 \dots$ **Memenuhi**

Menghitung tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned}A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 269100 \text{ mm}^2 \\ &= 228735 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{136978533,3}{2 \times 228735 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 1,24\end{aligned}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$A_l = 1,24 \times 2100 \left(\frac{240}{400} \right) \cot^2 45$$

$$A_l = 1571,9 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh diambil kurang dari $\frac{0,175b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175b_w}{f_{yt}}$$

$$1,24 \geq \frac{0,175 \times 400}{240}$$

$$1,24 \geq 0,291$$

Maka A_t/s dipakai = 1,24

$$A_{l \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$A_{l \min} = \frac{5 \times 400000 \sqrt{40}}{12 \times 400} - 1,24 \times 2100 \times \frac{240}{400}$$

$$A_{l \min} = 1063,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l \text{perlu}} \leq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \min}$

$A_{l \text{perlu}} \geq A_{l \min}$ maka gunakan $A_{l \text{perlu}}$

$$A_{\text{perlu}} > A_{\text{min}}$$

$$1571,9 \text{ mm}^2 < 1063,2 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{maka gunakan } A_{\text{min}}$$

Maka tulangan torsi perlu sebesar $1571,9 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah menjang dibagi merata ke empat sisi pada panampang balok

$$\frac{A_t}{4} = \frac{1571,9 \text{ mm}^2}{4} = 393 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi atas dan bawah tulangan lentur balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar $= 393 \text{ mm}^2$

Tulangan torsi yang perlu dipasang pada sisi kanan dan kiri balok

$$2 \times \frac{A_t}{4} = 2 \times \frac{1571,9 \text{ mm}^2}{4} = 785,9 \text{ mm}^2$$

Tulangan rencana dipasang 4D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times 4 \\ &= 804,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$804,2 \text{ mm}^2 \geq 785,9 \text{ mm}^2 \dots \text{Memenuhi}$$

Sehingga dipasang tulangan torsi disepanjang balok sebesar 4D16

4.4.4.3 Perhitungan Tulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KIRI

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 727,5 \\ &= 437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 437 \text{ mm} \\ &= 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 400 \cdot 0,77 \cdot 200 \\ &= 2618000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= Cc' / f_y \\ &= 261800 / 400 \\ &= 6545 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_r}{2} \right) \\ &= 6545 \cdot 400 \cdot \left(727,5 - \frac{0,77 \cdot 200}{2} \right) \\ &= 1703009000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 850686600 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{850686600 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$M_n = 1063358250 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 1063358250 \text{ Nmm} - 1703009000 \text{ Nmm}$$

$$= -639650750 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,004$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0392$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0392 = 0,029$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 12$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{850686600 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 1063358250 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{1063358250}{500 \times 727,5^2} = 4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12 \cdot 4}{400}} \right]$$

$$= 0,01$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

0,004 < 0,01 < 0,029**Memenuhi**

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,01 \times 500 \times 727,9 + 393$$

$$A_s = 4293 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{4293 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)}$$

$$n = 8,7 \approx \text{maka dipakai tulangan } 9D25$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 9 \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

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

$$4417,8 \text{ mm}^2 > 4293,1 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$

$$A_s' = 393 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{393 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)}$$

$n = 0,8 \approx$ maka dipakai tulangan 5D22

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 5 \\ &= 2454,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$2454,3 \text{ mm}^2 > 393 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

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

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

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 7 buah

lapis 2 = 2 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 5 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (7 \times 25)}{7-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 34,2 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$34,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 63,7 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$63,7 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 9D25 \\ &= 9 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 5D25 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 2454,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq 2208,9 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 9D25$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 5D25$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 9D25 = 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan } 5D25 = 2454,3 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(4417,8 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 500} \right)$$

$$a = 104 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 40 \times 500 \times 104 \\ &= 1767145,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang

$$Mn = Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 1767145,8 \times \left(727,5 - \frac{104}{2} \right)$$

$$Mn = 1207528506 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$Mn \text{ pasang} \geq Mn \text{ perlu}$

$$1207528506 \text{ Nmm} \geq 1063358250 \text{memenuhi}$$

Sehingga untuk daerah tumpuan kiri dipasang tulangan 9D25

DAERAH TUMPUAN KANAN

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 727,5 \\ &= 437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 437 \text{ mm} \\ &= 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 400 \cdot 0,77 \cdot 200 \\ &= 2618000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= Cc / f_y \\ &= 261800 / 400 \\ &= 6545 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 6545 \times 400 \times \left(727,5 - \frac{0,77 \times 200}{2} \right) \\ &= 1703009000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 857516100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\Phi}$$

$$M_n = \frac{857516100 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 1071895125 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 1071895125 \text{ Nmm} - 1703009000 \text{ Nmm} \\ &= -631113875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,004$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0392$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0392 = 0,029$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 12$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{857516100 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 1071895125 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{1071895125}{500 \times 727,5^2} = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12 \cdot 4,1}{400}} \right]$$

$$= 0,01$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,004 < 0,0108 < 0,029$ **Memenuhi**

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0108 \times 500 \times 727,9 + 393$$

$$A_s = 4327 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas
direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$
$$n = \frac{4327 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)}$$

$$n = 8,8 \approx \text{maka dipakai tulangan } 9D25$$

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 9 \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 4417,8 \text{ mm}^2 &> 4327 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan
tulangan puntir

$$A_s' = \frac{A_l}{4}$$
$$A_s' = 393 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah
direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$
$$n = \frac{393 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (25^2)}$$

$$n = 0,8 \approx \text{maka dipakai tulangan } 5D22$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 5 \\ &= 2454,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$2454,3 \text{ mm}^2 > 393 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

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

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

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 2 lapis

lapis 1 = 7 buah

lapis 2 = 2 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 5 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (7 \times 25)}{7-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 34,2 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$34,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 63,7 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$63,7 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 9D25 \\ &= 9 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 4417,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 5D25 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 2454,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} \times 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$2454,3 \text{ mm}^2 \geq 2208,9 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kanan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 9D25$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 5D25$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 9D25 = 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan } 5D25 = 2454,3 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(4417,8 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 500} \right)$$

$$a = 104 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 40 \times 500 \times 104$$

$$= 1767145,8 \text{ N}$$

Momen nominal pasang

$$M_n = Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 1767145,8 \times \left(727,5 - \frac{104}{2} \right)$$

$$M_n = 1207528506 \text{ Nmm}$$

Syarat :

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

$$1207528506 \text{ Nmm} \geq 1071895125 \text{memenuhi}$$

Sehingga untuk daerah tumpuan kiri dipasang tulangan 9D25

DAERAH LAPANGAN

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 727,5 \\ &= 437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 437 \text{ mm} \\ &= 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 400 \cdot 0,77 \cdot 200 \\ &= 2618000 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c / f_y \\ &= 261800 / 400 \\ &= 6545 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 6545 \times 400 \times \left(727,5 - \frac{0,77 \times 200}{2} \right) \\ &= 1703009000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 562499700 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\Phi} \\ &= \frac{562499700 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$M_n = 703124625 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 703124625 \text{ Nmm} - 1703009000 \text{ Nmm} \\ &= -999884375 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan penulangan tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

Tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,004$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0392$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0392 = 0,029$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 12$$

Penulangan Lapangan arah X

$$M_n = \frac{562499700 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$M_n = 703124625 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{703124625}{500 \times 729^2} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12 \cdot 2,7}{400}} \right]$$

$$= 0,0069$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,004 < 0,0069 < 0,029$ (**Memenuhi**)

Luasan perlu tulangan lentur tarik dan penambahan luasan tulangan puntir

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s = 0,0069 \times 500 \times 727,5 + 393$$

$$A_s = 2912 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai sisi atas direncanakan tulangan pakai D22

$$n = \frac{As}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{2912 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$n = 5,9 \approx$ maka dipakai tulangan 6D25

Luasan tulangan lentur tarik sisi atas

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{.tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 6 \\ &= 2945,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

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

$2945,2 \text{ mm}^2 > 2912 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan puntir

$$As' = \frac{Al}{4}$$

$$As' = 393 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D25

$$n = \frac{As'}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{393 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$n = 0,8 \approx$ maka dipakai tulangan 4D25

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{.tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \times 4 \\ &= 1472,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

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

$1472,6 \text{ mm}^2 > 393 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

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

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

Direncanakan :

Tulangan tarik serat atas dipasang 1 lapis

lapis 1 = 6 buah

Tulangan tekan serat bawah dipasang 1 lapis

lapis 1 = 4 buah

Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (6 \times 25)}{6-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 49,6 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$46 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Kontrol tulangan tekan lapis 1

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{500 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 25)}{3-1}$$

$$S_{\text{maks}} = 152 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{4} \times M_{\text{lentur max}}$$

Maka berdasarkan persyaratan tersebut kontrol dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 6D25 \\ &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 2945,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 3D25 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (25^2) \\ &= 1472,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1472,6 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} \times 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$1472,6 \text{ mm}^2 \geq 1104,4 \text{ mm}^2 \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipasang :

$$\text{Tulangan tarik serat bawah} = 6D25$$

$$\text{Tulangan tekan serat atas} = 4D25$$

Cek momen nominal penampang

$$\text{As tulangan tarik } 6D25 = 2945,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' tulangan tekan } 3D25 = 1472,6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{(\text{As tul. tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{(2945,2 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 500} \right) \\ &= 59 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 40 \times 500 \times 59 \\ &= 563277,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang

$$\begin{aligned} M_n &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ M_n &= 563277,7 \times \left(729 - \frac{59}{2} \right) \\ M_n &= 1072060994 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

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

$1072060994 \text{ Nmm} \geq 703124625 \text{memenuhi}$

Sehingga untuk daerah lapangan dipasang tulangan 6D25

4.4.4.4 Perhitungan Tulangan Geser

Penulangan geser dibagi atas dua bagian yaitu tumpuan dan lapangan. Data perencanaan adalah sebagai berikut :

Output gaya dalam dari SAP

$$V_d = 104173,4 \text{ N}$$

$$V_l = 343491,9 \text{ N}$$

$$M_{d,\text{tumpuan}} = 292553744 \text{ Nmm}$$

$$M_{d,\text{lapangan}} = 146276872 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{max,tumpuan}} = 857516100 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{max,lapangan}} = 562499700 \text{ Nmm}$$

GESER DAERAH TUMPUAN

$x =$ diambil dimuka kolom $= 0,5x b_k = 0,5 \times 700 = 350 \text{ mm}$

$$P = \frac{8 \times F \times f}{L^2} = \frac{8 \times 2060800 \times 308,4}{12000^2} = 17,9 \text{ N/mm}$$

$$V_p = \frac{L}{2} \times P = \frac{12000}{2} \times 17,9 = 150884,4 \text{ N}$$

Menghitung nilai V_{cw}

$$f_{pc} = \frac{F}{A_c} = \frac{2060800}{491727,7} = 4,19 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} V_{p,\text{tumpuan}} &= \frac{0,5L - 0,5H_{\text{kolom}}}{0,5L} \times V_p \\ &= \frac{0,5 \times 12000 - 0,5 \times 700}{0,5 \times 12000} \times 150884,4 \\ &= 144616,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p \\ &= (0,29 \times 1\sqrt{40} + 0,3 \times 4,19)500 \times 727,5 + 144616,1 \\ &= 1292119,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung nilai V_{ci}

$$f_{pe} = \frac{F_e}{A} + \frac{F_e \cdot e}{W_b} = \frac{1635210,3}{491727,7} + \frac{1635210,3 \times 110}{64884598,4} = 6,1 \text{ Mpa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{292553744}{64884598,4} = 4,5 \text{ Mpa}$$

$$M_{cre} = \frac{I}{Y_t} \left(0,5\lambda \sqrt{f'_c + f_{pe} - f_d} \right)$$

$$= \frac{30069088971}{336,5} (0,5 \times 1\sqrt{40} + 6,1 - 4,5)$$

$$= 424453516 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0,05\lambda \sqrt{f'_c} b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$$

$$= 0,05 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 727,5 + 104173,4 + \frac{343491,9 \times 424453516}{857516100}$$

$$= 389222,9 \text{ N}$$

$$V_{ci} > 0,17\lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$389222,9 \text{ N} > 0,17 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 727,5$$

$$389222,9 \text{ N} < 391094,7 \text{ N}$$

Maka V_{ci} dipakai = 391094,7 N

Gaya geser beton yang diambil adalah nilai terkecil antara V_{cw} dan

V_{ci} , karena $V_{ci} < V_{cw}$ maka $V_c = V_{ci} = 391094,7 \text{ N}$

Gaya geser desain

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{343491,9 - 0,75 \times 391094,7}{0,75} = 66894,5 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157 \times 400 \times 727,5}{66894,5}$$

$$S_{\text{perlu}} = 683 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser

Kontrol jarak spasi tulangan geser :

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$125 < \frac{729}{2}$$

$$125 \text{ mm} < 364,5 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

dan

$$S_{\text{max}} < 600$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Cek persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok

Pada ujung komponen struktur lentur 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 maksimum sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $\frac{d}{4} = \frac{727,5 \text{ mm}}{4} = 182 \text{ mm}$
- 6 x D lentur
= 6 x 25
= 150 mm
- 150 mm

Maka S pakai tidak boleh lebih dari 150 mm

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

$$125 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok pada daerah tumpuan dipasang Ø10-125 mm dengan sengkang 2 kaki

GESER DAERAH LAPANGAN

$$x = 2 \times h = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$$

$$P = \frac{8 \times F \times f}{L^2} = \frac{8 \times 2060800 \times 360}{12000^2} = 17,9 \text{ N/mm}$$

$$V_p = \frac{L}{2} \times P = \frac{12000}{2} \times 17,9 = 150884,4 \text{ N}$$

Menghitung nilai V_{cw}

$$f_{pc} = \frac{F}{A_c} = \frac{2060800}{491727,7} = 4,19 \text{ Mpa}$$

$$V_{p.lapangan} = \frac{0,5L - 2 \times h}{0,5L} \times V_p \\ = \frac{0,5 \times 12000 - 2 \times 800}{0,5 \times 12000} \times 150884,4 \\ = 122229,7 \text{ N}$$

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p \\ = (0,29 \times 1\sqrt{40} + 0,3 \times 4,19)500 \times 727,5 + 122229,7 \\ = 1269732,9 \text{ N}$$

Menghitung nilai V_{ci}

$$V_{d.lapangan} = \frac{0,5L - 2h}{0,5L} \times V_d' = \frac{0,5 \times 12000 - 1600}{0,5 \times 12000} \times 104173,4 = 84389,8 \text{ N}$$

$$V_{i.lapangan} = \frac{0,5L - 1/4L_{balok}}{0,5L} \times V_i' = \frac{0,5 \times 12000 - 1600}{0,5 \times 12000} \times 343491,9 = 278259 \text{ N}$$

$$f_{pc} = \frac{F_e}{A} + \frac{F_e \cdot e}{W_b} = \frac{1635210,3}{491727,7} + \frac{1635210,3 \times 308,4}{64884598,4} = 11 \text{ Mpa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{146276872}{64884598,4} = 2,2 \text{ Mpa}$$

$$M_{cre} = \frac{I}{Y_t} \left(0,5\lambda\sqrt{f'_c} + f_{pc} - f_d \right) \\ = \frac{30069088971}{336,5} (0,5 \times 1\sqrt{40} + 11 - 2,9) \\ = 1072608218 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f_c}b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$$

$$= 0,05 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 727,5 + 84389,8 + \frac{278259 \times 1072608218}{562499700}$$

$$= 730018,6 \text{ N}$$

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

$$730018,6 \text{ N} > 0,17 \times 1\sqrt{40} \times 500 \times 729$$

$$730018,6 \text{ N} > 391901,1 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Gaya geser beton yang diambil adalah nilai terkecil antara V_{cw} dan V_{ci} , karena $V_{ci} < V_{cw}$ maka $V_c = V_{ci} = 730018,6 \text{ N}$

Gaya geser desain

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{278259 - 0,75 \times 730018,6}{0,75} = -359006,6 \text{ N}$$

Karena $V_s \text{ perlu} < 0$, maka dipasang tulangan geser minimum

$$V_s \text{ min} = \frac{b \times d}{3} = \frac{500 \times 729}{3} = 121500 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S_{perlu})

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157 \times 400 \times 727,5}{121500}$$

$$S_{\text{perlu}} = 226 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser

Jarak spasi tulangan geser

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2}$$

$$200 < \frac{727,5}{2}$$

$$200 \text{ mm} < 363,8 \text{ mm} \text{**memenuhi**}$$

dan

$$S_{\max} < 600$$

$$200\text{mm} < 600 \text{ mm...memenuhi}$$

Jadi, penulangan geser balok pada daerah lapangan dipasang $\emptyset 10\text{-}200 \text{ mm}$ dengan sengkang 2 kaki

4.4.4.5 Kontrol partial prestressing ratio (PPR)

Kuat nominal tulangan lunak harus dilakukan pengecekan terhadap momen ultimit dan momen retak balok. Desain balok prategang harus memenuhi rasio momen batas yang disyaratkan SNI 2847:2013 pasal 18.7

Data perencanaan :

F_u	= 184000 N
Luas kawat	= 100,1 mm ²
n strand	= 16 buah
A_{ps} (n x A)	= 1601,6 mm ²
f_{pu} (F_u / A_{ps})	= 1838,1 Mpa
f_{py} ($0,9f_{pu}$)	= 1654,3 Mpa
f_{pu} / f_{py}	= 0,9
b_e	= 1264 mm
M_{cr}	= 974535139,8 Nmm

DAERAH TUMPUAN

Tulangan terpasang

$$\text{Serata atas } 9D25 = 4417,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Serat bawah } 5D25 = 2454,3 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{tumpuan}} = 110 \text{ mm (di atas c.g.c)}$$

$$d_p = e_{\text{tumpuan}} + Y_b = 110 + 463,4 = 573,4 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{500 \times 573,4} = 0,0055$$

Syarat I

$$\text{Selimut beton} < 0,15d_p$$

$$50 \text{ mm} < 0,15 \times 573,4$$

$$50 \text{ mm} < 86 \text{ mm (Memenuhi)}$$

Mencari nilai f_{ps} untuk tendon tidak terlekat

Rasio panjang balok terhadap tinggi penampang balok

$$L/h_b = 12000/800 = 21 < 35$$

Untuk $L/h_b < 35$, maka nilai f_{ps} harus dipilih yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$1) f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} = 1020,9 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,0055} = 1162,6 \text{ Mpa}$$

$$2) f_{ps} = f_{py} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

$$3) f_{ps} = f_{se} + 420 = 1020,9 + 420 = 1440,9 \text{ Mpa}$$

Maka $f_{ps} = 1162,6 \text{ Mpa}$

Periksa apakah balok dianggap balok T atau balok persegi panjang

$$a = \left(\frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ = \left(\frac{1601,6 \times 1162,6 + 4417,8 \times 400}{0,85 \times 40 \times 500} \right) \\ = 213 \text{ mm} > 120 \text{ mm}$$

Karena ($a > t_p$) maka balok dianggap sebagai Balok T

$$A_{pw} \cdot f_{ps} = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y - 0,85 \times f_c (b - b_w) t_p \\ = 1601,6 \times 1162,5 + 4417,8 \times 400 - 0,85 \times 40 (1264 - 500) 120 \\ = 510412,8 \text{ N}$$

$$a = \left(\frac{A_{pw} \times f_{ps}}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ = \left(\frac{510412,8}{0,85 \times 40 \times 500} \right) \\ = 30 \text{ mm}$$

Cek kondisi penulangan

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{500 \times 573,4} = 0,0055$$

$$\omega_p = \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} = \frac{0,0055 \times 1162,5}{40} = 0,162$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{4417,8}{500 \times 727,5} = 0,012$$

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,012 \times 400}{40} = 0,12$$

$$\rho' = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{2454,3}{500 \times 727,5} = 0,0067$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,0067 \times 400}{40} = 0,067$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') < 0,36\beta_1$$

$$0,162 + \frac{727,5}{573,4} (0,12 - 0,067) < 0,36 \times 0,77$$

$$0,23 < 0,28 \text{ (*Penulangan normal*)}$$

Balok termasuk balok dengan tulangan normal, maka M_n untuk balok dengan tulangan normal dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_n &= A_{pw} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + 0,85 \times f_c (b - b_w) t_p \\ &= 510412,8 \left(573,4 - \frac{30}{2} \right) + 4417,8 \times 400 \left(727,5 - \frac{30}{2} \right) + 0,85 \times 40 (1264 - 500) 120 \\ &= 2158531622 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal terhadap momen retak

$$\phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 2158531622 > 1,2 \times 974535139,8$$

$$1942678459 \text{ Nmm} > 1169442168 \text{ Nmm (*Memenuhi*)}$$

Kontrol *partial prestressing ratio* (PPR)

$$\begin{aligned} M_{np} &= A_{pw} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \\ &= 510412,8 \left(573,4 - \frac{30}{2} \right) \\ &= 285020641,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\frac{M_{np}}{M_n} < 25\%$$

$$\frac{285020641,4}{2158531622} < 25\%$$

$$13,2\% < 25\% \text{ (*Memenuhi*)}$$

DAERAH LAPANGAN

Tulangan terpasang

$$\text{Serat bawah 6D25} = 2945,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Serat atas 3D25} = 1472,6 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{lapangan}} = 308,4 \text{ mm (di bawah c.g.c)}$$

$$d_p = e_{\text{lapangan}} + Y_t = 308,4 + 336,5 = 645 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{1264 \times 645} = 0,0019$$

Syarat I

$$\text{Selimut beton} < 0,15d_p$$

$$50 \text{ mm} < 0,15 \times 645$$

$$50 \text{ mm} < 96,8 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Mencari nilai f_{ps} untuk tendon tidak terlekat

Rasio panjang balok terhadap tinggi penampang balok

$$L/h_b = 12000/800 = 21 < 35$$

Untuk $L/h_b < 35$, maka nilai f_{ps} harus dipilih yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$1) f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} = 1020,9 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,0019} = 1294,7 \text{ Mpa}$$

$$2) f_{ps} = f_{py} = 1654,3 \text{ Mpa}$$

$$3) f_{ps} = f_{se} + 420 = 1020,9 + 420 = 1440,9 \text{ Mpa}$$

$$\text{Maka } f_{ps} = 1294,7 \text{ Mpa}$$

Periksa apakah balok dianggap balok T atau balok persegi panjang

$$a = \left(\frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{1601,6 \times 1294,7 + 2945,2 \times 400}{0,85 \times 40 \times 1264} \right)$$

$$= 75,6 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

Karena ($a < t_p$) maka balok dianggap sebagai Balok persegi panjang

Cek kondisi penulangan

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{1601,6}{1264 \times 573,4} = 0,0019$$

$$\omega_p = \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} = \frac{0,0019 \times 1294,7}{40} = 0,064$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{2945,2}{1264 \times 727,5} = 0,0032$$

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,0032 \times 400}{40} = 0,032$$

$$\rho' = \frac{A_s}{b \times d_p} = \frac{1472,6}{500 \times 727,5} = 0,004$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,004 \times 400}{40} = 0,04$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') < 0,36 \beta_1$$

$$0,064 + \frac{727,5}{645} (0,032 - 0,04) < 0,36 \times 0,77$$

$0,054 < 0,28$ (**Penulangan normal**)

Balok termasuk balok dengan tulangan normal, maka M_n untuk balok dengan tulangan normal dihitung sebagai berikut :

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1601,6 \times 1294,6 \left(645 - \frac{75,6}{2} \right) + 2945,2 \times 400 \left(727,5 - \frac{75,6}{2} \right)$$

$$= 2071523598 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal terhadap momen retak

$$\begin{aligned} \phi M_n &> 1,2 M_{cr} \\ 0,9 \times 2071523598 &> 1,2 \times 974535139,8 \\ 1864371238 \text{ Nmm} &> 1169442168 \text{ Nmm} \text{ (*Memenuhi*)} \end{aligned}$$

4.4.4.6 Perhitungan Angkur Ujung

Penulangan pada zona angkur untuk menghindari pembelahan dan blusting akibat gaya tekan terpusat yang disalurkan melalui alat angkur.

$$F_o = 2000000 \text{ N}$$

$$P_u = 1,2 \times F_o = 1,2 \times 2000000 = 2400000 \text{ N}$$

Data perencanaan

$$a = 265 \text{ mm (angkur dengan strand 16 buah)}$$

$$e = 110 \text{ mm (eksentrisitas tumpuan)}$$

$$h = 700 \text{ mm (tinggi penampang pada arah ditinjau)}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h-2e) = 0,5(800-2 \times 265) = 290 \text{ mm}$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \sum P_u \left(1 - \frac{a}{h}\right) = 0,25 \times 2880000 \left(1 - \frac{265}{800}\right) = 401250 \text{ N}$$

$$A_{vp} = \frac{T_{\text{pencar}}}{f_y} = \frac{401250}{400} = 1003 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan $\phi 13$, $A_v = 265 \text{ mm}^2$, maka jumlah tulangan sengkang diperlukan

$$n = \frac{A_{vp}}{A_v} = \frac{1003}{265} = 4 \text{ buah}$$

Jarak sengkang pada daerah angkur

$$S = \frac{d_{\text{pencar}}}{n} = \frac{290}{4} = 72,5 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang tulangan $\phi 13-70$

4.4.4.7 Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Perhitungan panjang penyaluran berdasarkan *SNI 2847:2013 pasal 12*.

- Penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 4327 mm ²	f _y	= 400 Mpa
As pasang	= 4417,8 mm ²	Ψ _e	= 1
Db	= 25 mm	Ψ _t	= 1
Fc	= 40 Mpa	λ	= 1

Perhitungan

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{400 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_d = 930 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times l_d$$

$$l_d = \frac{4327}{4417,8} \times 1395$$

$$l_d = 930 \text{ mm} \approx 950 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$950 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 950 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran perlu

Properti

As perlu	= 4327 mm ²	f _y	= 400 Mpa
As pasang	= 4417,8 mm ²	Ψ _e	= 1
Db	= 25 mm	λ	= 1
Fc	= 40 Mpa		

Perhitungan

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_{dh} = 379 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran

$$l_d = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_d = \frac{4327}{4417,8} \times 379$$

$$l_d = 372 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$400 \text{ mm} \geq 8 \times 25$$

$$400 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

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

$$400 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \text{memenuhi}$$

dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 400 mm

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(25) = 300 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 300 mm

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 400 dan panjang kait 300 mm

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran perlu

Properti

$$A_s \text{ perlu} = 2209 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$A_s \text{ pasang} = 2454 \text{ mm}^2$$

$$F_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$D_b = 25 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1$$

Perhitungan :

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1 \sqrt{40}} \right) 25$$

$$l_{dc} = 379 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 25$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} perlu adalah 430 mm

Reduksi panjang penyaluran

$$l_{dc} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times l_{dh}$$

$$l_{dc} = \frac{2209}{2454} \times 430$$

$$l_{dc} = 387 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \dots \text{memenuhi}$$

Maka dipakai panjang penyaluran dalam kondisi tekan adalah 400 mm

4.5 Perhitungan Struktur Bawah

4.5.1 Perhitungan pondasi tiang pancang

Pondasi yang digunakan untuk struktur bawah adalah pondasi tiang pancang dengan spesifikasi sebagai berikut :

Data perencanaan

Kedalaman rencana	= 18 m
Diameter tiang	= 0,6 m
Tebal selimut beton	= 65 mm
P.izin bahan	= 229,5 Ton
Berat tiang	= 393 kg/m
Fc'	= 35 Mpa
Fy	= 400 Mpa

Data tanah dan P_{izin} tanah tiap kedalaman dengan rumus Mayerhoff

$$P_{ult} = \frac{40 \cdot \bar{N} \cdot A_p + \sum (f_{si} \cdot A_{st})}{SF}$$

Keterangan

N = Nilai rata-rata N setelah koreksi pada 4D di bawah dan 8D di atas kedalaman

A_p = Luas ujung tiang

A_{st} = Luas selimut tiang

SF = 3

f_{si} = Gaya geser pada selimut segmen tiang

N_{koreksi}/5 untuk pasir

N_{koreksi}/2 untuk lanau

Perhitungan daya dukung tanah pada tiap lapisan ditampilkan dalam tabel berikut :

Tabel 4. 19 Daya dukung satu tiang metode Mayerhoff

Depth (m)	Tan	N SPT	n1	n2	N1	γ_{sat}	γ'	Po	Ncor	N.co	N rata	Q_{ujung}	fsi	Rsi	ΣRsi	Pijin
0	P	0	0	0	0	1,69	0,71	0,00	0,0	0,0	26,5	299	0	0	0	99,8
1	L	11	11	11	11	1,69	0,71	0,71	32,7	21,0	24,8	280	16	31	31	104
2	L	21	21	21	21	1,69	0,71	1,42	53,6	42,0	23,2	262	27	50	81	115
3	L	20	20	20	20	1,69	0,71	2,13	42,1	39,0	21,7	245	21	40	121	122
4	L	18	18	18	18	1,69	0,71	2,84	33,7	33,7	23,2	262	17	32	153	138
5	L	14	14	14	14	1,69	0,71	3,55	23,1	23,1	22,7	257	12	22	175	144
6	L	10	10	10	10	1,71	0,73	4,28	14,8	14,8	19,9	226	7	14	189	138
7	L	9	9	9	9	1,71	0,73	5,00	12,0	12,0	17,7	200	6	11	200	133
8	L	8	8	8	8	1,71	0,73	5,73	9,7	9,7	16,2	183	5	9	209	131
9	L	12	12	12	12	1,71	0,73	6,45	13,4	13,4	16,1	182	7	13	222	134
10	L	16	16	16	16	1,71	0,73	7,18	16,5	16,5	16,2	183	8	16	237	140
11	L	18	18	18	18	1,85	0,87	8,05	17,3	17,3	17,0	192	9	16	253	148
12	L	19	19	19	19	1,85	0,87	8,92	18,4	18,4	17,7	200	9	17	271	157
13	L	22	22	22	22	1,85	0,87	9,79	20,3	20,3	18,8	213	10	19	290	168
14	L	24	24	24	24	1,85	0,87	10,7	22,2	22,2	19,5	221	11	21	311	177
15	P	30	22	18	18	1,85	0,87	11,5	16,1	16,1	20,1	227	3	6	317	181
16	P	35	25	21	21	1,74	0,76	12,3	18,8	18,8	21,0	237	4	7	324	187
17	P	31	23	19	19	1,74	0,76	13,0	16,3	16,3	22,1	249	3	6	330	193
18	L	27	27	27	27	1,74	0,76	13,8	23,3	23,3	23,2	263	12	22	352	205
19	L	27	27	27	27	1,74	0,76	14,5	23,0	23,0	25,3	287	11	22	374	220
20	L	27	27	27	27	1,74	0,76	15,3	22,6	22,6	26,7	302	11	21	395	232
21	L	32	32	32	32	1,81	0,83	16,1	26,3	26,3	27,9	316	13	25	420	245
22	L	37	37	37	37	1,81	0,83	17,0	29,9	29,9	28,0	317	15	28	448	255
23	L	41	41	41	41	1,81	0,83	17,8	32,6	32,6	27,8	315	16	31	479	265
24	L	45	45	45	45	1,81	0,83	18,6	35,2	35,2	27,5	312	18	33	512	275
25	L	41	41	41	41	1,81	0,83	19,5	31,2	31,2	26,7	302	16	29	541	281
26	L	36	36	36	36	1,83	0,85	20,3	27,3	27,3	26,3	297	14	26	567	288
27	L	33	33	33	33	1,83	0,85	21,2	24,2	24,2	25,4	287	12	23	590	292
28	L	29	29	29	29	1,83	0,85	22,0	21,3	21,3	23,7	268	11	20	610	293
29	L	28	28	28	28	1,83	0,85	22,9	19,9	19,9	22,2	251	10	19	629	293
30	L	26	26	26	26	1,83	0,85	23,7	18,5	18,5	21,0	237	9	17	646	294

Cek syarat P_{izin} tanah terhadap P_{izin} bahan pada kedalaman yang ditentukan

$$P_{izin\ tanah} < P_{izin\ bahan}$$

$$204,9\ Ton < 229,5\ Ton$$

(Memenuhi)

Perhitungan kebutuhan pondasi tiap titik akibat gaya aksial maksimum

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{izin tanah}}} = \frac{\text{Nilai P diambil dari kombinasi beban aksial max}}{P \text{ izin tanah pada kedalaman 18 m}}$$

Tabel 4. 20 Kebutuhan tiang akibat beban aksial

Joint	P max (Ton)	n Tiang Pancang
1	406.42	2
2	515.57	3
3	545,40	3
4	423.59	3
5	423.59	3
6	545,40	3
7	515.57	3
8	406.42	2
9	461.91	3
10	601.25	3
11	566.31	3
12	566.31	3
13	601.25	3
14	461.91	3
15	461.91	3
16	601.25	3
17	566.31	3
18	566.31	3
19	601.25	3
20	461.91	3
21	406.42	2
22	515.57	3
25	545,40	3
26	545,40	3
27	515.57	3
28	406.42	2
29	423.59	3
30	423.59	3

673	449.32	3
674	464.13	3
675	449.32	3
1313	582.17	3
1314	603.16	3
1315	582.17	3
1321	597.65	3
1322	507.95	3
1323	597.65	3
1324	597.65	3
1325	507.95	3
1326	597.65	3
1327	582.17	3
1328	603.16	3
1329	582.17	3
1335	449.32	3
1336	464.13	3
1337	449.32	3

Perencanaan pondasi dengan 4 tiang pancang pada joint 25

$P_{\max} = 545,4$ Ton

Jumlah tiang

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{izin tanah}}} = \frac{545,4}{204,9} = 2,6 \text{ buah}$$

Dicoba dipakai 4 buah tiang

Perencanaan dimensi poer

- Syarat jarak antar tiang pancang (S)

$$2,5D \leq S \leq 3D$$

$$2,5 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$$

$$150 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$$

maka dipakai $S = 150$ cm

- Syarat jarak tiang ke tepi poer

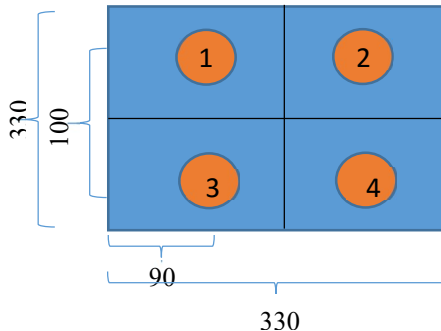
$$1,5D \leq S' \leq 2D$$

$$1,5 \times 60 \leq S' \leq 2 \times 60$$

90 cm ≤ S ≤ 120 cm

maka dipakai S = 90 cm

Konfigurasi tiang sebagai berikut



Pengecekan ulang terhadap kebutuhan tiang pancang

Tebal poer rencana = 0,9 m

Beban-beban

$$P_{SAP} = 545,4 = 545,4 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat poer} = 3,3 \times 3,3 \times 0,9 \times 2400 = 23,5 \text{ Ton}$$

$$P_{\max} = 569 \text{ Ton}$$

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{izin tanah}}} = \frac{569}{204,9} = 2,78 \text{ buah}$$

dipakai 4 buah tiang pancang

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi tiang kelompok

$$\eta = 1 - \text{Arctag} \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$

$$= 1 - \text{Arctag} \frac{0,6}{1,5} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \right]$$

$$= 0,758$$

$$P_{\text{izin tanah koreksi}} = \eta \times P_{\text{izin tanah}} = 0,758 \times 204,9 = 155,2 \text{ Ton}$$

Kontrol $P_{\text{izin tanah}}$ terhadap kelompok tiang

Berat

$$P_{SAP} = 545,4 = 545,4 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat poer} = 3,3 \times 3,3 \times 0,9 \times 2400 = 23,5 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat tiang} = 18 \times 4 \times 0,393 = 28,2 \text{ Ton}$$

$$P_{\max} = 597,3 \text{ Ton}$$

$$P_{\text{izin tanah total}} = n \text{ tiang} \times P_{\text{izin tanah koreksi}}$$

$$= 4 \times 155,2 \text{ Ton}$$

$$= 621 \text{ Ton}$$

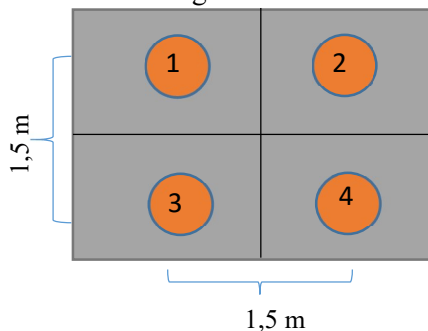
Cek syarat :

$$P_{\max} < P_{\text{izin tanah total}}$$

$$597,3 \text{ Ton} < 621 \text{ Ton} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok akibat beban maksimum tiap arah

Jarak sumbu tiang ke titik berat kelompok tiang



Arah X

No.	X	X ²
1	-0,75 m	0,5625 m
2	0,75 m	0,5625 m
3	-0,75 m	0,5625 m
4	0,75 m	0,5625 m
Σx^2		2,25 m

Arah Y

No.	Y	Y ²
1	0,75 m	0,5625 m
2	0,75 m	0,5625 m
3	-0,75 m	0,5625 m
4	-0,75 m	0,5625 m
Σy^2		2,25 m

Berdasarkan output dari SAP 2000 yang menghasilkan $P_{u,\max}$

Gaya output SAP :

$$P = 493,6 \text{ T}$$

$$M_y = 3,85 \text{ Tm}$$

$$M_x = 0,33 \text{ Tm}$$

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{P_u}{n} + \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times 0,75}{2,25} + \frac{3,85 \times (-0,75)}{2,25} = 122,3 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times 0,75}{2,25} + \frac{3,85 \times 0,75}{2,25} = 124,8 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{3,85 \times (-0,75)}{2,25} = 122 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{493,6}{4} + \frac{0,33 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{3,85 \times 0,75}{2,25} = 124,5 \text{ T}$$

$$P_{\max} = P_2 = 124,8 \text{ T}$$

Kontrol tiang tekan

$$P_{\max} < P_{\text{izin tanah 1 tiang}}$$

$$124,8 \text{ T} < 155,2 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Berdasarkan output dari SAP 2000 yang menghasilkan $M_{x,\max}$

Gaya output SAP :

$$P = 355,1 \text{ T}$$

$$M_y = -9,52 \text{ Tm}$$

$$M_x = -24,75 \text{ Tm}$$

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{P_u}{n} + \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times 0,75}{2,25} + \frac{-9,52 \times (-0,75)}{2,25} = 83,7 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times 0,75}{2,25} + \frac{-9,52 \times 0,75}{2,25} = 77,3 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{-9,52 \times (-0,75)}{2,25} = 100,2 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{355,1}{4} + \frac{-24,75 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{-9,52 \times 0,75}{2,25} = 93,8 \text{ T}$$

$$P_{\max} = P_2 = 100,2 \text{ T}$$

Kontrol tiang tekan

$$P_{\max} < P_{\text{izin tanah 1 tiang}}$$

$$100,2 \text{ T} < 155,2 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Berdasarkan output dari SAP 2000 yang menghasilkan My_{\max}

Gaya output SAP :

$$P = 466,2 \text{ T}$$

$$My = 32,52 \text{ Tm}$$

$$Mx = 8,47 \text{ Tm}$$

Beban yang diterima pada satu tiang pancang

$$P = \frac{P_u}{n} + \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2}$$

$$P_1 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times 0,75}{2,25} + \frac{32,52 \times (-0,75)}{2,25} = 108,5 \text{ T}$$

$$P_2 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times 0,75}{2,25} + \frac{32,52 \times 0,75}{2,25} = 130,2 \text{ T}$$

$$P_3 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{32,52 \times (-0,75)}{2,25} = 102,9 \text{ T}$$

$$P_4 = \frac{466,2}{4} + \frac{8,47 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{32,52 \times 0,75}{2,25} = 124,5 \text{ T}$$

$$P_{\max} = P_2 = 130,2 \text{ T}$$

Kontrol tiang tekan

$$P_{\max} < P_{\text{izin tanah 1 tiang}}$$

$$130,2 \text{ T} < 155,2 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Perhitungan tebal poer akibat kolom

Gaya output SAP

$$P_{\text{ultimit max}} = 757,1 \text{ Ton (Envelope)}$$

$$\text{Tebal poer rencana} = 0,9 \text{ m}$$

Dimensi poer = 3,3 m x 3,3 m

Selimut beton = 0,075 m

Dimensi kolom = 90/90

Kontrol geser satu arah poer akibat kolom

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{757,1}{3,3 \times 3,3} = 69,5 \text{ T/m}^2$$

$$b_w = 3,3 \text{ m}$$

d = tebal poer – selimut beton

$$= 0,9 - 0,0075$$

$$= 0,825 \text{ m}$$

$$G' = L - 0,5b_w - 0,5h_k - d$$

$$= 3,3 - 0,5 \times 3,3 - 0,5 \times 0,9 - 0,825$$

$$= 0,375 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma \times b_w \times G'$$

$$= 69,5 \times 3,3 \times 0,375$$

$$= 86,04 \text{ Ton}$$

Cek kuat geser beton

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c}b_wd = 0,17 \times 1\sqrt{35} \times 3,3 \times 0,825 = 273,8 \text{ T}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 273,8 = 205,3 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$86,04 \text{ T} \leq 205,3 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol geser dua arah poer akibat kolom

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{757,1}{3,3 \times 3,3} = 69,5 \text{ T/m}^2$$

$$h_w = 3,3 \text{ m}$$

d = tebal poer – selimut beton

$$= 0,9 - 0,0075$$

$$= 0,825 \text{ m}$$

$$B' = \text{lebar kolom} + d$$

$$= 0,9 + 0,825$$

$$= 1,73 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma (h_w^2 - B'^2)$$

$$= 69,5 (3,3^2 - 1,73^2)$$

$$= 550,2 \text{ Ton}$$

Kekuatan geser beton diambil yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$a_n = \text{sisi panjang kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$b_n = \text{sisi pendek kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$\beta = a_n / b_n = 90/900 = 1$$

$$d = t, \text{poer} - \text{cover} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m} = 825 \text{ mm}$$

$$b_o = \text{kll. penampang kritis} = 4 \times B' = 4 \times 1,73 = 6,9 \text{ m} = 6900 \text{ mm}$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 6900 \times 825$$

$$= 1717,5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 1717,5 \text{ T}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,083 \left(2 + \frac{30 \times 725}{6500} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 6900 \times 825$$

$$= 1561,6 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 1561,6 \text{ T}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 6900 \times 825$$

$$= 1122,5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 1122,5 \text{ T}$$

Maka nilai yang diambil adalah $V_c = 91122,5 \text{ T}$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 1122,5 = 841,9 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \emptyset V_c$$

$$550,2 \text{ T} \leq 841,9 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Perhitungan tebal poer akibat tiang pancang

Gaya output SAP

P ultimit max = 641,7 Ton (Envolpe)

Tebal poer rencana = 0,9 m

Dimensi poer = 3,3 m x 3,3 m

Selimut beton = 0,075 m

Dimensi kolom = 90/90

Kontrol geser satu arah poer akibat tiang pancang

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{641,7}{3,3 \times 3,3} = 58,9 \text{ T/m}^2$$

$$b_w = 3,3 \text{ m}$$

d = tebal poer – selimut beton

$$= 0,9 - 0,0075$$

$$= 0,825 \text{ m}$$

$$L' = L - 0,5b_w - 0,5h_k - d$$

$$= 3,3 - 0,5 \times 3,3 - 0,5 \times 0,9 - 0,825$$

$$= 0,375 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma \times b_w \times L'$$

$$= 58,9 \times 3,3 \times 0,375$$

$$= 72,9 \text{ Ton}$$

Cek kuat geser beton

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c}b_wd = 0,17 \times 1\sqrt{35} \times 3,3 \times 0,825 = 273,8 \text{ T}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 273,8 = 205,3 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$72,9 \text{ T} \leq 205,3 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol geser dua arah poer akibat tiang pancang

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{641,7}{3,3 \times 3,3} = 58,9 \text{ T/m}^2$$

$$h_w = 3,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 d &= \text{tebal poer} - \text{selimut beton} \\
 &= 0,9 - 0,0075 \\
 &= 0,825 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B' &= \text{lebar kolom} + d \\
 &= 0,9 + 0,825 \\
 &= 1,73 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \sigma (h_w^2 - B'^2) \\
 &= 58,9 (3,3^2 - 1,73^2) \\
 &= 335,4 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Kekuatan geser beton diambil yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$a_n = \text{sisi panjang kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$b_n = \text{sisi pendek kolom} = 900 \text{ mm}$$

$$\beta = a_n / b_n = 900 / 900 = 1$$

$$d = \text{t.poer} - \text{cover} = 0,9 - 0,0075 = 0,825 \text{ m} = 825 \text{ mm}$$

$$b_o = \text{kll. penampang kritis}$$

$$= 2(b_k + d) + 2(h_k + d)$$

$$= 2(90 + 825) + 2(90 + 825)$$

$$= 3660 \text{ mm}$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 3660 \times 825$$

$$= 911 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 911 \text{ T}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,083 \left(2 + \frac{30 \times 825}{3660} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 3660 \times 825$$

$$= 1299,1 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 1299,1 \text{ T}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d$$

$$= 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 3660 \times 825$$

$$= 589,5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$= 589,5 \text{ T}$$

Maka nilai yang diambil adalah $V_c = 589,5 \text{ T}$

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 589,5 = 442,1 \text{ T}$$

Cek syarat

$$V_u \leq \emptyset V_c$$

$$335,4 \text{ T} \leq 442,1 \text{ T} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol terhadap panjang penyaluran kolom

L_{dc} diambil yang terbesar dari persamaan berikut :

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{fc'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1\sqrt{30}} \right) 25$$

$$l_{dc} = 405,6 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043fy) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) 25$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

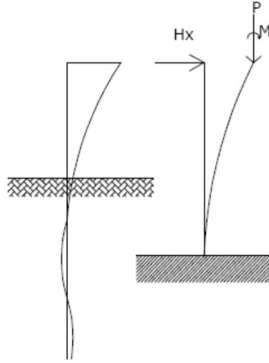
Maka l_{dc} pakai adalah 450 mm

Cek syarat

$$\text{Tebal poer} > L_{dc} \text{ pakai}$$

$$900 \text{ mm} > 450 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)}$$

Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral



Gambar 4. 23 Panjang jepit kritis tanah

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1.5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multi layer

$$L_e = \text{panjang penjepitan} \\ = 3 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Dipakai } L_e = 2.4 \text{ m}$$

$$M_y = L_e \times H_y \\ = 1,8 \times 9,054 \\ = 16,297 \text{ Tm}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = M_y / n = 16,297 / 4 = 4,07 \text{ Tm}$$

Syarat momen crack tiang pancang

$$M_y < M_{\text{bending crack}} \\ 4,07 \text{ Tm} < 29 \text{ Tm} \text{ (Memenuhi)}$$

$$M_x = L_e \times H_x \\ = 1,8 \times 12,51 \\ = 22,51 \text{ Tm}$$

$$M_x \text{ (satu tiang pancang)} = M_x / n = 22,51 / 4 = 5,62 \text{ Tm}$$

Syarat momen crack tiang pancang

$$M_x < M_{\text{bending crack}}$$

$$5,62 \text{ Tm} < 29 \text{ Tm} \text{ (Memenuhi)}$$

4.5.2 Perhitungan penulangan lentur poer

Perhitungan tulangan lentur poer diasumsikan sebagai balok kantilever

Data perencanaan

Dimensi poer = 3300 x 3300

Tebal poer = 900 mm

Jumlah tiang = 4 buah

Dimensi kolom = 900 x 900

Mutu beton = 35 Mpa

Mutu tulangan = 400 Mpa

Diameter tul.lentur = 22 mm

Selimut beton = 75 mm

Tebal manfaat plat

$$D_x = \text{tebal poer} - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \varnothing$$

$$= 900 \text{ mm} - 475 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$= 812,2 \text{ mm}$$

$$D_y = \text{tebal poer} - \text{tebal selimut} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing$$

$$= 900 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$= 787,5 \text{ mm}$$

Lengan momen tiang pancang pada tiap arah

Karena poer persegi maka Arah X dan arah Y sama

n.tiang arah x = 2 buah

n.tiang arah y = 2 buah

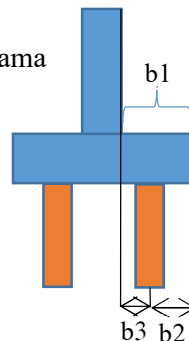
b1 = $3300/2 - 900/2 = 1200 \text{ mm}$

b2 = S' = 900 mm

b3 = 1200-900 = 300 mm

Beban yang terjadi

P.pouer = b1 x lebar poer x t.pouer x 2400

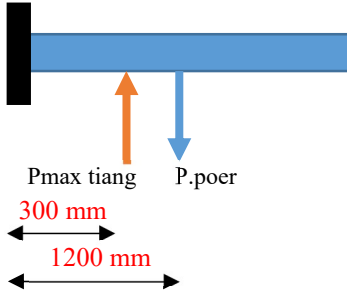


$$= 1,2 \times 3,3 \times 0,9 \times 2400$$

$$= 8553,6 \text{ kg}$$

$$P_{\text{max tiang}} = 130,234 \text{ T} = 130234 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi



Momen yang terjadi

$$M_u = \text{Momen poer} + \text{Momen tiang pancang}$$

$$= P_{\text{poer}} \times b_1 \times 0,5 + P_{\text{max tiang}} \times n_{\text{tiang}} \times b_3$$

$$= 8553,6 \times 1,2 \times 0,5 + 130234 \times 2 \times 0,3$$

$$= 73008,2 \text{ kgm}$$

Batasan rasio tulangan

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81}{400} + \frac{600}{600 + 400} = 0,0361$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0361 = 0,0271$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 35} = 13,4$$

$$M_u = 73008,2 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{73008,2 \cdot 10^4}{0,9} = 811202805,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{811202805,6}{3300 \times 812,2^2} = 0,37 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13,4} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,4 \cdot 0,37}{400}} \right] \\ &= 0,00094\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

0,0035 < 0,00094 < 0,027 , dipakai ρ_{\min}

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0035 \cdot 3300 \cdot 812,2 \\ &= 9384 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan Ø22-125

Syarat spasi antar tulangan

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

$$S_{\max} = 2 \cdot 900 \text{ mm} = 1800 \text{ mm}$$

Spakai = 125 mm < 1800 mm**Memenuhi**

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (22)^2 \cdot (3300)}{125} \\ &= 10035,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat : As pakai > As perlu

10035,5 mm² > 9384 mm²**Memenuhi**

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa ringkasan data perencanaan diantaranya sebagai berikut :

Struktur Sekunder

- Komponen Pelat
 - Tebal Pelat Lantai = 12 cm
 - Tebal Pelat Atap = 12 cm

Tabel 5. 1 Rekapitulasi penulangan pelat

Tipe Pelat	Elemen	Arah penulangan					
		Arah X			Arah Y		
		Ø	-	Jarak	Ø	-	Jarak
Plat Lantai 1-12	Tumpuan	10	-	200	10	-	250
	Lapangan	10	-	200	10	-	250
Plat Atap	Tumpuan	10	-	250	10	-	250
	Lapangan	10	-	250	10	-	250

- Komponen Tangga

Tabel 5. 2 Rekapitulasi penulangan tangga

Tipe Tangga	Elemen	Arah penulangan					
		Arah X			Arah Y		
		Ø	-	Jarak	Ø	-	Jarak
Tipe 1	Pt-Tangga	16	-	125	10	-	300
	Pt-Bordes	16	-	200	10	-	300

Tabel 5. 3 Rekapitulasi penulangan balok bordes

Penulangan Balok Bordes 25/40							
Tarik	2D	16	Tumpuan	2Ø	10	-	150
Tekan	2D	16	Lapangan	2Ø	10	-	150

- Komponen Balok lift

Tabel 5. 4 Rekapitulasi penulangan balok lift

Penulangan Balok Lift (BL) 40/60						
	Lentur		Geser			
Tarik	5D	22	Tumpuan	2D	13	250
Tekan	3D	22	Lapangan	2D	13	250

- Komponen Balok Anak

Tabel 5. 5 Rekapitulasi penulangan balok anak

Penulangan Balok Anak 30/40								
	Tumpuan		Lapangan		Geser			
Tarik	4D	16	4D	16	Tumpuan	2Ø	10	150
Tekan	2D	16	2D	16	Lapangan	2Ø	10	150

Struktur Primer

- Komponen Balok Induk

Tabel 5. 6 Rekapitulasi penulangan balok induk

Tipe	BI-1			BI-2		
Dimensi	400	x	700	400	x	700
Tumpuan atas	7	D	22	7	D	22
Tumpuan Bawah	4	D	22	4	D	22
Lapangan atas	5	D	22	5	D	22
Lapangan bawah	4	D	22	4	D	22
Torsi	4	Ø	16	4	Ø	16
Geser tumpuan	2Ø13	-	125	2Ø13	-	125
Geser lapangan	2Ø13	-	200	2Ø13	-	200

- Komponen Kolom

Tabel 5. 7 Rekapitulasi penulangan kolom

Tipe	K1		
Dimensi	800	x	800
Lentur	20	D	25
Geser tumpuan	4Ø13	-	80
Geser lapangan	2Ø13	-	150

- Komponen Balok Pratekan

Tabel 5. 8 Rekapitulasi penulangan balok pratekan

Tipe	BB1		
Dimensi	500	x	800
Tumpuan atas	9	D	25
Tumpuan Bawah	5	D	25
Lapangan atas	4	D	25
Lapangan bawah	6	D	25
Torsi	4	Ø	16
Geser tumpuan	10	-	100
Geser lapangan	10	-	150
Jumlah Strands	16 buah		
Lekatan	Unbounded		
Diameter (mm)	12,7		
Ap @ strands (mm ²)	100,1		
Duct (mm)	84		
Live end anchorage	VSL Stressing anchorage type Sc		
Dead end anchorage	VSL dead end anchorage type P		
Gaya pratekan	2000 kN		
Kehilangan pratekan	23,50%		

- Komponen Pilecap dan Tiang Pancang

Tabel 5. 9 Rekapitulasi penulangan tiang pancang

Tipe	Dimensi (cm)	Jumlah Tiang Pancang (Buah)	Penulangan Pile Cap (Ø 60 cm)					
			Arah X			Arah Y		
			Ø	-	Jarak	Ø	-	Jarak
Tipe 1	180 x 330 x 90	2	22	-	125	22	-	125
Tipe 2	330 x 330 x 90	4	22	-	125	22	-	125
Tipe 3	540 x 900 x 130	15	25	-	100	25	-	100

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Beban yang digunakan dapat dioptimasi dan disesuaikan agar mendapat dimensi struktur yang lebih efisien

2. Analisis terhadap struktur dapat lebih didetailkan kembali agar hasil desain lebih optimal dan menghasilkan struktur yang lebih daktail
3. Penggunaan aturan dalam perencanaan harus disesuaikan dengan kondisi indonesia dengan mempertimbangkan aspek-aspek terkait.

*Halaman ini sengaja dikosongkan**

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.(SNI 1727-2013). Jakarta: BSNI.
- Badan Standardisasi Nasional. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. (SNI 1726-2012). Jakarta: BSNI.
- Badan Standardisasi Nasional. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2012). Jakarta: BSNI.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG). Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Imran, Iswandi and Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. edited by T. Sarah. Bandung.
- Imran, Iswandi and Dradjat Hoedajanto. 2006. “Permasalahan Detailing Pada Bangunan Beton Bertulang Sederhana Tahan Gempa.”
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). Peta Hazard Gempa Indonesia. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Lin,T.Y.,dan Ned H. Burns. 2000. Desain Struktur Beton Prategang Jilid 2. Jakarta:Penerbit Erlangga
- Wahyudi, H. (t.thn.). Daya Dukung Pondasi Dalam. Surabaya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan**

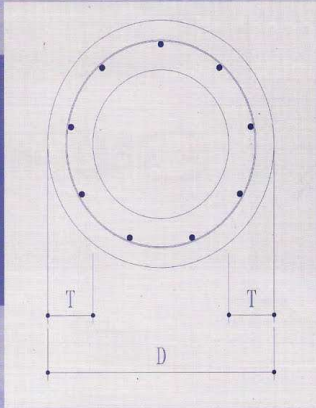
LAMPIRAN

Lampiran 1 (Data Tanah)

*Halaman ini sengaja dikosongkan**

Lampiran 2
(Brosur Tiang Pancang)

Shape and Dimension



Classification

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment Crack (Ton.m)	Bending Moment Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50

Lampiran 3
(Brosur Tendon)

MULTISTRAND POST-TENSIONING



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	0.784	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

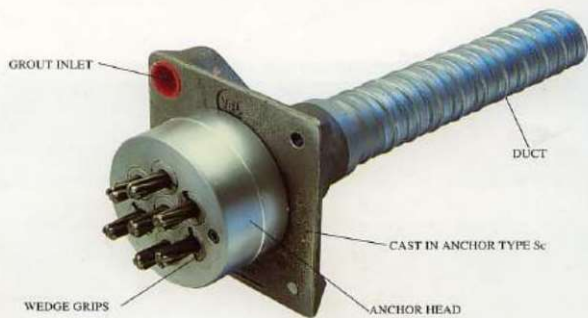
STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
5-3	2	368	39
	3	552	39
5-7	4	736	51
	5	920	51
	6	1100	51
	7	1290	51
5-12	8	1470	69
	9	1660	69
	10	1840	69
	11	2020	69
5-19	12	2210	69
	13	2390	84
	14	2580	84
	15	2760	84
5-19	16	2940	84
	17	3130	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
5-31	27	4970	96
	28	5150	105
	29	5340	105
	30	5520	105
5-31	31	5700	105
	32	5890	115
	33	6070	115
	34	6260	115
5-37	35	6440	115
	36	6620	115
	37	6810	115
	5-42	38	6990
39		7180	118
40		7360	118
41		7540	118
5-48	42	7730	118
	43	7910	127
	44	8100	127
	45	8280	127
5-55	46	8460	127
	47	8650	127
	48	8830	127
	5-55	49	9020
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
6-22	18	4500	96
	19	4750	96
	20	5000	105
6-22	21	5250	105
	22	5500	105
	6-27	23	5750
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
6-48	41	10250	135
	42	10500	135
	43	10750	144
	44	11000	144
6-55	45	11250	144
	46	11500	144
	47	11750	144
	48	12000	144
	49	12250	154
	50	12500	154
	51	12750	154
	52	13000	154
53	13250	154	
6-55	54	13500	154
	55	13750	154

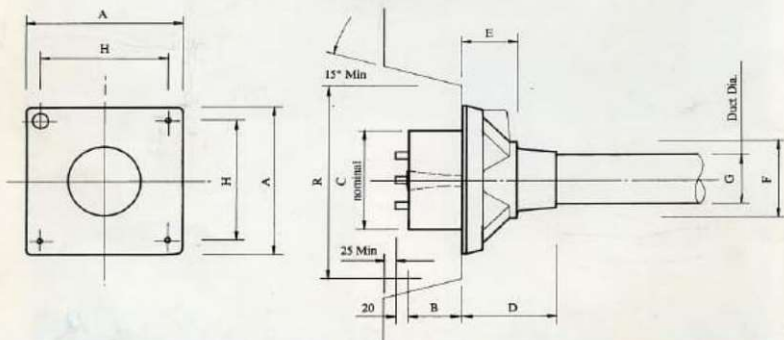
- Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.
 2. Duct diameters are for corrugated steel duct.
 3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal
 4. Corrugated polyethylene PT-Plus™ duct is also available, refer page 14.
 5. For special applications other strand and tendon capacities are available.



MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc
LIVE END



TENDON UNIT	Dimensions (mm)									
	A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R	
STRAND TYPE 12.7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	84	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	184	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	260
	5-37	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	5-42	390	112	290	346	168	217	118	325	650
STRAND TYPE 15.2mm	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
	6-7	215	54	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	92	220	250	160	175	96	250	360
STRAND TYPE 15.2mm	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

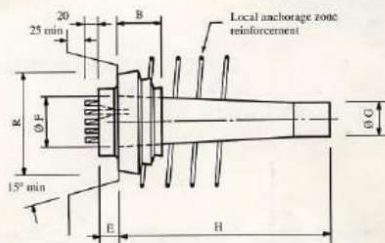
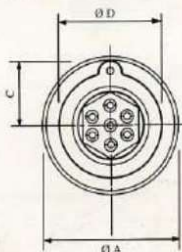
Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases. Refer VSL office for details.

*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.

MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE CS
LIVE END



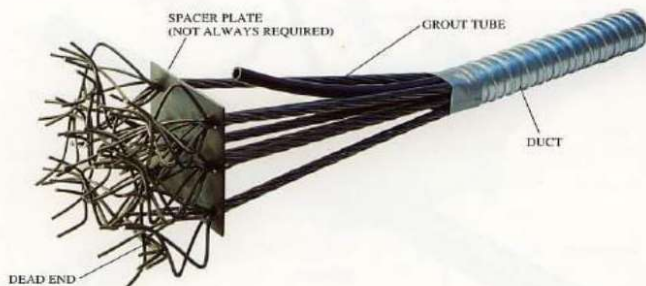
TENDON UNIT		Dimensions (mm)									
STRAND TYPE 12.7mm	STRAND TYPE 15.2mm	øA	B	C	øD	E	øP Ext. Dia.	øC CS-Standard	H CS-Plus	H CS-Super	R
5-12	6-7	222	60	135.5	153/143	49	110	80	400	535	320
5-19	6-12	258	80	149	178	49	137	95	500	638	360
-	6-19	300	90	170	210	59	156	110	540	660	360
5-31	6-22	320	100	180	229	59/65	174	125	570	740	360
5-43	6-31	390	120	217	279/283	69/75	224	146	880	*	640
5-55	6-37	420	130	233	302	78/82	237	160	830	*	750

*Check with VSL office
The trumpets for the CS-PLUS and CS-SUPER configurations have short, profiled extension for PT-PLUS™ coupling.

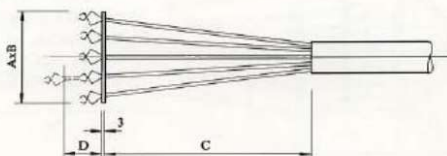
TENDON CONFIGURATIONS

VSL SYSTEM	Anchorage Type		Duct Type		Fully Encapsulated Tendon	Electrically Isolated Tendon
	Conventional	CS	Steel	HD PE PT-PLUS		
Conventional	•		•			
PT-PLUS	•			•		
CS-Standard		•	•			
CS-Plus		•		•	•	
CS-Super		•		•	•	•

The Type CS anchorage should be used for applications requiring high fatigue resistance, high corrosion resistance, reduced anchorage friction and the possibility of electrical isolation. For conventional applications the Type Se anchorage should be used.

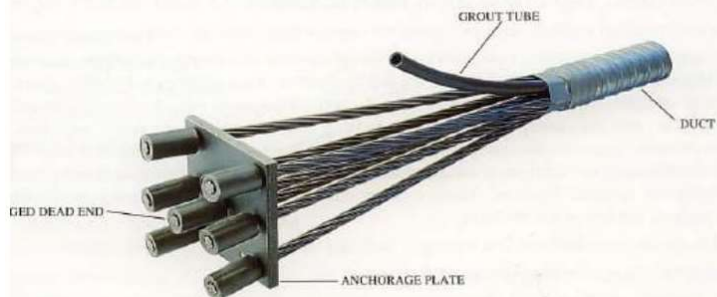


VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE H

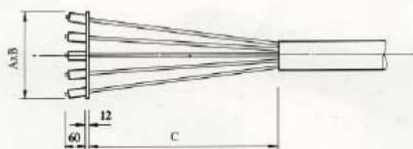


STRAND TYPE 12.7mm				
TENDON UNIT	A	B	C	D
	Dimensions (mm)			
5-3	125	125	600	-
5-4	125	125	600	-
5-7	175	150	600	-
5-12	300	250	1000	150
5-19	375	300	1000	150
5-22	400	300	1000	150
5-27	450	400	1000	150
5-31	450	425	1000	150
5-37	525	450	1100	150
5-42	600	450	1100	150
5-48	645	450	1200	150
5-55	700	500	1200	150

STRAND TYPE 15.2mm				
TENDON UNIT	A	B	C	D
	Dimensions (mm)			
6-3	150	150	600	-
6-4	150	150	600	-
6-7	200	170	600	-
6-12	350	300	1000	150
6-19	450	350	1000	150
6-22	500	350	1000	150
6-27	550	450	1100	150
6-31	550	475	1100	150
6-37	600	550	1100	150
6-42	700	550	1200	150
6-48	745	550	1200	150
6-55	800	600	1200	150



VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P



STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	A	B	C
	Dimensions (mm)		
S-3	100	100	100
S-4	120	120	150
S-7	150	150	250
S-12	200	200	350
S-19	250	250	500
S-22	300	250	500
S-27	300	300	650
S-31	350	300	650
S-37	375	350	850
S-42	375	375	850
S-48	400	400	1000
S-55	425	425	1000

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	A	B	C
	Dimensions (mm)		
6-3	150	150	250
6-4	150	150	250
6-7	200	200	350
6-12	250	250	500
6-19	300	300	500
6-22	300	300	500
6-27	350	350	650
6-31	350	350	650
6-37	400	350	850
6-42	400	350	850
6-48	475	475	1000
6-55	550	475	1000

SHEATHING AND CORROSION PROTECTION

For conventional applications, corrugated galvanised steel ducts are used.

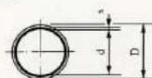
For applications requiring enhanced corrosion protection and improved fatigue resistance of the tendons, use of the VSL PT-PLUS™ System with corrugated plastic duct is recommended. This fully encapsulated, watertight system offers superb corrosion protection, and the plastic duct eliminates fretting fatigue between the strand and duct. It also provides reduced duct friction. The PT-PLUS™ System may, in conjunction with VSL CS Anchorages, be configured with special details and installation techniques to provide Electrically Isolated Tendons. These tendons may be electrically monitored at any time throughout the life of the structure.

All ducts are manufactured in a variety of standard lengths and are coupled on site.

For diameters of steel ducts see page 7.

DIMENSIONS OF POLYETHYLENE DUCTS PT-PLUS™

STRAND TYPE 12.7mm		STRAND TYPE 15.2mm		DUCT Dimensions (mm)		
TENDON UNIT	TENDON UNIT	d	D	s		
5-12	6-7	59	73	2		
5-19	6-12	76	91	2.5		
5-31	6-19/9-22	100	116	3		
5-43	6-31	130	146	3		
5-55	6-37	130	146	3		
Other units on request						



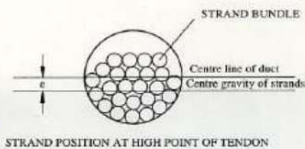
POLYETHYLENE DUCT PT-PLUS™



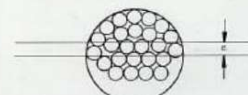
STEEL DUCT

ECCENTRICITY OF TENDONS

STRAND TYPE 12.7mm			STRAND TYPE 15.2mm		
TENDON UNIT	STEEL DUCT e (mm)	PLASTIC DUCT e (mm)	TENDON UNIT	STEEL DUCT e (mm)	PLASTIC DUCT e (mm)
5-1	4	-	6-1	5	-
5-3	7	-	6-3	6	-
5-7	8	-	6-4	6	-
5-12	11	7	6-7	10	9
5-19	13	9	6-12	14	12
5-22	12	22	6-19	17	18
5-27	13	17	6-22	14	15
5-31	14	14	6-27	13	22
5-37	23	32	6-31	22	28
5-42	26	28	6-37	25	22
5-48	17	24			
5-55	23	14			



STRAND POSITION AT HIGH POINT OF TENDON



STRAND POSITION AT LOW POINT OF TENDON

SELECTED DESIGN CONSIDERATIONS

Tendon Supports

Recommended spacings:

- Conventional steel ducts: 0.8 to 1.2m
- Polyethylene ducts PT-PLUS™: 0.8 to 1.0m

Tendon Force Losses

The friction losses in the anchorage due to curvature of the strand and friction of the strand in the wedges usually amount to:

- Anchorage type Sc 2 to 4%
- Anchorage type CS 1 to 2%

Friction losses along the tendon can vary fairly widely and depend upon several factors, including: the nature and surface condition of the prestressing steel, the type, diameter and surface conditions of the duct and the installation method.

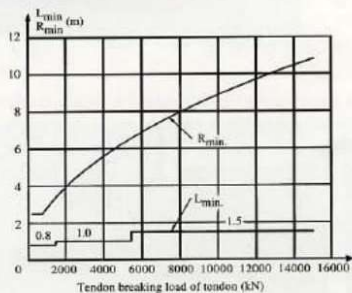
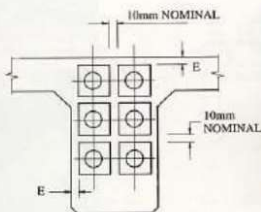
The following values may be assumed for design:

- Tendon in conventional steel ducts: $\mu = 0.20$
- Tendon in polyethylene ducts PT-PLUS™: $\mu = 0.14$

Independent of the type of jack or tendon, a loss due to wedge draw-in of approximately 6mm occurs at lock-off.

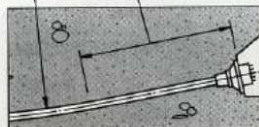
EDGE DISTANCES

TENDON UNIT		E (mm)
11.7mm	5-7	30
	5-12	50
	5-19	50
	5-27	80
	5-42	80
15.2mm	5-55	80
	6-7	50
	6-12	50
	6-19	80
	6-27	80
	6-42	100
	6-55	100



MINIMUM RADII OF TENDON CURVATURE

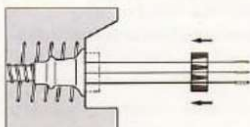
MIN. RADIUS OF CURVATURE R_{min}
MIN. STRAIGHT LENGTH L_{min} BEHIND ANCHORAGE



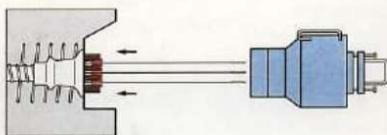
The radii of curvature given in the opposite diagram may be reduced, provided the local concrete strength and the steel stresses resulting from the curvature are checked.

STRESSING

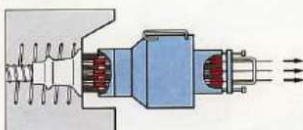
The unique feature of the VSL post-tensioning systems lies in its special procedure for locking the wedges. The wedges always remain in contact with the strands during the stressing operation. As the pressure in the jack is released, the wedges



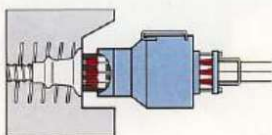
Placing of anchor head and wedges



Positioning of the jack



Stressing



Seating of wedges



Placing of anchor head



Positioning of jack



Stressing, measuring, seating of wedges

GROUTING

VSL grouting equipment includes mixer and pump in one unit. Grouting is usually carried out as soon as possible after stressing. For special applications vacuum assisted grouting procedures can be used

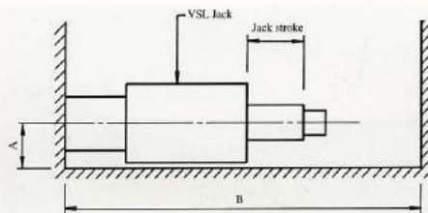


Grouting equipment



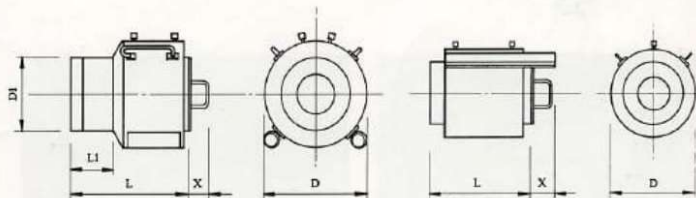
Grouting of tendon

MULTISTRAND POST-TENSIONING



JACK CLEARANCE REQUIREMENTS

Dimension (mm)	VSL JACK TYPE					
	VSL50	VSLB7	VSL190	VSL290	VSL460	VSL670
A	145	180	195	235	285	370
B	1000	1000	1600	1600	1400	2400
Dimension (mm)	VSL JACK TYPE					
	VSL750	VSL1000	VSL1250	VSL1650	VSL1700	
A	300	435	395	495	480	
B	2600	2100	2800	1800	2600	



STRESSING JACK DETAILS

VSL JACK TYPE	TENDON UNIT	TENDON UNIT	NOMINAL CAP (kN)	D	D1	L	L1	X	STROKE (mm)	MASS (kg)
Dimension (mm)										
VSL50	5-3 & 4	6-3 & 4	500	210	-	430	-	-	150	34
VSLB7	5-7	6-3 & 4	1000	275	-	405	-	-	160	76
VSL190	5-12	6-7	1900	310	230	430	200	135	100	151
VSL290	5-19	6-12	2900	390	270	450	215	240	100	202
VSL460	5-31	6-19	4600	485	330	510	200	85	100	425
VSL670	5-42	6-31	6700	660	-	840	-	250	200	1550
VSL750	3-42	6-35	7500	570	410	1070	215	165	200	1500
VSL1000	5-55	6-47	10000	790	-	985	-	165	200	2200
VSL1250	5-55	6-55	12500	710	420	1125	220	165	150	1790
VSL1650	5-64	6-55	16500	910	600	615	140	-	150	1750
VSL1700	5-91	6-91	17000	875	-	1020	-	165	150	3085

Note: other equipment is available for special situations.

Lampiran 4
(Gambar Perhitungan)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

No	Revisi

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

- TAMPAK DEPAN
 - TAMPAK BELAKANG

1:250

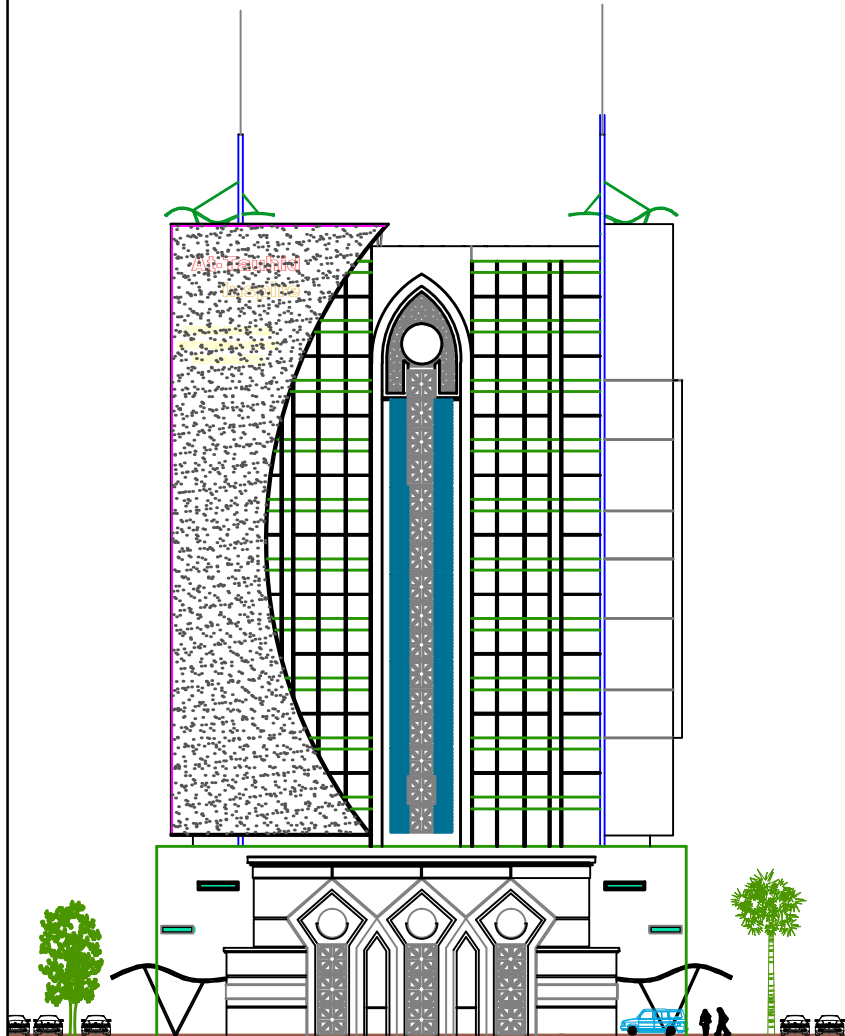
KODE GAMBAR

NO. LMBR

JML. LEMBAR

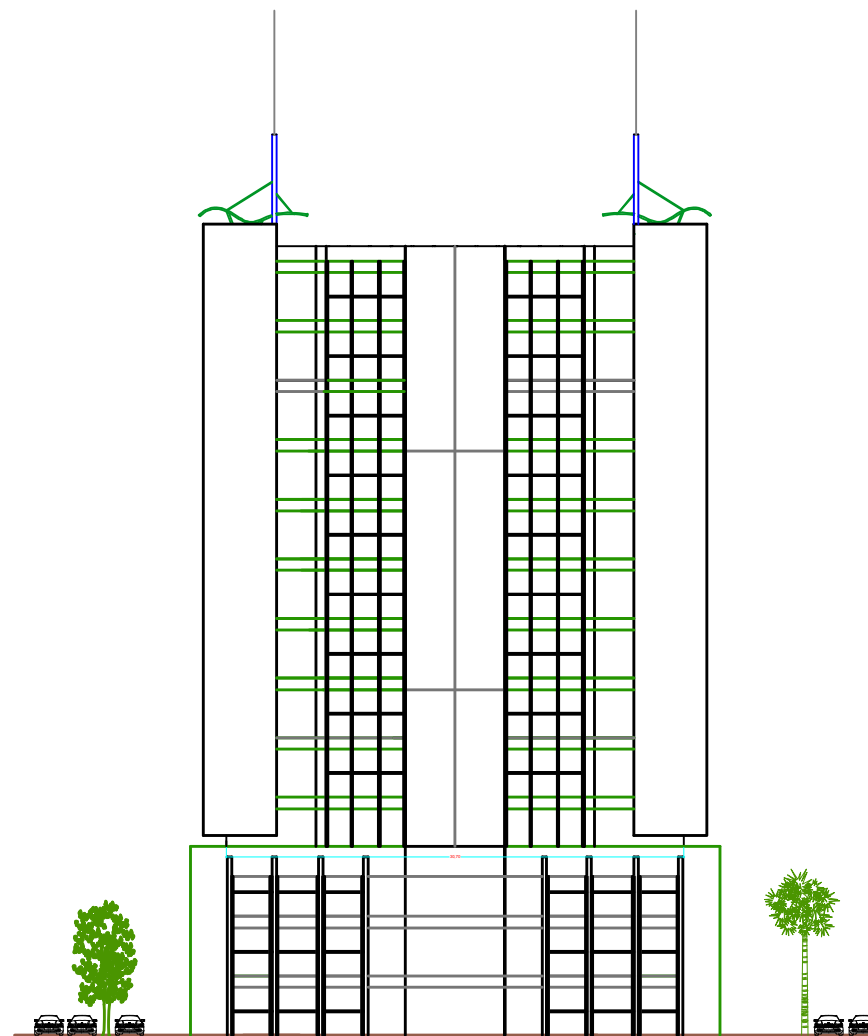
TPK

1



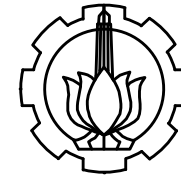
TAMPAK DEPAN

skala 1 : 50



TAMPAK BELAKANG

skala 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

No	Revisi

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

- TAMPAK KANAN
 - TAMPAK KIRI

SKALA

1: 250

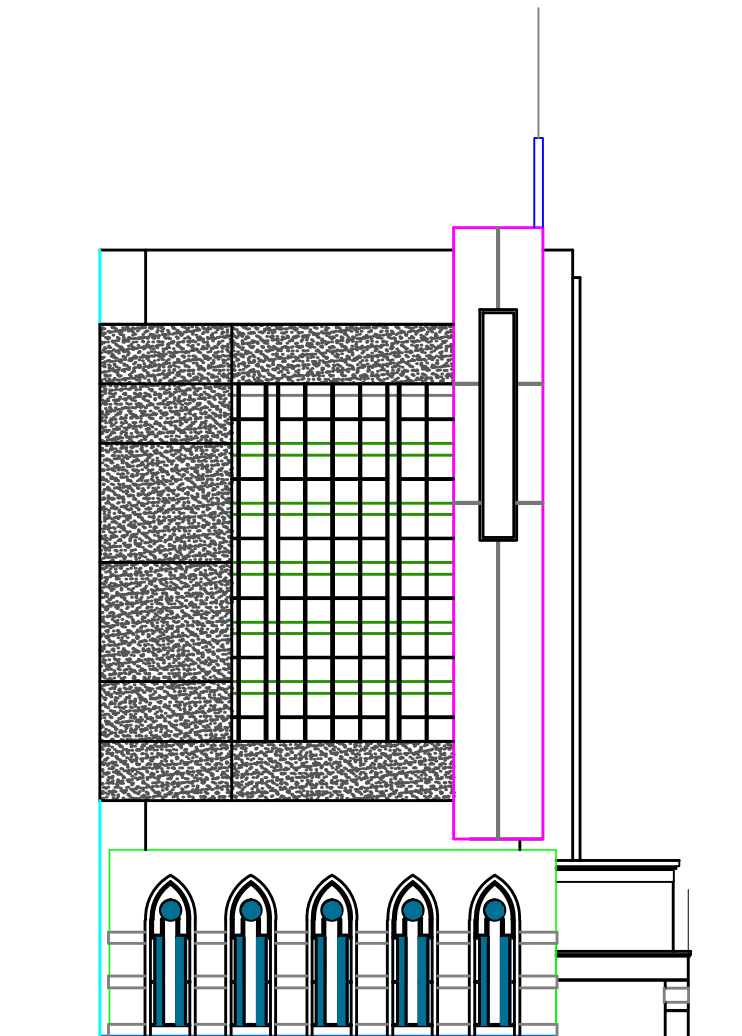
KODE GAMBAR

TPK

NO. LMBR

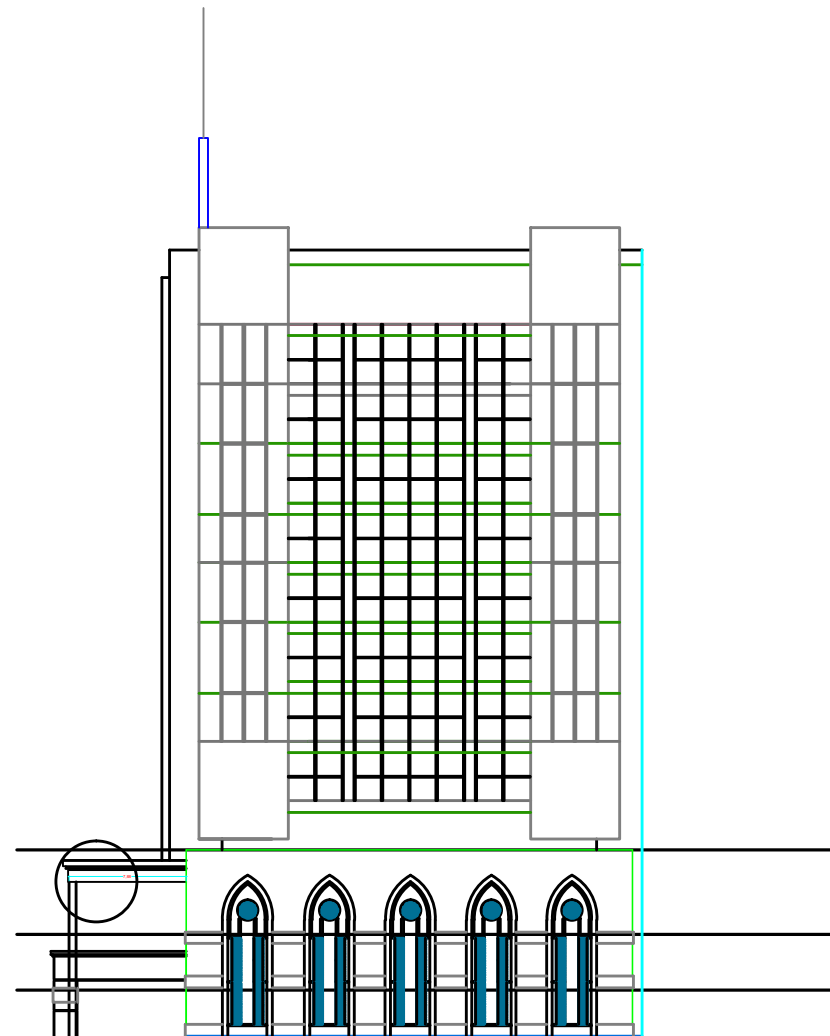
2

JML. LEMBAR



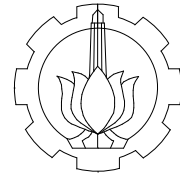
TAMPAK KANAN

skala 1 : 50



TAMPAK KIRI

skala 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

1. DENAH BALOK, KOLOM, DAN
 PELAT LT 1-12

1:250

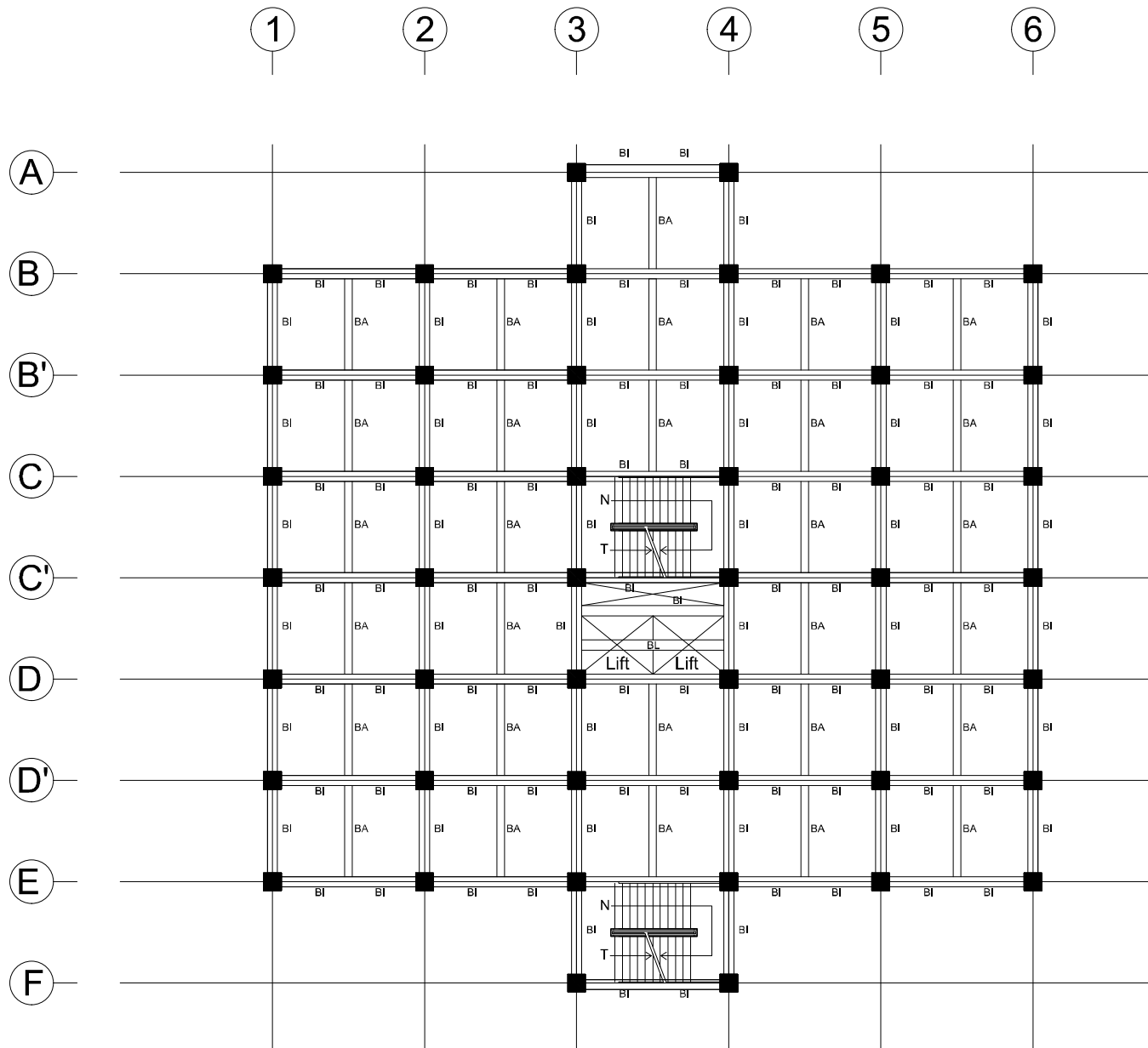
KODE GAMBAR

NO. LMBR

JML. LEMBAR

DNH

3



BALOK	
BI = BALOK INDUK	400 X 700
BA = BALOK ANAK	300 X 400
BL = BALOK LIFT	400 X 600
BB = BALOK BORDES	250 X 400

PELAT	
PELAT LANTAI	T = 120
PELAT ATAP	T = 120
TANGGA	T = 150

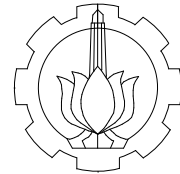
KOLOM	
KLM =	KOLOM TYPE
K1 =	800 X 800

01

DENAH PEMBALOKAN
 DENAH BALOK, KOLOM, DAN PELAT LT 1-12

SKALA

1:250



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

1. DETAIL PENULANGAN PELAT

1:50

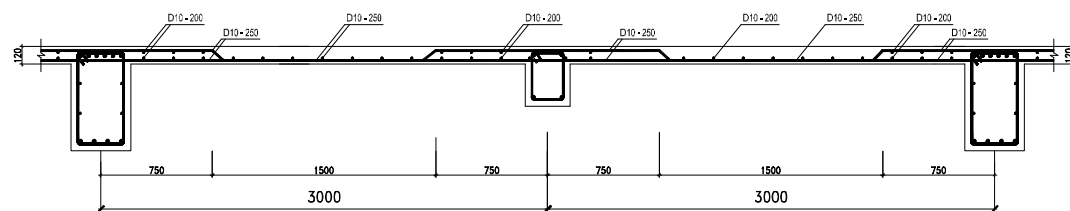
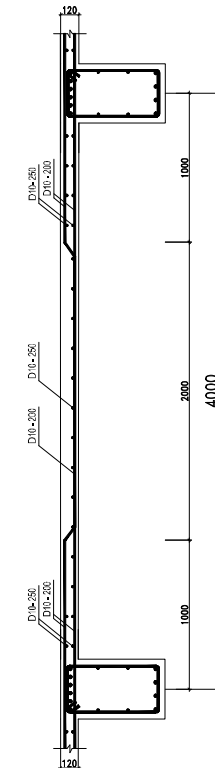
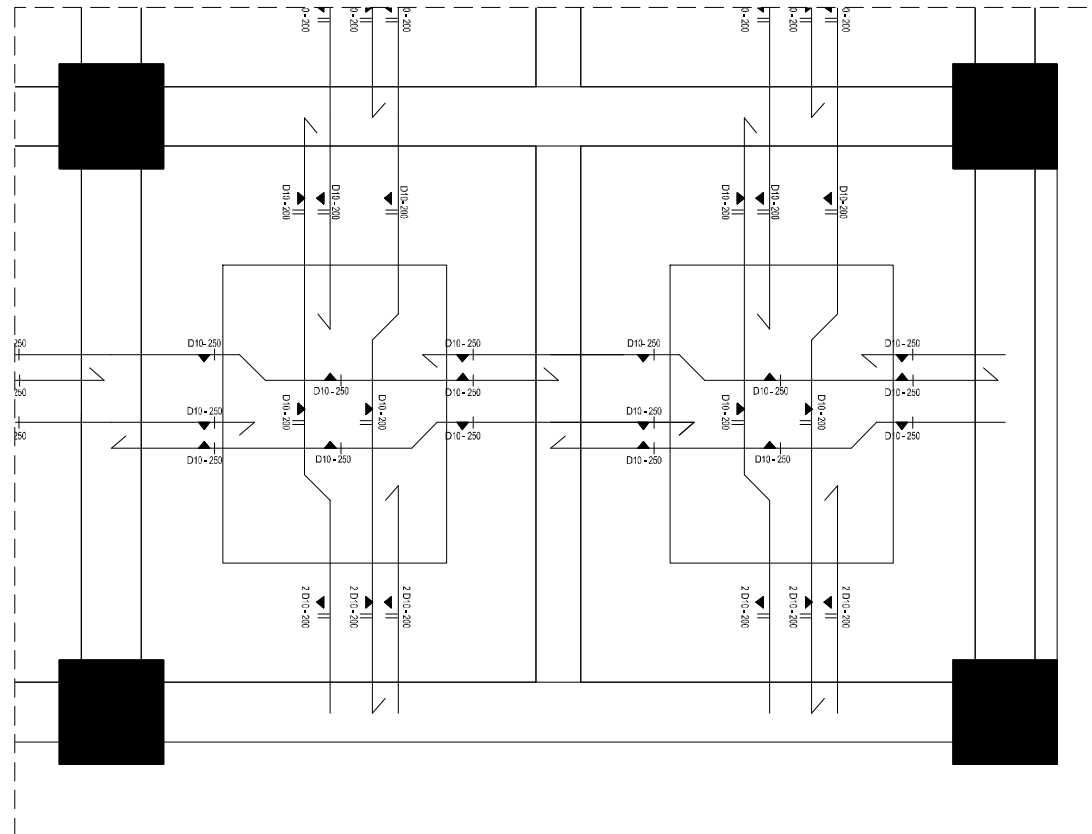
KODE GAMBAR

NO. LMBR

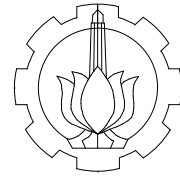
JML. LEMBAR

PLT

4



01 DETAIL PENULANGAN PELAT
 SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

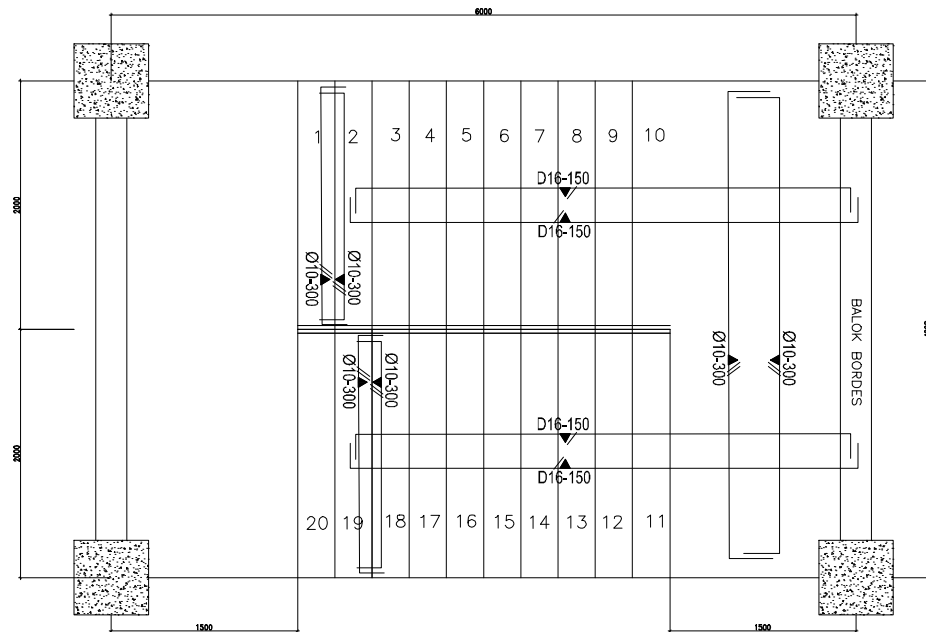
Muhammad Ridho
0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR SKALA

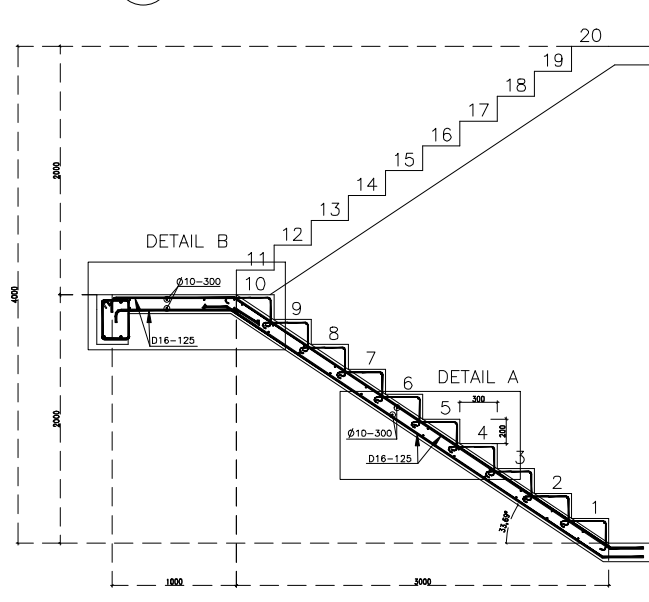
1. DENAH PENULANGAN TANGGA	1:60
2. POTONGAN PENULANGAN TANGGA	1:60
3. DETAIL A	1:20
4. DETAIL B	1:20
5. DETAIL PENAMPANG BALOK BORDES (BB)	1:20

KODE GAMBAR NO. LMBR JML LEMBAR

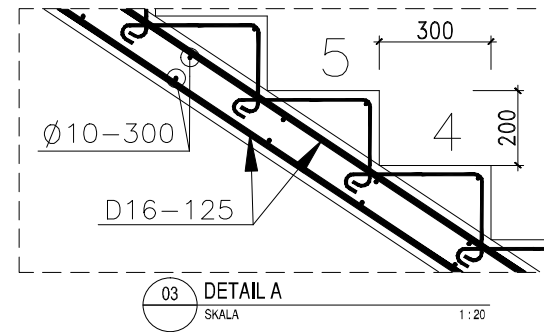
TNG 5



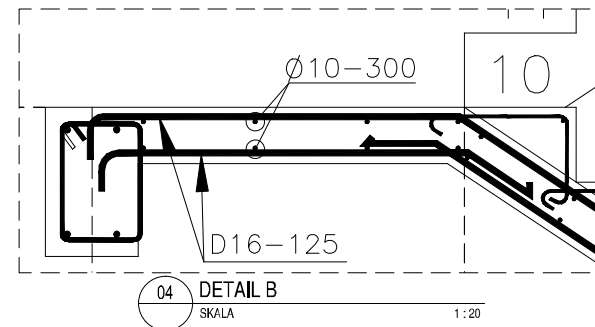
01 DENAH PENULANGAN TANGGA
SKALA 1:60



02 POTONGAN PENULANGAN TANGGA
SKALA 1:50



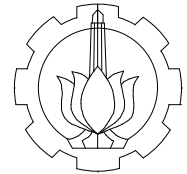
03 DETAIL A
SKALA 1:20



04 DETAIL B
SKALA 1:20

TYPE BALOK	BALOK BORDES (BB)
	TUMPUAN DAN LAPANGAN
SEMUA KASUS $f_c' = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$	<p>SELIMUT BETON = 40 mm</p>
DIMENSI	250 X 400
TUL. ATAS	2 D 16
TUL. BAWAH	2 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø10 - 150

05 DETAIL PENAMPANG BALOK BORDES (BB)
SKALA 1:20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

1. PENULANGAN BALOK LIFT (BL) 1:40
2. DETAIL PENAMPANG BALOK LIFT (BL) 1:20

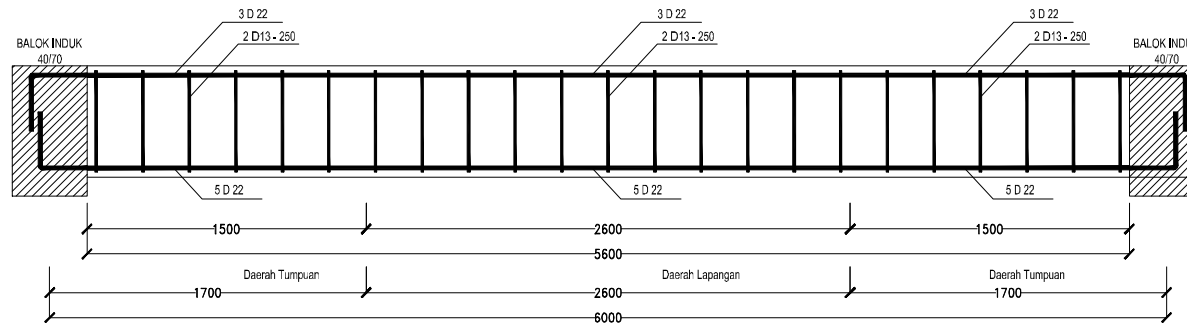
KODE GAMBAR

NO. LMBR

JML. LEMBAR

LFT

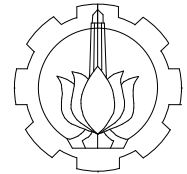
6



01 PENULANGAN BALOK LIFT (BL)
 SKALA 1 : 40

TYPE BALOK	BALOK LIFT (BL)
	TUMPUAN DAN LAPANGAN
$f_c' = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$	<p>SELIMUT BETON = 40 mm</p>
DIMENSI	400 x 600
TUL. ATAS	3 D 22
TUL. BAWAH	5 D 22
TUL. SENKANG	2 D 13 - 250

02 DETAIL PENAMPANG BALOK LIFT (BL)
 SKALA 1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

1. PENULANGAN BALOK ANAK (BA)
2. DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK (BA)

1:30

1:20

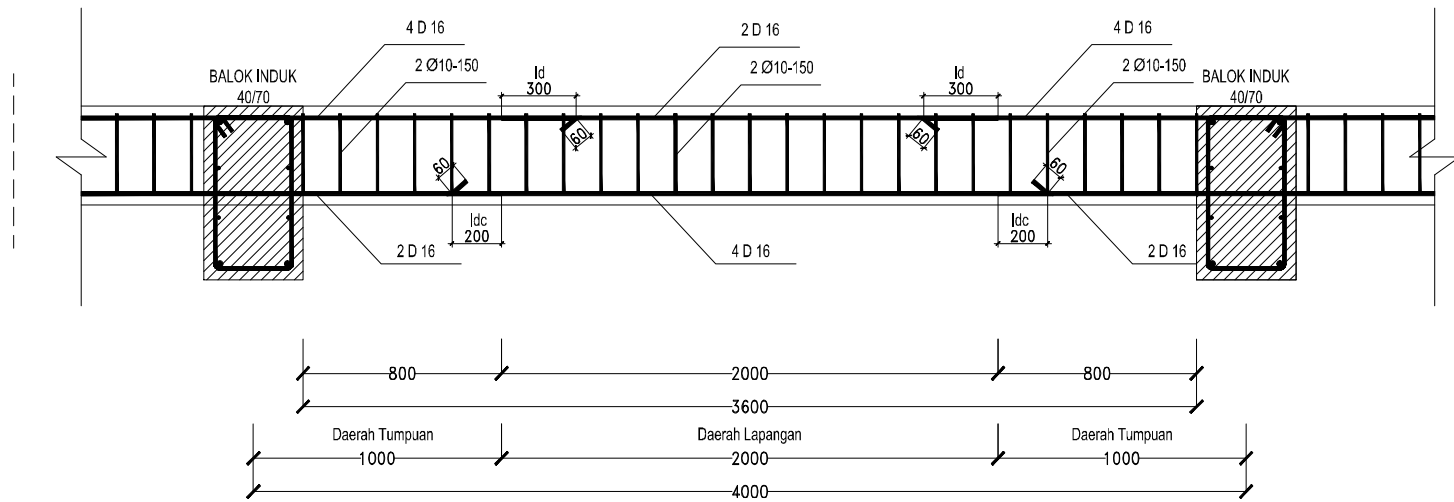
KODE GAMBAR

NO. LMBR

JML. LEMBAR

BA

7

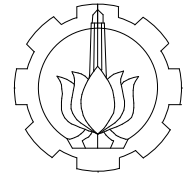


01 PENULANGAN BALOK ANAK (BA)
SKALA 1:30

TYPE BALOK	BALOK ANAK (BA)
	TUMPUAN
$f_c' = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$	<p>SELIMUT BETON = 40 mm</p>
DIMENSI	300 X 400
TUL. ATAS	4 D 16
TUL. BAWAH	2 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø10 - 150

TYPE BALOK	BALOK ANAK (BA)
	LAPANGAN
$f_c' = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$	<p>SELIMUT BETON = 40 mm</p>
DIMENSI	300 X 400
TUL. ATAS	2 D 16
TUL. BAWAH	4 D 16
TUL. SENGKANG	2 Ø10 - 150

02 DETAIL PENAMPANG BALOK ANAK (BA)
SKALA 1:20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

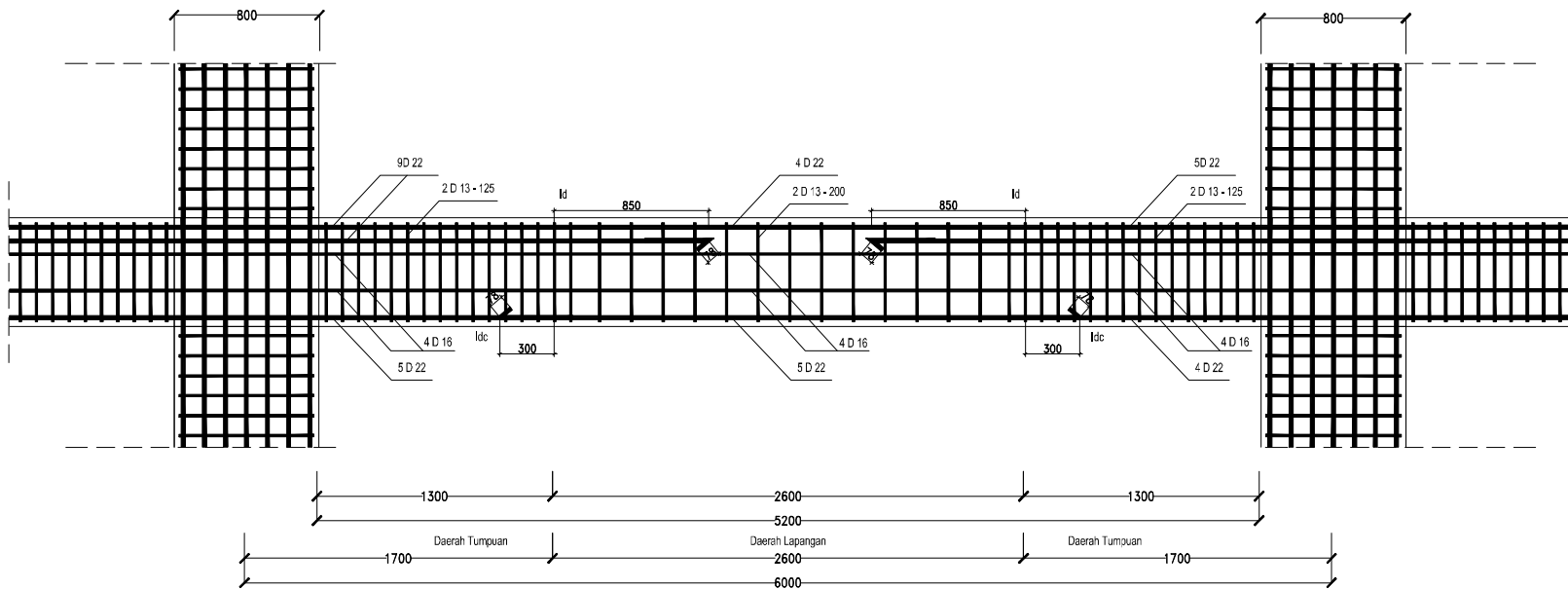
Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

1. PENULANGAN BALOK INDUK (BI)	1:40
2. DETAIL PENAMPANG BALOK INDUK	1:30
3. DETAIL KAIT BALOK INDUK	1:30

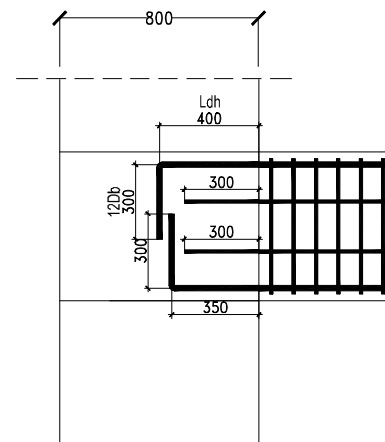
KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML LEMBAR
BI	8	



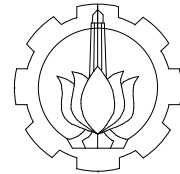
01 PENULANGAN BALOK INDUK (BI)
 SKALA 1:40

TYPE BALOK	BALOK INDUK (BI)	
	TUMPUAN	LAPANGAN
BI $f_c' = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 400 \text{ MPa}$ Kolom 800x800		
DIMENSI	400 x 600	
TUL. ATAS	7 D 22	4 D 22
TUL. BAWAH	4 D 22	5 D 22
TUL. TENGAH	4 D 16	4 D 16
TUL. SENGKANG	2 D 13-125	2 D 13-200

02 DETAIL PENAMPANG BALOK INDUK
 SKALA 1:30



03 DETAIL KAIT BALOK INDUK (BI)
 SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

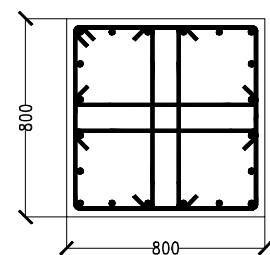
Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR SKALA

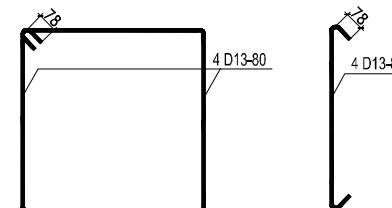
- | | |
|-----------------------------------|------|
| 1. PENULANGAN KOLOM 800X800 | 1:30 |
| 2. DETAIL PENAMPANG KOLOM 800X800 | |
| 3. DETAIL KAIT SENGKANG 800X800 | |

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

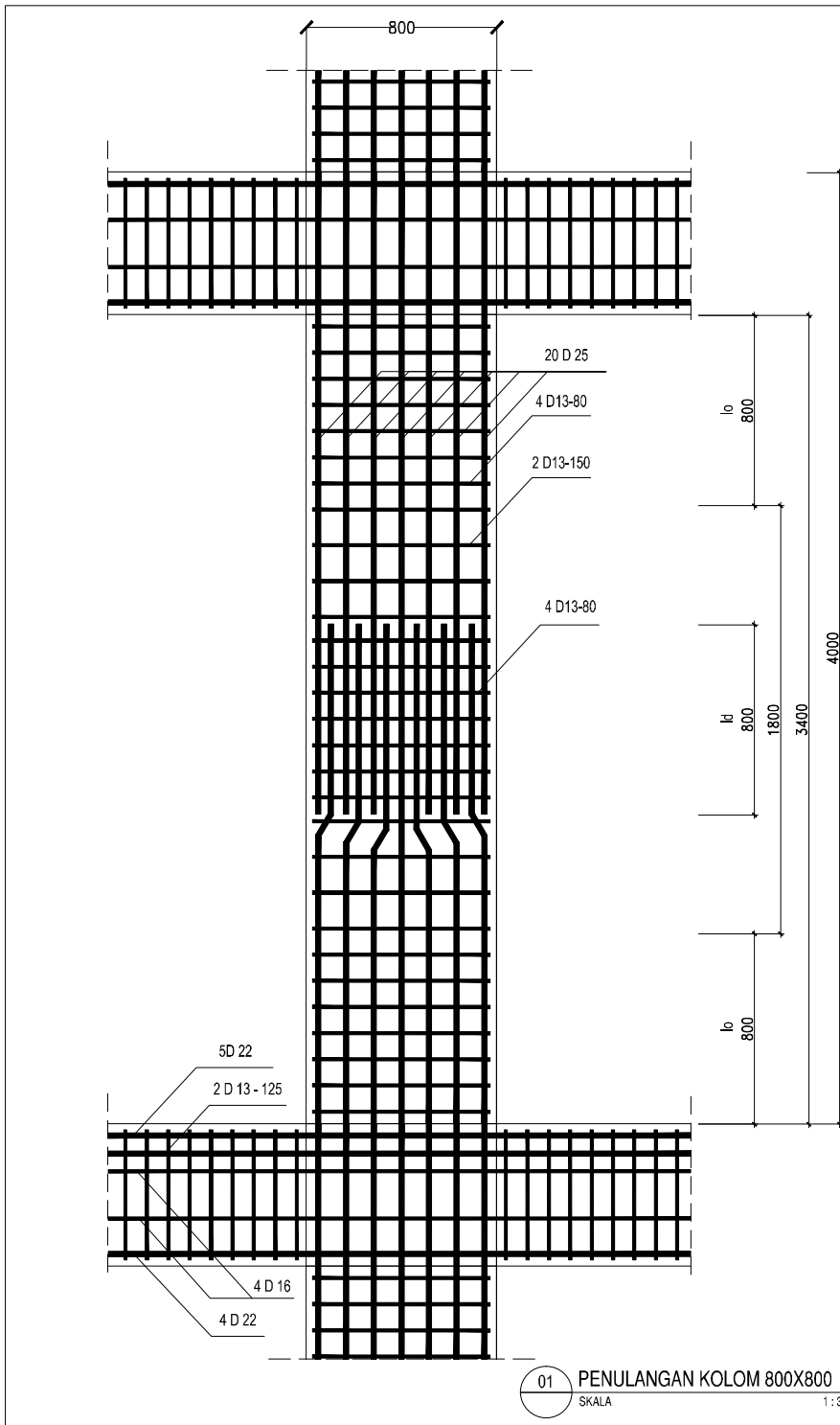
KLM 9

TYPE KOLOM	KOLOM TYPE K-3
$f_c' = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 400 \text{ MPa}$ Type Kolom 800x800	
	SELIMUT BETON = 40 mm
DIMENSI	800 X 800
TUL. UTAMA	20 D 25
TUL SENGKANG TUMPLIAN	4 D13 - 80
TUL SENGKANG LAPANGAN	2 D13 - 150

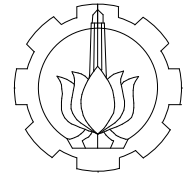
02 DETAIL PENAMPANG KOLOM 800X800
 SKALA 1 : 30



03 DETAIL KAIT SENGKANG KOLOM 800X800
 SKALA 1 : 30



01 PENULANGAN KOLOM 800X800
 SKALA 1 : 30



KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

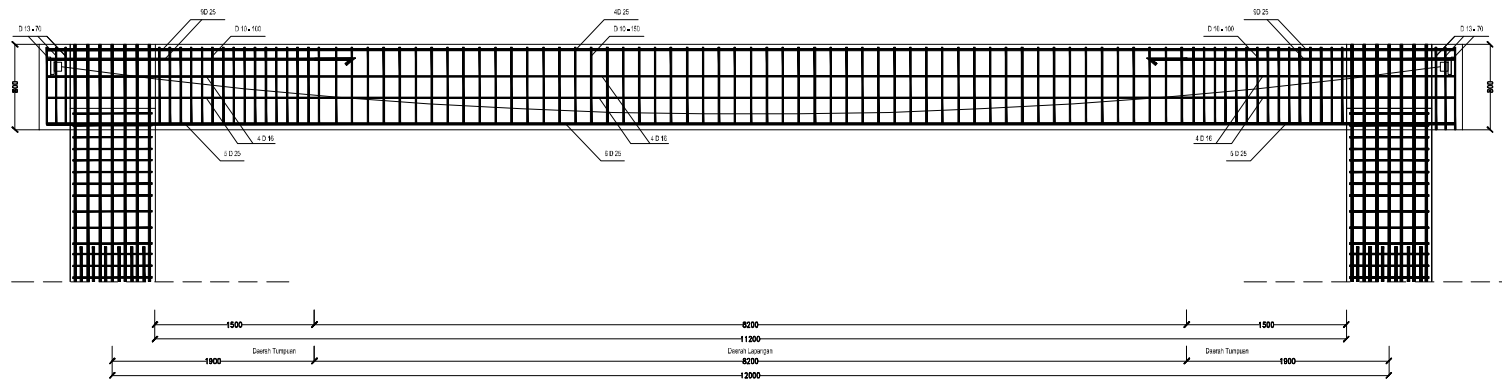
Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR SKALA

1. PENULANGAN BALOK PRATEKAN (BP)	1:70
2. DETAIL PENAMPANG BALOK PRATEKAN	1:30
3. DETAIL ANGKUR BALOK PRATEKAN	1:50

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

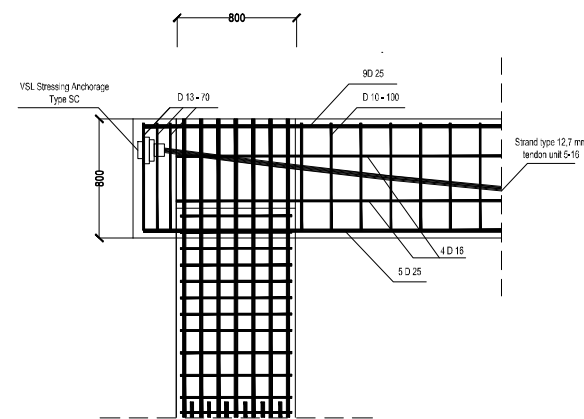
PRA 10



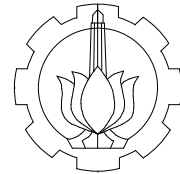
01 PENULANGAN BALOK PRATEKAN (BP)
 SKALA 1:70

TYPE BALOK	BALOK INDUK (BI)	
	TUMPUAN	LAPANGAN
BP $f_c' = 40 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$ $f_{yv} = 400 \text{ MPa}$ Kolom 800x800		
DIMENSI	500 x 800	
TUL. ATAS	9 D 25	4 D 25
TUL. BAWAH	5 D 25	6 D 25
TUL. TENGAH	4 D 16	4 D 16
TUL. SENGKANG	D 10 - 100	D 10 - 150

02 DETAIL PENAMPANG BALOK PRATEKAN
 SKALA 1:30



03 DETAIL ANGKUR BALOK PRATEKAN (BP)
 SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMAH
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

1. DENAH PONDASI

1:250

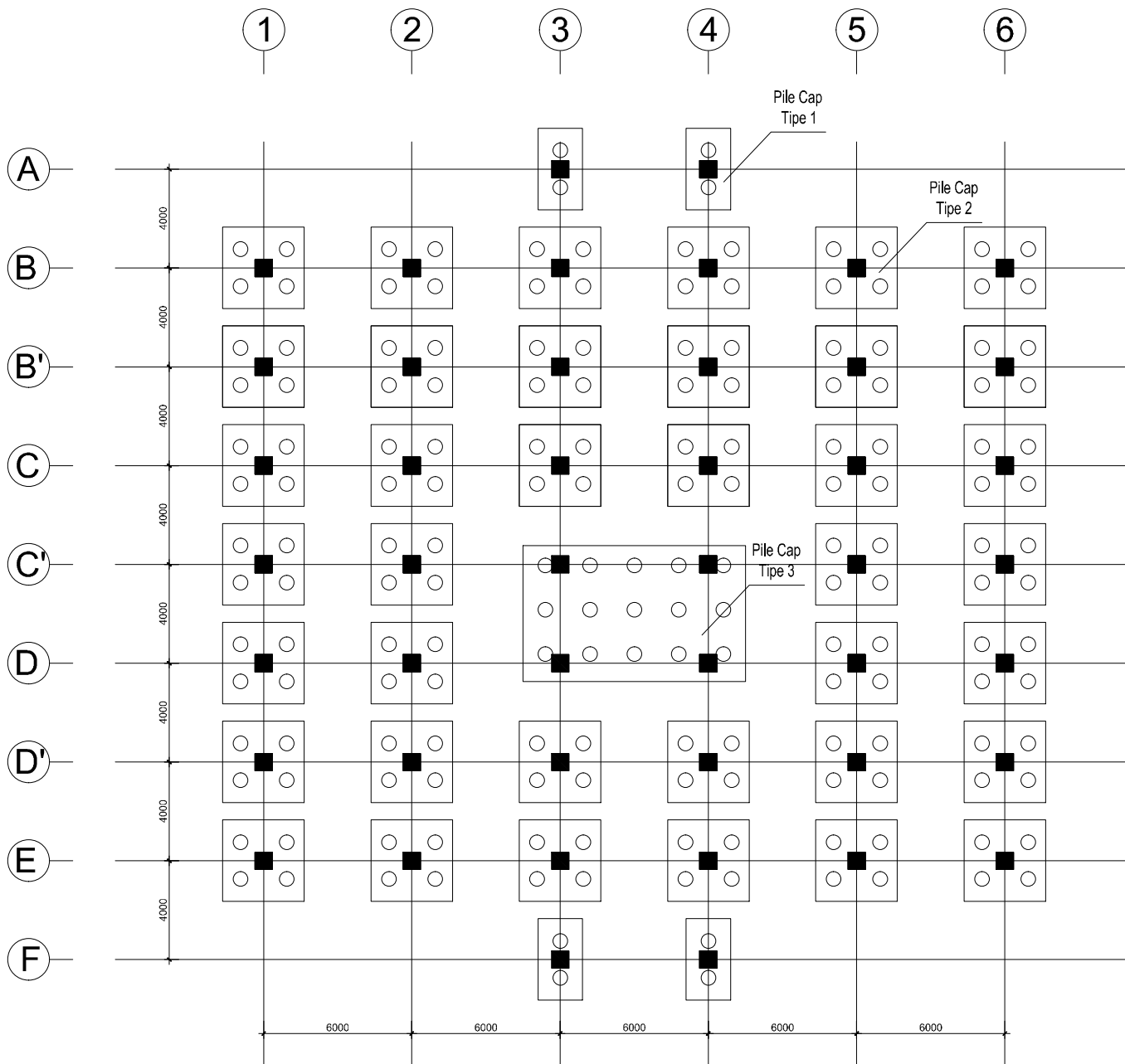
KODE GAMBAR

NO. LMBR

JML. LEMBAR

PND

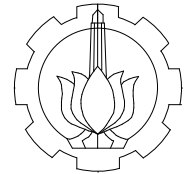
11



TIPE	DIMENSI	Jumlah Tiang Pancang	Penulangan Pile Cap	
			ARAH X	ARAH Y
			Ø - Jarak	Ø - Jarak
TIPE 1	180 x 330 x 90	2	Ø 22 - 125	Ø 22 - 125
TIPE 2	330 x 330 x 90	4	Ø 22 - 125	Ø 22 - 125
TIPE 3	550 x 900 x 130	15	Ø 25 - 100	Ø 25 - 100

01 DENAH PONDASI
 SKALA

1 : 250



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

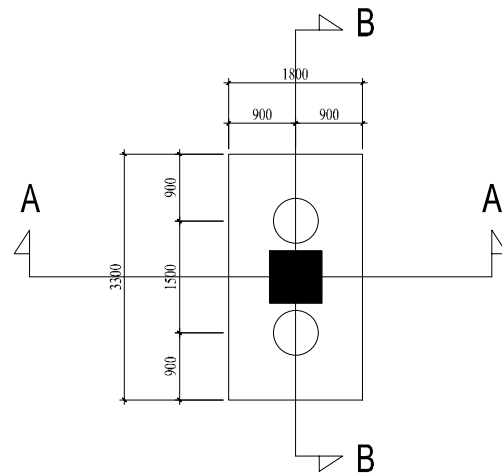
Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

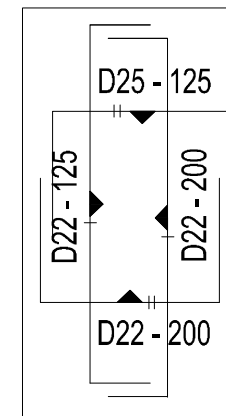
- | | |
|----------------------------------|--------|
| 1. DETAIL PONDASI TIPE 1 | 1: 100 |
| 2. DETAIL PENULANGAN POER TIPE 1 | 1: 60 |
| 3. POTONGAN A POER TIPE 1 | 1: 60 |
| 4. POTONGAN B POER TIPE 1 | 1: 60 |

KODE GAMBAR	NO. LMBR	JML. LEMBAR
-------------	----------	-------------

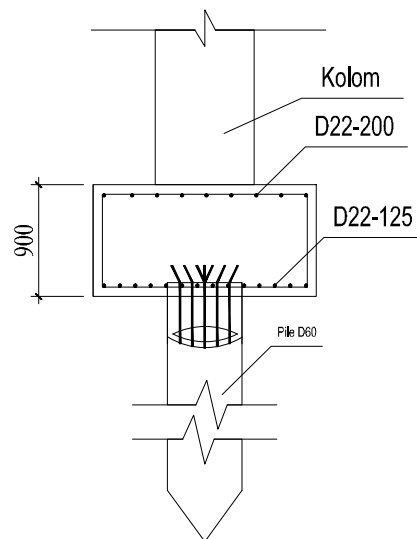
PND	12	
-----	----	--



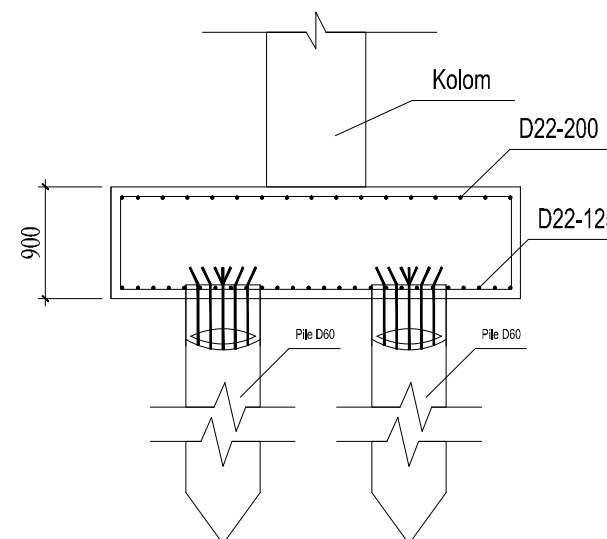
01 DETAIL PONDASI TIPE 1
 SKALA 1: 100



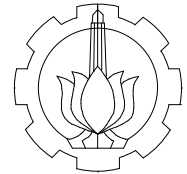
02 DETAIL PENULANGAN POER TIPE 1
 SKALA 1: 60



03 POTONGAN A POER TIPE 1
 SKALA 1: 60



04 POTONGAN B POER TIPE 1
 SKALA 1: 60



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

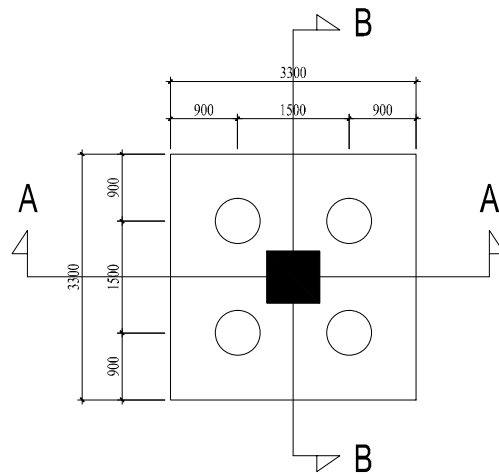
Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR SKALA

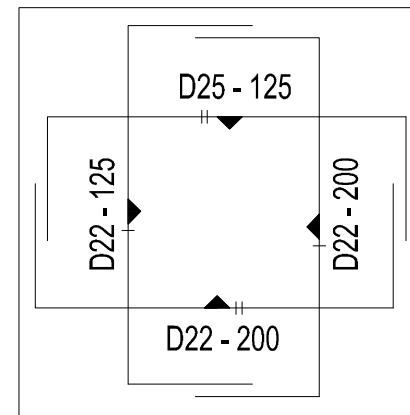
- | | |
|----------------------------------|--------|
| 1. DETAIL PONDASI TIPE 2 | 1: 100 |
| 2. DETAIL PENULANGAN POER TIPE 2 | 1: 60 |
| 3. POTONGAN A POER TIPE 2 | 1: 60 |
| 4. POTONGAN B POER TIPE 2 | 1: 60 |

KODE GAMBAR NO. LMBR JML. LEMBAR

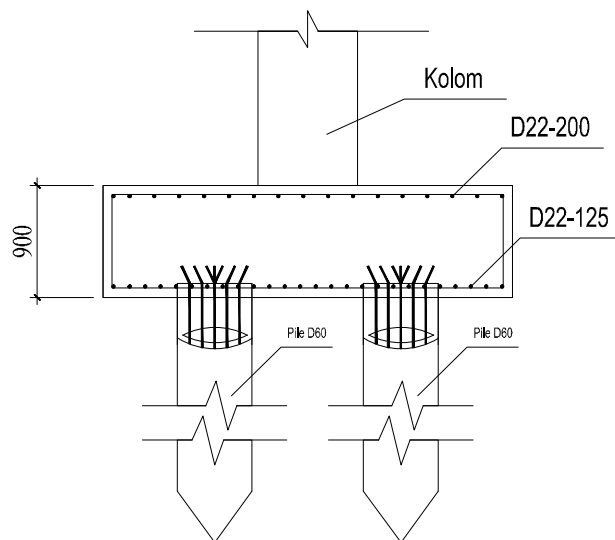
PND 13



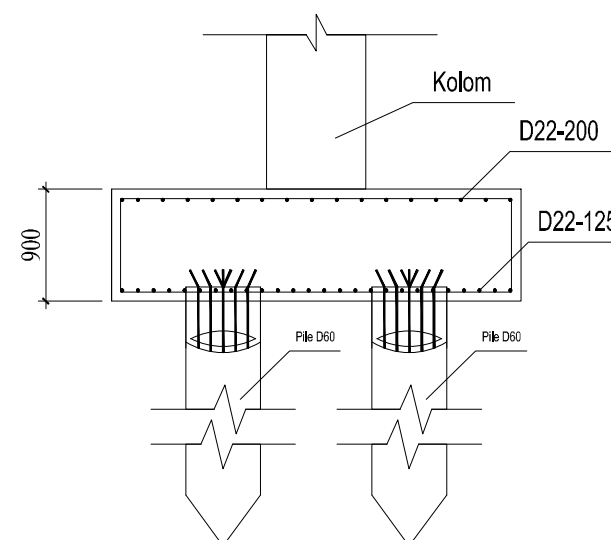
01 DETAIL PONDASI TIPE 2
 SKALA 1: 100



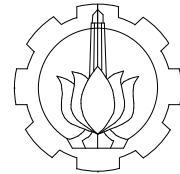
02 DETAIL PENULANGAN POER TIPE 2
 SKALA 1: 60



03 POTONGAN A POER TIPE 2
 SKALA 1: 60



04 POTONGAN B POER TIPE 2
 SKALA 1: 60



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

No.	Revisi

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

- DETAIL PONDASI TIPE 3
- DETAIL PENULANGAN POER TIPE 3

1: 100

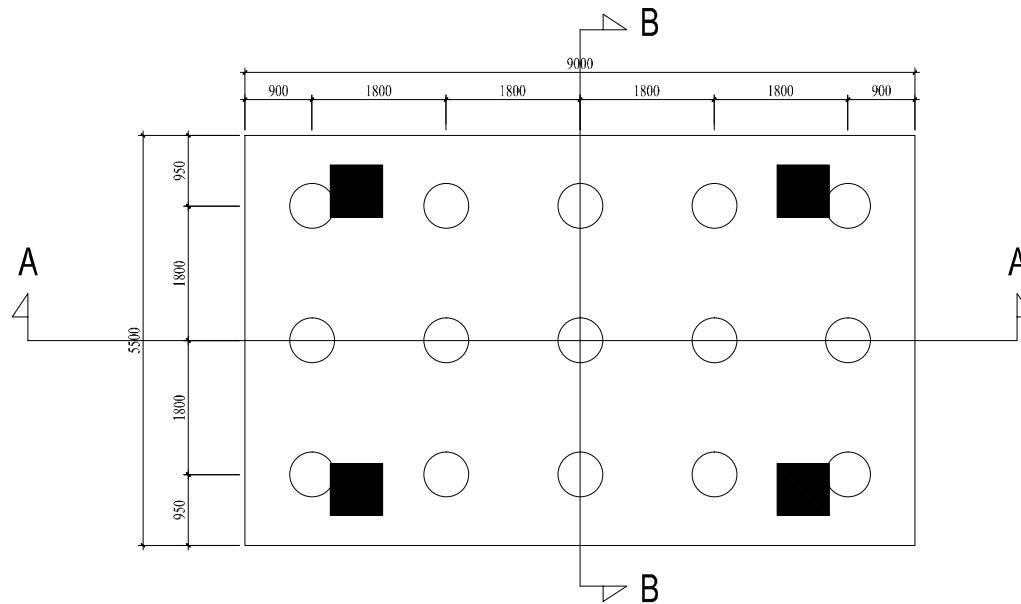
KODE GAMBAR

NO. LMBR

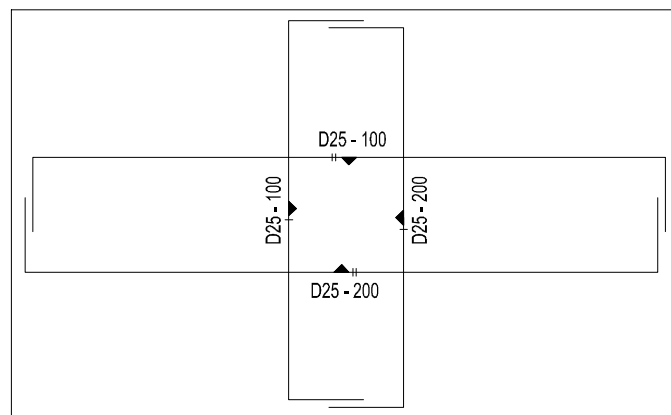
JML. LEMBAR

PND

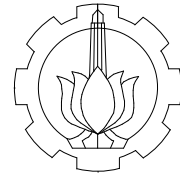
14



01 DETAIL PONDASI TIPE 3
 SKALA 1:100



02 DETAIL PENULANGAN POER TIPE 3
 SKALA 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN
 KEBUMIHAN
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

KETERANGAN

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI GEDUNG AT-TAUHID
 TOWER UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
 BALOK BETON PRATEKAN PADA LANTAI
 ATAP

DOSEN PEMBIMBING

Harun Alrasyid ST.,MT.,PhD

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Candra Irawan ST.,MT

NAMA MAHASISWA

Muhammad Ridho
 0311 16 45 000 033

NAMA GAMBAR

SKALA

- POTONGAN A POER TIPE 3
- POTONGAN B POER TIPE 3

1: 100

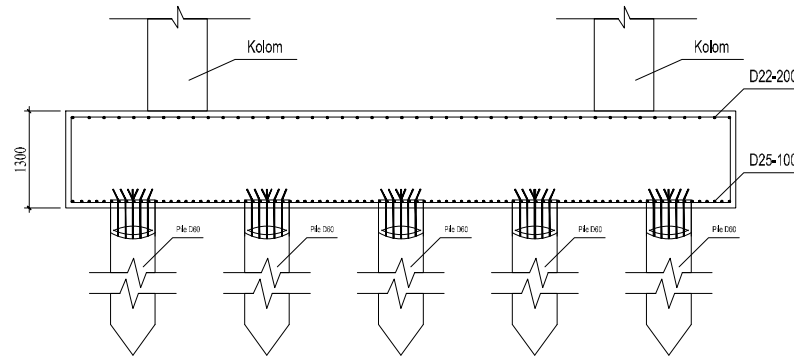
KODE GAMBAR

NO. LMBR

JML. LEMBAR

PND

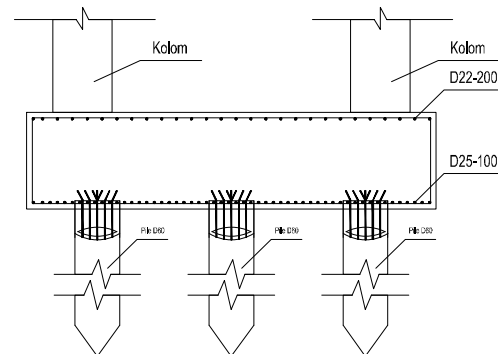
15



01 POTONGAN A POER TIPE 3

SKALA

1 : 100



02 POTONGAN B POER TIPE 3

SKALA

1 : 100

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Muhammad Ridho, dilahirkan di Padang 16 April 1995, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 13 Lubuk Nyiur Kec. Batang Kapas, SMPN 3 Batang Kapas dan SMAN 1 Batang Kapas. Setelah lulus SMA tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan di Diploma III Teknik

Sipil Politeknik Negeri Padang. Setelah lulus pendidikan diploma penulis kemudian melanjutkan kejenjang S1 Teknik Sipil ITS melalui program lintas jalur sampai tahun 2020. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh kampus ITS. Penulis juga aktif sebagai anggota dalam organisasi mahasiswa PLH SIKLUS ITS dan juga mengikuti berbagai kepanitiaan di beberapa kegiatan dalam organisasi tersebut. Sebuah Proyek Akhir berjudul *“Desain Modifikasi Gedung At-Tauhid Tower Universitas Muhammadiyah Surabaya Dengan Menggunakan Balok Beton Pratekan Pada Lantai Atap”*. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk merencanakan bangunan gedung dengan balok pratekan dan tahan terhadap gempa. Komunikasi dengan penulis dapat dilakukan melalui mhd.ridhooehammad@gmail.com.