



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**DESAIN JAKABARING *CONVENTION HALL*
DENGAN STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG
DAN STRUKTUR ATAP *SPACE TRUSS***

LARAS HUNING VISDA HERERRA
NRP. 3114100051

Dosen Pembimbing I
Data Iranata, ST., MT., Ph.D

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

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



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**DESAIN JAKABARING *CONVENTION HALL*
DENGAN STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG
DAN STRUKTUR ATAP *SPACE TRUSS***

LARAS HUNING VISDA HERERRA
NRP. 3114100051

Dosen Pembimbing I
Data Iranata, ST., MT., Ph.D

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

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



FINAL PROJECT (RC14-1501)

**DESIGN OF JAKABARING CONVENTION HALL
USING REINFORCED CONCRETE AS MAIN
STRUCTURE AND SPACE TRUSS AS ROOF
STRUCTURE**

LARAS HUNING VISDA HERERRA
NRP. 3114100051

Academic Supervisor I
Data Iranata, ST., MT., Ph.D

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

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Environment and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

**DESAIN JAKABARING CONVENTION HALL DENGAN
STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG DAN
STRUKTUR ATAP SPACE TRUSS**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

LARAS HUNING VISDA HERERRA

NRP. 3114100051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir,

1. Data Iranata, ST. MT. Ph.D. (Pembimbing I)
2. Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D. (Pembimbing II)



**SURABAYA
JULI, 2018**

DESAIN JAKABARING *CONVENTION HALL* DENGAN STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG DAN STRUKTUR ATAP *SPACE TRUSS*

Nama Mahasiswa : Laras Huning Visda Hererra
NRP : 3114100051
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Data Iranata S.T., M.T., Ph.D.
Prof. Tavio S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Desain bentuk bangunan terus berkembang di seluruh penjuru dunia, dari bentuk sederhana dan tidak rumit menjadi berbagai bentuk kompleks yang tidak jarang unik. Jakabaring Convention Hall merupakan stadion tenis sekaligus convention hall yang memiliki bentuk unik menyerupai telur. Struktur utama bangunan terbuat dari beton bertulang, sementara struktur atap berupa space truss. Space truss mampu mengakomodasi area tak terhalang luas yang diperlukan oleh bangunan berupa stadion sekaligus convention hall ini. Selain itu dengan bentuknya yang unik, muncul tantangan bagi ahli rekayasa bangunan untuk mendesain struktur bangunan ini dengan kuat, aman, dan sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia

Permodelan struktur Jakabaring Convention Hall dipisah menjadi dua bagian, yakni permodelan struktur baja dan permodelan struktur beton. Hal tersebut dikarenakan struktur utama berupa tribun terbuat dari beton bertulang dan ditopang oleh kolom beton, sementara rangka atap space truss ditopang oleh kolom rangka baja. Adapun perencanaan struktur pada Tugas Akhir ini mengacu pada SNI 1727-2013, SNI 1729-2015, SNI 1726-2012, SNI 1729-2002, dan SNI 2847-2013.

Analisis struktur dengan program SAP2000 telah memenuhi syarat perbandingan berat struktur, partisipasi massa, kontrol waktu getar, serta analisa dinamik. Didapatkan hasil desain struktur utama berupa dimensi balok induk area stadion tenis

sebesar 30x45 cm, sementara untuk area convention hall sebesar 30x40 cm. Untuk penopang struktur utama digunakan kolom beton berdimensi 50x50 cm dengan tulangan longitudinal 8-D22. Untuk struktur atap menggunakan space truss dengan profil Circular Hollow Section (CHS) berukuran 5" dan 4" yang disambung dengan las F_{E70XX} . Adapun untuk balok baja menggunakan WF 400x200x8x13, batang utama kolom rangka menggunakan WF 400x400x15x15, dan batang diagonal kolom rangka menggunakan WF 150x150x7x10.

Kata kunci: Stadion, Space Truss

DESIGN OF JAKABARING CONVENTION HALL USING REINFORCED CONCRETE AS MAIN STRUCTURE AND SPACE TRUSS AS ROOF STRUCTURE

Student Name : Laras Huning Visda Hererra
NRP : 3114100051
Department : Civil Engineering FTSLK-ITS
Academic Supervisor : Data Iranata S.T., M.T., Ph.D.
Prof. Tavio S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Building shape design keeps developing all over the world, starting from simple shape and into various complex shape which is usually unique. Jakabaring Convention Hall is a tennis stadium and convention hall with unique shape resembling egg. The main structure is made of reinforced concrete, while the roof structure uses space truss. Space truss can accommodate huge unobstructed area which is needed by this tennis stadium and convention hall. With its unique shape, a challenge arises for engineer to design this building structure with appropriate strength and safety, but also compelled to the codes applied in Indonesia.

The modelling of Jakabaring Convention Hall is divided into two models, which are steel structure model and reinforced concrete model. It is done that way because the main structure, which is the tribune, is made of reinforced concrete and supported by reinforced concrete too. While the space truss is supported by steel truss column. The design in this Final Project referred to SNI 1727-2013, SNI 1729-2015, SNI 1726-2012, SNI 1729-2002, and SNI 2847-2013.

The structural analysis with SAP2000 program has fulfilled several provision, which are weight of structure comparison, mass participation, vibration period control, and dynamic analysis. The obtained structural design result are beam dimension for tennis stadium area is 30x45 cm, while for convention hall area is 30x40 cm. For supporting the main structure, a reinforced

concrete column with dimension 50x50 cm and longitudinal rebar 8-D22 is used. And as for roof structure, it used space truss with 5" and 4" Circular Hollow Section (CHS) profile which is connected using F_{E70XX} weld. Steel beam in this structure uses WF 400x200x8x13, main member of truss column uses WF 400x400x15x15, and diagonal member of truss column uses WF 150x150x7x10.

Kata kunci: Stadium, Space Truss

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT karena hanya atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “Desain Jakabaring *Convention Hall* dengan Struktur Utama Beton Bertulang dan Struktur Atap *Space Truss*”.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis telah menerima berbagai dukungan dan masukan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak berikut:

1. Bapak Data Iranata, ST., MT., Ph.D dan Bapak Prof. Ir. Tavio, MT., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir,
2. Hermawan Wicaksono, ST. dan Nora Kusmadiati, ST. selaku kedua orang tua,
3. Ibu Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali,
4. Teman-teman Teknik Sipil ITS yang senantiasa membantu dalam penyusunan Tugas Akhir, khususnya Eka Putri Perwita Suci, Akmilia Aswarini, Firly Ayu Agus Dian, Jessica Martha, dan Muhammad Nur Fathihin.
5. Anggada Sakti Pamungkas yang telah banyak membantu dan direpotkan dalam berbagai hal serta semua pihak yang telah membantu maupun mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Pun demikian, besar harapan penulis bahwa Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi berarti kepada masyarakat.

Surabaya, Juli 2018

(Penulis)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I - PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Tugas Akhir	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Tugas Akhir	5
BAB II - TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Umum	7
2.2 Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan	7
2.3 Pengaruh Gempa pada Bangunan	7
2.3.1 Sistem Struktur Tahan Gempa	7
2.3.2 Analisis Beban Gempa.....	8
2.4 Struktur <i>Space Truss</i> (Rangka Ruang).....	9
2.4.1 Pengertian.....	10
2.4.2 Komponen Struktur.....	10
2.4.3 Konsep Dasar	10
2.5 Bentuk <i>Space Truss</i>	12

2.6	Penyangga <i>Space Truss</i>	13
2.7	Sambungan <i>Space Truss</i>	15
2.7.1	Sistem <i>Ball Joint</i>	15
2.7.2	Sistem <i>Socket Joint</i>	16
2.7.3	Sistem <i>Shell Joint</i>	16
2.7.4	Sistem Triodetic (<i>Slot Joint</i>)	17
BAB III - METODOLOGI		19
3.1	Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir	19
3.2	Pengumpulan Data	20
3.3	Studi Literatur	21
3.4	Preliminary Design	21
3.4.1	<i>Preliminary Design</i> Struktur Beton Bertulang	21
3.4.2	<i>Preliminary Design</i> Struktur <i>Space Truss</i>	22
3.4.3	<i>Preliminary Design</i> Struktur Baja	22
3.5	Perencanaan Struktur Sekunder	23
3.5.1	Perencanaan Plat	23
3.5.2	Perencanaan Balok Anak	25
3.6	Pembebanan	25
3.6.1	Beban Mati	25
3.6.2	Beban Hidup	25
3.6.3	Beban Angin	25
3.6.4	Beban Gempa	25
3.6.5	Kombinasi	26
3.7	Analisa Struktur	26
3.8	Perencanaan Struktur	27
3.8.1	Perencanaan Struktur Utama Beton Bertulang	27

3.8.1.1	Perencanaan Balok Induk Beton.....	27
3.8.1.2	Perencanaan Kolom Beton	29
3.8.2	Perencanaan Struktur Atap.....	29
3.8.3	Perencanaan Struktur Baja	31
3.9	Perencanaan Sambungan	31
3.9.1	Sambungan Baut	31
3.9.2	Sambungan Las	32
3.10	Gambar.....	34
3.11	Kesimpulan dan Saran.....	34
BAB IV	- PRELIMINARY DESIGN.....	35
4.1	Data Perencanaan.....	35
4.2	<i>Preliminary Design</i> Struktur Beton	35
4.2.1	<i>Preliminary Design</i> Balok Induk	35
4.2.2	<i>Preliminary Design</i> Balok Anak	37
4.2.3	<i>Preliminary Design</i> Plat Lantai.....	38
4.2.4	<i>Preliminary Design</i> Kolom.....	43
4.3	<i>Preliminary Design</i> Struktur Atap	46
4.4	<i>Preliminary Design</i> Struktur Baja.....	47
4.4.1	<i>Preliminary Design</i> Balok Baja	47
4.4.2	<i>Preliminary Design</i> Kolom Rangka Baja.....	47
BAB V	- PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER.....	49
5.1	Perencanaan Gording	49
5.2	Perencanaan Penggantung Gording	55
5.3	Perencanaan Ikatan Angin	57
5.4	Perencanaan Plat Lantai.....	58
5.4.1	Pembebanan Plat	59

5.4.2	Penulangan Plat	59
BAB VI	- PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR	65
6.1	Beban Mati	65
6.1.1	Beban Mati Atap.....	65
6.1.2	Beban Mati Tribun.....	65
6.2	Beban Hidup.....	67
6.3	Beban Angin.....	67
6.4	Beban Gempa	71
6.4.1	Kategori Risiko Bangunan.....	71
6.4.2	Kelas Situs	72
6.4.3	Parameter Respon Spektral	73
6.4.4	Parameter Percepatan Spektral Desain	74
6.4.5	Kategori Desain Seismik	74
6.4.6	Respon Spektrum.....	74
6.5	Kombinasi Pembebanan	75
6.6	Permodelan.....	76
6.6.1	Permodelan Struktur Baja.....	76
6.6.2	Permodelan Struktur Utama	82
BAB VII	- DESAIN ELEMEN STRUKTUR BETON	89
7.1	Desain Balok Induk.....	89
7.1.1	Data Perencanaan Umum Balok Induk.....	91
7.1.2	Syarat Komponen SRPMK.....	92
7.1.3	Penulangan Lentur	93
7.1.4	Penulangan Torsi	98
7.1.5	Penulangan Geser	101
7.1.6	Panjang Penyaluran Tulangan	104

7.1.7	Rekapitulasi Desain Balok Induk	105
7.2	Desain Kolom Beton.....	108
7.2.1	Data Perencanaan Kolom Beton.....	108
7.2.2	Syarat SRPMK.....	109
7.2.3	Penulangan Lentur Kolom	110
7.2.4	<i>Strong Column Weak Beam</i>	111
7.2.5	Penulangan Transversal untuk Pengekangan	117
7.2.6	Penulangan Transversal untuk Geser	119
7.2.7	Sambungan Lewatan	121
BAB VIII - DESAIN ELEMEN STRUKTUR BAJA		123
8.1	Desain Rangka Atap	123
8.1.1	<i>Radial Main Chord</i>	123
8.1.2	<i>Zigzag Chord</i>	126
8.1.3	<i>Diagonal Main Chord</i>	128
8.1.4	<i>Anti Radial Main Chord</i>	131
8.1.5	<i>Radial Divider Chord</i>	134
8.1.6	Rekapitulasi Profil <i>Space Truss</i>	137
8.2	Desain Balok Baja	138
8.2.1	Balok Induk Baja Radial	138
8.2.2	Balok Induk Baja Anti Radial	147
8.2.3	Balok Anak Baja	155
8.3	Desain Rangka Baja Penahan Atap.....	159
8.3.1	Desain Batang Utama Kolom Rangka.....	159
8.3.2	Desain Batang Diagonal Kolom Rangka.....	162
8.4	Desain Sambungan	166
8.4.1	Sambungan Las Rangka Atap	166

8.4.2	Sambungan Baut Rangka Atap	168
8.4.3	Sambungan Rangka Atap dan Kolom Rangka Baja ..	172
8.4.4	Balok Anak dan Balok Induk Baja	174
8.4.5	Sambungan Balok Induk Baja dan Kolom Rangka ...	176
8.4.6	Sambungan <i>Base Plate</i>	178
BAB IX - PENUTUP		183
9.1	Kesimpulan	183
9.2	Saran.....	185

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 – <i>Site Plan</i>	1
Gambar 1.2 – Potongan Bangunan	3
Gambar 2.1 – Grafik Respon Spektrum.....	9
Gambar 2.2 – Struktur Kubah Bundar	11
Gambar 2.3 – <i>Double Layer Grid</i>	12
Gambar 2.4 – <i>Braced Barrel Vaults</i>	13
Gambar 2.5 – <i>Circular Dome</i>	13
Gambar 2.6 – <i>Multi-column Support</i>	14
Gambar 2.7 – <i>Frame Square Pyramid</i>	14
Gambar 2.8 – Sistem <i>Ball Joint</i>	15
Gambar 2.9 – Sistem <i>Socket Joint</i>	16
Gambar 2.10 – Sistem <i>Shell Joint</i>	16
Gambar 2.11 – Sistem <i>Slot Joint</i>	17
Gambar 3.1 – Ukuran Las Sudut	33
Gambar 4.1 – Konfigurasi Balok Induk Beton Lantai 1	36
Gambar 4.2 – Acuan Plat dengan Area Maksimum.....	41
Gambar 4.3 – Kolom Tinjauan untuk Desain Awal.....	43
Gambar 4.4 – Bagian Rangka Atap	46
Gambar 5.2 – Konfigurasi Plat Lantai 1	58
Gambar 6.1 – Sketsa Tribun Stadion	66
Gambar 6.2 – Peta Parameter S_S	73
Gambar 6.3 – Peta Parameter S_1	73
Gambar 6.4 – Grafik Respon Spektrum Desain	75
Gambar 6.5 – Permodelan Struktur Baja	76
Gambar 6.6 – Permodelan Struktur Utama	82
Gambar 7.1 – Sketsa Luas dan Keliling Balok	98
Gambar 7.2 – Penyaluran Kait Standar	105
Gambar 7.3 – Diagram Interaksi P-M <i>Output</i> spColumn	111
Gambar 7.4 – Tinjauan 1 <i>Strong Column Weak Beam</i>	112
Gambar 7.5 – <i>Output</i> Diagram Interaksi P-M Kolom	113
Gambar 7.6 – Tinjauan 2 <i>Strong Column Weak Beam</i>	114
Gambar 7.7 – Tinjauan 3 <i>Strong Column Weak Beam</i>	116
Gambar 8.1 – Gaya Dalam Balok Induk Radial Sebelum Komposit	139
Gambar 8.2 – Gaya Dalam Balok Induk Radial Setelah Komposit	142

Gambar 8.3 – Distribusi Tegangan Plastis Zona Momen Positif ...	143
Gambar 8.4 – Gaya Dalam Balok Induk Anti Radial Sebelum Komposit	147
Gambar 8.5 – Gaya Dalam Balok Induk Anti Radial Setelah Komposit	150
Gambar 8.6 – Gaya Dalam Balok Anak Baja	156
Gambar 8.7 – Jenis Rangka Baja Penahan Atap	159
Gambar 8.8 – Gaya Dalam Batang Utama Kolom Rangka Tegak..	160
Gambar 8.9 – Sketsa Sambungan Baut Antar Radial <i>Main Chord</i> ..	169
Gambar 8.10 – Sketsa Plat Kepala	172
Gambar 8.11 – Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak.....	174

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 – Tebal Minimum Plat Tanpa Balok Interior.....	24
Tabel 4.1 – Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	37
Tabel 4.2 – Rekapitulasi Dimensi Balok Anak.....	38
Tabel 4.3 – Tebal Minimum Balok dan Plat Satu Arah.....	39
Tabel 4.4 – Tebal Minimum Plat Tanpa Balok Interior.....	40
Tabel 4.5 – Perhitungan Beban Kolom Acuan	44
Tabel 4.6 – Profil Rencana Elemen Rangka Atap	47
Tabel 5.1 – Rekapitulasi Perencanaan Gording.....	55
Tabel 5.2 – Penulangan Plat Beton	64
Tabel 6.1 – Data Kecepatan Angin Kota Palembang	67
Tabel 6.2 – Perhitungan Tekanan Velositas	69
Tabel 6.3 – Perhitungan Tekanan Angin	71
Tabel 6.4 – Data N-SPT Tanah	72
Tabel 6.5 – Perhitungan Manual Beban Struktur Baja	77
Tabel 6.6 - Perhitungan SAP2000 Beban Struktur Baja	78
Tabel 6.7 – Gaya Geser Dasar Hasil SAP2000 Permodelan Struktur Baja	80
Tabel 6.8 – Gaya Geser Dasar Hasil Analisis Ulang Model Struktur Baja	81
Tabel 6.9 – <i>Modal Participating Ratios</i> Permodelan Struktur Baja ...	82
Tabel 6.10 – Perhitungan Manual Beban Struktur Utama	83
Tabel 6.11 – Perhitungan SAP2000 Beban Struktur Utama	85
Tabel 6.12 – Gaya Geser Dasar Hasil SAP2000 Permodelan Struktur Utama	86
Tabel 6.13 – <i>Modal Participating Ratios</i> Permodelan Struktur Utama	87
Tabel 7.1 – Momen <i>Envelope</i> Balok Radial 30/45 Stadion	94
Tabel 7.2 – Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok Induk	106
Tabel 7.3 – Rekapitulasi Penulangan Torsi Balok Induk	106
Tabel 7.4 – Rekapitulasi Penulangan Geser Balok Induk	107
Tabel 7.5 – Panjang Penyaluran Tulangan Balok Induk	107
Tabel 7.6 – <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom	109
Tabel 8.1 – Rekapitulasi Profil <i>Space Truss</i>	137
Tabel 8.2 – Rekapitulasi Profil Kolom Rangka	166

Tabel 8.3 – Data Perencanaan Sambungan <i>Radial Main Chord</i> dan <i>Diagonal Chord</i>	166
Tabel 8.4 – Rekapitulasi Sambungan Rangka Atap	168

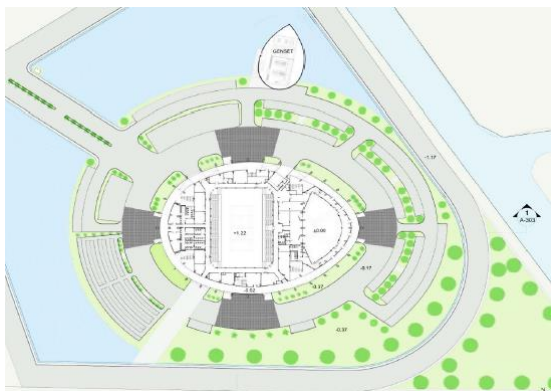
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, desain bentuk bangunan terus berkembang di seluruh penjuru dunia. Dari yang awalnya sederhana dan tidak rumit, kini telah banyak berdiri bangunan dengan desain unik yang terkadang kompleks. Karena keunikan desainnya, tidak jarang bangunan tersebut menjadi sebuah *landmark* atau ikon daerah. Contohnya saja The Gherkin di London, Inggris dan Taipei 101 di Taiwan.

Di Indonesia telah terdapat beberapa *landmark* yang ikonik. Sumatra Selatan sendiri telah memiliki ikon daerah berupa Jembatan Ampera. Namun nantinya Sumatra Selatan akan kehadiran ikon baru, yaitu Jakabaring *Convention Hall* yang terletak di Jakabaring, Palembang. Jakabaring *Convention Hall* merupakan stadion tenis sekaligus *convention hall* yang memiliki bentuk asimetris menyerupai telur.



Gambar 1.1 – Site Plan (Pramuko, 2016)

Elemen struktur pada Jakabaring *Convention Hall* seperti plat lantai, balok, kolom, dan tangga direncanakan dari beton bertulang, sementara tribun penonton direncanakan dari beton

pracetak. Struktur utama bangunan seperti tribun, plat lantai, dan balok ditopang oleh kolom beton, sedangkan struktur atap yang menggunakan *space truss* akan ditopang oleh kolom baja. Adapun kolom baja yang dimaksud berupa rangka batang.

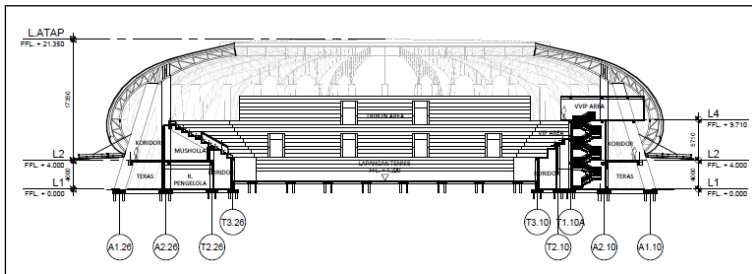
Space truss atau rangka ruang banyak digunakan untuk bangunan yang memerlukan area tak terhalang luas, seperti arena olahraga, gedung pertunjukan, aula pertemuan, maupun hangar pesawat. Karena Jakabaring *Convention Hall* adalah stadion tenis sekaligus *convention hall* yang memerlukan area luas tanpa halangan, penggunaan *space truss* adalah solusi yang tepat.

Yang dimaksud sebagai *space truss* menurut *Spatial Steel Structures of the International Association* adalah sistem struktur dimana elemen-elemennya yang linier disusun sedemikian rupa sehingga gaya ditransfer secara tiga dimensi. Sementara menurut Prayogo (2015), sistem rangka ruang merupakan perkembangan dari sistem rangka batang dimana terdapat penambahan batang ke arah tiga dimensinya. Perbedaan utama rangka ruang dan rangka batang adalah jumlah derajat kebebasan di tiap *node*, dimana rangka ruang memiliki 6 derajat kebebasan (Widyawaty et al, 2016).

Secara garis besar, kelebihan *space truss* terletak pada potensi strukturalnya dan keindahannya secara visual. Menurut Tien T. Lan (1999), kelebihan *space truss* adalah sebagai berikut:

1. Konstruksi *space truss* ringan karena material dipasang secara spasial sehingga beban umumnya berupa aksial, yaitu tarikan maupun tekan. Dengan demikian, kapasitas material pada *space truss* digunakan secara maksimum.
2. Elemen *space truss* umumnya diproduksi secara massal di pabrik sehingga ukuran dan bentuknya sama. Dengan demikian, *space truss* dapat dikirim dengan mudah ke lapangan dan dipasang oleh tenaga kerja yang tidak terlalu ahli sehingga biayanya lebih murah.

3. Karena karakteristik tiga dimensinya, *space truss* cukup kaku meskipun beratnya relatif ringan.
4. *Space truss* memiliki keaneka-ragaman bentuk karena dapat disusun dalam bermacam-macam cara sehingga dapat mendapatkan bentuk yang indah secara visual.
5. Sistem *space truss* mampu mengakomodasi ruang yang luas tanpa terhalang.



Gambar 1.2 – Potongan Bangunan (Pramuko, 2016)

Space truss sebagai struktur atap Jakabaring *Convention Hall* mampu memberikan area tak terhalang luas yang diperlukan oleh bangunan berupa stadion tenis sekaligus *convention hall* ini. Selain itu dengan bentuknya yang unik, muncul tantangan bagi ahli rekayasa bangunan untuk mendesain struktur bangunan ini dengan kuat, aman, dan sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia. Akan tetapi hingga bulan Maret 2017, proyek Jakabaring *Convention Hall* masih berada pada tahap *preliminary design*. Oleh karena itu desain struktur Jakabaring *Convention Hall* diperlukan untuk merealisasikannya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah utama dari desain Jakabaring *Convention Hall* adalah “Bagaimana desain struktur utama dan struktur atap Jakabaring *Convention Hall*?”

Adapun detail rumusan masalah dari permasalahan utama adalah:

1. Bagaimana *preliminary design* Jakabaring *Convention Hall*?
2. Bagaimana pembebanan struktur untuk Jakabaring *Convention Hall*?
3. Bagaimana permodelan dan analisis struktur Jakabaring *Convention Hall* dengan bantuan program SAP2000?
4. Bagaimana desain elemen struktur beton Jakabaring *Convention Hall* sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia?
5. Bagaimana desain rangka atap dan elemen struktur baja lainnya pada Jakabaring *Convention Hall* sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia?
6. Apa hasil akhir desain Jakabaring *Convention Hall*?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari desain Jakabaring *Convention Hall* antara lain:

1. Menentukan *preliminary design* Jakabaring *Convention Hall*.
2. Mendapatkan pembebanan struktur Jakabaring *Convention Hall*.
3. Memodelkan dan mendapat hasil analisis struktur Jakabaring *Convention Hall* dengan program bantu SAP2000.
4. Mendesain elemen-elemen struktur beton Jakabaring *Convention Hall* sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.
5. Mendesain rangka atap dan elemen struktur baja lainnya pada Jakabaring *Convention Hall* sesuai dengan peraturan yang berlaku Indonesia
6. Menuangkan hasil akhir desain Jakabaring *Convention Hall* dalam bentuk gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Adapun hal-hal berikut merupakan batasan permasalahan pada Tugas Akhir ini:

1. Tidak menghitung tribun pracetak. Hanya memperhitungkan tribun pracetak sebagai beban terhadap elemen struktur lainnya, seperti balok dan kolom.
2. Desain struktur Jakabaring *Convention Hall* hanya mencakup struktur atas bangunan. Pondasi bangunan tidak direncanakan dalam Tugas Akhir.
3. Tidak menghitung aspek manajemen konstruksi dan biaya.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah diharapkan hasil desain Jakabaring *Convention Hall* dapat berfungsi sebagai pembanding hasil desain apabila nantinya proyek Jakabaring *Convention Hall* telah sampai tahap desain. Selain itu, diharapkan Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi berkaitan dengan *space truss*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam tinjauan pustaka ini akan dibahas beberapa teori dan hasil penelitian yang bersumber dari jurnal ilmiah maupun prosiding yang berkaitan dengan desain Jakabaring *Convention Hall*. Karena dalam desainnya digunakan *space truss* untuk rangka atap, maka diperlukan tinjauan khusus terhadap topik tersebut.

2.2 Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Struktur bangunan gedung dapat diklasifikasikan sebagai struktur gedung beraturan dan tidak beraturan. Struktur gedung beraturan umumnya simetris dan memiliki desain tipikal tiap lantainya. Sementara struktur gedung tidak beraturan cenderung tidak simetris dan tipikal. Ketidakteraturan struktur dapat berupa ketidakteraturan horizontal maupun vertikal. Mengenai kriteria struktur gedung beraturan dan tidak beraturan mengacu pada SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.

Gedung dengan struktur beraturan, simetris, dan sederhana lebih disukai dalam desain ketahanan gempa dibandingkan dengan struktur tidak beraturan (Paulay dan Priestley dalam Nurdianti, 2013).

Menurut Nurdianti (2013), gedung dengan struktur tidak beraturan mudah mengalami puntir akibat pusat massa dan pusat kekakuan yang tidak berimpit serta dapat mengalami respon yang tak terduga akibat pengaruh ragam yang lebih tinggi (*higher mode effect*).

2.3 Pengaruh Gempa pada Bangunan

2.3.1 Sistem Struktur Tahan Gempa

Indonesia adalah negara rawan gempa karena terletak di antara tiga lempeng bumi. Karena itulah, perencanaan struktur

yang berlokasi di Indonesia harus tahan terhadap gempa. Struktur tahan gempa sendiri adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa, bukan struktur yang semata-mata telah memperhitungkan beban gempa pada perencanaan (Tjokrodimulyo dalam Hariyanto, 2011).

Menurut Purwono (2003), sistem struktur yang digunakan pada bangunan disesuaikan menurut wilayah gempa, antara lain:

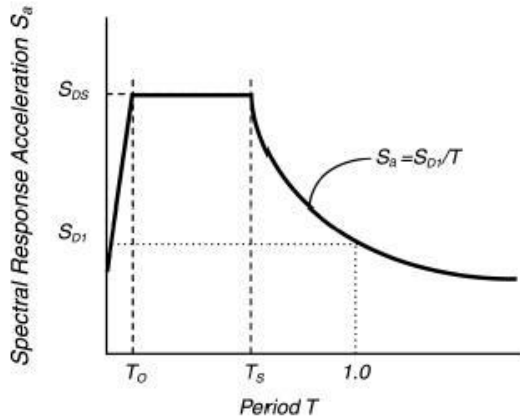
1. Wilayah gempa 1 dan 2 (resiko gempa rendah), desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dan dinding struktur dengan beton biasa.
2. Wilayah gempa 3 dan 4 (resiko gempa sedang), desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dan Sistem Dinding Struktur Biasa dengan beton tanpa *detailing*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

2.3.2 Analisis Beban Gempa

Analisis beban gempa diperlukan untuk mengetahui besar gaya yang diterima struktur pada saat terjadi gempa. Dalam menganalisis beban gempa, dua cara yang umum digunakan adalah analisis beban statik ekuivalen dan analisis dinamik. Analisis beban statik ekuivalen menganggap bahwa beban statik horizontal diperoleh dengan memperhitungkan respon ragam getar yang pertama saja, sementara analisis beban dinamik memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur (Hariyanto, 2011).

Hariyanto (2011) menyebutkan bahwa analisis dinamik dapat dilakukan dengan metode elastis dan inelastis, namun analisis dinamik elastis lebih sering digunakan karena lebih sederhana. Metode analisis dinamik elastis sendiri dapat dilakukan dengan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time*

History Modal Analysis) dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Respon Spectrum Modal Analysis*).



Gambar 2.1 – Grafik Respon Spektrum (Yohanes, 2007)

Grafik spektrum respons pada analisis respon spektrum merupakan hasil plot nilai tanggapan/respons maksimum, baik berupa lendutan, kecepatan, maupun percepatan, terhadap fungsi beban tertentu untuk semua sistem derajat kebebasan tunggal yang memungkinkan (Bayyinah, 2017).

Dari hasil penelitian Nasution et al (2014), struktur gedung beraturan dengan tinggi kurang dari 40 m dapat dianalisis dengan analisis statik ekuivalen maupun analisis dinamik karena hasil analisis menunjukkan besaran yang tidak terlampaui jauh.

2.4 Struktur *Space Truss* (Rangka Ruang)

Ketertarikan terhadap *space truss* atau rangka ruang berkembang cukup pesat karena potensi strukturalnya yang cukup besar. Selain itu, *space truss* mampu mengakomodasi area yang luas tanpa adanya kolom di tengah-tengah sehingga banyak digunakan pada stadion, gedung pertemuan, maupun gudang.

2.4.1 Pengertian

Menurut *Spatial Steel Structures of the International Association*, *space truss* atau rangka ruang adalah sistem struktur dimana elemen-elemennya yang linier disusun sedemikian rupa sehingga gaya ditransfer secara tiga dimensi.

Adapun menurut Prayogo (2015), sistem rangka ruang merupakan perkembangan dari sistem rangka batang dimana terdapat penambahan batang ke arah tiga dimensinya. Perbedaan utama rangka ruang dan rangka batang adalah jumlah derajat kebebasan di tiap *node*, dimana rangka ruang memiliki 6 derajat kebebasan (Widyawaty et al, 2016).

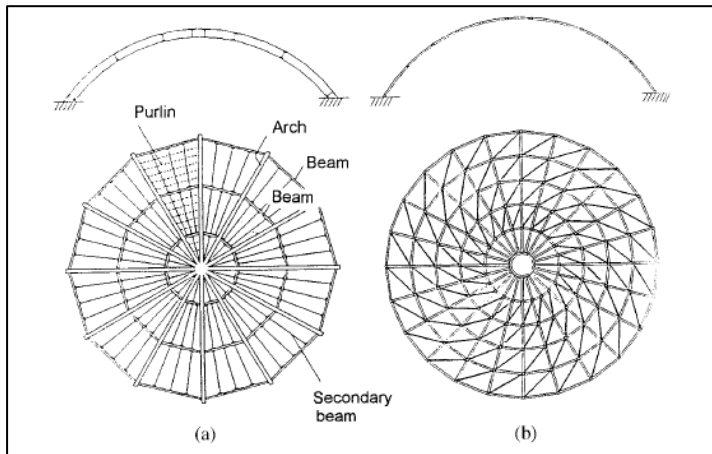
2.4.2 Komponen Struktur

Struktur *space truss* pada umumnya terdiri atas dua komponen penting, yaitu batang (*member*) dan sambungan (*node*). Material batang *space truss* yang sering digunakan adalah baja. Baja memiliki beragam pilihan profil dan juga diproduksi secara massal sehingga mudah didapatkan. Menurut Prayogo (2015), material lain yang juga memungkinkan untuk digunakan sebagai *space truss* adalah kayu, besi, maupun aluminium.

Profil pipa, khususnya *hollow pipe*, lebih digemari sebagai profil batang *space truss* karena kemudahan pemasangannya pada sambungan *space truss* dimana terdapat banyak batang yang harus disambung pada satu titik. Menurut Freitas (2011), sistem rangka ruang dapat disambung tanpa menggunakan elemen penyambung pada *node* dan sebagai gantinya disambung dengan cara dilas.

2.4.3 Konsep Dasar

Konstruksi *space truss* atau rangka ruang pada dasarnya transfer beban ke segala arah. Hal tersebut berlawanan dengan sistem normal dimana beban ditransfer secara linier dan hierarkis.



Gambar 2.2 – Struktur Kubah Bundar (Lan, 1999)

Konsep dasar *space truss* atau rangka ruang dapat diamati pada **Gambar 2.2(a)** dan **2.2(b)** dimana keduanya merupakan kubah bundar (*circular dome*). Pada **Gambar 2.2(a)**, kubah terdiri dari elemen-elemen seperti lengkungan (*arch*), balok induk, balok anak, dan *purlin* yang terletak pada satu bidang. Namun pada **Gambar 2.2(b)**, kubah terdiri dari batang longitudinal, meridional, dan diagonal yang saling terhubung. Menurut Lan (1999), batang-batang pada **Gambar 2.2(b)** akan menerima gaya secara bersamaan sesuai dengan konfigurasi tiga dimensinya.

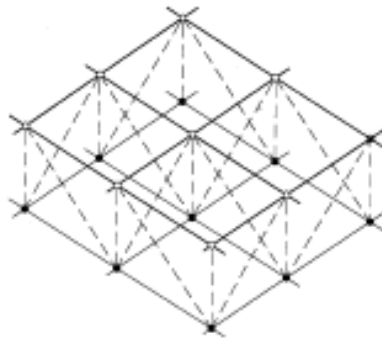
Pada struktur planar, beban atap ditransfer secara bertahap melalui elemen sekunder, elemen primer, kemudian pondasi. Beban diteruskan dari elemen kelas ‘ringan’ ke elemen dengan kelas lebih ‘berat’ sehingga seiring dengan berjalannya rangkaian transfer beban, besar beban yang ditransfer juga semakin besar. Akan tetapi, pada struktur rangka ruang tidak terdapat rangkaian transfer beban seperti itu. Semua elemen rangka ruang berkontribusi dalam menerima beban secara bersamaan sesuai dengan bentuk geometri tiga dimensinya. (Lan, 1999).

Bachtiar (2013) menyatakan bahwa elemen batang pada struktur rangka ruang terdiri atas elemen-elemen diskrit yang akan melendut secara keseluruhan apabila dibebani sehingga setiap elemen batangnya tidak melentur tapi hanya menerima gaya aksial berupa tarik atau tekan.

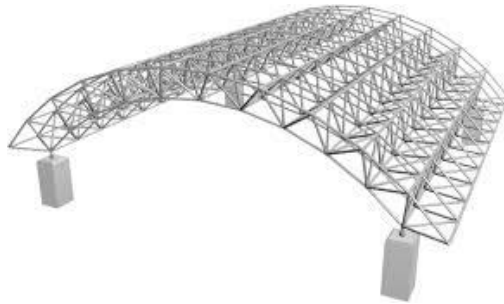
Karakteristik tiga dimensi *space truss* memang membantunya dalam memikul beban, namun hal tersebut menyebabkan struktur rentan terhadap pergeseran pada *node*. Apabila salah satu *node* bergeser, kestabilan seluruh struktur *space truss* dapat terancam. Oleh karena itu, *space truss* perlu dianalisis dengan analisis dinamik.

2.5 Bentuk *Space Truss*

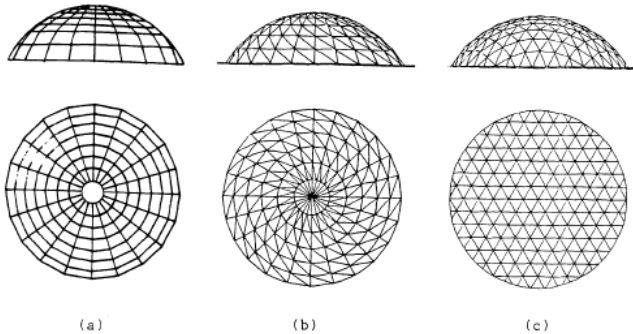
Space truss memiliki keanekaragaman bentuk dan potensi keindahan visual tergantung dari susunan batang-batangannya, namun secara universal bentuk dasar *space truss* antara lain *double layer grid*, *braced barrel vaults*, dan *circular dome*.



Gambar 2.3 – *Double Layer Grid*



Gambar 2.4 – *Braced Barrel Vaults*
 www.google.com/)



Gambar 2.5 – *Circular Dome* (Lan, 1999)

2.6 Penyangga *Space Truss*

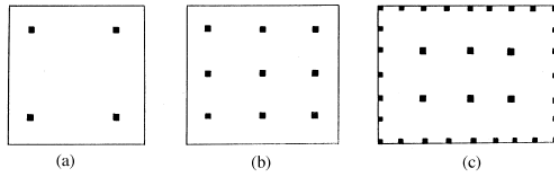
Struktur *space truss* memerlukan penyangga untuk menyalurkan beban yang diterimanya ke pondasi. Secara umum tipe penyangga *space truss* adalah sebagai berikut:

1. Sepanjang keliling (*perimeter*)

Rangka ruang dapat ditopang oleh dinding beton atau *ring-balk* sepanjang kelilingnya. Sistem jenis ini dapat mengurangi gaya geser dari struktur dan direkomendasikan pada lokasi yang memiliki tekanan angin dan tingkat korosi tinggi (Bachtiar, 2013).

2. Multi-column

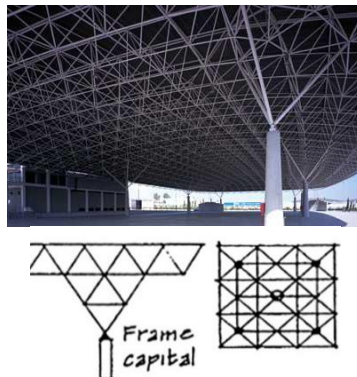
Space truss atau rangka ruang ditopang oleh beberapa kolom. Menurut Lan (1999), struktur rangka ruang berupa *double layer grid* sebaiknya ditopang kolom yang memiliki *overhang* karena kolom pojok menimbulkan gaya yang besar pada batang rangka ruang tepi.



Gambar 2.6 – *Multi-column Support* (Lan, 1999)

3. Frame square pyramid

Pada jenis ini, *space truss* dan penyangga tidak langsung bertemu. Pada titik tumpu di setiap kolom diberi penambahan *frame* berbentuk piramida terbalik. Penambahan *frame square pyramid* ini bermaksud untuk membagi rata beban pada titik tumpu rangka ruang menjadi empat titik sehingga dapat mengurangi gaya geser (Bachtiar, 2013).



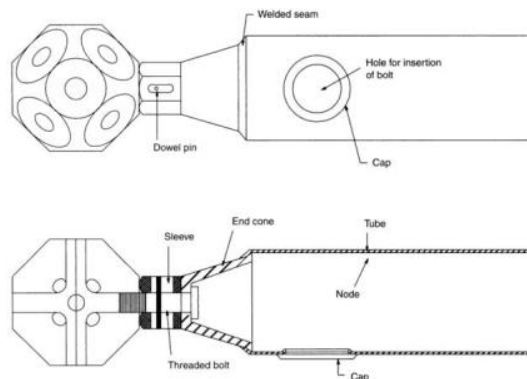
Gambar 2.7 – *Frame Square Pyramid*
(www.studyblue.com)

2.7 Sambungan *Space Truss*

Sambungan pada struktur *space truss* memegang peranan penting dalam struktur itu sendiri. Terdapat bermacam-macam model sambungan rangka ruang yang dikembangkan di seluruh dunia. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, Freitas (2011) menyatakan bahwa sistem rangka ruang dapat disambung tanpa menggunakan elemen penyambung pada *node* dengan cara dilas. Selain dengan cara pengelasan, berikut merupakan beberapa jenis sambungan *space truss*.

2.7.1 Sistem *Ball Joint*

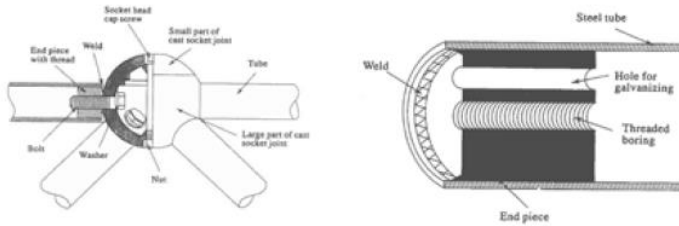
Sistem *ball joint* juga disebut sebagai sistem MERO. Sistem ini banyak digunakan di seluruh dunia, termasuk Indonesia, karena kepraktisannya. Sistem *ball joint* berdasar pada *universal spherical node* yang memiliki 18 lubang pada sudut 45° , 60° , dan 90° secara relatif terhadap satu sama lain. Pipa baja yang telah diberi *end-cone* dapat disekrup ke dalam lubang yang tersedia. (Buijsen, 2011).



Gambar 2.8 – Sistem *Ball Joint* (Narayanan, 2006)

2.7.2 Sistem *Socket Joint*

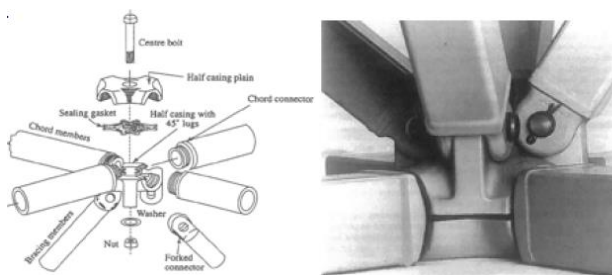
Prinsip sistem *socket joint* hampir sama seperti sistem *ball joint*, tetapi pada *socket joint* pipa baja disekrupkan dari dalam *node* bola kosong (*hollow*) tanpa adanya *end-cone* yang menyambungkan pipa baja dengan *node*. (Buijsen, 2011).



Gambar 2.9 – Sistem *Socket Joint* (Narayanan, 2006)

2.7.3 Sistem *Shell Joint*

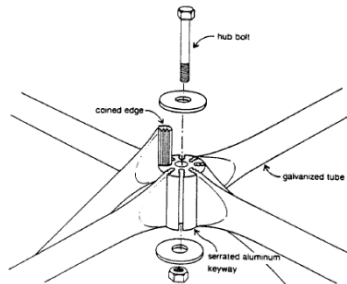
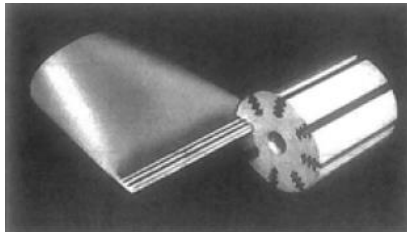
Prinsip *shell joint* adalah pemasangan pipa baja dengan mengapitnya diantar dua atau lebih cangkang (*shell*). Sambungan ini biasa digunakan untuk rangka ruang dengan *single layer*. Karena hanya sedikit elemen yang harus disambung, *shell joint* memiliki keleluasaan dalam desainnya. (Buijsen, 2011).



Gambar 2.10 – Sistem *Shell Joint* (Narayanan, 2006)

2.7.4 Sistem Triodetic (*Slot Joint*)

Sistem *slot joint* atau triodetic mempunyai berbagai tipe tergantung dari produsennya dan cara perakitannya. Sambungan antara batang silinder pada tipe *joint* ini tidak dapat dilepas dan dirakit kembali. Selain itu, sistem *slot joint* membutuhkan tenaga ahli yang terlatih. (Buijsen, 2011).



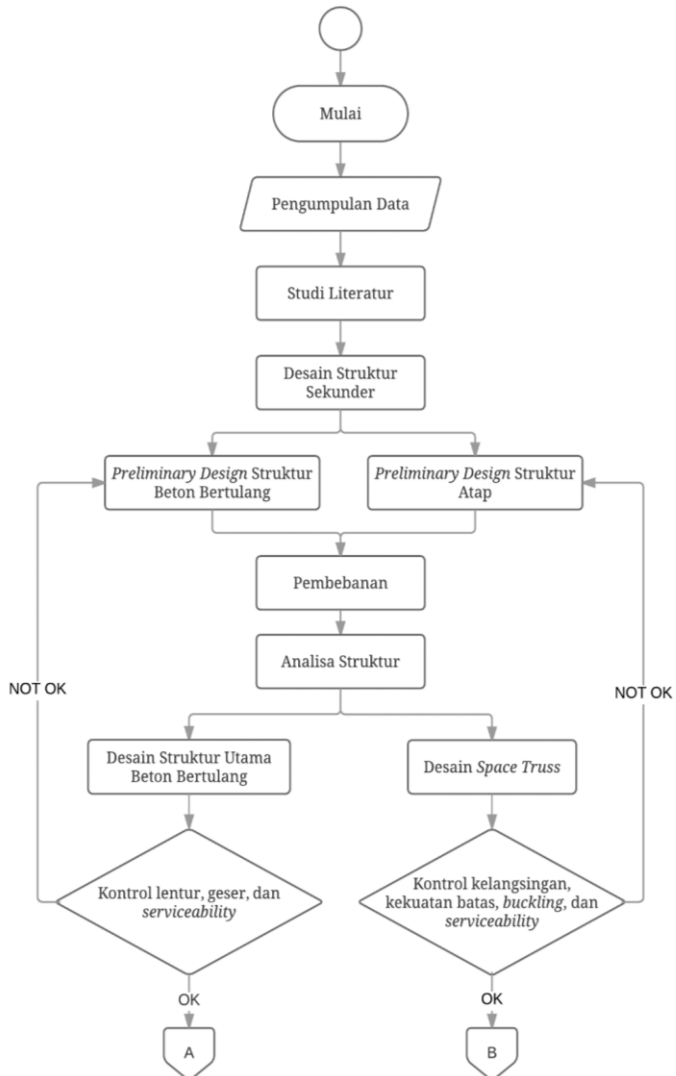
Gambar 2.11 – Sistem *Slot Joint* (Narayanan, 2006)

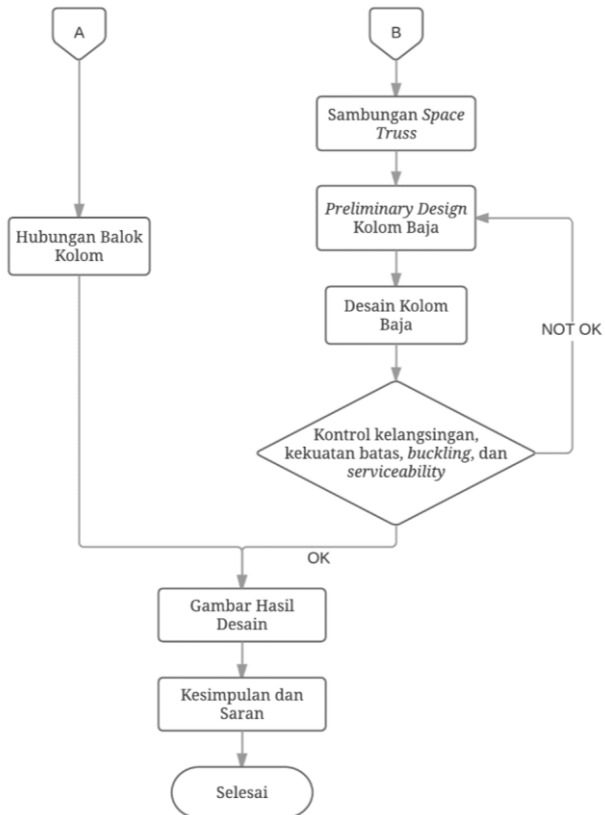
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Pengerjaan tugas akhir melalui langkah-langkah berikut:





3.2 Pengumpulan Data

Data bangunan untuk desain struktur Jakabaring *Convention Hall* dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Tipe Bangunan	: <i>Convention hall</i> sekaligus stadion tenis
Lokasi	: Jakabaring <i>Sport City</i> , Palembang, Sumatra Selatan
Luas Bangunan	: 10.668 m ²
Tinggi Total	: ± 21,35 meter

Jenis struktur :
 • Struktur utama : Beton bertulang
 • Struktur atap : *Space truss* baja
 Data Gambar : Terlampir

3.3 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk membantu pengerjaan Tugas Akhir ini. Sumber literatur yang digunakan berupa buku pustaka, peraturan yang berlaku, jurnal ilmiah, maupun prosiding yang bersangkutan dengan gedung dan *space truss*. Adapun sumber literatur yang digunakan dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
2. SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
3. SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
4. SNI 1729-2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
5. “*Space Frame Structures*” *Structural Engineering Handbook* (Tien T. Lan).

3.4 Preliminary Design

3.4.1 Preliminary Design Struktur Beton Bertulang

➤ Mutu Bahan

Elemen struktur beton Jakabaring *Convention Hall* direncanakan dengan:

Beton : $f'c = 35 \text{ MPa}$

Tulangan utama : BJTS 35

($f_y = 350 \text{ MPa}$, $f_u = 500 \text{ MPa}$)

Senggang : BJTP 24

($f_y = 240 \text{ MPa}$, $f_u = 390 \text{ MPa}$)

- Perencanaan Dimensi Balok Induk
Mengacu pada SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a):

$$h_{\min} = \frac{l}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad (3.9)$$

- Perencanaan Dimensi Kolom
Pada perencanaan kolom perlu diketahui beban yang akan bekerja dikali dengan faktor beban untuk menentukan luasan kolom yang dibutuhkan.

$$A = \frac{3 \times W}{f'c} \quad (3.10)$$

3.4.2 Preliminary Design Struktur Space Truss

Struktur atap rangka ruang Jakabaring *Convention Hall* direncanakan dengan:

Batang rangka ruang

Material : Pipa baja ASTM A-53 B BPI (*Bakrie Pipe Ind*)

Spesifikasi : $f_y = 240 \text{ MPa}$

$f_u = 415 \text{ MPa}$

Profil : *Hollow pipe*

Sambungan

Plat : Plat baja BJ 37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$; $f_u = 370 \text{ MPa}$)

Las : F_{E70XX}

3.4.3 Preliminary Design Struktur Baja

Struktur baja yang dimaksud pada struktur Jakabaring *Convention Hall* adalah balok baja dan kolom rangka baja. Balok baja pada struktur mengikat kolom rangka bidang yang menahan struktur atap dan menahan plat beton. Balok baja direncanakan dengan:

Material : Batang baja profil WF

Mutu baja : BJ 37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$; $f_u = 370 \text{ MPa}$)

Plat : Plat baja BJ 37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$; $f_u = 370 \text{ MPa}$)

Baut : Baut A325
 Las : F_{E70XX}

Kolom baja yang berupa rangka batang (*plane truss*) hanya akan menerima beban dari struktur atap. Kolom baja tersebut direncanakan dengan:

Material : Batang baja profil WF
 Mutu baja : BJ 37 ($f_y = 240$ MPa ; $f_u = 370$ MPa)
 Plat : Plat baja BJ 37 ($f_y = 240$ MPa ; $f_u = 370$ MPa)
 Baut : Baut A325
 Las : F_{E70XX}

3.5 Perencanaan Struktur Sekunder

3.5.1 Perencanaan Plat

Adapun langkah-langkah perencanaan plat lantai adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan Dimensi Plat

Ketebalan minimum plat harus memenuhi pasal 9.5.3.3 SNI 2847-2013. Langkah-langkah menentukan tebal minimum plat antara lain:

- $\alpha f_m = \frac{E_{balok} \times I_{balok}}{E_{plat} \times I_{plat}}$
- $I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3$
- $K = \frac{1 + (\frac{b_e}{b_w} - 1) \times (\frac{h_f}{h_w}) \times [4 - 6(\frac{h_f}{h_w}) + 4(\frac{h_f}{h_w})^2 + (\frac{b_e}{b_w} - 1) \times (\frac{h_f}{h_w})^3]}{1 + (\frac{b_e}{b_w} - 1) \times (\frac{h_f}{h_w})}$

Jika $\alpha f_m \leq 0,2$ maka nilai h menggunakan **Tabel 3.1** di bawah ini:

Tabel 3.1 – Tebal Minimum Plat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

¹Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁴Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(SNI 2847-2013 Tabel 9.5(c))

Jika $0,2 < \alpha f m \leq 2$ maka nilai h menggunakan rumus berikut:

$$\blacksquare h = \frac{Ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha f m - 0,2)} \text{ dan } h \geq 125 \text{ mm}$$

Jika $\alpha f m > 2$ maka nilai h menggunakan rumus di bawah ini:

$$\blacksquare h = \frac{Ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \text{ dan } h \geq 90 \text{ mm}$$

Untuk mengetahui jenis plat digunakan rumus di bawah ini:

- $\beta = \frac{Ln}{S_n} < 2$ (Plat 2 Arah)
- $\beta = \frac{Ln}{S_n} > 2$ (Plat 1 Arah)

2. Pembebanan Plat

Mengacu pada SNI 1727-2013 Tabel 4.1 untuk beban hidup, sementara beban mati sesuai berat jenis material yang digunakan.

3. Penulangan Plat

3.5.2 Perencanaan Balok Anak

Perencanaan dimensi balok anak mengacu pada SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a):

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

3.6 Pembebanan

3.6.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, *finishing*, serta peralatan layan. SNI 1727-2013 pasal 3.1.2 menyatakan bahwa beban mati untuk perancangan harus digunakan berat konstruksi yang sebenarnya. Untuk itu dapat digunakan acuan berat material sesuai PPIUG 1983 Tabel 2.1.

3.6.2 Beban Hidup

Sesuai SNI 1727-2013 Tabel 4.1, beban hidup untuk bangunan berupa gedung pertemuan (*convention hall*) adalah sebesar 4,79 kN/m².

3.6.3 Beban Angin

Langkah perhitungan beban angin mengacu pada Tabel 30-4.1 SNI 1727-2013.

3.6.4 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan mengacu pada SNI 1726-2012. Analisis respon dinamik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu analisis respon spektrum dan analisis respon dinamik riwayat gempa (*time history*). Untuk Tugas Akhir ini digunakan analisis respon spektrum.

Adapun tahapan yang dilakukan untuk memperoleh nilai *base shear* (V):

- a. Menentukan kategori resiko bangunan
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 4.1.2

- b. Menentukan faktor keutamaan gempa
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 4.1.2
- c. Menentukan parameter percepatan tanah (S_S dan S_I)
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 4.1.2
- d. Menentukan klasifikasi situs (SA-SF)
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.3
- e. Menentukan faktor koefisien situs (F_a , F_v)
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.2
- f. Menghitung parameter percepatan desain (S_{DS} , S_{DI})
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.3
- g. Menentukan kategori desain seismik
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.5
- h. Menentukan faktor koefisien modifikasi respons (R), faktor perbesaran defleksi (Cd), dan faktor kuat lebih sistem (Ω) untuk sistem penahan gaya gempa
Sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.2.2
- i. Melakukan analisa statik ekuivalen
Sesuai SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.
- j. Melakukan analisa modal respon spektrum

3.6.5 Kombinasi

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2013 pasal 2.3.2 antara lain sebagai berikut:

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

3.7 Analisa Struktur

Analisa struktur utama menggunakan program bantu SAP2000 v15. Pada analisa struktur, input yang dimasukkan pada

model struktur pada program antara lain pembebanan, elemen struktur utama beton bertulang (balok dan kolom), rangka ruang (*space truss*), serta kolom baja yang berupa rangka batang (*plane truss*).

Hasil analisa struktur dari SAP2000 dapat dikontrol dengan aspek berikut ini:

1. Pengecekan perhitungan berat secara manual dan dengan SAP2000 dimana selisih antara keduanya $\pm 5\%$. Berat model di SAP2000 dapat diketahui dari besarnya *base reaction* arah Z pada case 1D+1L.
2. Pengecekan partisipasi massa $\geq 90\%$.
3. Pengecekan *base shear* statik yang disyaratkan $\pm 85\%$.
4. Pengecekan lama waktu getar (T).

3.8 Perencanaan Struktur

3.8.1 Perencanaan Struktur Utama Beton Bertulang

Pada Jakabaring *Convention Hall*, perencanaan struktur utama beton bertulang terdiri atas perencanaan balok induk dan kolom. Perencanaan elemen struktur beton mengacu pada SNI 2847-2013.

3.8.1.1 Perencanaan Balok Induk Beton

Untuk desain balok induk, jenis tulangan yang harus ditinjau antara lain tulangan lentur, tulangan geser (sejangkang), serta tulangan torsi. Selain itu, perlu menentukan spasi tulangan yang dipasang sesuai dengan persyaratan SNI 2847-2013.

Adapun tahapan untuk menentukan tulangan lentur balok induk antara lain sebagai berikut:

- a. Menentukan batasan rasio tulangan sesuai persyaratan SNI 2847-2013.

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$$

- $\rho_{bal} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
- ρ_{max} diambil yang terkecil dari:
 - $\rho_{max} = 0,75 \rho_{bal}$
 - $\rho_{max} = 0,025$ (Pasal 21.5.2.1)
- b. Menentukan nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$
- c. Menentukan nilai Rn

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$$
- d. Menghitung rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$
- e. Menentukan kebutuhan tulangan

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

Sedangkan tahapan untuk menentukan tulangan torsi balok induk antara lain:

- a. Menentukan pengaruh torsi
Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.1, pengaruh torsi dapat diabaikan apabila:

$$T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$
- b. Desain tulangan torsi
Bila pengaruh torsi tidak dapat diabaikan, maka desain penampang harus berdasar pada:

$$\phi T_n \geq T_u$$
 Dimana T_n harus dihitung dengan rumus:

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta$$

Sedangkan tahapan untuk menentukan tulangan geser balok induk antara lain:

- a. Menentukan syarat spasi maksimum tulangan geser

Jarak antar tulangan geser harus:

- $S < \frac{1}{4}d$
- $S < 6 \times Dia$
- $S < 150\text{ mm}$
- Sengkang pertama harus dipasang kurang dari 50 mm dari muka tumpuan.
- Untuk daerah lapangan, syarat maksimum spasi tulangan geser adalah $S < \frac{1}{2}d$

- b. Cek kondisi penulangan geser

Sesuai dengan pasal 11.2.1 SNI 2847-2013, untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja, nilai V_c menggunakan rumus berikut:

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

Berikut merupakan kondisi penulangan geser:

1. Jika $V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser
2. Jika $0,5 \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ tulangan geser minimum
3. Jika $\phi \cdot V_c < V_u \leq (\phi V_c + 0,66 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d) \rightarrow$ tulangan geser

3.8.1.2 Perencanaan Kolom Beton

Direncanakan menggunakan program bantu SPColumn. Adapun hasil perencanaan dengan program bantu harus memenuhi syarat-syarat pada SNI 2847-2013 pasal 8.10.

3.8.2 Perencanaan Struktur Atap

Pada perencanaan struktur atap *space truss* pada bangunan, perlu meninjau elemen batang tekan dan batang tarik.

- Perencanaan Batang Tekan

Hal yang harus diperhatikan pada perencanaan batang tekan antara lain kontrol penampang, kontrol kelangsingan, dan kekuatan penampang tekan elemen struktur yang mengacu pada SNI 1729-2015 dan SNI 1729-2002 sebagai referensi atau pembanding.

Rasio tebal terhadap lebar harus memenuhi syarat batasan rasio tebal terhadap lebar pada Tabel B4.1a SNI 1729-2015.

- $\frac{D}{t} < 0,11 \times \frac{E}{f_y}$ (Untuk profil PSB bulat)

Adapun untuk batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan dibatasi sebesar 200.

- $\lambda = \frac{Lk}{r} \leq 200$

- $Lk = kc \times L$

Untuk kekuatan penampang tekan didapatkan dari rumus-rumus berikut:

- $\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$

- $P_n = A_g \times f_c r$

- $P_u \leq \phi P_n$

- Perencanaan Batang Tarik

Dalam perencanaan batang tarik, kekuatan penampang tarik ditentukan oleh nilai terkecil dari kuat leleh dan kuat putus elemen tersebut. Berikut merupakan cara menentukan kuat leleh elemen tarik:

- $P_n = f_y \times A_g$

- $P_u \leq \phi P_n \rightarrow (\phi = 0,9 \text{ untuk kuat leleh})$

Sementara untuk menentukan kuat putus, berikut merupakan rumusnya:

- $P_n = f_y \times A_e$
- $P_u \leq \phi P_n \rightarrow (\phi = 0,75 \text{ untuk kuat putus})$

Selain menentukan kekuatan penampang, elemen tarik juga harus dikontrol kelangsingan.

- $\frac{L}{r} \leq 300$ (Untuk batang sekunder)
- $\frac{L}{r} \leq 240$ (Untuk batang primer)

3.8.3 Perencanaan Struktur Baja

Struktur baja yang dimaksud pada struktur Jakabaring *Convention Hall* adalah balok baja dan kolom rangka baja. Balok baja pada struktur mengikat kolom rangka bidang yang menahan struktur atap dan menahan plat beton. Struktur baja direncanakan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

3.9 Perencanaan Sambungan

3.9.1 Sambungan Baut

Terdapat dua jenis sambungan baut, yaitu sambungan tipe tumpu dan sambungan tipe friksi atau gesek. Suatu baut harus memenuhi persyaratan:

$$R_u \leq \phi R_n$$

- Baut dalam Geser

Kuat geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut:

$$V_d = \phi f \times V_n = \phi f \times r_1 \times f_u^b \times A_b$$

Nilai r_1 tergantung pada tipe baut, yakni:

$r_1 = 0,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_1 = 0,4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

Adapun nilai faktor reduksi kekuatan fraktur (ϕ^f) adalah sebesar 0,75.

Kuat geser nominal baut yang mempunyai beberapa bidang geser (bidang geser majemuk) adalah jumlah kekuatan masing-masing yang dihitung untuk setiap bidang geser.

- Baut yang Memikul Tarik

Kuat tarik rencana satu baut dihitung sebagai berikut:

$$T_d = \phi^f \times T_n = \phi^f \times 0,75 \times f_u^b \times A_b$$

- Kuat Tumpu Baut

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen plat penyambung.

Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi plat dalam arah kerja gaya lebih besar 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dihitung sebagai berikut:

$$R_d = \phi^f \times R_n = 2,4 \times \phi^f \times d_b \times t_p \times f_u$$

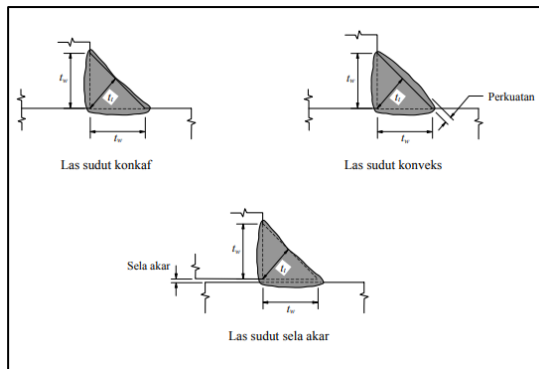
3.9.2 Sambungan Las

Menurut SNI 1729-2015, terdapat beberapa jenis las antara lain las tumpul, las sudut, las plug dan slot, serta kombinasi las. Las tumpul sendiri terdapat las tumpul penetrasi penuh dan las tumpul penetrasi sebagian.

Berikut merupakan hal yang perlu diperhatikan untuk merencanakan sambungan las dengan tipe las sudut:

- Ukuran Las Sudut

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki, yang mana disebut sebagai t_{w1} dan t_{w2} dari sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga dilihat dari penampang melintang las. Bila terdapat sela akar, ukuran t_w diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar.



Gambar 3.1 – Ukuran Las Sudut

Sesuai pasal J2 SNI 1729-2015, ukuran minimum las sudut selain las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul ditetapkan sesuai tabel di bawah ini.

Tabel 3.2 – Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tipis, t (mm)	Tebal minimum las sudut, t_w (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 13$	5
$13 < t \leq 19$	6
$t > 15$	8

Untuk ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi adalah:

- a. Untuk komponen dengan ketebalan < 6 mm, ukuran maksimum setebal komponen
 - b. Untuk komponen dengan ketebalan ≥ 6 mm, ukuran maksimum adalah tebal komponen dikurangi 2 mm.
- Panjang Efektif
Panjang efektif las sudut minimum harus 4 kali ukuran las. Apabila kurang, maka ukuran las untuk perencanaan harus dianggap sebesar 0,25 kali panjang efektif.
 - Luas Efektif
Didapat dengan mengalikan panjang efektif dan tebal rencana las.
 - Kuat Las Sudut
Kekuatan las sudut yang memikul gaya terfaktor per satuan panjang las harus memenuhi:
$$R_u \leq \phi R_{nw}$$
Dimana nilai ϕR_{nw} adalah sebagai berikut:
$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \rightarrow \text{untuk las}$$
$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot F_{nbm} \cdot A_{bm} \rightarrow \text{untuk bahan dasar}$$

3.10 Gambar

Hasil desain struktur Jakabaring *Convention Hall* dirangkum dalam bentuk gambar teknik dengan bantuan program AutoCAD.

3.11 Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan hasil desain Tugas Akhir dan memberi saran-saran terhadap studi mendatang yang mungkin dilakukan.

BAB IV

PRELIMINARY DESIGN

4.1 Data Perencanaan

Berikut merupakan data-data terkait perencanaan Jakabaring *Convention Hall*:

Tipe Bangunan	: <i>Convention hall</i> sekaligus stadion tenis
Lokasi	: Jakabaring <i>Sport City</i> , Palembang, Sumatra Selatan
Luas Bangunan	: 10.668 m ²
Tinggi Total	: ± 21,35 meter
Jenis struktur	:
• Struktur utama	: Beton bertulang
• Struktur atap	: <i>Space truss</i> baja
Data Tanah	: Terlampir

4.2 Preliminary Design Struktur Beton

4.2.1 Preliminary Design Balok Induk

Elemen struktur balok induk beton pada Jakabaring *Convention Hall* direncanakan dengan:

Mutu beton (f'c)	: 35 MPa
Tulangan utama	: BJTS 35
▪ fy	: 350 MPa
▪ fu	: 500 MPa
Sengkang	: BJTP 24
▪ fy	: 240 MPa
▪ fu	: 390 MPa

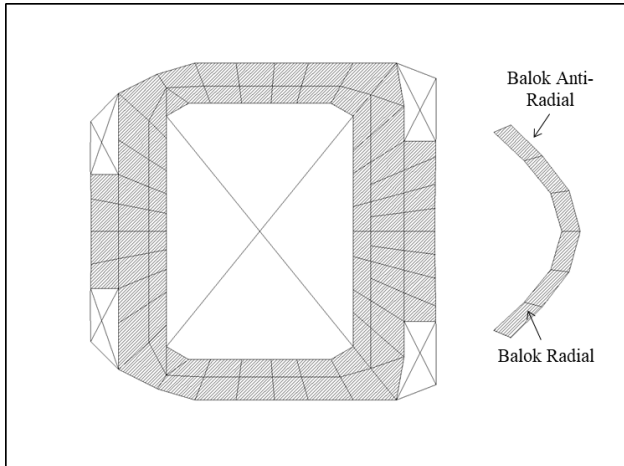
Untuk perencanaan dimensi balok induk mengacu pada SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a). Untuk balok non-prategang tertumpu sederhana dengan tegangan leleh (fy) tulangan selain 420 MPa, tebal balok minimum adalah:

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

Untuk lebar balok induk dapat diambil sebesar:

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

Balok induk beton pada struktur Jakabaring *Convention Hall* terdiri atas balok induk lantai 1 dan balok tribun, baik pada area stadion tenis maupun pada area *convention hall*. Karena bentang balok untuk setiap jenisnya sangat bervariasi, maka dimensi balok disamakan dengan meninjau bentang maksimum tiap jenisnya.



Gambar 4.1 – Konfigurasi Balok Induk Beton Lantai 1

Berikut merupakan contoh perhitungan dimensi balok induk anti radial lantai 1 pada area stadion tenis:

- Bentang maksimum (l) : 7200 mm
- $h_{\min} = \frac{7500}{16} \times (0,4 + \frac{350}{700}) = 421,88$ mm
- $b_{\min} = \frac{2}{3} \times (421,88) = 281,25$ mm

Rekapitulasi dimensi *preliminary* balok induk beton terdapat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 – Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Lokasi	Arah	l max	h min	b min	h	b
		(<i>mm</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>mm</i>)	(<i>mm</i>)
Lantai 2 Stadion Tenis	Anti Radial	7500	421.88	281.25	450	300
	Radial	7200	405	270	450	300
Tribun Stadion Tenis	Anti Radial	7500	421.88	281.25	450	300
	Radial	6300	354.38	236.25	450	300
Lantai 2 <i>Convention Hall</i>	Anti Radial	7100	399.38	266.25	400	300
	Radial	3000	168.75	112.5	400	300
Tribun <i>Convention Hall</i>	Anti Radial	7100	399.38	266.25	400	300
	Radial	4700	264.38	176.25	400	300

Dari Tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa dimensi balok induk untuk area stadion, baik radial maupun anti-radial adalah 30/45. Sementara dimensi balok induk area *convention hall*, baik radial dan anti-radial berdimensi 30/40.

4.2.2 Preliminary Design Balok Anak

Perencanaan dimensi balok anak mengacu pada SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a). Untuk mutu baja selain 420 MPa, digunakan rumusan berikut:

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

Untuk lebar balok induk dapat diambil sebesar:

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

Pada struktur Jakabaring *Convention Hall* terdapat tiga jenis balok anak, yaitu balok anak lantai 1, balok anak tribun stadion, dan balok anak tribun *convention hall*. Karena bentang balok untuk setiap jenis sangat bervariasi, maka dimensi balok disamakan dengan meninjau bentang maksimum tiap jenisnya.

Berikut merupakan contoh perhitungan dimensi balok anak lantai 2 pada area stadion tenis:

- Bentang maksimum (l) : 6900 mm
- $h_{\min} = \frac{6900}{21} \times (0,4 + \frac{350}{700}) = 295,71$ mm
- $b_{\min} = \frac{2}{3} \times (295,71) = 197,14$ mm

Rekapitulasi dimensi *preliminary* balok anak beton terdapat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 – Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Lokasi	Arah	l max	h min	b min	h	b
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Lantai 2 Stadion Tenis	Anti Radial	6900	295.71	197.14	350	250
Tribun Stadion Tenis	Anti Radial	7200	308.57	205.71	350	250
Tribun <i>Convention Hall</i>	Radial	4700	201.43	134.29	300	200

Dari Tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa dimensi balok anak untuk area stadion adalah 25/35, sementara untuk area *convention hall* adalah 20/30.

4.2.3 *Preliminary Design Plat Lantai*

Untuk tahap *preliminary design* plat, hal pertama yang perlu ditentukan adalah jenis plat, yakni plat satu arah atau plat

dua arah. Jenis plat akan mempengaruhi penulangan untuk plat. Untuk mengetahui jenis plat digunakan rumus berikut:

- $\beta = \frac{Ln}{Sn} < 2$ (Plat 2 Arah)
- $\beta = \frac{Ln}{Sn} > 2$ (Plat 1 Arah)

Untuk plat satu arah, ketebalan minimum plat harus memenuhi pasal 9.5.2.1 SNI 2847-2013.

Tabel 4.3 – Tebal Minimum Balok dan Plat Satu Arah

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	ℓ / 20	ℓ / 24	ℓ / 28	ℓ / 10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	ℓ / 16	ℓ / 18,5	ℓ / 21	ℓ / 8

CATATAN:
 Panjang bentang dalam mm.
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
 (b) Untuk f_c selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_c/700)$.

Untuk plat dua arah, ketebalan minimum plat harus memenuhi pasal 9.5.3.3 SNI 2847-2013. Langkah-langkah menentukan tebal minimum plat dua arah antara lain:

- $\alpha fm = \frac{E_{balok} \times I_{balok}}{E_{plat} \times I_{plat}}$
- $I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times b \times h^3$
- $K = \frac{1 + (\frac{be}{bw} - 1) \times (\frac{hf}{hw}) \times [4 - 6(\frac{hf}{hw}) + 4(\frac{hf}{hw})^2 + (\frac{be}{bw} - 1) \times (\frac{hf}{hw})^3]}{1 + (\frac{be}{bw} - 1) \times (\frac{hf}{hw})}$

Terdapat tiga kondisi untuk tebal minimum plat dua arah berdasarkan nilai αfm , yaitu:

- a. Jika $\alpha fm \leq 0,2$ maka nilai h menggunakan Tabel 4.4 seperti berikut:

Tabel 4.4 – Tebal Minimum Plat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y , MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

¹Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁴Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

- b. Jika $0,2 < \alpha f m \leq 2$ maka nilai h menggunakan rumus:

$$h = \frac{Ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha f m - 0,2)} \text{ dan } h \geq 125 \text{ mm}$$

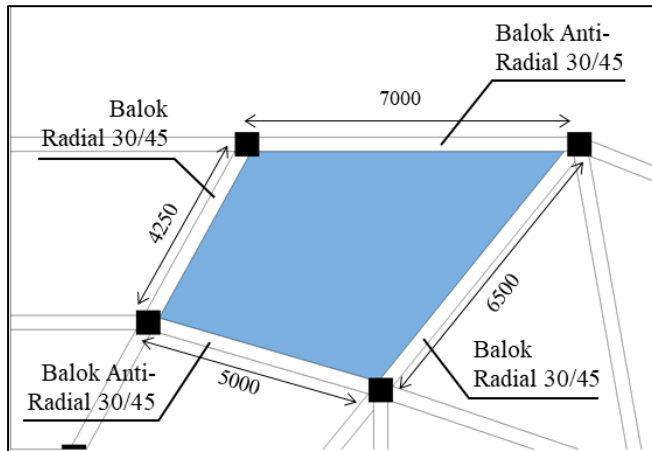
- c. Jika $\alpha f m > 2$ maka nilai h menggunakan rumus berikut:

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

Pada struktur Jakabaring *Convention Hall*, plat lantai berbentuk trapesium. Menurut Reynolds dkk (2008), plat *trapezoidal* termasuk *non-rectangular slab* yang perhitungannya dapat dianggap sebagai *rectangular slab* dengan merata-rata sisi yang berseberangan. Oleh karena itu, plat trapesium dihitung sebagai plat segi empat.

Karena pada gedung terdapat plat yang ditumpu oleh balok baja, maka dapat dihitung sebagai plat beton komposit. Namun untuk mempermudah tahap *preliminary design* plat, tebal plat beton komposit dianggap sama seperti plat beton yang ditumpu oleh balok beton.

Ukuran plat pada struktur Jakabaring *Convention Hall* cukup bervariasi sehingga plat dengan luasan maksimum ditinjau untuk menentukan tebal minimum.



Gambar 4.2 – Acuan Plat dengan Area Maksimum

$$L = \frac{7000+5000}{2} = 6000 \text{ mm}$$

$$S = \frac{4250+6500}{2} = 5375 \text{ mm}$$

$$L_n = 6000 - \left(\frac{300}{2} + \frac{300}{2}\right) = 5700 \text{ mm}$$

$$S_n = 5375 - \left(\frac{300}{2} + \frac{300}{2}\right) = 5075 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{5700}{5075} = 1,1 < 2 \text{ (Plat Dua Arah)}$$

Karena plat merupakan plat dua arah, perlu menentukan nilai α_{fm} rata-rata untuk mengetahui ketebalan plat minimum. Berikut merupakan perhitungannya:

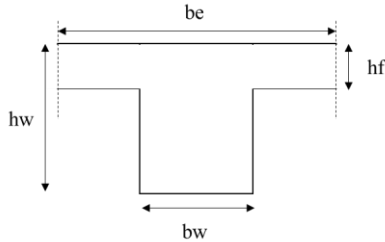
$$E_{cbalok} = E_{cplat} = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{35} = 27806 \text{ MPa}$$

Sisi Balok Anti Radial 30/45 (L = 6000 mm)

Asumsi tebal plat awal, $h_f = 120 \text{ mm}$

$b_w = 300 \text{ mm}$

$h_w = 450 \text{ mm}$



Nilai be diambil yang terkecil dari:

1. $be_1 = \frac{1}{4} Ln = \frac{1}{4} (5700) = 1425 \text{ mm}$
2. $be_2 = bw + 8hf = 300 + 8 (120) = 1260 \text{ mm}$
3. $be_3 = bw + \frac{1}{2} Sn = 300 + \frac{1}{2} (5075) = 2838 \text{ mm}$

Dipakai $be = 1260 \text{ mm}$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{1260}{300} - 1\right) \times \left(\frac{120}{450}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{120}{450}\right) + 4\left(\frac{120}{450}\right)^2 + \left(\frac{1260}{300} - 1\right) \times \left(\frac{120}{300}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{1260}{300} - 1\right) \times \left(\frac{120}{450}\right)}$$

$$K = 1,804$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times K \times bw \times hw^3$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 1,804 \times 300 \times 450^3 \times 10^{-4} = 41862,4 \text{ cm}^4$$

$$I_{plat} = \frac{1}{12} \times Ln \times hf^3$$

$$I_{plat} = \frac{1}{12} \times 5700 \times 120^3 \times 10^{-4} = 82080 \text{ cm}^4$$

Karena $E_{balok} = E_{plat}$, maka:

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{plat}} = \frac{41862,4}{82080} = 5,01$$

Sisi Balok Radial 30/45 (L = 5375 mm)

Asumsi tebal plat awal, $hf = 120 \text{ mm}$

$bw = 300 \text{ mm}$

$hw = 450 \text{ mm}$

Dengan perhitungan sama seperti sebelumnya, didapatkan:

$$\alpha = 5,62$$

Dari perhitungan α masing-masing balok penumpu plat, didapatkan:

$$\alpha_{fm} = \frac{1}{4} \times (2 \times 5,01 + 2 \times 5,62) = 5,31 > 2$$

Karena $\alpha_{fm} > 2$, maka tebal minimum plat sesuai SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 adalah:

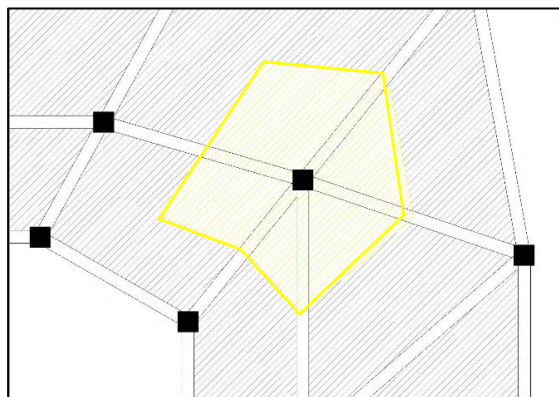
$$h = \frac{Ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \text{ dan } h \geq 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{5700(0,8 + \frac{350}{1400})}{36 + 9(1,1)} = 129,8 \geq 90 \text{ mm}$$

Digunakan $h = 140 \text{ mm}$

4.2.4 Preliminary Design Kolom

Pada perencanaan dimensi kolom, perlu diketahui besaran beban aksial terfaktor yang bekerja pada seluruh struktur dan momen terfaktor pada bentang yang ditinjau. Kolom yang menahan luasan maksimum menjadi acuan *preliminary design*. Perlu diketahui bahwa kolom beton pada struktur ini tidak ikut menahan beban rangka atap.



Gambar 4.3 – Kolom Tinjauan untuk Desain Awal

Mengacu pada SNI 1727:2013 pasal 4.7, komponen struktur dengan nilai $K_{LL} A_{TT} \geq 37,16 \text{ m}^2$ dapat didesain dengan beban hidup tereduksi sesuai ketentuan. Akan tetapi, beban hidup tinggi yang melebihi $4,79 \text{ kN/m}^2$ tidak boleh direduksi.

Beban hidup untuk Jakabaring *Convention Hall* termasuk kategori stadion mempunyai nilai beban hidup sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$, maka beban hidup tidak direduksi.

Berikut merupakan perhitungan beban kolom acuan untuk menentukan dimensi awal kolom beton:

Tabel 4.5 – Perhitungan Beban Kolom Acuan

Uraian	BV (t/m ³)	p (m)	l (m)	t (m)	Jmlh	Berat (t)
Lantai 1						
DEAD LOAD						
Berat Sendiri Kolom	2.4	0.5	0.5	4	1	2.400
Balok Beton Anti Radial	2.4	0.3	8.65	0.45	1	2.803
Balok Beton Radial	2.4	0.3	5.55	0.45	1	1.798
Plat Beton	2.4	23.32		0.15	1	8.395
SUPERDEAD LOAD						
Tegel t = 1 cm	0.024		23.32		1	0.560
Spesi t = 2 cm	0.042		23.32		1	0.979
Plumbing + Ducting	0.030		23.32		1	0.700
Plafond + Penggantung	0.018		23.32		1	0.420
LIVE LOAD						
Beban Hidup Stadion	0.479		23.32		1	11.170
Lantai 2						
DEAD LOAD						
Berat Kolom Lantai 2	2.4	0.5	0.5	1.64	1	0.984
Balok Tribun Anti Radial	2.4	0.3	5.85	0.45	1	1.895

Balok Tribun Radial	2.4	0.3	5.55	0.45	1	1.798
Balok Anak Tribun	2.4	0.25	6.8	0.35	1	1.428
Plat Tribun	2.4	15.2		0.15	1	5.472
SUPERDEAD LOAD						
Anak Tribun	0.528		15.2	1	8.026	
Tegel t = 1 cm	0.024		15.2	1	0.365	
Spesi t = 2 cm	0.042		15.2	1	0.638	
Plumbing + Ducting	0.030		15.2	1	0.456	
Plafond + Penggantung	0.018		15.2	1	0.274	
LIVE LOAD						
Beban Hidup Stadion	0.479		15.2	1	7.281	
WD						39.390
WL						18.451

Dari perhitungan diatas, didapatkan berat total:

- $W = 1,2 D + 1,6 L$
 $W = 1,2 (39390) + 1,6 (18451)$
 $W = 76790 \text{ kg}$
- $f'c = 35 \text{ MPa} = 350 \text{ kg/cm}^2$
- $A = 3 \times \frac{W}{f'c} = 3 \times \frac{76790}{350} = 658,20 \text{ cm}^2$

Kolom direncanakan berupa persegi, sehingga:

- $b = h = \sqrt{658,20} = 25,66 \text{ cm}$

Dengan mempertimbangkan ukuran balok yang memiliki lebar 30 cm, maka digunakan kolom beton berukuran 50x50 cm.

Dimensi kolom lantai 2 disamakan dengan kolom lantai 1 sehingga semua kolom beton pada struktur *Jakabaring Convention Hall*, baik pada area stadion tenis maupun *convention hall*, memiliki dimensi 50x50 cm.

4.3 Preliminary Design Struktur Atap

Struktur atap rangka ruang Jakabaring *Convention Hall* direncanakan dengan:

Batang rangka ruang

Material : Pipa baja ASTM A-53 B BPI (*Bakrie Pipe Ind*)

Spesifikasi : $f_y = 240 \text{ MPa}$

$f_u = 415 \text{ MPa}$

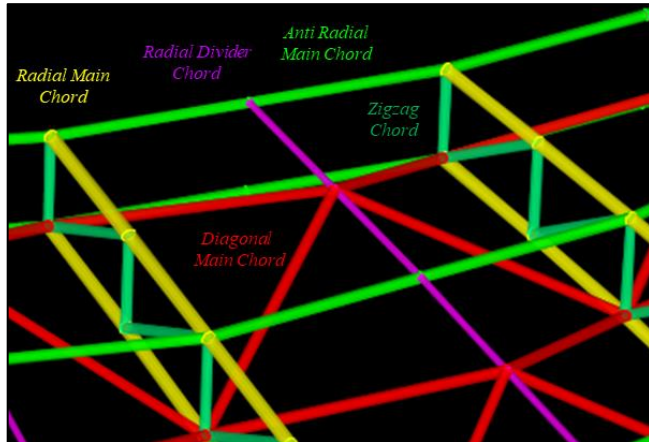
Profil : *Hollow pipe*

Sambungan

Plat : Plat baja BJ 37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$; $f_u = 370 \text{ MPa}$)

Las : F_{E70XX}

Sambungan antar *node* pada struktur atap menggunakan las karena sambungan *ball joint* memiliki keterbatasan pada sudut penyambungan elemen, sementara sambungan las lebih memungkinkan variasi sudut penyambungan.



Gambar 4.4 – Bagian Rangka Atap

Berikut merupakan profil rencana untuk struktur atap Jakabaring *Convention Hall*:

Tabel 4.6 – Profil Rencana Elemen Rangka Atap

No	Section	Profil Rencana
1.	Radial <i>Main Chord</i>	CHS 5''-0,219''
2.	<i>Zigzag Chord</i>	CHS 4''-0.25''
3.	<i>Diagonal Chord</i>	CHS 4''-0.25''
4.	Anti Radial <i>Main Chord</i>	CHS 4''-0.25''
5.	Radial <i>Divider Chord</i>	CHS 4''-0.25''

4.4 Preliminary Design Struktur Baja

4.4.1 Preliminary Design Balok Baja

Balok baja pada struktur Jakabaring *Convention Hall* mengikat rangka bidang yang menahan struktur atap dan menahan plat beton. Balok baja direncanakan dengan:

Material : Batang baja profil WF

Mutu baja : BJ 41 ($f_y = 250$ MPa ; $f_u = 410$ MPa)

Plat : Plat baja BJ 37 ($f_y = 240$ MPa ; $f_u = 370$ MPa)

Baut : Baut A325

Las : F_{E70XX}

4.4.2 Preliminary Design Kolom Rangka Baja

Kolom baja yang berupa rangka batang (*plane truss*) hanya akan menerima beban dari struktur atap. Kolom baja tersebut direncanakan dengan:

Material : Batang baja profil WF

Mutu baja : BJ 41 ($f_y = 250$ MPa ; $f_u = 410$ MPa)

Plat : Plat baja BJ 37 ($f_y = 240$ MPa ; $f_u = 370$ MPa)

Baut : Baut A325

Las : F_{E70XX}

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

5.1 Perencanaan Gording

Struktur atap *Jakabaring Convention Hall* memiliki bentuk yang menyerupai kubah oval. Karena bentuknya yang cukup kompleks, struktur atap dibagi menjadi beberapa segmen untuk perencanaan struktur sekunder atap, termasuk perencanaan gording.

Berikut merupakan contoh perhitungan perencanaan gording pada segmen 3 dengan gording acuan yang memiliki panjang gording maksimum.

a. Data Perencanaan Gording

Bentang gording (L)	: 3,21 m
Jumlah penggantung gording	: 1 buah
Jarak horizontal antar gording	: 1,88 m
Kemiringan	: 15°
Jarak miring gording	: 1,94 m
Mutu baja	: A-53 B
fy	: 240 MPa
fu	: 415 MPa
Profil baja	: Pipa CHS 3" – 0.216"
D	: 76,2 mm
t	: 5,49 mm
d	: 65,22 mm
w	: 11,29 kg/m
A	: 12,18 cm ²
I	: 76,60 cm ⁴
i	: 2,51 cm
Z	: 57,69 cm ³

b. Pembebanan Gording▪ **Beban Mati**

Penutup atap	:	6,8 kg/m x 1,94 m = 13,20 kg/m
Insulasi atap	:	0,5 kg/m x 1,94 m = 0,97 kg/m
Profil	:	= 11,29 kg/m
Total	:	= 25,46 kg/m
<u>Alat penggantung</u>	:	<u>10% x berat total = 2,55 kg/m +</u>
		qD = 28,01 kg/m

$$\begin{aligned}
 M_{xD} &= \frac{1}{8} (qD \cdot \cos \alpha) Lx^2 \\
 &= \frac{1}{8} (28,01)(\cos 15)(3,21)^2 \\
 &= 34,84 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{yD} &= \frac{1}{8} (qD \cdot \sin \alpha) Ly^2 \\
 &= \frac{1}{8} (28,01)(\sin 15)\left(\frac{3,21}{2}\right)^2 \\
 &= 2,33 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

▪ **Beban Hidup**

1. Beban hidup terbagi rata → beban air hujan sesuai

PPIUG 1983 Pasal 3.2.1, dimana:

$$\begin{aligned}
 qL &= (40 - 0,8 \alpha) \text{ kg/m}^2 \leq 20 \text{ kg/m}^2 \\
 &= (40 - 0,8 \cdot 15) \text{ kg/m}^2 \leq 20 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 28 \text{ kg/m}^2 > 20 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan $qL = 20 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned}
 M_{xL1} &= \frac{1}{8} (qL \cdot \cos \alpha) Lx^2 \\
 &= \frac{1}{8} (20)(\cos 15)(3,21)^2 \\
 &= 48,30 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{yL1} &= \frac{1}{8} (qL \cdot \sin \alpha) L_y^2 \\
 &= \frac{1}{8} (20)(\sin 15) \left(\frac{3,21}{2}\right)^2 \\
 &= 3,24 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Beban hidup terpusat \rightarrow beban 1 orang ($P_L = 100 \text{ kg}$), sesuai dengan PPIUG 1983 Pasal 3.2.1.

$$\begin{aligned}
 M_{xL2} &= \frac{1}{4} (P_L \cdot \cos \alpha) L_x \\
 &= \frac{1}{4} (100)(\cos 15)(3,21) \\
 &= 77,52 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{yL2} &= \frac{1}{4} (P_L \cdot \sin \alpha) L_y \\
 &= \frac{1}{4} (100)(\sin 15) \left(\frac{5,4}{2}\right) \\
 &= 16,67 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

▪ **Beban Angin**

Berdasar data BMKG Kota Palembang, kecepatan angin maksimum di Kota Palembang adalah $V = 20 \text{ m/s}$.

Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2 . Untuk daerah di dekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, tekanan tiup dihitung dengan:

$$p = \frac{V^2}{16} = \frac{20^2}{16} = 25 \text{ kg/m}^2$$

Berdasar gambar nilai koefisien atap di bawah, koefisien angin hisap diambil $-0,6$ sesuai dengan perkiraan lokasi segmen 3. Sehingga tekanan angin hisap adalah:

$$t = C \times p = -0,6 \times 25 = -15 \text{ kg/m}^2$$

d. Kontrol Profil

Kontrol penampang profil mengacu pada SNI 1729-2015 Tabel B4.1b..

- $\lambda = \frac{D}{t} = \frac{76,2}{5,49} = 13,89$
- $\lambda_p = 0,07 \times \frac{E}{f_y} = 0,07 \times \frac{200000}{240} = 58,33$
- $\lambda < \lambda_p \rightarrow$ Penampang Kompak

Adapun perhitungan kuat nominal terhadap lentur sesuai dengan pasal F8 SNI 1729-2015. Pasal ini berlaku untuk profil struktur berongga (PSB) bundar yang memenuhi syarat berikut:

- $\frac{D}{t} < 0,45 \times \frac{E}{f_y}$
- $13,89 < 0,45 \times \frac{200000}{240}$
- $13,89 < 375$ (Memenuhi)

Kekuatan lentur nominal, M_n , diambil dari nilai terendah kekuatan lentur pada keadaan batas leleh dan tekuk lokal. Akan tetapi, keadaan batas dari tekuk lokal sayap untuk penampang kompak PSB bundar tidak diterapkan sehingga kekuatan lentur nominal berdasar leleh.

- $M_n = Z \cdot f_y = 57696 \cdot (240) \cdot 10^{-4} = 1384,70 \text{ kgm}$
- $M_{ux} = 189,99 \text{ kgm}$
- $M_{uy} = 80,23 \text{ kgm}$
- $\frac{M_{ux}}{\phi \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi \times M_{ny}} \leq 1$
- $\frac{189,99}{0,9 \times 1384,70} + \frac{80,23}{0,9 \times 1384,70} \leq 1$
- $0,217 \leq 1$ (**OK!**)

e. Kontrol Lendutan

Lendutan maksimum untuk elemen sekunder adalah $L/240$. Berikut merupakan perhitungan untuk kontrol lendutan gording:

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{3210}{240} = 17,83 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban mati:

$$\Delta_{xD} = \frac{5 \cdot qD \cdot \cos \alpha \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 28 \times 10^{-2} \times \cos 15 \times 3210^4}{384 \times 2 \times 10^5 \times 57696} = 2,44 \text{ mm}$$

$$\Delta_{yD} = \frac{5 \cdot qD \cdot \sin \alpha \cdot (L/3)^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 28 \times 10^{-2} \times \sin 15 \times (3210/2)^4}{384 \times 2 \times 10^5 \times 57696} = 0,041 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban hidup:

$$\Delta_{xL} = \frac{5 \cdot qL \cdot \cos \alpha \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 38,82 \times 10^{-2} \times \cos 15 \times 3210^4}{384 \times 2 \times 10^5 \times 57696} = 3,38 \text{ mm}$$

$$\Delta_{yL} = \frac{5 \cdot qL \cdot \sin \alpha \cdot (L/3)^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 38,82 \times 10^{-2} \times \sin 15 \times (3210/2)^4}{384 \times 2 \times 10^5 \times 57696} = 0,057 \text{ mm}$$

$$\Delta_{xL} = \frac{PL \cdot \cos \alpha \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{100 \times 10 \times \cos 15 \times 3210^3}{48 \times 2 \times 10^5 \times 57696} = 4,345 \text{ mm}$$

$$\Delta_{yL} = \frac{PL \cdot \sin \alpha \cdot (L/3)^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{100 \times 10 \times \sin 15 \times (3210/2)^3}{48 \times 2 \times 10^5 \times 57696} = 0,146 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban mati dan beban hidup:

$$\Delta_{x1} = \Delta_{xD} + \Delta_{xL1} = 2,44 + 3,38 = 5,82 \text{ mm}$$

$$\Delta_{x2} = \Delta_{xD} + \Delta_{xL2} = 2,44 + 4,345 = 6,785 \text{ mm}$$

$$\Delta_{y1} = \Delta_{yD} + \Delta_{yL1} = 0,041 + 0,057 = 0,098 \text{ mm}$$

$$\Delta_{y2} = \Delta_{yD} + \Delta_{yL2} = 0,041 + 0,146 = 0,186 \text{ mm}$$

Diambil kombinasi maksimum sehingga:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{x2}^2 + \Delta_{y2}^2} = \sqrt{6,785^2 + 0,186^2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$\Delta = 6,79 < \Delta_{ijin} = 22,5 \text{ mm (OK!)}$$

Profil pipa CHS 3” – 0.216” dapat digunakan sebagai gording untuk segmen 3. Hasil perencanaan gording segmen lainnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.1 – Rekapitulasi Perencanaan Gording

Gording	Profil
Segmen 1	CHS3" - 0.216"
Segmen 2	CHS3" - 0.216"
Segmen 3	CHS3" - 0.216"
Segmen 4	CHS3" - 0.216"
Segmen 5	CHS3" - 0.216"
Segmen 6	CHS3" - 0.216"
Segmen 7	CHS3" - 0.216"

5.2 Perencanaan Penggantung Gording

Pada struktur atap Jakabaring *Convention Hall*, setiap bentang gording ditopang oleh 1 buah penggantung gording.

- **Beban Mati**

$$\text{Penutup atap} : 6,8 \text{ kg/m} \times 1,67 \text{ m} = 11,35 \text{ kg/m}$$

$$\text{Insulasi atap} : 0,5 \text{ kg/m} \times 1,67 \text{ m} = 0,83 \text{ kg/m}$$

$$\text{Profil} : = 25,36 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total} : = 37,54 \text{ kg/m}$$

$$\text{Alat penggantung} : 10\% \times \text{berat total} = 3,76 \text{ kg/m} +$$

$$qD = 41,30 \text{ kg/m}$$

$$R_D = (qD \cdot \sin \alpha) \frac{L}{3}$$

$$R_D = (41,30 \cdot \sin 36) \frac{5,4}{3}$$

$$R_D = 43,69 \text{ kg}$$

- **Beban Hidup**

1. Beban hidup terbagi rata → beban air hujan sesuai PPIUG

1983 Pasal 3.2.1, dimana:

$$\begin{aligned} qL &= (40 - 0,8 \alpha) \text{ kg/m}^2 \leq 20 \text{ kg/m}^2 \\ &= (40 - 0,8 \cdot 0,5) \text{ kg/m}^2 \leq 20 \text{ kg/m}^2 \\ &= 36 \text{ kg/m}^2 > 20 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan $qL = 20 \text{ kg/m}^2$

$$R_{L1} = (qL \cdot lh \cdot \sin \alpha) \frac{L}{3}$$

$$R_{L1} = (20 \cdot 1,66 \cdot \sin 5) \frac{5,4}{3}$$

$$R_{L1} = 35,19 \text{ kg}$$

2. Beban hidup terpusat → beban 1 orang ($P_L = 100 \text{ kg}$), sesuai dengan PPIUG 1983 Pasal 3.2.1.

$$R_{L2} = P \times \sin \alpha = 100 \times \sin 5 = 58,78 \text{ kg}$$

- **Total Beban**

$$R_A = 1,2RD + 1,6RL = 1,2((43,69) + 1,6(58,78)) = 146,48 \text{ kg}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{lh}{L/3} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1,66}{5,4/3} \right) = 42,68$$

$$Pu = RA / \sin \alpha = 146,48 / \sin 42,68 = 216,08 \text{ kg}$$

Perencanaan Penggantung Gording

Direncanakan dengan besi bulat BJTP 24

$$f_u = 390 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

Kontrol Leleh

$$Pu = \phi \times Ag \times fy$$

$$2160,8 = 0,9 \times Ag \times 240$$

$$Ag = 10,0 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Ag}{\pi}} = 3,57 \text{ mm}$$

Kontrol Putus

$$Pu = \phi \times Ae \times fy$$

$$2160,8 = 0,75 \times Ae \times 240$$

$$Ae = 12,0 \text{ mm}^2$$

$$Ag = Ae / \mu = 12,0 / 1 = 12,0 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Ag}{\pi}} = 3,57 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan Batang Tarik

$$L/D \leq 500$$

$$D \geq L/500$$

$$D \geq 4800/500$$

$$D \geq 9,6 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan $\emptyset 10 \text{ mm}$.

5.3 Perencanaan Ikatan Angin

Untuk perencanaan ikatan angin, kelangsingan merupakan hal yang umumnya paling menentukan jenis batang. Ikatan angin mempunyai panjang maksimum 8,90 meter pada struktur Jakabaring *Convention Hall*. Untuk mendapat gaya tarik maksimum pada ikatan angin, dilakukan permodelan pada program bantu SAP2000. Dari hasil analisis beban angin saja, didapatkan:

$$Pu \text{ max} = 315 \text{ kg.}$$

Kontrol Leleh

$$Pu = \phi \times Ag \times fy$$

$$3150 = 0,9 \times Ag \times 240$$

$$Ag = 14,58 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Ag}{\pi}} = 4,31 \text{ mm}$$

Kontrol Putus

$$Pu = \phi \times Ae \times fy$$

$$3150 = 0,75 \times Ae \times 240$$

$$Ae = 17,5 \text{ mm}^2$$

$$Ag = Ae / \mu = 17,5 / 1 = 17,5 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Ag}{\pi}} = 4,72 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan Batang Tarik

$$D \geq L/500$$

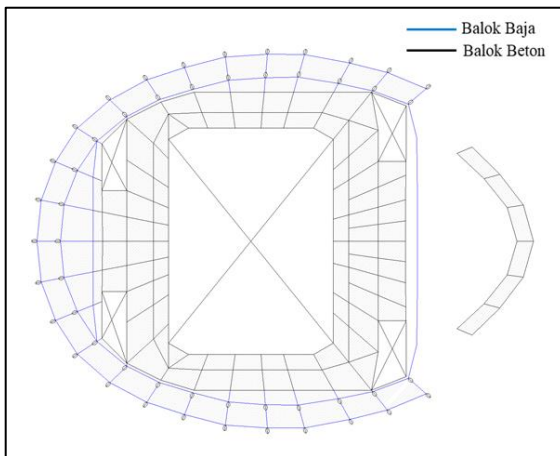
$$D \geq 8900/500$$

$$D \geq 17,8 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan $\emptyset 19 \text{ mm}$.

5.4 Perencanaan Plat Lantai

Struktur Jakabaring *Convention Hall* memiliki konfigurasi *grid* bangunan yang unik, yaitu gabungan *grid* kotak dengan *grid* radial seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 – Konfigurasi Plat Lantai 1

Dampak dari konfigurasi *grid* tersebut adalah elemen plat berbentuk *trapezoidal* atau trapesium. Menurut Reynolds dkk (2008), plat *trapezoidal* termasuk *non-rectangular slab* yang perhitungannya dapat dianggap sebagai *rectangular slab* dengan catatan perbandingan sisi panjang dan pendeknya tidak terlalu kecil hingga menyerupai bentuk segitiga. Dengan merata-rata sisi yang berseberangan, plat trapesium dapat dihitung sebagai plat segi empat.

5.4.1 Pembebanan Plat

Beban yang bekerja pada plat lantai terdiri atas beban mati dan beban hidup.

Beban Mati

▪ Berat sendiri	: $0,14 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 336 \text{ kg/m}^2$
▪ Tegel	: $1 \times 24 \text{ kg/m}^2$	$= 24 \text{ kg/m}^2$
▪ Spesi t=2 cm	: $2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
▪ <i>Plumbing + ducting</i>		$= 30 \text{ kg/m}^2$
▪ Plafond + penggantung		$= 18 \text{ kg/m}^2 +$
Total qD		$= 450 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup

▪ Beban hidup untuk stadion		$= 479 \text{ kg/m}^2 +$
Total qL		$= 479 \text{ kg/m}^2$

Kombinasi Pembebanan

▪ $q_U = 1,2 q_D + 1,6 q_L$	
$= 1,2 (450 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (479 \text{ kg/m}^2)$	
$= 1306,4 \text{ kg/m}^2$	

5.4.2 Penulangan Plat

Peraturan yang digunakan untuk mendesain plat lantai adalah SNI 2847:2013. Untuk menentukan penulangan lentur plat melalui tahapan berikut:

1. Menentukan data-data perencanaan yang diperlukan.

2. Menentukan nilai β_1 .

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \quad (\text{Pasal } 10.2.7.3)$$

3. Menentukan batasan rasio tulangan sesuai persyaratan SNI 2847:2013.

- $\rho_{\min} = 0,002$
- $\rho_{bal} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
- ρ_{\max} diambil yang terkecil dari:
 - $\rho_{\max} = 0,75 \rho_{bal}$
 - $\rho_{\max} = 0,025$ (Pasal 21.5.2.1)

4. Menentukan nilai m .

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

5. Menentukan R_n .

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

6. Menentukan rasio tulangan yang dibutuhkan

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

7. Menentukan luas dan jarak tulangan yang dibutuhkan.

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

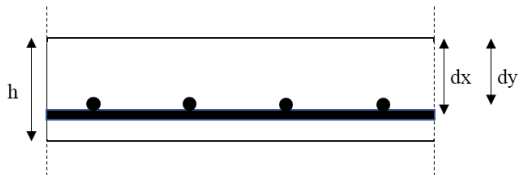
$$s = \frac{A_{tul} \times 1000}{A_s}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan penulangan lentur untuk plat acuan dengan area maksimum.

Data Perencanaan

Mutu beton ($f'c$)	: 35 MPa
Mutu tulangan (f_y)	: 350 MPa
Tebal plat (h)	: 140 mm

Tebal *cover* beton (c) : 20 mm
 Tulangan arah X : D10 mm
 Tulangan arah Y : D10 mm



- $dx = h - c - 0,5 \cdot D_{bawah}$
 $dx = 140 - 20 - 0,5 \cdot 10$
 $dx = 115 \text{ mm}$
- $dy = h - c - D_{bawah} - 0,5 \cdot D_{atas}$
 $dy = 140 - 20 - 10 - 0,5 \cdot 10$
 $dy = 105 \text{ mm}$

$L_n = 5700 \text{ mm}$

$S_n = 5075 \text{ mm}$

$\beta = L_n/S_n = 1,1 < 2$ (Plat 2 Arah)

Untuk besar momen pada plat menggunakan koefisien momen PBI 1971 Tabel 13.3.1, yakni:

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

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X$$

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

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

Dimana: M_{lx} = Momen lapangan arah x
 M_{tx} = Momen tumpuan arah x
 M_{ly} = Momen lapangan arah y
 M_{ty} = Momen tumpuan y
 X = Konstanta berdasar nilai L_y/L_x

Menentukan batas rasio tulangan sebagai berikut:

- $\rho_{\min} = 0,002$
 - $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35-28)}{7} = 0,8$
 - $\rho_{bal} = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{350} \left(\frac{600}{600+350} \right) = 0,043$
 - ρ_{\max} diambil yang terkecil dari:
 - $\rho_{\max} = 0,75(0,043) = 0,032$
 - $\rho_{\max} = 0,025$
- } $\rho_{\max} = 0,025$

Menentukan nilai m:

- $m = \frac{350}{0,85(35)} = 11,765$

Tulangan Arah X

Berdasar PBI 1971 Tabel 13.3.1 (asumsi terjepit penuh), besar momen pada plat untuk $\beta = 1,1$ adalah:

$$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot 25$$

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot 59$$

Tulangan Lapangan (Arah X)

- $q_U = 1306,4 \text{ kg/m}^2$
- $M_{lx} = 0,001 \cdot 1306,4 (5,1^2) 25 = 841,18 \text{ kgm}$
- $R_n = \frac{841,18 \times 10^4}{0,75 \times 1000 \times 115^2} = 0,848 \text{ MPa}$
- $\rho = \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 0,848}{350}} \right) = 0,0025$
- $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ (OK)
- $A_s = 0,0025 \cdot 1000 \cdot 115 = 282,74 \text{ mm}^2$
- $A_{tul} = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$

$$\blacksquare s = \frac{78,5 \times 1000}{282,74} = 277,64 \text{ mm}^2$$

Tulangan lapangan arah X digunakan D10-250 mm.

Tulangan Tumpuan (Arah X)

- $q_U = 1306,4 \text{ kg/m}^2$
- $M_{tx} = -0,001 \cdot 1306,4 (5,1^2) 59 = 1985,2 \text{ kgm}$
- $R_n = \frac{1985,2 \times 10^4}{0,75 \times 1000 \times 115^2} = 2,001 \text{ MPa}$
- $\rho = \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 2,001}{350}} \right) = 0,0059$
- $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \text{ (OK)}$
- $A_s = 0,0059 \cdot 1000 \cdot 115 = 681,36 \text{ mm}^2$
- $A_{tul} = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$
- $s = \frac{78,5 \times 1000}{681,36} = 115,21 \text{ mm}^2$

Tulangan tumpuan arah X digunakan D10-100 mm.

Tulangan Arah Y

Berdasar PBI 1971 Tabel 13.3.1 (asumsi terjepit penuh), besar momen pada plat untuk $\beta = 1,1$ adalah:

$$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot 21$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot 54$$

Tulangan Lapangan (Arah Y)

- $q_U = 1306,4 \text{ kg/m}^2$
- $M_{ly} = 0,001 \cdot 1306,4 (5,1^2) 21 = 706,59 \text{ kgm}$
- $R_n = \frac{706,59 \times 10^4}{0,75 \times 1000 \times 105^2} = 0,855 \text{ MPa}$

- $\rho = \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 0,855}{350}} \right) = 0,0025$
- $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ (OK)
- $A_s = 0,0025 \cdot 1000 \cdot 105 = 260,15 \text{ mm}^2$
- $A_{tul} = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$
- $s = \frac{78,5 \times 1000}{260,15} = 301,75 \text{ mm}^2$

Tulangan lapangan arah Y digunakan D10-300 mm.

Tulangan Tumpuan (Arah Y)

- $q_U = 1306,4 \text{ kg/m}^2$
- $M_{ty} = -0,001 \cdot 1306,4 (5,1^2) 54 = 1816,95 \text{ kgm}$
- $R_n = \frac{1816,95 \times 10^4}{0,75 \times 1000 \times 105^2} = 2,197 \text{ MPa}$
- $\rho = \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 2,197}{350}} \right) = 0,0065$
- $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ (OK)
- $A_s = 0,0065 \cdot 1000 \cdot 105 = 685,54 \text{ mm}^2$
- $A_{tul} = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$
- $s = \frac{78,5 \times 1000}{685,54} = 114,51 \text{ mm}^2$

Tulangan tumpuan arah Y digunakan D10-100 mm.

Tabel 5.2 – Penulangan Plat Beton

Plat Beton		
	Arah X	Arah Y
Lapangan	D10 - 250 mm	D10 - 300 mm
Tumpuan	D10 - 100 mm	D10 - 100 mm

BAB VI

PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR

6.1 Beban Mati

Beban mati terdiri berat sendiri struktur termasuk komponen bangunan yang bersifat permanen seperti dinding, lantai, atap, plafon, *finishing*, serta peralatan layan. SNI 1727-2013 pasal 3.1.2 menyatakan bahwa beban mati untuk perancangan harus digunakan berat konstruksi yang sebenarnya. Beban mati yang terdapat di struktur Jakabaring *Convention Hall* antara lain:

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m³
- Berat sendiri baja : 7850 kg/m³
- Beban tegel : 24 kg/m²
- Beban spesi 1 cm : 21 kg/m²
- Beban *plumbing* dan *ducting* : 30 kg/m²
- Beban plafon dan penggantung : 18 kg/m²

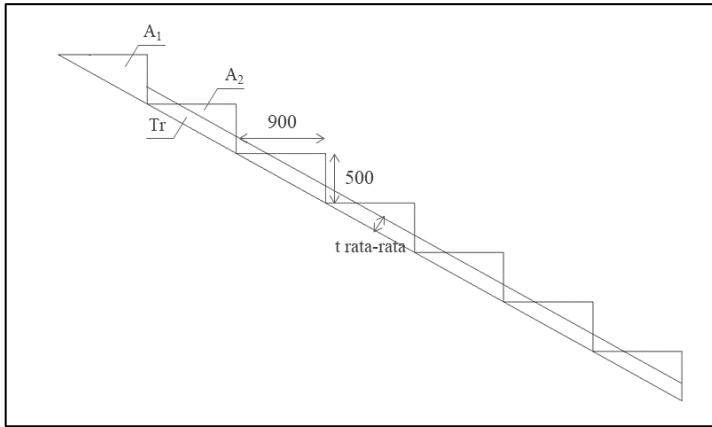
6.1.1 Beban Mati Atap

Beban mati yang terdapat pada struktur atap Jakabaring *Convention Hall* antara lain meliputi:

- Penutup atap : 6,80 kg/m²
- Insulasi atap : 0,53 kg/m²
- Gording : Sesuai profil
- Penggantung gording : Sesuai profil
- Ikatan angin : Sesuai profil
- Sambungan : 10% dari total W_D

6.1.2 Beban Mati Tribun

Dalam permodelan pada program bantu SAP2000, anak tangga tribun dikonversi menjadi tebal rata-rata plat tribun. Pada gedung terdapat dua tribun, yaitu tribun stadion dan tribun *convention hall*. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk tribun stadion:



Gambar 6.1 – Sketsa Tribun Stadion

$$\text{Luas } A_1 = \frac{1}{2} \times 0,5 \times 0,9 = 0,225 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas } A_2 = \frac{1}{2} \times \frac{0,5}{2} \times \frac{0,9}{2} = 0,056 \text{ m}^2$$

$$\text{Luar Tr} = 0,225 - 0,056 = 0,169 \text{ m}^2$$

$$c A_1 = \sqrt{0,5^2 + 0,9^2} = 1,03 \text{ m}$$

$$c A_2 = \sqrt{\left(\frac{0,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,9}{2}\right)^2} = 0,515 \text{ m}$$

$$t \text{ rata-rata} = \frac{2 \times \text{Tr}}{cA_1 + cA_2} = \frac{2 \times 0,169}{1,03 + 0,515} = 0,219 \text{ m} \approx 0,22 \text{ m}$$

Dengan melalui proses yang sama seperti di atas, didapatkan tebal rata-rata plat tribun *convention hall*. Berikut merupakan rekapitulasi tebal rata-rata plat tribun:

- t rata-rata tribun stadion = 0,22 m
- t rata-rata tribun konvensi = 0,22 m

6.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2013 Tabel 4.1, antara lain:

- Beban hidup untuk ruang pertemuan : 4,79 kN/m²
- Beban hidup untuk stadion : 4,79 kN/m²

6.3 Beban Angin

Beban angin yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2013 Tabel 30.4-1. Berikut merupakan langkah perhitungan untuk beban angin:

1. Penentuan kategori resiko
Jakabaring *Convention Hall* termasuk kategori resiko III dan faktor kepentingan angin 1,00.
2. Penentuan kecepatan angin dasar
Menurut pasal 26.5.1 SNI 1727-2013, kecepatan angin dasar harus ditentukan dari instansi yang berwenang. Untuk itu digunakan data kecepatan angin dari Badan Metereologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kota Palembang.

Tabel 6.1 – Data Kecepatan Angin Kota Palembang

Bulan	Kecepatan Angin (knot)
Januari	3,0
Februari	3,1
Maret	2,7
April	2,5
Mei	2,4
Juni	2,8
Juli	3,3
Agustus	3,7
September	3,2
Oktober	3,0
November	1,7
Desember	2,0

Kecepatan angin rata-rata terbesar adalah sebesar 3,7 knot sehingga diambil nilai kecepatan angin dasar $V = 19,03 \text{ m/s} \approx 20 \text{ m/s}$.

3. Penentuan parameter beban angin, antara lain:

- Faktor arah angin, K_d
Untuk komponen dan klading gedung, $K_d = 0,85$.
- Kategori eksposur
Termasuk kategori eksposur C.
- Faktor topografi, K_{zt}
Karena kondisi situs dan lokasi gedung yang disyaratkan dalam pasal 26.8.1, maka $K_{zt} = 1,00$.
- Klasifikasi ketertutupan
Untuk menentukan klasifikasi ketertutupan, perlu mendefinisikan jenis bangunan, yakni bangunan terbuka, tertutup sebagian atau tertutup. Sesuai dengan pasal 26.2 SNI 1727-2013, bangunan terbuka merupakan bangunan dengan:

$$A_o \geq 0,8 A_g$$

Sementara bangunan tertutup sebagian harus memenuhi kedua kondisi berikut:

1. $A_o > 1,1 A_{oi}$
2. $A_o > 0,37 \text{ m}^2$ atau $A_o > 0,01 A_g$, mana yang terkecil, dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$.

Apabila bangunan tidak memenuhi persyaratan untuk bangunan terbuka maupun tertutup sebagian, maka termasuk bangunan tertutup. Berikut merupakan penentuan klasifikasi ketertutupan bangunan *Jakabaring Convention Hall*:

- Karena pada dinding bangunan tidak terdapat bukaan ($A_o = 0 \text{ m}^2$ dan $A_g = 0 \text{ m}^2$), maka tidak memenuhi syarat bangunan terbuka, yakni $A_o \geq 0,8 A_g$.

- $A_{oi} = 938,24 \text{ m}^2$
- $A_{gi} = 8984,93 \text{ m}^2$
- $A_o > 1,1 A_{oi}$
 $0 > 1,1 (938,24)$
 $0 < 1032,1 \text{ m}^2$ (Tidak memenuhi syarat)
- $A_o > 0,37 \text{ m}^2$
 $0 < 0,37 \text{ m}^2$ (Tidak memenuhi syarat)

Karena bangunan tidak memenuhi syarat sebagai bangunan terbuka atau tertutup sebagian, maka termasuk bangunan tertutup.

- Koefisien tekanan internal, GC_{pi}
 Untuk bangunan tertutup, $GC_{pi} = \pm 0,18$.

4. Penentuan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z
 Koefisien K_z mengacu pada Tabel 30.3-1 dan nilainya sesuai dengan ketinggian tinjauan.

5. Penentuan tekanan velositas, q_z

$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan tekanan velositas pada bagian atap dan dinding *Jakabaring Convention Hall*:

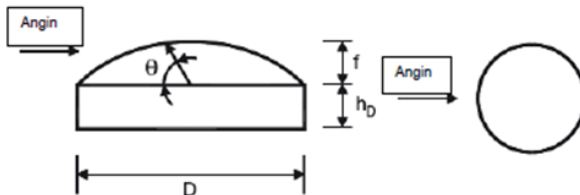
Tabel 6.2 – Perhitungan Tekanan Velositas

Bagian	el	K_z	q_z	q_z
	(m)		(N/m ²)	(kg/m ²)
Dinding	4.4	0.85	177.16	18.08
Atap				
C1	19.4	1.147	239.06	24.39
C2	19.1	1.143	238.22	24.31
C3	18.9	1.141	237.81	24.27
C3a	18.6	1.137	236.97	24.18

C4	18.3	1.134	236.35	24.12
C4a	18.0	1.13	235.51	24.03
C5	17.8	1.127	234.89	23.97
C5a	17.2	1.119	233.22	23.80
C5b	17.0	1.116	232.60	23.73
C5c	16.5	1.109	231.14	23.59
C6	16.0	1.101	229.47	23.42
C7	14.2	1.073	223.63	22.82
C8	12.0	1.036	215.92	22.03
C9	8.5	0.964	200.92	20.50

6. Penentuan koefisien tekanan eksternal

Karena struktur atap Jakabaring *Convention Hall* lebih menyerupai kubah dibanding atap lengkung, penentuan koefisien tekanan eksternal berdasar Gambar 30.4-7 SNI 1727-2013 seperti di bawah ini:



Koefisien Tekanan Eksternal untuk Kubah Dasar Bundar			
	Tekanan Negatif	Tekanan Positif	Tekanan Positif
θ , derajat	0 – 50	0 – 60	61 – 90
GC_e	-0,9	+0,9	+0,5

7. Perhitungan tekanan angin, p

Tekanan angin desain pada komponen dan kladding dari bangunan bertingkat rendah harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$p = q_z \cdot [(GC_p) - (GC_{pi})]$$

Tabel 6.3 – Perhitungan Tekanan Angin

Bagian	θ	GCp		Gcpi		qz	p (-)	p (+)
		(-)	(+)	(-)	(+)	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
C1	36	0.9	0.9	0.18	0.18	24.39	17.56	17.56
C2	31	0.9	0.9	0.18	0.18	24.31	17.50	17.50
C3	27	0.9	0.9	0.18	0.18	24.27	17.47	17.47
C3a	24	0.9	0.9	0.18	0.18	24.18	17.41	17.41
C4	21	0.9	0.9	0.18	0.18	24.12	17.36	17.36
C4a	18	0.9	0.9	0.18	0.18	24.03	17.30	17.30
C5	16	0.9	0.9	0.18	0.18	23.97	17.26	17.26
C5a	13	0.9	0.9	0.18	0.18	23.80	17.13	17.13
C5b	11	0.9	0.9	0.18	0.18	23.73	17.09	17.09
C5c	10	0.9	0.9	0.18	0.18	23.59	16.98	16.98
C6	8	0.9	0.9	0.18	0.18	23.42	16.86	16.86
C7	6	0.9	0.9	0.18	0.18	22.82	16.43	16.43
C8	3	0.9	0.9	0.18	0.18	22.03	15.86	15.86
C9	0	0.9	0.9	0.18	0.18	20.50	14.76	14.76

6.4 Beban Gempa

Pembebanan gempa yang digunakan pada Tugas Akhir mengacu pada SNI 1726-2012. Analisis respon dinamik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu analisis respon spektrum dan analisis respon dinamik riwayat gempa (*time history*). Untuk Tugas Akhir ini digunakan analisis respon spektrum.

6.4.1 Kategori Risiko Bangunan

Sebagai bangunan yang berfungsi sebagai stadion sekaligus *convention hall*, *Jakabaring Convention Hall* termasuk ke dalam kategori risiko III dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,25.

6.4.2 Kelas Situs

Penetapan kelas situs berdasarkan data tanah pada lokasi bangunan.

Tabel 6.4 – Data N-SPT Tanah

Kedalaman (m)	N SPT	di/Ni
0	0	0,000
2	1	2,000
4	1	2,000
6	5	0,400
8	17	0,118
10	16	0,125
12	18	0,111
14	20	0,100
16	21	0,095
18	25	0,080
20	30	0,067
22	42	0,048
24	30	0,067
26	48	0,042
28	59	0,034
30	63	0,032

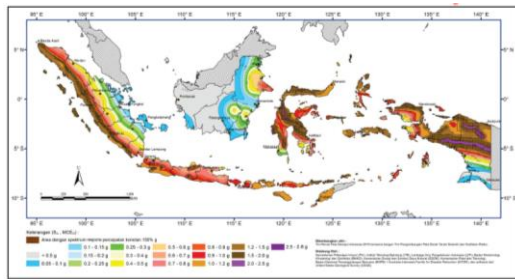
$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n di/Ni}$$

$$\bar{N} = \frac{2 \times 15}{5,317} = 5,642 < 15 \text{ (Tanah Lunak)}$$

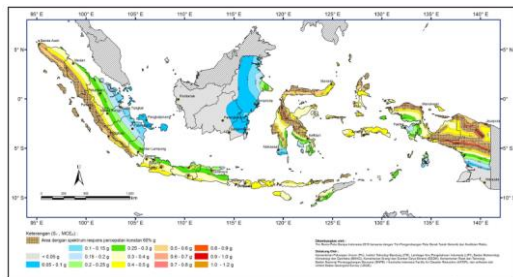
Tanah pada lokasi *Jakabaring Convention Hall* merupakan tanah lunak yang termasuk kelas situs SE.

6.4.3 Parameter Respon Spektral

Untuk mendapatkan nilai respon spektral percepatan gempa untuk periode pendek dan periode 1 detik, digunakan peta seperti pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2.



Gambar 6.2 – Peta Parameter S_s



Gambar 6.3 – Peta Parameter S_1

Jakabaring *Convention Hall* terletak di Kota Palembang dengan kelas situs SE, sehingga didapatkan:

$$S_s = 0,25 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,15 \text{ g}$$

Adapun untuk faktor amplifikasi yang berdasar pada parameter respon spektral dan kelas situs didapat:

$$F_a = 2,5$$

$$F_v = 3,3$$

6.4.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Dari data parameter respon spektral untuk Kota Palembang dengan kelas situs SE, didapat percepatan spektrum desainnya seperti berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 2,5 (0,25) = 0,625$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 3,3 (0,15) = 0,495$$

Sehingga didapatkan:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \cdot 0,625 = 0,42$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \cdot 0,495 = 0,33$$

6.4.5 Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seismik bangunan mengacu pada Tabel 6 dan Tabel 7 SNI 1726-2012, dimana untuk bangunan dengan nilai S_{DS} sebesar 0,42, nilai S_{D1} sebesar 0,33, dan kategori risiko III termasuk desain seismik D.

Dengan kategori desain seismik D, Jakabaring *Convention Hall* direncanakan menggunakan rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK) dengan faktor-faktor sebagai berikut:

- $R = 8$
- $\Omega_0 = 3$
- $C_d = 5,5$

6.4.6 Respon Spektrum

Untuk mendapatkan kurva respon spektrum desain, perlu diketahui nilai T_0 dan T_s . Perhitungan keduanya adalah sebagai berikut:

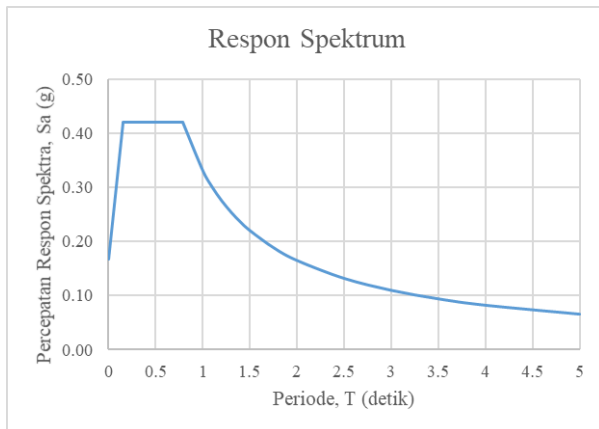
$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \cdot \frac{0,33}{0,42} = 0,157 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,33}{0,42} = 0,786 \text{ detik}$$

Kurva spektrum respon desain dikembangkan dengan mengikuti ketentuan berikut:

- a. Untuk $T < T_0 \rightarrow S_a = S_{DS} \cdot (0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0})$
- b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s \rightarrow S_a = S_{DS}$
- c. Untuk $T > T_s \rightarrow S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

Sehingga didapatkan grafik respon spektrum desain:



Gambar 6.4 – Grafik Respon Spektrum Desain

6.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2013 pasal 2.3.2 antara lain sebagai berikut:

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

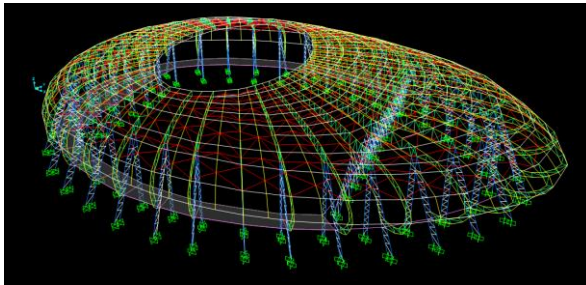
6.6 Permodelan

Permodelan dan analisis struktur Jakabaring *Convention Hall* dilakukan dengan bantuan program SAP2000. Karena bentuk grid struktur Jakabaring *Convention Hall* cukup kompleks, permodelan dasar dilakukan pada AutoCAD 3D yang kemudian diimpor ke dalam program SAP2000 dalam ekstensi *.dxf*.

Pada struktur Jakabaring *Convention Hall*, beban struktur rangka atap diterima oleh rangka bidang/rangka batang yang bertindak sebagai kolom. Sementara struktur utama bangunan yang terbuat dari beton bertulang ditopang oleh kolom beton bertulang. Maka dari itu, permodelan dibagi menjadi permodelan struktur utama dan permodelan struktur baja.

6.6.1 Permodelan Struktur Baja

Berikut merupakan permodelan struktur baja, termasuk struktur atap Jakabaring *Convention Hall* pada program SAP2000:



Gambar 6.5 – Permodelan Struktur Baja

Untuk membuktikan bahwa permodelan struktur pada program bantu SAP2000 sesuai dengan kenyataan, perlu dilakukan pengecekan berat struktur secara manual dengan meninjau beban 1D + 1L. Selisih perhitungan berat oleh SAP2000 dan perhitungan manual maksimum sebesar 5%.

Berikut merupakan perhitungan manualnya:

Tabel 6.5 – Perhitungan Manual Beban Struktur Baja

Uraian	BV (t/m ³)	p (m)	l (m)	t (m)	Jumlah	Berat (t)
Lantai 1						
DEAD LOAD						
Kolom Rangka						
U-Segitiga	7.85	51.35	0.021024		34	288.14
U-Tegak	7.85	28	0.021024		5	23.11
U-Miring	7.85	29.44	0.021024		9	43.73
S-Segitiga	7.85	59.44	0.006208		34	98.49
S-Tegak	7.85	28.53	0.006208		5	6.95
S-Miring	7.85	29.69	0.006208		9	13.02
Balok Baja						
Balok Radial	7.85	114.6	0.008192		1	7.370
Balok Anti Radial	7.85	313.13	0.008192		1	20.137
Balok Anak (BA)	7.85	126.04	0.008192		1	8.105
Plat Beton						
Plat Lantai	2.4	976.292		0.15	1	351.465
SUPERDEAD LOAD						
Tegel t = 1 cm		0.024	976.292		1	23.431
Spesi t = 2 cm		0.042	976.292		1	41.004
Plumbing + Ducting		0.030	976.292		1	29.289
Plafond + Penggantung		0.018	976.292		1	17.573
LIVE LOAD						
Beban Hidup Stadion		0.479	976.292		1	467.644

ATAP					
DEAD LOAD					
<i>Space Truss</i>					
<i>Radial Main Chord</i>	7.85	2641.4	0.002918	1	60.505
<i>Radial Divider Chord</i>	7.85	2091.87	0.001218	1	20.001
<i>Anti Radial Main Chord</i>	7.85	2471.23	0.001903	1	64.493
<i>Diagonal Main Chord</i>	7.85	4390.3	0.001903	1	65.585
<i>Zigzag Chord</i>	7.85	3088	0.001903	1	46.130
SUPERDEAD LOAD					
Penutup Atap dll	0.00803		7700.25	1	61.833
Gording	0.0124	2471.23	1	1	30.643
LIVE LOAD					
Beban Hujan	0.02		7700.25	1	154.005
TOTAL 1D + 1L					2054.37

Tabel 6.6 - Perhitungan SAP2000 Beban Struktur Baja

SAP2000	
Case	FZ (t)
Dead	1220.77
Superdead	199.818
Live	622.80
Total 1D + 1L	2043.39

Dari kedua tabel di atas, didapatkan berat total secara manual dan oleh SAP2000, dimana keduanya memiliki selisih sebesar:

$$\frac{(2054,37-2043,39)}{2054,37} \times 100 = 0,538\% < 5\% \text{ (OK)}$$

Selain melakukan pengecekan terhadap berat struktur, beberapa hal yang perlu dikontrol dalam permodelan ini antara lain:

a. Gaya Geser Dasar

Untuk mengontrol gaya geser dasar pada program SAP2000, perlu diketahui gaya geser statik melalui perhitungan manual. Berikut merupakan perhitungannya sesuai SNI 1726-2012:

$$\blacksquare C_s \max = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_0}\right)} = \frac{0,33}{0,667 \cdot \left(\frac{7}{1,25}\right)} = 0,089$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_0}\right)} = \frac{0,42}{\left(\frac{7}{1,25}\right)} = 0,0750$$

$$\blacksquare C_s \min = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_0 \geq 0,01$$

$$= 0,044 \cdot 0,42 \cdot 1,25$$

$$= 0,0231$$

Digunakan $C_s = 0,0750$

Menurut pasal 7.7.2 SNI 1726-2012, berat seismik efektif struktur harus menyertakan seluruh beban mati dan beban hidup minimum sebesar 25%. Dari hasil perhitungan program bantu SAP2000 didapatkan bahwa:

$$\blacksquare FZ \text{ Case } 1D+0,25L = 1576,29 \text{ ton}$$

Maka besar gaya geser statik ekuivalen adalah:

- $V = C_s \times W_s$
 $V = 0,0750 \times 2398,98$
 $V = 179,92 \text{ ton}$

Dari hasil analisa program bantu SAP2000 didapatkan besar gaya geser dinamik adalah sebagai berikut:

Tabel 6.7 – Gaya Geser Dasar Hasil SAP2000 Permodelan Struktur Baja

Case	FX (t)	FY (t)
Gempa X	54,27	18,35
Gempa Y	22,33	42,7

Sehingga untuk arah X,

- $V_{xt} > 0,85 V$
 $54,27 \text{ ton} > 0,85(118,22) \text{ ton}$
 $54,27 \text{ ton} < 100,49 \text{ ton}$ (**NOT OK!**)

Sedangkan untuk arah Y,

- $V_{yt} > 0,85 V$
 $42,7 \text{ ton} > 0,85(118,22) \text{ ton}$
 $42,7 \text{ ton} < 100,49 \text{ ton}$ (**NOT OK!**)

SNI 1726-2012 menyatakan bahwa apabila gaya geser tingkat nominal akibat gempa tidak memenuhi syarat $0,85V$, maka hasil analisis perlu dikalikan dengan faktor skala $0,85V/V_t$.

Arah X:

$$\frac{0,85V}{V_{xt}} = \frac{0,85(118,22)}{54,27} = 1,85$$

Arah Y:

$$\frac{0,85V}{V_{yt}} = \frac{0,85(118,22)}{42,7} = 2,35$$

Faktor skala yang didapat perlu dikalikan dengan faktor skala respon spektrum untuk melakukan analisis ulang dengan program SAP2000. Hasil yang didapat dari analisis ulang adalah:

Tabel 6.8 – Gaya Geser Dasar Hasil Analisis Ulang Model Struktur Baja

Case	FX (t)	FY (t)
Gempa X	104,38	24,9
Gempa Y	39,8	105,85

Sehingga untuk arah X,

- $V_{xt} > 0,85 V$
 $104,38 \text{ ton} > 0,85(118,22) \text{ ton}$
 $104,38 \text{ ton} > 100,49 \text{ ton}$ (**OK!**)

Sedangkan untuk arah Y,

- $V_{yt} > 0,85 V$
 $105,85 \text{ ton} > 0,85(118,22) \text{ ton}$
 $105,85 \text{ ton} > 100,49 \text{ ton}$ (**OK!**)

b. Partisipasi Massa

SNI 1726-2012 pasal 7.9.1 mensyaratkan bahwa analisis spektrum respons harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa minimum 90%.

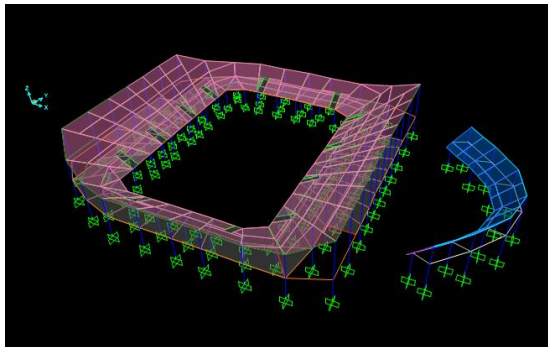
Sesuai seperti tabel di bawah, didapatkan bahwa partisipasi telah mencapai 90% pada mode 131 untuk arah X dan mencapai 90% pada mode 100 untuk arah Y.

Tabel 6.9 – Modal Participating Ratios Permodelan Struktur Baja

Output Case Test	Step Type Test	Step Num Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
MODAL	Mode	116	0.077525	0.008091	0.000003433	0.03193	0.88	0.91
MODAL	Mode	117	0.077323	0.001575	0.00006584	0.00598	0.88	0.91
MODAL	Mode	118	0.077274	0.000002265	0.0014	0.000002306	0.88	0.92
MODAL	Mode	119	0.076737	0.0017	0.000005243	0.01779	0.88	0.92
MODAL	Mode	120	0.076561	0.000005529	0.001925	0.0000778	0.89	0.92
MODAL	Mode	121	0.075946	0.000000515	0.002252	0.000001035	0.89	0.92
MODAL	Mode	122	0.075391	0.0006844	0.0000001235	0.0009553	0.89	0.92
MODAL	Mode	123	0.075277	0.001819	0.0000002049	0.009039	0.89	0.92
MODAL	Mode	124	0.074605	0.000005266	0.00000286	0.00008206	0.89	0.92
MODAL	Mode	125	0.074491	0.00000008426	0.0000008457	0.001427	0.89	0.92
MODAL	Mode	126	0.074468	0.000000005329	0.000006008	0.0000003102	0.89	0.92
MODAL	Mode	127	0.074164	0.000164	0.000001686	0.006984	0.89	0.92
MODAL	Mode	128	0.073708	0.002571	0.00000051	0.01362	0.89	0.92
MODAL	Mode	129	0.073564	0.00007533	0.000000366	0.000873	0.89	0.92
MODAL	Mode	130	0.073051	0.00001726	0.001243	0.0000002277	0.89	0.92
MODAL	Mode	131	0.072708	0.0001904	0.003342	0.00002593	0.89	0.93
MODAL	Mode	132	0.072615	0.006508	0.0008293	0.001023	0.9	0.93
MODAL	Mode	133	0.072119	0.002514	0.00003809	0.0009452	0.9	0.93
MODAL	Mode	134	0.071929	0.0001169	0.000002078	0.000105	0.9	0.93
MODAL	Mode	135	0.071708	0.00000001666	0.0002846	0.000006677	0.9	0.93

6.6.2 Permodelan Struktur Utama

Berikut merupakan permodelan struktur utama Jakabaring *Convention Hall* pada program SAP2000:



Gambar 6.6 – Permodelan Struktur Utama

Untuk membuktikan bahwa permodelan struktur pada program bantu SAP2000 sesuai dengan kenyataan, perlu

dilakukan pengecekan berat struktur secara manual dengan meninjau beban 1D + 1L. Selisih perhitungan berat oleh SAP2000 dan perhitungan manual maksimum sebesar 5%.

Tabel 6.10 – Perhitungan Manual Beban Struktur Utama

Uraian	BV (t/m ³)	p (m)	l (m)	t (m)	Jmlh	Berat (t)
Lantai 1						
DEAD LOAD						
Kolom Beton 40/40						
t = 4 m	2.4	0.5	0.5	4	117	280.80
t = 5.2 m	2.4	0.5	0.5	5.2	14	43.68
Balok Beton Anti Radial						
Area Stadion	2.4	0.3	608.32	0.45	1	197.096
Area Convention Hall	2.4	0.3	81.79	0.4	1	23.556
Balok Beton Radial						
Area Stadion	2.4	0.3	357.09	0.45	1	115.697
Area Convention Hall	2.4	0.3	21	0.4	1	6.048
Balok Beton (BA)	2.4	0.25	64.85	0.35	1	13.619
Plat Beton						
Plat Lantai Area Tennis	2.4	718.04		0.15	2	516.989
SUPERDEAD LOAD						
Tegel t = 1 cm	0.024		718.04		2	34.466
Spesi t = 2 cm	0.042		718.04		2	60.315
Plumbing + Ducting	0.030		718.04		2	43.082
Plafond + Penggantung	0.018		718.04		2	25.849
LIVE LOAD						
Beban Hidup Stadion	0.479		718.04		2	687.882
Lantai 2						
DEAD LOAD						

Kolom Beton 50/50						
t = 1.64	2.4	0.5	0.5	1.64	34	33.456
t = 3.5	2.4	0.5	0.5	3.5	7	14.700
t = 3.82	2.4	0.5	0.5	3.82	12	27.504
t = 4.5	2.4	0.5	0.5	4.5	9	24.300
t = 4.8	2.4	0.5	0.5	4.8	13	37.440
t = 7.1	2.4	0.5	0.5	7.1	7	29.820
t = 7.7	2.4	0.5	0.5	7.7	11	50.820
Balok Tribun Anti Radial						
Area Stadion	2.4	0.3	533.49	0.45	1	172.851
Area Convention Hall	2.4	0.3	81.04	0.4	1	23.340
Balok Tribun Radial						
Area Stadion	2.4	0.3	524.43	0.45	1	169.915
Area Convention Hall	2.4	0.3	43.33	0.4	1	12.479
Balok Anak Tribun						
Area Stadion	2.4	0.25	156.64	0.35	1	32.894
Area Convention Hall	2.4	0.2	37.1	0.3	1	5.342
Plat Tribun						
Area Stadion	2.4	1842.07		0.15	1	663.145
Area Convention Hall	2.4	242.05		0.15	1	87.138
SUPERDEAD LOAD						
Anak Tribun	0.528		2084.12		1	1100.415
Tegel t = 1 cm	0.024		2084.12		1	50.019
Spesi t = 2 cm	0.042		2084.12		1	87.533
Plumbing + Ducting	0.030		2084.12		1	62.524
Plafond + Peggantung	0.018		2084.12		1	37.514
LIVE LOAD						
Beban Hidup Stadion	0.479		2084.12		1	998.293
TOTAL 1D + 1L						5770.552

Tabel 6.11 – Perhitungan SAP2000 Beban Struktur Utama

CASE	Global FZ (t)
Dead	2582.96
Superdead	1502.34
Live	1686.67
Total 1D + 1L	5771.97

Dari kedua tabel di atas, didapatkan berat total secara manual dan oleh SAP2000, dimana keduanya memiliki selisih sebesar:

$$\frac{(5771,97-5770,522)}{5770,522} \times 100 = 0,03\% < 5\% \text{ (OK)}$$

Selain melakukan pengecekan terhadap berat struktur, beberapa hal yang perlu dikontrol dalam permodelan ini antara lain:

a. Gaya Geser Dasar

Untuk mengontrol gaya geser dasar pada program SAP2000, perlu diketahui gaya geser statik melalui perhitungan manual. Berikut merupakan perhitungannya sesuai SNI 1726-2012:

$$\blacksquare C_s \max = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_0}\right)} = \frac{0,33}{0,418 \cdot \left(\frac{8}{1,25}\right)} = 0,1234$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_0}\right)} = \frac{0,42}{\left(\frac{8}{1,25}\right)} = 0,0656$$

$$\blacksquare C_s \min = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_0 \geq 0,01$$

$$= 0,044 \cdot 0,42 \cdot 1,25$$

$$= 0,0231$$

Digunakan $C_s = 0,0656$

Menurut pasal 7.7.2 SNI 1726-2012, berat seismik efektif struktur harus menyertakan seluruh beban mati dan beban hidup minimum sebesar 25%. Dari hasil perhitungan program bantu SAP2000 didapatkan bahwa:

- FZ Case 1D+0,25L = 4506,97 ton

Maka besar gaya geser statik ekivalen adalah:

- $V = C_s \times W_s$
 $V = 0,0656 \times 4506,97$
 $V = 295,77 \text{ ton}$

Dari hasil analisa program bantu SAP2000 didapatkan besar gaya geser dinamik adalah sebagai berikut:

Tabel 6.12 – Gaya Geser Dasar Hasil SAP2000 Permodelan Struktur Utama

Case	FX (t)	FY (t)
Gempa X	260.806	76.641
Gempa Y	78.243	255.465

Sehingga untuk arah X,

- $V_{xt} > 0,85 V$
 $260,806 \text{ ton} > 0,85(295,77) \text{ ton}$
 $260,806 \text{ ton} > 251,404 \text{ ton (OK!)}$

Sedangkan untuk arah Y,

- $V_{yt} > 0,85 V$
 $255,465 \text{ ton} > 0,85(295,77) \text{ ton}$
 $255,465 \text{ ton} > 251,404 \text{ ton (OK!)}$

b. Kontrol Partisipasi Massa

SNI 1726-2012 pasal 7.9.1 mensyaratkan bahwa analisis spektrum respons harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa minimum 90%.

Tabel 6.13 – *Modal Participating Ratios* Permodelan Struktur Utama

Output Case	Mode	Periode	Sum UX	Sum UY	SUM UX
		Sec	Unitless	Unitless	Unitless
Modal	1	0.418	0	0.0844	0
Modal	2	0.355	0.0863	0.0844	0
Modal	3	0.328	0.0863	0.0861	0
Modal	4	0.287	0.0863	0.13	0
Modal	5	0.277	0.99	0.13	0
Modal	6	0.269	0.99	0.99	0
Modal	7	0.242	0.99	0.99	0
Modal	8	0.225	0.99	0.99	0
Modal	9	0.194	0.99	0.99	0

Dari tabel di atas, didapatkan bahwa partisipasi telah mencapai 99% pada mode 5 untuk arah X dan mencapai 99% pada mode 6 untuk arah Y. Dengan demikian, permodelan telah memenuhi persyaratan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VII DESAIN ELEMEN STRUKTUR BETON

7.1 Desain Balok Induk

Untuk desain balok induk, jenis tulangan yang harus ditinjau antara lain tulangan lentur, tulangan geser (senggang), serta tulangan torsi. Selain itu, perlu menentukan spasi tulangan yang dipasang sesuai dengan persyaratan SNI 2847-2013.

Adapun tahapan untuk menentukan tulangan lentur balok induk antara lain sebagai berikut:

a. Menentukan batasan rasio tulangan

- $\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$
- $\rho_{bal} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$
- ρ_{\max} diambil yang terkecil dari:
 - $\rho_{\max} = 0,75 \rho_{bal}$
 - $\rho_{\max} = 0,025$ (Pasal 21.5.2.1)

b. Menentukan nilai m

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

c. Menentukan nilai Rn

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

d. Menghitung rasio tulangan yang diperlukan

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

e. Menentukan kebutuhan tulangan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Sedangkan tahapan untuk menentukan tulangan torsi balok induk antara lain:

- a. Menentukan pengaruh torsi
 Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.1, pengaruh torsi dapat diabaikan apabila:

$$T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

- b. Desain tulangan torsi
 Bila pengaruh torsi tidak dapat diabaikan, maka desain penampang harus berdasar pada:

$$\phi T_n \geq T_u$$

Dimana T_n harus dihitung dengan rumus:

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta$$

Sedangkan tahapan untuk menentukan tulangan geser balok induk antara lain:

- a. Menentukan syarat spasi maksimum tulangan geser
 Sesuai pasal 21.5.3.2 SNI 2847-2013, spasi sengkang disyaratkan tidak melebihi yang terkecil dari:

- $S < \frac{1}{4} db$
- $S < 6 \times Dia$
- $S < 150 \text{ mm}$
- Sengkang pertama harus dipasang kurang dari 50 mm dari muka tumpuan.

Untuk daerah lapangan, syarat maksimum spasi tulangan geser adalah $S < \frac{1}{2} db$

- b. Cek kondisi penulangan geser
 Sesuai dengan pasal 11.2.1 SNI 2847-2013, untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja, nilai V_c menggunakan rumus berikut:

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

Berikut merupakan kondisi penulangan geser:

1. Jika $V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser
2. Jika $0,5 \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ tulangan geser minimum
3. Jika $\phi \cdot V_c < V_u \leq (\phi V_c + 0,66 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d) \rightarrow$ tulangan geser

Berikut merupakan contoh perencanaan balok induk radial 30/45 pada area stadion Jakabaring *Convention Hall* (BI T/R 30/45). Untuk hasil perencanaan seluruh balok induk pada gedung terdapat pada rekapitulasi perhitungan balok induk.

7.1.1 Data Perencanaan Umum Balok Induk

Mutu beton ($f'c$) : 35 MPa

Tebal selimut (c) : 40 mm

Tulangan utama :

Diameter rencana : 19 mm

Mutu tulangan : BJTS 35

- f_y : 350 MPa

- f_u : 500 MPa

Tulangan geser :

Diameter rencana : 10 mm

Mutu sengkang : BJTP 24

- f_y : 240 MPa

- f_u : 390 MPa

Semua balok induk memiliki data-data seperti di atas, sehingga mempunyai nilai β_1 , ρ_{bal} , ρ_{max} , ρ_{min} , dan m yang sama.

- Nilai β_1

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

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

$$\beta_1 = 0,8$$

- Nilai ρ_{bal}

$$\rho_{bal} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{bal} = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{350} \left(\frac{600}{600 + 350} \right)$$

$$\rho_{bal} = 0,043$$

- Nilai ρ_{max}

ρ_{max} diambil yang terkecil dari:

- $\rho_{max} = 0,75 \rho_{bal} = 0,032$

- $\rho_{max} = 0,025$ (Digunakan)

- Nilai ρ_{min}

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{350} \geq \frac{1,4}{350}$$

$$\rho_{min} = 0,0042 \geq 0,004$$

Sehingga digunakan $\rho_{min} = 0,0042$

- Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times 35} = 11,765$$

7.1.2 Syarat Komponen SRPMK

Balok induk merupakan elemen penahan gempa pada struktur Jakabaring *Convention Hall* yang didesain dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Dimensi Balok

$$L = 7200 \text{ mm}$$

$$L_n = 6700 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - c - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan utama} - \text{diameter sengkang} \\
 &= 450 - 40 - 0,5(19) - 10 \\
 &= 390,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.5.1 mensyaratkan bahwa elemen penahan gempa dengan SRPMK harus memiliki:

a. Bentang bersih (L_n) $> 4d$

Karena panjang balok induk radial 30/45 cukup bervariasi, digunakan balok dengan bentang terpanjang untuk desain. Namun untuk pengecekan syarat $L_n > 4d$, bentang minimum juga perlu ditinjau.

Bentang bersih maksimum:

$$6700 \text{ mm} > 4 (390,5) \text{ mm}$$

$$7100 \text{ mm} > 1562 \text{ mm (OK!)}$$

Bentang bersih minimum:

$$1900 \text{ mm} > 4 (390,5) \text{ mm}$$

$$1900 \text{ mm} > 1562 \text{ mm (OK!)}$$

b. Rasio $b/h > 0,3$

$$\frac{b}{h} = \frac{300}{450} = 0,67 > 0,3 \text{ (OK!)}$$

c. Lebar balok harus $250 \text{ mm} < b < 1,75 b_{\text{kolom}}$

$$250 \text{ mm} < 300 \text{ mm} < 1,75 (500) \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} < 300 \text{ mm} < 875 \text{ mm (OK!)}$$

d. $P_u < 0,1 A_g f'_c$

$$2650,2 \text{ kg} < 0,1 (300 \times 450) 350 \text{ kg}$$

$$2650,2 \text{ kg} < 4,2 \times 10^6 \text{ kg (OK!)}$$

7.1.3 Penulangan Lentur

Momen yang digunakan untuk desain penulangan lentur diambil dari hasil analisis struktur dengan program bantu SAP2000 pada case *Envelope*. Berikut merupakan nilai momen pada balok radial stadion 30/45 (BI T/R 30/45) dengan bentang maksimum:

Tabel 7.1 – Momen *Envelope* Balok Radial 30/45 Stadion

Lokasi	Momen <i>Envelope</i> (kgm)
Tumpuan kiri	-2495,4
	-8334,2
Lapangan	+6551,4
	+2433,5
Tumpuan kanan	-4207,8
	-13065,8

Daerah Tumpuan

Berikut merupakan perhitungan tulangan negatif di daerah tumpuan balok:

- $M_u = -13065,8 \text{ kgm}$

- $R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{13065,8 \times 10^4}{0,9 \times 300 \times 390,5^2} = 3,173 \text{ N/mm}^2$

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

$$\rho = \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 3,173}{350}} \right)$$

$$\rho = 0,0097$$

- Syarat rasio penulangan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0042 < 0,0097 < 0,025 \text{ (Memenuhi syarat)}$$

- $A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0097 \cdot 300 \cdot 390,5 = 1125,84 \text{ mm}^2$

- $n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times d b^2} = \frac{1125,84}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 3,97 \approx 4 \text{ buah}$

Sehingga digunakan 4-D19

Pasal 21.5.2.2 SNI 2847-2013 mensyaratkan bahwa kekuatan momen positif pada muka kolom harus lebih dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan. Maka penulangan positif di daerah tumpuan balok:

- $A_{s(-)} = 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1133,54 \text{ mm}^2$
- $A_{s(+)} = 0,5 \times 1133,54 = 562,92 \text{ mm}^2$
- $n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times db^2} = \frac{562,92}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 1,98 \approx 2 \text{ buah}$

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 7.1, pada daerah tumpuan tidak terdapat momen positif. Hal tersebut disebabkan oleh pemilihan elemen balok radial 30/45 terpanjang untuk desain, dimana elemen yang panjang lebih dominan terhadap beban gravitasi. Oleh karena itu, dilakukan pengecekan momen positif pada elemen-elemen balok sejenis yang lebih pendek dan kontrol terhadap tulangan positif yang dipasang.

- $M_{(+)\text{ max}} = 1605 \text{ kgm}$
- $Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{1605,8 \times 10^4}{0,9 \times 300 \times 390,5^2} = 0,389 \text{ N/mm}^2$
- $\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$
 $\rho = \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 0,389}{350}} \right)$
 $\rho = 0,0011$
- Syarat rasio penulangan:
 $\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$
 $0,0042 > 0,0011$ (Tidak memenuhi syarat)
- $A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0042 \cdot 300 \cdot 390,5 = 492,03 \text{ mm}^2$
- $A_{s(+)} = 562,92 > A_s = 492,03 \text{ mm}^2$ (**OK!**)

Hasil perencanaan tulangan lentur perlu dikontrol dari segi kekuatannya dan segi jarak antar tulangnya seperti berikut:

a. Kontrol jarak antar tulangan

Pasal 7.6.1 SNI 2847-2013 menyebutkan bahwa jarak bersih antar tulangan sejajar dalam lapis yang sama tidak boleh kurang diameter tulangan lentur ataupun kurang dari 25 mm.

$$s = (b - 2c - db \text{ sengkang} - n \times db) / (n - 1)$$

$$s = (300 - 2(40) - 2(10) - 4(19)) / (4 - 1)$$

$$s = 41,33 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Sehingga tulangan negatif tumpuan 4-D19 dapat dipasang dalam satu lapis dengan jarak 40 mm.

b. Kontrol kekuatan

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1133,5}{0,85 \times 35 \times 300} = 44,45 \text{ mm}$$

$$Mn = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$Mn = 14133,5 \times 350 \times (390,5 - \frac{44,45}{2}) \times 10^{-4}$$

$$Mn = 14610,85 \text{ kgm} > \frac{Mu}{\phi} = \frac{13605,8}{0,9} = 14517,6 \text{ kgm (OK!)}$$

Daerah Lapangan

Berikut merupakan perhitungan tulangan positif di daerah lapangan balok:

- $Mu = 6551,4 \text{ kgm}$

- $Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{6551,4 \times 10^4}{0,9 \times 300 \times 390,5^2} = 1,591 \text{ N/mm}^2$

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

$$\rho = \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 1,591}{350}} \right)$$

$$\rho = 0,0047$$

- Syarat rasio penulangan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0042 < 0,0047 < 0,025 \text{ (Memenuhi syarat)}$$

- $A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0047 \cdot 300 \cdot 390,5 = 550,61 \text{ mm}^2$

- $n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times db^2} = \frac{550,61}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 1,94 \approx 2 \text{ buah}$

Sehingga digunakan 2-D19

Untuk tulangan negatif pada lapangan balok, SNI 2847-2013 mensyaratkan minimum ada dua tulangan bawah menerus atau tidak kurang dari $\frac{1}{4}$ kapasitas momen. Sehingga untuk tulangan negatif lapangan digunakan 2-D19.

Hasil perencanaan tulangan lentur perlu dikontrol dari segi kekuatannya dan segi jarak antar tulangannya seperti berikut:

a. Kontrol jarak antar tulangan

Pasal 7.6.1 SNI 2847-2013 menyebutkan bahwa jarak bersih antar tulangan sejajar dalam lapis yang sama tidak boleh kurang diameter tulangan lentur ataupun kurang dari 25 mm.

$$s = (b - 2c - db \text{ sengkang} - n \times db) / (n - 1)$$

$$s = (300 - 2(40) - 2(10) - 2(19)) / (2 - 1)$$

$$s = 162 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Sehingga tulangan negatif tumpuan 2-D19 dapat dipasang dalam satu lapis dengan jarak 162 mm.

b. Kontrol kekuatan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{550,61 \times 350}{0,85 \times 35 \times 300} = 22,23 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$Mn = 550,61 \times 350 \times (390,5 - \frac{22,23}{2}) \times 10^{-4}$$

$$Mn = 7470,77 \text{ kgm} > \frac{Mu}{\phi} = \frac{6551,4}{0,9} = 7279,33 \text{ kgm (OK!)}$$

7.1.4 Penulangan Torsi

Berikut merupakan contoh perhitungan penulangan torsi pada balok induk radial area stadion 30/45 (BI T/R 30/45). Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.1, pengaruh torsi dapat diabaikan apabila:

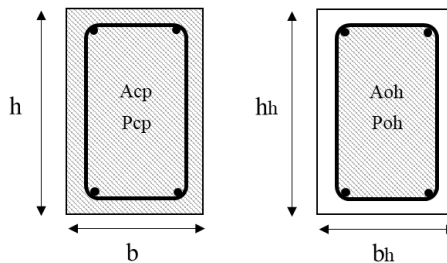
$$Tu \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot \frac{Acp^2}{Pcp}$$

Dimensi Balok

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$c = 40 \text{ mm}$$



Gambar 7.1 – Sketsa Luas dan Keliling Balok

$$\begin{aligned} Acp &= \text{luas bruto penampang beton} \\ &= b \times h \end{aligned}$$

$$= 300 \times 450$$

$$= 135000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = \text{keliling penampang bruto}$$

$$= 2 (b+h)$$

$$= 2 (300+450)$$

$$= 1500 \text{ mm}$$

$$b_h = b - 2 \times \text{cover} - \text{db sengkang}$$

$$= 300 - 2 \times 40 - 10$$

$$= 210 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \times \text{cover} - \text{db sengkang}$$

$$= 450 - 2 \times 40 - 10$$

$$= 360 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = \text{luas penampang dibatasi tulangan sengkang}$$

$$= b_h \times h_h$$

$$= 210 \times 360$$

$$= 75600 \text{ mm}^2$$

$$P_{oh} = \text{keliling penampang dibatasi tulangan sengkang}$$

$$= 2 (b_h+h_h)$$

$$= 2 (210+360)$$

$$= 1140 \text{ mm}$$

Cek Pengaruh Torsi

Dari hasil analisis program SAP2000, didapatkan bahwa torsi maksimum BI T/R 30/45 adalah $T_u = 15000381 \text{ Nmm}$.
Sehingga:

$$\blacksquare T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$15000381 \leq 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{135000^2}{1500}$$

$$15000381 > 4474553 \text{ Nmm (Torsi tidak dapat diabaikan)}$$

Karena torsi tidak dapat diabaikan, maka perlu diberi penulangan torsi.

Kebutuhan Tulangan Torsi

SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6 menyatakan bahwa nilai A_o dapat diambil sebesar $0,85 A_{oh}$ dan nilai $\theta = 45^\circ$ untuk perhitungan tulangan torsi transversal.

$$\blacksquare A_o = 0,85 A_{oh} = 0,85(75600) = 64260 \text{ mm}^2$$

Dari persamaan $\phi T_n \geq T_u$ dan $T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta$, didapat persamaan untuk tulangan torsi transversal sebagai berikut:

$$\blacksquare \frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{\phi \times 2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot^2 \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{15000381}{0,75 \times 2 \times 64260 \times 350 \times \cot^2 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,445 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Untuk penulangan torsi longitudinal:

$$\blacksquare A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_{oh} \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 \theta$$

$$A_l = 0,445 \cdot 1140 \cdot \left(\frac{350}{350} \right) \cdot \cot^2 \theta$$

$$A_l = 506,88 \text{ mm}^2$$

Untuk tulangan torsi longitudinal, terdistribusi menjadi 4 bagian yaitu 25% ke kanan, 25% ke kiri, 25% ke atas, serta 25% ke bawah. Sehingga untuk tulangan torsi longitudinal di samping (kanan-kiri):

$$\blacksquare 0,5 \times A_l = 0,5 \times 506,88 = 253,44 \text{ mm}^2$$

Tulangan minimum 2 sehingga digunakan 2-D19 ($566,77 \text{ mm}^2$) dengan masing-masing 1-D19 di bagian samping kanan dan kiri.

7.1.5 Penulangan Geser

Penulangan geser merupakan komponen penting dalam struktur beton yang mampu menahan gempa, terlebih lagi pada bagian tumpuan dimana gaya geser yang terjadi cenderung besar.

Daerah Tumpuan

Sesuai pasal 21.5.4 SNI 2847-2013, harus diasumsikan bahwa momen lentur M_{pr} bekerja pada muka-muka *joint* dan komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya. Tegangan tarik baja untuk perhitungan M_{pr} diambil sebesar 1,25 f_y .

$M_{pr(-)}$

- $A_{S(-)} = 1133,5 \text{ mm}^2$
- $a = \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{350 \times 1133,5}{0,85 \times 35 \times 300} = 44,45 \text{ mm}$
- $M_{pr(-)} = f_y \times A_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$

$$M_{pr(-)} = 350 \times 1133,5 \left(390,5 - \frac{44,45}{2} \right) \times 10^{-4}$$

$$M_{pr(-)} = 14610 \text{ kgm}$$

$M_{pr(+)}$

- $A_{S(+)} = 566,8 \text{ mm}^2$
- $a = \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{350 \times 566,8}{0,85 \times 35 \times 300} = 22,3 \text{ mm}$
- $M_{pr(+)} = f_y \times A_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$

$$M_{pr(+)} = 350 \times 566,8 \left(390,5 - \frac{22,3}{2} \right) \times 10^{-4}$$

$$M_{pr(+)} = 7526 \text{ kgm}$$

Berdasarkan hasil analisis program SAP2000, didapatkan nilai gaya geser untuk kombinasi 1,2D+1L pada daerah tumpuan ($L < 2h$) adalah:

- $V_g = 9413,9 \text{ kg}$
- $L_n = 6,7 \text{ m}$

Sehingga didapatkan:

$$\text{▪ } V_u = \frac{M_{pr(-)} + M_{pr(+)}}{L_n} + V_g$$

$$V_u = \frac{14610 + 7526}{6,7} + 9413,9$$

$$V_u = 3303,9 + 9413,9$$

$$V_u = 12717,8 \text{ kg}$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2, kontribusi beton dalam menahan geser atau V_c harus diambil sebesar 0 jika:

1. Gaya geser akibat gempa lebih besar dari $\frac{1}{2}$ kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut.
 $4078,6 \text{ kg} > 0,5 (12717,8) \text{ kg}$
 $4078,6 \text{ kg} < 6358,9 \text{ kg}$ (**Tidak memenuhi**)
2. Gaya tekan aksial terfaktor $P_u < A_g \times f'_c / 20$.
 $2650,2 \text{ kg} < 1,35 \times 10^5 \times 35 / 200 \text{ kg}$
 $2650,2 \text{ kg} < 23625 \text{ kg}$ (**Memenuhi**)

Karena ada syarat di atas yang tidak terpenuhi, V_c tidak dapat diambil sebesar 0 sehingga:

$$\text{▪ } V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 390,5 \cdot 10^{-1}$$

$$V_c = 11782,2 \text{ kg}$$

$$\text{▪ } V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{13492,5}{0,75} - 11782,2 = 6207,8 \text{ kg}$$

Direncanakan tulangan geser diameter 10 mm dengan 2 kaki.

- $A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}^2$
- $s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 240 \times 10^{-1} \times 390,5}{6207,8} = 237 \text{ mm}$

Sesuai pasal 21.5.3.2 SNI 2847-2013, spasi sengkang disyaratkan tidak melebihi yang terkecil dari:

- $s = \frac{1}{4}d = 0,25 \times 390,5 = 97,6 \text{ mm}$
- $s = 6 \times db = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$
- $s = 150 \text{ mm}$
- Tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

Sehingga digunakan D10-100 mm untuk penulangan geser pada tumpuan (sepanjang 2h dari muka kolom).

Daerah Lapangan

Untuk penulangan geser di daerah lapangan, gaya geser lapangan diambil sejauh 2h (2 x 450 mm = 900 mm).

- $V_u = 6585,6 \text{ kg}$
- $V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 390,5 \cdot 10^{-1}$$

$$V_c = 11782,2 \text{ kg}$$

Perlu ditentukan kondisi penulangan geser yang dibutuhkan pada daerah lapangan, yaitu:

1. Jika $V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser
 $(6585,6 \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 11782,2) \text{ kg}$
 $(6585,6 > 4418,3) \text{ kg}$ (**Tidak memenuhi**)
2. Jika $0,5 \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ tulangan geser minimum
 $(4418,3 < 6585,6 \leq 0,75 \cdot 11782,2) \text{ kg}$
 $(4418,3 < 6585,6 \leq 8836,62) \text{ kg}$ (**Memenuhi**)

Maka digunakan tulangan geser minimum.

$$\blacksquare V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0,5 \cdot V_c = \frac{6585,62}{0,75} - 0,5(11782,2) = 2889,74 \text{ kg}$$

Direncanakan tulangan geser diameter 10 mm dengan 2 kaki.

$$\blacksquare A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}^2$$

$$\blacksquare s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 240 \times 10^{-1} \times 390,5}{2889,74} = 509 \text{ mm}$$

Sesuai pasal 11.4.5.1 SNI 2847-2013, spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi:

$$\blacksquare s = \frac{1}{2} d = 0,5 \times 390,5 = 195,25 \text{ mm}$$

$$\blacksquare s = 600 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan D10-150 mm untuk penulangan geser pada lapangan (sepanjang >2h dari muka kolom).

7.1.6 Panjang Penyaluran Tulangan

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui panjang penyaluran.

Kondisi Tarik

Mengacu pada pasal 12.5 SNI 1847-2013, panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik dapat dicari dengan rumus berikut. Nilai ψ_e dan λ diambil sebesar 1.

$$\blacksquare l_{dh} = \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y \times db}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} = \frac{0,24 \times 1 \times 350 \times 19}{1 \times \sqrt{35}} = 269,77 \text{ mm}$$

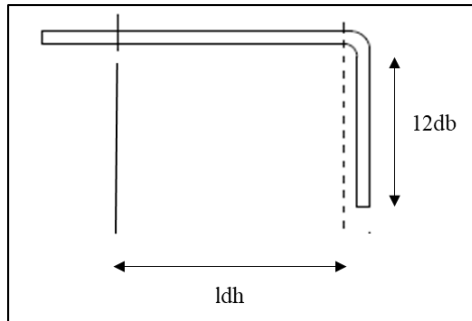
$$\blacksquare l_{dh} > 8 \times db$$

$$l_{dh} > 8 \times 19$$

$$l_{dh} > 152 \text{ mm}$$

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

Sehingga digunakan $l_{dh} = 300 \text{ mm}$ dengan kait sepanjang $12 \text{ db} = 12 \times 19 = 228 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$.



Gambar 7.2 – Penyaluran Kait Standar

Kondisi Tekan

Untuk panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm dan harus diambil sebesar:

- $$l_{dc} = \frac{0,24 \times \psi \times f_y \times db}{\lambda \times \sqrt{f'c}} = \frac{0,24 \times 1 \times 350 \times 19}{1 \times \sqrt{35}} = 269,77$$

Dan tidak kurang dari:

- $0,043 \times db \times f_y = 0,043 \times 19 \times 350 = 285,95$

Sehingga digunakan $l_{dc} = 300 \text{ mm}$.

7.1.7 Rekapitulasi Desain Balok Induk

Dengan melakukan tahap perhitungan yang sama dengan langkah seperti yang telah dibahas sebelumnya, didapatkan hasil desain tulangan lentur, tulangan torsi, tulangan geser, serta panjang penyaluran tulangan untuk balok induk beton pada Jakabaring *Convention Hall* seperti berikut ini.

Tabel 7.2 – Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok Induk

Balok	Penulangan Lentur			
	Tumpuan (-)	Tumpuan (+)	Lapangan (-)	Lapangan (+)
BI T/R 30/45	4-D19	2-D19	2-D19	2-D19
BI T/AR 30/45	4-D19	2-D19	2-D19	2-D19
BT T/R 30/45	6-D22	3-D22	3-D22	3-D22
BT T/AR 30/45	4-D22	2-D22	2-D19	2-D22
BI CH/R 30/40	2-D13	2-D13	2-D13	2-D13
BI CH/AR 30/40	3-D19	2-D19	2-D19	2-D19
BT CH/R 30/40	3-D19	2-D19	2-D19	2-D19
BT CH/AR 30/40	2-D19	2-D19	2-D19	2-D19

Tabel 7.3 – Rekapitulasi Penulangan Torsi Balok Induk

Balok	Tulangan Torsi Samping
BI T/R 30/45	2-D19
BI T/AR 30/45	2-D19
BT T/R 30/45	2-D22
BT T/AR 30/45	2-D22
BI CH/R 30/40	2-D13
BI CH/AR 30/40	2-D19
BT CH/R 30/40	2-D19
BT CH/AR 30/40	2-D19

Tabel 7.4 – Rekapitulasi Penulangan Geser Balok Induk

Balok	Penulangan Geser			
	Tumpuan		Lapangan	
BI T/R 30/45	D10-100mm	2 kaki	D10-150mm	2 kaki
BI T/AR 30/45	D10-100mm	2 kaki	D10-150mm	2 kaki
BT T/R 30/45	D10-100mm	4 kaki	D10-150mm	2 kaki
BT T/AR 30/45	D10-100mm	2 kaki	D10-150mm	2 kaki
BI CH/R 30/40	D10-100mm	2 kaki	Tdk perlu	
BI CH/AR 30/40	D10-100mm	2 kaki	D10-150mm	2 kaki
BT CH/R 30/40	D10-100mm	2 kaki	D10-150mm	2 kaki
BT CH/AR 30/40	D10-100mm	2 kaki	Tdk perlu	

Tabel 7.5 – Panjang Penyaluran Tulangan Balok Induk

Balok	ldh (mm)	kait ldh (mm)	ldc (mm)
BI T/R 30/45	300	250	300
BI T/AR 30/45	300	250	300
BT T/R 30/45	350	300	350
BT T/AR 30/45	350	300	350
BI CH/R 30/40	200	200	200
BI CH/AR 30/40	300	250	300
BT CH/R 30/40	300	250	300
BT CH/AR 30/40	300	250	300

7.2 Desain Kolom Beton

7.2.1 Data Perencanaan Kolom Beton

Berikut merupakan data perencanaan untuk desain kolom beton pada struktur Jakabaring *Convention Hall*:

Mutu beton ($f'c$) : 35 MPa

Tebal selimut (c) : 40 mm

Tulangan utama :

Diameter rencana : 19 mm

Mutu tulangan : BJTS 35

• f_y : 350 MPa

• f_u : 500 MPa

Tulangan geser :

Diameter rencana : 10 mm

Mutu sengkang : BJTP 24

• f_y : 240 MPa

• f_u : 390 MPa

Jenis kolom : Persegi

Lebar kolom : $b = h = 500$ mm

Tinggi kolom :

• Lantai 1 :

○ t_1 : 4,0 m

○ t_2 : 5,2 m

• Lantai 2 :

○ t_3 : 1,64 m

○ t_4 : 3,82 m

○ t_5 : 4,80 m

○ t_6 : 7,70 m

Berikut merupakan hasil analisa program SAP2000 untuk kolom beton yang memikul gaya aksial maksimum.

Tabel 7.6 – *Output Gaya Dalam Kolom*

Kombinasi Beban	P	M2	M3
	(kN)	(kNm)	(kNm)
1,4 D	809.091	5.943	19.398
	791.034	5.160	14.212
1,2 D + 1,6 L	1068.536	8.034	26.977
	922.096	6.680	21.429
1,2 D + 1 Ex + 0,3 Ey + 1 L	892.287	21.691	27.635
	951.905	8.329	70.494
1,2 D – 1 Ex + 0,3 Ey + 1 L	912.800	56.377	6.057
	931.392	43.016	36.801
1,2 D + 0,3 Ex + 1 Ey + 1 L	478.713	18.327	39.928
	538.331	11.692	58.202
1,2 D + 0,3 Ex – 1 Ey + 1 L	499.226	53.014	6.235
	517.818	46.379	24.509
0,9 D + 1 Ex + 0,3 Ey	626.041	4.250	12.464
	797.091	1.361	12.977
0,9 D – 1 Ex + 0,3 Ey	774.234	0.957	10.276
	1054.13	1.903	17.827
0,9 D + 0,3 Ex + 1 Ey	907.696	1.498	14.445
	877.887	0.269	21.875
0,9 D + 0,3 Ex – 1 Ey	937.505	3.265	7.014
	898.400	4.211	16.908

7.2.2 Syarat SRPMK

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 21.6.1, komponen Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. $P_u > 0,1 A_g f'_c$
 $1068,54 \text{ kN} > 0,1 \times A_g \times f'_c$

$$1068540 \text{ N} > 0,1 \times 500 \times 500 \times 35$$

$$1068540 \text{ N} > 875000 \text{ N (OK!)}$$

2. Sisi terpendek penampang kolom lebih besar dari 300 mm.

$$b > 300 \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} > 300 \text{ mm (OK!)}$$

3. $b_c/h_c > 0,4$.

$$\frac{b}{h} = \frac{500}{500} = 1 > 0,4 \text{ (OK!)}$$

7.2.3 Penulangan Lentur Kolom

Dalam perencanaan struktur kolom, tulangan yang harus disediakan antara lain tulangan lentur dan tulangan geser. Berikut merupakan perhitungan penulangan lentur kolom dengan acuan kolom yang memikul beban aksial terbesar:

SNI 2847-2013 pasal 21.6.3.1 mensyaratkan bahwa luas tulangan longitudinal harus memenuhi:

$$0,01 \times A_g < A_s < 0,06 \times A_g$$

Dengan menggunakan program spColumn, data perencanaan kolom dan gaya-gaya yang bekerja pada kolom dimasukkan ke dalam program hingga didapatkan penulangan longitudinal 8-D22 ($\rho = 1,239\%$). Berikut merupakan pengecekan syarat luas tulangan longitudinal:

- $A_g = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$

- $A_s = 8 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 3039,52 \text{ mm}^2$

- $0,01 \times A_g < A_s < 0,06 \times A_g$

$$0,01 \times 250000 < 3039,52 < 0,06 \times 250000$$

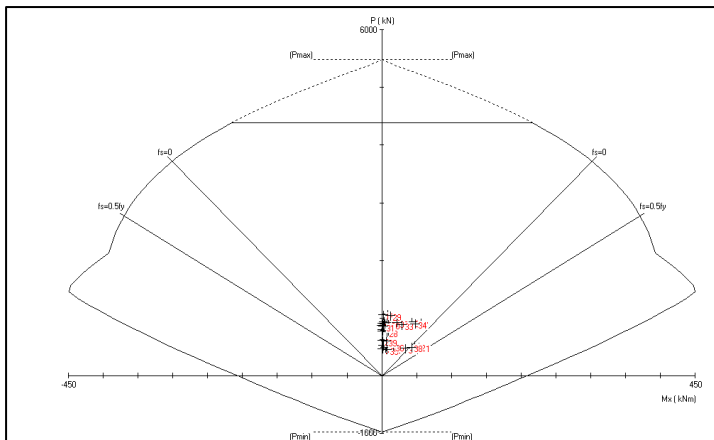
$$2500 < 3039,52 < 15000 \text{ (OK!)}$$

Selain syarat tentang luas tulangan longitudinal, pasal 7.6.1 menentukan bahwa spasi antar tulangan sejajar harus sebesar db tetapi lebih dari 25 mm.

$$s = (b - 2c - db \text{ sengkang} - n \times db) / (n - 1)$$

$$s = (500 - 2(40) - 2(10) - 8(22)) / (8 - 1)$$

$$s = 32 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$



Gambar 7.3 – Diagram Interaksi P-M Output spColumn

7.2.4 Strong Column Weak Beam

Guna memenuhi konsep *strong column weak beam*, SNI 2847-2013 pasal 21.6.2 menentukan bahwa:

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

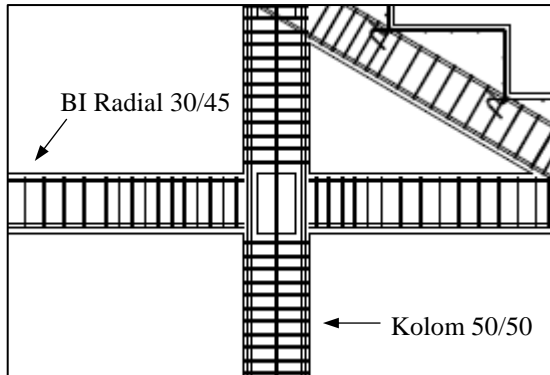
Dimana M_{nc} adalah jumlah kapasitas momen dua kolom yang bertemu di join atau HBK (Hubungan Balok Kolom). Sementara M_{nb} adalah jumlah M_n balok yang bertemu di join atau HBK.

Karena Jakabaring *Convention Hall* merupakan stadion tenis yang memiliki tribun, terdapat beberapa jenis pertemuan

kolom dan balok di join sehingga perlu ditinjau apakah memenuhi konsep *strong column weak beam* atau tidak.

Tinjauan Join Tipe 1

Pada tinjauan ini, join diapit oleh dua balok induk radial dan dua kolom seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7.4 – Tinjauan 1 *Strong Column Weak Beam*

Menghitung nilai Mnb

▪ Lebar efektif plat

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 13.2.4, lebar efektif plat yang disertakan dengan balok diambil yang terkecil dari:

$$be = bw + 2 hw = 300 + 2(300) = 900 \text{ mm (Menentukan)}$$

$$be = bw + 8 hf = 300 + 8(140) = 1420 \text{ mm}$$

▪ Luas tulangan (A_s)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ atas}} &= A_{s \text{ balok}} + A_{s \text{ plat}} \\ &= 1133,5 + 8 (0,25 \cdot \pi \cdot 10^2) \\ &= 1761,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ bawah}} = 566,8 \text{ mm}^2$$

- Momen nominal balok (M_{nb})

$$a = \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$M_{nb} = f_y \times A_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, didapatkan nilai

$M_{nb \text{ atas}} = 21945,2 \text{ kgm}$ dan $M_{nb \text{ bawah}} = 7526 \text{ kgm}$. Maka:

$$\begin{aligned} M_{nb} &= M_{nb \text{ atas}} + M_{nb \text{ bawah}} \\ &= 21945,2 + 7526 \\ &= 29471,2 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Menghitung nilai M_{nc}

M_{nc} adalah momen nominal kolom di muka sisi atas dan bawah HBK (Hubungan Balok Kolom) dari hasil perhitungan terpasang akibat kombinasi beban berfaktor. Nilai momen nominal kolom yang digunakan didapat dari diagram interaksi P-M dari hasil spColumn.

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:					
Design/Required ratio PhiMn/Mu >= 1.00					
No.	Pu kN	Mux kNm	PhiMnx kNm	PhiMn/Mu	NA depth mm
1	809.09	5.94	355.48	59.812	111
2	791.03	5.16	352.45	68.298	110
3	1068.54	8.03	397.14	49.427	130
4	922.10	6.68	374.07	55.994	119
5	892.29	21.69	369.23	17.022	117
6	951.91	8.33	378.86	45.483	121
7	912.80	56.38	372.57	6.608	119
8	931.39	43.02	375.57	8.731	120
9	478.71	18.33	297.71	16.244	89
10	538.33	11.69	308.48	26.381	92
11	499.23	53.01	301.43	5.686	90
12	517.82	46.38	304.79	6.572	91
13	626.04	4.25	324.06	76.242	98
14	797.09	1.36	353.47	259.749	110
15	774.23	0.96	349.62	365.063	109
16	1054.14	1.90	394.93	207.455	129
17	907.70	1.50	371.74	248.218	118
18	877.89	0.27	366.88	999.999	116
19	937.51	3.27	376.55	115.323	120
20	898.40	4.21	370.23	87.922	118
21	916.99	7.21	373.24	51.795	119
22	467.91	1.15	295.75	256.741	88
23	527.53	2.38	306.54	128.621	92
24	488.43	5.09	299.47	58.803	89
25	507.02	6.32	302.84	47.886	90

Gambar 7.5 – Output Diagram Interaksi P-M Kolom

Kontrol syarat *strong column weak beam*

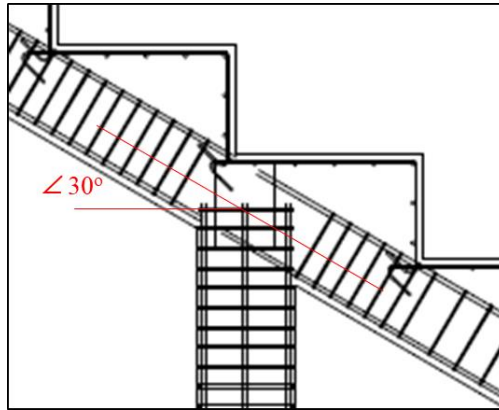
- $\sum M_{nc} = 2 \times 394,3 = 788,6 \text{ kNm}$
- $1,2 \sum M_{nb} = 1,2 \times 294,71 = 353,65 \text{ kNm}$

Sehingga,

- $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$
 $788,6 \geq 353,65 \text{ kNm (OK!)}$

Tinjau Join Tipe 2

Pada tinjauan ini, join diapit oleh dua balok induk tribun radial dan satu kolom seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7.6 – Tinjauan 2 Strong Column Weak Beam

Menghitung nilai M_g

▪ Lebar efektif plat

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 13.2.4, lebar efektif plat yang disertakan dengan balok diambil yang terkecil dari:

$$b_e = b_w + 2 h_w = 300 + 2(300) = 900 \text{ mm (Menentukan)}$$

$$b_e = b_w + 8 h_f = 300 + 8(140) = 1420 \text{ mm}$$

▪ Luas tulangan (A_s)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ atas}} &= A_{s \text{ balok}} + A_{s \text{ plat}} \\ &= 2279,6 + 8 (0,25 \cdot \pi \cdot 10^2) \\ &= 2907,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ bawah}} = 1139,8 \text{ mm}^2$$

▪ Momen nominal balok (M_{nb})

$$a = \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$M_{nb} = f_y \times A_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, didapatkan nilai $M_{nb \text{ atas}} = 33939 \text{ kgm}$ dan $M_{nb \text{ bawah}} = 14687 \text{ kgm}$. Karena kedua balok induk tribun posisinya miring, maka perlu diuraikan ke sumbu X dan sumbu Y. Sehingga:

$$\begin{aligned} M_{nb} &= M_{nb \text{ atas}} \cos 30 + M_{nb \text{ bawah}} \cos 30 \\ &= (33939 + 14687) \cos 30 \\ &= 42111,4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kontrol syarat *strong column weak beam*

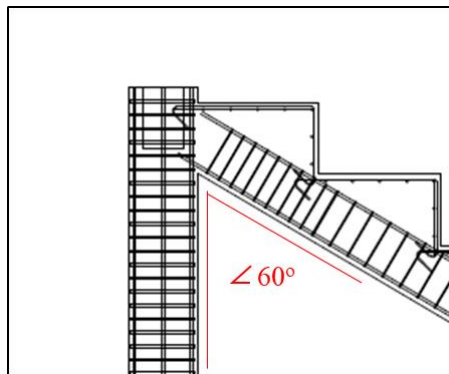
- $\sum M_{nc} = 394,3 + (339,39 + 146,87) \sin 30 = 637,43 \text{ kNm}$
- $1,2 \sum M_{nb} = 1,2 \times 421,11 = 505,33 \text{ kNm}$

Sehingga,

- $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$
 $637,43 \geq 505,43 \text{ kNm (OK!)}$

Tinjauan Join Tipe 3

Pada tinjauan ini, join hanya diapit oleh satu balok induk tribun radial dan satu kolom seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7.7 – Tinjauan 3 *Strong Column Weak Beam*

Menghitung nilai Mnb

Karena balok induk yang ditinjau sama dengan tinjauan 2, maka diketahui $M_{nb \text{ atas}} = 33939 \text{ kgm}$ dan $M_{nb \text{ bawah}} = 14687 \text{ kgm}$.

$$\begin{aligned} M_{nb} &= M_{nb \text{ atas}} \sin 60 \\ &= 33939 \sin 60 \\ &= 29392 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kontrol syarat *strong column weak beam*

- $\sum M_{nc} = 394,3 + (339,39) \cos 60 = 564 \text{ kNm}$
- $1,2 \sum M_{nb} = 1,2 \times 293,92 = 352,7 \text{ kNm}$

Sehingga,

- $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$
 $564 \geq 352,7 \text{ kNm (OK!)}$

7.2.5 Penulangan Transversal untuk Pengekangan

SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.1 menentukan bahwa sengkang persegi (*hoop*) dibutuhkan sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom, dimana l_o diambil yang terbesar dari:

- h balok di *joint*, $h = 450 \text{ mm}$
- $\frac{1}{6} L_n$ balok $= \frac{1}{6} (6700) = 1116,67 \text{ mm}$
- 450 mm

Setelah menentukan lokasi penulangan *hoop*, spasi maksimum *hoop* (s_{\max}) perlu ditentukan sesuai dengan pasal 21.6.4.3, yaitu:

- $\frac{1}{4} b$ balok minimum
 $0,25 (300) = 75 \text{ mm}$
- $6 \times d_b$ min
 $6 \times 19 \text{ mm} = 114 \text{ mm}$

- so, dimana $100 \text{ mm} < s_o < 150 \text{ mm}$

$$s_o = 100 + \frac{350 - 0,5 \times h_x}{3}$$

Digunakan spasi penulangan *hoop* sebesar 100 mm.

Selain itu, perlu menentukan luas penampang tulangan *hoop*. Pasal 21.6.4.4 SNI 2847-2013 menentukan bahwa luas penampang *hoop* harus lebih besar dari nilai terbesar antara:

$$A_{sh1} = 0,3 \times \frac{s \times bc \times f'c}{f_{yt}} \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh2} = 0,09 \times \frac{s \times bc \times f'c}{f_{yt}}$$

- Lebar penampang inti beton yang terkekang

$$bc = b - 2(ts + 0,5ds)$$

$$bc = 500 - 2(40 + 0,5 \times 16)$$

$$bc = 404 \text{ mm}$$

- $A_{ch} = (b - 2ts) \times (h - 2ts)$

$$A_{ch} = (500 - 2 \times 40) \times (500 - 2 \times 40)$$

$$A_{ch} = 176400 \text{ mm}^2$$

- $A_{sh1} = 0,3 \times \frac{100 \times 404 \times 35}{240} \times \left(\frac{250000}{176400} - 1 \right) = 737,46 \text{ mm}^2$

- $A_{sh2} = 0,09 \times \frac{100 \times 404 \times 35}{240} = 530,25 \text{ mm}^2$

Sehingga digunakan 4D16-100 mm untuk penulangan *hoop* sepanjang *l_o*, dimana $A_s \text{ pasang} = 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 804,25 \text{ mm}^2 > A_{sh \text{ max}} = 737,46 \text{ mm}^2$.

Untuk daerah tinggi kolom bersih, yaitu tinggi kolom total dikurangi *l_o* pada ujung-ujung kolom, dapat diberi *hoop* dengan spasi minimum sesuai SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.4:

- 6 x db min
6 x 19 mm = 114 mm
- 150 mm
Jadi digunakan hoop 4D16-100 mm.

7.2.6 Penulangan Transversal untuk Geser

Untuk penulangan transversal penahan geser, gaya geser desain yang digunakan didapatkan dari rumus:

$$V_{e1} = \frac{M_{pr(\uparrow)} + M_{pr(\downarrow)}}{l_u}$$

Tetapi tidak perlu melebihi nilai dari:

$$V_{e2} = \frac{M_{pr(-)} + M_{pr(+)}}{l_n}$$

Serta harus melebihi nilai V_u hasil analisis struktur.

Dari analisa struktur dan perencanaan struktur yang telah dilakukan, didapatkan:

$$V_{e1} = \frac{M_{pr(\uparrow)} + M_{pr(\downarrow)}}{l_u} = \frac{394,3 + 394,3}{4} = 197,15 \text{ kN}$$

$$V_{e2} = \frac{M_{pr(-)} + M_{pr(+)}}{l_n} = \frac{273,27 + 273,27}{7,5} = 72,87 \text{ kN}$$

$$V_g = 94,14 \text{ kN (hasil analisa SAP2000)}$$

Pasal 21.6.5.1 SNI 2847-2013 mensyaratkan nilai V_e harus lebih besar dari nilai gaya geser terfaktor yang dibutuhkan berdasar analisa struktur. Karena nilai $V_e = 197,15 \text{ kN} > V_g = 94,14 \text{ kN}$, maka memenuhi persyaratan (OK!).

Berikut merupakan perhitungan tulangan transversal penahan geser:

- a. Pengecekan kontribusi kuat geser beton

Kontribusi kuat geser beton dapat diabaikan apabila:

- Gaya geser karena gempa (V_{sway}) mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum sepanjang l_o .

$$0,5 V_e > V_g$$

$$0,5(197,15) > 94,14$$

$$98,58 \text{ kN} > 94,14 \text{ kN (OK!)}$$

- Gaya tekan terfaktor kurang dari $A_g \cdot f'_c / 20$.

$$P_u < A_g \cdot f'_c / 20$$

$$1068,54 \text{ kN} < 250000(35)/20000$$

$$1068,54 \text{ kN} > 437,5 \text{ kN (NOT OK!)}$$

Karena tidak memenuhi syarat, maka kontribusi kuat geser beton tidak dapat diabaikan.

b. Kebutuhan tulangan transversal penahan geser

Kuat geser beton apabila ikut berkontribusi menahan geser dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{1068540}{14 \times 25 \times 10^4}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 500 \cdot (500 - 40 - 16 - 22 / 2)$$

$$V_c = 284217 \text{ N}$$

Apabila digunakan tulangan sengkang 4D16-100 mm, maka besar nilai V_s adalah sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{804,25 \times 240 \times 433}{100} = 835776 \text{ N}$$

Kontrol tulangan transversal penahan geser

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

$$0,75(284,22 + 835,78) \geq 197,15$$

$$840 \geq 197,15 \text{ kN (OK!)}$$

c. Pengecekan syarat spasi

Untuk daerah tinggi kolom bersih, yaitu tinggi kolom total dikurangi l_o pada ujung-ujung kolom, diberi sengkang dengan spasi minimum sebagai berikut:

- $6 \times db \text{ min}$

$$6 \times 19 \text{ mm} = 114 \text{ mm}$$

- 150 mm

Jadi digunakan 4D16-100 mm sebagai sengkang di luar daerah sendi plastis.

7.2.7 Sambungan Lewatan

Sambungan lewatan yang digunakan termasuk golongan B karena seluruh tulangan pada sambungan lewatan disalurkan pada lokasi yang sama. SNI 2847-2013 pasal 12.15.1 mensyaratkan panjang minimum sambungan lewatan kelas B sebesar $1,3l_d$. Adapun nilai l_d ditentukan sebagai berikut:

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \times \frac{\Psi_t \times \Psi_e \times \Psi_s}{(C_b + K_{tr}) / db} \right) \times db$$

Dimana:

$\Psi_t = 1$ (Situasi lainnya)

$\Psi_t = 1$ (Tulangan tanpa pelapis)

$\Psi_t = 1$ ($db \geq 22 \text{ mm}$)

$\lambda = 1$ (beton biasa)

$K_r = 0$

$db = 22 \text{ cm}$

Nilai C_b diambil yang terkecil dari:

- $c_1 = 40 + 16 + 0,5(22) = 67 \text{ mm}$

- $c_2 = \frac{500 - 2 \times (40 + 16) - (22 \times 3)}{3 - 1} = 161 \text{ mm}$

Sehingga digunakan $C_b = 67 \text{ mm}$

$$ld = \left(\frac{350}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{(67+0)/22} \right) \times 22 = 388,5 \text{ mm}$$

$$1,3ld = 1,3(388,5) = 505,1 \text{ mm} \approx 550 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan sambungan lewatan sepanjang 550 mm.

BAB VIII DESAIN ELEMEN STRUKTUR BAJA

8.1 Desain Rangka Atap

Komponen struktur rangka atap *space truss* hanya menerima gaya tarik dan tekan, sehingga profil rencana awal dikontrol terhadap penampang, kelangsingan, kuat tekan, serta kuat tarik.

8.1.1 Radial Main Chord

Berikut merupakan data perencanaan untuk komponen rangka atap radial *main chord*:

Profil	: CHS 5"-0.219"
Diameter luar (D)	: 127,00 mm
Tebal (t)	: 5,56 mm
Diameter dalam (d)	: 115,87 mm
Luas penampang (Ag)	: 2121,09 mm ²
Jari-jari girasi (r)	: 42,98 mm

Dari hasil analisis program bantu SAP2000, didapatkan gaya maksimum sebagai berikut:

Puc	= 25365,8 kg
Put	= 13861 kg
L	= 3,45 m

Kontrol Penampang

Rasio tebal terhadap lebar harus memenuhi syarat batasan rasio tebal terhadap lebar pada Tabel B4.1a SNI 1729-2015.

- $\lambda = \frac{D}{t} = \frac{127,0}{5,56} = 22,83$
- $\lambda_p = 0,11 \times \frac{E}{f_y} = 0,11 \times \frac{200000}{240} = 91,67$

- $\lambda \leq \lambda_p$ (OK!)

Kuat Tekan

Pasal E2 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk semua komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif kL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

- $\lambda = \frac{k \times L}{r} \leq 200$

$$\lambda = \frac{1 \times 3450}{42,98} \leq 200$$

$$\lambda = 80,27 \leq 200 \text{ (OK!)}$$

- $\lambda_c = \frac{k \times L}{r \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 3450}{42,98 \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 0,886$

Dengan menurunkan rumus yang terdapat pada Bab E SNI 1729-2015, untuk nilai $\lambda_c \leq 1,5$ digunakan:

- $f_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \cdot f_y = (0,658^{0,886^2}) \cdot 240 = 172,85 \text{ MPa}$

- $P_n = A_g \times f_{cr} = 21,21 \times 172,85 = 36662,43 \text{ kg}$

- $P_u \leq \phi P_n$

$$25365,8 \text{ kg} \leq 0,9 (26662,43) \text{ kg}$$

$$25365,8 \text{ kg} \leq 32996,19 \text{ kg (OK!)}$$

Sementara dengan menurunkan rumus yang terdapat pada SNI 1729-2002, untuk nilai $0,25 < \lambda_c \leq 1,2$ digunakan:

- $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(0,886)} = 1,421$

- $P_n = A_g \times \frac{f_y}{\omega} = 21,21 \times \frac{2400}{1,421} = 35836,4 \text{ kg}$

- $P_u \leq \phi P_n$

$$25365,8 \text{ kg} \leq 0,85 (35836,4) \text{ kg}$$

$$25365,8 \text{ kg} \leq 30460,96 \text{ kg (OK!)}$$

Kuat Tarik

Pasal D1 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

$$\begin{aligned} \blacksquare \frac{L}{r} &\leq 300 \\ \frac{3450}{42,98} &\leq 300 \\ 80,27 &\leq 300 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

Penentuan kuat tarik didasarkan pada batas leleh dan batas putus, dimana diambil nilai terendah sebagai kuat tarik nominal.

Batas leleh:

$$\begin{aligned} \blacksquare \phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ \phi P_n &= 0,9 \times 21,21 \times 2400 \\ \phi P_n &= 45815,63 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Batas putus:

$$\begin{aligned} \blacksquare A_e &= A_g \times U = 21,21 \times 0,75 = 15,91 \text{ cm}^2 \\ \blacksquare \phi P_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\ \phi P_n &= 0,75 \times 15,91 \times 4150 \\ \phi P_n &= 49514,3 \text{ kg} \\ \blacksquare P_u &\leq \phi P_n \\ 13861 \text{ kg} &\leq 451815,63 \text{ kg (OK!)} \end{aligned}$$

Maka profil CHS 5"-0,219" dapat digunakan untuk radial *main chord*.

8.1.2 Zigzag Chord

Berikut merupakan data perencanaan untuk komponen rangka atap zigzag *chord*:

Profil	: CHS 4"-0.25"
Diameter luar (D)	: 101,60 mm
Tebal (t)	: 6,35 mm
Diameter dalam (d)	: 88,90 mm
Luas penampang (Ag)	: 1899,19 mm ²
Jari-jari girasi (r)	: 33,75 mm

Dari hasil analisis program bantu SAP2000, didapatkan gaya maksimum sebagai berikut:

$$Puc = 12640 \text{ kg}$$

$$Put = 10671 \text{ kg}$$

$$L = 3,40 \text{ m}$$

Kontrol Penampang

Rasio tebal terhadap lebar harus memenuhi syarat batasan rasio tebal terhadap lebar pada Tabel B4.1a SNI 1729-2015.

- $\lambda = \frac{D}{t} = \frac{101,6}{6,35} = 16$
- $\lambda_p = 0,11 \times \frac{E}{f_y} = 0,11 \times \frac{200000}{240} = 91,67$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (OK!)

Kuat Tekan

Pasal E2 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk semua komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif kL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

- $\lambda = \frac{k_c \times L}{r} \leq 200$

$$\lambda = \frac{1 \times 3400}{33,75} \leq 200$$

$$\lambda = 100,74 \leq 200 \text{ (OK!)}$$

$$\lambda_c = \frac{kc \times L}{r \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 3400}{33,75 \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 1,111$$

Dengan menurunkan rumus yang terdapat pada Bab E SNI 1729-2015, untuk nilai $\lambda_c \leq 1,5$ digunakan:

- $fcr = (0,658^{\lambda_c^2}) \cdot f_y = (0,658^{1,111^2}) \cdot 240 = 143,12 \text{ MPa}$
- $Pn = Ag \times fcr = 21,21 \times 143,12 = 27180,93 \text{ kg}$
- $Pu \leq \phi Pn$
 $12640 \text{ kg} \leq 0,9 (27180,93) \text{ kg}$
 $12640 \text{ kg} \leq 24462,84 \text{ kg (OK!)}$

Sementara dengan menurunkan rumus yang terdapat pada SNI 1729-2002, untuk nilai $0,25 < \lambda_c \leq 1,2$ digunakan:

- $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(1,111)} = 1,672$
- $Pn = Ag \times \frac{f_y}{\omega} = 18,99 \times \frac{2400}{1,672} = 27264,98 \text{ kg}$
- $Pu \leq \phi Pn$
 $12640 \text{ kg} \leq 0,85 (27264,98) \text{ kg}$
 $12640 \text{ kg} \leq 23175,24 \text{ kg (OK!)}$

Kuat Tarik

Pasal D1 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

$$\begin{aligned} \blacksquare \frac{L}{r} &\leq 300 \\ \frac{3400}{33,75} &\leq 300 \\ 100,73 &\leq 300 \text{(OK!)} \end{aligned}$$

Penentuan kuat tarik didasarkan pada batas leleh dan batas putus, dimana diambil nilai terendah sebagai kuat tarik nominal.

Batas leleh:

$$\begin{aligned} \blacksquare \phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ \phi P_n &= 0,9 \times 18,99 \times 2400 \\ \phi P_n &= 41022,50 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Batas putus:

$$\begin{aligned} \blacksquare A_e &= A_g \times U = 18,99 \times 0,75 = 14,24 \text{ cm}^2 \\ \blacksquare \phi P_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\ \phi P_n &= 0,75 \times 14,24 \times 4150 \\ \phi P_n &= 44334,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare P_u &\leq \phi P_n \\ 10671 \text{ kg} &\leq 41022,50 \text{ kg (OK!)} \end{aligned}$$

Maka profil CHS 4''-0,25'' digunakan untuk zigzag *chord*.

8.1.3 Diagonal Main Chord

Berikut merupakan data perencanaan untuk komponen rangka atap diagonal *main chord*:

Profil	: CHS 4''-0.25''
Diameter luar (D)	: 101,60 mm
Tebal (t)	: 6,35 mm

Diameter dalam (d) : 88,90 mm
 Luas penampang (Ag) : 1899,19 mm²
 Jari-jari girasi (r) : 33,75 mm

Dari hasil analisis program bantu SAP2000, didapatkan gaya maksimum sebagai berikut:

Puc = 5789,6 kg
 Put = 6951,7 kg
 L = 4,605 m

Kontrol Penampang

Rasio tebal terhadap lebar harus memenuhi syarat batasan rasio tebal terhadap lebar pada Tabel B4.1a SNI 1729-2015.

- $\lambda = \frac{D}{t} = \frac{101,6}{6,35} = 16$
- $\lambda_p = 0,11 \times \frac{E}{f_y} = 0,11 \times \frac{200000}{240} = 91,67$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (OK!)

Kuat Tekan

Pasal E2 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk semua komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif kL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

- $\lambda = \frac{k \times L}{r} \leq 200$
 $\lambda = \frac{1 \times 4605}{33,75} \leq 200$
 $\lambda = 136,44 \leq 200$ (OK!)
- $\lambda_c = \frac{k \times L}{r \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 4605}{33,75 \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 1,505$

Dengan menurunkan rumus yang terdapat pada Bab E SNI 1729-2015, untuk nilai $\lambda_c > 1,5$ digunakan:

- $f_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right) \cdot f_y = \left(\frac{0,877}{1,505^2}\right) \cdot 240 = 92,89 \text{ MPa}$
- $P_n = A_g \times f_{cr} = 21,21 \times 928,9 = 17642,65 \text{ kg}$
- $P_u \leq \phi P_n$
 $5789,6 \text{ kg} \leq 0,9 (17642,65) \text{ kg}$
 $5789,6 \text{ kg} \leq 15878,39 \text{ kg (OK!)}$

Sementara dengan menurunkan rumus yang terdapat pada SNI 1729-2002, untuk nilai $\lambda_c > 1,2$ digunakan:

- $\omega = 1,25 \times \lambda_c^2 = 1,25 \times 1,505^2 = 2,832$
- $P_n = A_g \times \frac{f_y}{\omega} = 18,99 \times \frac{2400}{2,832} = 16093,64 \text{ kg}$
- $P_u \leq \phi P_n$
 $5789,6 \text{ kg} \leq 0,85 (16093,64) \text{ kg}$
 $5789,6 \text{ kg} \leq 13679,59 \text{ kg (OK!)}$

Kuat Tarik

Pasal D1 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

- $\frac{L}{r} \leq 300$
 $\frac{4605}{33,75} \leq 300$
 $136,44 \leq 300 \text{ (OK!)}$

Penentuan kuat tarik didasarkan pada batas leleh dan batas putus, dimana diambil nilai terendah sebagai kuat tarik nominal.

Batas leleh:

- $\phi P_n = 0,9 \times A_g \times f_y$
 $\phi P_n = 0,9 \times 18,99 \times 2400$
 $\phi P_n = 41022,50 \text{ kg (Menentukan)}$

Batas putus:

- $A_e = A_g \times U = 18,99 \times 0,75 = 14,24 \text{ cm}^2$
- $\phi P_n = 0,75 \times A_e \times f_u$
 $\phi P_n = 0,75 \times 14,24 \times 4150$
 $\phi P_n = 44334,2 \text{ kg}$
- $P_u \leq \phi P_n$
 $6951,7 \text{ kg} \leq 41022,50 \text{ kg (OK!)}$

Maka profil CHS 4''-0,25'' dapat digunakan untuk diagonal *main chord*.

8.1.4 Anti Radial Main Chord

Berikut merupakan data perencanaan untuk komponen rangka atap anti radial *main chord*:

Profil	: CHS 4''-0.25''
Diameter luar (D)	: 101,60 mm
Tebal (t)	: 6,35 mm
Diameter dalam (d)	: 88,90 mm
Luas penampang (A_g)	: 1899,19 mm ²
Jari-jari girasi (r)	: 33,75 mm

Dari hasil analisis program bantu SAP2000, didapatkan gaya maksimum sebagai berikut:

P_{uc}	= 11840,2 kg
P_{ut}	= 3199,3 kg

$$L = 1,235 \text{ m}$$

Kontrol Penampang

Rasio tebal terhadap lebar harus memenuhi syarat batasan rasio tebal terhadap lebar pada Tabel B4.1a SNI 1729-2015.

- $\lambda = \frac{D}{t} = \frac{101,6}{6,35} = 16$
- $\lambda_p = 0,11 \times \frac{E}{f_y} = 0,11 \times \frac{200000}{240} = 91,67$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (OK!)

Kuat Tekan

Pasal E2 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk semua komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif kL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

- $\lambda = \frac{k_c \times L}{r} \leq 200$
 $\lambda = \frac{1 \times 1235}{33,75} \leq 200$
 $\lambda = 36,59 \leq 200$ (OK!)
- $\lambda_c = \frac{k_c \times L}{r \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 1235}{33,75 \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 0,404$

Dengan menurunkan rumus yang terdapat pada Bab E SNI 1729-2015, untuk nilai $\lambda_c \leq 1,5$ digunakan:

- $f_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \cdot f_y = (0,658^{0,404^2}) \cdot 240 = 224,18 \text{ MPa}$
- $P_n = A_g \times f_{cr} = 21,21 \times 224,18 = 42575,24 \text{ kg}$
- $P_u \leq \phi P_n$
 $11840,2 \text{ kg} \leq 0,9 (42575,24) \text{ kg}$
 $11840,2 \text{ kg} \leq 38317,72 \text{ kg}$ (OK!)

Sementara dengan menurunkan rumus yang terdapat pada SNI 1729-2002, untuk nilai $0,25 < \lambda c \leq 1,2$ digunakan:

- $\omega = \frac{1,43}{1,6-0,67\lambda c} = \frac{1,43}{1,6-0,67(0,404)} = 1,076$
- $Pn = Ag \times \frac{fy}{\omega} = 18,99 \times \frac{2400}{1,076} = 42378,11 \text{ kg}$
- $Pu \leq \phi Pn$
 $11840,2 \text{ kg} \leq 0,85 (42378,11) \text{ kg}$
 $11840,2 \text{ kg} \leq 36021,39 \text{ kg (OK!)}$

Kuat Tarik

Pasal D1 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

- $\frac{L}{r} \leq 300$
 $\frac{1235}{33,75} \leq 300$
 $36,59 \leq 300 \text{ (OK!)}$

Penentuan kuat tarik didasarkan pada batas leleh dan batas putus, dimana diambil nilai terendah sebagai kuat tarik nominal.

Batas leleh:

- $\phi Pn = 0,9 \times Ag \times fy$
 $\phi Pn = 0,9 \times 18,99 \times 2400$
 $\phi Pn = 41022,50 \text{ kg (Menentukan)}$

Batas putus:

- $Ae = Ag \times U = 18,99 \times 0,75 = 14,24 \text{ cm}^2$

- $\phi Pn = 0,75 \times Ae \times fu$
 $\phi Pn = 0,75 \times 14,24 \times 4150$
 $\phi Pn = 44334,2 \text{ kg}$
- $Pu \leq \phi Pn$
 $3199,3 \text{ kg} \leq 41022,50 \text{ kg (OK!)}$

Maka profil CHS 4"-0,25" dapat digunakan untuk anti radial *main chord*.

8.1.5 Radial Divider Chord

Berikut merupakan data perencanaan untuk komponen rangka atap radial *divider chord*:

Profil	: CHS 2"-0.154"
Diameter luar (D)	: 60,33 mm
Tebal (t)	: 3,91 mm
Diameter dalam (d)	: 52,50 mm
Luas penampang (Ag)	: 692,89 mm ²
Jari-jari girasi (r)	: 19,99 mm

Dari hasil analisis program bantu SAP2000, didapatkan gaya maksimum sebagai berikut:

Puc	= 1220,0 kg
Put	= 5431,3kg
L	= 3,115 m

Kontrol Penampang

Rasio tebal terhadap lebar harus memenuhi syarat batasan rasio tebal terhadap lebar pada Tabel B4.1a SNI 1729-2015.

- $\lambda = \frac{D}{t} = \frac{101,6}{6,35} = 16$

- $\lambda_p = 0,11 \times \frac{E}{f_y} = 0,11 \times \frac{200000}{240} = 91,67$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (OK!)

Kuat Tekan

Pasal E2 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk semua komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif kL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

- $\lambda = \frac{k \times L}{r} \leq 200$
 $\lambda = \frac{1 \times 3115}{19,99} \leq 200$
 $\lambda = 155,80 \leq 200$ (OK!)
- $\lambda_c = \frac{k \times L}{r \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \times 3115}{19,99 \times \pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 1,719$

Dengan menurunkan rumus yang terdapat pada Bab E SNI 1729-2015, untuk nilai $\lambda_c > 1,5$ digunakan:

- $f_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right) \cdot f_y = \left(\frac{0,877}{1,719^2}\right) \cdot 240 = 71,24$ MPa
- $P_n = A_g \times f_{cr} = 21,21 \times 71,24 = 4936,24$ kg
- $P_u \leq \phi P_n$
 $1220,0 \text{ kg} \leq 0,9 (4936,24) \text{ kg}$
 $1220,0 \text{ kg} \leq 4442,62 \text{ kg}$ (OK!)

Sementara dengan menurunkan rumus yang terdapat pada SNI 1729-2002, untuk nilai $\lambda_c > 1,2$ digunakan:

- $\omega = 1,25 \times \lambda_c^2 = 1,25 \times 1,719^2 = 3,693$
- $P_n = A_g \times \frac{f_y}{\omega} = 6,93 \times \frac{2400}{3,693} = 4502,85$ kg

- $P_u \leq \phi P_n$
 $1220,0 \text{ kg} \leq 0,85 (4502,85) \text{ kg}$
 $1220,0 \text{ kg} \leq 3827,42 \text{ kg (OK!)}$

Kuat Tarik

Pasal D1 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

- $\frac{L}{r} \leq 300$
 $\frac{3115}{19,99} \leq 300$
 $155,8 \leq 300(\text{OK!})$

Penentuan kuat tarik didasarkan pada batas leleh dan batas putus, dimana diambil nilai terendah sebagai kuat tarik nominal.

Batas leleh:

- $\phi P_n = 0,9 \times A_g \times f_y$
 $\phi P_n = 0,9 \times 6,93 \times 2400$
 $\phi P_n = 14966,5 \text{ kg (Menentukan)}$

Batas putus:

- $A_e = A_g \times U = 6,93 \times 0,75 = 5,19 \text{ cm}^2$
- $\phi P_n = 0,75 \times A_e \times f_u$
 $\phi P_n = 0,75 \times 5,19 \times 4150$
 $\phi P_n = 16174,7 \text{ kg}$
- $P_u \leq \phi P_n$
 $3199,3 \text{ kg} \leq 14966,5 \text{ kg (OK!)}$

Profil CHS 2"-0,154" dapat digunakan untuk radial *divider chord*. Namun dikarenakan konfigurasi penyambungannya, profil tersebut relatif sulit untuk disambung dengan bagian lain, sehingga digunakan profil CHS 4"-0,25".

8.1.6 Rekapitulasi Profil *Space Truss*

Dari perhitungan *space truss* seperti yang telah dijabarkan sebelumnya, didapatkan rekapitulasi profil desain *space truss* untuk struktur Jakabaring *Convention Hall* sebagai berikut:

Tabel 8.1 – Rekapitulasi Profil *Space Truss*

No	Komponen	Profil
1.	Radial <i>Main Chord</i>	CHS 5"-0,219"
2.	<i>Zigzag Chord</i>	CHS 4"-0.25"
3.	<i>Diagonal Chord</i>	CHS 4"-0.25"
4.	<i>Anti Radial Main Chord</i>	CHS 4"-0.25"
5.	<i>Radial Divider Chord</i>	CHS 4"-0.25"

8.2 Desain Balok Baja

Balok baja yang terdapat pada struktur Jakabaring *Convention Hall* menumpu plat beton tanpa bondek. Balok baja tersebut didesain sebagai balok baja komposit dengan menggunakan *shear connector*, dimana perlu meninjau kondisi balok sebelum komposit dan kondisi sesudah komposit.

Terdapat tiga jenis balok baja pada struktur Jakabaring *Convention Hall*, yaitu balok induk baja radial, balok induk baja anti radial, dan balok anak baja.

8.2.1 Balok Induk Baja Radial

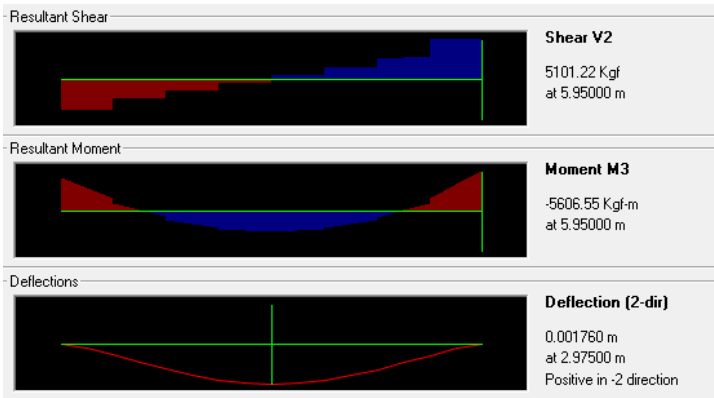
Berikut merupakan data profil WF 400x200x8x13 untuk perencanaan balok induk baja radial:

W = 66 kg/m	Z _x = 1286 cm ³
A = 84,12 cm ²	Z _y = 2663 cm ³
d = 400 mm	S _x = 1190 cm ³
bf = 200 mm	S _y = 174 cm ³
tw = 8 mm	I _x = 23700 cm ⁴
tf = 13 mm	I _y = 1740 cm ⁴
r = 16 mm	i _x = 16,8 cm
h = 342 mm	i _y = 4,54 cm
f _y = 240 MPa	E = 200000 MPa
f _u = 370 MPa	

a. Sebelum Komposit

Beban yang bekerja pada balok sebelum komposit antara lain beban sendiri balok dan berat plat. Berikut merupakan gaya dalam maksimum yang terjadi pada balok radial:

M _{max}	: 5606,6 kgm
V _{max}	: 5101,0 kg
L	: 595 cm



Gambar 8.1 – Gaya Dalam Balok Induk Radial Sebelum Komposit

Kontrol Penampang

Plat sayap:

- $\lambda = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{200}{2(13)} = 7,69$
- $\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 10,97$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Plat badan:

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{342}{8} = 42,75$
- $\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 108,54$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Karena penampang kompak, $M_n = M_p$ sehingga didapatkan:

- $M_n = Z_x \times fy = 1286 \times 2400 / 100 = 30864 \text{ kgm}$

$$\blacksquare Mu \leq \phi Mn$$

$$5606,6 \text{ kgm} \leq 0,9(30864) \text{ kgm}$$

$$5606,6 \text{ kgm} \leq 27778 \text{ kgm (OK!)}$$

Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 595 \text{ cm}$$

$$L_p = 230,66 \text{ cm}$$

$$L_r = 683,94 \text{ cm}$$

Karena $L_p < L_b \leq L_r$, maka termasuk bentang menengah.

Untuk menentukan C_b , diketahui momen-momen berikut:

$$M_{\max} = 5606,6 \text{ kgm}$$

$$M_A = 1210,6 \text{ kgm}$$

$$M_B = 2881,5 \text{ kgm}$$

$$M_C = 1305,4 \text{ kgm}$$

$$\blacksquare C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3$$

$$C_b = \frac{12,5(5606,6)}{2,5(5606,6) + 3(1210,6) + 4(2881,5) + 3(1305,4)} \leq 2,3$$

$$C_b = 2,12 \leq 2,3$$

$$\blacksquare Mn = C_b \times \left[Mp - (Mp - 0,7 \times fy \times S_x) \frac{(L_b - L_p)}{(L_r - L_p)} \right] \leq Mp$$

$$Mn = 2,12 \times (3086400 - (3086400 - 0,7 \times 2400 \times 1190) \times \frac{(595 - 230,7)}{(683,9 - 230,7)}) \leq 3086400 \text{ kg.cm}$$

$$Mn = 4614734 > 3086400 \text{ kg.cm}$$

Karena tidak memenuhi, maka digunakan $Mn = Mp$.

$$\blacksquare Mu \leq \phi Mn$$

$$5606,6 \text{ kgm} \leq 0,9(30864) \text{ kgm}$$

$$5606,6 \text{ kgm} \leq 27778 \text{ kgm (OK!)}$$

Kontrol Geser

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{342}{8} = 42,75$
- $\lambda_p = 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,24 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 64,66$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, maka digunakan $\phi_v = 1,0$ dan $C_v = 1,0$.

- $V_n = 0,6 \times fy \times Aw \times C_v$
 $V_n = 0,6 \times 2400 \times 40 \times 0,8 \times 1$
 $V_n = 46080 \text{ kg}$
- $V_u \leq \phi V_n$
 $5101 \text{ kg} \leq 46080 \text{ kg (OK!)}$

Kontrol Lendutan

- $L = 595 \text{ cm}$
- $\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{595}{360} = 1,652 \text{ cm}$
- $\Delta = 0,112 \text{ cm}$
- $\Delta < \Delta_{ijin} \text{ (OK!)}$

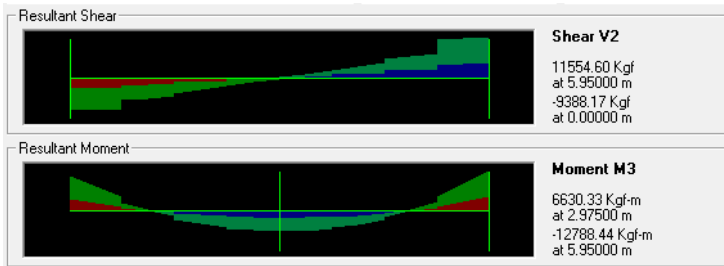
b. Sesudah Komposit

Plat beton ikut memikul beban secara komposit pada saat beban servis atau layan telah bekerja. Berikut merupakan data perencanaan plat beton tersebut:

$$\begin{aligned} f'_c &= 35 \text{ MPa} \\ t_{\text{plat}} &= 9 \text{ cm} \\ f_{yr} &= 350 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berikut merupakan gaya dalam maksimum yang terjadi pada balok radial setelah beban servis bekerja:

M_{max} : 6630,3 kgm
 M_{max} : -12788,4 kgm
 V_{max} : 11554,6 kg



Gambar 8.2 – Gaya Dalam Balok Induk Radial Setelah Komposit

1. Zona Momen Positif

Lebar Efektif

Untuk balok tengah, nilai B_{eff} diambil yang terkecil di antara:

- $B_{eff} \leq \frac{L}{4} \rightarrow \frac{595}{4} = 148,75$ cm
- $B_{eff} \leq S \rightarrow 803$ cm

Sehingga digunakan $B_{eff} = 148,75$ cm.

Kontrol Penampang

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{342}{8} = 42,75$
- $\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 108,54$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_p$ (penampang kompak), maka momen nominal dianalisa dengan distribusi tegangan plastis.

Kontrol Momen Positif

- $C1 = 0,85 \times f'c \times t_{plat} \times beff$

$$C1 = 0,85 \times 350 \times 9 \times 148,75$$

$$C1 = 398278 \text{ kg}$$

- $C2 = A_s \times f_y = 84,12 \times 2400 = 201888 \text{ kg}$

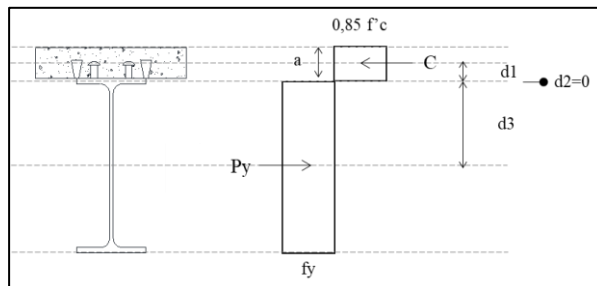
Karena $C1 > C2$, maka garis netral terletak pada beton.

- $a = \frac{C}{0,85 \times f'c \times beff} = \frac{201888}{0,85 \times 350 \times 148,75} = 4,56 \text{ cm}$

- $d_1 = t_{plat} - \frac{a}{2} = 9 - \frac{4,56}{2} = 6,72 \text{ cm}$

- $d_2 = 0$ karena profil baja tidak mengalami tekan

- $d_3 = \frac{d}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm}$



Gambar 8.3 – Distribusi Tegangan Plastis Zona Momen Positif

- $C = 398278 \text{ kg}$

- $P_y = A_s \times f_y = 201888 \text{ kg}$

- $Mn = C(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2)$

$$Mn = 398278(6,72 + 0) + 201888(20 - 0)$$

$$Mn = 6713767 \text{ kg.cm}$$

$$Mn = 67137,7 \text{ kgm}$$

$$\blacksquare Mu \leq \phi Mn$$

$$6630,3 \text{ kgm} \leq 0,9(67137,7) \text{ kgm}$$

$$6630,3 \text{ kgm} \leq 60423,9 \text{ kgm (OK!)}$$

Kontrol Geser

$$\blacksquare \lambda = \frac{h}{tw} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$\blacksquare \lambda_p = 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,24 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 64,66$$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, maka digunakan $\phi_v = 1,0$ dan $C_v = 1,0$.

$$\blacksquare Vn = 0,6 \times fy \times Aw \times Cv$$

$$Vn = 0,6 \times 2400 \times 40 \times 0,8 \times 1$$

$$Vn = 46080 \text{ kg}$$

$$\blacksquare Vu \leq \phi Vn$$

$$11554,6 \text{ kg} \leq 46080 \text{ kg (OK!)}$$

Kontrol Lendutan

$$\blacksquare L = 595 \text{ cm}$$

$$\blacksquare \Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{595}{360} = 1,652 \text{ cm}$$

$$\blacksquare \Delta = 0,327 \text{ cm}$$

$$\blacksquare \Delta < \Delta_{ijin} \text{ (OK!)}$$

2. Zona Momen Negatif

Tulangan negatif plat direncanakan sebagai berikut:

$$\text{Diameter tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan (Ar)} = 0,785 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = B_{\text{eff}} / \text{jarak tulangan}$$

$$= 148,75 / 35$$

$$= 4,25 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\text{Selimut beton (c)} = 20 \text{ mm}$$

Kontrol Momen Negatif

$$\blacksquare d_1 = t_{plat} - c = 9 - 2 = 7 \text{ cm}$$

Langkah untuk menentukan lokasi gaya tarik pada baja adalah sebagai berikut:

$$\blacksquare T = n \times A_r \times f_y r = 4 \times 0,785 \times 3500 = 10990 \text{ kg}$$

$$\blacksquare P_{yc} = A_s \times f_y = 84,12 \times 2400 = 201888 \text{ kg}$$

$$\blacksquare \frac{P_{yc} - T}{2} = \frac{201888 - 10990}{2} = 95449 \text{ kg}$$

$$\blacksquare P_f = b_f \times t_f \times f_y = 20 \times 1,3 \times 2400 = 62400 \text{ kg}$$

$$\blacksquare P_w = \frac{P_{yc} - T}{2} - P_f = 95449 - 62400 = 33049 \text{ kg}$$

$$\blacksquare a_w = \frac{P_w}{t_w \times f_y} = \frac{33049}{0,8 \times 2400} = 17,21 \text{ cm}$$

$$\blacksquare d_2 = \frac{(P_f \times 0,5 t_f) + (P_w (t_f + 0,5 a_w))}{P_f + P_w}$$

$$d_2 = \frac{(62400 \times 0,5 \times 1,3) + (33049 (1,3 + 0,5 \times 17,21))}{62400 + 33049}$$

$$d_2 = 3,86 \text{ cm}$$

$$\blacksquare d_3 = \frac{d}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm}$$

$$\blacksquare M_n = T(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2)$$

$$M_n = 10990(7 + 0) + 201888(20 - 3,86)$$

$$M_n = 3378769 \text{ kg.cm}$$

$$M_n = 33787,7 \text{ kgm}$$

$$\blacksquare M_u \leq \phi M_n$$

$$12788,4 \text{ kgm} \leq 0,9(33787,7) \text{ kgm}$$

$$12788,4 \text{ kgm} \leq 30408,9 \text{ kgm (OK!)}$$

3. Perencanaan *Shear Connector*

Direncanakan *shear connector* memiliki $d = 19 \text{ mm}$ dan $f_u = 400 \text{ MPa}$.

- $A_{sc} = 0,25 \times \pi \times d^2 = 0,25 \times \pi \times 1,9^2 = 2,83 \text{ cm}^2$
- $E_c = 4700 \times \sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{35} = 27805,6 \text{ MPa}$

Nilai Q_n diambil yang terkecil dari:

- $Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times (f'c \times E_c)^2$
 $Q_n = 0,5 \times 2,83 \times (350 \times 278056)^{0,5} = 13978,1 \text{ kg}$
- $Q_n = R_g \times R_p \times A_{sc} \times f_u$
 $Q_n = 1 \times 0,75 \times 2,83 \times 4000 = 8501,6 \text{ kg}$

Maka digunakan $Q_n = 8501,6 \text{ kg}$ untuk perencanaan jumlah *shear connector*.

Untuk *shear connector* momen positif, direncanakan terdapat 2 *shear connector* dalam satu baris dengan:

- $n = \frac{Vh}{2 \cdot Q_n} = \frac{201888}{2 \times 8501,6} = 11,9 \text{ buah} \approx 12 \text{ buah}$
- $S_{\min} = 6d = 6(1,9) = 11,4 \text{ cm}$
- $S_{\max} = 8t_{plat} = 8(9) = 72 \text{ cm}$
- $S = \frac{L}{n+1} = \frac{595}{12+1} = 45,77 \rightarrow 40 \text{ cm}$

Untuk *shear connector* momen negatif, direncanakan terdapat 2 *shear connector* dalam satu baris dengan:

- $n = \frac{Vh}{2 \cdot Q_n} = \frac{10990}{2 \times 8501,6} = 0,65 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$
- $S_{\min} = 6d = 6(1,9) = 11,4 \text{ cm}$
- $S_{\max} = 8t_{plat} = 8(9) = 72 \text{ cm}$
- $S = \frac{L}{n+1} = \frac{595}{12+1} = 45,77 \rightarrow 40 \text{ cm}$

Maka digunakan *shear connector* 2-D19 sebanyak 12 buah dengan jarak 40 cm.

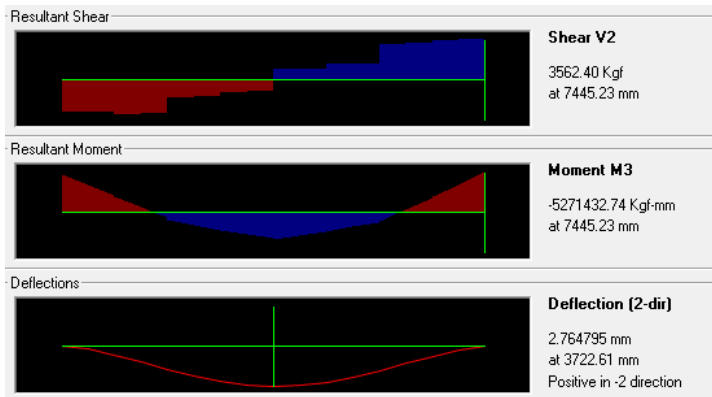
8.2.2 Balok Induk Baja Anti Radial

Berikut merupakan data profil WF 400x200x8x13 untuk perencanaan balok induk baja radial:

W = 66 kg/m	Z _x = 1286 cm ³
A = 84,12 cm ²	Z _y = 2663 cm ³
d = 400 mm	S _x = 1190 cm ³
bf = 200 mm	S _y = 174 cm ³
tw = 8 mm	I _x = 23700 cm ⁴
tf = 13 mm	I _y = 1740 cm ⁴
r = 16 mm	i _x = 16,8 cm
h = 342 mm	i _y = 4,54 cm
f _y = 240 MPa	E = 200000 MPa
f _u = 370 MPa	

a. Sebelum Komposit

Beban yang bekerja pada balok sebelum komposit antara lain beban sendiri balok dan berat plat. Berikut merupakan gaya dalam maksimum yang terjadi pada balok anti radial:



Gambar 8.4 – Gaya Dalam Balok Induk Anti Radial Sebelum Komposit

M_{\max} : 5271,43 kgm
 V_{\max} : 3562,4 kg
 L : 803 cm

Kontrol Penampang

Plat sayap:

- $\lambda = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{200}{2(13)} = 7,69$
- $\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 10,97$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Plat badan:

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{342}{8} = 42,75$
- $\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 108,54$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Karena penampang kompak, $M_n = M_p$ sehingga didapatkan:

- $M_n = Z_x \times fy = 1286 \times 2400 / 100 = 30864 \text{ kgm}$
- $M_u \leq \phi M_n$
 $5271,43 \text{ kgm} \leq 0,9(30864) \text{ kgm}$
 $5271,43 \text{ kgm} \leq 27778 \text{ kgm (OK!)}$

Kontrol Tekuk Lateral

$L_b = 401,5 \text{ cm}$
 $L_p = 230,66 \text{ cm}$
 $L_r = 683,94 \text{ cm}$

Karena $L_p < L_b \leq L_r$, maka termasuk bentang menengah.

Untuk menentukan C_b , diketahui momen-momen berikut:

$$M_{\max} = 5271,4 \text{ kgm}$$

$$M_A = 956,0 \text{ kgm}$$

$$M_B = 3461,1 \text{ kgm}$$

$$M_C = 986,4 \text{ kgm}$$

$$\blacksquare C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3$$

$$C_b = \frac{12,5(5271,4)}{2,5(5271,4) + 3(956) + 4(3461,1) + 3(986,4)} \leq 2,3$$

$$C_b = 2,01 \leq 2,3$$

$$\blacksquare M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0,7 \times f_y \times S_x) \frac{(L_b - L_p)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p$$

$$M_n = 2,01 \times (3086400 - (3086400 - 0,7 \times 2400 \times 1190) \times \frac{(401,5 - 230,7)}{(683,9 - 230,7)}) \leq 3086400 \text{ kg.cm}$$

$$M_n = 5325128 > 3086400 \text{ kg.cm}$$

Karena tidak memenuhi, maka digunakan $M_n = M_p$.

$$\blacksquare M_u \leq \phi M_n$$

$$5271,43 \text{ kgm} \leq 0,9(30864) \text{ kgm}$$

$$5271,43 \text{ kgm} \leq 27778 \text{ kgm (OK!)}$$

Kontrol Geser

$$\blacksquare \lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$\blacksquare \lambda_p = 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 64,66$$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, maka digunakan $\phi_v = 1,0$ dan $C_v = 1,0$.

$$\blacksquare V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$$

$$V_n = 0,6 \times 2400 \times 40 \times 0,8 \times 1$$

$$V_n = 46080 \text{ kg}$$

- $V_u \leq \phi V_n$
3562,4 kg \leq 46080 kg (OK!)

Kontrol Lendutan

- $L = 803$ cm
- $\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{803}{360} = 2,231$ cm
- $\Delta = 0,276$ cm
- $\Delta < \Delta_{ijin}$ (OK!)

b. Sesudah Komposit

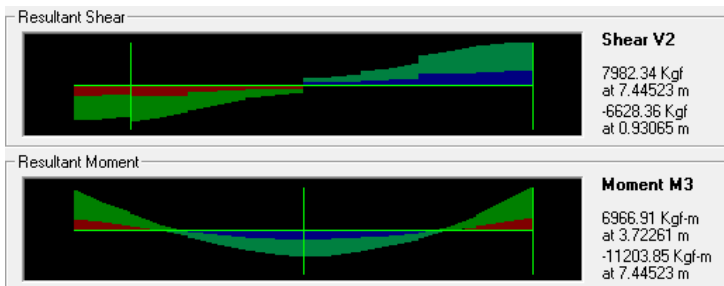
Plat beton ikut memikul beban secara komposit pada saat beban servis atau layan telah bekerja. Berikut merupakan data perencanaan plat beton tersebut:

$$f_c = 35 \text{ MPa}$$

$$t_{\text{plat}} = 9 \text{ cm}$$

$$f_{y_r} = 350 \text{ MPa}$$

Berikut merupakan gaya dalam maksimum yang terjadi pada balok radial setelah beban servis bekerja:



Gambar 8.5 – Gaya Dalam Balok Induk Anti Radial Setelah Komposit

$$M_{\text{max}} : 6966,9 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &: -11203,8 \text{ kgm} \\ V_{\max} &: 7982,3 \text{ kg} \\ L &: 803 \text{ cm} \end{aligned}$$

1. Zona Momen Positif

Lebar Efektif

Untuk balok tengah, nilai B_{eff} diambil yang terkecil di antara:

- $B_{\text{eff}} \leq \frac{L}{8} \rightarrow \frac{803}{8} = 100,38 \text{ cm}$
- $B_{\text{eff}} \leq \frac{S}{2} + t_{\text{plat}} = \frac{240}{2} + 9 = 129 \text{ cm}$

Sehingga digunakan $B_{\text{eff}} = 100,38 \text{ cm}$.

Kontrol Penampang

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{342}{8} = 42,75$
- $\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 108,54$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_p$ (penampang kompak), maka momen nominal dianalisa dengan distribusi tegangan plastis.

Kontrol Momen Positif

- $C1 = 0,85 \times f'c \times t_{\text{plat}} \times b_{\text{eff}}$
 $C1 = 0,85 \times 350 \times 9 \times 100,38$
 $C1 = 268754 \text{ kg}$
- $C2 = A_s \times f_y = 84,12 \times 2400 = 201888 \text{ kg}$

Karena $C1 > C2$, maka garis netral terletak pada beton.

- $a = \frac{C}{0,85 \times f'c \times b_{\text{eff}}} = \frac{201888}{0,85 \times 3500 \times 100,38} = 6,76 \text{ cm}$
- $d_1 = t_{\text{plat}} - \frac{a}{2} = 9 - \frac{6,76}{2} = 5,62 \text{ cm}$

- $d_2 = 0$ karena profil baja tidak mengalami tekan
- $d_3 = \frac{d}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm}$
- $C = 268754 \text{ kg}$
- $P_y = A_s \times f_y = 201888 \text{ kg}$
- $M_n = C(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2)$
 $M_n = 268754(5,62 + 0) + 201888(20 - 0)$
 $M_n = 5548051 \text{ kg.cm}$
 $M_n = 55480,51 \text{ kgm}$
- $M_u \leq \phi M_n$
 $6966,9 \text{ kgm} \leq 0,9(55480,5) \text{ kgm}$
 $6966,9 \text{ kgm} \leq 49932,5 \text{ kgm (OK!)}$

Kontrol Geser

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{342}{8} = 42,75$
- $\lambda_p = 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 64,66$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, maka digunakan $\phi_v = 1,0$ dan $C_v = 1,0$.

- $V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$
 $V_n = 0,6 \times 2400 \times 40 \times 0,8 \times 1$
 $V_n = 46080 \text{ kg}$
- $V_u \leq \phi V_n$
 $7982,3 \text{ kg} \leq 46080 \text{ kg (OK!)}$

Kontrol Lendutan

- $L = 803 \text{ cm}$
- $\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{803}{360} = 2,231 \text{ cm}$
- $\Delta = 0,417 \text{ cm (Hasil Analisa SAP2000)}$

- $\Delta < \Delta_{ijin}$ (OK!)

2. Zona Momen Negatif

Tulangan negatif plat direncanakan sebagai berikut:

Diameter tulangan = 10 mm

Luas tulangan (A_r) = 0,785 cm²

Jumlah tulangan = $B_{eff} / \text{jarak tulangan}$
 = 100 / 35
 = 2,86 \approx 2 buah

Selimut beton (c) = 20 mm

Kontrol Momen Negatif

- $d_1 = t_{plat} - c = 9 - 2 = 7$ cm

Langkah untuk menentukan lokasi gaya tarik pada baja adalah sebagai berikut:

- $T = n \times A_r \times f_{yr} = 2 \times 0,785 \times 3500 = 5495$ kg

- $P_{yc} = A_s \times f_y = 84,12 \times 2400 = 201888$ kg

- $\frac{P_{yc} - T}{2} = \frac{201888 - 5495}{2} = 98196,5$ kg

- $P_f = b_f \times t_f \times f_y = 20 \times 1,3 \times 2400 = 62400$ kg

- $P_w = \frac{P_{yc} - T}{2} - P_f = 98196,5 - 62400 = 35796,5$ kg

- $a_w = \frac{P_w}{t_w \times f_y} = \frac{35796,5}{0,8 \times 2400} = 18,64$ cm

- $d_2 = \frac{(P_f \times 0,5 t_f) + (P_w (t_f + 0,5 a_w))}{P_f + P_w}$

$$d_2 = \frac{(62400 \times 0,5 \times 1,3) + (35796,5 (1,3 + 0,5 \times 17,21))}{62400 + 35796,5}$$

$$d_2 = 4,29 \text{ cm}$$

- $d_3 = \frac{d}{2} = \frac{40}{2} = 20$ cm

- $M_n = T(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2)$

$$Mn = 5495(7 + 0) + 201888(20 - 4,29)$$

$$Mn = 3234644 \text{ kg.cm}$$

$$Mn = 32346,4 \text{ kgm}$$

$$\blacksquare Mu \leq \phi Mn$$

$$11203,8 \text{ kgm} \leq 0,9(32346,4) \text{ kgm}$$

$$11203,8 \text{ kgm} \leq 29111,8 \text{ kgm (OK!)}$$

3. Perencanaan *Shear Connector*

Direncanakan *shear connector* memiliki $d = 19 \text{ mm}$ dan $f_u = 400 \text{ MPa}$.

$$\blacksquare A_{sc} = 0,25 \times \pi \times d^2 = 0,25 \times \pi \times 1,9^2 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$\blacksquare Ec = 4700 \times \sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{35} = 27805,6 \text{ MPa}$$

Nilai Q_n diambil yang terkecil dari:

$$\blacksquare Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times (f'c \times Ec)^2$$

$$Q_n = 0,5 \times 2,83 \times (350 \times 27805,6)^{0,5} = 13978,1 \text{ kg}$$

$$\blacksquare Q_n = R_g \times R_p \times A_{sc} \times f_u$$

$$Q_n = 1 \times 0,75 \times 2,83 \times 4000 = 8501,6 \text{ kg}$$

Maka digunakan $Q_n = 8501,6 \text{ kg}$ untuk perencanaan jumlah *shear connector*.

Untuk *shear connector* momen positif, direncanakan terdapat 2 *shear connector* dalam satu baris dengan:

$$\blacksquare n = \frac{Vh}{2 \cdot Q_n} = \frac{201888}{2 \times 8501,6} = 11,9 \text{ buah} \approx 12 \text{ buah}$$

$$\blacksquare S_{\min} = 6d = 6(1,9) = 11,4 \text{ cm}$$

$$\blacksquare S_{\max} = 8t_{plat} = 8(9) = 72 \text{ cm}$$

$$\blacksquare S = \frac{L}{n+1} = \frac{803}{12+1} = 61,77 \rightarrow 60 \text{ cm}$$

Untuk *shear connector* momen negatif, direncanakan terdapat 2 *shear connector* dalam satu baris dengan:

- $n = \frac{Vh}{2 \cdot Q_n} = \frac{5495}{2 \times 8501,6} = 0,32 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$
- $S_{\min} = 6d = 6(1,9) = 11,4 \text{ cm}$
- $S_{\max} = 8t_{plat} = 8(9) = 72 \text{ cm}$
- $S = \frac{L}{n+1} = \frac{803}{12+1} = 61,77 \rightarrow 60 \text{ cm}$

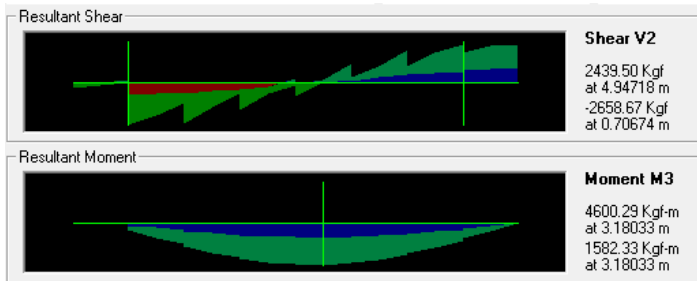
Maka digunakan *shear connector* 2-D19 sebanyak 12 buah dengan jarak 40 cm.

8.2.3 Balok Anak Baja

Berikut merupakan data profil WF 300x200x9x14 untuk perencanaan balok induk baja radial:

W = 65,4 kg/m	Z _x = 963 cm ³
A = 83,36 cm ²	Z _y = 288 cm ³
d = 298 mm	S _x = 893 cm ³
bf = 201 mm	S _y = 189 cm ³
tw = 9 mm	I _x = 13300 cm ⁴
tf = 14 mm	I _y = 1900 cm ⁴
r = 18 mm	i _x = 12,6 cm
h = 234 mm	i _y = 4,77 cm
f _y = 240 MPa	E = 200000 MPa
f _u = 370 MPa	

Berikut merupakan gaya dalam maksimum yang terjadi pada balok anak baja:



Gambar 8.6 – Gaya Dalam Balok Anak Baja

M_{max} : 4600,3 kgm

V_{max} : 2439,5kg

L : 565 cm

Kontrol Penampang

Plat sayap:

- $\lambda = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{201}{2(14)} = 7,18$
- $\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 10,97$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Plat badan:

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{234}{9} = 26$
- $\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 108,54$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Karena penampang kompak, $M_n = M_p$ sehingga didapatkan:

- $M_n = Z_x \times fy = 963 \times 2400 / 100 = 23112 \text{kgm}$

- $M_u \leq \phi M_n$
 $4600,3 \text{ kgm} \leq 0,9(23112) \text{ kgm}$
 $4600,3 \text{ kgm} \leq 20801 \text{ kgm (OK!)}$

Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 565 \text{ cm}$$

$$L_p = 242,35 \text{ cm}$$

$$L_r = 854,94 \text{ cm}$$

Karena $L_p < L_b \leq L_r$, maka termasuk bentang menengah.

Untuk menentukan C_b , diketahui momen-momen berikut:

$$M_{\max} = 4600,3 \text{ kgm}$$

$$M_A = 2166,7 \text{ kgm}$$

$$M_B = 4429,9 \text{ kgm}$$

$$M_C = 3483,3 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3$$

$$C_b = \frac{12,5(4600,3)}{2,5(4600,3) + 3(2166,7) + 4(4429,9) + 3(3483,3)} \leq 2,3$$

$$C_b = 1,24 \leq 2,3$$

$$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0,7 \times f_y \times S_x) \frac{(L_b - L_p)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1,24 \times (2311200 - (2311200 - 0,7 \times 2400 \times 893) \times \frac{(565 - 242,35)}{(854,94 - 242,35)}) \leq 2311200 \text{ kg.cm}$$

$$M_n = 2358262 > 2311200 \text{ kg.cm}$$

Karena tidak memenuhi, maka digunakan $M_n = M_p$.

- $M_u \leq \phi M_n$
 $4600,3 \text{ kgm} \leq 0,9(23112) \text{ kgm}$
 $4600,3 \text{ kgm} \leq 20801 \text{ kgm (OK!)}$

Kontrol Geser

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{234}{9} = 26$$

$$\lambda_p = 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 64,66$$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, maka digunakan $\phi_v = 1,0$ dan $C_v = 1,0$.

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$$

$$V_n = 0,6 \times 2400 \times 29,8 \times 0,9 \times 1$$

$$V_n = 38620,8 \text{ kg}$$

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$2439,5 \text{ kg} \leq 38620,8 \text{ kg (OK!)}$$

Kontrol Lendutan

$$L = 565 \text{ cm}$$

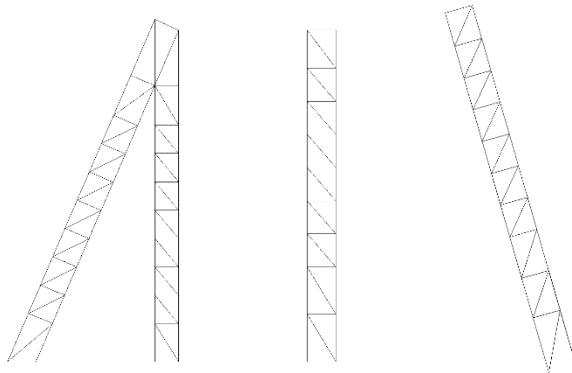
$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{565}{360} = 1,569 \text{ cm}$$

$$\Delta = 0,251 \text{ cm}$$

$$\Delta < \Delta_{ijin} \text{ (OK!)}$$

8.3 Desain Rangka Baja Penahan Atap

Pada struktur Jakabaring *Convention Hall* terdapat tiga jenis kolom rangka baja penahan struktur atap, yaitu kolom rangka utama segitiga, tegak, dan miring seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.7. Setiap kolom rangka baja terdiri atas komponen batang utama dan batang sekunder.

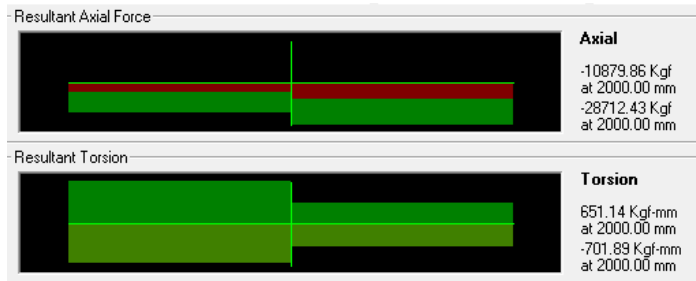


Gambar 8.7 – Jenis Rangka Baja Penahan Atap

8.3.1 Desain Batang Utama Kolom Rangka

Berikut merupakan data profil WF 400x400x15x15 untuk perencanaan balok kolom rangka utama:

$W = 140 \text{ kg/m}$	$Z_x = 2817 \text{ cm}^3$
$A = 178,5 \text{ cm}^2$	$Z_y = 1233 \text{ cm}^3$
$d = 388 \text{ mm}$	$S_x = 2520 \text{ cm}^3$
$bf = 402 \text{ mm}$	$S_y = 809 \text{ cm}^3$
$tw = 15 \text{ mm}$	$I_x = 49000 \text{ cm}^4$
$tf = 15 \text{ mm}$	$I_y = 16300 \text{ cm}^4$
$r = 22 \text{ mm}$	$i_x = 16,60 \text{ cm}$
$h = 314 \text{ mm}$	$i_y = 9,54 \text{ cm}$
$f_y = 240 \text{ MPa}$	$f_u = 370 \text{ MPa}$



Gambar 8.8 – Gaya Dalam Batang Utama Kolom Rangka Tegak

Kontrol Penampang

Plat sayap:

- $\lambda = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{402}{2(15)} = 13,4$
- $\lambda_p = 0,56 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,56 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 16,17$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Plat badan:

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{314}{15} = 20,93$
- $\lambda_p = 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 43,01$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Kontrol Kelangsingan

Pasal E2 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk semua komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif kL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

- $\lambda = \frac{kc \times L}{r} \leq 200$
- $\lambda_x = \frac{1 \times 700}{16,6} \leq 200$
 $\lambda_x = 42,17 \leq 200$ (OK!)
- $\lambda_y = \frac{1 \times 200}{9,54} \leq 200$
 $\lambda_y = 20,96 \leq 200$ (OK!) → Menentukan

Kuat Tekan

- $\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{42,17}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 0,465$

Dengan menurunkan rumus yang terdapat pada Bab E SNI 1729-2015, untuk nilai $\lambda_c \leq 1,5$ digunakan:

- $f_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \cdot f_y = (0,658^{0,886^2}) \cdot 240 = 219,22$ MPa
- $P_n = A_g \times f_{cr} = 178,5 \times 219,2 = 391300$ kg
- $P_u \leq \phi P_n$
 $28712 \text{ kg} \leq 0,9 (391300) \text{ kg}$
 $28712 \text{ kg} \leq 352169,7 \text{ kg}$ (OK!)

Sementara dengan menurunkan rumus yang terdapat pada SNI 1729-2002, untuk nilai $0,25 < \lambda_c \leq 1,2$ digunakan:

- $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(0,465)} = 1,11$
- $P_n = A_g \times \frac{f_y}{\omega} = 178,5 \times \frac{2400}{1,11} = 385953$ kg
- $P_u \leq \phi P_n$
 $28712 \text{ kg} \leq 0,85 (385953) \text{ kg}$
 $28712 \text{ kg} \leq 328059 \text{ kg}$ (OK!)

Kuat Tarik

Pasal D1 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

$$\begin{aligned} \blacksquare \frac{L}{r} &\leq 300 \\ \frac{700}{9,64} &\leq 300 \\ 72,61 &\leq 300 \text{(OK!)} \end{aligned}$$

Penentuan kuat tarik didasarkan pada batas leleh dan batas putus, dimana diambil nilai terendah sebagai kuat tarik nominal.

Batas leleh:

$$\begin{aligned} \blacksquare \phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ \phi P_n &= 0,9 \times 133,88 \times 2400 \\ \phi P_n &= 385560 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Batas putus:

$$\begin{aligned} \blacksquare A_e &= A_g \times U = 178,5 \times 0,75 = 133,88 \text{ cm}^2 \\ \blacksquare \phi P_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\ \phi P_n &= 0,75 \times 133,88 \times 3700 \\ \phi P_n &= 445803,75 \text{ kg} \\ \blacksquare P_u &\leq \phi P_n \\ 13206 \text{ kg} &\leq 385560 \text{ kg} \\ 13206 \text{ kg} &\leq 385560 \text{ kg (OK!)} \end{aligned}$$

8.3.2 Desain Batang Diagonal Kolom Rangka

Batang diagonal pada kolom rangka bekerja sebagai pengaku batang utama. Karena pada batang diagonal tidak

bekerja momen atau momen yang terjadi sangat kecil, maka batang direncanakan sebagai batang tekan dan tarik. Berikut merupakan contoh perencanaan batang diagonal pada kolom rangka tegak dengan WF 150x150x7x10.

$W = 49,9 \text{ kg/m}$	$Z_x = 240 \text{ cm}^3$
$A = 31,50 \text{ cm}^2$	$Z_y = 114 \text{ cm}^3$
$d = 150 \text{ mm}$	$S_x = 219 \text{ cm}^3$
$bf = 150 \text{ mm}$	$S_y = 75 \text{ cm}^3$
$tw = 7 \text{ mm}$	$I_x = 1640 \text{ cm}^4$
$tf = 10 \text{ mm}$	$I_y = 563 \text{ cm}^4$
$r = 11 \text{ mm}$	$i_x = 6,39 \text{ cm}$
$h = 108 \text{ mm}$	$i_y = 3,75 \text{ cm}$
$f_y = 240 \text{ MPa}$	$E = 200000 \text{ MPa}$
$f_u = 370 \text{ MPa}$	

Kontrol Penampang

Plat sayap:

- $\lambda = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{150}{2(10)} = 7,50$
- $\lambda_p = 0,56 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 16,17$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Plat badan:

- $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{150}{7} = 15,43$
- $\lambda_p = 1,49 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 43,01$
- $\lambda \leq \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Kontrol Kelangsingan

Pasal E2 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk semua komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif kL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

$$\blacksquare \lambda = \frac{k \times L}{r} \leq 200$$

$$\blacksquare \lambda_x = \frac{1 \times 232}{6,39} \leq 200$$

$$\lambda_x = 36,31 \leq 200 \text{ (OK!)}$$

$$\blacksquare \lambda_y = \frac{1 \times 232}{3,75} \leq 200$$

$$\lambda_y = 61,87 \leq 200 \text{ (OK!) } \rightarrow \text{Menentukan}$$

Kuat Tekan

$$\blacksquare \lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{61,87}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 0,683$$

Dengan menurunkan rumus yang terdapat pada Bab E SNI 1729-2015, untuk nilai $\lambda_c \leq 1,5$ digunakan:

$$\blacksquare f_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) \cdot f_y = (0,658^{0,683^2}) \cdot 240 = 197,49 \text{ MPa}$$

$$\blacksquare P_n = A_g \times f_{cr} = 31,5 \times 197,49 = 62208 \text{ kg}$$

$$\blacksquare P_u \leq \phi P_n$$

$$28712 \text{ kg} \leq 0,9 (62208) \text{ kg}$$

$$28712 \text{ kg} \leq 55987 \text{ kg (OK!)}$$

Sementara dengan menurunkan rumus yang terdapat pada SNI 1729-2002, untuk nilai $0,25 < \lambda_c \leq 1,2$ digunakan:

$$\blacksquare \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(0,683)} = 1,25$$

- $P_n = A_g \times \frac{f_y}{\omega} = 31,5 \times \frac{2400}{1,25} = 60411,8 \text{ kg}$
- $P_u \leq \phi P_n$
 $11312 \text{ kg} \leq 0,85 (60411,8) \text{ kg}$
 $11312 \text{ kg} \leq 51350 \text{ kg (OK!)}$

Kuat Tarik

Pasal D1 SNI 1729-2015 menyatakan bahwa untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

- $\frac{L}{r} \leq 300$
 $\frac{232}{3,75} \leq 300$
 $61,87 \leq 300 \text{ (OK!)}$

Penentuan kuat tarik didasarkan pada batas leleh dan batas putus, dimana diambil nilai terendah sebagai kuat tarik nominal.

Batas leleh:

- $\phi P_n = 0,9 \times A_g \times f_y$
 $\phi P_n = 0,9 \times 31,5 \times 2400$
 $\phi P_n = 68040 \text{ kg (Menentukan)}$

Batas putus:

- $A_e = A_g \times U = 31,5 \times 0,75 = 23,63 \text{ cm}^2$
- $\phi P_n = 0,75 \times A_e \times f_u$
 $\phi P_n = 0,75 \times 23,63 \times 3700$
 $\phi P_n = 78671 \text{ kg}$
- $P_u \leq \phi P_n$

6826,2 kg \leq 68040 kg

6826,2 kg \leq 68040 kg (**OK!**)

Berikut merupakan rekapitulasi profil kolom rangka.

Tabel 8.2 – Rekapitulasi Profil Kolom Rangka

Elemen		Profil
Batang Utama	Segitiga Miring (U-SM)	WF 400x400x15x15
	Segitiga Tegak (U-ST)	WF 400x400x15x15
	Tegak (U-T)	WF 400x400x15x15
	Miring (U-M)	WF 400x400x15x15
Batang Diagonal	Segitiga Miring (T-SM)	WF 150x150x7x10
	Segitiga Tegak (T-ST)	WF 150x150x7x10
	Tegak (T-T)	WF 150x150x7x10
	Miring (T-M)	WF 150x150x7x10

8.4 Desain Sambungan

8.4.1 Sambungan Las Rangka Atap

Sambungan pada struktur rangka atap Jakabaring *Convention Hall* menggunakan las pada tiap titik buhulnya. Sementara untuk sambungan antara batang busur *radial main chord* menggunakan sambungan baut dan plat. Berikut merupakan contoh perhitungan sambungan las antara *radial main chord* dan *diagonal chord*.

Tabel 8.3 – Data Perencanaan Sambungan *Radial Main Chord* dan *Diagonal Chord*

	<i>Radial Main Chord</i>	<i>Diagonal Chord</i>
Diameter Luar	127 mm	101,6 mm
Tebal	5,56 mm	6,35 mm
Pu max	27799,7 kg	5789,6 kg

Untuk sambungan las digunakan las dengan mutu F_{E70XX}.

Luas Las

Asumsi tebal las (t_e) = 1 cm

- $Al_1 = \pi \times D_1^2 \times t_e = \pi \times (12,7)^2 \times 1 = 39,88 \text{ cm}^2$
- $Al_2 = \pi \times D_1^2 \times t_e = \pi \times (10,16)^2 \times 1 = 31,90 \text{ cm}^2$
- $\phi \cdot fn = \phi \cdot 0,6 \cdot fu_{las}$
 $\phi \cdot fn = 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 = 2214,45 \text{ kg/cm}^2$

Akibat Pu

- $fh = \frac{Pu}{Al_2} = \frac{5789,6}{31,9} = 181,48 \text{ kg/cm}^2$
- $te = \frac{fh}{\phi n} = \frac{181,48}{2214,45} = 0,082 \text{ cm}$
- $a = \frac{te}{0,707} = \frac{0,082}{0,707} = 0,116 \text{ cm}$

Maka tebal las total adalah 1,16 mm. Perlu dicek tebal las minimum dan maksimum sesuai dengan SNI.

Syarat Tebal Las

Tebal plat paling tipis sebesar 5,56 mm. Sesuai SNI 1729-2015 pasal J.2:

- Untuk $t \leq 6 \text{ mm}$, $a_{\min} = 3 \text{ mm}$
- Untuk $t < 6 \text{ mm}$, $a_{\max} = t_{\text{plat}} = 5,56 \text{ mm}$
- $aef_{\max} = 1,41 \times \frac{fu_{bfg}}{fu} \times tp \text{ cm}$
 $aef_{\max} = 1,41 \times \frac{4150}{70 \times 70,3} \times 0,556 = 0,66 \text{ cm} = 6,6 \text{ mm}$

Maka digunakan las sudut F_{E70XX} dengan tebal 3 mm.

Dengan cara yang sama seperti di atas, didapatkan sambungan las sudut lainnya untuk struktur atap Jakabaring *Convention Hall* seperti di bawah ini.

Tabel 8.4 – Rekapitulasi Sambungan Rangka Atap

Sambungan Antara		Tebal Las Sudut (mm)
<i>Radial Main Chord</i>	<i>Diagonal Chord</i>	3
<i>Radial Main Chord</i>	<i>Anti Radial Main Chord</i>	3
<i>Radial Main Chord</i>	<i>Zigzag Chord</i>	5
<i>Radial Divider Chord</i>	<i>Diagonal Chord</i>	3
<i>Radial Divider Chord</i>	<i>Anti Radial Main Chord</i>	3

8.4.2 Sambungan Baut Rangka Atap

Sambungan baut yang dimaksud merupakan sambungan antar elemen yang sejenis di tengah bentang dengan bantuan plat baja. Berikut merupakan contoh perhitungan sambungan baut untuk *radial main chord*.

Profil Radial Main Chord

OD = 127 mm

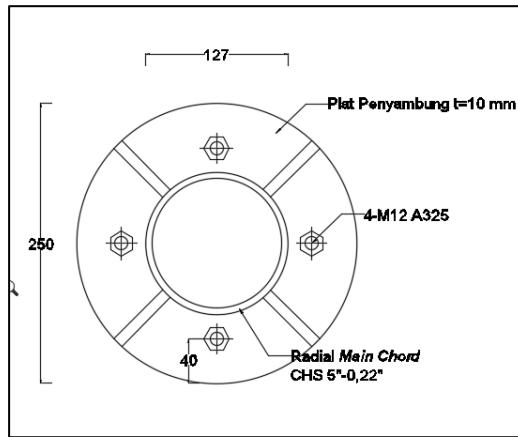
t = 5,56 mm :

Puc = 25365,8 kg

Put = 13861 kg

V = 14320 kg

Direncanakan plat penyambung berdiameter 250 mm dan tebal 10 mm dengan mutu BJ37 ($f_y = 240$ MPa dan $f_u = 370$ MPa). Sementara untuk baut penyambungnya direncanakan dengan baut diameter 12 mm sejumlah 4 buah dengan mutu A325. Berikut merupakan sketsa sambungan baut antar elemen *radial main chord*.



Gambar 8.9 – Sketsa Sambungan Baut Antar Radial *Main Chord*

Ditinjau gaya geser pada tengah penampang sambungan

- $A_g = A_{\text{plat}} - A_{\text{pipa}}$
 $= (25 \times 1) - (12,7 \times 1)$
 $= 12,3 \text{ cm}^2$
- $A_n = A_g - A_{\text{perlemahan baut}}$
 $= 12,3 - (2 \times (1,2 + 0,15) \times 1)$
 $= 9,6 \text{ cm}^2$
- $A_e = 0,9 A_n$
 $= 8,64 \text{ cm}^2$

Kontrol Geser Sambungan

a. Kontrol kekuatan plat

Batas leleh:

$$\phi P_n = 0,9 \times A_g \times f_y$$

$$\phi P_n = 0,9 \times 12,3 \times 2400$$

$$\phi P_n = 26568 \text{ kg}$$

Batas putus:

$$\phi Pn = 0,75 \times Ae \times fu$$

$$\phi Pn = 0,75 \times 8,64 \times 3700$$

$$\phi Pn = 23976 \text{ kg}$$

b. Kontrol kekuatan baut

Kuat geser baut:

$$\phi Vn = \phi \times fnv \times m \times Ab \times n$$

$$\phi Vn = 0,75 \times 4570 \times 1 \times 1,13 \times 4$$

$$\phi Vn = 15492 \text{ kg (Menentukan)}$$

Kuat tumpu baut:

$$Rn = 1,2 \times lc \times tp \times fu \leq 2,4 \times db \times tp \times fu$$

$$Rn = 1,2 \times (4 - 1,35) \times 1 \times 3700 \times 4 \leq 2,4 \times 1,35 \times 1 \times 3700 \times 4$$

$$Rn = 47064 \leq 47952 \text{ kg}$$

$$\phi Rn = 0,75 \times 47064 = 35298 \text{ kg}$$

c. $Vn > Vu$

$$15492 \text{ kg} > 4320 \text{ kg (OK!)}$$

Kontrol Tarik Sambungan

- $Td = \phi \times fub \times Ab$

$$Td = 0,75 \times 6200 \times 1,13$$

$$Td = 5254,5 \text{ kg}$$

- $Td > Puc$

$$4 (5254,5) \text{ kg} > 13861 \text{ kg}$$

$$21018 \text{ kg} > 13861 \text{ kg (OK!)}$$

Kontrol Sambungan Plat dengan Pipa Baja

Luas Las

Asumsi tebal las (te) = 1 cm

- $Al = \pi \times D_1^2 \times te = \pi \times (12,7)^2 \times 1 = 39,88 \text{ cm}^2$
- $\phi fn = \phi \cdot 0,6 \cdot fu_{las}$
 $\phi fn = 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 = 2214,45 \text{ kg/cm}^2$

Akibat Pu

- $fh = \frac{Pu}{Al} = \frac{25365,8}{39,88} = 636,1 \text{ kg/cm}^2$
- $te = \frac{fh}{\phi fn} = \frac{636,1}{2214,45} = 0,287 \text{ cm}$
- $a = \frac{te}{0,707} = \frac{0,28}{0,707} = 0,406 \text{ cm}$

Syarat Tebal Las

Tebal plat paling tipis sebesar 1 mm. Sesuai SNI 1729-2015 pasal J.2:

- Untuk $t \leq 6 \text{ mm}$, $a_{\min} = 3 \text{ mm}$
- Untuk $t < 6 \text{ mm}$, $a_{\max} = t_{\text{plat}} = 5,56 \text{ mm}$
- $aef_{\max} = 1,41 \times \frac{fu_{btg}}{fu} \times tp \text{ cm}$
 $aef_{\max} = 1,41 \times \frac{4150}{70 \times 70,3} \times 0,556 = 0,66 \text{ cm} = 6,6 \text{ mm}$

Maka digunakan las sudut F_{E70XX} dengan tebal 5 mm.

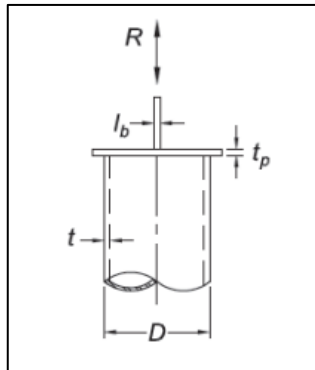
Dengan cara yang sama, didapatkan desain sambungan baut untuk elemen rangka atap selain radial *main chord*, yaitu anti radial *main chord*, diagonal *chord*, zigzag *chord*, dan radial *divider chord* menggunakan plat bundar diameter 200 mm, tebal 10 mm, dengan 4-M12 A325.

8.4.3 Sambungan Rangka Atap dan Kolom Rangka Baja

Profil *space truss* yang digunakan pada Jakabaring *Convention Hall* adalah CHS (*Circular Hollow Section*), sementara profil kolom rangka batang yang menopang struktur atap adalah WF (*Wide Flange*). Pada pertemuan rangka atap dan kolom rangka, profil pipa ditutup dengan pelat kepala atau *fin plate* dan disambungkan ke plat buhul.

a. Desain Plat Kepala

Terdapat beberapa elemen pipa yang bertemu di join. Berikut merupakan contoh perhitungan desain plat kepala untuk elemen diagonal *main chord* sesuai SNI 1729-2015 pasal K2.



Gambar 8.10 – Sketsa Plat Kepala

- Untuk elemen diagonal *main chord* menggunakan profil CHS 4''-0,25'' dimana diketahui:
 - A = 1899,2 mm²
 - D = 101,6 mm
 - t = 6,35 mm
 - Pu = 6951,7 kg

- Direncanakan menggunakan plat penutup $tp = 10$ mm dan $lb = 10$ mm.
- $\phi Rn = 1 \times 2 \times fy \times t \times (5tp + lb) \leq fy \times A$
 $\phi Rn = 1 \times 2 \times 240 \times 6,35 \times (5 \times 10 + 10) \leq 240 \times 1899,2$
 $\phi Rn = 182880 \leq 455808N$
- $\phi Rn > Pu$
 $182880 > 6951,7$ kg (OK!)

b. Desain Plat Buhul dan Baut

Berikut merupakan spesifikasi perencanaannya:

- Tebal plat : 10 mm
- Mutu baja : BJ 37
- Baut : M12 A325
- $Ab = 0,25 \times \pi \times 1,2^2 = 1,13$ cm²

Kuat geser baut:

- $\phi Vn = \phi \times fnv \times m \times Ab$
 $\phi Vn = 0,75 \times 4570 \times 1 \times 1,13$
 $\phi Vn = 3873$ kg (Menentukan)

Kuat tumpu baut:

- $lc = 60 - 0,5(12 + 1,5) = 53,25$ mm
- $Rn = 1,2 \times lc \times tp \times fu \leq 2,4 \times db \times tp \times fu$
 $Rn = 1,2 \times 5,325 \times 1 \times 3700 \leq 2,4 \times 1,2 \times 1 \times 3700$
 $Rn = 23643 > 10656$ kg
- $\phi Rn = 0,75 \times 10656 = 7992$ kg

Kontrol kekuatan

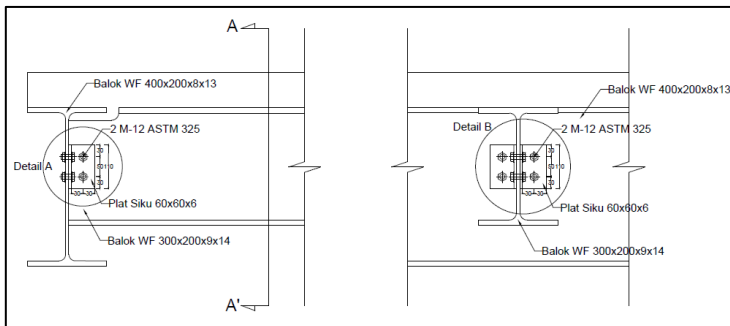
- $Vn > Pu$
 $2 (3873)$ kg $> 6951,7$ kg
 7746 kg $> 6951,7$ kg (OK!)

Sehingga digunakan 2-M12 A325.

8.4.4 Balok Anak dan Balok Induk Baja

Sambungan balok anak dengan balok induk menggunakan sambungan *simple connection*, dimana sambungan hanya menerima beban geser. Berikut merupakan data perencanaan sambungannya:

Balok induk	: WF 400x200x8x13
Balok anak	: WF 300x200x9x14
Tipe baut	: Tipe tumpu
Diameter	: D12 mm
Mutu baut	: A325 ($f_{nv} = 457 \text{ MPa}$)
Plat sambung	: Double Siku L60x60x6
Mutu plat	: BJ 37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$; $f_u = 370 \text{ MPa}$)



Gambar 8.11 – Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Sambungan pada Badan Balok Anak

- $Ab = 0,25 \times \pi \times 1,2^2 = 1,13 \text{ cm}^2$

Kuat geser baut:

- $\phi V_n = \phi \times f_{nv} \times m \times Ab$

$$\phi V_n = 0,75 \times 4570 \times 2 \times 1,13$$

$$7746,2 \text{ kg}$$

Kuat tumpu baut:

- $lc = 30 - 0,5(12 + 1,5) = 23,25 \text{ mm}$
- $Rn = 1,2 \times lc \times tp \times fu \leq 2,4 \times db \times tp \times fu$
 $Rn = 1,2 \times 23,25 \times 0,6 \times 3700 \leq 2,4 \times 1,2 \times 0,9 \times 3700$
 $Rn = 6193,8 \leq 9590,4 \text{ kg}$
- $\phi Rn = 0,75 \times 6193,8 = 4645,4 \text{ kg}$ (Menentukan)
- $n = \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{6721}{4645,4} = 1,45 \approx 2 \text{ buah}$

Digunakan 2-M12 mm.

Sambungan pada Badan Balok Induk

Kuat geser baut:

- $\phi Vn = \phi \times fnv \times m \times Ab$
 $\phi Vn = 0,75 \times 4570 \times 2 \times 1,13$
 $\phi Vn = 7746,2 \text{ kg}$

Kuat tumpu baut:

- $lc = 30 - 0,5(12 + 1,5) = 23,25 \text{ mm}$
- $Rn = 1,2 \times lc \times tp \times fu \leq 2,4 \times db \times tp \times fu$
 $Rn = 1,2 \times 23,25 \times 0,6 \times 3700 \leq 2,4 \times 1,2 \times 0,8 \times 3700$
 $Rn = 6193,8 \leq 8524,8 \text{ kg}$
- $\phi Rn = 0,75 \times 6193,8 = 4645,4 \text{ kg}$ (Menentukan)
- $n = \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{6721}{4645,4} = 1,45 \approx 2 \text{ buah}$

Digunakan 2-M12 mm.

Kontrol Jarak Baut

- Jarak tepi (S1)
 $1,5 \text{ db} < S1 \leq 12 \text{ tp}$ atau 150 mm
 $18 \text{ mm} < S1 \leq 72 \text{ mm}$

- Digunakan $S1 = 30 \text{ mm}$
- Jarak tepi ($S2$)
 - $1,5 \text{ db} < S2 \leq 12 \text{ tp}$ atau 150 mm
 - $18 \text{ mm} < S2 \leq 72 \text{ mm}$
 - Digunakan $S2 = 30 \text{ mm}$
- Jarak baut (S)
 - $3 \text{ db} < S \leq 15 \text{ tp}$ atau 200 mm
 - $36 \text{ mm} < S \leq 90 \text{ mm}$
 - Digunakan $S = 50 \text{ mm}$

Kontrol Kekuatan Siku Penyambung

Luas bidang geser

$$A_{nv} = L_{nv} \times t_{siku} = (11 - 2 \times 1,35) \times 0,6 = 4,98 \text{ cm}^2$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{1,82}{5} = 0,636$$

$$A_e = A_{nv} \times U = 4,98 \times 0,636 = 3,17 \text{ cm}^2$$

Kuat rencana

$$\phi R_n = \phi \times 0,6 \times f_u \times A_{nv}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 0,6 \times 3700 \times 3,17 = 5278 \text{ kg}$$

Karena terdapat 2 siku, maka kuat rencana $2\phi R_n = 10556 \text{ kg}$

8.4.5 Sambungan Balok Induk Baja dan Kolom Rangka

Berikut merupakan perhitungan sambungan balok induk baja radial dengan kolom rangka baja. Diketahui data perencanaan seperti berikut ini:

Tebal plat = 10 mm

Mutu plat = BJ 37

Baut = M16 A325 ($A_b = 2,01 \text{ cm}^2$)

M_{\max} = 5606,6 kgm

V_{\max} = 5101,0 kg

Sambungan Baut

Kuat geser baut:

- $\phi V_n = \phi \times f_{nv} \times m \times A_b$
 $\phi V_n = 0,75 \times 4570 \times 1 \times 2,01$
 $\phi V_n = 6889,3 \text{ kg (Menentukan)}$

Kuat tumpu baut:

- $l_c = 50 - 0,5(16 + 1,5) = 41,25$
- $R_n = 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \leq 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u$
 $R_n = 1,2 \times 41,25 \times 1 \times 3700 \leq 2,4 \times 1,75 \times 1 \times 3700$
 $R_n = 18315 > 15540 \text{ kg}$
- $\phi R_n = 0,75 \times 15540 = 11655 \text{ kg}$

Kuat tarik baut:

- $T_d = \phi \times f_{ub} \times A_b$
 $T_d = 0,75 \times 6200 \times 2,01$
 $T_n = 9346,5 \text{ kg}$

Jumlah baut:

- $n = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{5101}{6889,3} = 0,74 \text{ (Digunakan 4 buah)}$

Sambungan Las

Luas Las

Asumsi tebal las (te) = 1 cm

- $A_l = 4 \times (20 - 0,8) \times 1 + (40 - 2 \times 1,3) \times 1 = 114,2 \text{ cm}^2$
- $\phi f_n = \phi \cdot 0,6 \cdot f_{ulas}$
 $\phi f_n = 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 = 2214,45 \text{ kg/cm}^2$

Akibat Beban Sentris

$$\blacksquare fv = \frac{Vu}{Al} = \frac{5101}{114,2} = 44,67 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat Momen Lentur

$$\blacksquare fh = \frac{Mu}{Sx} = \frac{5606,6 \times 100}{1190} = 471,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\blacksquare ftot = \sqrt{44,67^2 + 471,1^2} = 473,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\blacksquare te = \frac{ftot}{\phi fn} = \frac{473,2}{2214,45} = 0,214 \text{ cm}$$

$$\blacksquare a = \frac{te}{0,707} = \frac{0,214}{0,707} = 0,3 \text{ cm}$$

Syarat Tebal Las

Tebal plat paling tipis sebesar 10 mm. Sesuai SNI 1729-2015 pasal J.2:

$$\blacksquare \text{Untuk } 6 < t \leq 13 \text{ mm, } a_{\min} = 5 \text{ mm}$$

$$\blacksquare \text{Untuk } t > 6 \text{ mm, } a_{\max} = t_{\text{plat}} - 2 = 10 - 2 = 8 \text{ mm}$$

$$\blacksquare aef_{\max} = 1,41 \times \frac{fu_{\text{ptg}}}{fu} \times tp$$

$$aef_{\max} = 1,41 \times \frac{4150}{70 \times 70,3} \times 0,556 = 0,66 \text{ cm} = 6,6 \text{ mm}$$

Maka digunakan las sudut F_{E70XX} dengan tebal 5 mm.

8.4.6 Sambungan Base Plate

Pada struktur baja Jakabaring *Convention Hall*, kolom rangka dengan profil WF dihubungkan dengan *base plate* ke pedestal yang akan menyalurkan beban ke pondasi.

Data Perencanaan

Profil Kolom Rangka : WF 400x400x15x15

Mutu Kolom : BJ 37 (fy = 240 MPa ; fu = 370 MPa)

Mutu Plat : BJ 37 (fy = 240 MPa ; fu = 370 MPa)

Dari hasil analisis program SAP2000, didapatkan gaya maksimum seperti berikut pada bagian *base plate*:

$$M_{ux} = 7262,2 \text{ kgm}$$

$$P_u = 42221 \text{ kg}$$

$$V_u = 5311,4 \text{ kg}$$

Luas Plat Dasar (A1)

$$A1 = L1 \times B1 = 60 \times 60 = 3600 \text{ cm}^2$$

Luas Pedestal (A2)

$$A2 = L2 \times B2 = 70 \times 70 = 4900 \text{ cm}^2$$

Cek Eksentrisitas

$$\blacksquare e = \frac{M_x}{P_z} = \frac{7262,2 \times 100}{42221} = 17,2 \text{ cm}$$

$$\blacksquare \frac{B1}{6} = \frac{60}{6} = 10 \text{ cm}$$

$$\blacksquare \frac{B1}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ cm}$$

Karena $B1/6 < e < B1/2$, maka eksentrisitas sedang. Apabila tegangan maksimum pada muka beton dan *base plate* kurang dari tegangan tumpu nominal pedestal, maka tidak perlu menggunakan angkur.

Tegangan pada Muka Beton dan Base Plate

$$\blacksquare f_{1,2} = \frac{P_z}{B1 \times L1} \pm \frac{M_x \times c}{\frac{1}{12} \times L1 \times B1^3}$$

$$f_{1,2} = \frac{42221}{60 \times 60} \pm \frac{726220 \times 60/2}{\frac{1}{12} \times 60 \times 60^3}$$

$$f_{1,2} = 11,73 \pm 20,17$$

Sehingga didapatkan tegangan:

$$f_1 = 11,73 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_2 = 20,17 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Menentukan)}$$

Tegangan Tumpu Nominal Pedestal

$$\bullet \quad fp = \phi \times 0,85 \times f'c \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$fp = 0,6 \times 0,85 \times 350 \times \sqrt{\frac{4900}{3600}}$$

$$fp = 208,25 \text{ kg/cm}^2 > f_2 = 20,17 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK!)}$$

Cek Dimensi Base Plate

$$\bullet \quad A_1 = \frac{f_1 \times L_1 \times B_1}{1,7 \times \phi_c \times f'c}$$

$$A_1 = \frac{20,17 \times 60 \times 60}{1,7 \times 0,6 \times 350} = 203,4 \text{ cm}^2 < A_1 \text{ rencana} = 3600 \text{ cm}^2 \text{ (OK!)}$$

$$\bullet \quad tp = \frac{B_1 - 0,8bf}{2} \sqrt{\frac{2 \times f \times L_1 \times B_1}{0,9 \times f_y \times L_1 \times B_1}}$$

$$tp = \frac{60 - 0,8(40,2)}{2} \sqrt{\frac{2 \times 20,17}{0,9 \times 2400}}$$

$$tp = 1,90 \text{ cm}$$

Sehingga digunakan plat setebal 20 mm.

Kebutuhan Baut

Kuat geser baut:

$$\bullet \quad \phi V_n = \phi \times f_{nv} \times m \times A_b$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 4570 \times 1 \times 1,13$$

$$\phi V_n = 3873 \text{ kg}$$

Kuat tumpu baut:

- $lc = 50 - 0,5(12 + 1,5) = 43,25 \text{ mm}$
- $Rn = 1,2 \times lc \times tp \times fu \leq 2,4 \times db \times tp \times fu$
 $Rn = 1,2 \times 4,325 \times 2 \times 3700 \leq 2,4 \times 1,2 \times 2 \times 3700$
 $Rn = 38406 > 21312 \text{ kg}$
- $\phi Rn = 0,75 \times 21312 = 15984 \text{ kg}$

Digunakan 4 baut diameter 12 mm sehingga:

$V_n > V_u$

$4(3873) \text{ kg} > 5311 \text{ kg}$

$15492 \text{ kg} > 5311 \text{ kg (OK!)}$

Sambungan Las Base Plate

Luas Las

Asumsi tebal las (t_e) = 1 cm

- $Al = 2 \times h \times t_e = 2 \times 31,4 \times 1 = 62,8 \text{ cm}^2$
- $\phi f_n = \phi \cdot 0,6 \cdot f_{u\text{las}}$
 $\phi f_n = 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 = 2214,45 \text{ kg/cm}^2$

Akibat P_u

- $f_h = \frac{P_u}{Al} = \frac{42221}{62,8} = 672 \text{ kg/cm}^2$
- $t_e = \frac{f_h}{\phi f_n} = \frac{672}{2214,45} = 0,303 \text{ cm}$
- $a = \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,303}{0,707} = 0,429 \text{ cm}$

Syarat Tebal Las

Tebal plat paling tipis sebesar 10 mm. Sesuai SNI 1729-2015 pasal J.2:

- Untuk $6 < t \leq 13 \text{ mm}$, $a_{\min} = 5 \text{ mm}$
- Untuk $t > 6 \text{ mm}$, $a_{\max} = t_{\text{plat}} - 2 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$

$$\blacksquare aef_{\max} = 1,41 \times \frac{fu_{big}}{fu} \times tp \text{ cm}$$

$$aef_{\max} = 1,41 \times \frac{3700}{70 \times 70,3} \times 1 = 1,06 \text{ cm} = 10,6 \text{ mm}$$

Maka digunakan las sudut F_{E70XX} dengan tebal 5 mm.

BAB IX

PENUTUP

9.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perencanaan dalam mendesain struktur utama beton bertulang dan struktur atap *space truss* Jakabaring *Convention Hall*, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk elemen struktur baja menggunakan BJ 37. Sementara untuk elemen struktur beton menggunakan mutu beton $f'c$ 35 MPa. *Preliminary design* Jakabaring *Convention Hall* antara lain:
 - a. Balok induk beton untuk area stadion tenis direncanakan berukuran 30 x 45 cm, sementara untuk area convention hall berukuran 30 x 40 cm. Untuk balok anak direncanakan berukuran 20 x 30 cm. Adapun plat beton direncanakan setebal 14 cm. Sementara kolom beton direncanakan berdimensi 50 x 50 cm.
 - b. Batang rangka ruang direncanakan menggunakan profil pipa atau *circular hollow section* (CHS). Kolom rangka batang yang menerima beban struktur atap direncanakan menggunakan profil WF. Balok baja pada struktur juga direncanakan dengan profil WF. Untuk sambungan baja, direncanakan menggunakan plat dengan mutu BJ 37, baut A325, dan las F_{EXX70} .
2. Pembebanan struktur untuk Jakabaring *Convention Hall* meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, serta beban gempa.
3. Permodelan dan analisis struktur Jakabaring *Convention Hall* dilakukan dengan bantuan program SAP2000. Karena bentuk grid struktur Jakabaring *Convention Hall* yang cukup kompleks, permodelan dasar dilakukan pada AutoCAD 3D yang kemudian diimpor ke dalam program SAP2000 dalam

ekstensi .*dx*f. Analisis struktur dengan program SAP2000 telah memenuhi syarat perbandingan berat struktur, partisipasi massa, kontrol waktu getar, serta analisa dinamik.

4. Hasil desain elemen struktur beton Jakabaring *Convention Hall* sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia antara lain:
 - a. Balok induk beton untuk area stadion direncanakan berdimensi 30x45 cm, baik untuk arah radial maupun anti radial. Sementara balok induk untuk area *convention hall* berukuran 30x40 cm.
 - b. Kolom beton direncanakan berukuran 50x50 cm dengan tulangan longitudinal 8-D22 mm.
5. Hasil desain rangka atap Jakabaring *Convention Hall* sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia antara lain:
 - a. Elemen radial *main chord* rangka ruang direncanakan dengan CHS 5''-0,219''. Sementara untuk anti radial *main chord*, *zigzag chord*, *diagonal main chord*, dan radial *divider chord* menggunakan CHS 4''-0,25''.
 - b. Balok induk baja, baik arah radial maupun anti-radial menggunakan WF 400x200x8x13. Sementara balok anak baja menggunakan WF 300x200x9x14.
 - c. Batang utama kolom rangka menggunakan profil WF 400x400x15x15, sementara batang diagonal kolom rangka menggunakan WF 150x150x7x10.
 - d. Sambungan antar rangka ruang yang berbeda jenis menggunakan sambungan las sudut F_{E70XX} setebal 3 mm, kecuali sambungan antara radial *main chord* dan *zigzag chord* yang dilas sudut setebal 5 mm.
 - e. Sambungan antar batang radial *main chord* menggunakan plat bundar diameter 250 mm, tebal 10 mm, dan dibaut dengan 4-M12 A325. Sementara untuk batang rangka atap lainnya, yaitu anti radial *main chord*, *zigzag chord*, *diagonal chord*, dan radial *divider chord* menggunakan plat bundar diameter 200 mm, tebal 10 mm, dan dibaut dengan 4-M12 A325.

- f. Sambungan balok anak dengan balok induk baja menggunakan L60x60x6 dengan 2-M12 A325,
 - g. Sambungan *base plate* dengan pedestal menggunakan plat 60x60 cm dengan baut 4-M12 A325.
6. Hasil akhir analisa dan desain Jakabaring *Convention Hall* dituangkan dalam bentuk gambar teknik pada lampiran.

9.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasar hasil analisa dan perencanaan dalam Tugas Akhir Desain Jakabaring *Convention Hall* dengan Struktur Utama Beton Bertulang dan Struktur Atap *Space Truss* antara lain:

1. Perlu mempertimbangkan aspek ekonomi agar hasil desain optimal dan efisien.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, Dzulfikar Ahmad. 2013. **Perancangan Akademi Sepak Bola di Kedungkandang Malang dengan Penerapan Struktur Rangka Ruang**. Malang: Universitas Brawijaya.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Beban Minimum untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung (SNI 1727-2013)**. Jakarta Pusat: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)**. Jakarta Pusat: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012)**. Jakarta Pusat: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. **Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)**. Jakarta Pusat: BSN.
- Bayyinah, Dilla Ayu L.N. 2017. **Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan Time History untuk Desain Gedung**. Surabaya: Jurnal ITS.
- Buijsen, Michel. 2011. *Dynamic Space Frame Structures*. TU Delft Journal. Delft.
- Freitas, C.A. Silva. 2011. *“Numerical and Experimental Study of Steel Space Truss with Stamped Connection”*. Journal of Civil Engineering and Architecture, ISSN 1934-7359, USA.
- Hariyanto, Agus. 2011. **Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respon**

Spektrum. Solo: Jurnal Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.

Lan, Tien T. 1999. *“Space Frame Structures” Structural Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC.

Marwan dan Isdarmanu. 2006. **Buku Ajar : Struktur Baja I**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.

Nasution, Fauziah dan Teruna, Daniel Rumbi. 2014. **Perbandingan Analisis Statik Ekuivalen dan Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons pada Struktur Beraturan dan Ketidakberaturan Massa Sesuai RSNI-03-1726-201X**. Medan: Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara. Vol 3. No 1.

Nurdianti, Ulfa. 2013. **Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan *Pushover Analysis* Pada Tanah Medium**. Makassar: Jurnal Universitas Hasanudin.

Prayogo, Jodie. 2015. **Permodelan Konstruksi Portal Rangka Baja Berbasis *Finite Element Method* (FEM)**. Makassar: Jurnal Universitas Hasanuddin.

Subagio, Ananto S. 2017. **Modifikasi Struktur Atap Stadion Mimika-Papua Menggunakan Rangka Baja Ruang Tipe Busur**. Surabaya : Jurnal ITS.

Widyawaty, Oktaviany, Hasti Riakara Husni, dan Suyadi. 2016. **Analisis Perhitungan Gaya Internal Rangka Ruang dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga**. JRSDD Edisi Maret 2016, Vol. 4. No. 1, Hal:51-58.

LAMPIRAN

Brosur Material Insulasi Atap

INSULATION ZELLTECH ZT-05BBR

Al/FRbigbubble/wovenfabric/Al	
Sheet size	1.2 x 30 m
Bubble dia./thick	20 mm/8 mm
Weight	500 gr/m2
Reflectivity	96-97%
Emissivity	0.03 – 0.04

99,9% pure aluminium foil, fibre free doesn't generate corrosion, insect resistant

Spesification Details

Type	ZT – 05 BBR
Material	Alu – bubble FR – alu woven
Thickness	8 mm
Weight	500 gr/m2
Emmissivity	0.03(ASTM C1371 method)
Reflectivity	96% (ASTM F1252 method)
Water vapor transmission	0.00016 (ASTM E96)
Fungi resistance	no growth (ASTM C1338)
Salt humidity test	no corrosion

Brosur Material Penutup Atap


[Products](#) [Projects](#) [Services](#) [Downloads](#) [Fire](#) [QuadCore Technology](#) [About](#) [News](#) [Contact Us](#) [FutureBuild Blog](#)

[Home](#) > [Insulated Panel Systems](#) > [Roof Panel Systems](#) > [Curved Roof Panels \(K31000 CR\)](#)

Dimensions, Weight & Thermal Performance

Core Thickness (mm)	45	60	80	100	115
Overall Thickness (mm)	80	95	115	135	150
U-Value (W/M ² K)	0.46	0.31	0.25	0.21	0.18
Weight kg/m ² 0.5/0.4 Steel	9.7	10.3	11.1	11.9	12.5
Weight kg/m ² 0.7/0.5 Alum	5.4	6.0	6.8	7.6	8.2



**Bakrie Pipe
Industries**

ASTM A 53-B

PT. Bakrie Pipe Industries is a pioneer of steel pipe manufacturing with established network in line with Indonesia's development.

Supported by approximately 600 employees, mostly spearheading the technical department across the processing plant and in the field.

Experienced in production process for more than half a decade with a systematic delivery process from the start of production process with high efficiency and accuracy.

GENERAL PURPOSE PIPES

Commercial Office :

Bakrie Tower, 7th Floor
Rasuna Epicentrum
Jl. H.R. Rasuna Said
Jakarta Selatan 12940, Indonesia
Telephone : (62-21) 527 7035, 2994 1270
Facsimile : (62-21) 522 5055, 2994 1266 - 69
E-mail : commercial@e-bakrie.com

Steel Pipe Mill :

Jl. Raya Pejuang, Medan Satria
Kota Bekasi 17131 - Indonesia
Telephone : (62-21) 887 1135
Facsimile : (62-21) 8897 6606, 8897 6705
Website : www.e-bakrie.com

Specification

Nominal Size	Outside Diameter		Wall Thickness		Weight Class	Schedule No	Weight		Test Pressure (Min) Grade B		
	inch	mm	inch	mm			lb/ft	kg/m	psi	kg/cm ²	bar
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	700	49	48
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	48
1	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	48
1 1/4	1.660	42.2	0.14	3.56	STD	40	2.27	3.39	1300	91	90
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1300	91	90
2	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.66	5.44	2500	176	172
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	STD	40	5.80	8.63	2500	176	172
3	3.500	88.9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	1500	105	103
			0.156	3.96	-	-	5.58	8.29	1870	131	129
			0.188	4.78	-	-	6.66	9.92	2260	159	156
			0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2500	176	172
4			0.125	3.18	-	-	5.85	8.71	1170	82	81
			0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	1460	103	101
			0.172	4.37	-	-	7.94	11.85	1610	113	111
			0.188	4.78	-	-	8.67	12.91	1750	123	121
			0.203	5.16	-	-	9.30	13.89	1900	134	131
			0.219	5.56	-	-	10.02	14.91	2040	143	141
			0.237	6.02	STD	40	10.80	16.07	2210	155	152
			0.25	6.35	-	-	11.36	16.90	2330	164	161
5			0.281	7.14	-	-	12.67	18.87	2620	184	181
			0.156	3.96	-	-	9.02	13.41	1180	83	81
			0.188	4.78	-	-	10.80	16.09	1420	100	98
			0.219	5.56	-	-	12.51	18.61	1650	116	114
6			0.258	6.55	STD	40	14.63	21.77	1950	137	134
			0.188	4.78	-	-	12.94	19.27	1190	84	82
			0.203	5.16	-	-	13.91	20.76	1290	91	89
			0.219	5.56	-	-	15.00	22.31	1390	98	96
8			0.250	6.35	-	-	17.04	25.36	1580	111	109
			0.280	7.11	STD	40	18.99	28.26	1780	125	123
			0.312	7.92	-	-	21.06	31.32	1980	139	137
			0.344	8.74	-	-	23.10	34.39	2180	153	150
			0.375	9.52	-	-	25.05	37.28	2380	167	164
			0.188	4.78	-	-	16.96	25.26	920	65	63
			0.203	5.16	-	-	18.28	27.22	1000	70	69
10			0.219	5.56	-	-	19.68	29.28	1070	75	74
			0.250	6.35	-	20	22.38	33.31	1220	86	84
			0.277	7.04	-	30	24.72	36.31	1350	95	93
			0.312	7.92	-	-	27.73	41.24	1520	107	105
			0.322	8.18	STD	40	28.58	42.55	1570	110	108
			0.344	8.74	-	-	30.45	45.34	1680	118	116
			0.375	9.52	-	-	33.07	49.20	1830	129	126
			0.406	10.31	-	60	35.67	53.08	2000	141	138
			0.438	11.13	-	-	38.33	57.08	2130	150	147
			0.500	12.70	XS	80	43.43	64.64	2430	171	168
12			0.188	4.78	-	-	21.23	31.62	730	51	50
			0.203	5.16	-	-	22.89	34.08	800	56	55
			0.219	5.56	-	-	24.65	36.67	860	60	59
			0.250	6.35	-	20	28.06	41.75	980	69	68
			0.279	7.09	-	-	31.23	46.49	1090	77	75
			0.307	7.80	-	30	34.27	51.01	1200	84	83
			0.344	8.74	-	-	38.27	56.96	1340	94	92
			0.365	9.27	STD	40	40.52	60.29	1430	101	99
			0.438	11.13	-	-	48.28	71.87	1710	120	118
			0.500	12.70	XS	60	54.79	81.52	1950	137	134
12			0.203	5.16	-	-	27.23	40.55	670	47	46
			0.219	5.56	-	-	29.34	43.63	720	51	50
			0.250	6.35	-	20	33.41	49.71	820	58	57
			0.281	7.14	-	-	37.46	55.75	930	65	64
			0.312	7.92	-	-	41.48	61.69	1030	72	71
			0.330	8.38	-	30.00	43.81	65.18	1090	77	75
			0.344	8.74	-	-	45.62	67.90	1130	79	78
			0.375	9.52	STD	-	49.61	73.78	1240	87	85
			0.406	10.31	-	40	53.57	79.70	1340	94	92
			0.438	11.13	-	-	57.65	85.82	1440	101	99
			0.500	12.70	XS	-	65.48	97.43	1650	116	114
			0.562	14.27	-	60	73.22	108.92	1850	130	128

STEEL LINE PIPE

ASTM A53-B

ISO 9001 : 2008
OHSAS 18001 : 2007
CERTIFIED

Specification

Nominal Size	Outside Diameter		Wall Thickness		Weight Class	Schedule No	Weight		Test Pressure (Min) Grade B			
	inch	mm	inch	mm			lb/ft	kg/m	psi	kg/cm ²	bar	
14	14.000	355.6	0.210	5.33	-	-	30.96	46.04	630	44	43	
			0.219	5.56	-	-	32.26	47.99	660	46	45	
			0.250	6.35	-	-	10	36.75	54.69	750	53	52
			0.281	7.14	-	-	-	41.21	61.35	840	59	58
			0.312	7.92	-	-	20	45.65	67.90	940	66	65
			0.344	8.74	-	-	-	50.22	74.76	1030	72	71
			0.375	9.52	STD	-	30	54.62	81.25	1120	79	77
			0.406	10.31	-	-	-	58.82	87.79	1220	86	84
			0.438	11.13	-	-	40	63.50	94.55	1310	92	90
			0.469	11.91	-	-	-	67.84	100.94	1410	99	97
			0.500	12.70	X5	-	-	72.16	107.39	1500	105	103
0.562	14.27	-	-	-	80.48	120.11	1690	119	117			
16	16.000	406.4	0.219	5.56	-	-	36.95	54.96	570	40	39	
			0.250	6.35	-	-	42.09	62.64	660	46	45	
			0.281	7.14	-	-	10	47.22	70.30	740	52	51
			0.312	7.92	-	-	20	52.32	77.83	820	58	57
			0.344	8.74	-	-	-	57.57	85.71	900	63	62
			0.375	9.52	STD	-	30	62.64	93.17	980	69	68
			0.406	10.31	-	-	-	67.48	100.71	1070	75	74
			0.438	11.13	-	-	-	72.86	108.49	1150	81	79
			0.469	11.91	-	-	-	77.87	115.86	1230	86	85
			0.500	12.70	X5	-	40	82.85	123.30	1310	92	90
			0.562	14.27	-	-	-	92.46	138.00	1480	104	102
0.625	15.88	-	-	-	102.47	152.94	1640	115	113			
18	18.000	457.2	0.250	6.35	-	-	47.44	70.60	580	41	40	
			0.281	7.14	-	-	53.23	79.24	660	46	45	
			0.312	7.92	-	-	20	58.99	87.75	730	51	50
			0.344	8.74	-	-	-	64.93	96.66	800	56	55
			0.375	9.52	STD	-	-	70.65	105.10	880	62	61
			0.406	10.31	-	-	-	76.36	113.58	950	67	66
			0.438	11.13	-	-	-	82.23	122.43	1020	72	70
			0.469	11.91	-	-	-	87.89	130.78	1090	77	75
			0.500	12.70	X5	-	30	93.54	139.20	1170	82	81
			0.562	14.27	-	-	-	104.76	155.87	1310	92	90
			0.625	15.88	-	-	-	115.74	172.75	1460	103	101
20	20.000	508.0	0.250	6.35	-	-	52.78	78.55	520	37	36	
			0.281	7.14	-	-	59.23	88.19	590	41	41	
			0.312	7.92	-	-	-	65.66	97.67	660	46	45
			0.344	8.74	-	-	-	72.28	107.60	720	51	50
			0.375	9.52	STD	-	20	78.67	117.02	790	56	54
			0.406	10.31	-	-	-	84.04	126.53	850	60	59
			0.438	11.13	-	-	-	91.59	136.37	920	65	63
			0.469	11.91	-	-	-	97.92	145.70	950	67	66
			0.500	12.70	X5	-	30	10.23	155.12	1050	74	72
			0.562	14.27	-	-	-	116.41	173.75	1180	83	81
			0.625	15.88	-	-	-	129.13	192.73	1310	92	90
24	24.000	609.6	0.250	6.35	-	-	63.47	94.46	440	31	30	
			0.281	7.14	-	-	71.25	106.08	490	34	34	
			0.312	7.92	-	-	-	79.01	117.51	550	39	38
			0.344	8.74	-	-	-	86.99	129.50	600	42	41
			0.375	9.52	STD	-	20	94.71	140.88	660	46	46
			0.406	10.31	-	-	-	102.40	152.37	710	50	49
			0.438	11.13	-	-	-	110.32	164.26	770	54	53
			0.469	11.91	-	-	-	117.98	175.54	820	58	57
			0.500	12.70	X5	-	-	125.61	186.94	880	62	61
			0.562	14.27	-	-	30	140.81	209.50	980	69	68
			0.625	15.88	-	-	-	155.89	232.67	1090	77	75

Chemical Composition [% max]:


ASTM A-53 Grade B	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Copper	Nickel	Chromium	Molybdenum	Vanadium	Cu+Ni+Cr+Mo+V
	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08	1.00

Mechanical Properties:

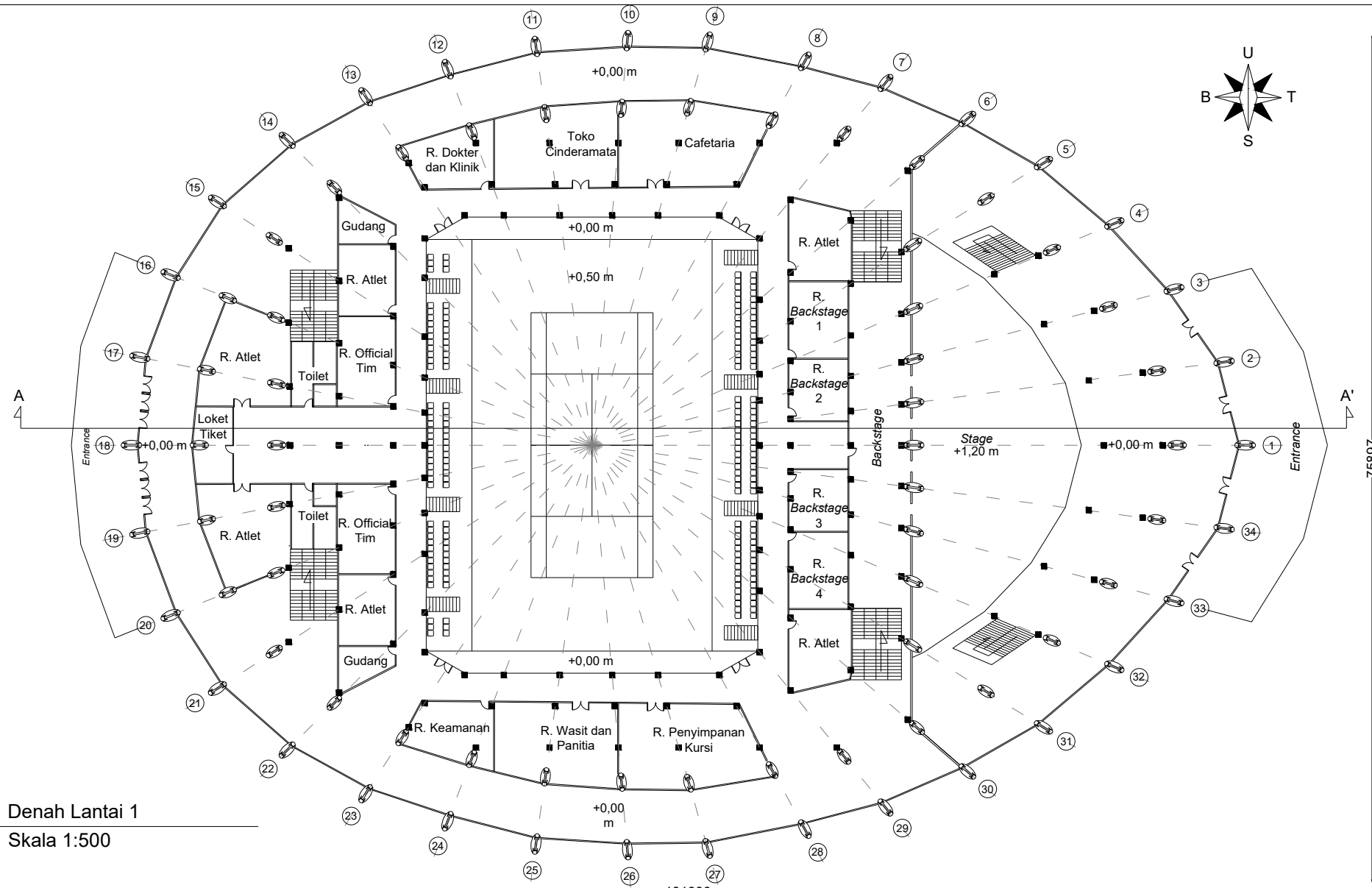
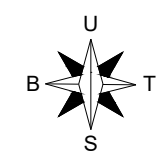
Grade B	Yield Strength (min)	Tensile Strength (min)
	35 000 psi (240 MPa)	60 000 psi (415 MPa)

Galvanized:

Zinc Coating Weight: 550 gr/m² (77 µm) minimum

Marking:  ASTM A53-A/E 4" STD SCH 40 x 6000 mm
PIPE NO: HEAT NO:

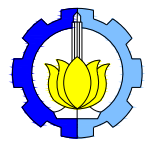
Bakrie Pipe Industries



75897

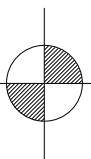
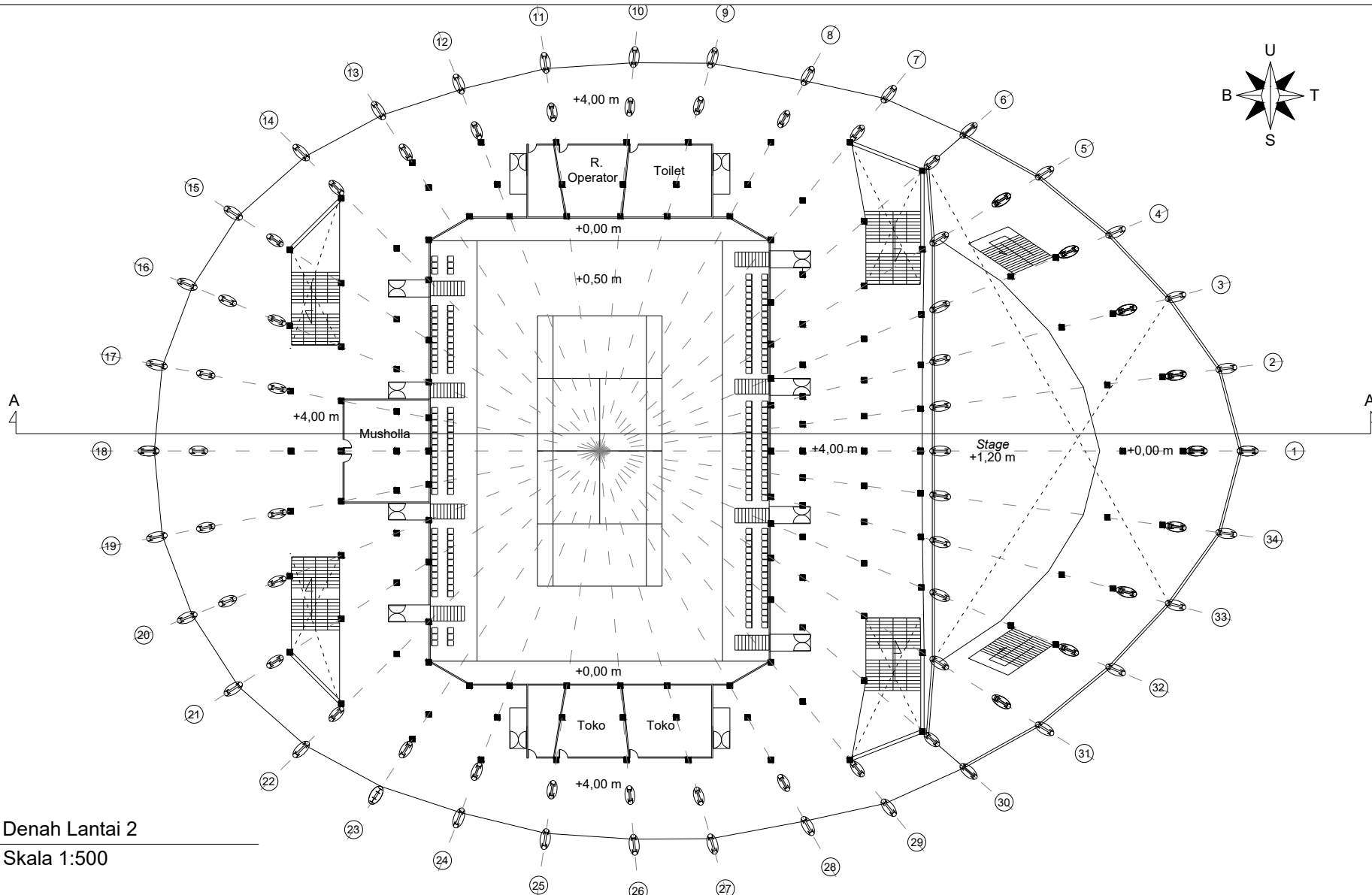
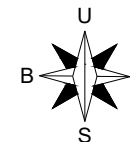
101300

Denah Lantai 1
Skala 1:500




INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

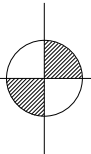
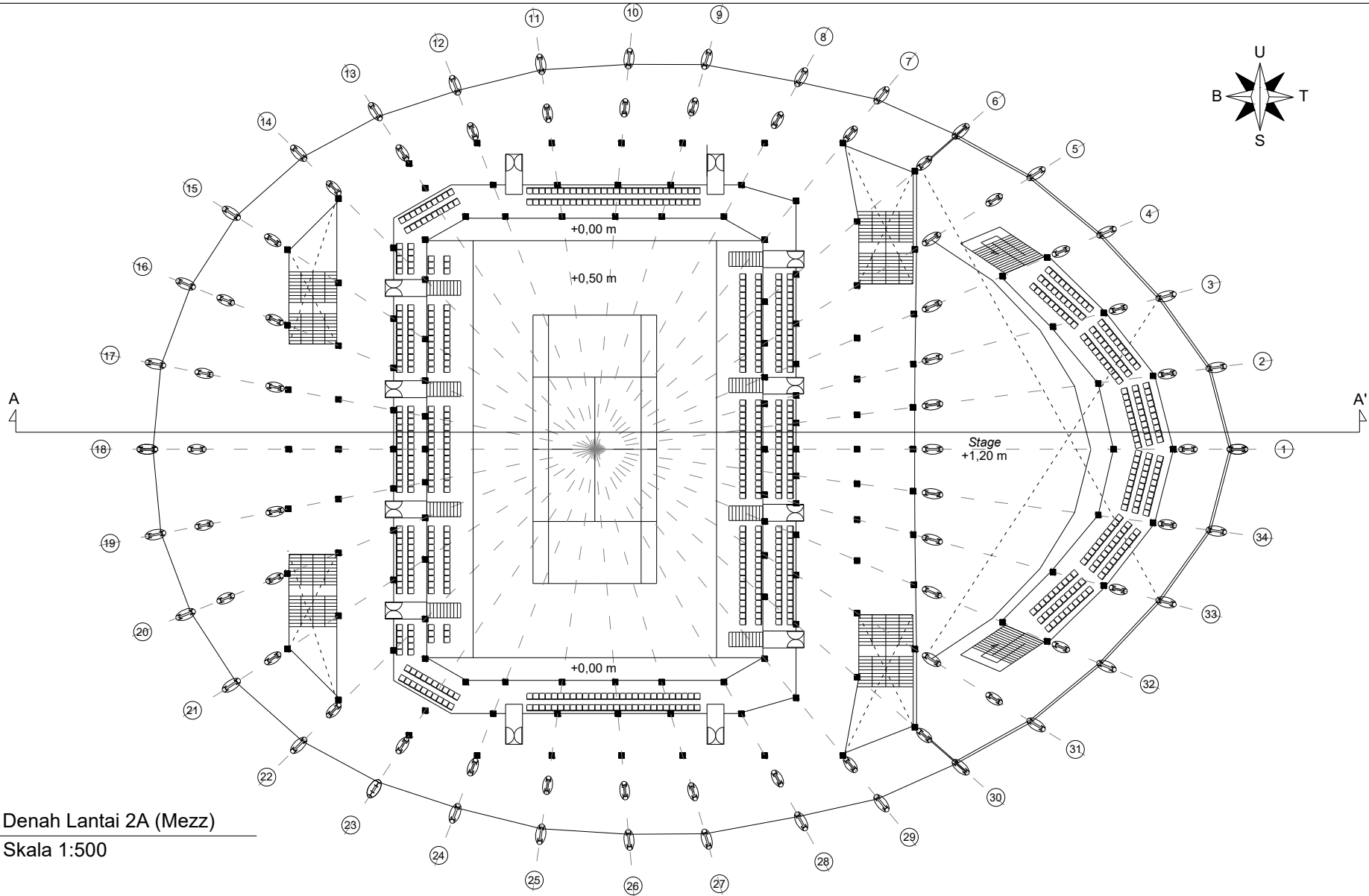
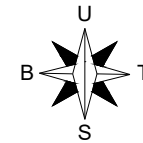
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Lantai 1	1:500	01	45



Denah Lantai 2
Skala 1:500

101300

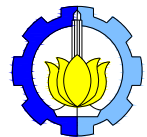
	Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
 <p data-bbox="241 1334 577 1485"> INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Departemen Teknik Sipil </p>	Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Lantai 2	1:500	02	45



Denah Lantai 2A (Mezz)

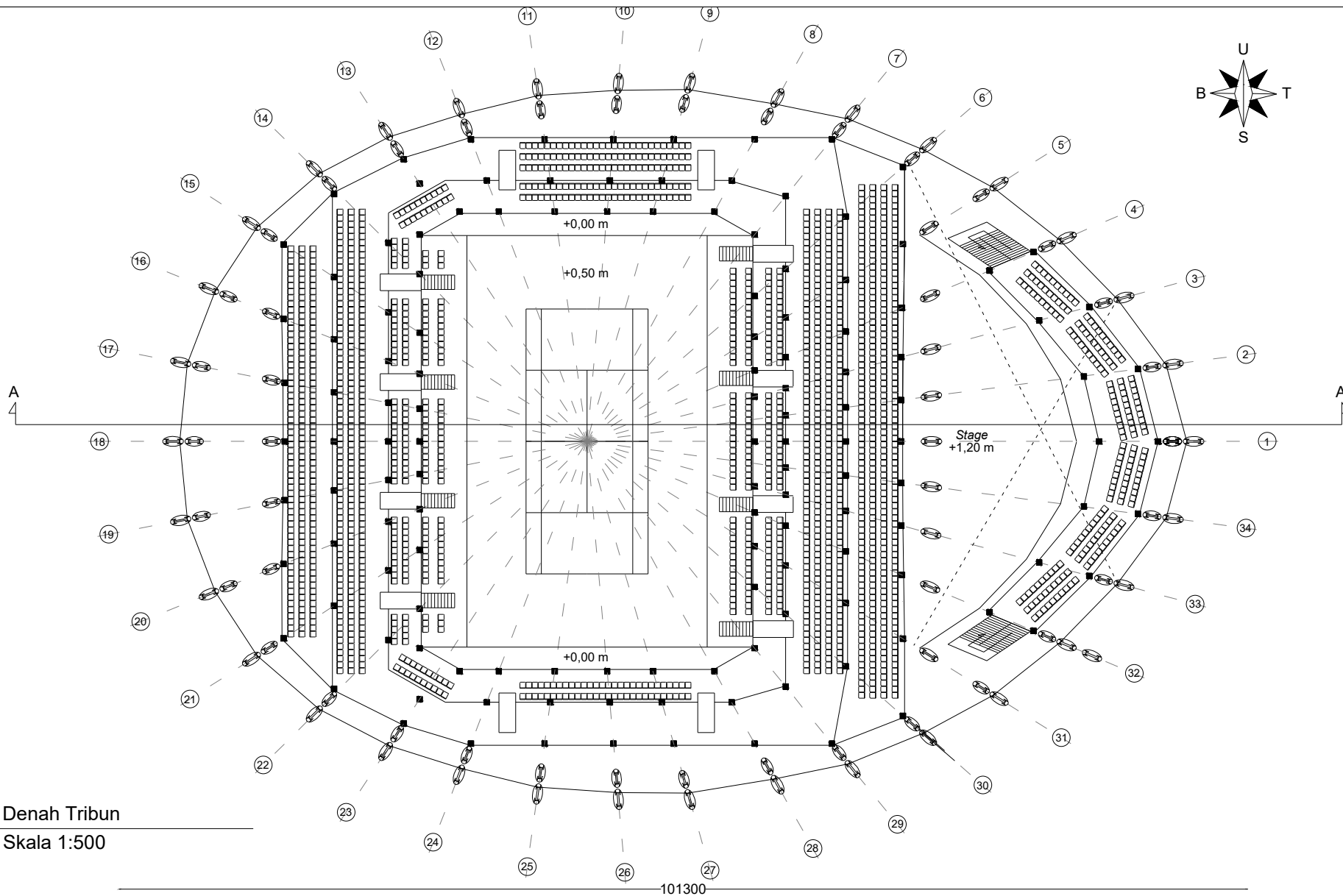
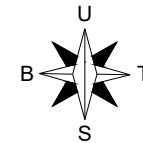
Skala 1:500

101300



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

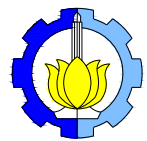
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Herrera (3114100051)	Denah Lantai 2A (Mezz)	1:500	03	45



75897

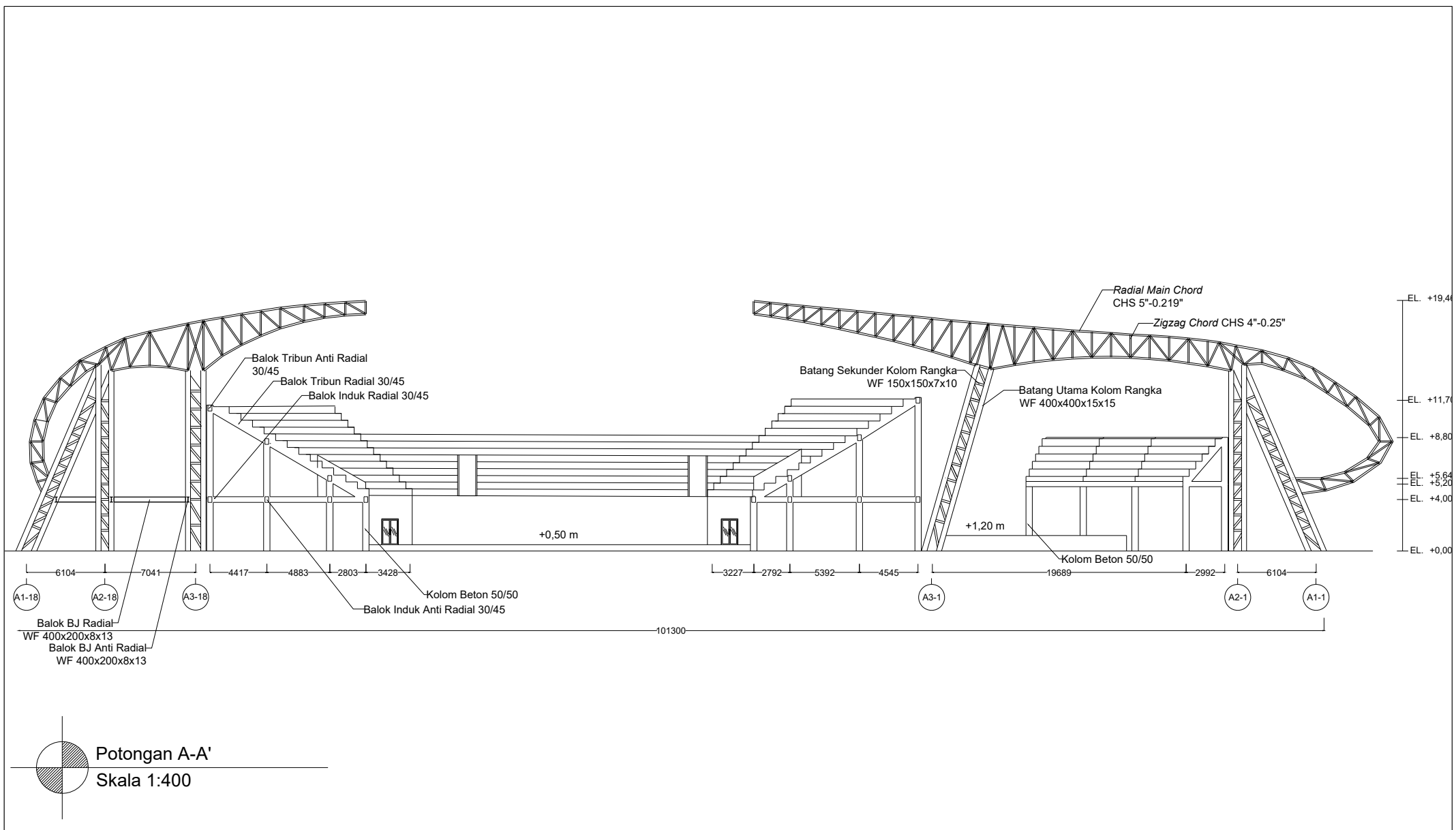
101300

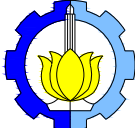
Denah Tribun
Skala 1:500

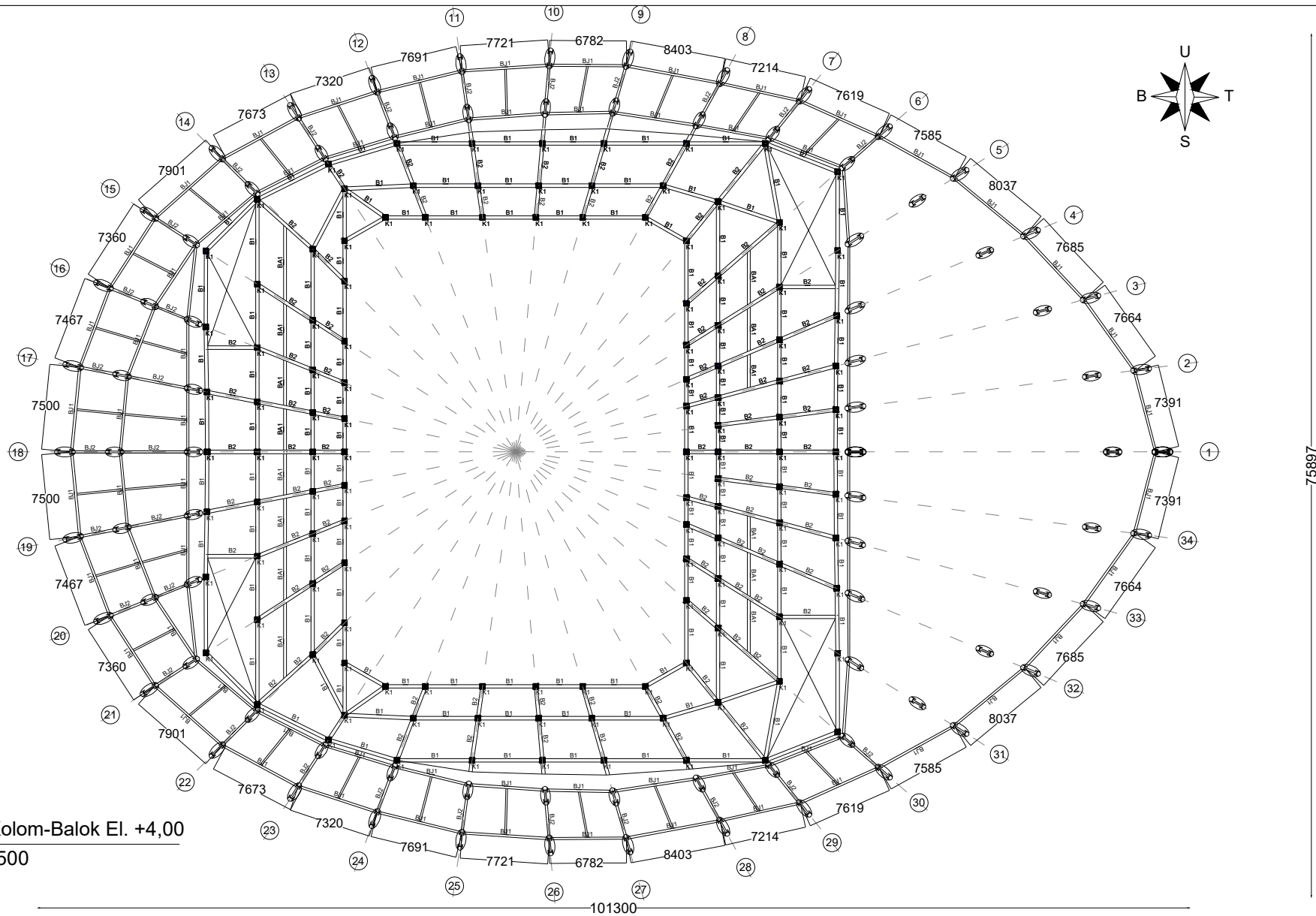



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

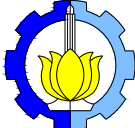
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Tribun	1:500	04	45

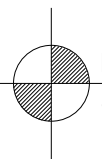
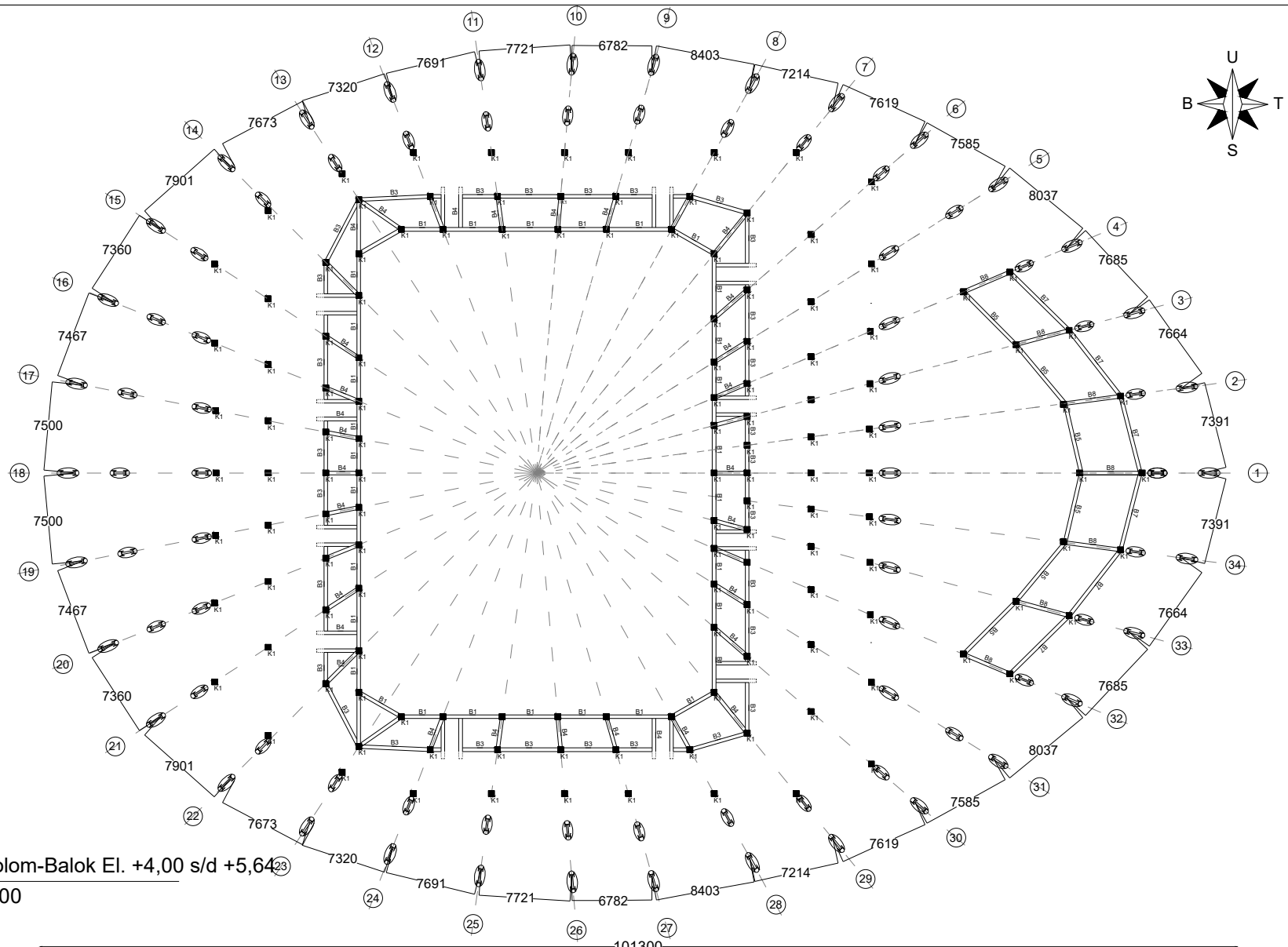


	Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
 <p> INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Departemen Teknik Sipil </p>	Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan A-A'	1:400	05	45

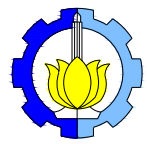



Denah Kolom-Balok El. +4,00
 Skala 1:500

	Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
 <p> INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Departemen Teknik Sipil </p>	Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Kolom Balok El. +4,00	1:500	06	45

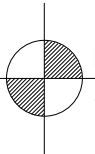
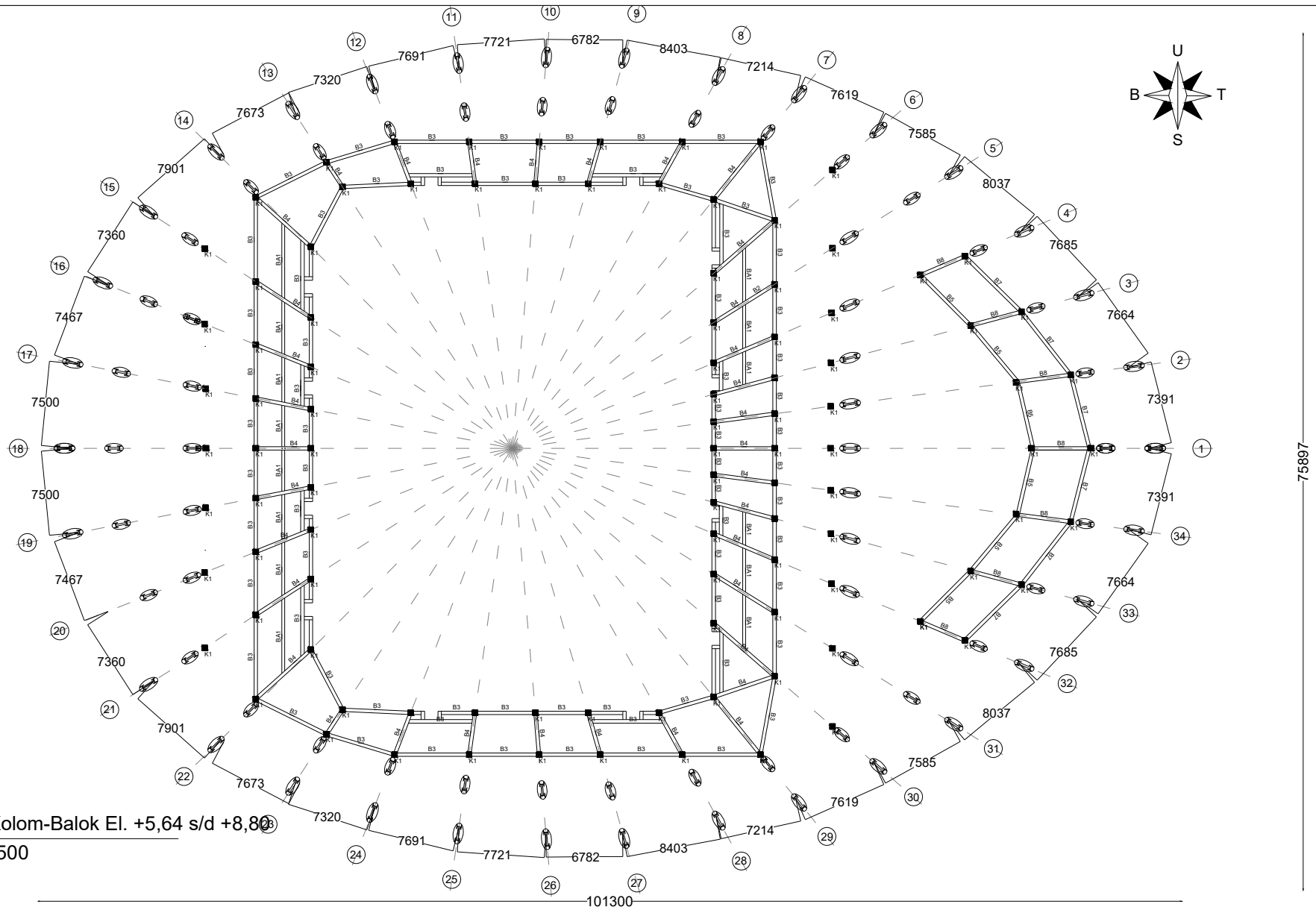


Denah Kolom-Balok El. +4,00 s/d +5,64
 Skala 1:500



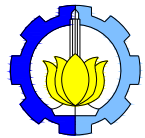
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
 dan Kebumihan
 Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Kolom Balok El. +4,00 s/d +5,64	1:500	07	45



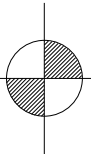
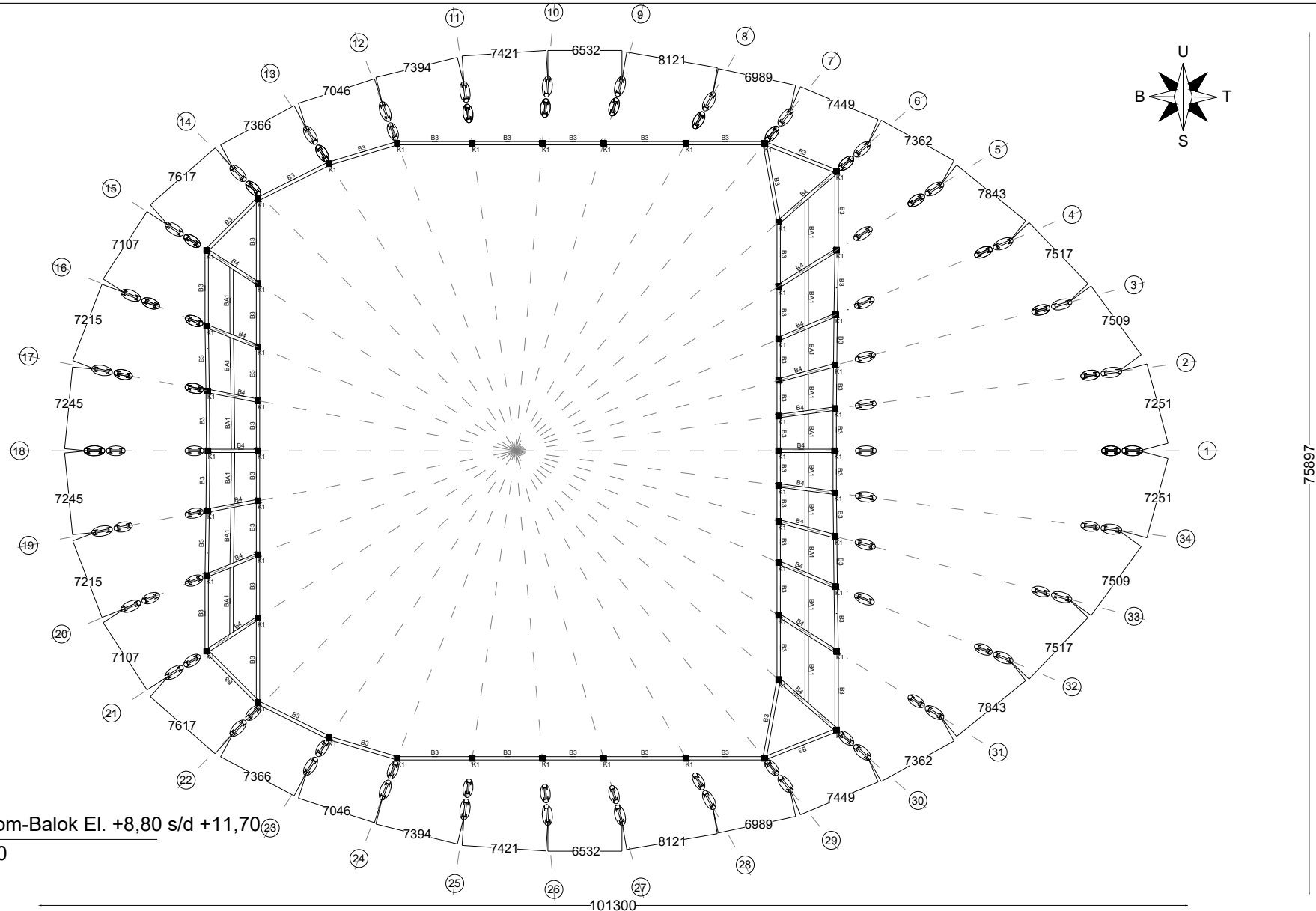
Denah Kolom-Balok El. +5,64 s/d +8,80

Skala 1:500



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

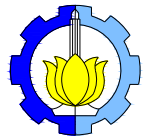
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Kolom Balok El. +5,64 s/d +8,80	1:500	08	45



Denah Kolom-Balok El. +8,80 s/d +11,70

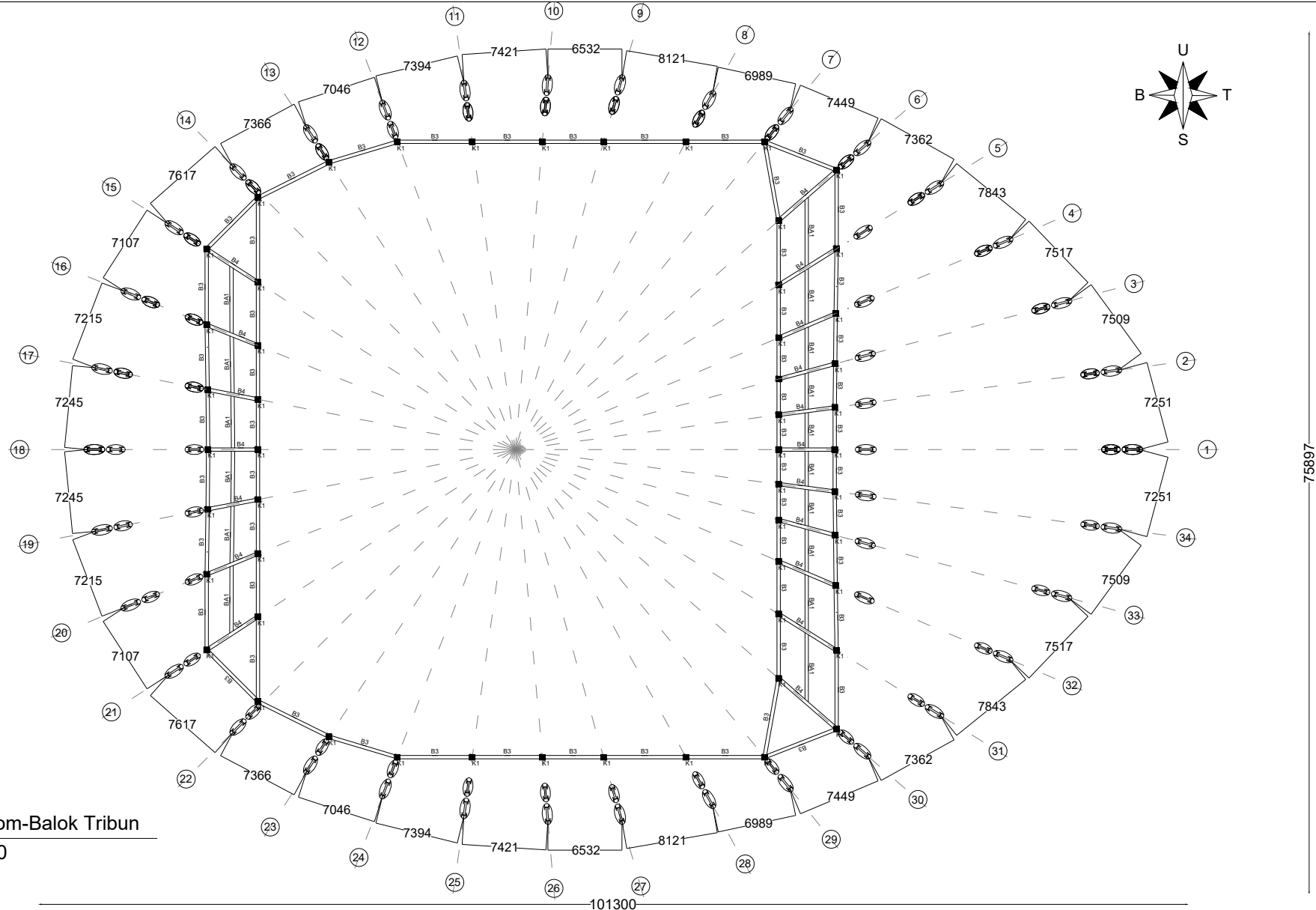
Skala 1:500


101300

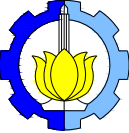


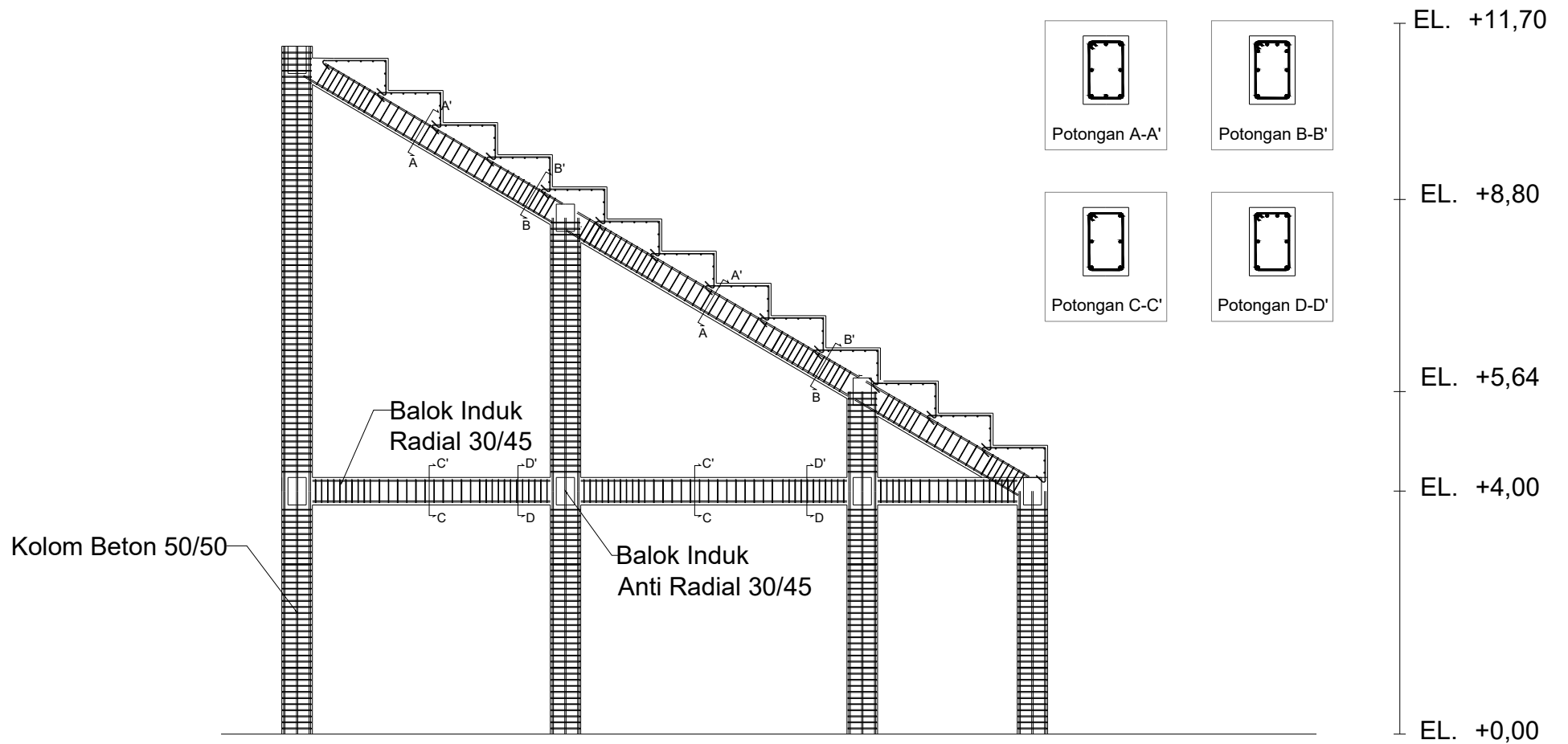
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Kolom Balok El. +8,80 s/d +11,70	1:500	09	45



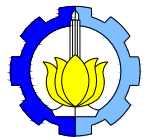

Denah Kolom-Balok Tribun
 Skala 1:500

	Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
 <p> INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Departemen Teknik Sipil </p>	Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Kolom Balok Tribun	1:500	10	45



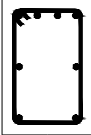
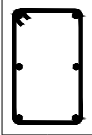
Potongan Portal As 18
Skala 1:100

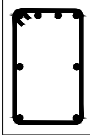
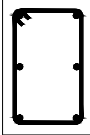
4417 4883 2800 3424

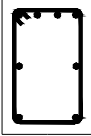
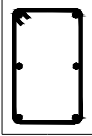


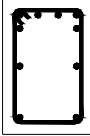
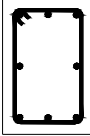
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

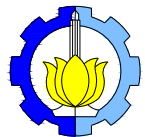
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Portal As 18	1:100	11	45

Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B1 (BI T/AR 30/45)		
Dimensi	300 x 450	300 x 450
Tulangan Atas	4-D19	2D-19
Tulangan Samping	2-D19	2D-19
Tulangan Bawah	2-D19	2D-19
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B3 (BT T/AR 30/45)		
Dimensi	300 x 450	300 x 450
Tulangan Atas	4-D22	2D-22
Tulangan Samping	2-D22	2D-22
Tulangan Bawah	2-D22	2D-22
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

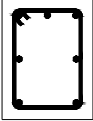
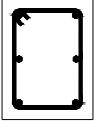
Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B2 (BI T/R 30/45)		
Dimensi	300 x 450	300 x 450
Tulangan Atas	4-D19	2D-19
Tulangan Samping	2-D19	2D-19
Tulangan Bawah	2-D19	2D-19
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

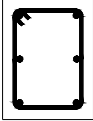
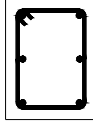
Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B4 (BT T/R 30/45)		
Dimensi	300 x 450	300 x 450
Tulangan Atas	6-D22	3D-22
Tulangan Samping	2-D22	2D-22
Tulangan Bawah	3-D22	3D-22
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

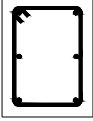
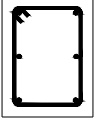


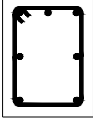
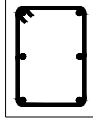
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

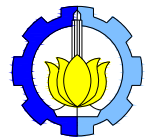
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Tulangan Balok	1:25	12	45

Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B5 (BI C/AR 30/40)		
Dimensi	300 x 400	300 x 400
Tulangan Atas	3-D19	2D-19
Tulangan Samping	2-D19	2D-19
Tulangan Bawah	2-D19	2D-19
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B7 (BT C/AR 30/40)		
Dimensi	300 x 400	300 x 400
Tulangan Atas	2-D19	2D-19
Tulangan Samping	2-D19	2D-19
Tulangan Bawah	2-D19	2D-19
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

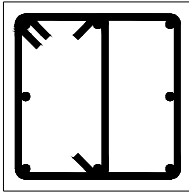
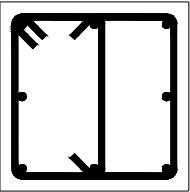
Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B6 (BI C/R 30/40)		
Dimensi	300 x 400	300 x 400
Tulangan Atas	2-D13	2D-13
Tulangan Samping	2-D13	2D-13
Tulangan Bawah	2-D13	2D-13
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

Tipe Balok	Tumpuan	Lapangan
B8 (BT C/R 30/40)		
Dimensi	300 x 400	300 x 400
Tulangan Atas	3-D19	2D-19
Tulangan Samping	2-D19	2D-19
Tulangan Bawah	2-D19	2D-19
Sengkang	D10-100 mm	D10-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

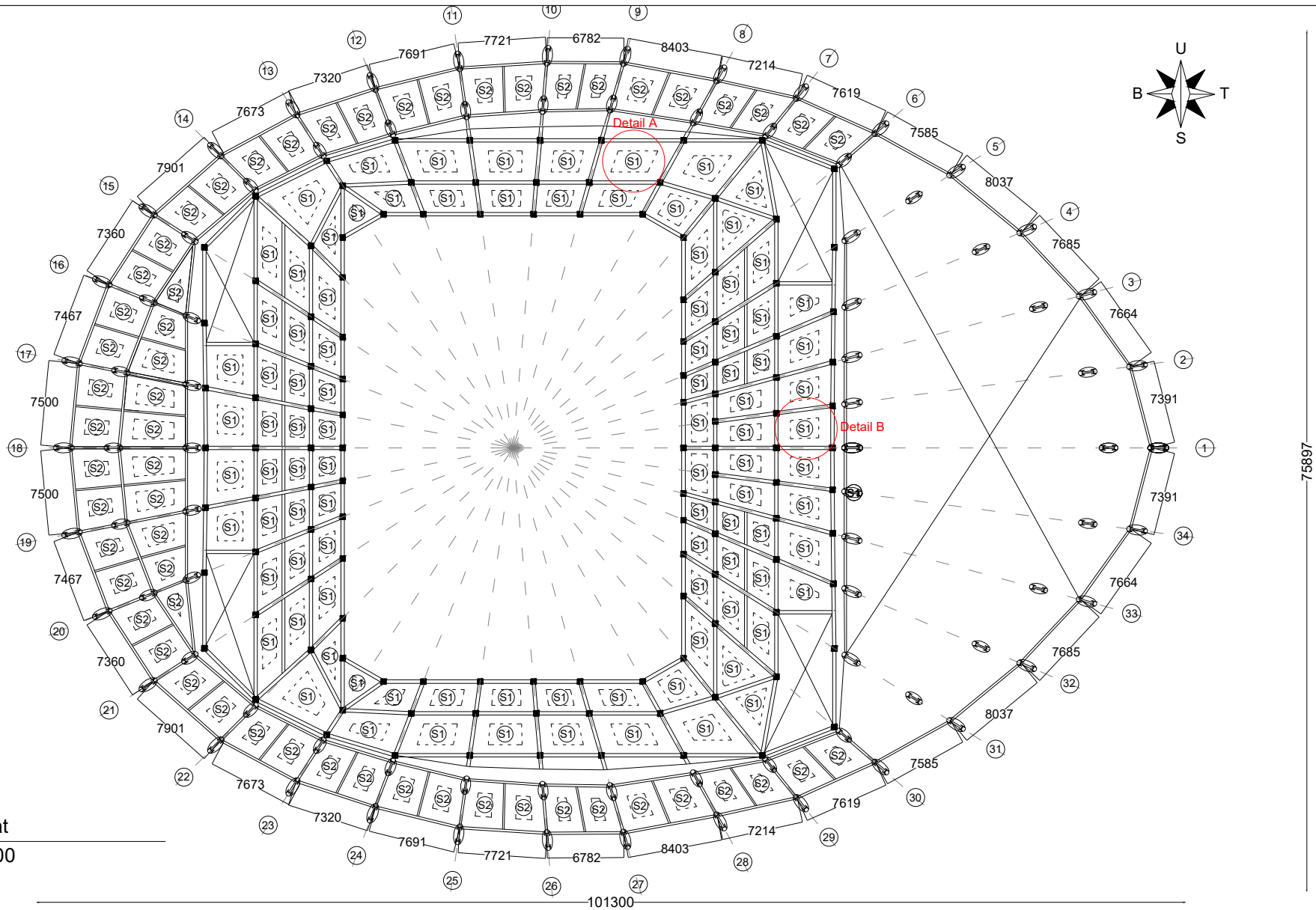
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Tulangan Balok	1:25	13	45

Tipe Kolom	Tumpuan	Lapangan
K1		
Dimensi	500 x 500	500 x 500
Tulangan Utama	8-D22	8-D22
Sengkang	D16-100 mm	D16-150 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

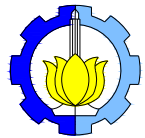


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Tulangan Kolom	1:20	14	45

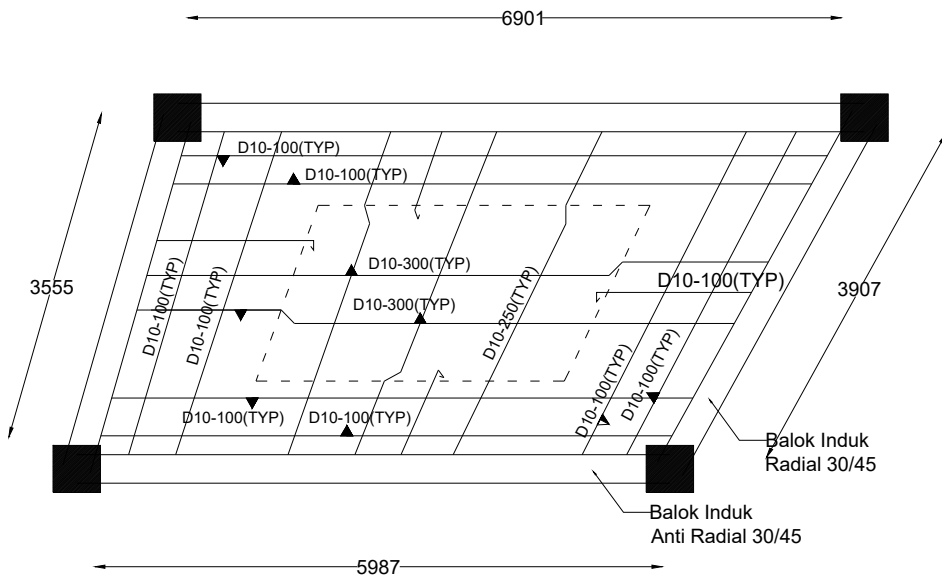



 Denah Plat
 Skala 1:100

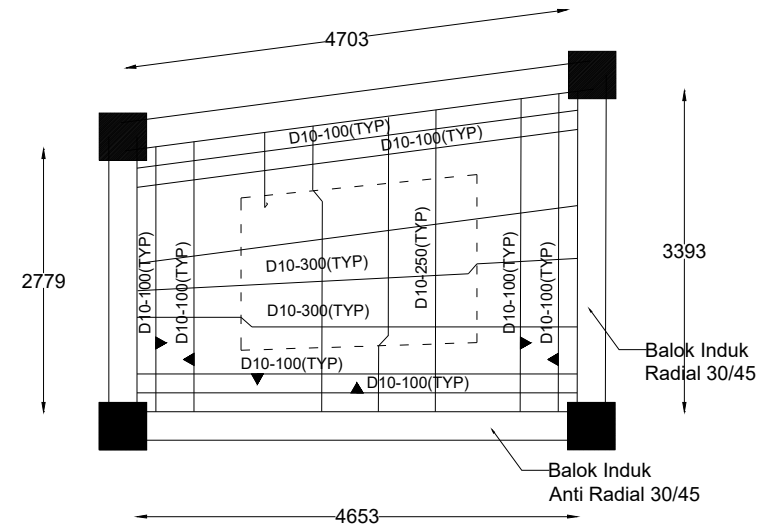


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
 dan Kebumihan
 Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Denah Plat	1:100	15	45



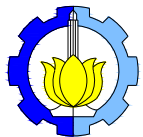
Detail A
Skala 1:80



Detail B
Skala 1:80

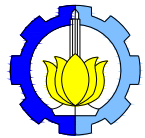
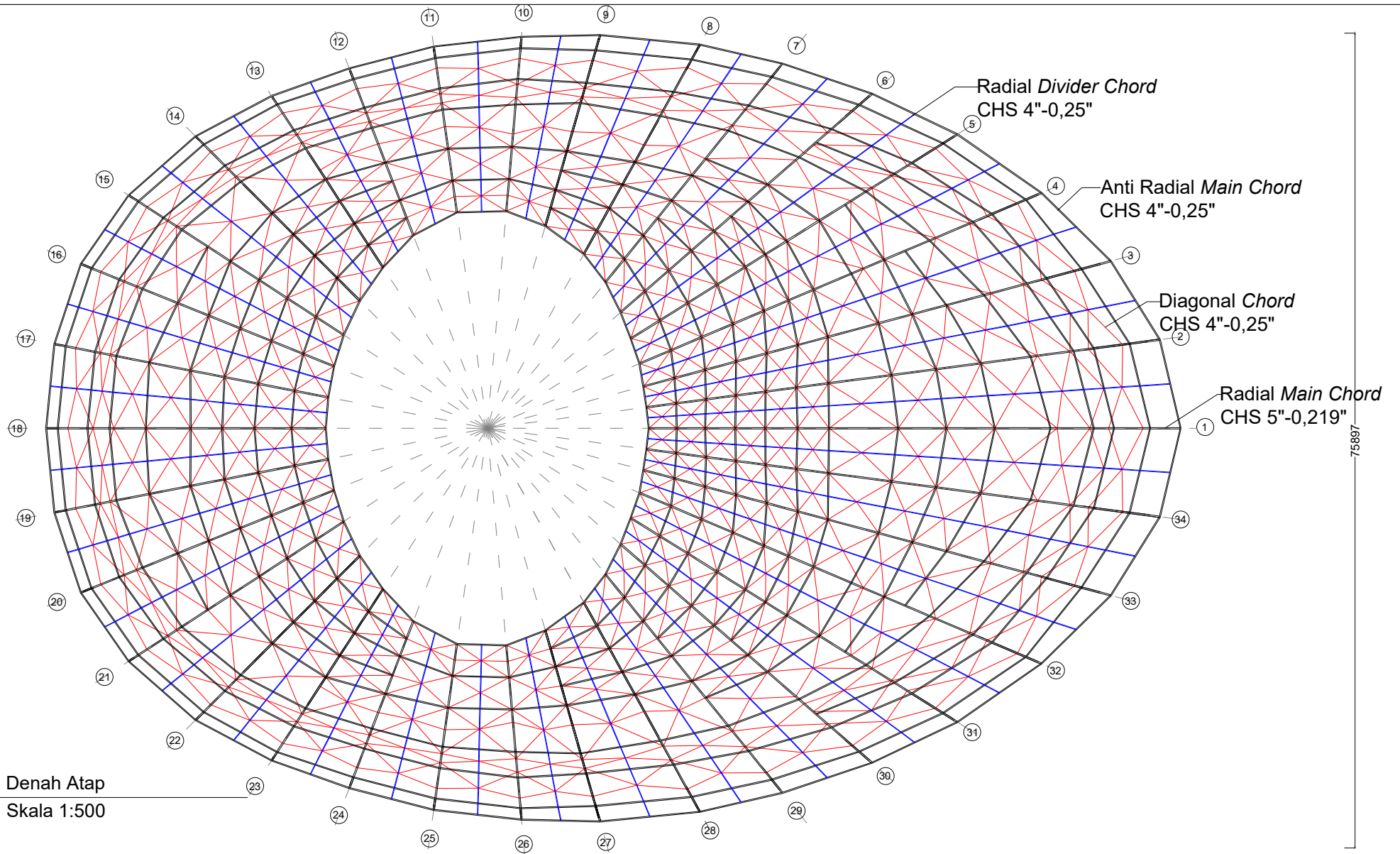
PLAT S1	Tumpuan	Lapangan
Tebal	140 mm	
Tebal Cover	20 mm	
Tulangan Arah X	D10-100 mm	D10-100 mm
Tulangan Arah Y	D10-250 mm	D10-300 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa

PLAT S2	Tumpuan	Lapangan
Tebal	90 mm	
Tebal Cover	20 mm	
Tulangan Arah X	D10-150 mm	D10-150 mm
Tulangan Arah Y	D10-250 mm	D10-350 mm
Mutu Beton	35 MPa	35 MPa



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

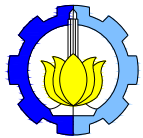
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Detail Tulangan Plat	1:80	16	45



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

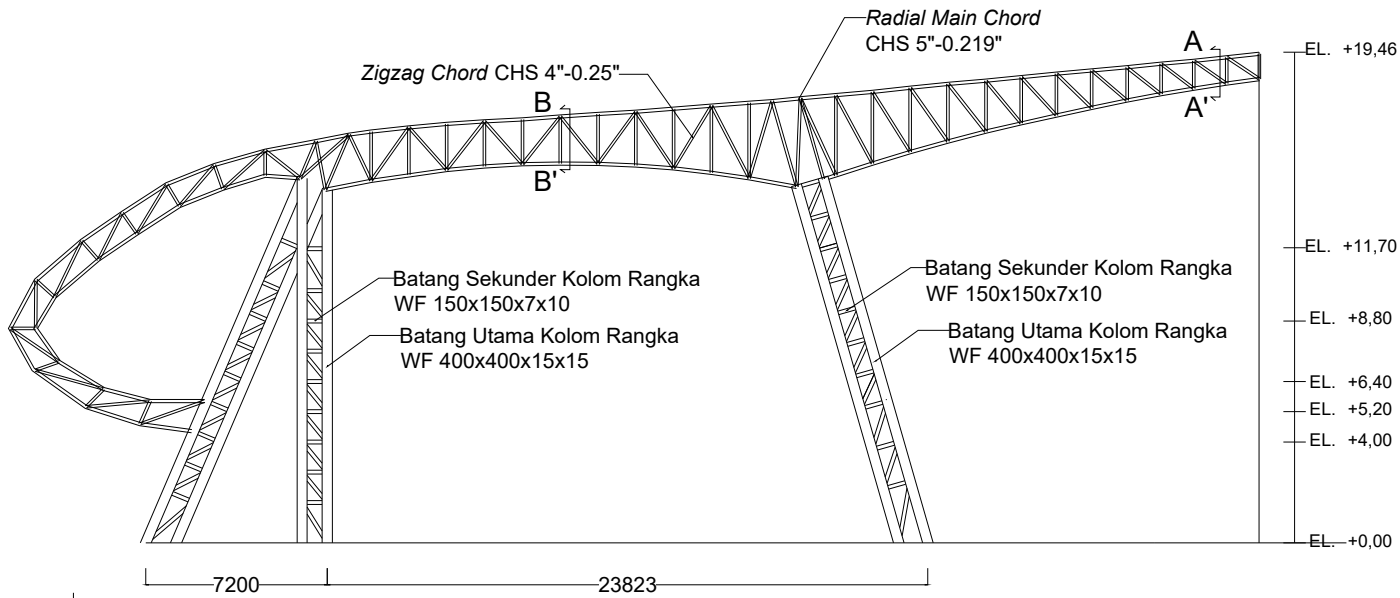
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Herrera (3114100051)	Denah Atap	1:500	17	45

1. Radial Main Chord : CHS 5"-0,219"
2. Zigzag Chord : CHS 4"-0,25"
3. Diagonal Chord : CHS 4"-0,25"
4. Anti Radial Main Chord : CHS 4"-0,25"
5. Radial Divider Chord : CHS 4"-0,25"
6. Gording : CHS 3"-0,216"
7. Penggantung Gording : Roundbar 10 mm
8. Ikatan Angin : Roundbar 19 mm

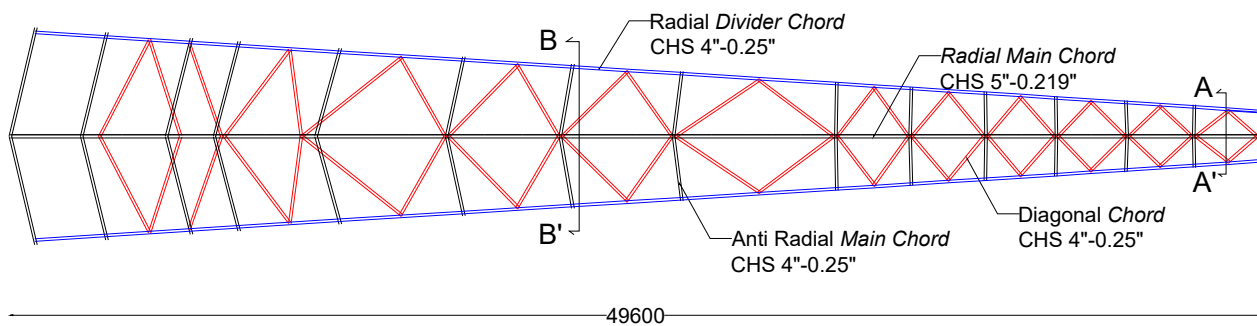


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
 dan Kebumihan
 Departemen Teknik Sipil

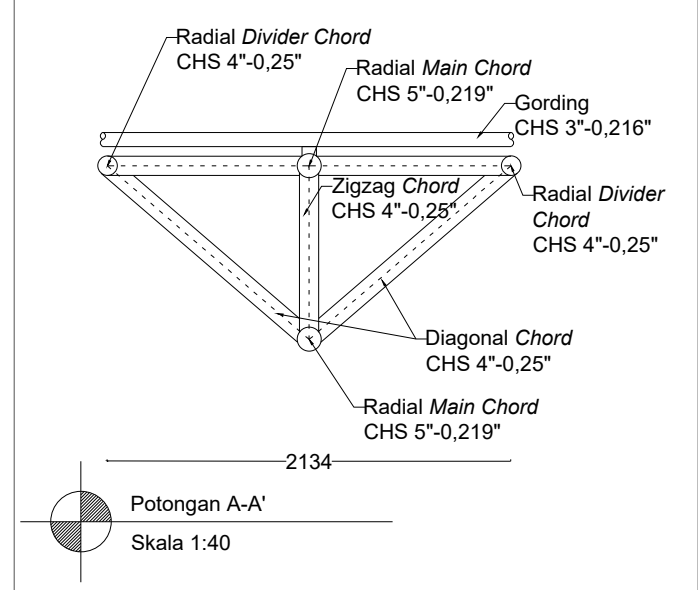
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST., MT., Ph.D Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Profil Atap	1:1	18	45



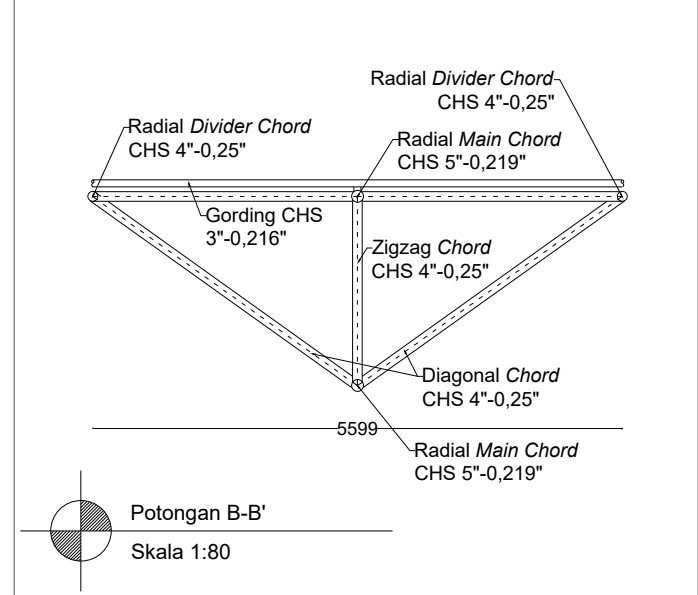
Potongan Rangka Grid 1
Skala 1:300



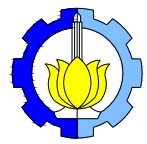
Tampak Atas Potongan Rangka Grid 1
Skala 1:300



Potongan A-A'
Skala 1:40

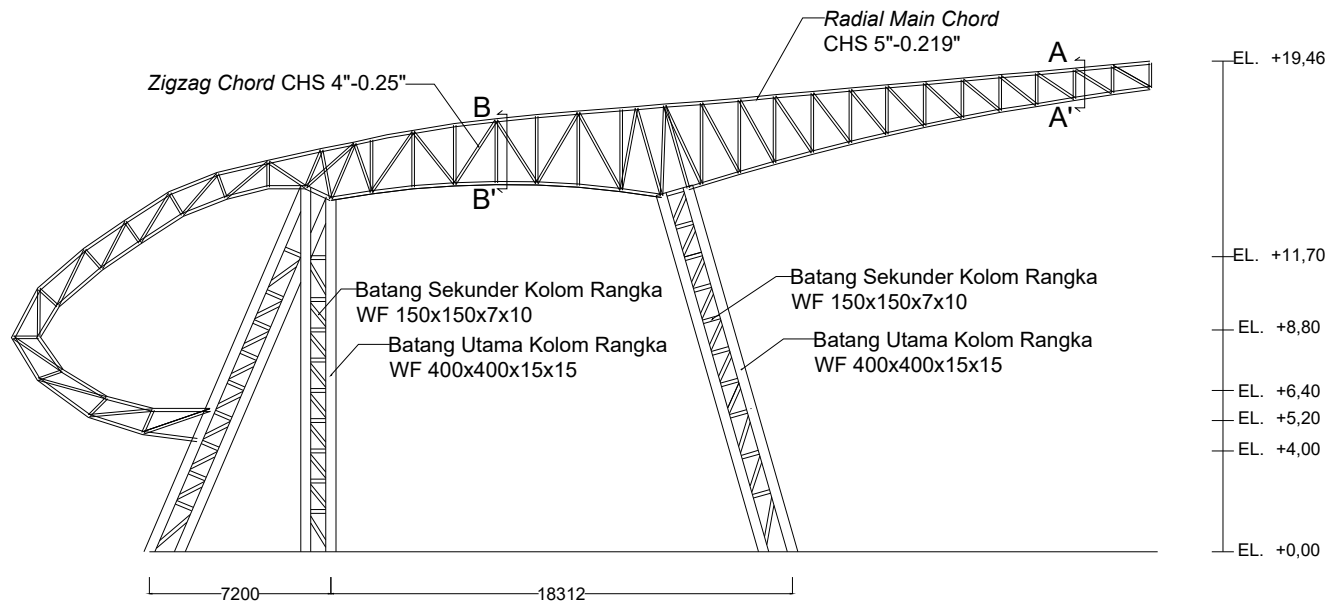


Potongan B-B'
Skala 1:80

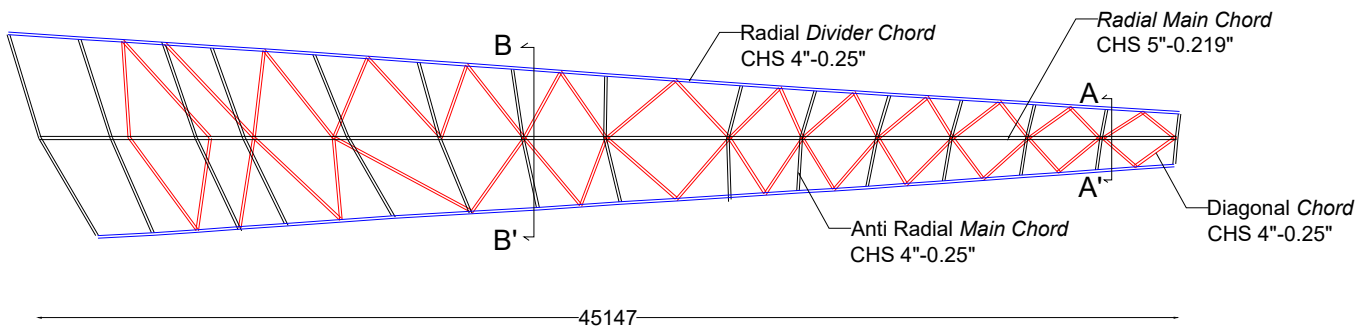


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

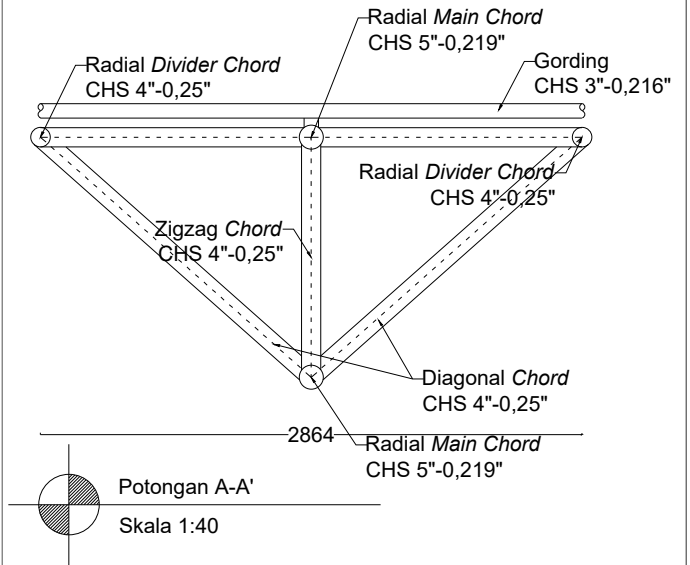
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 1	1:300, 1:40, 1:80	19	45



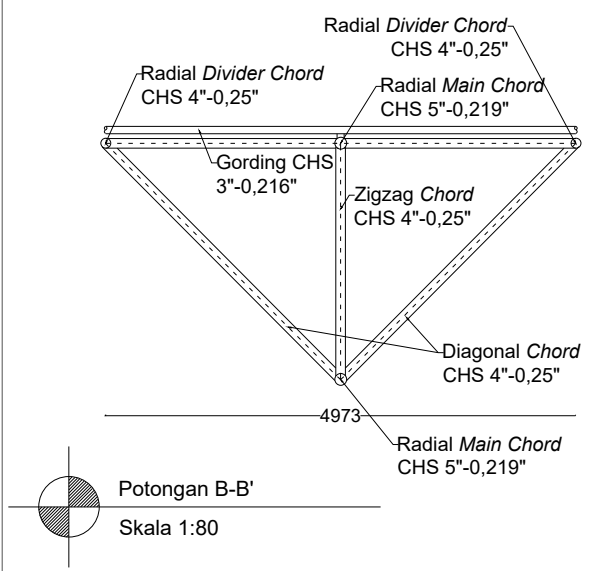
Potongan Rangka Grid 2 & 34
Skala 1:300



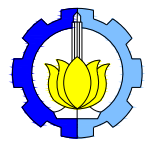
Tampak Atas Potongan Rangka Grid 2 & 34
Skala 1:300



Potongan A-A
Skala 1:40

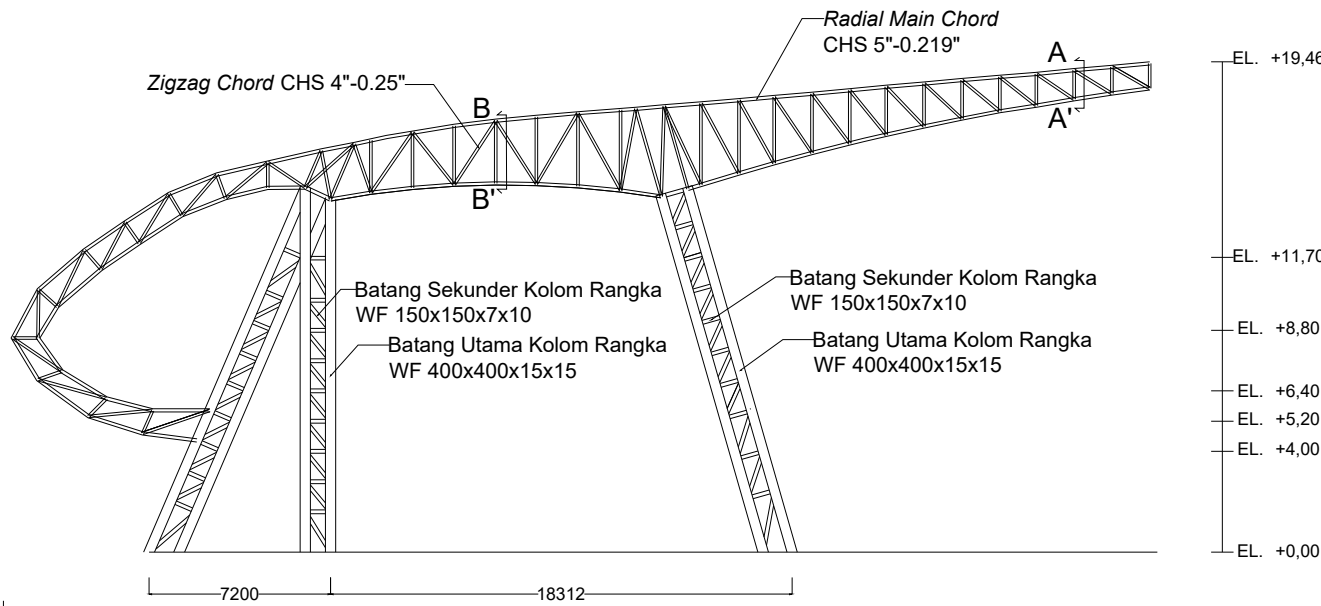


Potongan B-B
Skala 1:80

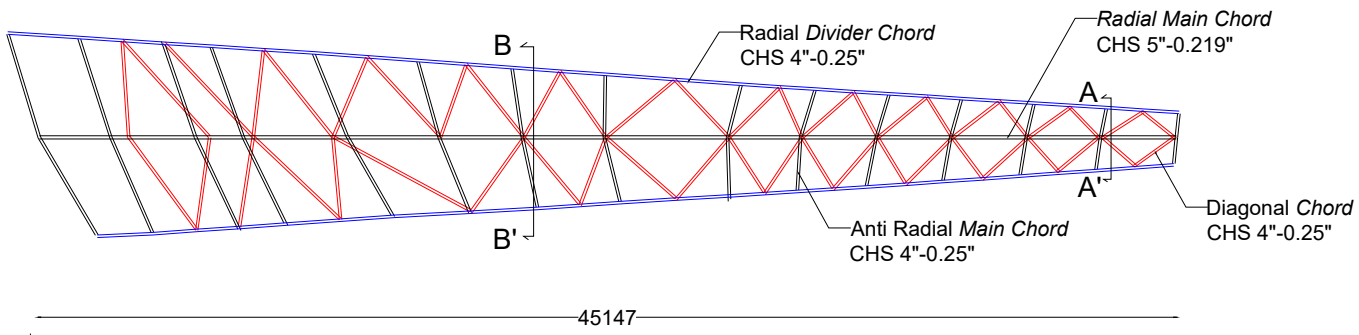


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

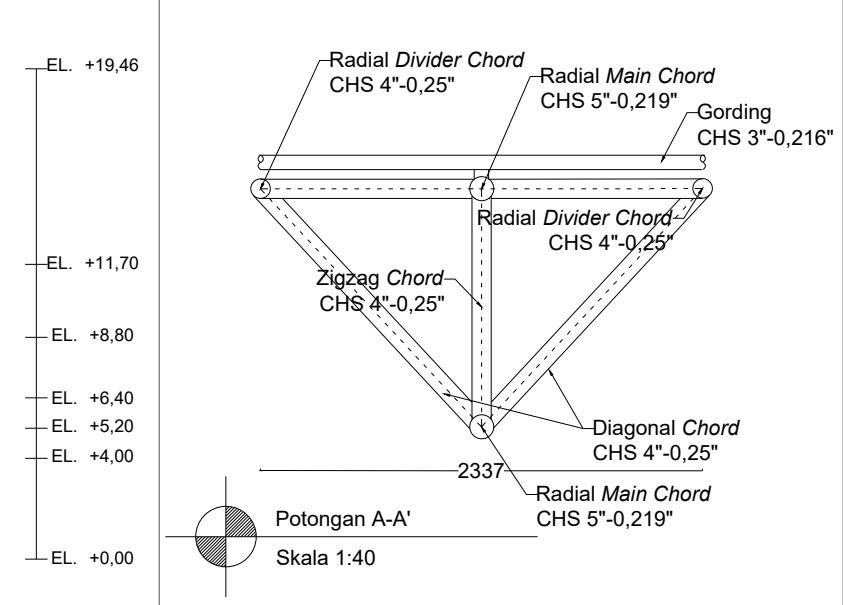
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 2 & 34	1:300, 1:40, 1:80	20	45



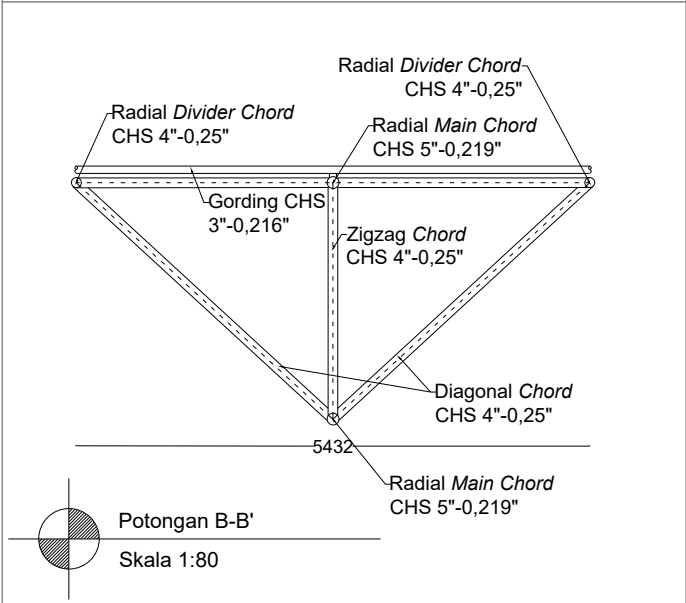
Potongan Rangka Grid 3 & 33
Skala 1:300



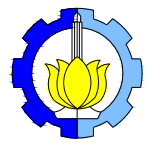
Tampak Atas Potongan Rangka Grid 3 & 33
Skala 1:300



Potongan A-A
Skala 1:40

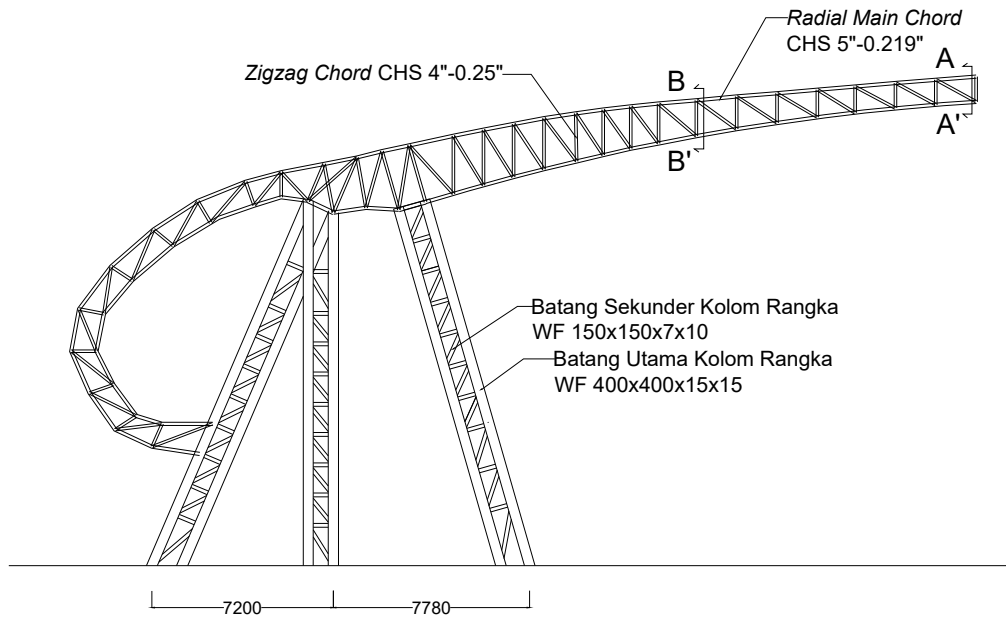


Potongan B-B
Skala 1:80

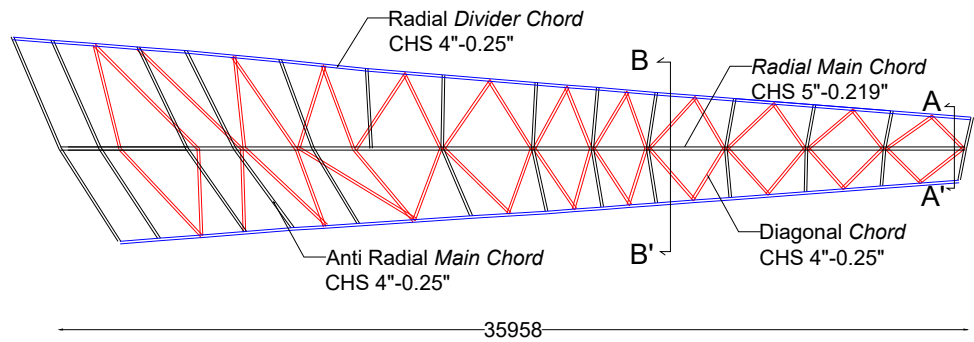


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

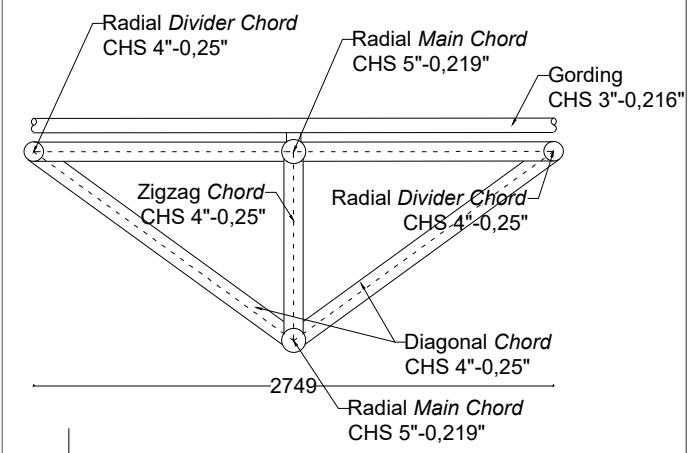
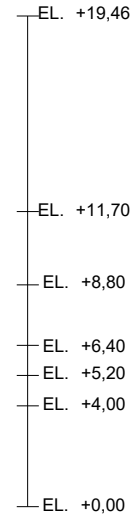
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 3 & 33	1:300, 1:40, 1:80	21	45



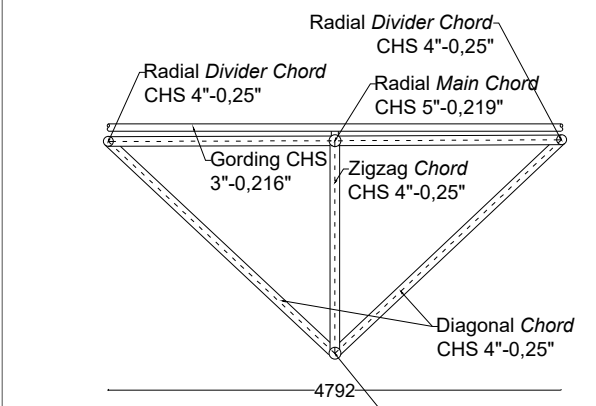
Potongan Rangka Grid 4 & 32
Skala 1:300



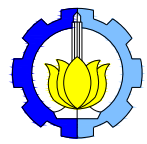
Tampak Atas Potongan Rangka Grid 4 & 32
Skala 1:300



Potongan A-A'
Skala 1:40

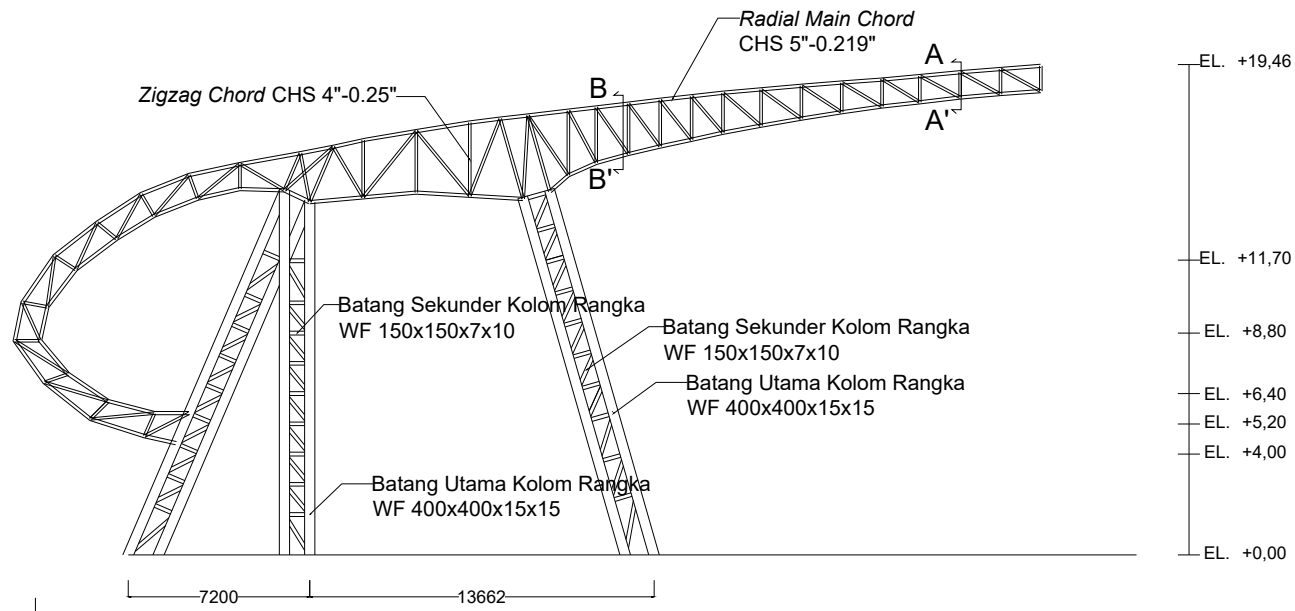


Potongan B-B'
Skala 1:80

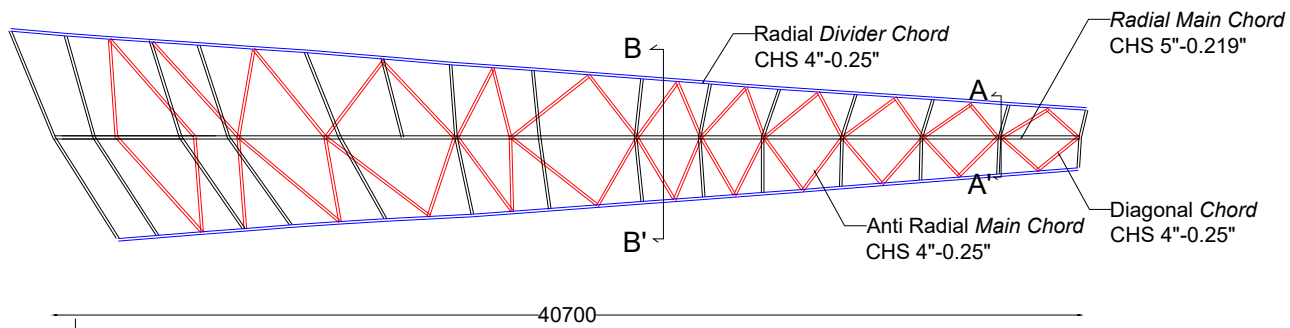


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

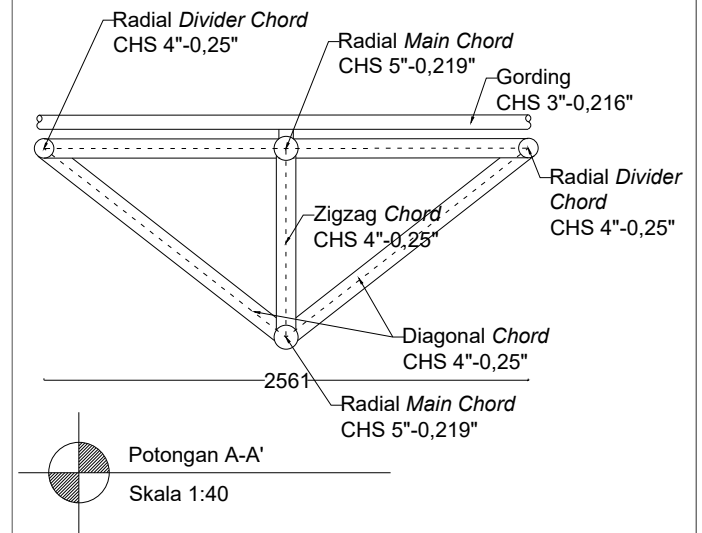
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 4 & 32	1:300, 1:40, 1:80	22	45



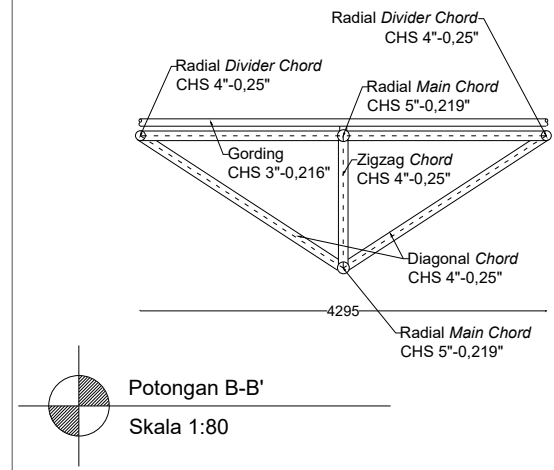
Potongan Rangka Grid 5 & 31
Skala 1:300



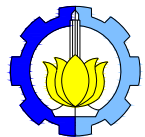
Tampak Atas Potongan Rangka Grid 5 & 31
Skala 1:300



Potongan A-A
Skala 1:40

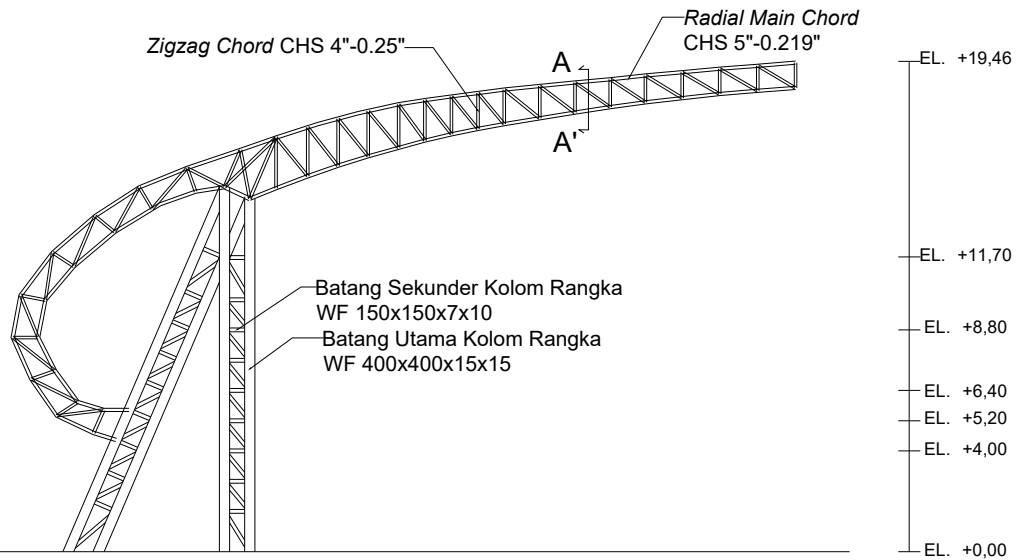


Potongan B-B
Skala 1:80

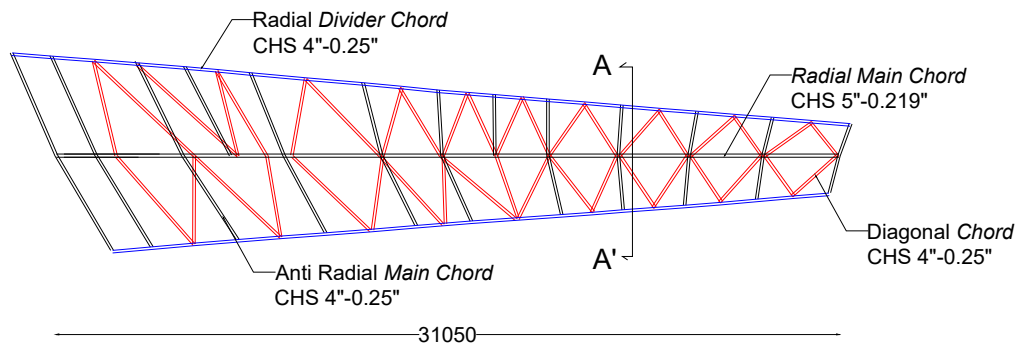


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

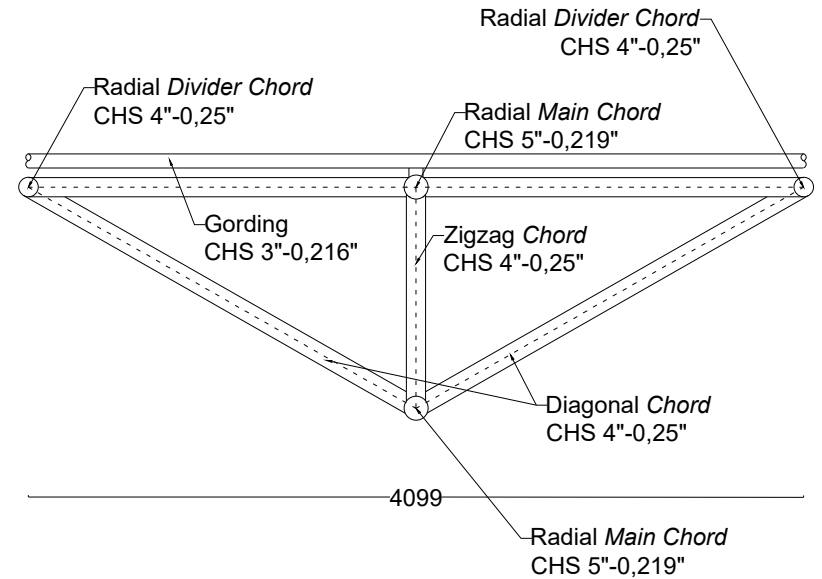
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 5 & 31	1:300, 1:40, 1:80	23	45



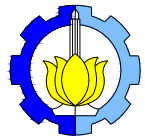
Potongan Rangka Grid 6 & 30
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 6 & 30
Skala 1:300

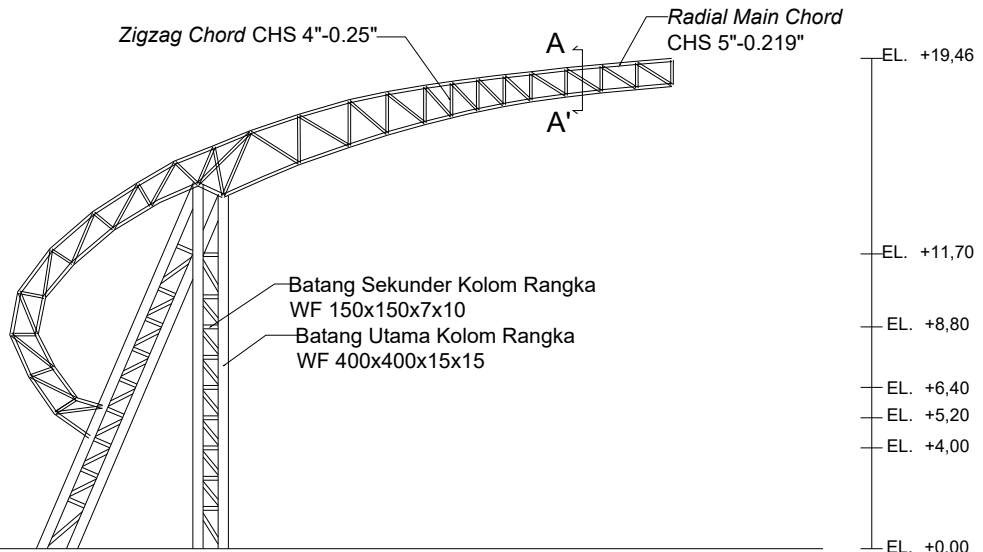


Potongan A-A'
Skala 1:40

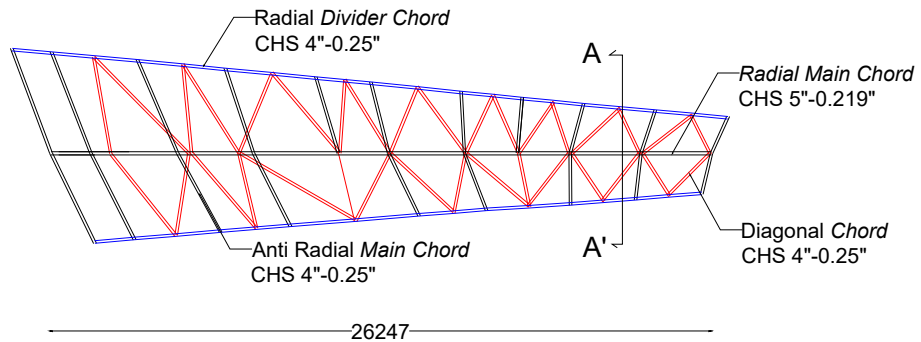


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

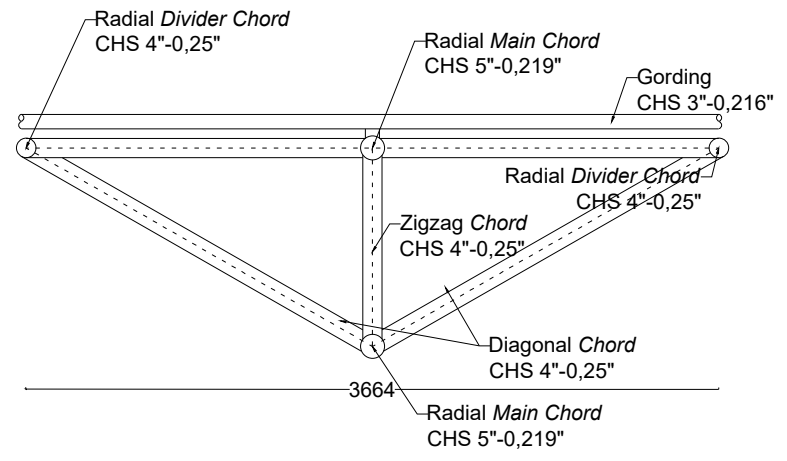
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 6 & 30	1:300 dan 1:40	24	45



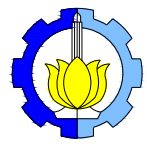
7200
Potongan Rangka Grid 7 & 29
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 7 & 29
Skala 1:300

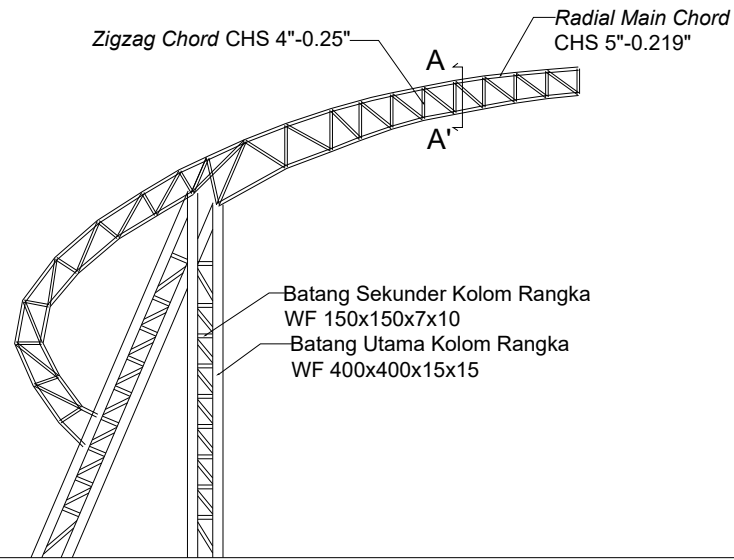


Potongan A-A'
Skala 1:40



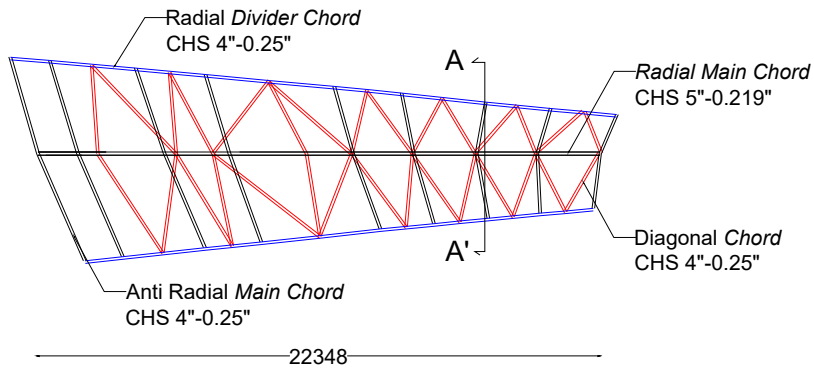
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 7 & 29	1:300 dan 1:40	25	45

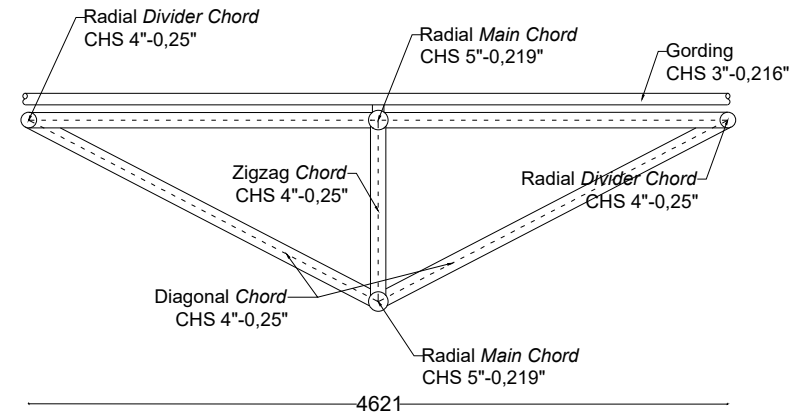


EL. +19,46
 EL. +11,70
 EL. +8,80
 EL. +6,40
 EL. +5,20
 EL. +4,00
 EL. +0,00

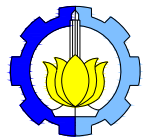
7200
 Potongan Rangka Grid 8 & 28
 Skala 1:300



22348
 Tampak Atas Potongan Rangka Grid 8 & 28
 Skala 1:300

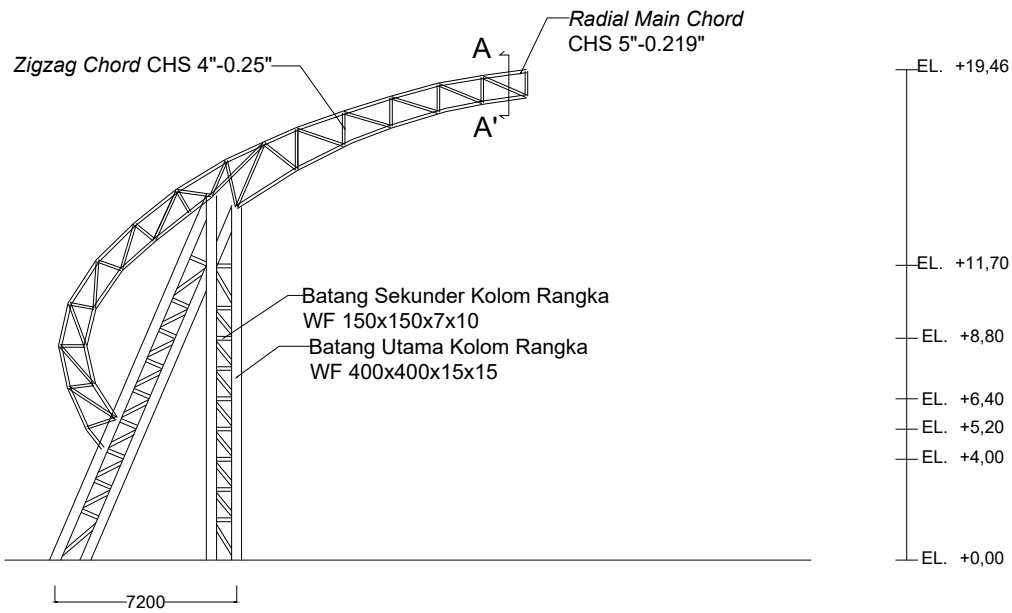


Potongan A-A'
 Skala 1:50



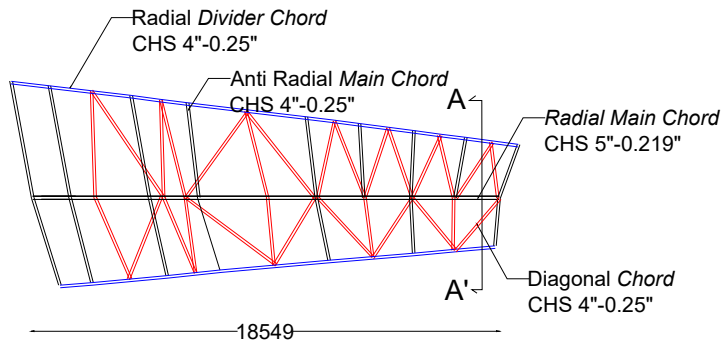
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
 dan Kebumihan
 Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 8 & 28	1:300 dan 1:50	26	45

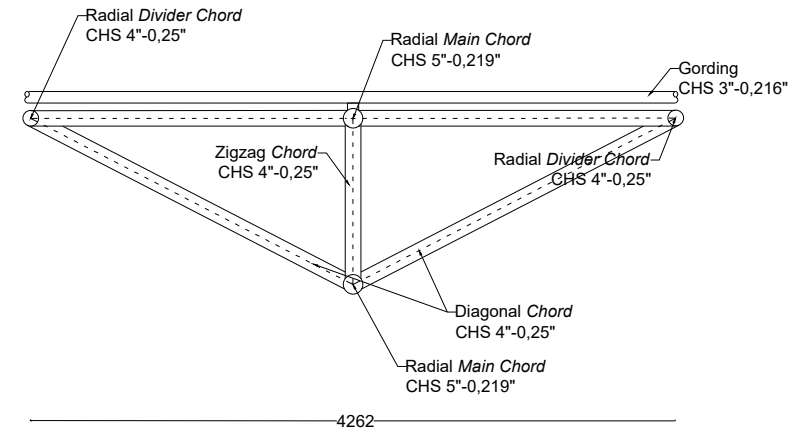


EL. +19,46
 EL. +11,70
 EL. +8,80
 EL. +6,40
 EL. +5,20
 EL. +4,00
 EL. +0,00

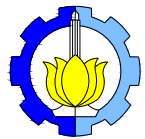
Potongan Rangka Grid 9 & 27
 Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 9 & 27
 Skala 1:300

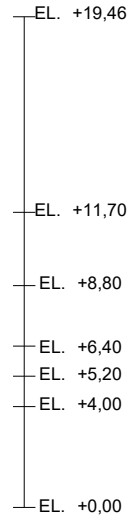
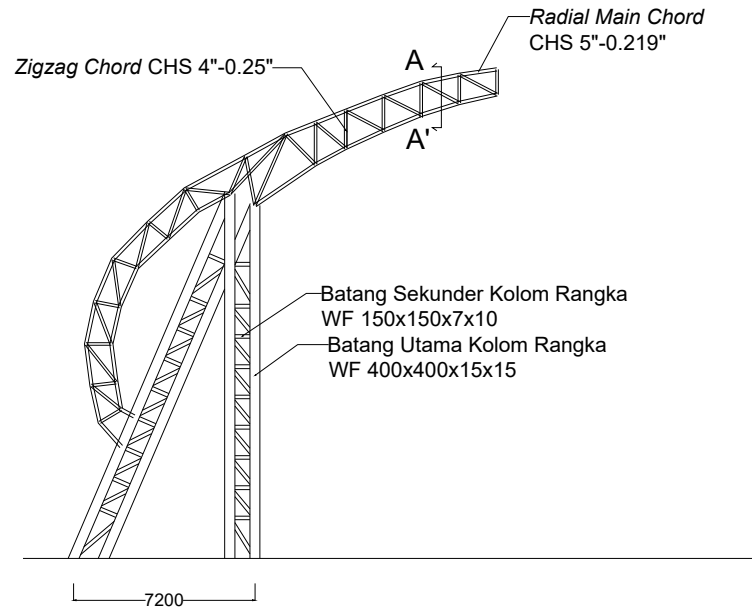


Potongan A-A'
 Skala 1:50

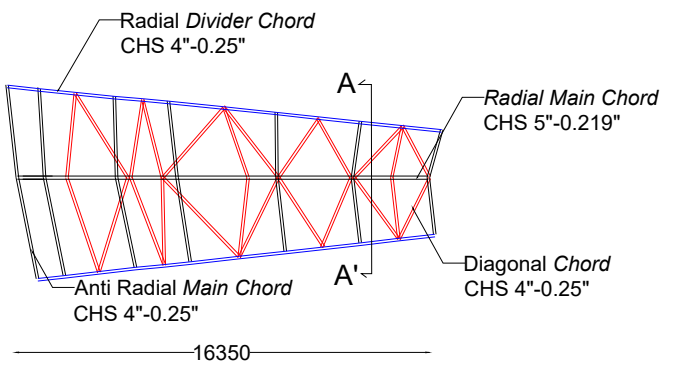


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
 dan Kebumihan
 Departemen Teknik Sipil

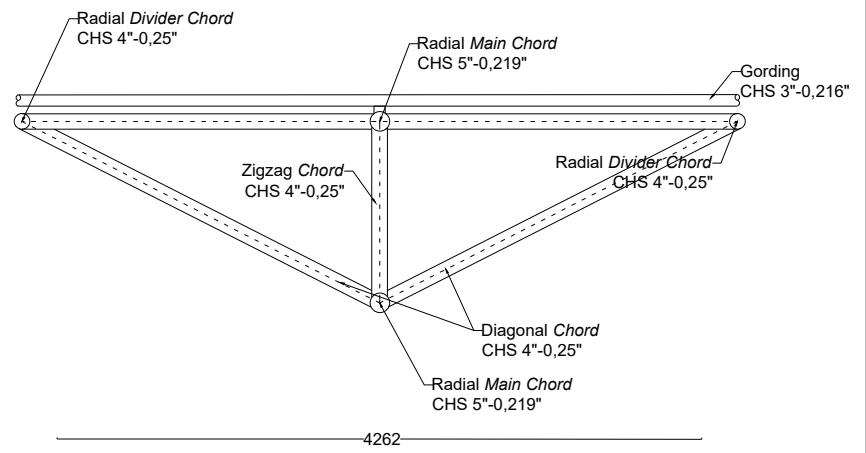
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 9 & 27	1:300 dan 1:50	27	45



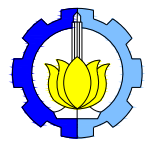
Potongan Rangka Grid 10 & 26
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 10 & 26
Skala 1:300

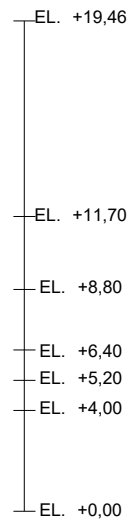
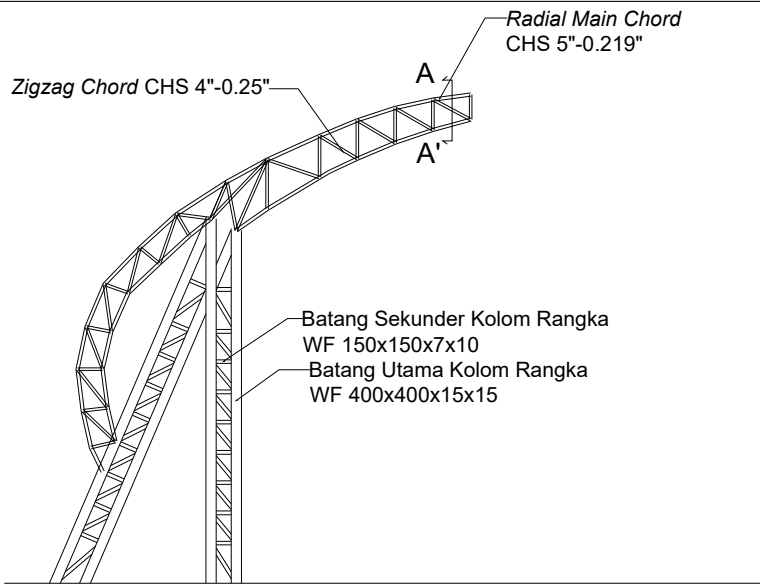


Potongan A-A'
Skala 1:50

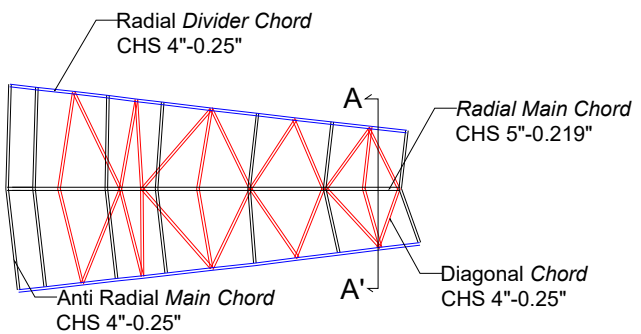


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

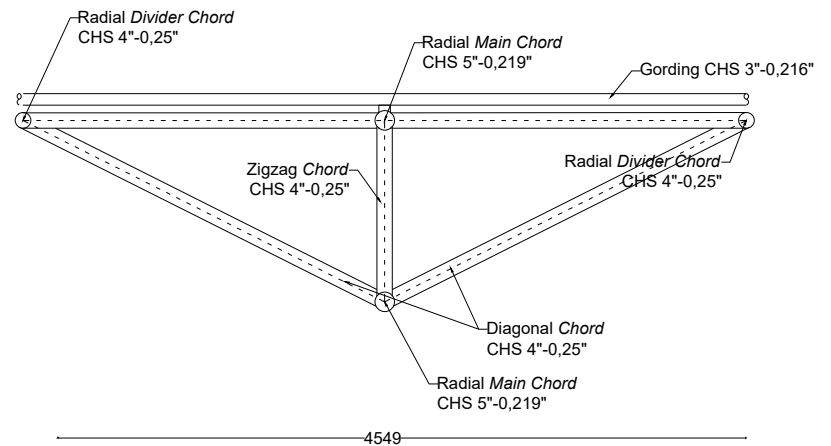
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 10 & 26	1:300 dan 1:50	28	45



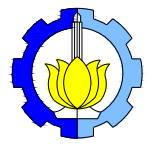
Potongan Rangka Grid 11 & 25
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 11 & 25
Skala 1:300

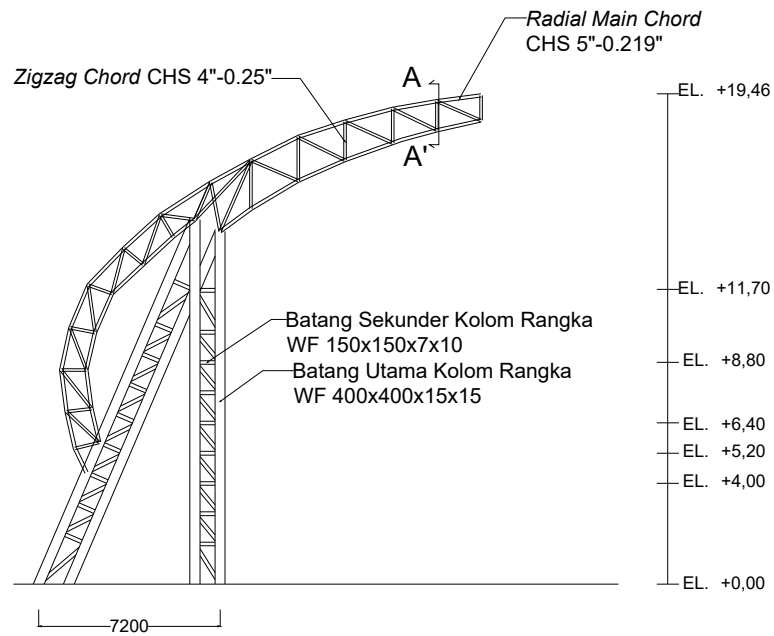


Potongan A-A'
Skala 1:50

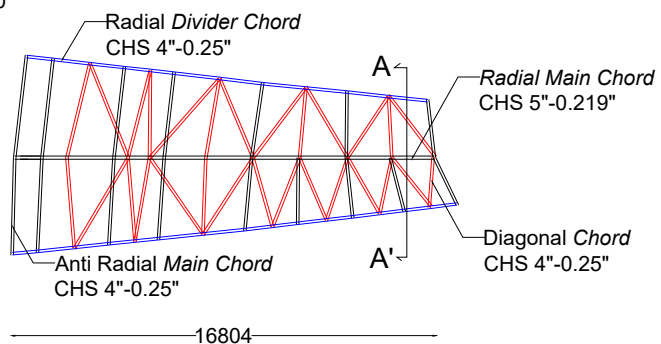


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

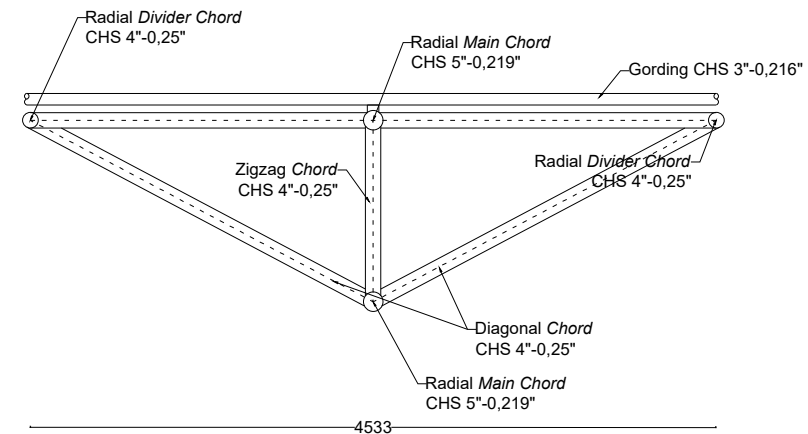
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 11 & 25	1:300 dan 1:50	29	45



Potongan Rangka Grid 12 & 24
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 12 & 24
Skala 1:300

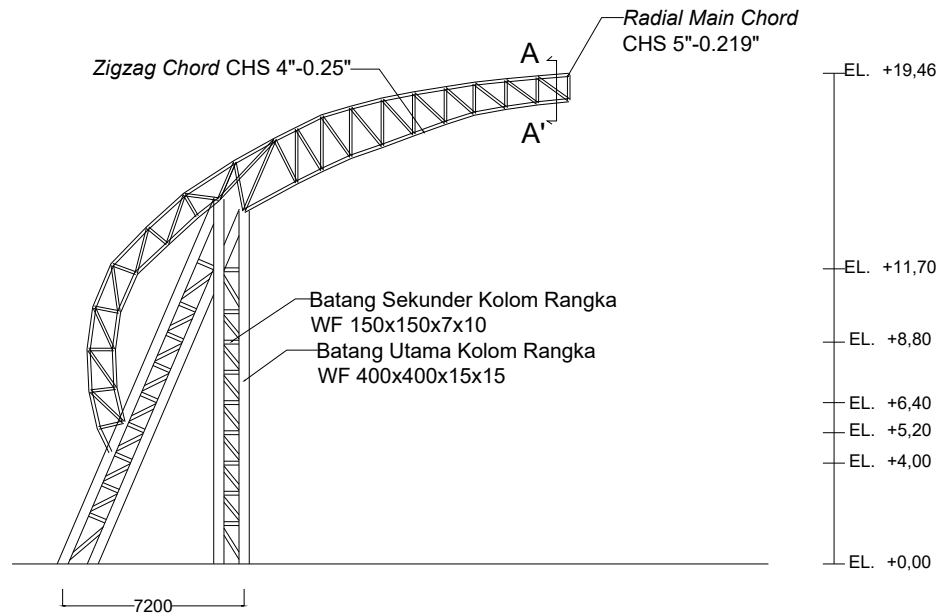


Potongan A-A'
Skala 1:50

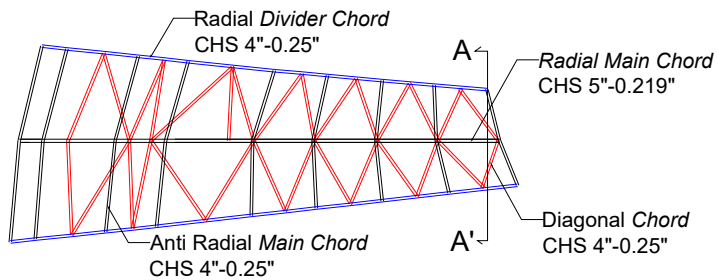


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

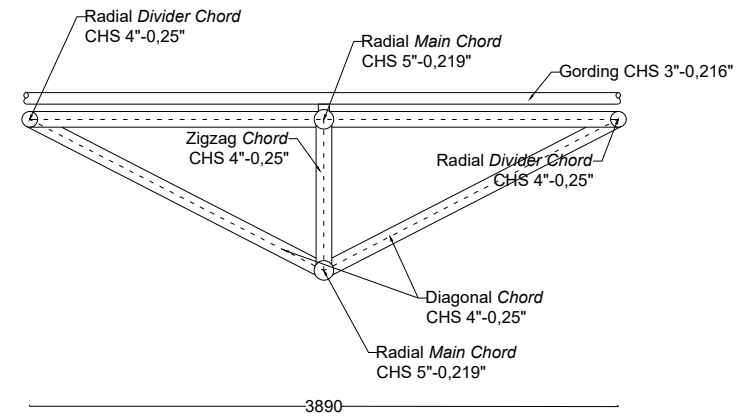
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 12 & 24	1:300 dan 1:50	30	45



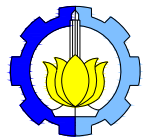
Potongan Rangka Grid 13 & 23
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 13 & 23
Skala 1:300

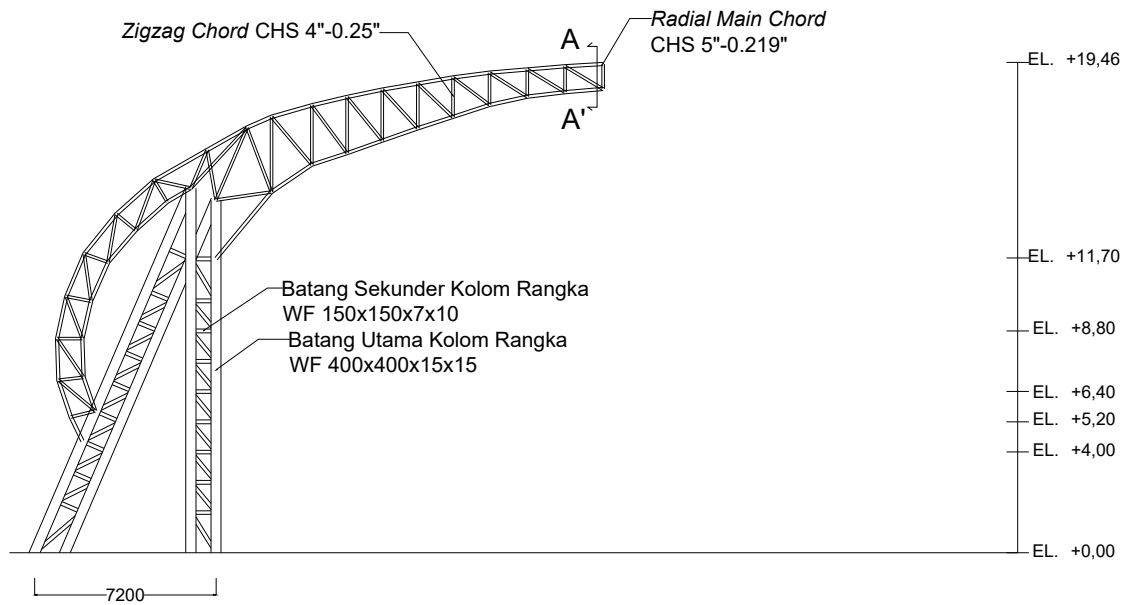


Potongan A-A'
Skala 1:50

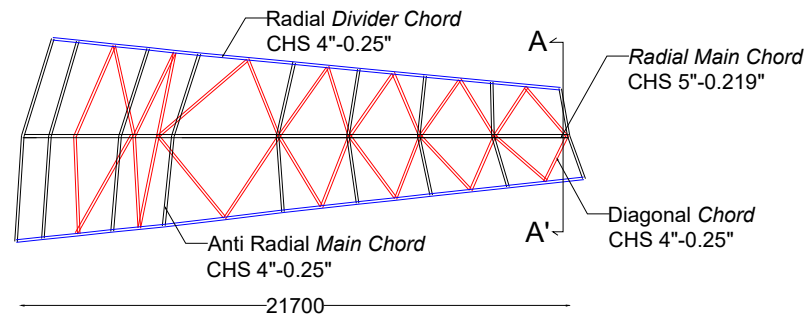


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

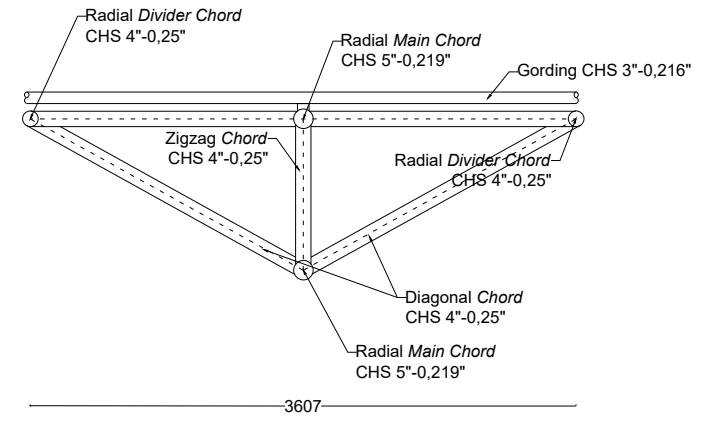
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 13 & 23	1:300 dan 1:50	31	45



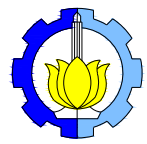
Potongan Rangka Grid 14 & 22
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 14 & 22
Skala 1:300

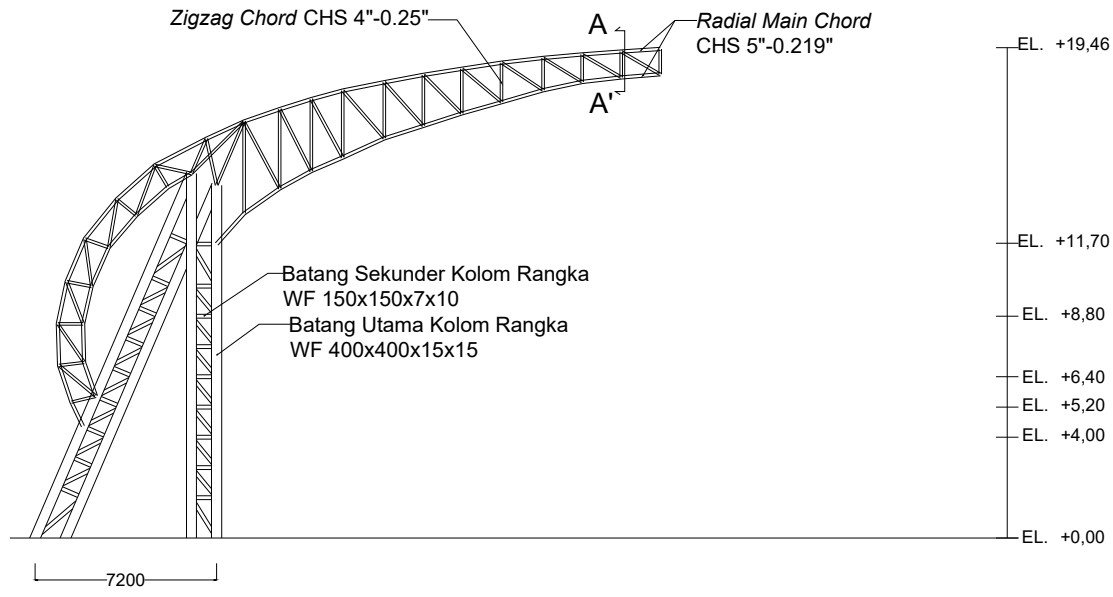


Potongan A-A'
Skala 1:50

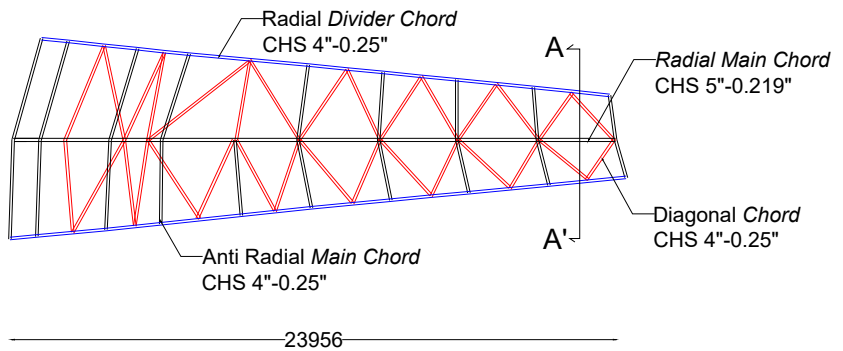


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

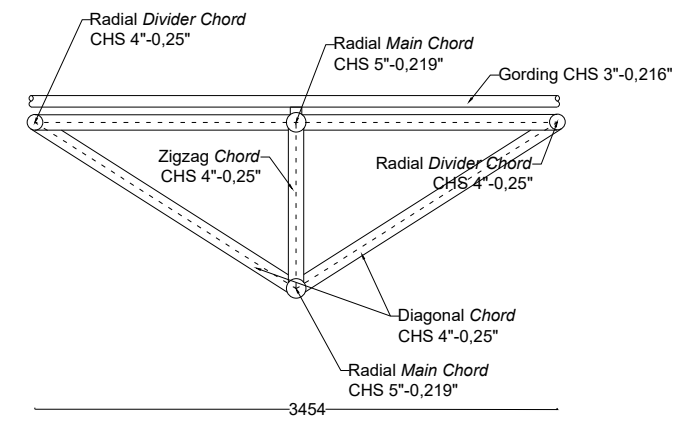
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 14 & 22	1:300 dan 1:50	32	45



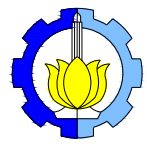
Potongan Rangka Grid 15 & 21
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 15 & 21
Skala 1:300

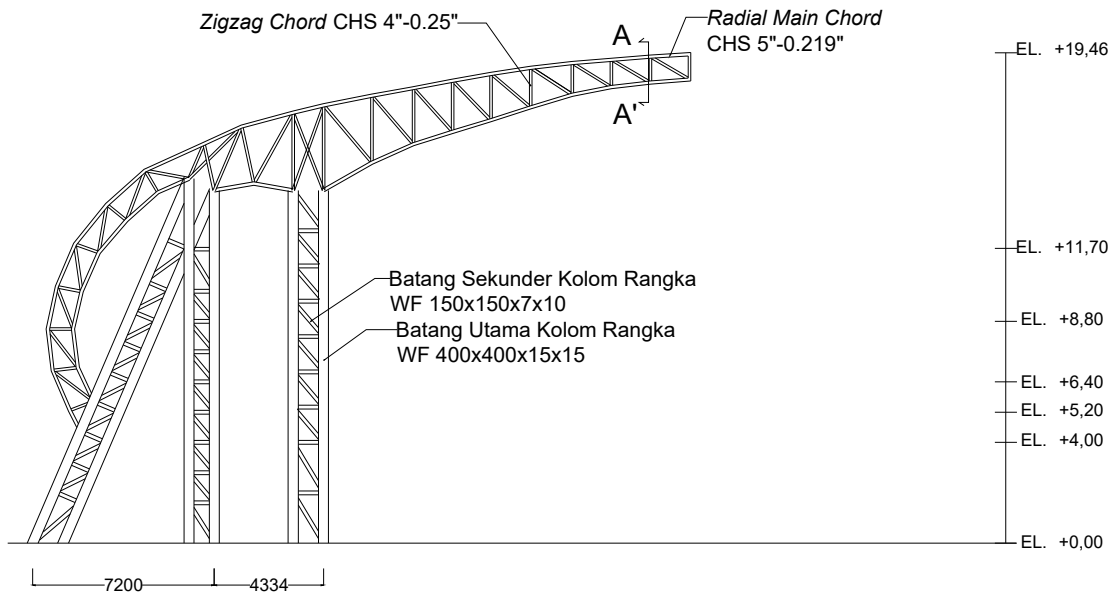


Potongan A-A'
Skala 1:50

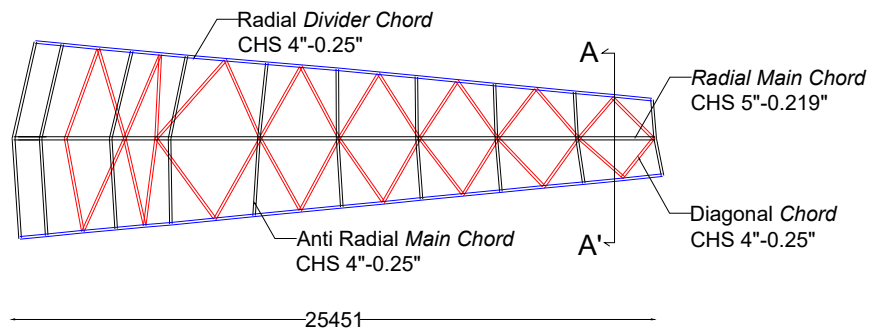


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

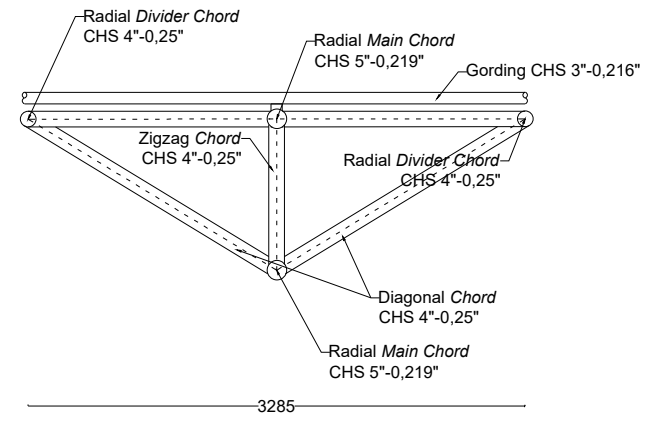
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 15 & 21	1:300 dan 1:50	33	45



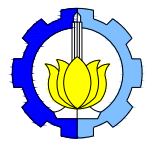
Potongan Rangka Grid 16 & 20
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 16 & 20
Skala 1:300

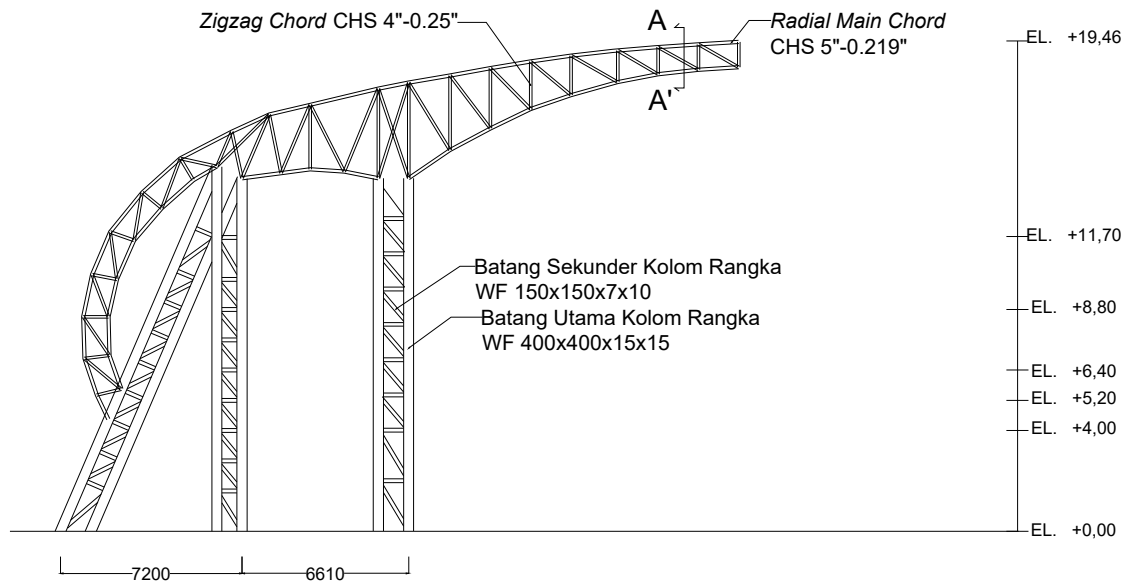


Potongan A-A'
Skala 1:50

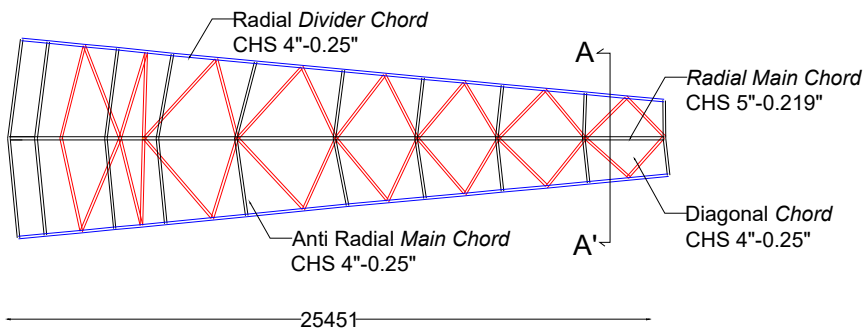


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

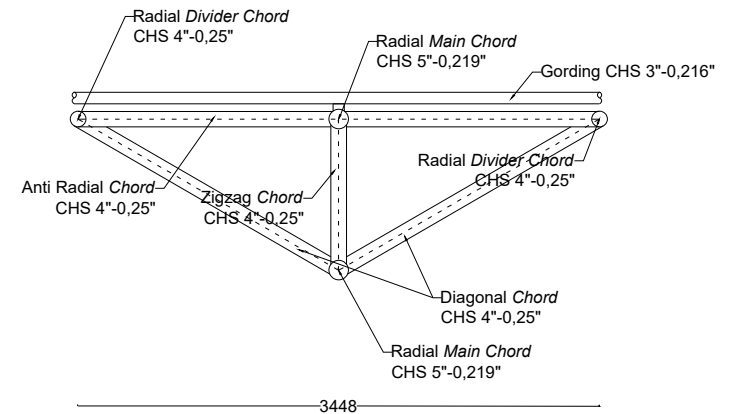
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 16 & 20	1:300 dan 1:50	34	45



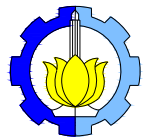
Potongan Rangka Grid 17 & 19
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 17 & 19
Skala 1:300

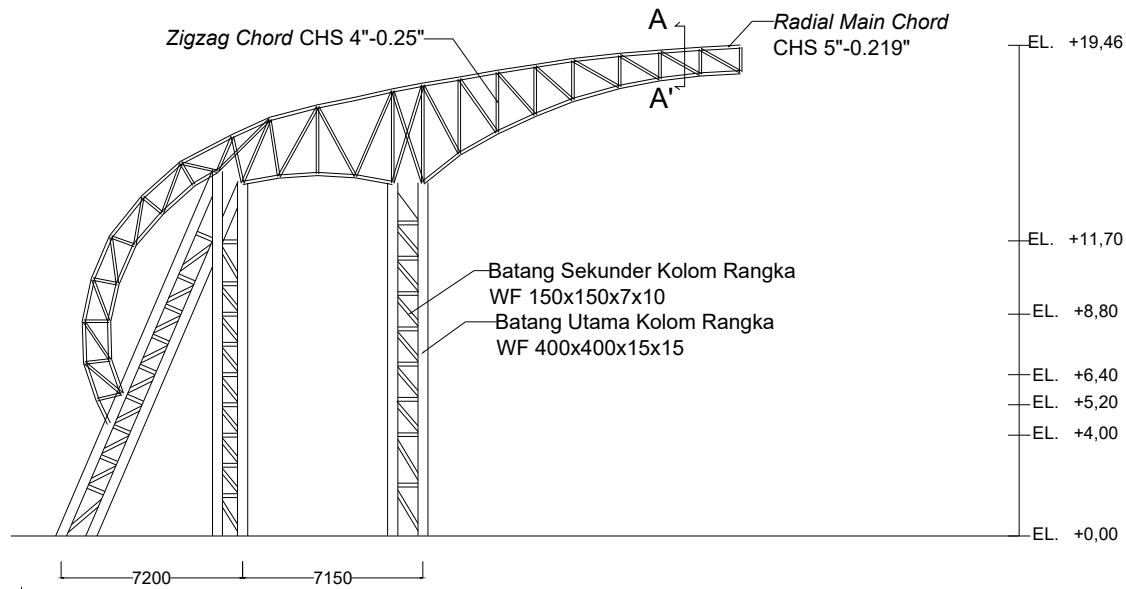


Potongan A-A'
Skala 1:50

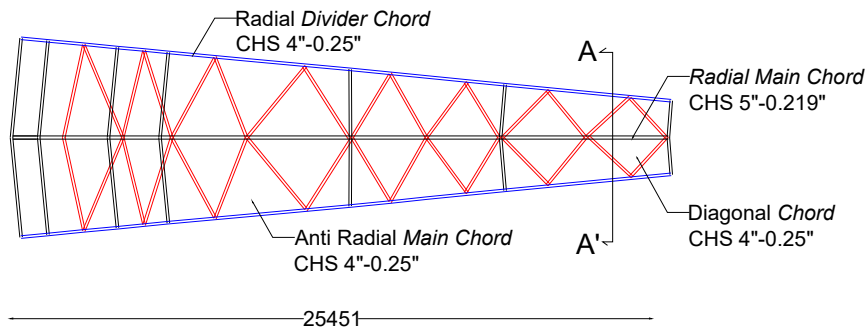


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

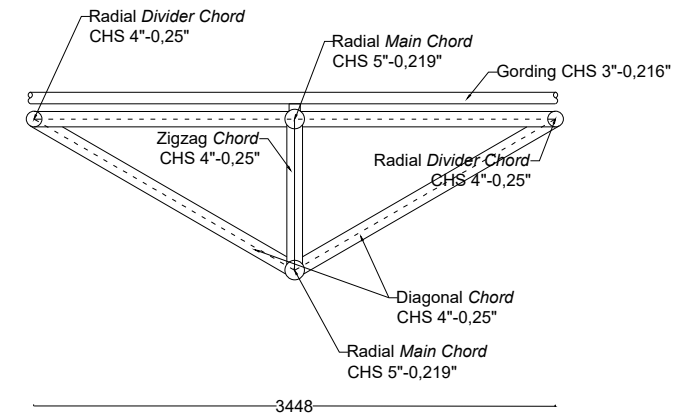
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 17 & 19	1:300 dan 1:50	35	45



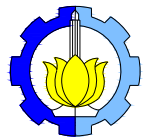
Potongan Rangka Grid 18
Skala 1:300



Tampak Atas Potongan Rangka Grid 18
Skala 1:300

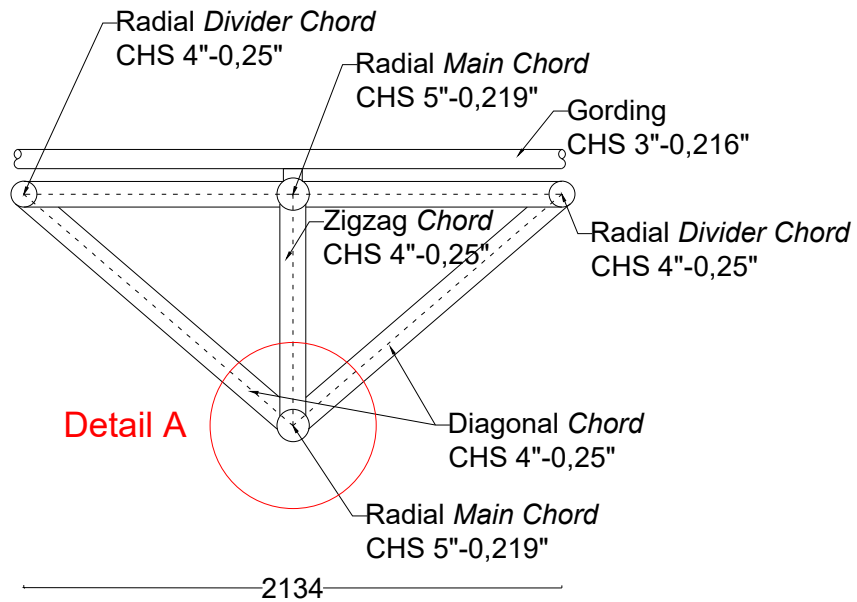


Potongan A-A'
Skala 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Potongan Rangka Grid 18	1:300 dan 1:50	36	45



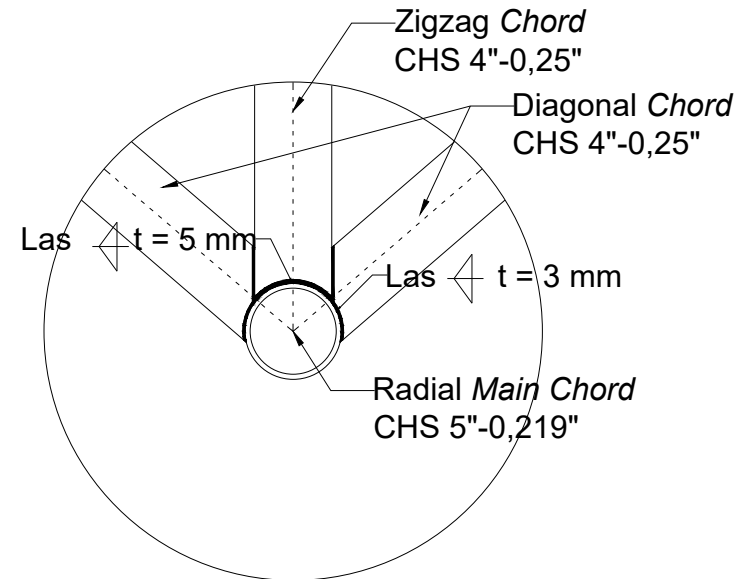
Detail A

2134

Potongan A-A' Rangka Atap
Grid 1

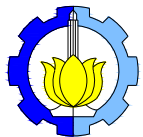
Skala 1:30

Sambungan Antara		Tebal Las
Radial Main Chord	Diagonal Chord	3 mm
Radial Main Chord	Anti Radial Chord	3 mm
Radial Main Chord	Zigzag Chord	5 mm
Radial Divider Chord	Diagonal Chord	3 mm
Radial Divider Chord	Anti Radial Chord	3 mm



Detail Sambungan Las

Skala 1:10



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas

Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Data Iranata, ST. MT. Ph.D
Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D

Nama Mahasiswa

Laras Huning Visda Hererra
(3114100051)

Judul Gambar

Sambungan Las
Rangka Atap

Skala Gambar

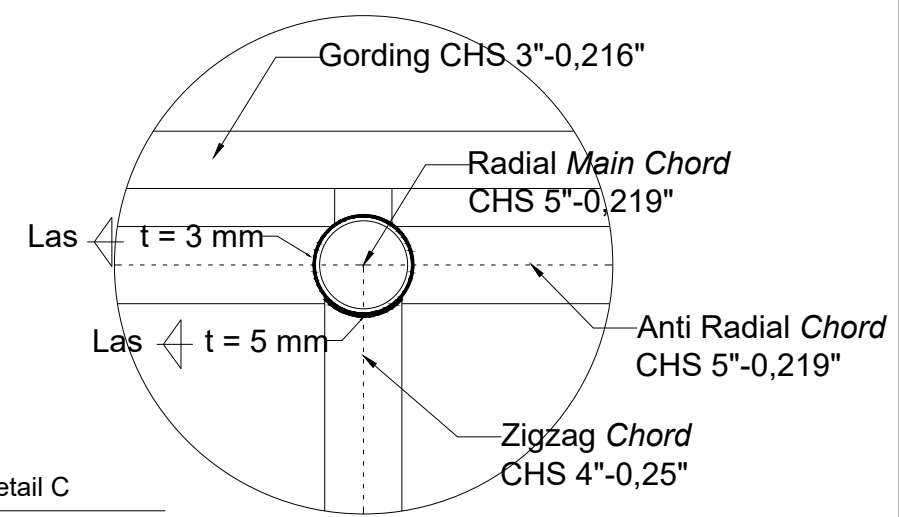
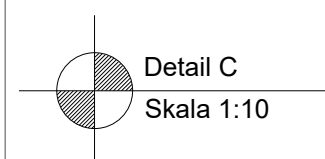
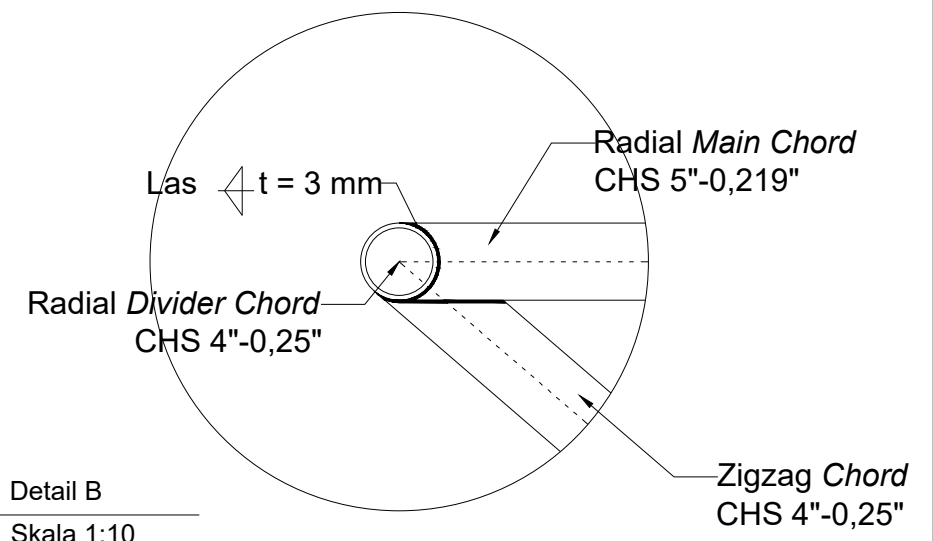
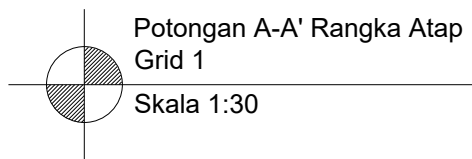
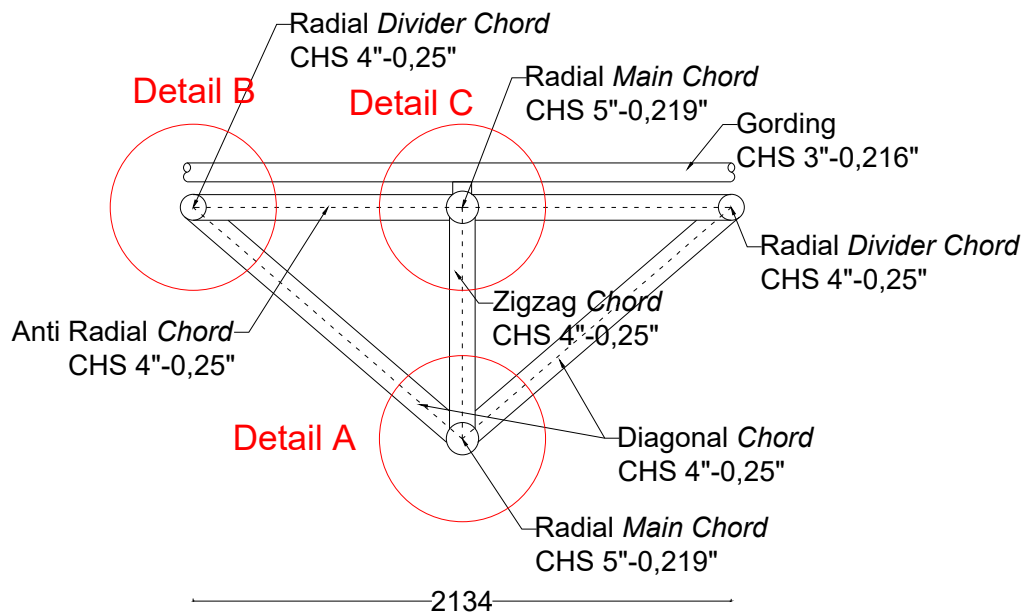
1:5 dan 1:30

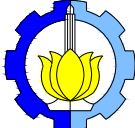
No Hal

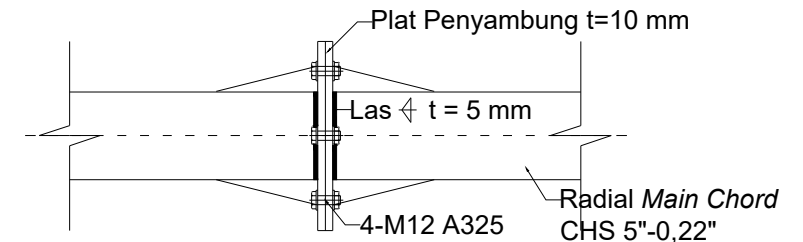
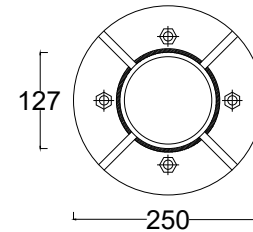
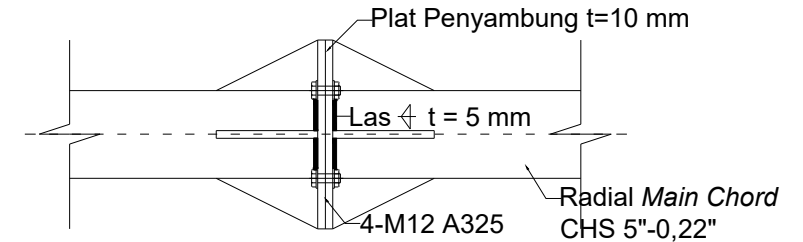
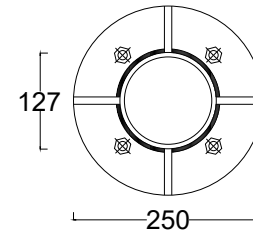
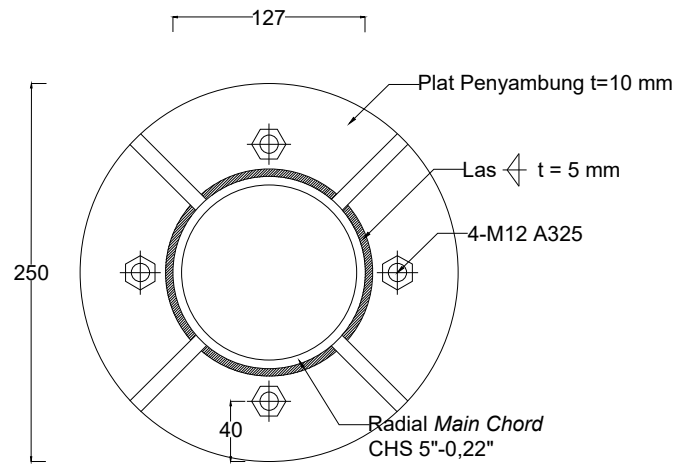
37

Total Hal

45

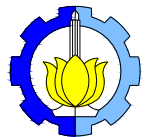


	Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
 <p>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Departemen Teknik Sipil</p>	Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Sambungan Las Rangka Atap	1:5 dan 1:30	38	45



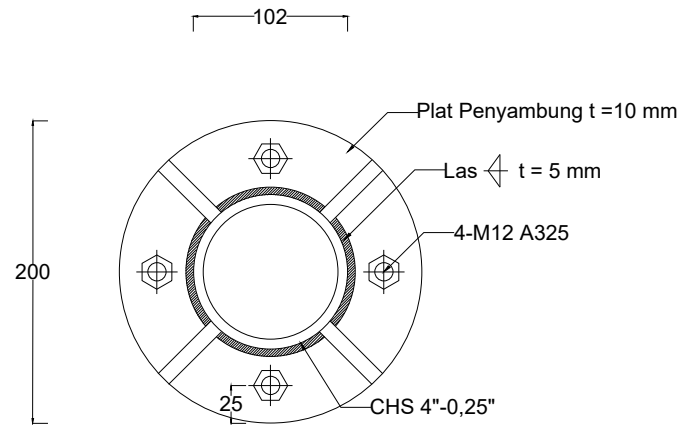
Detail Sambungan Baut
Rangka Radial *Main Chord*
Skala 1:5

Sambungan Baut Rangka
Radial *Main Chord*
Skala 1:10



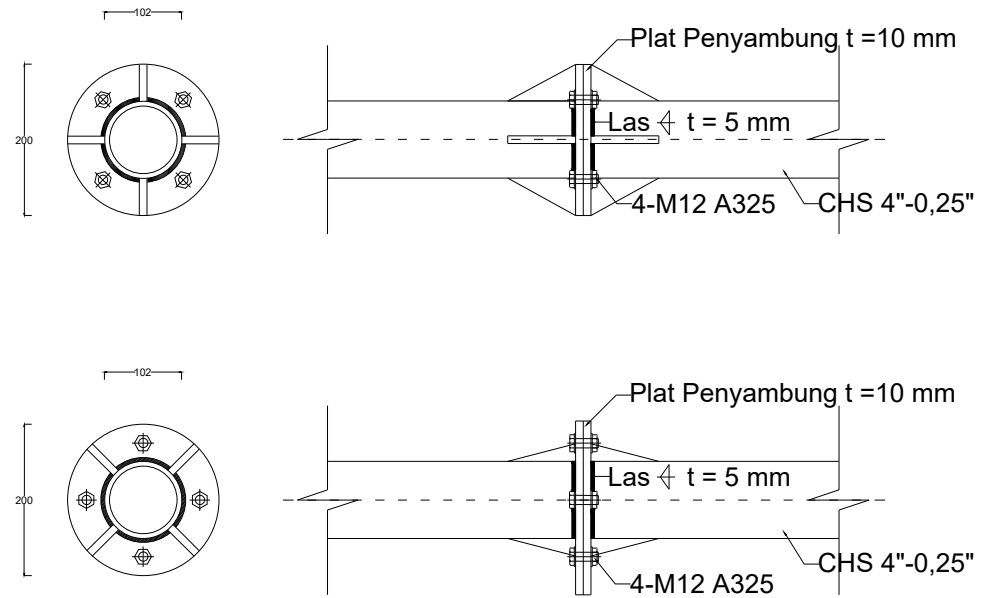
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Herrera (3114100051)	Sambungan Baut Rangka Radial <i>Main Chord</i>	1:5 dan 1:10	39	45



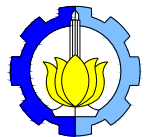
Detail Sambungan Baut Selain
Rangka Radial *Main Chord*

Skala 1:5



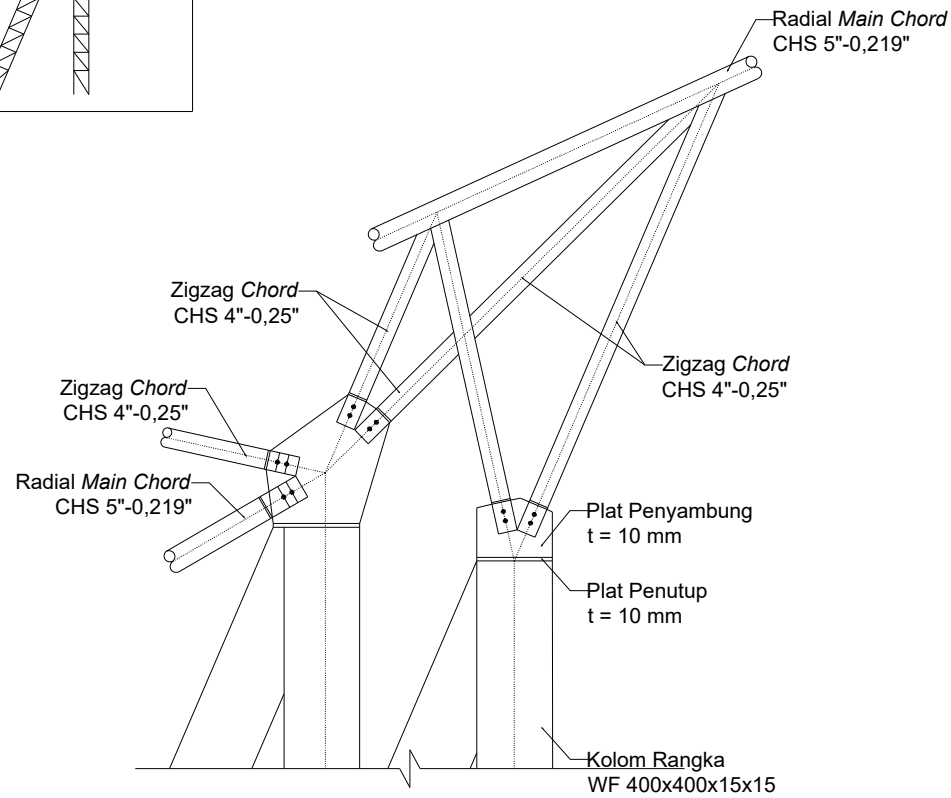
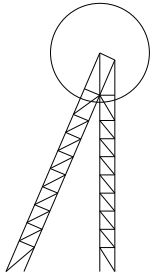
Sambungan Baut Selain
Rangka Radial *Main Chord*

Skala 1:10



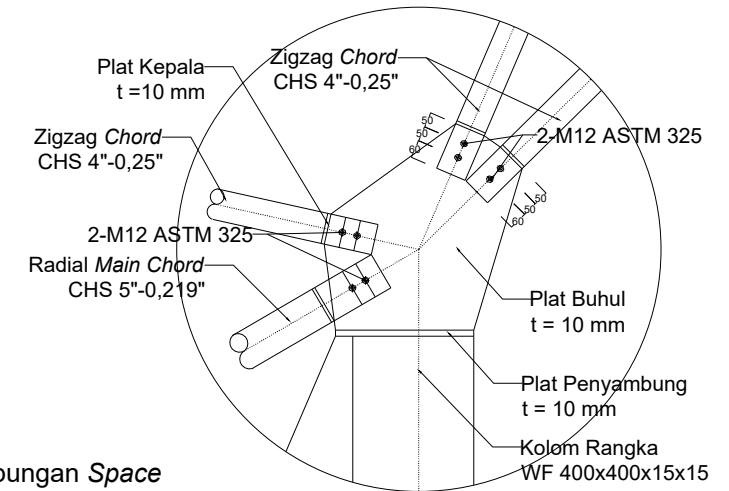
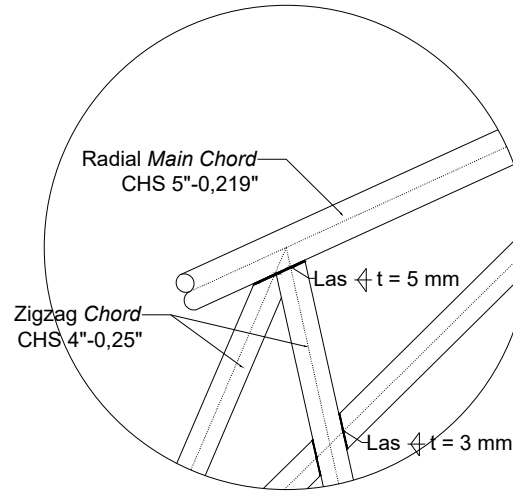
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Herrera (3114100051)	Sambungan Baut Selain Rangka Radial <i>Main Chord</i>	1:5 dan 1:10	40	45



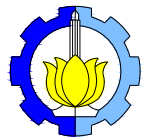
Sambungan *Space Truss* dengan Kolom Rangka

Skala 1:40



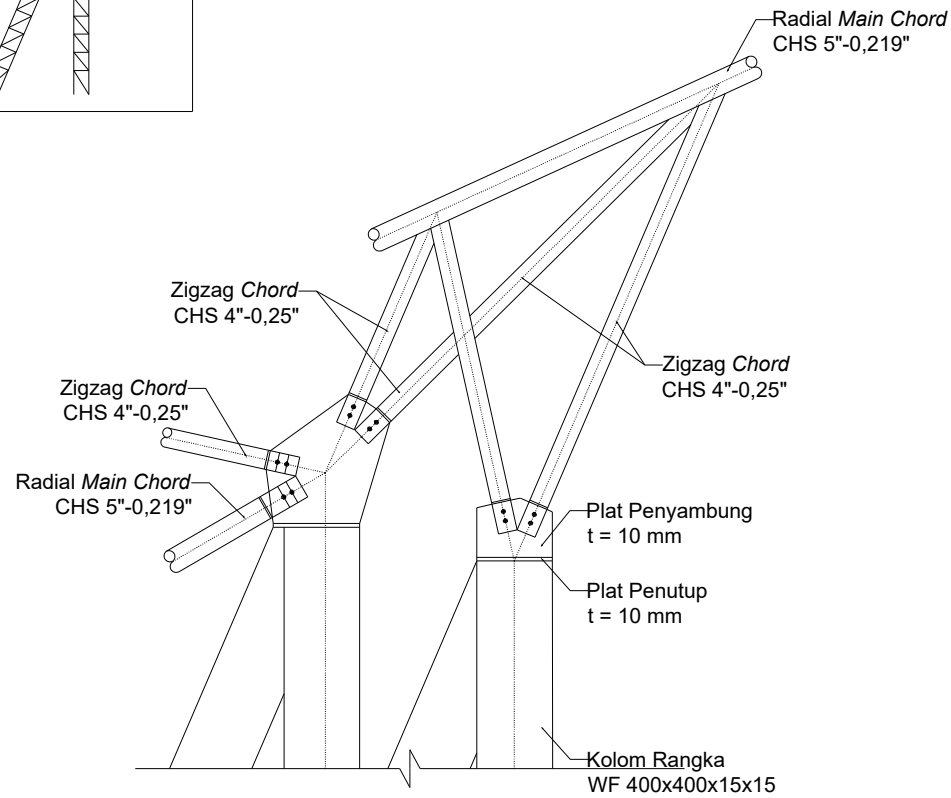
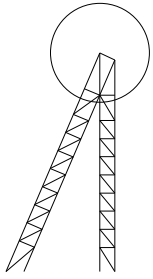
Detail Sambungan *Space Truss* dengan Kolom Rangka

Skala 1:25



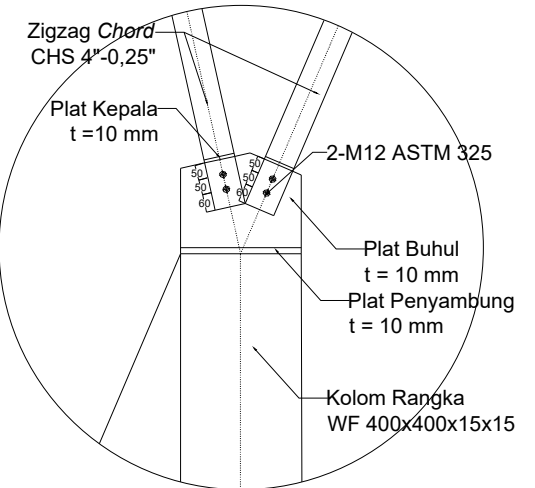
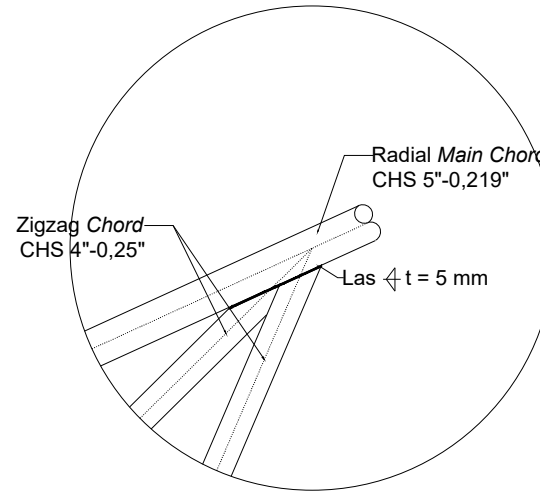
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Sambungan <i>Space Truss</i> dengan Kolom Rangka	1:25 dan 1:40	41	45



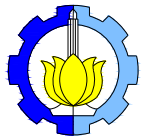
Sambungan *Space Truss*
dengan Kolom Rangka

Skala 1:40



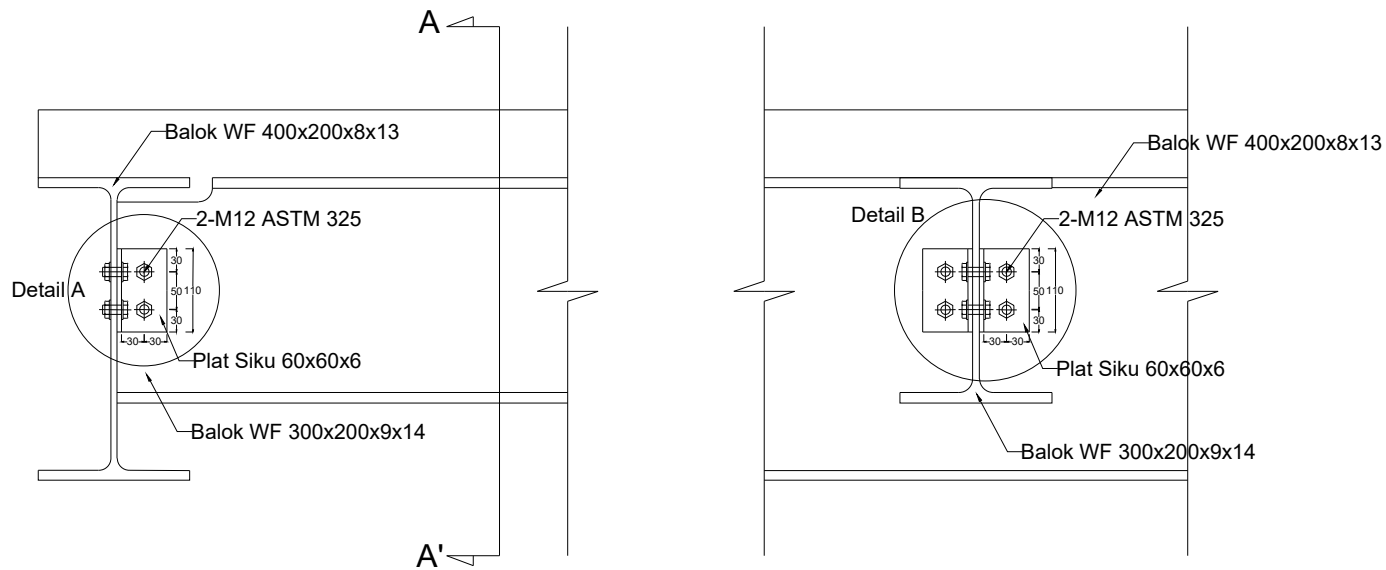
Detail Sambungan *Space Truss*
dengan Kolom Rangka

Skala 1:25

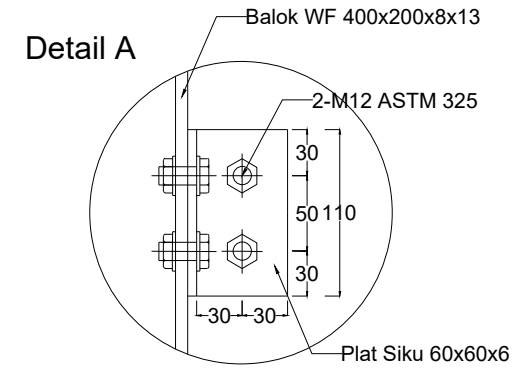


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

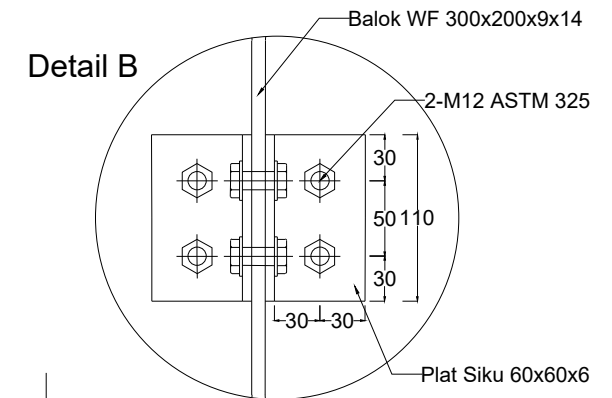
Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Herrera (3114100051)	Sambungan <i>Space Truss</i> dengan Kolom Rangka	1:25 dan 1:40	42	45



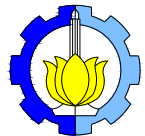
Sambungan Balok Induk dan Balok Anak
Skala 1:10



Detail A
Skala 1:5

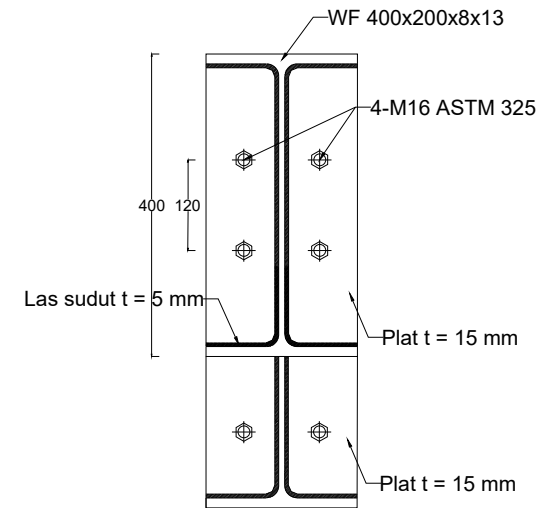
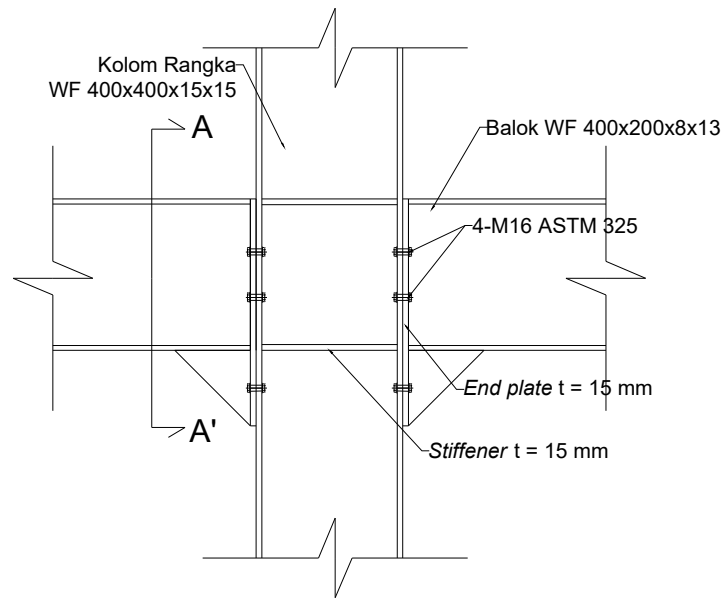



Detail B
Skala 1:10




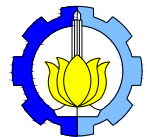
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak	1:10 dan 1:5	43	45



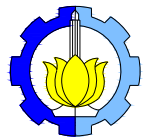
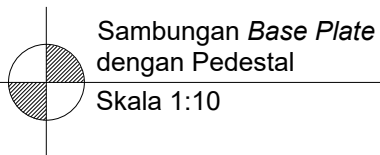
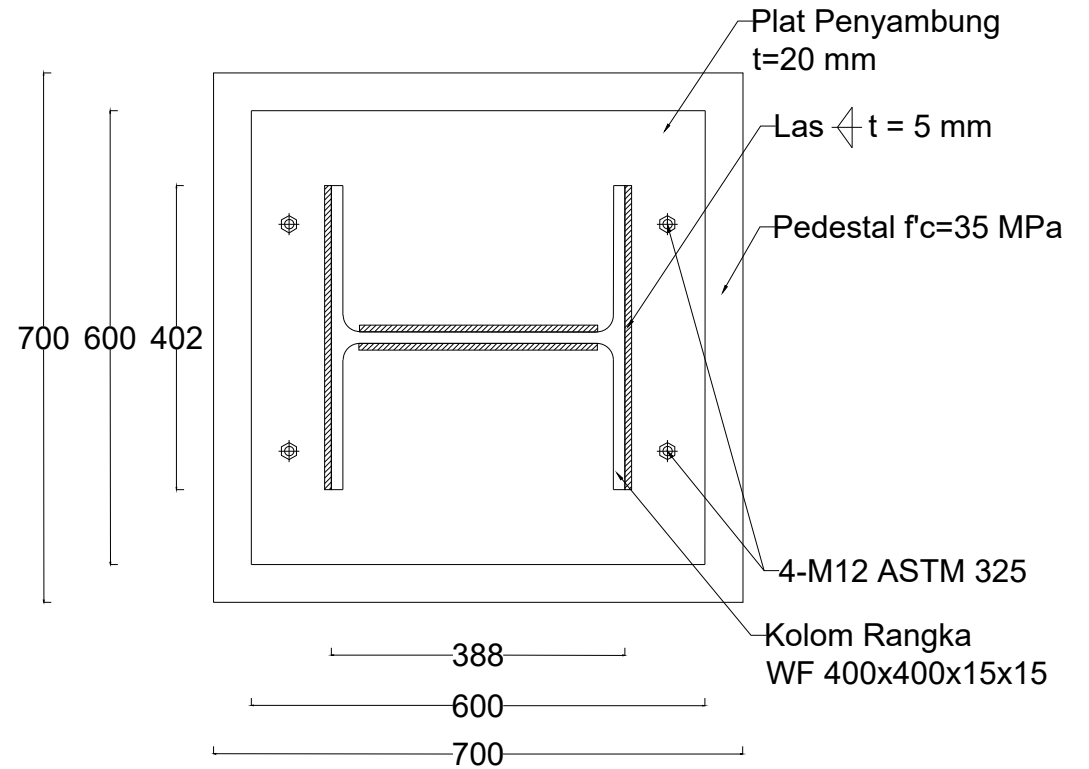
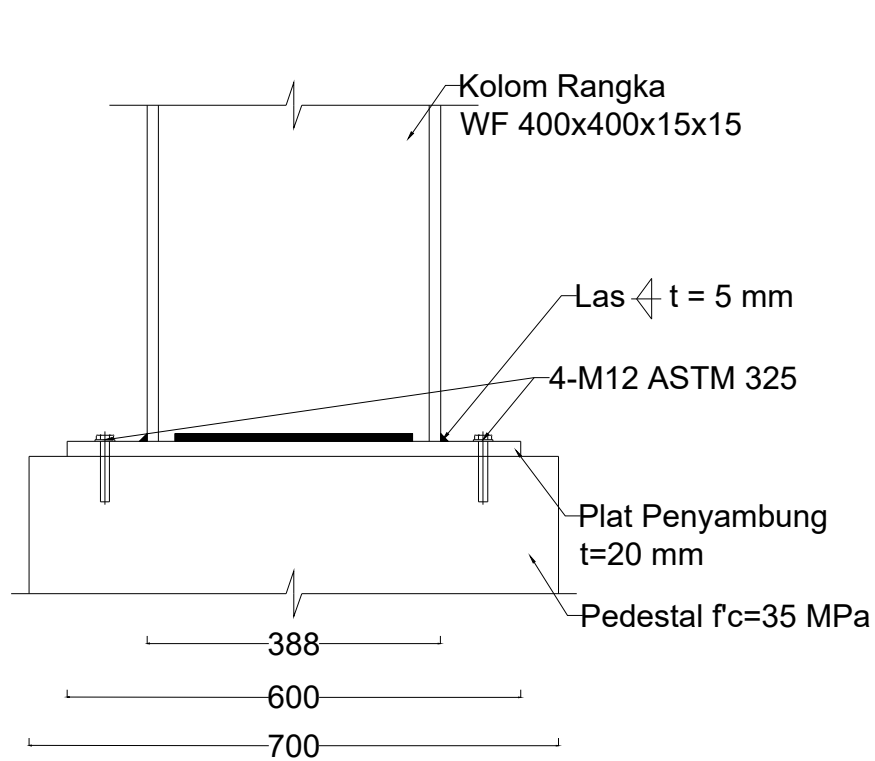

Sambungan Balok Induk dengan Kolom Rangka
 Skala 1:20


Potongan A-A'
 Skala 1:10



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
 dan Kebumihan
 Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Sambungan Balok Induk dengan Kolom Rangka	1:20 dan 1:10	44	45



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan,
dan Kebumihan
Departemen Teknik Sipil

Tugas	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Judul Gambar	Skala Gambar	No Hal	Total Hal
Tugas Akhir	Data Iranata, ST. MT. Ph.D Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D	Laras Huning Visda Hererra (3114100051)	Sambungan <i>Base Plate</i> dengan Pedestal	1:10	45	45



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: DATA IRANATA, ST. MT. Ph. D
NAMA MAHASISWA	: LARAS HUNING VISDA HERERRA
NRP	: 03111440000051
JUDUL TUGAS AKHIR	: DESAIN JAFABARING CONVENTION HALL DENGAN STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG DAN STRUKTUR ATAP SPACE TRUSS
TANGGAL PROPOSAL	: 30 AGUSTUS 2017
NO.SP-MMTA	: 061682 / IT2. VI. 4. 1 / PP. 05.02.00 / 2017

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	19/10/17	<ul style="list-style-type: none"> Gording karena bervariasi, dibagi menjadi beberapa segmen Ikatan angin dilihat dari panjang & kekuatannya → jika batang bulat tdk cukup, pakai profil. 		
2.	15/11/17	<ul style="list-style-type: none"> Permodelan di AutoCAD 3D hanya bentuk batang, lalu import ke SAP2000 dalam .dxf Permodelan demikian krn grid-nya komplek 		
3.	8/12/17	<ul style="list-style-type: none"> Permodelan struktur baja & beton digabung Partisipasi massa tidak OK mungkin karena ada struktur baja & beton → respon keduanya tidak bersamaan 		
4.	21/12/17	<ul style="list-style-type: none"> Permodelan struktur beton (tribun) dan baja dipisah, tetapi ada balok baja penyambung yang akan rusak karena gempa 		



Form AK/TA-04
rev01


PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: DATA IRANATA, ST. MT. Ph.D
NAMA MAHASISWA	: LARAS HUNING VISDA HERRERA
NRP	: 0311144000051
JUDUL TUGAS AKHIR	: DESAIN JAKABARING CONVENTION HALL DENGAN STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG DAN STRUKTUR ATAP SPACE TRUSS
TANGGAL PROPOSAL	: 30 AGUSTUS 2017
NO.SP-MMTA	: 061632 / IT2. VJ. 4.1 / PP. 05. 02. 00 / 2017

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
5.	27/01/18	<ul style="list-style-type: none"> Sambungan balok baja yg rusak karena gempa bagai mana? Harus dipastikan. Diubah saja menjadi plat kantilever dari sisi balok baja & dari sisi balok beton 		
6.	20/03/18	<ul style="list-style-type: none"> Beban angin → Kinding & komponen, boleh menggunakan area load untuk atap dengan t=0 mm dan harus meshing agar distribusi beban tidak lari ke pojok kolom/ penumpu saja 		
7.	02/04/18	<ul style="list-style-type: none"> Plat kantilever dari sisi balok baja & balok beton dirambing dengan plat siku  <p>sisakan sekitar 10 cm untuk diisi expansion joint atau mortar mutu rendah</p>		



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: PROF. TAVIO, ST. MT. PH.D
NAMA MAHASISWA	: LARAS HUNING VISDA HERERA
NRP	: 0311144000051
JUDUL TUGAS AKHIR	: DESAIN JAKABARING CONVENTION HALL DENGAN STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG DAN STRUKTUR ATAP SPACE TRUSS
TANGGAL PROPOSAL	: 30 AGUSTUS 2017
NO.SP-MMTA	: 061632/IT2.VI.4.1/PP.05.02.00/2017

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	9/10/17	Plat berbentuk tidak □ Coba cari → koes. distribusi momen utk non-rectangular section → program SAFE		
2.	8/12/17	• Kolom rangka baja & balok beton bisa dilakukan tapi susah • Ganti balok baja aja utk yg nyambung ke kolom truss baja • Sloof tdk usah ikut dimodel • Konsep beban plat ↳ sudut / 2		
3.	14/12/17	• Utk plat acuan ↳ coba yg max dan luar max, dibandingkan		
4.	26/01/18	• kontrol partisipasi massa tidak usah karena permodelan terpisah • secara keseluruhan space truss	• coba permodelan gudang baja yg terpisah & gabung 	



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)
Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: PROF. TAVIO, ST. MT. Ph.D
NAMA MAHASISWA	: LARAS HUNING V.H.
NRP	: 03111440000051
JUDUL TUGAS AKHIR	: DESAIN JAKABARING CONVENTION HALL DENGAN STRUKTUR UTAMA BETON BERTULANG DAN STRUKTUR ATAP SPACE TRUSS
TANGGAL PROPOSAL	: 30 AGUSTUS 2017
NO.SP-MMTA	: 061632 / IT2.VJ.4.1 / PP.05.02.00 / 2017

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
5.	20/03/18	<ul style="list-style-type: none"> Tumpuan tidak ada momen (+) karena beban gravitasi dominan di elemen panjang Coba cek momen case gempa saja → cek momen (+) di tumpuan Tulangan (+) di tumpuan yg 1/2 dari tulangan (-) dicek apakah memenuhi momen (+) max di elemen yg lebih pendek balok setipe 		
6.	02/04/18	<ul style="list-style-type: none"> Kontrol strong column weak beam <p>gaya balok yg miring ditransformasi</p>		

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM SARJANA (S1)
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS**

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini **Kamis** tanggal **19 Juli 2018** jam **09.00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:


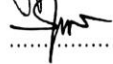
NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
0311144000051	Laras Huning Visda Hererra	Desain Jakabaring Convention Hall dengan Struktur Utama Beton Bertulang dan Struktur Atap Space Truss

Dengan Hasil :

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- Gambar di langkopi → sambungan las ditambahkan
- Gambar diperjelas, terutama cross section → 0° atau 90° ...?
- Daftar isi, daftar tabel dan gambar
- Cek konsistensi perhitungan strong column weak beam
- Cek perhitungan Mg dan Mp.
- Cek perhitungan Ve.

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Harun Al Rasyid, ST. MT	
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS	

Surabaya, 19 Juli 2018
Dosen Pembimbing I
(Ketua)

Data Iranata, ST. MT. PhD

Dosen Pembimbing 2
(Sekretaris)

Prof. Tavio, ST. MT. PhD

BIODATA PENULIS



Laras Huning Visda Hererra lahir di Surabaya, 29 Mei 1996 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri Pepelegi I Sidoarjo, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Negeri 5 Surabaya. Penulis melanjutkan pendidikan di program Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama empat tahun perkuliahan di Departemen Teknik Sipil, penulis cukup aktif berorganisasi dan mengikuti berbagai kepanitiaan. Penulis tergabung di UKM Kendo ITS dan Divisi Citra LE HMS tahun 2015-2016. Bidang studi yang diambil penulis pada Departemen Teknik Sipil ialah Struktur, dimana penulis mengerjakan Tugas Akhir dengan judul “Desain Jakabaring *Convention Hall* dengan Struktur Utama Beton Bertulang dan Struktur Atap *Space Truss*”.

Narahubung

Email : rashun29@gmail.com