



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145699

**DESAIN JEMBATAN CABLE STAYED SEMBAYAT
BARU DENGAN SINGLE PLANE SYSTEM
MENGUNAKAN METODE PELAKSANAAN
BALANCED CANTILEVER**

RIZAL PURNAWAN
NRP 3113 041 061

Dosen Pembimbing 1
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D
NIP. 19620328 1988031 001

Dosen Pembimbing II
Ir. Sungkono, CES
NIP. 19591130 1986011 001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145699

**DESAIN JEMBATAN CABLE STAYED SEMBAYAT BARU
DENGAN SINGLE PLANE SYSTEM MENGGUNAKAN
METODE PELAKSANAAN BALANCED CANTILEVER**

**RIZAL PURNAWAN
NRP 3113 041 061**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D
NIP. 19620328 1988031 001**

**Dosen Pembimbing II
Ir. Sungkono, CES
NIP. 19591130 1986011 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



APPLIED FINAL PROJECT - RC145699

DESIGN OF NEW SEMBAYAT CABLE STAYED BRIDGE WITH SINGLE PLANE SYSTEM USING BALANCED CANTILEVER CONSTRUCTION METHOD

**RIZAL PURNAWAN
NRP 3113 041 061**

**Supervisor 1
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D
NIP. 19620328 1988031 001**

**Supervisor II
Ir. Sungkono, CES
NIP. 19591130 1986011 001**

**CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



APPLIED FINAL PROJECT - RC145699

DESIGN OF NEW SEMBAYAT CABLE STAYED BRIDGE WITH SINGLE PLANE SYSTEM USING BALANCED CANTILEVER CONSTRUCTION METHOD

RIZAL PURNAWAN
NRP 3113 041 061

Supervisor 1
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D
NIP. 19620328 1988031 001

Supervisor II
Ir. Sungkono, CES
NIP. 19591130 1986011 001

**CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN JEMBATAN CABLE STAYED SEMBAYAT BARU
DENGAN SINGLE PLANE SYSTEM MENGGUNAKAN
METODE PELAKSANAAN BALANCED CANTILEVER
TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Terapan

Pada

Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

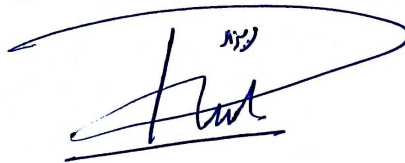
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Surabaya, Agustus 2017

Disusun Oleh :

MAHASISWA



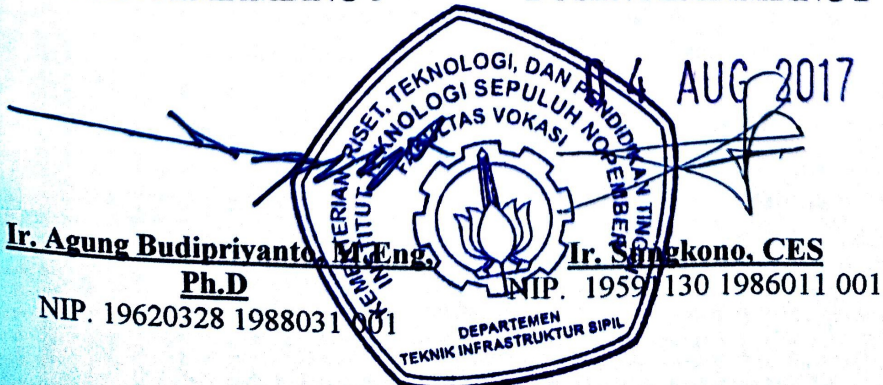
Rizal Purnawan

NRP. 3113 041 061

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

DOSEN PEMBIMBING 1

DOSEN PEMBIMBING 2





BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
 037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 7/27/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Desain Jembatan Cable Stayed dengan Single Plane Sistem Menggunakan Metode Balanced Cantilever <i>PELAINAN</i>		
Nama Mahasiswa	Rizal Purnawan	NRP	3113041061
Dosen Pembimbing 1	Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D. NIP 19620328 198803 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	Ir. Sungkono, CES. NIP 19591130 198601 1 001	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> KONTRAK CONTOH / DEPLEKSI PD SAAT PELAKSANAAN PELOA KNE (IN) TAPI DIBARAI PD STRUKTUR SKALA DIPERBAIKI FONT DIPERBAIKI MATI TENANCE KADEL ? 	 Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS. NIP 19600105 198603 1 003
<ul style="list-style-type: none"> JUDUL + PELAKSANAAN KONDISI UNBALANCED - PD SAAT PELAKSANAAN TEMP LAS = TERBUK PLAT ANGKUR MATI → PENGAKU 	 Ir. Chomaedhi, CES.Geo. NIP 19550319 198403 1 001
	NIP -
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS. NIP 19600105 198603 1 003	Ir. Chomaedhi, CES.Geo. NIP 19550319 198403 1 001	-	-
		NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjlidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D. NIP 19620328 198803 1 001	Ir. Sungkono, CES. NIP 19591130 198601 1 001



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. RIZAL PURNAWAN 2
NRP : 1. 2113041061 2
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D., Ir. Suryono, CES.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan			
1.	19/02/2017	- Gambar awal, gambaran umum sederhana					
		- Mekanisme metode pelaksanaan			B	C	K
		- Satuan dalam gambar			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Penamaan kabel					
2.	28/02/2017	- Struktur sekunder					
		- Satuan kuma			B	C	K
		- Pemodelan sederhana			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Trotoar memakai baja					
		- Saluran drainase					
3.	19/03/2017	- Trotoar yang sebelumnya baja diganti beton			B	C	K
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Menyelesaikan perhitungan pelat orthotropic mengacu pada AISC 1963					
4.	28/03/2017	- Analisa struktur pelat orthotropic secara manual berdasarkan AISC 1963 tidak relevan dengan perilaku struktur box-girder			B	C	K
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Pada box girder, pelat orthotropic berperilaku sebagai flange dari main girder dan floor beam.			B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Ket :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Tertambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. RIZAL PURNAWAN 2
NRP : 1 3113 091 061 2
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ir. Agung Budiptyanto, M.Eng, Ph.D, Ir. Sungkono, C.E.S.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5.	11/04/2014	- Pemodelan struktur terdapat kendala pada pemodelan bearing di pillar	A			
		- Digunakan brosur LRB Frelmet, tetapi tidak tercantum nilai kekakuan vertikal (Kv).		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Mencari brosur LRB yang lebih lengkap.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	18/04/2014	- Pemodelan pada bearing di pillar teratasi, dengan dimodelkan elemen pelat di atas pillar sebagai tumpuan untuk memodelkan bearing.	A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Digunakan brosur LA10 LRB yang lebih lengkap.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	02/05/2014	- Memeriksa kembali mesh pada pelat di atas pillar.	A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Melanjutkan kontrol kapasitas elemen struktur.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 2
 NRP : 1 2
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
8.	9/6/2017	- Pembebanan truk perlu ditinjau - Menggunakan SNI 19729 - 2015 atau AISC 2010, AASHTO 2012				
				B	C	K
9.	13/6/2017	- Mengecek kembali respons spektrum IBC2000 apakah relevan dengan RSNI Gempa Jembatan 2013		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Melengkapi keterangan dan pendetailan pada penggambaran		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Azza Wa Jalla, Rabb Semesta Alam, yang tiada Tuhan yang berhak disembah melainkan Dia, yang Maha Tinggi lagi Maha Perkasa. Atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan dengan judul “Desain Jembatan *Cable Stayed* Sembayat Baru dengan *Single Plane System* Menggunakan Metode *Balanced Cantilever*”. Serta tak lupa sholawat dan salam selalu tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW, sebagaimana Allah bershawat untuk beliau dan juga para Malaikat bershawat untuk beliau, atas kenabian dan kebenaran Islam yang beliau ajarkan, yang membawa umat manusia dari kegelapan menuju jalan yang terang lagi lurus.

Pada desain jembatan bentang panjang ini diuraikan perihal mengenai desain rantai kendaraan, desain *floor beam*, desain *box girder*, desain rangka batang, desain kabel dan *pylon*. Dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini penulis menyadari masih terdapat kekurangan, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penyusunan Tugas Akhir Terapan ini.

Penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Teristimewa kedua orang tua penulis bapak Sukoco dan ibu Lilik Indrayati.
2. Bapak Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Terapan.
3. Bapak Ir. Sungkono, CES, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Terapan.
4. Rekan-rekan mahasiswa serta seluruh pihak yang ikut membantu dan mendoakan kelancaran penusunan Tugas Akhir Terapan ini.

Penulis berharap Tugas Akhir Terapan ini dapat membawa manfaat bagi penulis sendiri maupun pihak akademisi.

Surabaya, 3 Juli 2017

(penulis)

**DESAIN JEMBATAN CABLE STAYED SEMBAYAT
BARU DENGAN SINGLE PLANE SYSTEM
MENGUNAKAN METODE PELAKSANAAN
BALANCED CANTILEVER**

Nama Mahasiswa : Rizal Purnawan
NRP : 3113041061
Jurusan : D-IV Teknik Infrastruktur Sipil
FV-ITS
Dosen Pembimbing :

1. **Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D**
2. **Ir. Sungkono, CES.**

Abstrak

Jembatan cable-stayed (beruji kabel) adalah struktur yang mempunyai sederetan kabel lurus dan memikul elemen horizontal kaku (berupa balok, rangka, atau box). Jembatan cable-stayed terdiri dari sistem struktur berupa gelagar menerus yang didukung oleh tumpuan berupa kabel yang dibentangkan miring dan dihubungkan ke menara sebagai penahan utama. Jembatan jenis ini memiliki keunggulan karakteristik dibandingkan dengan tipe jembatan bentang panjang lainnya baik dari segi teknis, ekonomis, dan estetika.

Tugas akhir ini membahas “Desain Jembatan Cable-Stayed Sembayat Baru dengan Single Plane System Menggunakan Metode Balanced Cantilever” yang melintasi sungai Bengawan Solo di Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik. Jembatan ini memiliki bentang total sepanjang 340 meter terbagi dalam 2 bentang masing-masing sepanjang 170 meter dengan

lebar total jembatan 17 meter. Konfigurasi kabel jembatan pada arah memanjang menggunakan modified fan pattern dan pada arah melintang menggunakan single plane system. Material penyusun struktur lantai kendaraan menggunakan steel orthotropic deck. Sedangkan struktur pylon menggunakan struktur beton bertulang.

Dalam desain struktur jembatan cable-stayed ini digunakan program bantu MIDAS Civil 2011 v2.1 untuk menganalisa perilaku struktur utama secara keseluruhan dan juga untuk menganalisa tahapan metode pelaksanaan sekaligus. Kemudian hasil dari analisa ketika jembatan dalam keadaan layan dibandingkan dengan hasil analisa ketika tahap pelaksanaan.

Hasil dari desain ini didapatkan dimensi strktur lantai kendaraan, dimensi kabel dan ankur dan dimensi pylon. Selain itu, stabilitas jembatan terhadap perilaku dinamis juga perlu dikontrol di mana kontrol tersebut meliputi frekuensi alami struktur, pengaruh vortex shedding dan flutter. Desain dilakukan dengan mengacu SNI 1725 2016, Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015, RSNI 2833 201X, RSNI T 02 2004 dan AISC 360-10.

Kata Kunci: *jembatan, cable stayed, modified fan pattern, single plane system, orthotropic, box girder, balanced cantilever.*

DESIGN OF NEW SEMBAYAT CABLE STAYED BRIDGE WITH SINGLE PLANE SYSTEM USING BALANCED CANTILEVER CONSTRUCTION METHOD

Student Name : Rizal Purnawan
NRP : 3113041061
Department : D-IV Civil Infrastructure
Engineering, FV-ITS
Dosen Pembimbing :

1. **Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng, Ph.D**
2. **Ir. Sungkono, CES.**

Abstract

Cable stayed bridge is a form of bridge structure that is having a number of straight cable that pulls stiff horizontal element (in form of girder, truss or box shape). Cable stayed bridge consists of continuous girders that are supported by spanned sloping cables, and then connected to the pylon. This kind of bridge is having superior characteristic compared to other kind of long span bridges in term of structural techniques, economics as well as aesthetics.

This Applied Final Project (Undergraduate Thesis) discuss about "New Sembayat Cable Stayed Bridge Design with Single Plane System using Balanced cantilever Method" that crosses Bengawan Solo river in Manyar District Gresik City. This bridge has total span of 340 meters divided into 2 main spans each of them having 170 meters length with total width of 17 meters. Longitudinal cable configuration of the bridge using modified fan pattern and the transversal direction using single plane system. The bridge deck is created from steel structural material with orthotropic system. And the pylon is created from high strength concrete material.

The main structure of the bridge is analysed using software MIDAS Civil 2011 v2.1. It is analysed both the structural behaviour during service loading as well as during construction stage.

The result of the design consists of the dimension of the deck structure, dimension of the cable structure and the dimension of the pylon. Besides, the bridge stabilites towards the aerodynamics behaviour are necessary to be controlled. In which the control including natural frequencies of the structure, vortex shedding and flutter effects. The designs are calculated refers to these codes; SNI 1725 2016, Peraturan pPU Nomor 08/SE/M/2015, RSNI 2833 201X, RSNI T 12 2004 and AISC 360-10.

Keywords: bridge, cable stayed, modified fan pattern, single lane system, orthotropic, box girder, balanced cantilever.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum.....	7
2.2 Komponen Struktur Jembatan Cable Stayed	8
2.2.1 Variasi Model Desain Jembatan Cable-Stayed 8	
2.2.2 Komponen Kabel (Cable Component)	8
2.2.3 Angkur Kabel	14
2.2.4 Lantai Kendaraan Jembatan (Bridge Deck) .	16
2.2.5 Menara/Pylon	17
2.2.6 Tipe Hubungan Jembatan Cable Stayed.....	18
2.3 Pembebanan Jembatan	19

2.3.1	Beban Permanen	19
2.3.2	Beban Lalu Lintas	21
2.3.3	Aksi Lingkungan.....	27
2.3.4	Pembebanan Railing	34
2.3.5	Kombinasi Pembebanan.....	36
2.4	Preliminary Design.....	37
2.4.1	Preliminary Design Lantai Kendaraan.....	37
2.4.2	Preliminary Design Kabel.....	37
2.4.3	Preliminary Design Pylon	41
2.5	Perhitungan Struktur.....	42
2.5.1	Perhitungan Struktur Baja.....	42
2.5.2	Perhitungan Dek Orthotropic	45
2.5.3	Perhitungan Struktur Beton.....	47
2.6	Analisa Dinamis Struktur Jembatan Cable Stayed	53
2.6.1	Frekuensi Alami.....	53
2.6.2	Perilaku Aerodinamis.....	56
2.6.3	Osilasi Gaya Akibat Pusaran Angin (Vortex Shedding).....	58
2.6.4	Efek Flutter	62
2.7	Metode Pelaksanaan	65
2.7.1	Forward Process Analysis (FPA).....	65
2.7.2	Backward Process Analysis (BPA).....	67

BAB 3	METODOLOGI	69
3.1	Bagan Alir	69
3.2	Studi Literatur.....	72
3.3	Pengumpulan Data	73
3.4	Preliminary Design.....	74
3.5	Pembebanan Struktur Jembatan	75
3.6	Pemodelan Struktur	77
3.7	Analisa Struktur Sekunder.....	77
3.8	Analisa Struktur Utama	77
3.9	Desain Angkur.....	78
3.10	Analisa Dinamis Struktur	78
3.11	Analisa Struktur dan Metode Pelaksanaan	79
3.12	Penggambaran Layout dan Detail Struktur Jembatan .	79
BAB 4	PRELIMINARY DESIGN.....	81
4.1	Preliminary Design Geometrik Jembatan.....	81
4.1.1	Panjang Total Jembatan	81
4.1.2	Lebar Total Jembatan	83
4.2	Preliminary Design Elemen Struktur.....	83
4.2.1	Konfigurasi Susunan Kabel.....	83
4.2.2	Dimensi Orthotropic Box Girder.....	86
4.2.3	Dimensi Kabel dan Angkur.....	91
4.2.4	Struktur <i>Pylon</i>	95
BAB 5	DESAIN STRUKTUR SEKUNDER.....	97

5.1	Spesifikasi Material dan Pembebanan	97
5.1.1	Spesifikasi Material.....	97
5.1.2	Pembebanan Rencana	97
5.2	Railing	99
5.2.1	Perencanaan Railing.....	99
5.2.2	Perencanaan Dimensi Profil.....	100
5.2.3	Analisa Struktur	100
5.2.4	Kontrol Kekuatan Struktur.....	105
5.3	Parapet	111
5.3.1	Perencanaan <i>Parapet</i>	111
5.3.2	Perencanaan Dimensi Profil.....	112
5.3.3	Analisa Struktur	113
5.3.4	Kontrol Kekuatan Struktur.....	117
BAB 6	ANALISA STRUKTUR	125
6.1	Pemodelan Struktur	125
6.2	Analisa Beban Statik	127
6.2.1	Pembebanan	127
6.2.2	Konfigurasi Beban Hidup	131
6.3	Analisa Beban Dinamis	132
6.4	Construction Stage Analysis.....	135
6.4.1	Pembebanan	135
6.5	Beban Suhu.....	138

6.6	Kombinasi Pembebanan	138
6.7	Hasil Analisa Struktur	139
6.7.1	Keadaan Kuat Batas	139
6.7.2	Keadaan Daya Layan	141
6.7.3	Lendutan Dek Jembatan	143
6.7.4	Lendutan Pylon	143
BAB 7	KOMPONEN DEK JEMBATAN.....	145
BAB 8	DESAIN PELAT ORTHOTROPIC	147
8.1	Top Orthotropic Plate.....	147
8.1.1	Hasil Analisa Struktur	147
8.1.2	Kapasitas Top Orthotropic Plate	153
8.2	Bottom Orthotropic Plate	179
8.2.1	Hasil Analisa Struktur	179
8.2.2	Kapasitas Bottom Orthotropic Plate.....	186
BAB 9	DESAIN FLOOR BEAM.....	213
9.1	Top Floor Beam.....	214
9.1.1	Hasil Analisa Struktur	214
9.1.2	Kapasitas Top Floor Beam	220
9.2	Bottom Floor Bam.....	239
9.2.1	Hasil Analisa Struktur	239
9.2.2	Kapasitas Bottom Floor Beam	245
BAB 10	DESAIN BOX GIRDER	265

10.1	Box Girder Samping (Side Box Girder).....	265
10.1.1	Hasil Analisa Struktur.....	265
10.1.2	Kapasitas Box Girder Samping.....	269
10.2	Box Girder Utama (Main Box Girder).....	278
10.2.1	Hasil Analisa Struktur.....	278
10.2.2	Kapasitas Box Girder Samping.....	282
BAB 11	DESAIN RANGKA BATANG DAN LRB	293
11.1	Rangka Batang.....	293
11.1.1	Hasil Analisa Srtuktur.....	293
11.1.2	Kapasitas Rangka Batang.....	294
11.1.3	Rekapitulasi Jumlah Baut.....	303
11.2	Desain Lead Rubber Bearing.....	304
BAB 12	STRUKTUR KABEL	307
12.1	Data Perencanaan	307
12.2	Pretension Kabel.....	309
12.3	Kapasitas Struktur Kabel	311
12.3.1	Output Gaya Dalam pada Kabel	311
12.3.2	Kapasitas Penampang Kabel	311
12.4	Desain Angkur Kabel	313
12.4.1	Kapasitas Bearing Plate	314
12.4.2	Kapasitas Sambungan	315
12.4.3	Kapasitas Pelat Angkur.....	318

12.4.4	Kapasitas Pipa Angkur	319
12.4.5	Sambungan Las pada Dek	322
BAB 13	STRUKTUR PYLON.....	325
13.1	Gaya Dalam pada Pylon	325
13.2	Analisa Kelangsingan dan Momen Sekunder.....	328
13.2.1	Spesifikasi Material dan Dimensi Pylon	328
13.2.2	Kelangsingan Pylon.....	329
13.2.3	Perbesaran Momen	331
13.3	Penulangan Pylon	338
13.3.1	Perhitungan Tulangan Longitudinal.....	338
13.3.2	Perhitungan Tulangan Transversal.....	344
13.3.3	Persyaratan dan Pendetailan Tulangan.....	350
13.4	Analisa Angkur pada Pylon.....	352
BAB 14	ANALISA AERODINAMIS.....	355
14.1	Frekuensi Alami	355
14.2	Stabilitas Aerodinamik (SEM PU NO. 08/SE/M/2015)	356
14.3	Vortex Shedding.....	357
14.3.1	Kecepatan Angin berdasarkan Angka Strouhal	357
14.3.2	Angka Reynold.....	357
14.3.3	Amplitudo akibat Osilasi.....	358
14.3.4	Percepatan akibat Osilasi	360

14.4	Flutter	361
14.5	Frekuensi Struktur	364
BAB 15	METODE PELAKSANAAN DAN	
MAINTENANCE	369
15.1	Metode Pelaksanaan	369
15.1.1	Tahapan Pelaksanaan	369
15.2	Analisa Struktur Tahap Pelaksanaan	375
15.3	Analisa Struktur ketika Maintenance	382
BAB 16	KESIMPULAN	387
16.1	Kesimpulan.....	387
16.2	Saran.....	389
DAFTAR PUSTAKA	391
BIODATA PENULIS	393
LAMPIRAN	394

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 - <i>Long section</i> jembatan Sembayat Baru	2
Gambar 1.2 - Lahan jembatan Sembayat	3
Gambar 2.1 - Konfigurasi kabel arah memanjang (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	10
Gambar 2.2 - Jembatan dengan kabel 2 bidang (a,b) dan satu bidang (c,d) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	12
Gambar 2.3 - Wire stay cable dan strand stay cable (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	13
Gambar 2.4 - Angkur mati (kiri) dan angkur hidup (kanan) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	14
Gambar 2.5 - Alternatif pengangkuran pada menara (a), (b), (c) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)	15
Gambar 2.6 - Alternatif pengangkuran pada menara (d) dan (e) (lanjutan) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)	15
Gambar 2.7 - Lokasi angkur pada dek jembatan (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)	16
Gambar 2.8 - Gelagar <i>solid web</i> baja (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	17
Gambar 2.9 - Bentuk dasar menara/ <i>pylon</i> jembatan <i>cable-stayed</i> (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	18
Gambar 2.10 - Beban Lajur “D”	23
Gambar 2.11 - Konfigurasi beban hidup (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	24
Gambar 2.12 - Konfigurasi beban truk “T”	25
Gambar 2.13 - Penempatan beban truk “T”	25
Gambar 2.14 - Faktor beban dinamis untuk “T” untuk pembebanan lajur “D”	26
Gambar 2.15 - Notasi gaya pada kabel angkur (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	39

Gambar 2.16 - Gaya di puncak menara jembatan <i>cabl-stayed</i> (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015).....	42
Gambar 2.17 - Prinsip konservasi energi (Walther 1988)	54
Gambar 2.18 - Efek angin pada penampang lantai kendaraan (Walther 1988).....	57
Gambar 2.19 - Grafik koefisien CT, CN, CM (Walther 1988)....	58
Gambar 2.20 - Klaifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther 1988).....	61
Gambar 2.21 - Klasifikasi psikologis berdasarkan percepatan (Walther 1988).....	61
Gambar 2.22 - Representasi sederhana <i>flutter</i> pada dek jembatan (Walther 1988).....	63
Gambar 2.23 - Kecepatan teoritis untuk flutter (Walther 1988)..	63
Gambar 2.24 - Grafik koefisien koreksi (Walther 1988).....	64
Gambar 2.25 - Tahap urutan Forward Process Analysis (FPA) ..	66
Gambar 2.26 - Perhitungan gaya kabel saat pelaksanaan.....	67
Gambar 3.1 – Bagan alir.....	71
Gambar 4.1 - <i>Long section</i> jembatan <i>existing</i>	82
Gambar 4.2 - <i>Long section</i> dan denah jembatan <i>cabl stayed</i>	85
Gambar 4.3 - Dimensi awal <i>ribs</i> (dalam mm)	87
Gambar 4.4 - <i>Cross section</i> dek jembatan dengan sistem <i>orthotropic box girder</i>	90
Gambar 5.1 - Skema pembebanan pada <i>railing</i> dan <i>parapet</i>	98
Gambar 5.2 - <i>Long section</i> rencana <i>railing</i> (satuan dalam mm) .	99
Gambar 5.3 - <i>Cross section</i> rencana <i>railing</i> (satuan dalam mm)	99
Gambar 5.4 - Pemodelan menggunakan SAP2000.....	103
Gambar 5.5 - Konfigurasi beban pada pemodelan SAP2000	103
Gambar 5.6 - Output hasil gaya dalam aksial dan momen	104
Gambar 5.7 - <i>Long section section parapet</i> (satuan mm).....	111
Gambar 5.8 - <i>Cross section parapet</i> (satuan mm).....	112
Gambar 5.9 - Pemodelan menggunakan SAP2000.....	115

Gambar 5.10 - Konfigurasi beban pada pemodelan SAP2000..	116
Gambar 5.11 - Output hasil gaya dalam aksial dan momen.....	116
Gambar 6.1 - Tampak perspektif struktur jembatan.....	125
Gambar 6.2 - Tampak memanjang struktur jembatan	126
Gambar 6.3 - Tampak melintang struktur jembatan.....	126
Gambar 6.4 - Tampak atas struktur jembatan	126
Gambar 6.5 - <i>Cross section</i> dek jembatan.....	127
Gambar 6.6 - Grafik <i>respons spectrum</i>	134
Gambar 6.7 - Grafik respons spektrum pada MIDAS Civil	135
Gambar 6.8 - <i>Cross section</i> dek jembatan.....	136
Gambar 6.9 - Skema pengangkatan dek dengan <i>lifting frame</i> ...	137
Gambar 6.10 - Ilustrasi pemasangan dek dengan <i>lifting frame</i> .	138
Gambar 8.1 - Penampang efektif <i>top rib</i>	153
Gambar 8.2 - Penampang las.....	165
Gambar 8.3 - Serat atas (terarsir), dan serat bawah (tanpa arsir)	166
Gambar 8.4 - Sambungan antar segmen pada rib.....	174
Gambar 8.5 - Susunan baut sambungan segmen pada rib	176
Gambar 8.6 - Penampang kritis geser blok (terarsir)	178
Gambar 8.7 - Penampang efektif <i>bottom rib</i>	186
Gambar 8.8 - Penampang las.....	198
Gambar 8.9 - Serat atas (terarsir), dan serat bawah (tanpa arsir)	199
Gambar 8.10 – Sambungan segmen <i>bottom orthotropic plate</i> ..	206
Gambar 8.11 - Susunan baut sambungan segmen pada rib	209
Gambar 8.12 - Penampang kritis geser blok (terarsir)	211
Gambar 9.1 - Penampang <i>top floor beam</i>	213
Gambar 9.2 - Penampang <i>bottom floor beam</i>	214
Gambar 9.3 - <i>Cross section top floor beam</i>	221
Gambar 9.4 - Penampang las.....	237
Gambar 9.5 - Penampang las pada serat tarik	237

Gambar 9.6 - <i>Cross section bottom floor beam</i>	246
Gambar 9.7 - Penampang las.....	261
Gambar 9.8 - Penampang las pada serat tarik.....	262
Gambar 10.1 - Penampang <i>side box girder</i>	270
Gambar 10.2 - Penampang <i>main box girder</i>	283
Gambar 11.1 - Penampang profil siku ganda rangka batang.....	295
Gambar 11.2 - <i>Lead rubber bearing (LRB)</i>	304
Gambar 12.1 - Susunan kabel.....	308
Gambar 12.2 - Struktur angkur pada dek	313
Gambar 12.3 – Dimensi <i>gusset plate</i> untuk angkur dek.....	317
Gambar 12.4 - Tampak atas penampang las angkur.....	323
Gambar 13.1 - Potongan memanjang struktur <i>pylon</i>	325
Gambar 13.2 - Section-1 (kanan), Section-2 (kiri).....	329
Gambar 13.3 - Pemodelan penulangan section-1	339
Gambar 13.4 - Diagram interaksi Mx-My analisa spColumn ...	340
Gambar 13.5 - Diagram interaksi P-M analisa spColumn.....	341
Gambar 13.6 - Pemodelan penulangan section-2	341
Gambar 13.7 - Diagram interaksi Mx-My analisa spColumn ...	343
Gambar 13.8 - Diagram interaksi P-M analisa spColumn.....	343
Gambar 13.9 - Detail <i>adjustable anchorage</i> VSL SSI 2000	353
Gambar 14.1 - Koefisien gaya angkat C (Walther, Rene 1999)	358
Gambar 14.2 - Kontrol keamanan amplitudo (Walther, Rene 1999).....	360
Gambar 14.3 - Kontrol keamanan percepatan (Walther, Rene 1999).....	361
Gambar 14.4 - Grafik $V_{critic.theoretic}$ (Walther, Rene 1999).....	363
Gambar 14.5 Faktor koreksi $V_{critic.actual}$ (Walther, Rene 1999) -	363
Gambar 15.1 - Dimensi <i>lifting frame</i>	370
Gambar 15.2 - Tahap pertama pelaksanaan.....	370
Gambar 15.3 - Tahap kedua pelaksanaan.....	371
Gambar 15.4 - Tahap ketiga pelaksanaan.....	372

Gambar 15.5 - Tahap keempat pelaksanaan.....	372
Gambar 15.6 - Tahap kelima pelaksanaan	373
Gambar 15.7 - Tahap keenam pelaksanaan	373
Gambar 15.8 - Tahap ketujuh pelaksanaan	374
Gambar 15.9 - Tahap pelaksanaan kedelapan	375
Gambar 15.10 - Pelaksanaan pada ujung selatan (kiri) dan utara (kanan).....	375
Gambar 15.11 – Deformasi dek pada tahap pelaksanaan (tampilan dalam skala).....	381
Gambar 15.12 – Kondisi normal dek dengan aligmnet yang telah didesain (gambar dalam skala).....	381
Gambar 15.13 – 1 kabel dilepas pada tahap <i>maintenance</i>	382

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 - Klasifikasi penerapan tipe jembatan berdasarkan panjang bentang (Sétra, 2003).....	2
Tabel 2.1 - Jenis-jenis kabel (Peraturan No. 08/SE/M2015).....	13
Tabel 2.2 - Berat isi material untuk jembatan	19
Tabel 2.3 - Faktor beban untuk beban permanen	20
Tabel 2.4 - Faktor beban untuk beban mati tambahan	21
Tabel 2.5 - Ketentuan jumlah lajur jembatan	21
Tabel 2.6 - Faktor beban untuk beban lajur “D”	22
Tabel 2.7 - Faktor beban untuk beban truk.....	24
Tabel 2.8 - Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu	29
Tabel 2.9 - Tekanan angin dasar	29
Tabel 2.10 - Persyaratan analisis minimum untuk pengaruh gempa (RSNI 2833 2013).....	31
Tabel 2.11 - Persyaratan jembatan beraturan (RSNI 2833 2013)	32
Tabel 2.12 - Kriteria kinerja railing dan kinerja terhadap tumbukan	36
Tabel 2.13 - Kombinasi pembebanan (Tabel 1 SNI 1725 2016).	36
Tabel 2.14 - Sifat mekanis baja struktural.....	42
Tabel 2.15 - Faktor panjang efektif	48
Tabel 4.1 - Mutu kabel	91
Tabel 4.2 - Perhitungan jumlah strand dalam setiap susunan kabel penopang	94
Tabel 4.3 - Rekapitulasi gaya yang bekerja pada <i>pylon</i>	95
Tabel 5.1 - <i>Test level</i> 4 dalam AASHTO MASH 2009	98
Tabel 5.2 - Spesifikasi profil <i>circular hollow</i> D3,5”	100
Tabel 5.3 - Spesifikasi profil <i>rectengular hollow</i> 200.200.8.....	100
Tabel 5.4 - Rekapitulasi gaya dalam <i>ultimate</i>	104
Tabel 5.5 - Spesifikasi profil <i>circullar hollow</i> 3,5”	112

Tabel 5.6 - Spesifikasi <i>rectangular hollow</i> 200.200.8.....	113
Tabel 5.7 - Rekapitulasi gaya dalam	117
Tabel 6.1 - Ilustrasi konfigurasi beban hidup	132
Tabel 6.2 - Variabel koefisien gempa.....	132
Tabel 6.3 - Respons spectrum.....	133
Tabel 6.4 - Output <i>box girder</i> (KUAT-Tekan).....	139
Tabel 6.5 - Output <i>box girder</i> (KUAT-Geser).....	140
Tabel 6.6 - Output <i>box girder</i> (KUAT-Momen)	140
Tabel 6.7 - Output <i>box girder</i> (KUAT-Torsi)	141
Tabel 6.8 - Output <i>box girder</i> (LAYAN-Tekan).....	141
Tabel 6.9 - Output <i>box girder</i> (LAYAN-Geser).....	142
Tabel 6.10 - Output <i>box girder</i> (LAYAN-Momen).....	142
Tabel 6.11 - Output <i>box girder</i> (LAYAN-Torsi).....	143
Tabel 8.1 – Tekan maksimum LRFD	147
Tabel 8.2 - Tarik maksimum LRFD	148
Tabel 8.3 – Geser x maksimum LRFD.....	148
Tabel 8.4 – Geser y maksimum LRFD.....	149
Tabel 8.5 – Momen x maksimum LRFD.....	149
Tabel 8.6 – Momen y maksimum LRFD.....	150
Tabel 8.7 - Tekan maksimum ASD.....	150
Tabel 8.8 - Tarik maksimum ASD	151
Tabel 8.9 – Geser x maksimum ASD.....	151
Tabel 8.10 – Geser y maksimum ASD.....	152
Tabel 8.11 – Momen x maksimum ASD.....	152
Tabel 8.12 – Momen y maksimum ASD.....	153
Tabel 8.13 – Perhitungan baut sambungan segmen <i>top orthotropic plate</i>	177
Tabel 8.14 - Perhitungan baut sambungan segmen <i>top orthotropic plate</i> (lanjutan).....	177
Tabel 8.15 – Tekan maksimum LRFD	180
Tabel 8.16 – Tarik maksimum LRFD	180

Tabel 8.17 – Geser x maksimum LRFD.....	181
Tabel 8.18 – Geser y maksimum LRFD.....	181
Tabel 8.19 – Momen x maksimum LRFD.....	182
Tabel 8.20 – Momen y maksimum LRFD.....	182
Tabel 8.21 – Tekan maksimum ASD	183
Tabel 8.22 – Tarik maksimum ASD.....	183
Tabel 8.23 – Geser x maksimum ASD.....	184
Tabel 8.24 – Geser y maksimum ASD.....	184
Tabel 8.25 – Momen x maksimum ASD.....	185
Tabel 8.26 – Momen y maksimum ASD.....	185
Tabel 8.27 – Perhitungan baut segmen <i>bottom orthotropic plate</i>	209
Tabel 8.28 - Perhitungan baut segmen <i>bottom orthotropic plate</i> (lanjutan)	210
Tabel 9.1 – Tekan maksimum LRFD	214
Tabel 9.2 – Tarik maksimum LRFD	215
Tabel 9.3 – Geser x maksimum LRFD.....	215
Tabel 9.4 – Geser y maksimum LRFD.....	216
Tabel 9.5 – Momen x maksimum LRFD.....	216
Tabel 9.6 – Momen y maksimum LRFD.....	217
Tabel 9.7 – Tekan maksimum ASD	217
Tabel 9.8 – Tarik maksimum ASD	218
Tabel 9.9 – Geser x maksimum ASD.....	218
Tabel 9.10 – Geser y maksimum ASD.....	219
Tabel 9.11 – Momen x maksimum ASD.....	219
Tabel 9.12 – Momen y maksimum ASD.....	220
Tabel 9.13 – <i>Section properties of top floor beam</i>	221
Tabel 9.14 – Tekan maksimum LRFD	239
Tabel 9.15 – Tarik maksimum LRFD	239
Tabel 9.16 – Geser y maksimum LRFD.....	240
Tabel 9.17 – Geser y maksimum LRFD.....	240

Tabel 9.18 – Momen x maksimum LRFD.....	241
Tabel 9.19 – Momen y maksimum LRFD.....	241
Tabel 9.20 – Tekan maksimum ASD	242
Tabel 9.21 – Tarik maksimum ASD.....	242
Tabel 9.22 – Geser x maksimum ASD	243
Tabel 9.23 – Geser y maksimum ASD	243
Tabel 9.24 – Momen x maksimum ASD.....	244
Tabel 9.25 – Momen y maksimum ASD.....	244
Tabel 9.26 – <i>Section properties of bottom floor beam</i>	246
Tabel 10.1 – Tekan maksimum LRFD	265
Tabel 10.2 – Geser maksimum LRFD.....	266
Tabel 10.3 – Momen maksimum LRFD.....	266
Tabel 10.4 – Torsi maksimum LRFD.....	267
Tabel 10.5 – Tekan maksimum ASD	267
Tabel 10.6 – Geser maksimum ASD	268
Tabel 10.7 – Momen maksimum ASD.....	268
Tabel 10.8 – Torsi maksimum ASD.....	269
Tabel 10.9 – Tekan maksimum LRFD	278
Tabel 10.10 – Geser maksimum LRFD.....	278
Tabel 10.11 – Momen maksimum LRFD.....	279
Tabel 10.12 – Torsi maksimum LRFD.....	279
Tabel 10.13 – Tekan maksimum ASD	280
Tabel 10.14 – Geser maksimum ASD	280
Tabel 10.15 – Momen maksimum ASD.....	281
Tabel 10.16 – Torsi maksimum ASD	281
Tabel 11.1 – Tekan maksimum LRFD	293
Tabel 11.2 – Tarik maksimum LRFD	293
Tabel 11.3 – Tekan maksimum ASD	293
Tabel 11.4 – Tarik maksimum ASD.....	294
Tabel 11.5 – <i>Section properties</i> profil siku ganda.....	294
Tabel 11.6 – Rekapitulasi jumlah baut	303

Tabel 11.7 - Dimensi Mageba LASTO LRB.....	305
Tabel 11.8 - Gaya maksimum pada LRB	305
Tabel 12.1 - Nilai gaya pratarik kabel	310
Tabel 12.2 - Output gaya dalam kabel	311
Tabel 12.3 - Rekapitulasi kapasitas kabel	312
Tabel 12.4 – Persamaan kapasitas sambungan <i>gusset plate</i> (AISC 360-10 Table K1.2)	316
Tabel 13.1 - Gaya dalam maksimum-X1 untuk <i>pylon</i>	326
Tabel 13.2 - Gaya dalam maksimum-Y1 untuk <i>pylon</i>	326
Tabel 13.3 - Gaya dalam maksimum-X2 untuk <i>pylon</i>	327
Tabel 13.4 - Gaya dalam maksimum-Y2 untuk <i>pylon</i>	327
Tabel 13.5 - Rekapitulasi gaya pada <i>pylon</i>	338
Tabel 13.6 - Gaya dalam pada kabel	352
Tabel 14.1 – Frekuensi alami struktur.....	364
Tabel 14.2 – Frekuensi struktur akibat angin	366
Tabel 14.3 – Selisih nilai frekuensi alami dan frekuensi akibat angin	367
Tabel 15.1 - Gaya prataik kabel	376
Tabel 15.2 - Kapasitas <i>orthotropic plate-1</i>	377
Tabel 15.3 - Kapasitas <i>orthotropic plat-2</i>	378
Tabel 15.4 - Kapasitas <i>floor beam-1</i>	378
Tabel 15.5 - Kapasitas <i>floor beam-2</i>	379
Tabel 15.6 - Kapasitas <i>box girder</i> samping.....	379
Tabel 15.7 - Kapasitas <i>box girder</i> utama.....	380
Tabel 15.8 - Kapasitas struktur rangka batang	380
Tabel 15.9 - Kapasitas penampang kabel	380
Tabel 15.10 - Kapasitas <i>orthotropic plate-1</i>	383
Tabel 15.11 - Kapasitas <i>orthotroic plate-2</i>	383
Tabel 15.12 - Kapasitas <i>floor beam-1</i>	384
Tabel 15.13 - Kapasitas <i>floor beam-2</i>	384
Tabel 15.14 - Kapasitas <i>box girder</i> samping.....	385

Tabel 15.15 - Kapasitas <i>box girder</i> utama.....	385
Tabel 15.16 - Kapasitas rangka batang.....	385
Tabel 15.17 - Kapasitas penampang kabel	386

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan Sembayat Baru terletak di jalan raya Bungah Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik Jawa Timur. Jembatan ini merupakan prasarana penyeberangan utama sungai Bengawan Solo yang terletak di Bungah Gresik. Jalur lalu lintas pada jembatan Sembayat ini merupakan jalur nasional. Jalur ini juga merupakan jalur kendaraan-kendaraan berat yang mendistribusikan hasil perindustrian dari kota Gresik menuju arah kota Tuban dan sekitarnya.

Jembatan ini berada pada STA 0+130 sampai STA 1+050, dengan panjang oprit pada sisi selatan jembatan sepanjang 219,17 meter dan oprit pada sisi utara sepanjang 346,83 meter. Sedangkan panjang jembatan adalah 354 meter dengan panjang bentang utama 93 meter yang dibangun dengan struktur pelengkung, sedangkan bentang-bentang yang lain dibangun dengan struktur *girder* dengan material beton prategang. Bentang pertama dan bentang kedua dari selatan berada di atas sungai Bengawan Solo yang memiliki lebar ± 120 meter, sedangkan 4 bentang lainnya berada di atas lereng sungai Bengawan Solo yang merupakan tanah lunak. Lereng sungai tersebut selalu terendam pada saat kondisi banjir di area sungai.

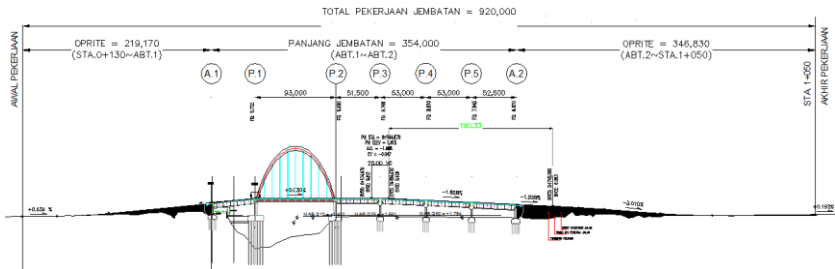
Dengan total panjang jembatan yang tergolong sangat panjang, muncul ide untuk memodifikasi struktur jembatan Sembayat Baru menggunakan sistem *single plane cable-stayed* dengan metode konstruksi *balanced cantilever*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Struktur *pylon* dengan material beton bertulang yang berjumlah satu (*single plane*).
- Bentang jembatan ± 340 meter dengan hanya satu *pylon*, sehingga ada 2 bentang utama sepanjang 170 meter.

- Gelagar menggunakan *orthotropic steel box girder*, dengan lebar total 17 meter.

Alasan pemilihan *cable-stayed* sebagai struktur jembatan untuk Sembayat Baru diantaranya, pengurangan jumlah pilar, pengurangan tinggi dek, dan unsur estetika yang sangat mencolok pada struktur *cable-stayed*.

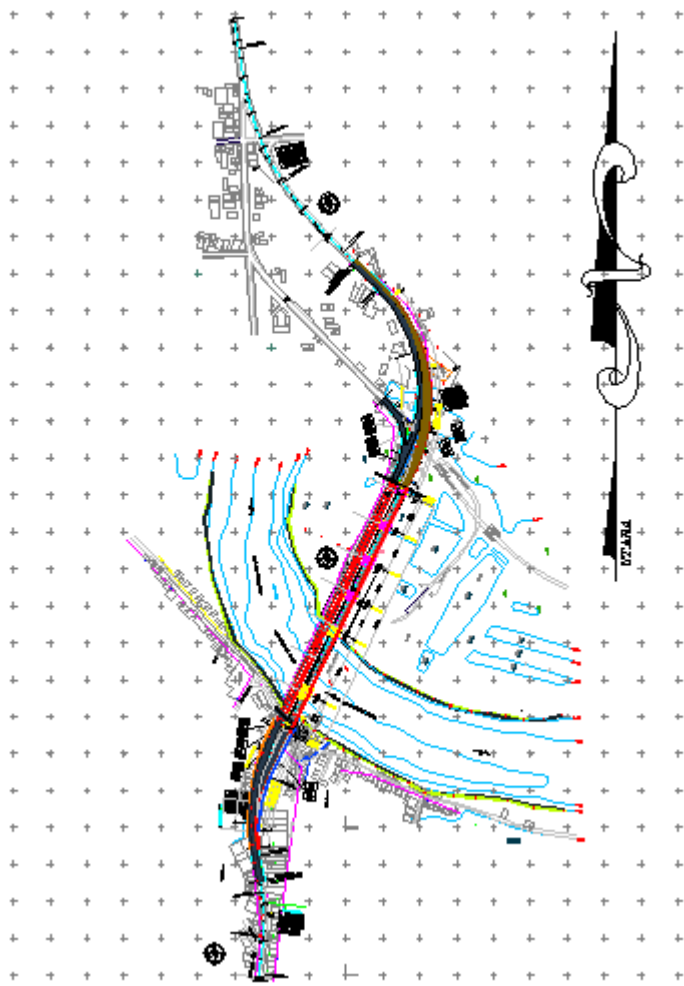
Dengan menggunakan sistem *cable-stayed* maka jembatan dapat didesain dengan bentang yang lebih panjang sehingga akan mengurangi jumlah pilar yang digunakan. Untuk jembatan *cable-stayed* penggunaan bentang minimum adalah 200 meter. Hal ini dijelaskan dalam “Prestreed Concrete Bridges Built Using the Cantilever Method” oleh Departemen Teknis untuk Transportasi, Jalan dan Rekayasa Jembatan, dan Keselamatan Jalan (S etra) Republik Perancis pada tabel 1.1.



Gambar 1.1 - Long section jembatan Sembayat Baru

Tabel 1.1 - Klasifikasi penerapan tipe jembatan berdasarkan panjang bentang (S etra, 2003)

Type	Spans						
	35	70	90	120	150	200	300
- Bridges built using the cantilever							
- Incrementally launched concrete bridges							
- Composite beam bridges							
- Composite box girder bridges							
- Orthotropic slab box-section bridges							
- Cables stays bridges							



Gambar 1.2 - Lahan jembatan Sembayat

Selain mengurangi jumlah penggunaan pilar, penerapan sistem *cable-stayed* juga akan mengurangi tinggi dek jembatan. Dek jembatan yang digunakan dalam jembatan Sembayat Baru *existing* pada bentang dengan sistem *girder* menggunakan material beton prategang U shape (PCU). Tinggi *girder* tersebut adalah 2,4 meter. Dalam Pasal 4.6.2 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 dijelaskan kisaran tinggi *girder* untuk jembatan *cable-stayed* adalah 1/50 sampai dengan 1/70 dari panjang bentang utama.

Dari segi estetika, jembatan *cable-stayed* memiliki estetika yang sangat indah jika dibandingkan tipe-tipe jembatan yang lain. Dengan demikian, nilai pariwisata pada wilayah akan meningkat. Sehingga selain untuk prasarana transportasi, jembatan tersebut juga dapat dijadikan *landmark* kabupaten Gresik yang akan mengundang wisatawan. Tentu saja hal ini akan meningkatkan perekonomian masyarakat sekitar.

Sedangkan keunggulan dari metode pelaksanaan *balanced cantilever* adalah kemudahan pelaksanaannya. Dengan metode *balanced cantilever* pekerjaan tetap dapat dilaksanakan pada aliran sungai yang deras, karena tidak diperlukan akses menuju tengah sungai saat pemasangan komponen struktur jembatan. Hal ini sangat cocok dengan kondisi sungai Bengawan Solo yang memiliki aliran relatif deras.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka diperlukan perincian permasalahan secara detail untuk melakukan desain ulang jembatan Sembayat Baru menggunakan sistem *cable-stayed*. Rumusan masalah tersebut diantranya:

1. Bagaimana *preliminary design* jembatan dan komponen strukturnya yang meliputi konfigurasi kabel, *orthotropic steel box girders*, dan *pylon*?

2. Bagaimana pembebanan untuk jembatan *cable-stayed* pada masing-masing komponen strukturnya?
3. Bagaimana pemodelan struktur jembatan *cable-stayed* menggunakan program bantu MIDAS Civil?
4. Bagaimana perencanaan komponen struktur sekunder jembatan *cable-stayed* meliputi trotoar, *railing*, *kerb*, dll?
5. Bagaimana mendesain bangunan atas (*superstructure*) pada jembatan *cable-stayed*?
6. Bagaimana desain pengangkuran pada jembatan *cable-stayed*?
7. Bagaimana analisa stabilitas struktur dinamis jembatan *cable-stayed* yang meliputi frekuensi alami, *vortex shedding* dan efek *flutter*?
8. Bagaimana analisa pengaruh pelaksanaan menggunakan metode *balanced cantilever* terhadap kapasitas *box girder*, kabel, dan *pylon*?
9. Bagaimanan penggambaran hasil desain struktur jembatan *cable-stayed*?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan penulis melakukan tugas akhir ini secara umum adalah untuk memnuhi persyaratan kelulusan akademik dan untuk mengaplikasikan disiplin ilmu yang telah dipelajari selama perkuliahan. Sedangkan secara khusus ialah untuk melakukan desain ulang jembatan Sembayat baru menggunakan sistem *cable-stayed*.

Adapun maksud dari penyusunan tugas akhir ini meliputi:

1. Merencanakan *preliminary design* jembatan *cable-stayed*.
2. Merencanakan komponen struktur bangunan atas jembatan *cable-stayed*.
3. Melakukan analisa komponen struktur terhadap proses pelaksanaan.

4. Mendapatkan desain struktur bangunan atas jembatan dengan memenuhi batasan keamanan, kenyamanan, dan estetika.
5. Menuangkan hasil desain struktur ke dalam bentuk gambar kerja berdasarkan hasil analisa dan perhitungan.

Sedangkan tujuan penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan konfigurasi kabel, dimensi kabel, desain penampang *steel box girders*, desain angkur, dan desain penampang *pylon* yang efektif dan memenuhi persyaratan keamanan.
2. Mengetahui stabilitas hasil desain terhadap perilaku dinamis struktur.
3. Mengetahui keamanan struktur saat tahap pelaksanaan menggunakan metode *balanced cantilever*.
4. Mendapatkan hasil desain gambar struktur jembatan *cabl-stayed*.

1.4 Batasan Masalah

Dikernakan keterbatasan waktu dalam penyusunan tugas akhir ini, maka penulis membatasi permasalahan yang ada. Batasan masalah tersebut diantaranya:

1. Penulis tidak melakukan analisa dampak lingkungan dalam menentukan tipe jembatan.
2. Penulis tidak melakukan desain bangunan bawah yang meliputi desain pondasi, abutment, pondasi *pylon (pillar)* dan kestabilan lereng. Serta tidak menyusun metode pelaksanaan untuk konstruksi *pylon*
3. Penulis tidak melakukan analisa anggaran biaya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan *cable-stayed* (beruji kabel) adalah struktur yang mempunyai sederetan kabel lurus dan memikul elemen horizontal kaku (berupa balok, rangka, atau *box*). Jembatan *cable-stayed* terdiri dari sistem struktur berupa gelagar menerus yang didukung oleh tumpuan berupa kabel yang dibentangkan miring dan dihubungkan ke menara sebagai penahan utama. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2015).

Jembatan *cable-stayed* sudah dikenal sejak abad ke 16 dan mulai banyak digunakan pada abad ke 19. Model awal penggunaan jembatan *cable-stayed* biasanya dikombinasikan dengan model suspension, seperti jembatan Brooklyn yang terkenal. Desain jembatan *cable-stayed* sempat kurang difavoritkan sepanjang abad ke 20. Pada masa itu para *designer* lebih memilih tipe *suspension* untuk jembatan dengan bentang yang panjang, dan memilih jembatan beton bertulang untuk bentang yang jauh lebih pendek. Kemudian jembatan tipe *cable-stayed* kembali digunakan pada akhir abad ke 20 dengan didukung kombinasi material yang baru dan mesin konstruksi yang lebih banyak dan canggih. Salah satu penyebab meningkatnya pembangunan jembatan *cable-stayed* juga dikarenakan kebutuhan rekonstruksi jembatan baru untuk menggantikan jembatan-jembatan besar yang hancur pasca perang dunia ke 2 di Eropa dengan lebih mempertimbangkan penghematan biaya. Jembatan *Strosmund* di Swedia merupakan jembatan pertama yang mengalami rekonstruksi pasca perang dunia ke 2 dan menjadi awal perkembangan jembatan *cable-stayed* modern. Sejak saat itu, jembatan *cable-stayed* mulai banyak dibangun di seluruh dunia termasuk di Indonesia.

2.2 Komponen Struktur Jembatan Cable Stayed

Sistem *cable-stayed* pada jembatan dapat diartikan sebagai sebuah sistem struktur yang terdiri dari dek *orthotropic* dan *girder* menerus yang diikat oleh *incline cable* dan didistribusikan ke menara yang terletak pada pilar utama (Troitsky 1977). Jembatan *cable-stayed* terdiri dari elemen-elemen utama yang berupa gelagar atau *girder*, kabel, dan menara yang disebut *pylon* pada *superstructure* serta abutmen dan pondasi sebagai komponen bangunan bawah jembatan. Prinsip jembatan *cable-stayed* terdiri dari segmen-segmen gelagar yang disusun menjadi rantai kendaraan, di mana gelagar dihubungkan dan disokong oleh kabel-kabel. Ujung-ujung lain dari kabel akan diangker pada satu titik atau lebih pada menara yang menumpu pada pondasi. Kabel-kabel tersebut berperilaku sebagai struktur tarik karena menahan beban pada dek jembatan. Sedangkan menara/*pylon* berperan sebagai struktur tekan akibat gaya-gaya yang disalurkan oleh kabel-kabel.

2.2.1 Variasi Model Desain Jembatan Cable-Stayed

Secara umum terdapat empat variasi model desain jembatan *cable-stayed*, diantaranya adalah:

- a. *Side-Spar Cable-Stayed Bridge*
- b. *Cantilever-Spar Cable-Stayed Bridge*
- c. *Multiple-Span Cable-Stayed Bridge*
- d. *Extradosed Bridge*

2.2.2 Komponen Kabel (Cable Component)

a. Konfigurasi Kabel

Pada struktur jembatan *cable-stayed*, kabel merupakan salah satu komponen utama. Dimana kabel berfungsi memikul dek beserta beban lalu lintas di atasnya dan kemudian menyalurkan beban-beban tersebut ke menara. Dalam desain struktur kabel sendiri, penempatan atau konfigurasi kabel memegang peranan penting. Penentuan

konfigurasi dan jumlah kabel-kabel tersebut didasarkan atas berbagai hal, diantaranya adalah panjang bentang, jenis beban, jumlah lajur atau lebar jembatan, tinggi menara, dan estetika. (Troitsky 1977).

i. Konfigurasi Kabel dalam Arah Memanjang

Dalam Pasal 4.4.2 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015, dijelaskan tentang macam-macam konfigurasi kabel dalam arah memanjang, diantaranya adalah:

1. Pola Tunggal (*Mono Pattern*)

Pola kabel tunggal hanya menggunakan satu kabel pada menara. Pola ini sangat jarang digunakan, dan biasanya hanya untuk jembatan-jembatan kecil.

2. Pola Sejajar (*Harp Pattern*)

Tipe konfigurasi sejajar menyerupai bentuk dawai pada alat musik harpa. Pada pola konfigurasi sejajar, kabel dipasangkan sejajar pada menara dengan ketinggian yang berbeda-beda, kemudian diangkurkan pada dek jembatan.

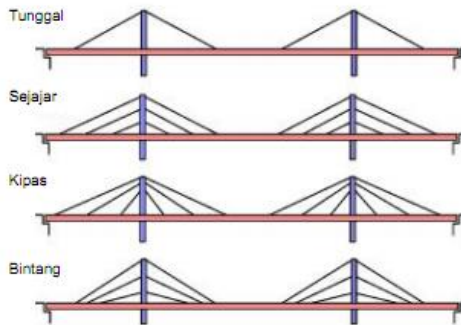
3. Pola Kipas (*Fan Pattern*)

Pada konfigurasi pola kipas, semua kabel diangkurkan atau dilewatkan bagian puncak menara. Pola ini secara struktur sangat *superior* karena hanya menimbulkan momen yang minimum pada menara. Tetapi untuk alasan praktis, pola *modified fan pattern* lebih dipilih untuk digunakan daripada pola *fan* biasa. Pada pola *modified fan pattern*, kabel-kabel ditempatkan di bagian puncak menara

tetapi tidak dalam satu titik, diantara kabel-kabel masih diberi jarak yang tidak terlalu panjang, dengan alasan untuk meningkatkan perlindungan terhadap lingkungan, dan memberikan kemudahan akses dalam melakukan *maintenance*.

4. Pola Bintang (*Star Pattern*)

Pada pola bintang kabel dipasang secara paralel pada menara, kemudian dihubungkan pada satu titik pada bagian dek. Pola ini merupakan kebalikan dari pola *fan*. Pola ini umumnya digunakan untuk bentang jembatan *cable-stayed* yang tidak panjang.



Gambar 2.1 - Konfigurasi kabel arah memanjang (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

- ii. Konfigurasi Kabel dalam Arah Melintang
 1. Sistem Satu Bidang (*Single Plane System*)

Pada pola ini, kabel ditempatkan di tengah-tengah dek dan membatasi dua jalur lalu lintas pada dek. Dari segi struktural, sistem ini menyebabkan torsi pada dek dan *pylon* akibat beban lalu lintas

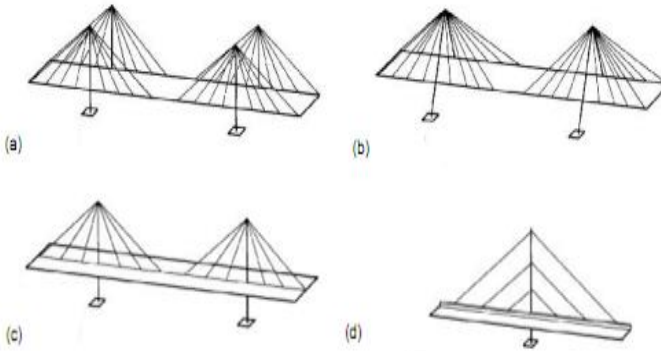
yang tidak simetris dan juga akibat tiupan angin. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan dek yang berbahan kaku berupa gelagar *box* (*box girder*) yang mempunyai kemampuan tahanan torsi tinggi. Sedangkan dari segi estetika pola ini terlihat sangat indah.

2. Sistem dua bidang (*Double Plane System*)

Pada sistem dua bidang, kabel-kabel digantungkan pada dua bidang vertikal sejajar dengan dua menara di masing-masing sisi dek jembatan, atau dapat berupa dua bidang miring dengan menara berbentuk A. Penggunaan bidang miring dapat menimbulkan permasalahan pada lalu lintas yang lewat di antara dua bidang kabel.

3. Sistem Tiga Bidang atau Lebih

Jembatan *cable-stayed* dengan jumlah bidang kabel tiga atau lebih biasanya digunakan untuk jembatan dengan lantai kendaraan yang sangat lebar. Tipe jembatan dengan bidang kabel tiga ini jarang digunakan. Namun, karena jumlah bidang yang banyak maka memiliki keunggulan untuk mengurangi gaya yang terdistribusi dalam penampang kabel.



Gambar 2.2 - Jembatan dengan kabel 2 bidang (a,b) dan satu bidang (c,d) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

b. Jenis Kabel

Jenis-jenis kabel yang digunakan sebagai penyangga utama jembatan *cable-stayed* ada bermacam-macam. Dalam Pasal 4.8.1 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015, jenis-jenis kabel diklasifikasikan pada tabel di bawah.

Kabel yang sering digunakan dalam desain jembatan *cable-stayed* adalah sebagai berikut:

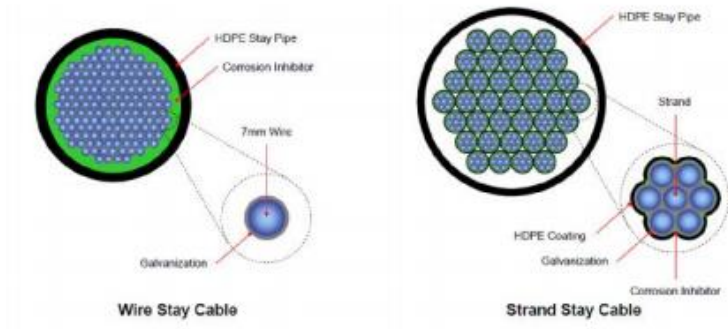
i. *Parallel Wire Cable*

Parallel wire cable terdiri dari kawat bulat digalvanis berdiameter 5 mm sampai 7 mm berbentuk hexagonal, dengan suatu helix panjang. Kawat tersebut biasanya dibungkus oleh *High Density Polythelene (HDPE) tube*.

ii. *Parallel Strand Cable*






Parallel stand cable terdiri dari beberapa strand. Strand-strand tersebut selanjutnya dipasang secara

paralel. Setiap kabel terdiri dari beberapa strand antara lain sebesar 7, 19, 37, 61, 91, atau 127 buah.



Gambar 2.3 - Wire stay cable dan strand stay cable (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

Tabel 2.1 - Jenis-jenis kabel (Peraturan No. 08/SE/M2015)

Jenis Kabel	 Coupled bars 7 \varnothing 36 Steel 635/1030	 Uncoupled bars 26 \varnothing 16	 Parallel wires 128 \varnothing 7	 Strands 27 \varnothing 15 15 mm	 Locked-coil cables
Tendons	Bars \varnothing 26.5, 32, 36 mm	Bars \varnothing 16 mm	Wire \varnothing 6, 7 mm	Strand \varnothing 0.5, 0.6, 0.7 of 7 twisted wires	Wire with different profiles \varnothing 2 9-7 mm
0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	835 1080	1350	1470	1570 – 1670	-
Ultimate tensile strength, β_2 (N/mm ²)	1030 1230	1500	1670	1770 – 1870	1000 – 1300
Fatigue					
$\Delta\sigma$ (N/mm ²)	80	-	350	300 – 320	120 – 150
σ_{max}/β_2	0.6	-	0.45	0.5 – 0.45	0.45
Modulus of elasticity, E (N/mm ²)	210 000	210 000	205 000	190 000 – 200 000	180 000 – 165 000
Failure Load kN	7339	7624	7467	7634	7310

2.2.3 Angkur Kabel

a. Sistem Pengangkuran

Secara struktural angkur pada jembatan *cable-stayed* berfungsi sebagai dukungan vertikal bagi gelagar, sehingga hampir semua beban vertikal bekerja pada angkur. Hal ini berbeda dengan sistem pratekan yang umumnya terletak di luar daerah kritis dan dengan variasi tegangan yang sangat kecil. Karena dari itu tegangan yang diijinkan untuk angkur jembatan *cable-stayed* relatif kecil.

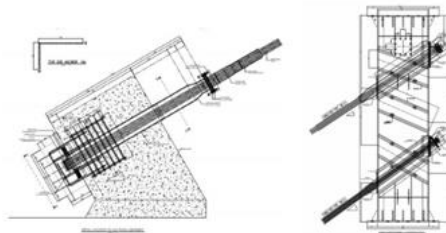
Secara umum terdapat dua sistem pengangkuran pada jembatan *cable-stayed*, yaitu:

i. Angkur Hidup

Pengangkuran dilakukan pada ujung kabel, dimana pada bagian ini dilakukan pemberian tegangan. Angkur hidup biasanya diletakkan di menara jembatan.

ii. Angkur Mati

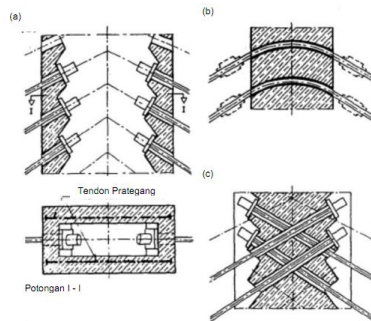
Pengangkuran dilakukan pada ujung kabel, tetapi pada bagian ini tidak dilakukan pemberian tegangan. Angkur mati biasanya diletakkan di dek jembatan.



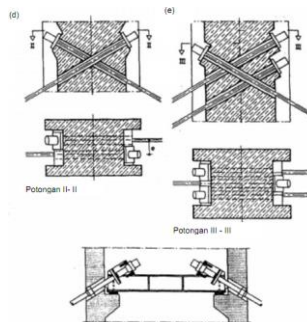
Gambar 2.4 - Angkur mati (kiri) dan angkur hidup (kanan) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

- b. Posisi dan Detail Pengangkuran
- i. Pengangkuran pada Menara

Bagian dari kabel yang masuk ke dalam menara ditempatkan di dalam suatu pipa pengarah/*guide pipe* dari konstruksi baja menembus dari sisi main span ke sisi side span dan sebaliknya. Ada beberapa alternatif pengangkuran pada menara sebagaimana disajikan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 - Alternatif pengangkuran pada menara (a), (b), (c) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)

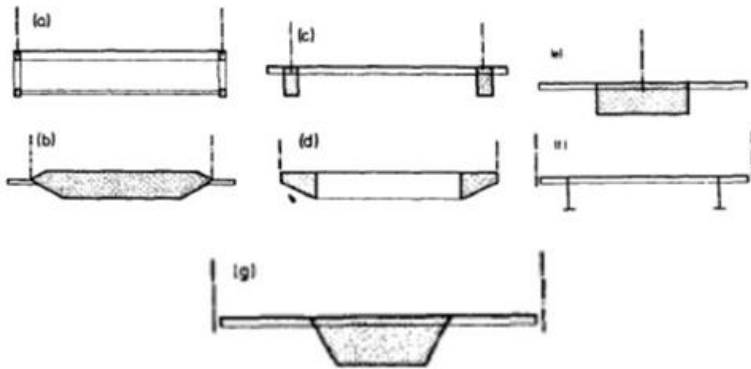


Gambar 2.6 - Alternatif pengangkuran pada menara (d) dan (e) (lanjutan) (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)

ii. Pengangkuran pada Dek Jembatan

Aliran dari gaya-gaya sangat penting untuk diperhatikan ketika mendesain jembatan *cable-stayed*. Pada kasus tertentu, kabel dapat langsung diangkurkan ke elemen utama dek jembatan, sedangkan pada kasus lain angkur harus diletakkan di luar elemen utama sehingga diperlukan *bracker* khusus untuk menyalurkan gaya ke elemen utama dek jembatan.

Berikut lokasi pengangkuran pada dek jembatan:


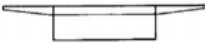
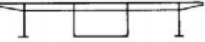
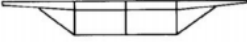
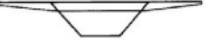

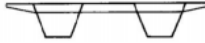


Gambar 2.7 - Lokasi angkur pada dek jembatan (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)

2.2.4 Lantai Kendaraan Jembatan (Bridge Deck)

Terdapat banyak variasi tipe gelagar untuk jembatan *cable-stayed*, namun hanya tiga tipe umumnya digunakan yaitu rangka pengaku baja, *solid web* beton, dan *solid web* baja. Pada perkembangan awal rangka pengaku baja banyak digunakan, namun kini sudah jarang digunakan karena pabrikan yang membutuhkan biaya relatif besar, perawatan yang sulit dan kurang menarik dari segi estetika.

Dalam desain jembatan *cabl-stayed* untuk tugas akhir ini digunakan gelagar *orthotropic solid web* baja. Berikut klasifikasinya menurut Peraturan PU Nomor 08/SE/M2015:

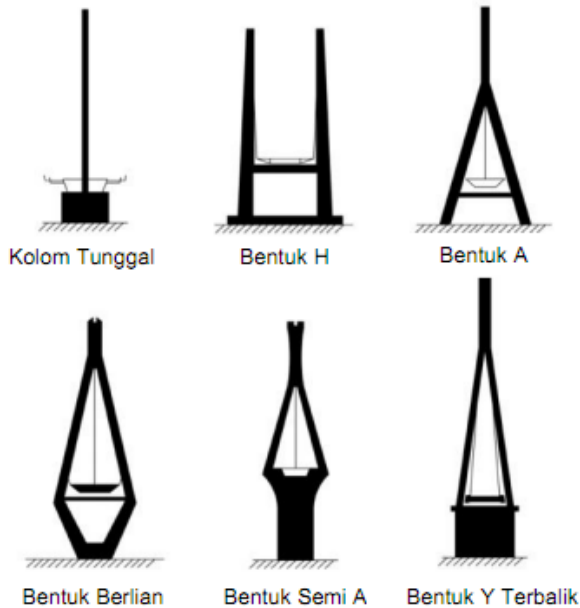
No	Komposisi	Penampang Jembatan
1	<i>Twin I Girder</i>	
2	<i>Single Rectangular Box Girder</i>	
3	<i>Central Box Girder dan Single Single Web Girder</i>	
4	<i>Single Twin Cellular Box Girder dan Sloping Struts</i>	
5	<i>Single Trapezoidal Box Girder</i>	
6	<i>Twin Rectangular Box Girder</i>	
7	<i>Twin Trapezoidal Box Girder</i>	

Gambar 2.8 - Gelagar *solid web* baja (Peraturan PU No. 08/SE/M2015)

2.2.5 Menara/Pylon

Perencanaan menara merupakan hal yang sangat penting dan mendasar yang akan mempengaruhi estetika, keekonomisan serta perilaku struktur dari jembatan.

Bentuk dasar menara jembatan *cabl-stayed* ada beberapa macam, seperti ditampilkan pada gambar di bawah. Pemilihan bentuk menara ditentukan oleh konfigurasi kabel, bentang jembatan dan aspek estetika.



Gambar 2.9 - Bentuk dasar menara/*pylon* jembatan *cable-stayed*
(Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

2.2.6 Tipe Hubungan Jembatan Cable Stayed

Secara umum, tipe hubungan antara menara dan gelagar lantai dapat dibuat sebagai berikut:

- Gelagar merupakan kesatuan monolitik dengan menara, dengan keuntungan besarnya momen berkurang.
- Gelagar melayang melalui menara, struktur tidak tertahan mempunyai keuntungan pengaruh rangkai-susut, perubahan temperatur dan gempa berkurang.
- Gelagar berada di atas perletakan di menara, dengan keuntungan struktur lebih banyak tumpuan.

2.3 Pembebanan Jembatan

Peraturan pembebanan yang digunakan dalam desain jembatan *cabl-stayed* ini adalah peraturan SNI 1725-2016. Beban-beban yang akan direncanakan meliputi:

2.3.1 Beban Permanen

- i. Berat Isi untuk Beban Mati

SNI 1725-2016 mensyaratkan massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian tersebut adalah massa dikalikan percepatan gravitasi (g). Di mana percepatan gravitasi yang digunakan adalah sebesar $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya massa dan berat isi diberikan pada tabel berikut.

Tabel 2.2 - Berat isi material untuk jembatan

No.	Bahan	Berat Isi (kN/m^3)	Kerapatan Massa (Kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tulangan (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 - 22,7	1920 - 2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,5 - 19,6	1250 - 2000
7	Beton $f_c' < 35 \text{ MPa}$	22,0 - 25,0	2320

	$35 \text{ MPa} < f_c' < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022 f_c'$	$220 + 2,29 f_c'$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu (keras)	11,0	1125

ii. Berat Sendiri

Berat sendiri dalam struktur jembatan merupakan berat bagian dari elemen-elemen struktural dan juga elemen-elemen lain yang dipikul oleh jembatan. Faktor beban untuk berat sendiri diberikan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 - Faktor beban untuk beban permanen

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan batas layan (γ_{MS}^s)		Keadaan batas ultimit (γ_{MS}^u)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

iii. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur rencana jembatan. Faktor beban mati tambahan diberikan pada tabel berikut.

Tabel 2.4 - Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^s)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^u)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk beban utilitas				

2.3.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” ditetapkan per lajur lalu lintas rencana.

i. Lajur Lalu Lintas Rencana

Jumlah maksimum laur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.5 - Ketentuan jumlah lajur jembatan

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3,000 \leq w \leq 5,250$	1

Dua Arah, tanpa Median	$5,250 \leq w < 10,000$	2
	$7,500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,200$	6
Dua Arah, dengan Median	$5,500 \leq w \leq 8,000$	2
	$8,250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6
Catatan (1) : untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.		
Catatan (2) : lebar lajur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah		

ii. Beban Lajur

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada Gambar 2.18. Adapun faktor yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.6 - Faktor beban untuk beban lajur “D”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{MA})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^s)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^u)
Transien	Beton	1,00	1,80
	<i>Box</i>	1,00	2,00

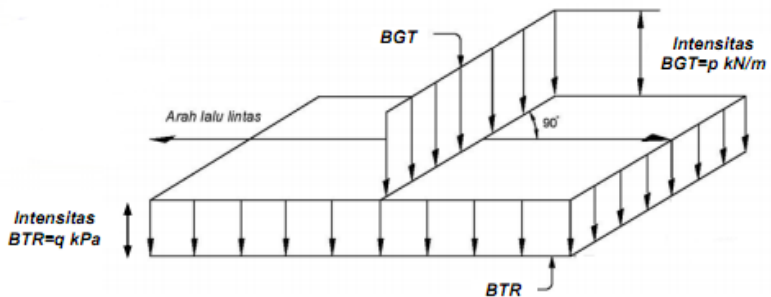
	<i>Girder</i> Baja		
--	-----------------------	--	--

1. Intensitas Beban “D”

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : \quad q = 9,0 \text{ kPa} \quad (2.1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : \quad q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (2.2)$$



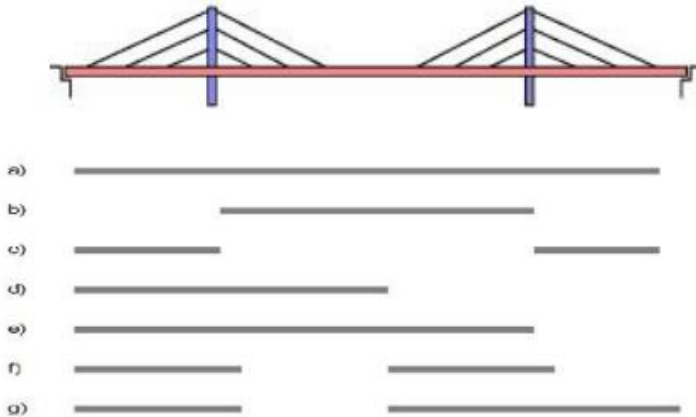
Gambar 2.10 - Beban Lajur “D”

Sedangkan untuk beban garis (BGT) besarnya adalah 49,0 kN/m dan ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan, seperti terlihat pada gambar di atas.

2. Distribusi Beban “D”

Beban “D” disusun pada arah melintang horizontal sedemikian rupa sehingga menimbulkan

momen maksimum. Untuk jembatan *cable-stayed* ditribusi beban “D” dijelaskan dalam Pasal 10.1 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 sebagai berikut:



Gambar 2.11 - Konfigurasi beban hidup (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

iii. Beban Truk

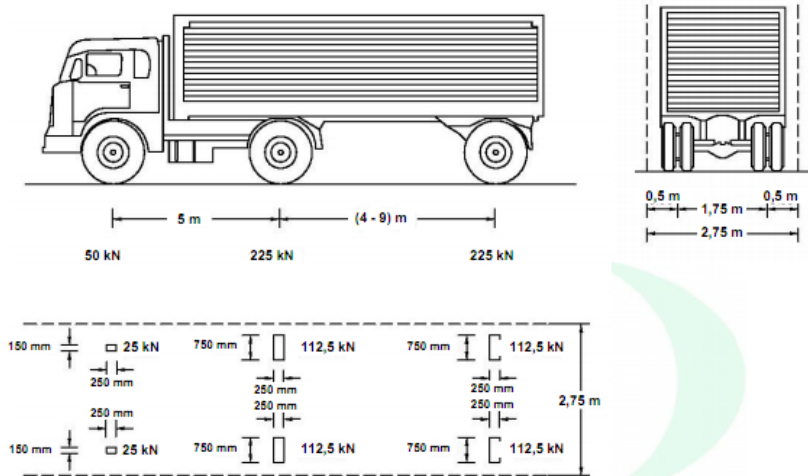
Selain beban “D”, beban lalu lintas lainnya adalah beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.7 - Faktor beban untuk beban truk

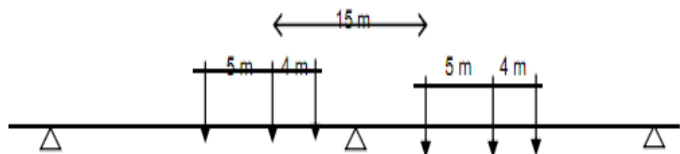
Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan batas layan (γ_{TT}^s)	Keadaan batas ultimit (γ_{TT}^u)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box	1,00	2,00

	Girder Baja		
--	----------------	--	--

Untuk besarnya pembebanan truk “T”, diklasifikasikan pada gambar berikut:



Gambar 2.12 - Konfigurasi beban truk “T”



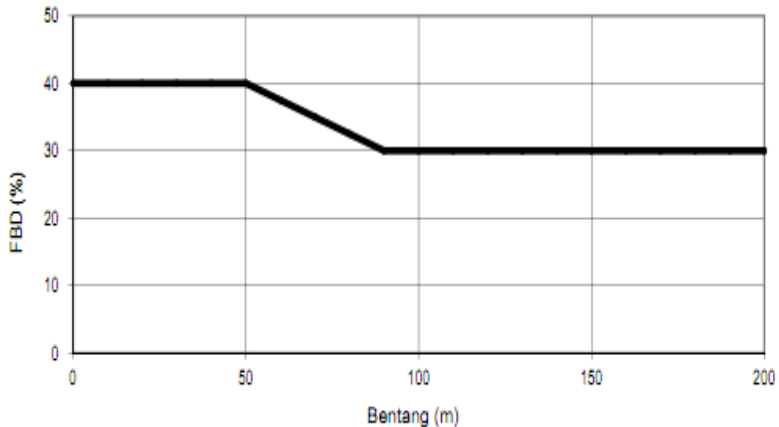
Gambar 2.13 - Penempatan beban truk “T”

iv. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) diterapkan untuk beban truk rencana, sedangkan untuk gaya sentrifugal, gaya rem,

tidak perlu diperbesar dengan faktor beban dinamis. Faktor beban dinamis juga tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata (BTR).

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai ada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m.



Gambar 2.14 - Faktor beban dinamis untuk “T” untuk pembebanan lajur “D”

v. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain, atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lejur terbagi rata (BTR)

Gaya rem tersebut ditempatkan di semua alajur rencana yang dimuati sesuai dengan Pasal 8.2 SNI 1725 2016 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. gaya ini diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

vi. Pembebanan untuk Pejalan Kaki

Semua kompoen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.

vii. Beban Akibat Tumbukan Kendaraan

Untuk jembatan yang apabila tidak diberikan pelindung, maka semua kepala jembatan dan pilar dalam jarak 9000 mm dari tepi jalan, atau dalam jarak 15000 mm dari sumbu rel harus direncanakan untuk mampu memikul beban statik ekuivalen sebesar 1800 kN. Beban tersebut diasumsikan bekerja pada ketinggian 1200 mm di atas permukaan tanah.

2.3.3 Aksi Lingkungan

Selain beban permanen dan beban lalu lintas, beban akibat aksi lingkungan juga berpengaruh pada struktur jembatan. Aksi lingkungan tersebut diantaranya adalah pengaruh angin, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya.

Penentuan beban-beban akibat aksi lingkungan ini didasarkan pada Pasal 9 SNI 1725 2016 sebagai berikut:

- i. Beban Angin
 1. Tekanan angin horizontal.

Tekanan angin yang ditentukan untuk angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (2.3)$$

Dengan,

V_{DZ} : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_{10} : kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

V_B : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam

Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air di mana beban angin rencana dihitung ($Z > 10000$ mm)

V_0 : kecepatan gesekan angin, yang meruakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 2.8, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi (mm) (tabel 2.8)

V_{10} diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
- Survei angin pada lokasi jembatan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 2.8 - Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan terbuka	Sub urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

Tekanan angin rencanan (MPa) pada struktur jembatan dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (2.4)$$

Di mana

P_B : tekanan angin dasar seperti ditentukan dalam tabel berikut.

Tabel 2.9 - Tekanan angin dasar

Komponen	Angin tekan	Angin hisap
----------	-------------	-------------

bangunan atas	(MPa)	(MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm.

Selain pada struktur jembatan beban angin juga diperhitungkan pada kendaraan yang melintasi jembatan sehingga menimbulkan beban pada jembatan.

Tekanan angin tersebut diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,4 N/mm, yang bekerja tegak lurus di atas permukaan jalan setinggi 1800 mm.

2. Tekanan angin vertikal.

Pasal 9.6.2 SNI 1725 2016 menyatakan bahwa jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar $9,6 \times 10^{-4}$ MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan di mana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal yang ditentukan dalam poin sebelumnya.

ii. Pengaruh Gempa

Analisa beban gempa untuk jembatan mengacu pada RSNI 2833 2013 tentang “Perancangan Jembatan Terhadap Gempa”. Pemilihan metode analisis gempa dijelaskan dalam Pasal 6.3.1 RSNI 2833 2013 sebagai berikut.

Untuk jembatan dengan bentang lebih dari satu, maka perlu dilakukan analisis gempa sesuai dengan klasifikasi tabel berikut.

Tabel 2.10 - Persyaratan analisis minimum untuk pengaruh gempa (RSNI 2833 2013)

Zona Gempa	Jembatan bentang tunggal	Jembatan dengan bentang > 1					
		Jembatan lainnya		Jembatan penting		Jembatan sangat penting	
		Beraturan	Tdk beraturan	Beraturan	Tdk beraturan	Beraturan	Tdk beraturan
1	Tidak dibutuhkan analisis gempa	*	*	*	*	*	*
2		SM/UL	SM	SM/UL	MM	MM	MM
3		SM/UL	MM	MM	MM	MM	TH
4		SM/UL	MM	MM	MM	TH	TH

Keterangan:

* : Tidak diperlukan analisis dinamik

UL : Metode beban elastis (*Uniform Load*)

SM : Metode spektra moda tunggal (*Single Mode Elastic*)

MM : Metode spektra multimoda (*Multimode Mode Elastic*)

TH : Metode riwayat waktu (*Time History*)

Pasal 6.3.1 RSNI 2833 2013 menjelaskan definisi jembatan beraturan dan tidak beraturan. Jembatan beraturan memiliki bentang kurang dari tujuh bentang, tidak ada perubahan yang besar dalam hal berat, kekakuan, dan geometri pada tiap bentangannya. Jembatan

yang memenuhi tabel 2.17 berikut tergolong kategori jembatan beraturan.

Tabel 2.11 - Persyaratan jembatan beraturan (RSNI 2833 2013)

Parameter	Nilai				
	2	3	4	5	6
Jumlah bentang	2	3	4	5	6
Maksimum sudut pada curved bridge*	90°	90°	90°	90°	90°
Rasio bentang maksimum dari bentang ke bentang	3	2	2	1,5	1,5
Rasio maksimum kekakuan pilar dari bentang ke bentang, tidak termasuk kepala jembatan	-	4	4	3	2

Catatan: - semua nilai rasio direferesikan terhadap nilai terkecil.

- *) sudut pada titik pusat jari-jari jembatan dengan besar sudut yang menghubungkan kedua ujung jembatan.

Untuk melakukan analisis gempa dibutuhkan respons spektrum. Respons spektrum di permukaan tanah ditentukan dari 3 nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA , S_s dan S_l) serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , F_v . Perumusan respons spektrum adalah sebagai berikut:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (2.5)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (2.6)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (2.7)$$

Koefisien respons gempa elastik:

1. Untuk $T < T_0$:

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad (2.8)$$

2. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$:

$$C_{sm} = S_{DS} \quad (2.9)$$

3. Untuk $T_s < T$:

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_{DS} : nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T=0,2$ detik)

S_{D1} : nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

T_0 = 0,2 T_s

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.11)$$

Gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan harus dikombinasikan sehingga memiliki 2 tinjauan pembebanan sebagai berikut:

- 100% gaya gempa pada arah x dikombinasikan 30% gaya gempa pada arah y.
- 100% gaya gempa pada arah y dikombinasikan 30% gaya gempa pada arah x.

Atau dirumuskan sebagai berikut:

1. $DL + \gamma_{EQ}LL \pm EQ_x \pm 0,3 EQ_y$
2. $DL + \gamma_{EQ}LL \pm EQ_y \pm 0,3 EQ_x$

Di mana

DL : beban mati

γ_{EQ} : faktor beban hidup kondisi gempa

$\gamma_{EQ} = 0,5$ (jembatan sangat penting)

$\gamma_{EQ} = 0,3$ (jembatan penting)

$\gamma_{EQ} = 0$ (jembatan lainnya)

LL : beban hidup

EQ_x : beban gempa arah x

EQ_y : beban gempa arah y

2.3.4 Pembebanan Railing

Railing berfungsi untuk memberikan rasa aman kepada pengguna jalan. Pasal 11 SNI 1725 2016 menyatakan bahwa seluruh sistem lalu lintas, *railing*, dan *railing* kombinasi dan geometrik harus tahan terhadap benturan kendaraan.

Salah satu kinerja berikut yang harus ditentukan untuk perencanaan pengaman lalu lintas yaitu sebagai berikut:

- | | |
|-----------|--|
| Kinerja 1 | Digunakan pada jalan dengan kecepatan rencana rendah dan volume kendaraan yang sangat rendah, jalan lokal dengan kecepatan rencana rendah; |
| Kinerja 2 | Digunakan pada jalan lokal dan kolektor dengan kondisi baik seperti jumlah kendaraan berat yang sedikit dan rambu kecepatan sedikit; |
| Kinerja 3 | Digunakan pada jalan arteri dengan dengan kecepatan rencana tinggi dengan campuran kendaraan berat sangat rendah dan kondisi jalan baik; |
| Kinerja 4 | Digunakan pada jalan arteri dengan kecepatan rencana tinggi, jalan bebas hambatan, jalan ekspres, dan jalan antar kota dengan campuran truk dan kendaraan berat; |
| Kinerja 5 | Digunakan sesuai dengan kinerja 4 dan jika kendaraan berat memiliki porsi besar terhadap lalu lintas harian atau saat kondisi jalan mengharuskan kriteria kinerja railing yang tinggi. |
| Kinerja 6 | Digunakan pada jalan yang dapat dilalui truk tipe tanker atau kendaraan dengan beban gravitasi yang cukup besar. |

2.4 Preliminary Design

2.4.1 Preliminary Design Lantai Kendaraan

Dalam Pasal 4.6.2 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 dijelaskan tentang penentuan tinggi gelagar jembatan. Sebagai estimasi awal tinggi gelagar dapat ditetentukan sebesar $1/50 - 1/70$ dari panjang bentang utama.

Sedangkan pada Pasal 4.6.3 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 dijelaskan taksiran awal berat dek jembatan *cable-stayed* sebagai berikut:

- Gelagar baja : 2,5 s/d 3,5
kN/m² (*box*, rangka)
- Gelagar komposit baja-beton : 6,5 s/d 8,5
kN/m²
- Gelagar beton : 10,0 s/d 15
kN/m² (*box* beton)

Untuk menghitung berat sendiri disyaratkan penambahan sebesar 30% sebagai asumsi untuk ikatan pengaku, pelat simpul, sambungan koppel, dan baut.

2.4.2 Preliminary Design Kabel

a. Jarak Antar Kabel

Dalam Pasal 4.4.3 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 dijelaskan tentang acuan jarak kabel yang umum digunakan. Diantaranya adalah sebagai berikut:

- Dek jembatan yang terbuat dari baja atau material komposit, jarak antar kabel adalah 15 meter sampai dengan 25 meter.
- Pada dek jembatan beton, jarak antar kabel adalah 5 m sampai dengan 10 m.

Untuk panel tengah, ketika jembatan tidak mengalami gaya tekan akibat inklinasi kabel, dimungkinkan untuk menggunakan panjang segmen yang lebih besar. umumnya jarak kabel pada segmen tengah diambil 20% - 30% lebih besar dibandingkan segmen yang lain.

b. Dimensi Kabel

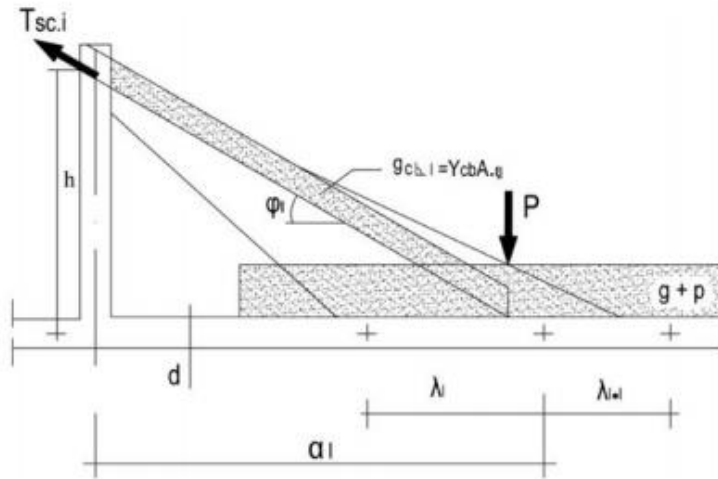
Dalam desain jembatan *cable-stayed* Sembayat Baru ini digunakan tipe konfigurasi kabel arah memanjang dengan tipe *fan pattern*. Penentuan dimensi awal mengacu pada Pasal 11.1 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 sebagai berikut:

Luas penampang kabel ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_{sc,i} \cong \frac{(g+p+\frac{P}{30d})(\lambda_i+\lambda_{i+1})\cos\phi_i}{2(f_{cbd}\sin\phi_i\cos\phi_i-\gamma_{cb}a_1)} \quad (2.12)$$

Dengan,

- $T_{sc,i}$: gaya tarik pada kabel ke i
- g : beban merata mati
- p : beban merata hidup
- d : tinggi gelagar jembatan
- P : beban terpusat
- λ_i : jarak antar kabel
- ϕ_i : sudut kabel ke i terhadap bidang horizontal
- γ_{cb} : berat jenis kabel
- $A_{sc,i}$: luas penampang kabel ke i
- f_{cbd} : tegangan ijin kabel
- h : tinggi menara dari elevasi gelagar
- A_{ac} : luas penampang kabel angkur



Gambar 2.15 - Notasi gaya pada kabel angkur (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

c. Modulus Elastisitas Kabel

Troitsky (1977) telah menjelaskan tentang modulus elastisitas kabel untuk jembatan *cable-stayed*. Troitsky (1977) mendefinisikan modulus elastisitas ekivalen kabel E_i sebagai kombinasi antara modulus elastisitas kabel akibat kelengkungan kabel E_f dan modulus elastisitas akibat elastisitas kabel E_e .

Berdasarkan penurunan rumus yang telah dilakukan oleh Troitsky (1977), maka didapatkan persamaan modulus elastisitas ekivalen ideal sebagai berikut:

$$E_i = \frac{E_e}{1 + \left[\frac{(\gamma L)^2}{12 \sigma^3} \right] E_e} \quad (2.13)$$

Dengan,

Ei	: Modulus Young kabel ideal akibat
lengkungan	
Ee	: Modulus Young kabel pada kondisi
lurus	
γ	: berat jenis kabel
L	: panjang horizontal kabel
σ	: tegangan tarik kabel

d. Tegangan Ijin Kabel

Troitsky (1977) menyatakan bahwa *safety factor* untuk kabel pada umumnya diambil $K = 2,5$. Menurutnya koefisien ini sudah merepresentasikan penyimpanan kekuatan kabel akibat pembebanan.

Dengan mengasumsikan bahwa beban mati dari *superstructure* berkisar antara 60 – 70% dari total beban, sedangkan beban hidup berkisar antara 30 – 40%, kemudian koefisien resultan dari kekuatan yang tersimpan di dalam kabel adalah:

$$K_{res} = \frac{K}{0.65n_1 + 0.35n_2(1+\mu)} \quad (2.14)$$

Di mana,

n_1	= 1.1	: koefisien <i>overloading</i> untuk beban mati
n_2	= 1.4	: koefisien <i>overloading</i> untuk beban hidup
$1+\mu$	= 1.1	: koefisien dinamis

Substitusikan nilai-nilai di atas pada persamaan 2.17:

$$K_{res} = \frac{2.5}{0.65 \times 1.1 + 0.35 \times 1.4 + 1.1} \approx 2 \quad (2.15)$$

Kekuatan kabel terhitung sebagai berikut:

$$R = R_{all} K m_1 m_2 \quad (2.16)$$

Di mana $m_1 = 0.8$ merupakan koefisien kinerja material dalam struktur dan,

$$m_2 = \frac{1}{K m_1 K_{res}} = \frac{1}{0.8 \times 0.8 \times 2} = 0.78 \quad (2.17)$$

Troitsky (1977) menyarankan untuk mereduksi kekuatan kabel sebesar 5%, sehingga:

$$m_2 = 0.95 \times 0.78 = 0.74 \quad (2.18)$$

2.4.3 Preliminary Design Pylon

a. Tinggi Pylon

Dalam Pasal 4.7.1 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 dijelaskan ketentuan untuk perkiraan awal tinggi *pylon* yaitu sebesar 0,19 – 0,25 dari bentang jembatan terpanjang.

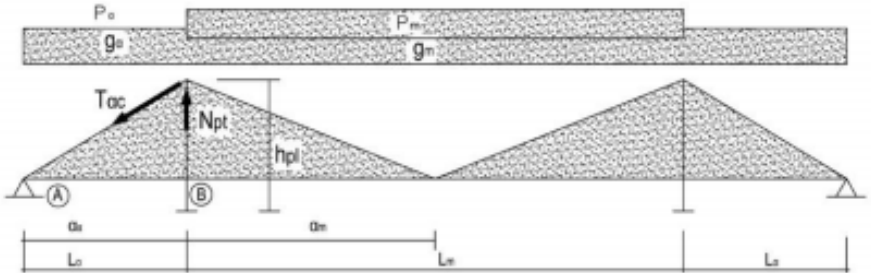
b. Dimensi Awal Pylon

Ketentuan dalam penentuan dimensi awal *pylon* dijelaskan dalam Pasal 11.2.1 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015. Dalam menentukan dimensi awal *pylon* dengan konfigurasi kabel arah memanjang pola *fan*, perlu dihitung perkiraan gaya maksimum yang bekerja pada *pylon* sebagai berikut:

$$N_{pt} = \frac{1}{2}(g_a + p_a)a_a + \frac{1}{2}(g_m + p_m)\left(2 + \frac{a_m}{a_a}\right)a_m + \frac{2}{3}Q_{Fa} + Q_{Fm}\left(1 + \frac{a_m}{3a_a}\right) + \frac{1}{2}Q_a \quad (2.19)$$

Dengan,

- Q_{Fa} : kuantitas dari kabel di bentang tepi
 Q_{Fm} : kuantitas dari kabel di bentang tengah
 Q_a : kuantitas kabel angkur



Gambar 2.16 - Gaya di puncak menara jembatan *cable-stayed* (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

2.5 Perhitungan Struktur

2.5.1 Perhitungan Struktur Baja

Perhitungan komponen struktur baja pada desain jembatan *cable-stayed* ini mengacu pada AISC 360-10.

- a. Sifat Mekanis Baja

Tabel 2.14 - Sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u [MPa]	Tegangan leleh minimum, f_y [MPa]	Peregangan minimum [%]
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya yang dibutuhkan dalam perencanaan struktur baja adalah sebagai berikut:

Modulus elastisitas	:	$E = 200.000$
MPa		
Modulus geser	:	$G = 80.000$ MPa
Angka <i>poisson</i>	:	$\mu = 0,3$
Koefisien pemuaian	:	$\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per °C

b. Perencanaan Komponen Struktur

i. Struktur Tarik

Mengacu pada AISC 360-10 Chapter D sebagai berikut:

- Kekuatan desain harus memenuhi persamaan berikut untuk pelelehan pada penampang bruto

$$P_n = F_y A_g \quad (2.20)$$

$$\phi = 0,9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1,67 \text{ (ASD)}$$

- Untuk ruptur pada penampang netto:

$$P_n = F_u A_e \quad (2.21)$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2$$

(ASD)

ii. Struktur Tekan

Perhitungan struktur tekan baja mengacu pada AISC 360-10 Chapter E, sebagai berikut:

- Komponen struktur yang mengalami gaya tekan harus memenuhi persyaratan berikut:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (2.27)$$

$$\phi = 0,9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1,67 \text{ (ASD)}$$

Dengan F_{cr} dihitung dalam chapter E sesuai dengan kriteria penampang yang digunakan.

- Persyaratan kelangsingan:

Komponen struktur tekan harus memenuhi persyaratan kelangsingan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{L_k}{r} \leq 140 \quad (2.28)$$

Dengan,

Lk : panjang efektif
r : jari-jari girasi penampang

Untuk rasio lebar tebal elemen penampang λr dapat dilihat pada AISC 360-10 Table B4.1a.

iii. Struktur Lentur

Perhitungan struktur lentur baja mengacu pada AISC 360-10 Chapter F. Kekuatan desain elemen struktur lentur harus memenuhi persamaan berikut:

$$M_r \leq M_c = \phi M_n \text{ (LRFD)}$$

$$M_r \leq M_c = M_n / \Omega \text{ (ASD)}$$

Dengan,

M_r : *moment required* (momen akibat gaya dalam)

M_c : *moment capacity* (kapasitas tahanan momen elemen struktur)

M_n : *moment nominal* (dihitung berdasarkan kriteria masing-masing penampang sesuai dengan klasifikasi pada TABLE USER NOTE F1.1 AISC 360-10, dan juga diatur dalam chapter F).

iv. Struktur Geser

Perhitungan untuk struktur geser secara keseluruhan diatur dalam AISC 360-10 Chapter G, dengan kriteria desain geser sebagai berikut:

$$V_r \leq V_c = \phi V_n \text{ (LRFD)}$$

$$V_r \leq V_c = V_n / \Omega \text{ (ASD)}$$

Dengan nilai V_n didapatkan berdasarkan kriteria penampang yang diatur dalam chapter G.

2.5.2 Perhitungan Dek Orthotropic

Dalam desain jembatan *cabl-stayed* Sembayat Baru ini, digunakan *orthotropic steel plate* sebagai lantai kendaraan. Desain mengacu pada AISC 1963 “Design Manual fo ORTHOTROPIC STEEL DECK BRIDGE”.

a. Desain Pelat Lantai

Ketebalan pelat lantai ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$t_p = 0,0065a\sqrt[3]{P} \quad (2.65)$$

Dengan,

t_p : tebal minimum pelat (in)
 a : jarak antar ribs (in)
 P : tekanan akibat roda truk [aktor beban dinamis sebesar 30%] (psi)

$$P = \frac{(100\%+30\%)T}{A} \quad (2.66)$$

A : luas bidang kontak sesuai SNI 1725 2016 Pasal 8.4.1 dan ditambah 2 kali tebal aspal pada masing-masing sisinya

Setelah ditentukan ketebalan pelat maka dilakukan perhitungan lendutan pelat lantai kendaraan. Besar lendutan pada pelat adalah sama dengan lendutan pada balok dikali 5/6.

$$W = \frac{5}{6} \frac{1}{384} \frac{p \cdot a^4}{EI} \leq \frac{l}{300} \quad (2.67)$$

Dengan,

W : lendutan maksimum pelat di bawah beban roda
 p : beban roda persatuan luas
 a : jarak antar ribs
 I : $t_p^3/12$
 E : modulus elastisitas pelat lantai kendaraan

Kemudian dilakukan kontrol tegangan pada pelat lantai kendaraan.

b. Desain Rusuk (*Ribs*)

Panjang efektif rusuk dihitung sebagai berikut:

$$s_1 = 0,7s \quad (2.68)$$

Dengan,

l : jarak antar gelagar melintang

Kemudian menentukan lebar efektif rusuk/*ribs* ($a_0 + e_0$). Nilai lebar efektif didapatkan dengan memplotkan nilai a/s_1 dan e/s_1 pada Appendix Chat 1 AISC 1963 untuk mendapatkan nilai a_0/a dan e_0/e . Lebar efektif adalah $a_0 + e_0$ untuk closed rib.

2.5.3 Perhitungan Struktur Beton

Perhitungan struktur beton untuk *pylon* mengacu pada SNI T 12 2004. *Pylon* didesain dengan mempertimbangkan gaya aksial dan lentur menggunakan metode interaksi.

a. Analisa Struktur Tekan

Desain kekuatan lentur dan aksial komponen struktur tekan pada *pylon* dijelaskan dalam Pasal 5.3.3 SNI T 02 2004 sebagai berikut:

$$\phi P_{n(max)} = 0,8\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st} + f_y A_{st})] \quad (2.73)$$

Dalam perencanaan momen lentur minimum harus diambil tidak kurang dari $0,05h N_u$ sesuai Pasal 5.7.3 SNI T 02 2004.

Sedangkan dalam perencanaanya kolom dibagi menjadi dua jenis, yaitu kolom pendek dan kolom langsing. Pengelompokan tersebut dijelaskan dalam Pasal 5.7.6 SNI T 02 2004. Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila persamaan berikut terpenuhi.

$$\frac{kl_u}{r} < 22 \quad (2.74)$$

Dengan,

l_u : panjang bebas komponen tekan

r : jari-jari girasi penampang kolom = $\sqrt{\frac{Ix}{A}}$

k : faktor panjang efektif (ditentukan dengan gambar berikut)

Tabel 2.15 - Faktor panjang efektif

<p align="center">TABLE C-A-7.1 Approximate Values of Effective Length Factor, K</p>						
<p>Buckled shape of column is shown by dashed line</p>	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
End condition code	<p> Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free </p>					

Pada kolom langsing, faktor perbesaran momen harus diperhitungkan dengan mengelompokkan kolom

menjadi kolom bergoyang dan tidak bergoyang. Kolom dianggap tak bergoyang apabila nilai dari persamaan berikut terpenuhi.

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c} < 0,05 \quad (2.75)$$

Dengan,

$\sum P_u$: jumlah beban vertikal terfaktor pada tingkat yang ditinjau

V_u : gaya geser total pada tingkat yang ditinjau

Δ_o : simpangan relatif antar tingkat orde-pertama akibat V_u

i. Kolom Tak Bergoyang

Untuk struktur tak bergoyang, perbesaran momen dihitung berdasarkan Pasal 5.7.6.1 SNI T 02 2004 sebagai berikut:

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2 \quad (2.76)$$

Dengan,

M_c : momen terfaktor ang diperbesar

M_2 : momen terfaktor

δ_{ns} : faktor perbesaran mome yang dihitung sebagai berikut

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} > 1,0 \quad (2.77)$$

Untuk komponen struktur yang tak bergoyang dan tanpa beban transversal di antara tumpuan, maka C_m diambil sebagai berikut:

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) > 0,4 \quad (2.78)$$

Untuk komponen struktur dengan beban transversal C_m diambil sama dengan 1,0.

ii. Kolom Bergoyang

Untuk struktur bergoyang, perbesaran momen dihitung berdasarkan Pasal 5.7.6.2 SNI T 02 2004 sebagai berikut:

Momen M_1 dan M_2 pada ujung-ujung komponen struktur tekan harus diambil sebesar:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (2.79)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad (2.80)$$

Nilai $\delta_s M_s$ dihitung sebagai berikut:

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-Q} \geq M_s \quad (2.81)$$

Apabila $\delta_s M_s$ yang dihitung lebih dari 1,5, maka $\delta_s M_s$ dihitung dengan persamaan berikut:

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq M_s \quad (2.82)$$

Untuk mempermudah analisis perhitungan tulangan kolom digunakan program bantu PCACol.

b. Peryaratan Tulangan Memanjang Kolom

Ketentuan luas tulangan memanjang kolom diatur dalam Pasal 5.7.8.1 SNI T 02 2004 sebagai berikut:

$$0,01A_g \leq A_{st} \leq 0,08A_g \quad (2.83)$$

Jarak bersih minimum antar tulangan sejajar, seikat tulangan dan sejenisnya tidak boleh kurang dari:

- 1,5 kali ukuran nominal maksimum agregat.
- 1,5 kali diameter tulangan.
- 40 mm.

c. Ketentuan Tulangan Sengkang

Ukuran tulangan sengkang atau spiral tidak boleh kurang dari ketentuan berikut:

Jarak antara sengkang atau spiral tidak melebihi harga terkecil dari:

- h_c atau $15 d_b$ untuk tulangan tunggal.
- $0,5 h_c$ atau $7,5 d_b$ untuk tulangan kelompok.
- 300 mm.

d. Desain Tulangan Geser *Pylon*

Kekuatan geser untuk struktur *pylon* direncanakan sebagai berikut:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.84)$$

Kekuatan geser nominal dihitung sebagai berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.85)$$

V_c pada struktur yang dibebani tekan aksial dihitung sebagai berikut:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6}\right) \cdot bw \cdot d \quad (2.86)$$

Sedangkan kekuatan geser tulangan V_s dihitung sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2.87)$$

Jarak antar tulangan geser maksimum ditentukan sebagai berikut:

- $S_{\max} = d/2$ atau 600 mm (diambil nilai terkecil)
bila $V_s \leq \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} bw \cdot d$
- $S_{\max} = d/4$ atau 300 mm (diambil nilai terkecil)
bila $V_s > \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} bw \cdot d$

e. Desain Tulangan Torsi *Pylon*

Pengaruh torsi dapat diabaikan apabila momen torsi terfaktor kurang dari:

$$\phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{Nu}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f_c'}}} \quad (2.88)$$

Dimensi penampang untuk struktur yang dibebani torsi harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f_c'} \right) \quad (2.89)$$

Apabila diperlukan tulangan torsi, maka kuat rencana torsi dihitung sebagai berikut:

$$\phi T_n \geq T_u \quad (2.90)$$

Kuat torsi nominal T_n dihitung sebagai berikut:

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (2.91)$$

Nilai A_o diambil sebesar $0,85A_{oh}$, di mana A_{oh} merupakan luasan yang dibatasi oleh tulangan sengkang tertutup. Sedangkan θ diambil sebesar 45° .

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk tulangan torsi, A_l , diambil sebesar:

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \quad (2.92)$$

2.6 Analisa Dinamis Struktur Jembatan Cable Stayed

2.6.1 Frekuensi Alami

a. Frekuensi Lentur

Metode Klasik:

Untuk SDOF (Single Degree of Freedom System)

$$(k - \omega^2 \cdot m) \cdot \hat{v} = 0 \quad ; \text{problem eigen value}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ rad/detik} \quad ; \text{frekuensi alami} = \text{nilai eigen}$$

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \text{ (Hertz)} \quad [\text{frekuensi sudut}] \quad (2.93)$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \frac{1}{f} = \text{periode} \quad (2.94)$$

$$\hat{v} = \text{amplitudo} = \text{vektor eigen}$$

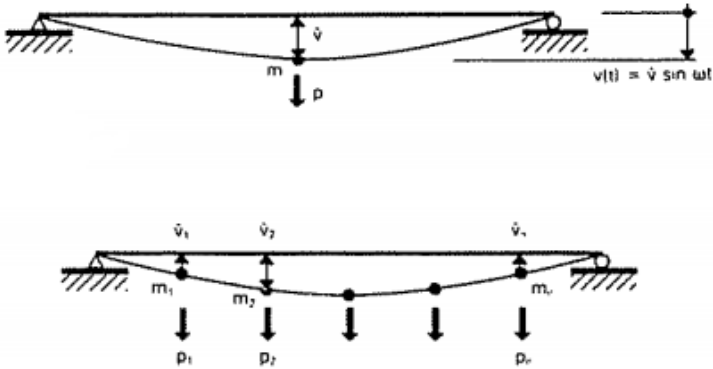
Untuk MDOF (Multi Degree of Freedom System)

$$|K - \omega_n \cdot M| = 0$$

$$\omega_n = \omega_1 \dots \dots \dots \omega_n \rightarrow \text{dicari}$$

Metode Rayleigh:

Prinsip konservasi energi, di mana energi potensial sama dengan energi kinetik ($E_p = E_k$)



Gambar 2.17 - Prinsip konservasi energi (Walther 1988)

Persamaan perpindahan:

$$v(t) = \hat{v} \cdot \sin \omega \cdot t \quad (2.95)$$

$$\dot{v}(t) = \omega \cdot \hat{v} \cdot \cos \omega \cdot t \quad (2.96)$$

$$E_p = \frac{p \cdot v(t)}{2} \quad (2.97)$$

Ek maksimum jika $\omega t = 1$, maka

$$E_{k.maks} = \frac{m \cdot \hat{v}^2}{2} \cdot \omega^2 \quad E_{p.maks} = \frac{p \cdot \hat{v}}{2}$$

$$E_k = E_p$$

Untuk SDOF:

$$\omega^2 = \frac{p \cdot \hat{v}}{m \cdot \hat{v}^2} \quad (2.98)$$

Jika $p_i = g m_i$; di mana g = percepatan gravitasi, maka:

$$\omega^2 = g \cdot \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \hat{v}_i}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \hat{v}_i^2} \quad (2.99)$$

Dari persamaan di atas masih dimungkinkan untuk membatasi perhitungan numerik dengan memilih P_i sebagai beban tunggal p_i pada massa m_i , dengan *displacement* maksimum. Jika $p_i = 1$, maka didapatkan:

$$\omega^2 = \frac{\hat{v}_{maks}}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \hat{v}_i^2} \quad (2.100)$$

Dari persamaan di atas, dengan mengganti beban unit $p_i = 1$ dengan berat sendiri dengan perpindahan maksimum, maka didapatkan:

$$\omega^2 = \frac{g}{v_{maks}} \quad (2.101)$$

Sehingga,

$$f_B = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{g}{v_{maks}} \right)^{1/2} \quad (2.102)$$

Walther (1988) menyarankan untuk meningkatkan nilai persamaan sebesar 10% karena faktor error dalam perhitungan. Sebagai taksiran yang lebih ideal, dengan memperhitungkan distribusi massa sepanjang dek, maka didapatkan:

$$f_B = \frac{1.1}{2\pi} \left(\frac{g}{v_{maks}} \right)^{1/2} \quad (2.103)$$

- b. Frekuensi Torsi
 i. Lantai Kendaraan Fleksibel

$$f_T = \frac{\bar{b}}{2 \cdot r} \cdot f_B \quad (2.104)$$

Di mana,

b : jarak melintang penopang (kabel)
 r : jari-jari girasi gelagar lantai = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

- ii. Lantai Kendaraan Kaku

$$f_T = \frac{1}{2L} \left(\frac{G \cdot J_t}{J_p} \right)^{1/2} \quad (2.105)$$

Di mana,

Jp : inersia polar per satuan panjang lantai kendaraan
 Jt : konstanta torsi
 G.Jt : kekakuan torsi penampang lantai kendaraan
 L : bentang utama jembatan

2.6.2 Perilaku Aerodinamis

Dalam Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 menyatakan bahwa untuk jembatan bentang panjang perlu dilakukan Uji Terowongan Angin untuk melakukan analisa efek angin yang bekerja. Ada 3 jenis Uji Terowongan Angin, diantaranya adalah *Static Section Model Test*, *Dynamic Section Model Test*, *Full Model Test*. Namun untuk keperluan tugas akhir ini tidak dilakukan Uji Terowongan Angin.

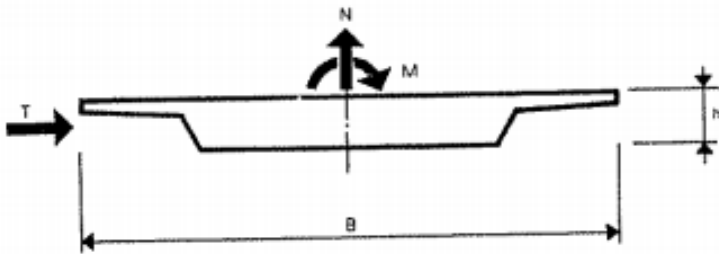
Angin menyebabkan struktur mengalami osilasi lentur dan torsi. Angin lateral membuat sudut terhadap horizontal sehingga menimbulkan efek angkat.

Menurut Walther (1988), beban hembusan angin terhadap gelagar lantai kendaraan menyebabkan penampang lantai kendaraan mengalami beban statis yang dibagi menjadi tiga, diantaranya:

- Beban horizontal T
- Beban vertikal N
- Beban torsi M

Beban-beban tersebut bergantung pada faktor berikut:

- Tekanan angin q
- Bentuk penampang (koefisien C_T , C_N dan C_M)
- Sudut insidensi angin pada dek α



Gambar 2.18 - Efek angin pada penampang lantai kendaraan (Walther 1988)

$$T = C_T \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2.106)$$

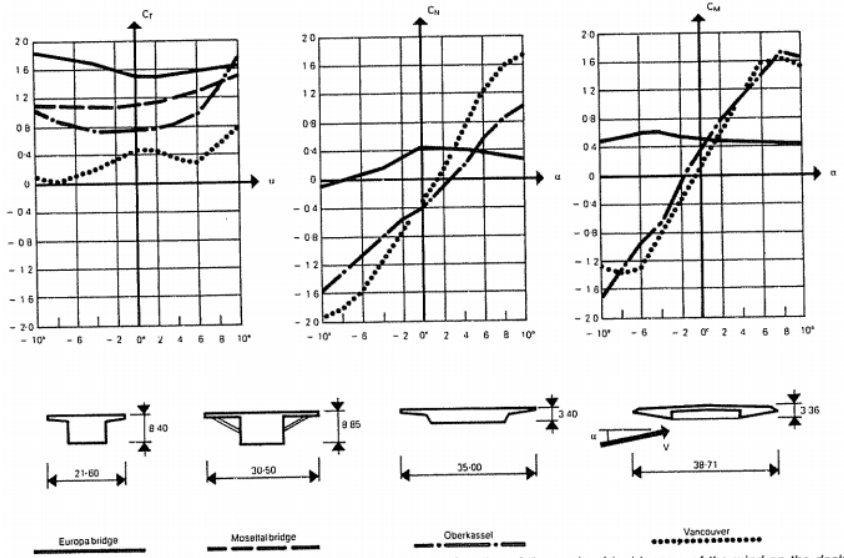
$$N = C_N \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2.107)$$

$$M = C_M \cdot q \cdot B \cdot h \cdot l \quad (2.108)$$

Di mana,

- l : panjang struktur
 h : tinggi total lantai kendaraan
 B : lebar lantai kendaraan

Koefisien C_T , C_N , C_M didapatkan dengan melihat grafik hubungan antara bentuk gelagar dengan arah sudut angin berikut:



Gambar 2.19 - Grafik koefisien C_T , C_N , C_M (Walther 1988)

2.6.3 Osilasi Gaya Akibat Pusaran Angin (Vortex Shedding)

a. Angka Strouhal, S

Kecepatan angin yang berhembu pada lantai kendaraan dihitung menggunakan angka Strouhal:

$$S = \frac{f \cdot h}{V} \quad (2.109)$$

Di mana,

- f : frekuensi pusaran
- h : tinggi lantai kendaraan
- S : 0,20 untuk silinder dengan diameter h

ζ : 0,10 – 0,20 untuk lantai kendaraan
 dengan tinggi h
 ζ : 1,10 jika udara mengalir pada satu sisi
 V : kecepatan angin

b. Angka Reynold, Re

Akibat kecepatan angin yang bekerja besarnya angka Reynold harus memenuhi persyaratan berikut dengan $Re = 10^5$ s/d 10^7 :

$$Re = \frac{V \cdot B}{\bar{\nu}} \quad (2.110)$$

Di mana,

V : kecepatan angin dihitung berdasarkan angka Strouhal

B : lebar lantai kendaraan

$\bar{\nu}$: viskositas kinemati udara (0,15 cm^2/detik)

c. Amplitudo Akibat Osilasi, v

$$v = \frac{\pi}{\delta} \cdot v_{statik} \quad (2.111)$$

Di mana,

δ : penurunan logaritmik (dumping ratio) = 0,05

v_{statik} : perpindahan statik akibat F_o

$$F_o = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot c \cdot h \quad (2.112)$$

Di mana,

ρ : densitas udara = 1,3 kg/m^3

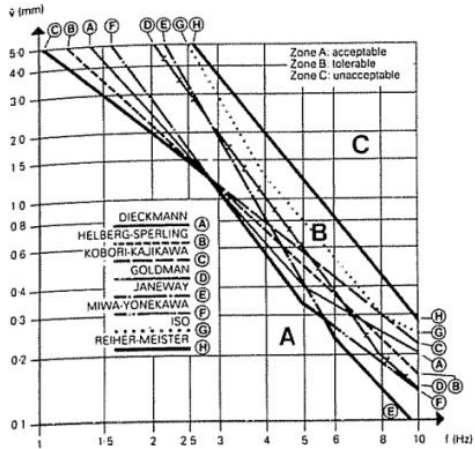
c : koefisien gaya angkat penampang, tergantung f dan V

- d. Percepatan Akibat Osilasi, \ddot{v}

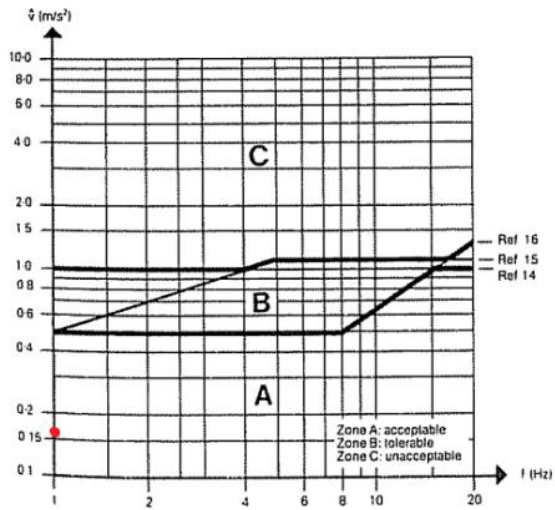
$$\ddot{v} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot v \quad (2.113)$$

- e. Kontrol Keamanan Struktur Akibat Osilasi

Setelah dilakukan perhitungan amplitudo akibat osilasi dan juga percepatan akibat osilasi, kemudian diplotkan dalam grafik di bawah untuk mengetahui keamanan struktur jembatan akibat osilasi. Pertama, nilai amplitudo dan frekuensi lentur yang telah dihitung diplotkan dalam grafik 2.22, apabila hasil plot berada di zona A maka struktur aman terhadap osilasi. Kemudian, nilai percepatan dan frekuensi torsi diplotkan pada grafik 2.23, apabila hasil plot berada pada zona A maka struktur aman terhadap osilasi. Kedua tolak ukur tersebut harus dipenuhi untuk menjamin keamanan struktur jembatan terhadap osilasi.



Gambar 2.20 - Klaifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther 1988)



Gambar 2.21 - Klasifikasi psikologis berdasarkan percepatan (Walther 1988)

2.6.4 Efek Flutter

Pergerakan udara di sekitar jembatan *cable-stayed* dapat mengakibatkan torsi pada struktur dan osilasi tekuk. Pergerakan tersebut mengakibatkan terjadinya gaya angkat. Fenomena ini disebut sebagai *flutter* (Walther 1988). Oleh sebab itu pada umumnya dimensi gelagar bentang utama pada jembatan *cable-stayed* didesain berukuran besar.

Rasio kecepatan kritis teoritis, $V_{\text{kritis.teoritis}}$ metode KLOEPPPEL:

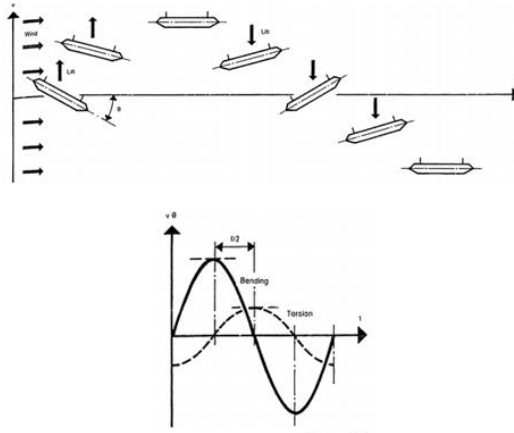
$$\frac{V_{\text{critic.theoritic}}}{2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b} \quad (2.114)$$

Di mana,

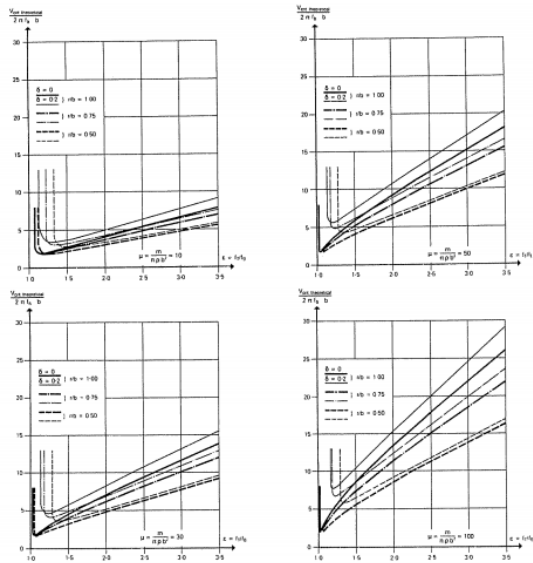
b : setengah lebar lantai kendaraan

Nilai tersebut didapatkan dari grafik berikut tergantung dari 3 besaran:

- i. $\mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2}$
- ii. $\varepsilon = \frac{f_T}{f_B}$
- iii. $\frac{\delta}{b}$

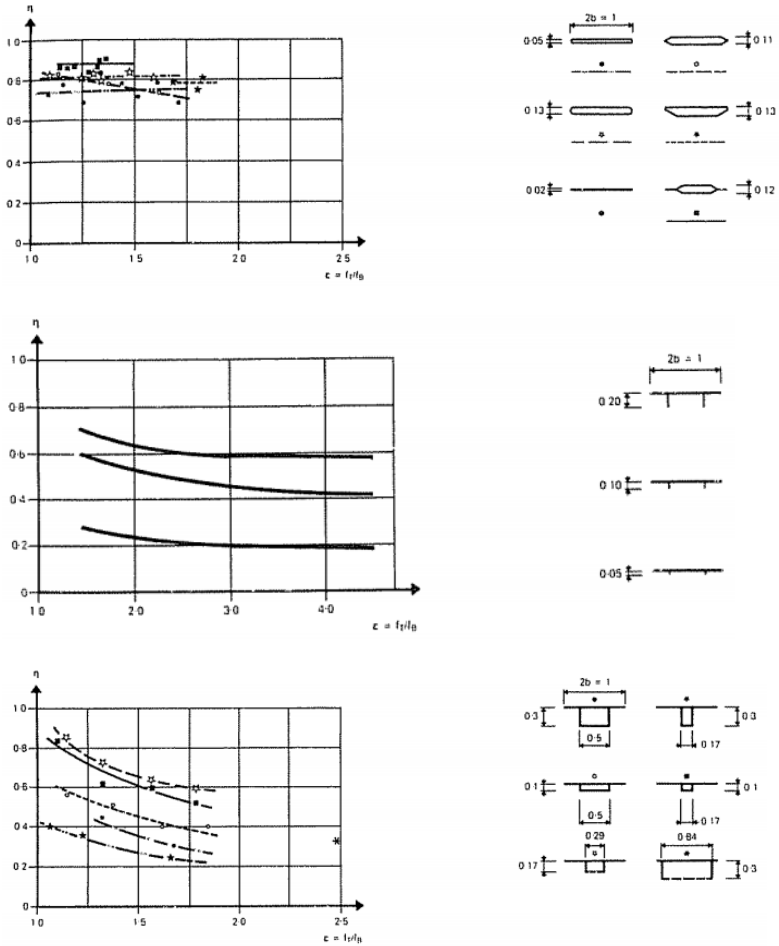


Gambar 2.22 - Representasi sederhana flutter pada dek jembatan (Walther 1988)



Gambar 2.23 - Kecepatan teoritis untuk flutter (Walther 1988)

Kecepatan kritis teoritis yang didapatkan dari grafik di atas kemudian harus dikoreksi dengan nilai η yang didapatkan dari grafik di bawah sehingga didapatkan kecepatan kritis aktual.



Gambar 2.24 - Grafik koefisien koreksi (Walther 1988)

Pada kondisi nyata, angin yang berhembus ke lantai jembatan tidak selalu tepat horizontal secara sempurna. Terkadang nilai α dapat berubah antara 3° sampai 9° , maka diambil nilai α rata-rata sebesar 6° . Maka nilai koreksi tadi harus dikoreksi lagi sehingga:

Untuk penampang *box*:

$$\frac{\eta(\alpha=\pm 6^\circ)}{\eta(\alpha=0)} = \frac{1}{3} \quad (2.115)$$

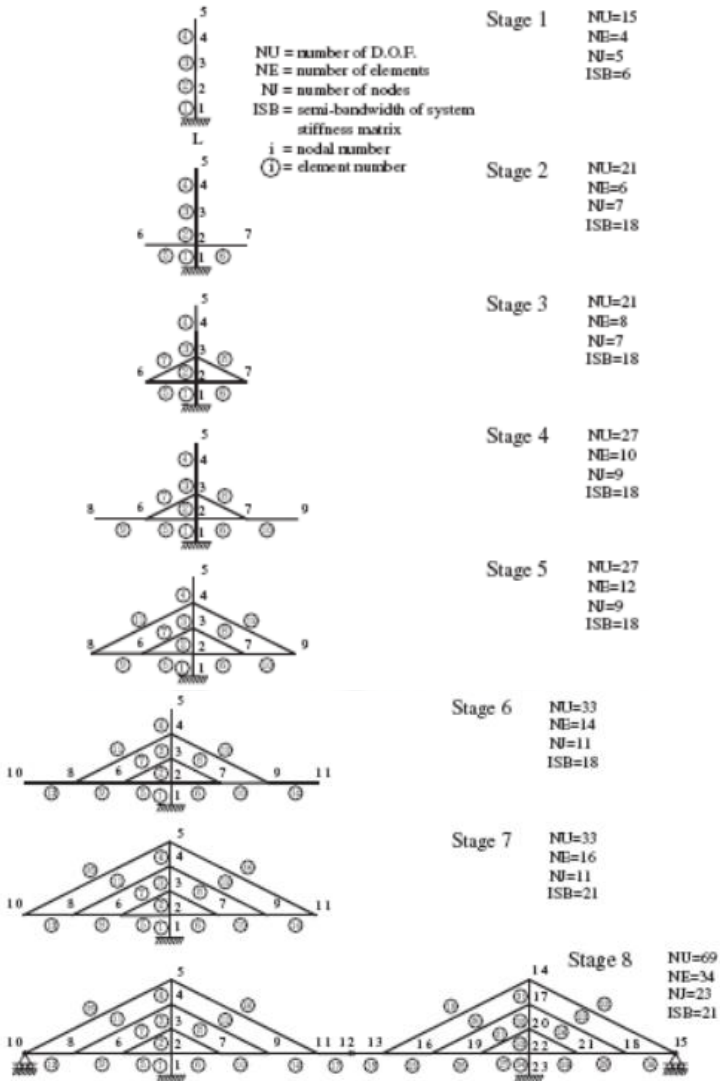
Setelah didapatkan kecepatan kritis aktual, nilai tersebut dibandingkan dengan kecepatan angin pada kondisi lapangan. Kecepatan angin kondisi lapangan harus lebih kecil dari kecepatan kritis aktual dari perhitungan.

$$V_{lapangan} \leq V_{actual\ kritis}$$

2.7 Metode Pelaksanaan

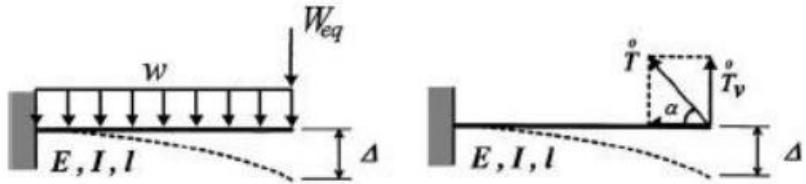
2.7.1 Forward Process Analysis (FPA)

Forward Process Analysis (FPA) atau analisa majudilakukan secara bertahap selama konstruksi. Tahap pedirian satu persatu dimulai dari *pylon* atau bentang tepi. Dimulai dengan memasang girder, dilanjutkan pemasangan kabel. Setelah kabel terpasang, dilanjutkan ke girder pada segmen selanjutnya. Berikut ilustrasi FPA:



Gambar 2.25 - Tahap urutan Forward Process Analysis (FPA)

Perhitungan dimulai dari pylon pada tahap 1, lalu dilanjutkan sampai tahap 2,3, sampai tahap akhir yaitu tahap 8 di mana jembatan akan terhubung pada bentang tengah gelagar utama. Pada saat tahap 2, 4, 6 hanya girder yang dipasang dan kabel belum terpasang. Pada tahap ini terjadi penurunan vertikal (*vertical displacement*) dan momen tekuk yang cukup besar. Pada tahap 3, 5, 7 kabel mulai dipasang pada ujung girder lalu kabel tertarik untuk dapat mengangkat girder sampai elevasi tertentuk untuk menghilangkan momen tekuk dan menahan girder dalam posisi yang diinginkan.



Gambar 2.26 - Perhitungan gaya kabel saat pelaksanaan

$$w = \text{beban mati balok kantilever} \quad \Delta = \frac{\dot{T}l^3}{3EI} \quad (2.116)$$

$$W_{eq} = \text{berat mesin peralatan} \quad \dot{T} = \text{beban initial kabel}$$

$$\Delta = \frac{wl^4}{8EI} + \frac{W_{eq}l^3}{3EI} \quad (2.115) \quad \dot{T}_v = \frac{3wl}{8} + W_{eq} \quad (2.117)$$

$$\dot{T} = \frac{3wl + 8W_{eq}}{\delta \sin \alpha} \quad (2.118)$$

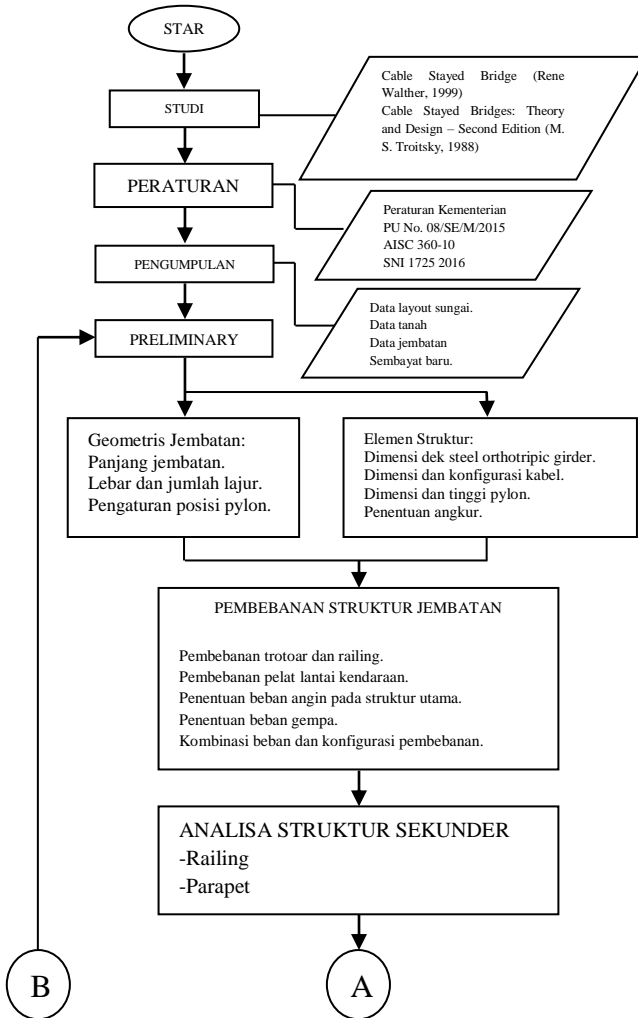
2.7.2 Backward Process Analysis (BPA)

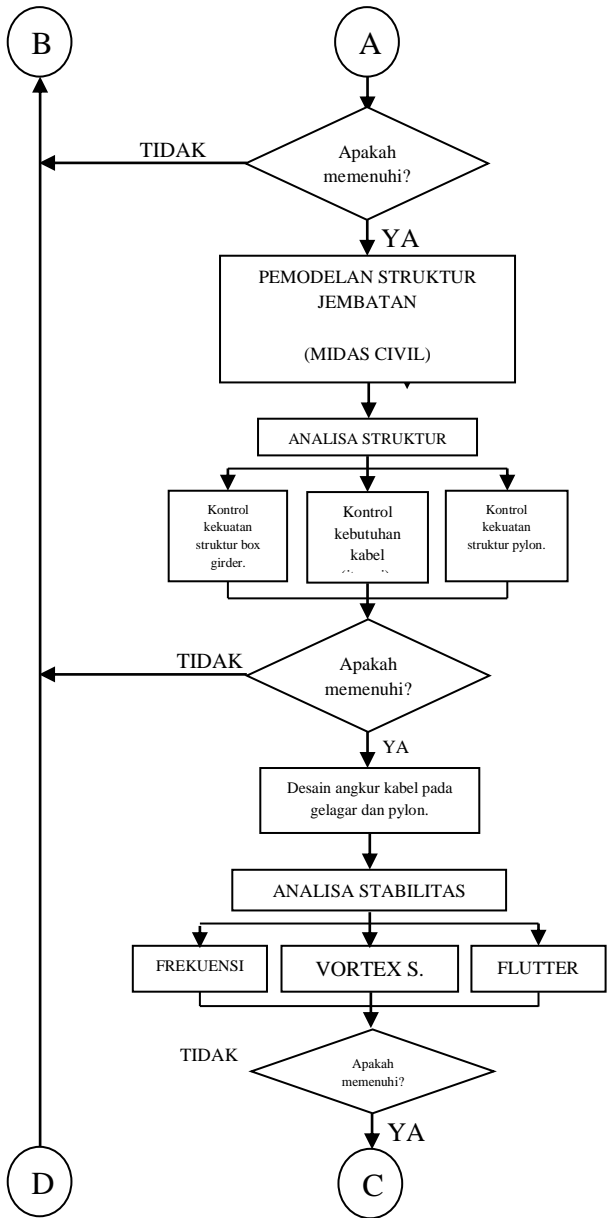
Backward Process Analysis (BPA) atau analisa mundur, adalah suatu metode analisa yang berkebalikan dengan analisa maju (FPA). Analisa mundur dilakukan dengan cara mengetahui besar gaya – gaya yang terjadi pada jembatan secara keseluruhan, lalu secara bertahap dilakukan pelepasan kabel pada bentang tengah atau ujung jembatan. Setelah kabel terlepas, dihitung

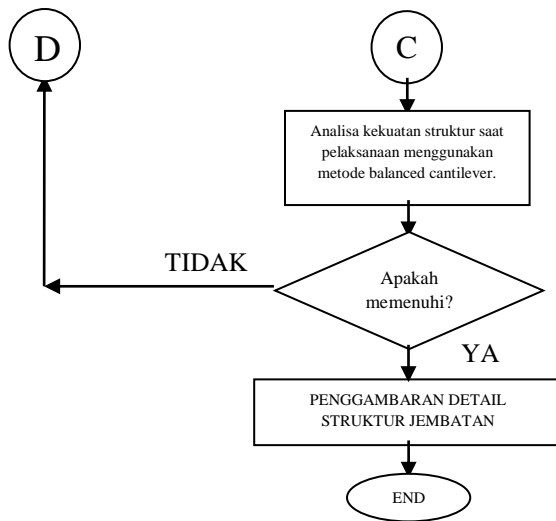
besarnya gaya yang terjadi dan struktur jembatan dianalisa dan didesain akibat beban mati dan gaya dalam tiap bentang ditentukan pada tahap sebelumnya. Secara bertahap girder dan kabel dilepas dan dihitung dari ujung jembatan sampai ke *pylon*.

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Bagan Alir







Gambar 3.1 – Bagan alir

3.2 Studi Literatur

Langkah pertama dalam melakukan studi literatur adalah mencari dan mengumpulkan literatur-literatur yang berkaitan dengan desain jembatan *cable-stayed*. Untuk mempermudah dalam mempelajari literatur yang akan dipakai, penulis terlebih dahulu mempelajari secara singkat mengenai struktur jembatan *cable-stayed* yang mencakup sistem struktur, konsep arsitektur, pemilihan lokasi yang tepat, pertimbangan pemilihan jenis struktur tersebut, dan lain-lain. Hal ini dipelajari dari beberapa jurnal dan majalah, diantaranya:

1. Juvani, J., Lipponen, O. 2012. *Cable Stayed Bridge*.
2. Wiecon. 2008. *Suspension, Cable Stayed and Extradosed Bridges*. Project Preference Catalogue: Bridge Service.
3. Corus. 2007. *Student Guide to Steel Bridge Design*. Corus Construction and Development Magazine.

Kemudian mulai mencari dan mempelajari literatur-literatur resmi berupa buku dari pengarang internasional dan juga dalam negeri. Selain buku atau materi tentang desain struktur jembatan *cable-stayed* juga digunakan peraturan-peraturan pemerintah tentang desain struktur jembatan *cable-stayed* dan peraturan-peraturan yang berkaitan.

Berikut buku-buku dan materi yang dijadikan sebagai literatur dalam melakukan desain jembatan *cable-stayed*:

1. Walther, Rene. 1999. *Cable Stayed Bridges*. London. Thomas Telford.
2. Troitsky, M. S. 1988. *Cable Stayed Bridges: Theory and Design – Second Edition*. Boston. BSP Professional Books.
3. Xu, You-Lin. 2013. *Wind Effects on Cable Supported Bridges*. Singapore. Wiley.

4. Heins, C., P., Firmage, D., A. 1979. *Design of Modern Steel Highway Bridges*. Wiley.

Sedangkan peraturan-peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. SNI 1725 2016 tentang “Pembebanan untuk Jembatan”.
2. Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel”.
3. RSNI 2833 2013 tentang “Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa”.
4. AISC 1963 “Design Manual for ORTHOTROPIC STEEL PLATE DECK BRIDGE”
5. AISC 360-10 “Specification for Structural Steel Building”.
6. RSNI T 02 2004 tentang “Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”.

3.3 Pengumpulan Data

Setelah melakukan studi literatur, maka langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk melakukan desain jembatan *cable-stayed*. Data yang dikumpulkan berupa data sekunder yang meliputi:

1. Data layout dan geometrik sungai.
2. Data tanah.
3. Data jembatan Sembayat Baru.

Nama dan Lokasi : Jembatan Sembayat Baru
Kecamatan Manyar – Gresik

Bentang (*existing*) : 354 m (60m + 93m + 51,5m + 53m + 53m + 52,5m)

Lebar (*existing*) : 11 m

Tinggi bebas minimal : 4,5 m

Material (*existing*) :

- Struktur atas pada bentang ke dua menggunakan sistem pelengkung dengan material baja dan gelagar dari beton.
- Bentang lainnya merupakan *prestress girder* beton.

3.4 Preliminary Design

Langkah awal dalam mendesain sebuah struktur jembatan adalah melakukan *preliminary design*. Dalam *preliminary design*, ditentukan dimensi awal dari masing-masing elemen struktur jembatan. Penentuan dimensi ini berdasarkan kaidah-kaidah yang berlaku seperti peraturan-peraturan atau literatur yang berasal dari buku. *Preliminary design* dalam desain struktur jembatan *cable-stayed* ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu *preliminary design* geometris jembatan dan *preliminary design* elemen struktur jembatan.

Hal-hal yang mencakup *preliminary design* geometris jembatan meliputi:

- a. Penentuan panjang jembatan.
- b. Penentuan lebar dan jumlah lajur jalan.
- c. Penentuan elevasi jembatan.
- d. Pengaturan posisi *pylon*.

Sedangkan hal-hal yang mencakup *preliminary design* elemen struktur jembatan meliputi:

- a. Penentuan dimensi *orthotropic steel box girder*.

Dek jembatan didesain menggunakan *box girder* dengan material baja. Baja dipilih karena memiliki kekuatan yang tinggi dengan dimensi yang relatif lebih kecil dibandingkan baja. Selain itu baja memberikan kemudahan dari segi pelaksanaan pekerjaan. Dalam desain ini dipilih *orthotropic steel box girder* dengan *closed ribs*.

b. Penentuan konfigurasi, dimensi dan jarak antar kabel.

Penentuan susunan kabel arah melintang dan memanjang jembatan. Dalam desain ini dipilih konfigurasi kabel arah melintang dengan model satu bidang (*single plane*). Sedangkan untuk konfigurasi arah melintang dipilih model *fan pattern*.

c. Penentuan tinggi dan dimensi *pylon*.

Pylon/menara didesain menggunakan material beton bertulang. Tinggi *pylon* ditentukan berdasarkan Peraturan PU Nomor 08/SE/M2015. Sedangkan dimensi *pylon* ditentukan dari pembagian gaya aksial taksiran pada *pylon* yang dihitung sesuai Pasal 11.2.1 Peraturan PU Nomor 08/SE/M2015 kemudian dibagi dengan mutu beton yang digunakan.

Untuk tipe menara/*pylon* digunakan model kolom tunggal (*single plane*) yang ditempatkan di tengah *cross section* dek jembatan. Hal ini disesuaikan dengan konfigurasi susunan kabel arah melintang yang menggunakan model satu bidang.

3.5 Pembebanan Struktur Jembatan

Setelah melakukan preliminary design maka dilakukan pembebanan terhadap struktur jembatan. Pembebanan ditentukan berdasarkan SNI 1725 2016 tentang "Pembebanan untuk Jembatan".

Pengelompokan pembebanan yang ditentukan meliputi:

1. Pembebanan pada Struktur Sekunder
 - a. Pembebanan pada trotoar (mengacu pada Pasal 8.9 SNI 1725 2016).
 - b. Pembebanan pada railing (mengacu pada Pasal 11 SNI 1725 2016).
2. Pembebanan pada Struktur Utama
 - a. Pembebanan pada lantai kendaraan.

Beban pada lantai kendaraan berupa beban permanen dan beban lalu lintas. Beban permanen berupa berat sendiri *box girder*, pelat lanai kendaraan, lapisan apal, dan beban mati tambahan lain dengan mengacu pada Pasal 7 SNI 1725 2016. Sedangkan beban lalu lintas yaitu beban lajur yang terdiri atas beban terbagi rata (BTR) dan beban garis (BGT), beban truk (T), dan gaya rem (TB). Penentuan beban lalu lintas rencana jembatan mengacu pada Pasal 8 SNI 1725 2016.

- b. Pemodelan beban angin.

Penentuan beban angin mengacu pada Pasal 9.6 SNI 1725 2016.

- c. Pemodelan beban gempa.

Penentuan beban gempa mengacu pada RSNI T 2833 2013.

- d. Pembebanan aksi lingkungan lainnya.

Selebihnya untuk beban akibat aksi lingkungan lainnya yang mungkin untuk

diperhitungkan mengacu pada Pasal 9 SNI 1725 2016.

3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk struktur jembatan *cable-stayed* dilakukan berdasarkan ketentuan Pasal 7.4 Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/2015 tentang Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel.

3.6 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur untuk desain jembatan *cable-stayed* dilakukan menggunakan program bantu MIDAS Civil. Hal ini dilakukan baik untuk keperluan penentuan gaya dalam, stabilitas, maupun analisa metode pelaksanaan.

3.7 Analisa Struktur Sekunder

Kontrol kekuatan struktur sekunder dilakukan setelah pemodelan struktur dan didapatkan gaya dalam pada struktur sekunder. Kontrol kekuatan struktur sekunder meliputi:

- a. Desain *railing*:
 - i. Menentukan dimensi *railing*.
 - ii. Kontrol kekuatan struktur *railing*.
 - iii. Menentukan dimensi penyangga *railing*.
 - iv. Kontrol kekuatan struktur penyangga.
 - v. Desain sambungan *railing*.

3.8 Analisa Struktur Utama

Kontrol kekuatan struktur utama dilakukan setelah pemodelan struktur dan didapatkan gaya dalam dalam masing-masing elemen struktur utama. Kontrol kekuatan struktur dilakukan berdasarkan dimensi yang telah ditentukan pada *preliminary design*. Apabila hasil kontrol elemen kekuatan struktur menunjukkan elemen tersebut tidak memenuhi syarat, maka dilakukan desain ulang pada *preliminary*.

Elemen-elemen struktur utama yang perlu dikontrol meliputi:

- a. Desain struktur *orthotropic steel box girder*:
 - i. Kontrol kekuatan *orthotropic steel box girder*.
 - ii. Kontrol lendutan.
 - iii. Sambungan segmental antar *box girder*.
- b. Desain kebutuhan kabel:
 - i. Menghitung kebutuhan kabel dengan dimensi yang telah ditentukan dalam *preliminary design* berdasarkan gaya dalam hasil pemodelan struktur.
- c. Desain struktur *pylon*:
 - i. Penulangan tulangan utama untuk tekan lentur pada *pylon* dihitung menggunakan program bantu PCACol.
 - ii. Kontrol luasan tulangan utama.
 - iii. Penulangan geser pada *pylon*.
 - iv. Penulangan torsi pada *pylon*.

3.9 Desain Angkur

Desain angkur kabel dilakukan pada gelagar dan *pylon*. Angkur pada gelagar didesain sebagai angkur mati sedangkan pada *pylon* didesain sebagai angkur hidup di mana *stressing* dilakukan.

Desain angkur meliputi:

- a. Kontrol kebutuhan tebal pelat angkur pada gelagar.

3.10 Analisa Dinamis Struktur

Analisa dinamis struktur dilakukan untuk mengetahui stabilitas struktur jembatan akibat hembusan angin. Analisa dinamis struktur akan memberikan indikasi apakah dimensi elemen struktur sudah cukup stabil akibat perilaku dinamis struktur.

Kontrol dinamis struktur meliputi:

- a. Frekuensi alami.
- b. Osilasi gaya akibat pusaran angin (*vortex shedding*).
- c. Efek ayunan (*flutter effect*).

3.11 Analisa Struktur dan Metode Pelaksanaan

Pelaksanaan struktur bangunan atas jembatan *cable-stayed* ini menggunakan sistem *balanced cantilever* dengan metode *Backward Process Analysis* (BPA). Maka akan dianalisa kekuatan struktur ketika pelaksanaan berlangsung.

Analisa tersebut meliputi:

- a. Pengerjaan *pylon*.
- b. Pengerjaan pemasangan lantai kendaraan segmental.
- c. Pengerjaan pemasangan kabel pada *pylon* dan lantai kendaraan segmental.

3.12 Penggambaran Layout dan Detail Struktur Jembatan

Setelah semua analisa dan perhitungan selesai dilakukan, maka berikutnya dilakukan penggambaran detail jembatan *cable-stayed* sesuai dengan hasil analisa dan perhitungan tersebut. Penggambaran dikerjakan dengan program bantu AutoCAD.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 4

PRELIMINARY DESIGN

Sebelum melakukan perhitungan struktur sekunder dan pemodelan struktur, maka perlu dilakukan *preliminary design* sebagai taksiran dimensi awal dari masing-masing komponen struktur. *Preliminary design* ini dibagi menjadi *preliminary design* geometrik jembatan dan *preliminary design* elemen struktur. *Preliminary design* geometrik jembatan ditentukan dengan pertimbangan kondisi lapangan dan juga kepentingan transportasi. Sedangkan *preliminary design* elemen struktur dilakukan berdasarkan ketentuan-ketentuan yang diatur dalam Surat Edaran Menteri PU Nomor 08/SE/M/2015 yang tertuang dalam Tinjauan Pustaka (BAB 2).

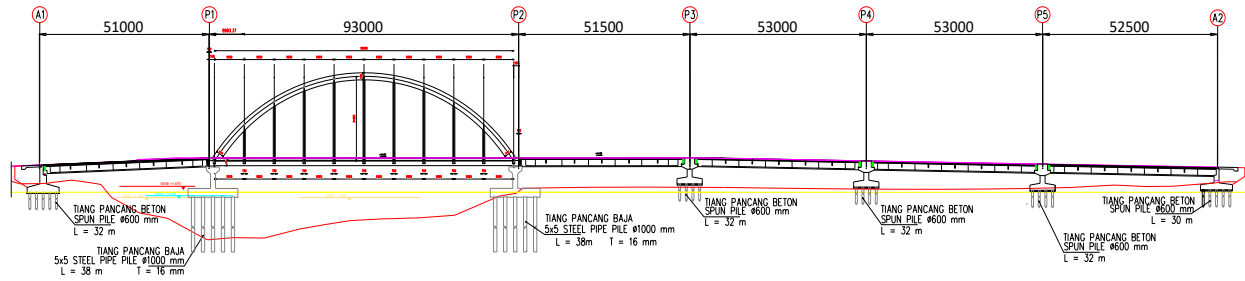
4.1 Preliminary Design Geometrik Jembatan

4.1.1 Panjang Total Jembatan

Dalam menentukan panjang total jembatan terlebih dahulu harus dilakukan kajian terhadap kondisi jembatan *existing*. Kajian tersebut akan menentukan pertimbangan dalam menentukan posisi *pylon*, sehingga panjang jembatan juga tergantung dari penentuan posisi *pylon* tersebut.

- a. Kondisi *existing* jembatan:**
 - i. Panjang total jembatan *existing* : 354 m

ii. Layout memanjang jembatan *existing*:



Gambar 4.1 - Long section jembatan *existing*

b. Perencanaan layout memanjang jembatan:

Dengan kondisi seperti pada gambar 4.1 maka ditentukan jembatan *cabl-stayed* dengan panjang total 340 m. Dengan jarak tersebut sehingga tersisa 14 meter dari bentang total jembatan *existing*. Pada sisa 14 meter tersebut akan dilakukan pengurangan.

Panjang masing-masing bentang adalah 170 meter dengan *pylon* berada di tengah sebagai pemisah kedua bentang tersebut.

4.1.2 Lebar Total Jembatan

Lebar total jembatan ditentukan sebesar 17 meter. 17 meter tersebut terbagi menjadi 2 buah *aerodinamic shapes* masing-masing 1 m, 2 lajur jalan masing-masing 5,5 m, dan sebuah trotoar pada tempat pengangkuran kabel berada di tengah *cross-section* jembatan dengan lebar disesuaikan dengan lebar *pylon* yaitu 4 m.

4.2 Preliminary Design Elemen Struktur

4.2.1 Konfigurasi Susunan Kabel

Konfigurasi kabel dalam arah melintang digunakan *Single Plane System*, sedangkan untuk konfigurasi arah memanjang digunakan *Modified Fan Pattern*. Untuk detail lainnya sebagai berikut:

- 1) Jarak antar kabel pada gelagar menurut Pasal 4.4.3 SEM PU Nomor 08/SE/M/2015 sebagai berikut:
 - a. Untuk gelagar dengan material baja: 15m – 25m.
 - b. Jarak antar kabel didesain seperti pada gambar 4.2.
- 2) Tinggi *pylon*:

Dalam SEM PU No. 08/SE/M/2015 dijelaskan tinggi *pylon* untuk jembatan *cable stayed* dapat didesain dengan kisaran 0,19 s/d 0,25 dari bentang terpanjang jembatan. Sehingga ditentukan tinggi *pylon* sebagai berikut:

$$\text{Tinggi pylon (H)} : 0,19L \leq H \leq 0,25L$$

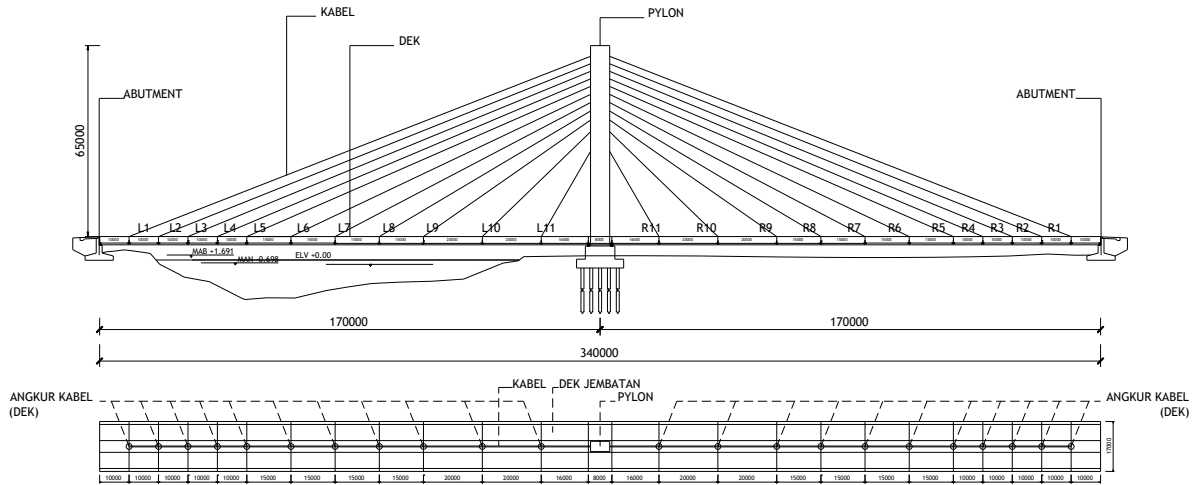
$$\text{Ditentukan,} \quad H = 0,19L$$

$$H = 0,19 \cdot 340\text{m}$$

$$H = 65 \text{ m}$$

3) Jarak antar kabel pada *pylon*:

Untuk jarak antar kabel pada *pylon* dipakai 2,5 m.



Gambar 4.2 - Long section dan denah jembatan cable stayed

4.2.2 Dimensi Orthotropic Box Girder

Dalam desain ini digunakan *steel orthotropic deck* dengan model *single trapezoidal stiffening girder*. Model ini dipilih untuk meningkatkan kekakuan torsi pada dek sehingga dapat mengatasi kelemahan dari sistem *single plane cable stayed* yang lemah terhadap torsi.

1) Tinggi Gelagar

Dalam SEM PU Nomor 08/SE/M/2015 Pasal 4.6.2 disyaratkan tinggi dek berkisar antara 1/50 sampai dengan 1/70 dari panjang bentang utama jembatan. Sehingga ditentukan tinggi dek sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi girder (h)} &= \frac{1}{50} l \geq h \geq \frac{1}{70} l \\ &= \frac{1}{50} 170 \text{ m} \geq h \geq \frac{1}{70} 170 \text{ m} \\ &= 3,4 \text{ m} \geq h \geq 2,43 \text{ m} \end{aligned}$$

Direncanakan nilai tinggi girder dengan perbandingan 1/61.

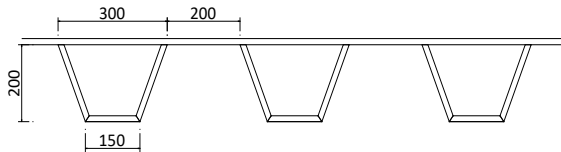
$$h = \frac{1}{61} 170 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$$

2) Rusuk (*ribs*)

Ribs yang digunakan untuk desain *orthotropic box girder* ini adalah *closed ribs* berbentuk *trapezoidal*. Jarak antar *floor beam* (gelagar melintang) direncanakan sebesar 5 m, dengan *floor beam* berupa profil WF. Maka direncanakan tinggi *closed ribs* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi ribs (d)} &\geq \frac{l}{8} \\ &\geq \frac{2}{25} = 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan lebar sisi atas rib direncanakan sebesar 0,3 m dan lebar sisi bawah sebesar 0,15 m. Untuk jarak antar *ribs* direncanakan sebesar 0,2 m dihitung dari dinding terluar.



Gambar 4.3 - Dimensi awal *ribs* (dalam mm)

3) Tebal Pelat Lantai Kendaraan

Ketebalan pelat lantai kendaraan harus memenuhi persamaan berikut:

$$tp \text{ (in)} \geq 0,0065 a^3 \sqrt{p}$$

$$a = 300 \text{ mm (11,811 in)}$$

$$T = 112,5 \text{ kN (25,26 kips)}$$

Ketebalan aspal, $t = 50 \text{ mm}$

Dimensi ban truk:

$$g_o = 750 \text{ mm} \qquad c_o = 250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A &= (g_o + 2t) (c_o + 2t) \\ &= (750 + 2 \cdot 50) (250 + 2 \cdot 50) \\ &= 297500 \text{ mm}^2 (461,13 \text{ in}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= T/A \\ &= 25260/461,13 \\ &= 54,778 \text{ psi (0,378 N/mm}^2) \end{aligned}$$

$$tp \geq 0,0065 \cdot 11,811 \cdot 3\sqrt{54,778} = 0,2916 \text{ in (7,41 mm)}$$

Maka direncanakan $tp = 16 \text{ mm}$.

Tebal pelat harus memenuhi lendutan ijin melintang akibat beban roda truk.

$$\begin{aligned} w_{ijin} &= a/300 \\ &= 300/300 \\ &= 1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{pelat} &= 1/12 tp^3 \\ &= 1/12 \cdot 16^3 \\ &= 341,3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= \frac{5}{6} \frac{1}{384} \frac{p \cdot a^4}{EI} \\ &= \frac{5}{6} \frac{1}{384} \frac{0,378 \cdot 300^4}{200000 \cdot 341,3} \\ &= 0,097 \text{ mm} > w_{ijin} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

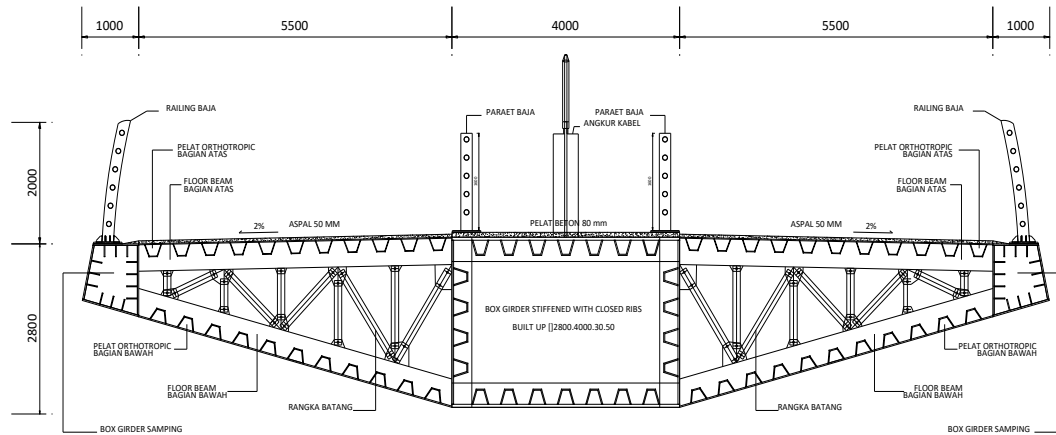
4) Dimensi Floor Beam

Floor beam (gelagar melintang) direncanakan menggunakan baja profil T yang kemudian dilas dengan pelat lantai dengan tinggi balok (d) direncanakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &\geq \frac{L}{38} \\ &\geq \frac{17 \text{ m}}{38} = 0,4457 \text{ m} \rightarrow \text{maka dipakai} = 0,450 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka digunakan profil WF. 450.300.16.28

$$\begin{array}{llll} d & = 450 \text{ mm} & tw & = 16 \text{ mm} & r = 26 \text{ mm} \\ bf & = 300 \text{ mm} & tf & = 28 \text{ mm} & w = 122 \text{ kg/m} \end{array}$$



Gambar 4.4 - Cross section dek jembatan dengan sistem *orthotropic box girder*

4.2.3 Dimensi Kabel dan Angkur

Kabel penopang utama (*stay cable*) yang digunakan dalam desain jembatan *cable stayed* ini adalah tipe *Parallel Strand Cable*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.1 - Mutu kabel

Standar	ASTM A 416-06 Grade 270				Euronorme 138-3		
Φ (mm)	15.2				15.7		
As (mm ²)	150				150		
fu (MPa)	1860				1770		
Ukuran angkur	7	12	19	31	61	91	Strand

Dipilih ASTM A 416-06 Grade 270.

a) Pembebanan

Dead Loads (DL)

SEM PU No.08/SE/M/2015 Pasal 4.6.3 memberikan acuan estimasi awal berat gelagar jembatan. Untuk gelagar box baja dapat ditentukan dalam kisaran 2,5 s/d 3,5 kN/m². Maka ditentukan berat estimasi awal *box girder* sebesar 3,0 kN/m².

$$\text{Berat box girder} = 3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 21 \text{ m} \cdot 1,1 = 69,30 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat utilitas (30\%)} = 30\% \cdot 69,3 \text{ kN/m} \cdot 1,3 = 27,03 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat aspal 5 cm tebal} = 0,05 \text{ m} \cdot 21 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 32,34 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total DL} = 128,67$$

kN/m

Live Loads (LL)

Beban Terbagi Rata (BTR):

$$q = 9 \text{ kPa}$$

$$q_{BTR} = 9 \text{ kPa} \cdot 11 \text{ m} \cdot 2 = 198 \text{ kN/m}$$

Beban Garis (BGT):

$$p = 49 \text{ kN/m}$$

$$p_{BGT} = 49 \text{ kN/m} \cdot 21 \text{ m} \cdot 2 = 1078 \text{ kN}$$

b) Perhitungan Dimensi Kabel

Luas dimensi kabel dihitung dengan persamaan berikut:

$$Asc = \frac{P_{ni}}{f_{ni}}$$

$$P_{ni} = \frac{(0,5 \cdot (\lambda_i + \lambda_{i+1}) \cdot W + p_{BGT})}{\sin \alpha_i}$$

$$W = DL + q_{BTR}$$

$$f_{ni} = f_{ijin} - \gamma_{cb} \cdot \frac{\alpha_1}{\cos \alpha_i}$$

Asc = luas penampang kabel (mm^2)

P_{ni} = beban yang bekerja pada dek (kN)

f_{ni} = tegangan ijin kabel netto (kN/m^2)

f_{ijin} = tegangan ijin kabel (MPa)

λ_i = jarak antar kabel i (m)

α_1 = jarak dari pylon ke kabel ke i (m)

α_i = sudut kemiringan kabel terhadap bidang horizontal

γ_{cb} = densitas kabel (77 kN/m^3)

Berdasarkan spesifikasi kabel yang telah diberikan, dipilih tipe ASTM 416-06 Grade 270 yang disuplai oleh VSL SSI 2000, dengan tegangan ijin kabel sebagai berikut:

$$\begin{aligned}f_{ijin} &= 0,6 \cdot 1860 \text{ MPa} \\ &= 1116 \text{ MPa} \\ &= 1116000 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Ukuran kabel adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Diameter, } \phi &= 15,2 \text{ mm} \\ \text{Luasan, A} &= 150 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan jumlah kabel diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.2 - Perhitungan jumlah strand dalam setiap susunan kabel penopang

No.	λ_i	λ_{i+1}	a_i	h_i	α	A	B	C	Asc	n
	m	m	m	m	degree	kN	kN	MPa	mm ²	buah
1	20	20	20	38.50	62.5	2815.0	4110.9	833.7	4931.1	33
2	20	20	40	41.00	45.7	2815.0	5096.5	832.6	6121.3	41
3	20	15	60	43.50	35.9	2463.1	5615.5	831.3	6755.2	46
4	15	15	75	46.00	31.5	2111.3	5631.4	830.2	6783.0	46
5	15	15	90	48.50	28.3	2111.3	6206.4	829.1	7485.4	50
6	15	15	105	51.00	25.9	2111.3	6738.9	828.0	8138.6	55
7	15	10	120	53.50	24.0	1759.4	6366.4	826.9	7699.3	52
8	10	10	130	56.00	23.3	1407.5	5663.2	826.1	6855.3	46
9	10	10	140	58.50	22.7	1407.5	5811.2	825.3	7041.1	47
10	10	10	150	61.00	22.1	1407.5	5947.6	824.5	7213.3	49
11	10	10	160	63.50	21.6	1407.5	6073.7	823.7	7373.3	50

Berdasarkan analisa di atas, maka ditentukan jumlah strand dalam masing-masing kabel adalah sebanyak 91 buah.

Keterangan:

$$A = \frac{\lambda_i + \lambda_{i+1}}{2} W$$

$$B = \frac{A+P}{\sin \alpha}$$

$$C = f_{all} - \frac{a \cdot \gamma}{\cos \alpha}$$

$$Asc = \frac{B \times 1000}{C}$$

4.2.4 Struktur Pylon

Dimensi *pylon* ditentukan dengan estimasi kapasitas struktur tekan *pylon* dalam menahan gaya vertikal yang disalurkan oleh kabel penopang.

Spesifikasi material *pylon* adalah sebagai berikut:

- a) Material : beton bertulang
- b) f_c : 85 MPa
- c) f_y : 420 MPa

Jumlah gaya-gaya vertikal yang disalurkan oleh masing-masing kabel penopang dari satu sisi bentang diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.3 - Rekapitulasi gaya yang bekerja pada *pylon*

No.	DL+LL (kN)	Wcb (kN)	Ni (kN)
1	8918.008	50.236	8968.244
2	8591.341	509.495	9100.836
3	8264.674	450.458	8715.132
4	7284.673	432.339	7717.012

5	6304.672	431.051	6735.723
6	5651.338	434.107	6085.445
7	4998.004	439.075	5437.079
8	4998.004	444.978	5442.982
9	4671.337	451.581	5122.918
10	2711.335	457.937	3169.272
Gaya total (kN)			66494.644

W_{cb} : berat kabel penopang (kN)

N_i : gaya normal/vetikal pada masing-masing kabel penopang (kN)

Sehingga estimasi awal untuk dimensi *pylon* dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2 \cdot N_i}{f'_c} \\
 &= \frac{2 \cdot 66494644 \text{ N}}{85 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 1564579,86 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena estimasi awal hanya mempertimbangkan beban mati dan beban lalu lintas saja belum beban--beban dan analisa yang lain, maka dimensi diambil sebesar:

$$b = 2000 \text{ mm}$$

$$h = 3000 \text{ mm}$$

$$A = 6000000 \text{ mm}^2 > 1564579,86 \text{ mm}^2$$

BAB 5

DESAIN STRUKTUR SEKUNDER

Struktur sekunder dalam desain jembatan *cable stayed* ini meliputi *railing* dan *parapet* pelindung angkur kabel pada dek jembatan. *Railing* terletak pada bagian paling tepi dari dek jembatan yang merupakan pengaman utama untuk pengguna jembatan. Desain *railing* dan *parapet* mengacu kepada AASHTO dan FHWA.

Struktur sekunder tidak dianalisa bersama dengan struktur utama, melainkan terpisah. Hal ini dilakukan karena struktur sekunder tidak terlalu berpengaruh terhadap perilaku struktur utama, di mana struktur sekunder ini dianalisa sebagai beban pada struktur utama.

5.1 Spesifikasi Material dan Pembebanan

5.1.1 Spesifikasi Material

Mutu yang digunakan dalam desain *railing* dan *parapet* adalah BJ-37, dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_y &= 240 \text{ MPa} \\F_u &= 370 \text{ MPa} \\E &= 200000 \text{ MPa}\end{aligned}$$

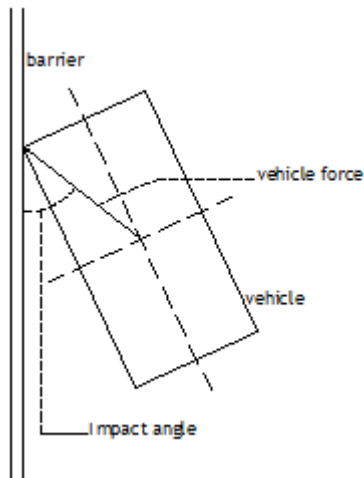
5.1.2 Pembebanan Rencana

Perencanaan pembebanan untuk *railing* dan *parapet* mengacu pada AASHTO *Manual Assessing Safety Hardware* (MASH) 2009. Dalam AASHTO MASH 2009 tersebut beban diklasifikasikan dalam 6 jenis *test level* yang ditentukan berdasarkan kecepatan rencana kendaraan dan jenis kendaraan yang melintas. Dalam desain *railing* dan *parapet* ini digunakan *test level* 4 sebagai pembebanan rencana.

Tabel 5.1 - *Test level 4* dalam AASHTO MASH 2009

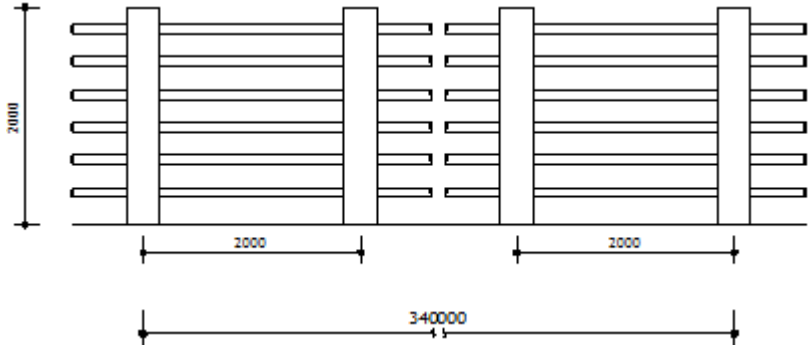
Test Level (TL)	Test No.	Vehicle			Impact Speed		Impact Angle
		Type	Weight		mph	m/s	
			lbs	kgs			
TL-4	4-10	passanger car	2420	1097.7	62	27.716	25
	4-11	pick up truck	5000	2268	62	27.716	25
	4-12	single unit tr	22000	9979	56	25.034	15

Sedangkan skematika pembebanan dijelaskan dalam gambar berikut:

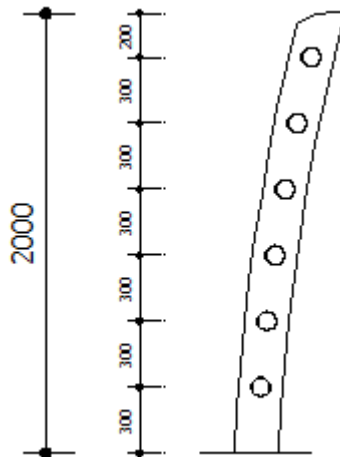
**Gambar 5.1** - Skema pembebanan pada *railing* dan *parapet*

5.2 Railing

5.2.1 Perencanaan Railing



Gambar 5.2 - Long section rencana railing (satuan dalam mm)



Gambar 5.3 - Cross section rencana railing (satuan dalam mm)

5.2.2 Perencanaan Dimensi Profil

Batang horizontal didesain dengan profil *circular hollow* dengan diameter 3,5 inchi dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.2 - Spesifikasi profil *circular hollow* D3,5"

D	ts	w	A	I	S	r
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
89.1	3.2	6.78	8.636	79.8	17.9	3.04

Sedangkan batang vertikal atau tiang sandaran didesain dengan profil *rectengular hollow* 200.200.10 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.3 - Spesifikasi profil *rectengular hollow* 200.200.8

h	b	t	w	A	I _x	I _y
mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ⁴
200	200	8	46.572	61.44	3781.4	3781.4

5.2.3 Analisa Struktur

Analisa struktur desain railing ini dilakukan secara 3D dengan menggunakan bantuan software SAP2000. Hal ini diharapkan menghasilkan perhitungan yang lebih akurat dibandingkan dihitung secara manual. Terlebih lagi karena antar tiang terhubung secara kaku maka akan menimbulkan kesulitan dan waktu perhitungan apabila dihitung secara manual.

5.2.3.1 Pembebanan

Beban Mati (DL)

Untuk beban mati, dilakukan pemodelan dimensi struktur pada SAP2000 sehingga secara otomatis SAP2000 akan memperhitungkan sendiri beban-beban mati yang ada pada struktur berdasarkan dimensi dan spesifikasi material yang telah di-*input*, dengan menggunakan faktor perbesaran 1,1 untuk material baja sesuai tabel 3 SNI 1725 2016.

Beban Hidup (LL)

Beban hidup merupakan beban tumbukan kendaraan sesauai *test level 4 AASHTO MASH 2009* yang telah ditentukan. Besar beban dianalisa sebagai berikut:

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{v_1 - v_2}{\Delta t}$$

Pada kasus tumbukan ini selang waktu ketika terjadi tumbukan diasumsikan 1 detik. Dan railing diharapkan cukup kuat menahan beban tumbukan sehingga diasumsikan kecepatan akhir v_2 adalah 0. Maka perumusan menjadi sebagai berikut:

$$a = \frac{v_1 \text{ m/s} - 0}{1\text{s}}$$

$$a = v_1 \text{ m/s}^2$$

Maka besar beban hidup dihitung sebagai berikut:

F1	= 1097 kg . 27,716 m/s ²	= 30424,1 N
F2	= 2267,96 kg . 27,716 m/s ²	= 62859,7 N
F3	= 9979,024 kg . 25,034 m/s ²	= 249816,7 N

Besar proyeksi gaya pada sumbu sejajar dan tegak lurus batang horizontal adalah sebagai berikut.

Proyeksi pada sumbu sejajar (axial):

$$P1_{axial} = 30424,1 \text{ N} \cdot \cos 25 = 55147,198 \text{ N}$$

$$P2_{axial} = 62859,7 \text{ N} \cdot \cos 25 = 113940,49 \text{ N}$$

$$P3_{axial} = 249816,7 \text{ N} \cdot \cos 15 = 482608,73 \text{ N}$$

Proyeksi pada sumbu tegak lurus:

$$P1^* = 30424,1 \text{ N} \cdot \sin 25 = 25715,561 \text{ N}$$

$$P2^* = 62859,7 \text{ N} \cdot \sin 25 = 53131,324 \text{ N}$$

$$P3^* = 249816,7 \text{ N} \cdot \sin 15 = 129314,62 \text{ N}$$

Dari ketiga gaya akibat jenis kendaraan tersebut, dipilih gaya yang terbesar.

$$P_{axial} = 482608,73 \text{ N} = 482,619 \text{ kN}$$

$$P^* = 129314,62 \text{ N} = 129,315 \text{ kN}$$

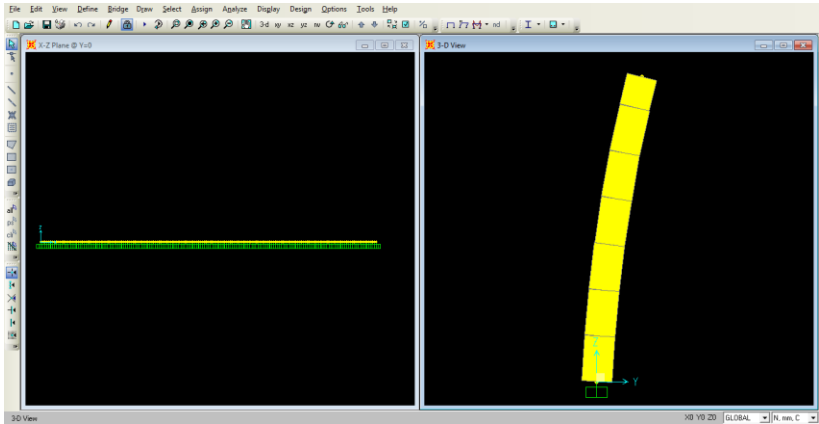
Terdapat 6 batang horizontal, sehingga gaya pada tiap batang adalah sebesar:

$$P_{axial} = 482,619 \text{ kN} / 6 = 80,435 \text{ kN}$$

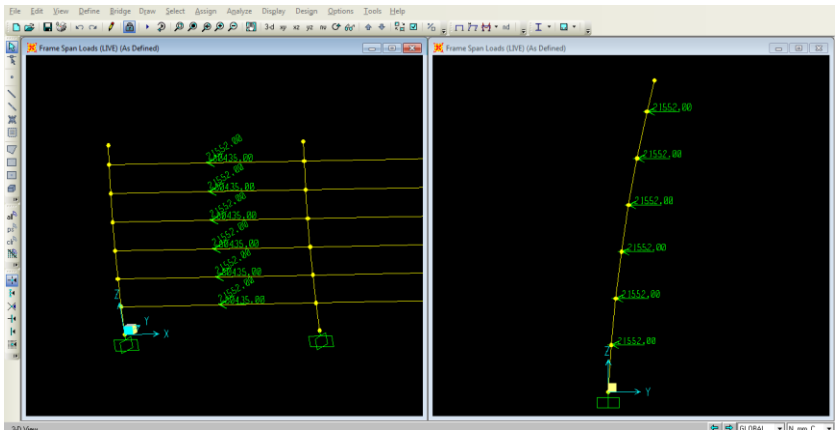
$$P^* = 129,315 \text{ kN} / 6 = 21,552 \text{ kN}$$

5.2.3.2 Pemodelan dengan SAP2000

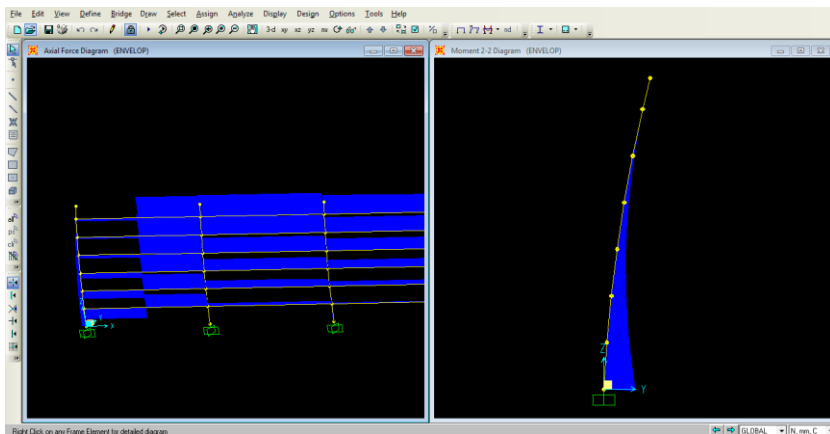
Pemodelan struktur dengan menggunakan SAP2000 dilakukan secara keseluruhan pada struktur *railing* sepanjang total jembatan yaitu 340 meter.



Gambar 5.4 - Pemodelan menggunakan SAP2000



Gambar 5.5 - Konfigurasi beban pada pemodelan SAP2000



Gambar 5.6 - Output hasil gaya dalam aksial dan momen

5.2.3.3 Hasil Analisa SAP2000

Berikut rekapitulasi perhitungan gaya-gaya dalam output dari analisa struktur menggunakan SAP2000.

Tabel 5.4 - Rekapitulasi gaya dalam *ultimate*

No	Jenis Batang	Jenis Gaya Dalam		
		Axial	Moment	Geser
		N	N-mm	N
1	Horizontal 1	87065.09	6354912.22	11130.50
2	Horizontal 2	71052.01	6308703.63	11124.19
3	Horizontal 3	62254.31	6219487.29	11112.23
4	Horizontal 4	55753.58	6085962.08	11083.87
5	Horizontal 5	49388.00	5905343.45	11026.81
6	Horizontal 6	43535.01	5674112.46	10928.15
7	Vertikal	1836.68		
	Momen x		69497382.65	113561.99

	Momen y		66964472.00	63351.75
--	---------	--	-------------	----------

5.2.4 Kontrol Kekuatan Struktur

5.2.4.1 Batang Horizontal

a. Kontrol Kapasitas Lentur

Kelangsingan batang: [AISC 360-10 Table B4.1b]

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{89,1}{4} = 22,275 < \lambda_p = 0,07 \frac{E}{F_y} = 58,3$$

.....[penampang kompak]

Momen Nominal: [AISC 360-10 Chapter F8]

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{4}{3}(D^3 - (D - t)^3) \\ &= \frac{4}{3}(89,1^3 - (89,1 - 4)^3) \\ &= 121403,89 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 121403,89 \cdot 240 \\ &= 29136934,4 \text{ N-mm} \\ &= 29,137 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_c &= 0,9 \cdot 29,137 \\ &= 26,223 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Momen terbesar yang terjadi dalam batang horizontal adalah,

$$\begin{aligned} M_r &= 6354912.22 \text{ N} \\ &= 6,355 \text{ kN-m} < M_c = 29,137 \text{ kN-m} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

b. Kontrol Kapasitas Tekan

Kontrol kelangsingan komponen struktur tekan:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{KL}{r} \\ &= \frac{1800}{3,01 \cdot 10} \\ &= 59,801 < 140 \text{[memenuhi]}\end{aligned}$$

Kontrol rasio lebar-tebal elemen penampang:

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{89,1}{4} = 22,275 < \lambda_r = 0,11 \frac{E}{F_y} = 91,6$$

.....[memenuhi]

Kontrol tekan nominal akibat tekuk lentur: [AISC 360-10 Chapter E3]

$$\frac{KL}{r} = 59,801 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{59,801^2} = 551,97 \quad \frac{F_y}{F_e} = 0,435 < 2,25 \text{ maka}$$

$$F_{cr} = [0,685^{F_y/F_e}] F_y = [0,685^{0,435}] 240 = 198,32 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 198,32 \cdot 863,6 = 171269,152 \text{ N} = 171,27 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 171,27 = 154,143 \text{ kN}$$

Gaya aksial terbesar yang terjadi pada batang horizontal adalah,

$$\begin{aligned}P_r &= 87065,09 \text{ N} \\ &= 87,1 \text{ kN} < P_c = 154,123 \text{ kN} \text{[memenuhi]}\end{aligned}$$

c. Interaksi Aksial-Lentur

Interaksi aksial-lentur dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter H1, sebagai berikut:

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{87,1}{154,123} = 0,565 > 0,2$$

Maka,

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8 Mr}{9 Mc} = \frac{87,1}{154,123} + \frac{8 \cdot 6,355}{9 \cdot 29,137} = 0,76 < 1$$

.....[memenuhi]

5.2.4.2 Batang Vertikal/Tiang Sandaran

Kontrol kelangsingan:

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200}{8} = 25 < \lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 32,332$$

.....[penampang kompak]

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{200}{8} = 25 < \lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 69,859$$

.....[penampang kompak]

Momen nominal LRFD:

$$\begin{aligned} Mc &= \phi Mn \\ &= 0,9 \cdot Zx \cdot fy \\ &= 0,9 \cdot 442624 \cdot 240 \\ &= 0,9 \cdot 106229760 \text{ N-mm} \\ &= 0,9 \cdot 106,23 \text{ kN-m} \\ &= 95,607 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Momen ultimate pada tiang sandaran,

$$\begin{aligned} M_r &= M_{ux} \\ &= 69497382.65 \text{ N-mm} \\ &= 69,497 \text{ kN-m} < M_c = 95,607 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

5.2.4.3 Sambungan Batang Horizontal-Vertikal

Digunakan las bersudut (*fillet*) dengan analisa sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Mutu las, } F_{EXX} &= 370 \text{ MPa} \\ \text{Ukuran minimum, } t_{w_{\min}} &= 3 \text{ mm} \\ \text{Ukuran ditetapkan, } t_w &= 3 \text{ mm} \\ \text{Lebar efektif las, } w &= \frac{1}{\sqrt{2}} 3 = 2,121 \text{ mm} \\ \text{Panjang efektif las, } l &= \pi \cdot D = \pi \cdot 89,1 = 279,9 \text{ mm} \\ \text{Gaya geser, } R_r &= 11130,5 \text{ N} = 11,131 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser nominal terfaktor,

$$\begin{aligned} R_c &= 0,75 \cdot w \cdot l \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \\ &= 0,75 \cdot 2,121 \cdot 279,9 \cdot 0,6 \cdot 370 \\ &= 98845,71 \text{ N} \\ &= 98,846 \text{ kN} > R_r = 11,131 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

5.2.4.4 Sambungan pada Base Plate

Pada *base plate* dan tiang sandaran diberi pelat pengaku untuk membantu menahan momen pada *joint* ini.

Dimensi pengaku:

$$\begin{aligned} b_s &= 7 \text{ mm} \\ h_s &= 100 \text{ mm} \\ \text{jumlah pengaku pada setiap sisi} &= 2 \\ \Sigma M &= 0 \\ \phi P_p \cdot e_1 + T_w \cdot e_2 - M_u &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_p &= 0,85 \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 0,85 \cdot 2 \cdot 1000 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ MPa} \\ &= 408000 \text{ N}\end{aligned}$$

$$e_1 = h_s/2 = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}e_2 &= \frac{(t \cdot b^2) + (t(h-2t)(b-0,5t)) + s_2 \cdot b_s \cdot h_s \cdot (b+0,5h_s)}{t \cdot b + t \cdot (h-2t) + 2 \cdot b_s \cdot h_s} \\ &= \frac{320000 + 288512 + 350000}{3200 + 1472 + 1400} \\ &= 157,86 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_w &= \frac{M_u - \phi_c P_p \cdot e_1}{e_2} \\ &= \frac{66964472 - 0,85 \cdot 285600 \cdot 50}{157,86} \\ &= 347315,771 \text{ N}\end{aligned}$$

Tebal pengelasan:

$$\begin{aligned}\text{Mutu las, } F_{EXX} &= 370 \text{ MPa} \\ \text{Panjang efektif, } l &= (2 \cdot h) + (B - 2 \cdot b_s) + (4 \cdot h_s) + (2 \cdot b_s) \\ &= 1000 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal efektif, } w &= \frac{T_w}{\phi \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \cdot L_w} \\ &= \frac{347315,771}{0,75 \cdot 0,6 \cdot 370 \cdot 1000}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 2,086 \text{ mm} \\ \text{Tebal rencana, } t_w &= \sqrt{2} \cdot w \\ &= \sqrt{2} \cdot 2,086 \\ &= 2,95 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } 4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kapasitas pengelasan:

$$\begin{aligned}
 R_c &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot w \cdot l \\
 &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 370 \cdot \frac{4}{\sqrt{2}} \cdot 1000 \\
 &= 470933,12 \text{ N} \\
 &= 470,933 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap cabut akibat momen:

$$\begin{aligned}
 R_r &= T_w \\
 &= 347315,771 \text{ N} \\
 &= 347,32 < R_c = 470,933 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap geser:

Gaya geser yang terjadi berdasarkan analisa SAP2000 diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 R_r &= 113561,99 \\
 &= 113,562 \text{ kN} < R_c = 470,933 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

5.2.4.5 Desain Base Plate

Direncanakan dimensi *base plate*:

$$\begin{aligned}
 B &= 500 \text{ mm} \\
 N &= 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pengelasan antara lantai dengan base plate:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M &= 0 \\
 M_{ux} - T_w \cdot N &= 0 \\
 T_w &= \frac{M_{ux}}{N} = \frac{66497383}{500} = 138994,77 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu las, } F_{EXX} &= 370 \text{ MPa} \\
 \text{Tebal minimum, } t_{w_{\min}} &= 6 \text{ mm} \\
 \text{Tebal efektif, } w &= \frac{1}{\sqrt{2}} 4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 2,828 \text{ mm} \\ \text{Panjang pengelasan, } l &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_c &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \cdot w \cdot l \\ &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 370 \cdot 2,828 \cdot 500 \\ &= 235431 \text{ N} \\ &= 235,431 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_r &= T_w \\ &= 138994,77 \text{ N} \\ &= 138,995 \text{ kN} < R_c = 235,431 \text{ kN} \end{aligned}$$

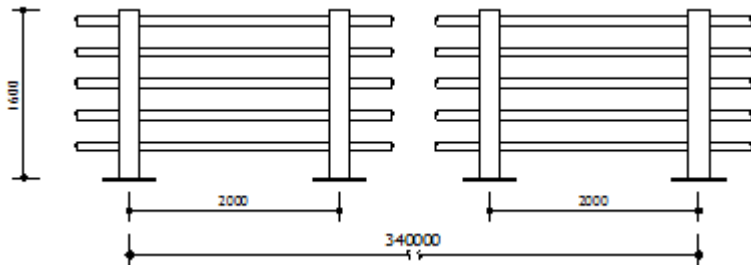
Ketebalan *base plate*:

$$\begin{aligned} t_p &\geq 2,11 \sqrt{\frac{T_w \cdot x}{B \cdot f_y}} \\ t_p &\geq 2,11 \sqrt{\frac{138995 \cdot 150}{500 \cdot 240}} \\ t_p &\geq 27,812 \text{ mm} \end{aligned}$$

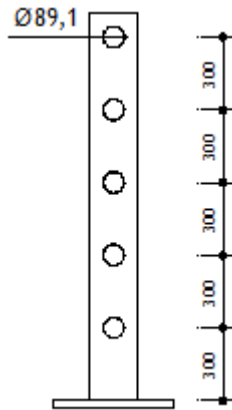
ditentukan, $t_p = 28 \text{ mm}$

5.3 Parapet

5.3.1 Perencanaan Parapet



Gambar 5.7 - Long section section parapet (satuan mm)



Gambar 5.8 - Cross section parapet (satuan mm)

5.3.2 Perencanaan Dimensi Profil

Batang horizontal didesain dengan profil *circular hollow* dengan diameter 3,5 inchi dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.5 - Spesifikasi profil *circular hollow* 3,5"

D	ts	w	A	I	S	r
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
89.1	3.2	6.78	8.636	79.8	17.9	3.04

Sedangkan batang vertikal atau tiang sandaran didesain dengan profil *rectengular hollow* 200.200.10 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.6 - Spesifikasi *rectengular hollow* 200.200.8

h	b	t	w	A	I _x	I _y
mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ⁴
200	200	8	46.572	61.44	3781.4	3781.4

5.3.3 Analisa Struktur

Analisa struktur desain railing ini dilakukan secara 3D dengan menggunakan bantuan software SAP2000. Hal ini diharapkan menghasilkan perhitungan yang lebih akurat dibandingkan dihitung secara manual. Terlebih lagi karena antar tiang terhubung secara kaku maka akan menimbulkan kesulitan dan waktu perhitungan apabila dihitung secara manual.

5.3.3.1 Pembebanan

Beban Mati (DL)

Untuk beban mati, dilakukan pemodelan dimensi struktur pada SAP2000 sehingga secara otomatis SAP2000 akan memperhitungkan sendiri beban-beban mati yang ada pada struktur berdasarkan dimensi dan spesifikasi material yang telah di-*input*, dengan menggunakan faktor perbesaran 1,1 untuk material baja sesuai tabel 3 SNI 1725 2016.

Beban Hidup (LL)

Beban hidup merupakan beban tumbukan kendaraan sesauai *test level 4* AASHTO MASH 2009 yang telah ditentukan. Besar beban dianalisa sebagai berikut:

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{v_1 - v_2}{\Delta t}$$

Pada kasus tumbukan ini selang waktu ketika terjadi tumbukan diasumsikan 1 detik. Dan railing diharapkan cukup kuat menahan beban tumbukan sehingga diasumsikan kecepatan akhir v_2 adalah 0. Maka perumusan menjadi sebagai berikut:

$$a = \frac{v_1 \frac{m}{s} - 0}{1s}$$

$$a = v_1 \frac{m}{s^2}$$

Maka besar beban hidup dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F1 &= 1097 \text{ kg} \cdot 27,716 \text{ m/s}^2 &= 30424,1 \text{ N} \\ F2 &= 2267,96 \text{ kg} \cdot 27,716 \text{ m/s}^2 &= 62859,7 \text{ N} \\ F3 &= 9979,024 \text{ kg} \cdot 25,034 \text{ m/s}^2 &= 249816,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Besar proyeksi gaya pada sumbu sejajar dan tegak lurus batang horizontal adalah sebagai berikut.

Proyeksi pada sumbu sejajar (axial):

$$\begin{aligned} P1_{\text{axial}} &= 30424,1 \text{ N} \cdot \cos 25 &= 55147,198 \text{ N} \\ P2_{\text{axial}} &= 62859,7 \text{ N} \cdot \cos 25 &= 113940,49 \text{ N} \\ P3_{\text{axial}} &= 249816,7 \text{ N} \cdot \cos 15 &= 482608,73 \text{ N} \end{aligned}$$

Proyeksi pada sumbu tegak lurus:

$$\begin{aligned} P1^* &= 30424,1 \text{ N} \cdot \sin 25 &= 25715,561 \text{ N} \\ P2^* &= 62859,7 \text{ N} \cdot \sin 25 &= 53131,324 \text{ N} \\ P3^* &= 249816,7 \text{ N} \cdot \sin 15 &= 129314,62 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari ketiga gaya akibat jenis kendaraan tersebut, dipilih gaya yang terbesar.

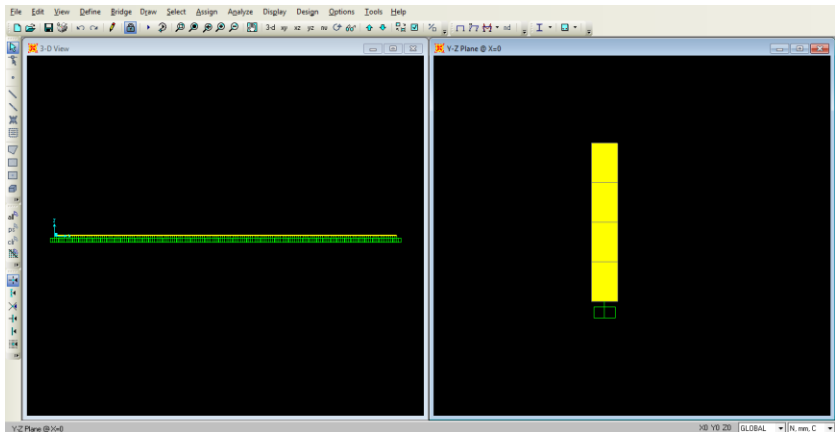
$$\begin{aligned} P_{\text{axial}} &= 482608,73 \text{ N} &= 482,619 \text{ kN} \\ P^* &= 129314,62 \text{ N} &= 129,315 \text{ kN} \end{aligned}$$

Terdapat 4 batang horizontal, sehingga gaya pada tiap batang adalah sebesar:

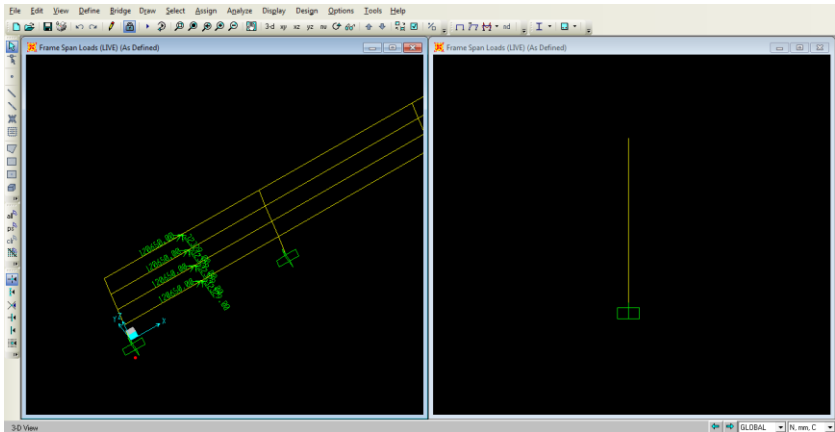
$$\begin{aligned} \text{Paxial} &= 482,619 \text{ kN} / 4 &&= 120,65 \text{ kN} \\ \text{P}^* &= 129,315 \text{ kN} / 4 &&= 32,329 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.3.3.2 Pemodelan dengan SAP2000

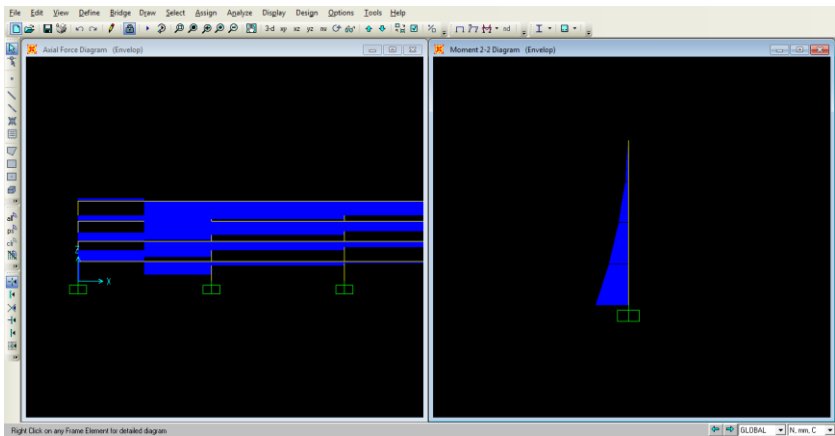
Pemodelan struktur dengan menggunakan SAP2000 dilakukan secara keseluruhan pada struktur *parapet* sepanjang total jembatan yaitu 340 meter.



Gambar 5.9 - Pemodelan menggunakan SAP2000



Gambar 5.10 - Konfigurasi beban pada pemodelan SAP2000



Gambar 5.11 - Output hasil gaya dalam aksial dan momen

5.3.3.3 Hasil Analisa SAP2000

Berikut rekapitulasi perhitungan gaya-gaya dalam output analisa menggunakan SAP2000.

Tabel 5.7 - Rekapitulasi gaya dalam

No	Jenis Batang	Jenis Gaya Dalam		
		Axial	Moment	Geser
		N	N-mm	N
1	Horizontal 1	110699.56	9383701.99	16376.52
2	Horizontal 2	95791.02	9257218.03	16363.00
3	Horizontal 3	81639.05	9003227.28	16323.08
4	Horizontal 4	68297.78	8615581.43	16255.51
5	Vertikal	8012.52		
	Momen x		65235462.25	126172.59
	Momen y		47966291.43	63997.89

5.3.4 Kontrol Kekuatan Struktur

5.3.4.1 Batang Horizontal

a. Kontrol Kapasitas Lentur

Kelangsingan batang: [AISC 360-10 Table B4.1b]

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{89,1}{4} = 22,275 < \lambda_p = 0,07 \frac{E}{F_y} = 58,3$$

.....[penampang kompak]

Momen Nominal: [AISC 360-10 Chapter F8]

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{4}{3} (D^3 - (D - t)^3) \\ &= \frac{4}{3} (89,1^3 - (89,1 - 4)^3) \\ &= 121403,89 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 121403,89 \cdot 240 \\
 &= 29136934,4 \text{ N-mm} \\
 &= 29,137 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_c &= 0,9 \cdot 29,137 \\
 &= 26,223 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

Momen terbesar yang terjadi dalam batang horizontal adalah,

$$\begin{aligned}
 M_r &= 9383701,99 \text{ N} \\
 &= 9,384 \text{ kN-m} < M_c = 29,137 \text{ kN-m} \text{[memenuhi]}
 \end{aligned}$$

b. Kontrol Kapasitas Tekan

Kontrol kelangsingan komponen struktur tekan:

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{KL}{r} \\
 &= \frac{1800}{3,01 \cdot 10} \\
 &= 59,801 < 140 \text{[memenuhi]}
 \end{aligned}$$

Kontrol rasio lebar-tebal elemen penampang:

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{89,1}{4} = 22,275 < \lambda_r = 0,11 \frac{E}{F_y} = 91,6$$

.....[memenuhi]

Kontrol tekan nominal akibat tekuk lentur: [AISC 360-10 Chapter E3]

$$\frac{KL}{r} = 59,801 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{59,801^2} = 551,97 \qquad \frac{F_y}{F_e} = 0,435 < 2,25 \text{ maka}$$

$$F_{cr} = [0,685^{F_y/F_e}] F_y = [0,685^{0,435}] 240 = 198,32 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 198,32 \cdot 863,6 = 171269,152 \text{ N} = 171,27 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 171,27 = 154,143 \text{ kN}$$

Gaya aksial terbesar yang terjadi pada batang horizontal adalah,

$$P_r = 110699,56 \text{ N}$$

$$= 110,7 \text{ kN} < P_c = 154,123 \text{ kN} \dots\dots[\text{memenuhi}]$$

c. Interaksi Aksial-Lentur

Interaksi aksial-lentur dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter H1 sebagai berikut.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{110,7}{154,123} = 0,718 > 0,2$$

Maka,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8 M_r}{9 M_c} = \frac{110,7}{154,123} + \frac{8 \cdot 9,384}{9 \cdot 29,137} = 0,98 < 1$$

\dots\dots[\text{memenuhi}]

5.3.4.2 Batang Vertikal/Tiang Sandaran

Kontrol kelangsingan:

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200}{8} = 25 < \lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 32,332$$

\dots\dots[\text{penampang kompak}]

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{200}{8} = 25 < \lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 69,859$$

.....[penampang kompak]

Momen nominal LRFD:

$$\begin{aligned} M_c &= \phi M_n \\ &= 0,9 \cdot Z_x \cdot f_y \\ &= 0,9 \cdot 442624 \cdot 240 \\ &= 0,9 \cdot 106229760 \text{ N-mm} \\ &= 0,9 \cdot 106,23 \text{ kN-m} \\ &= 95,607 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Momen *ultimate* pada tiang sandaran,

$$\begin{aligned} M_r &= M_{ux} \\ &= 65235462,25 \text{ N-mm} \\ &= 65,24 \text{ kN-m} < M_c = 95,607 \text{ kN-m} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

5.3.4.3 Sambungan Batang Horizontal-Vertikal

Digunakan las bersudut (*fillet*) dengan analisa sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Mutu las, } F_{EXX} &= 370 \text{ MPa} \\ \text{Ukuran minimum, } t_{w_{\min}} &= 3 \text{ mm [SNI T 03 2005 Tabel 15]} \\ \text{Ukuran ditetapkan, } t_w &= 3 \text{ mm} \\ \text{Lebar efektif las, } w &= \frac{1}{\sqrt{2}} 3 = 2,121 \text{ mm} \\ \text{Panjang efektif las, } l &= \pi \cdot D = \pi \cdot 89,1 = 279,9 \text{ mm} \\ \text{Gaya geser, } R_r &= 16376.52 \text{ N} = 16,377 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas geser,

$$\begin{aligned} R_c &= 0,75 \cdot w \cdot l \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \\ &= 0,75 \cdot 2,121 \cdot 279,9 \cdot 0,6 \cdot 370 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 98845,71 \text{ N} \\
 &= 98,845 \text{ kN} > R_r = 16,377 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

5.3.4.4 Sambungan pada Base Plate

Pada *base plate* dan tiang sandaran diberi pelat pengaku untuk membantu menahan momen pada *joint* ini.

Dimensi pengaku:

$$\begin{aligned}
 bs &= 7 \text{ mm} \\
 hs &= 100 \text{ mm} \\
 \text{jumlah pengaku pada setiap sisi} &= 2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma M &= 0 \\
 \phi P_p \cdot e_1 + T_w \cdot e_2 - M_u &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_p &= 0,85 \cdot A_g \cdot f_y \\
 &= 0,85 \cdot 2 \cdot 1000 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ MPa} \\
 &= 408000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$e_1 = hs/2 = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 e_2 &= \frac{(t \cdot b^2) + (t(h-2t)(b-0,5t)) + s^2 \cdot bs \cdot hs \cdot (b+0,5hs)}{t \cdot b + t \cdot (h-2t) + 2 \cdot bs \cdot hs} \\
 &= \frac{320000 + 288512 + 350000}{3200 + 1472 + 1400} \\
 &= 157,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_w &= \frac{M_u - \phi_c P_p \cdot e_1}{e_2} \\
 &= \frac{65235462,25 - 0,85 \cdot 285600 \cdot 50}{157,86} \\
 &= 336357,93 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tebal pengelasan:

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu las, } F_{EXX} &= 370 \text{ MPa} \\
 \text{Panjang efektif, } l &= (2 \cdot h) + (B - 2 \cdot bs) + (4 \cdot hs) + (2 \cdot bs)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal efektif, } w &= 1000 \text{ mm} \\
 &= \frac{T_w}{\phi \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \cdot L_w} \\
 &= \frac{336357,93}{0,75 \cdot 0,6 \cdot 370 \cdot 1000}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal rencana, } t_w &= 2,02 \text{ mm} \\
 &= \sqrt{2} \cdot w \\
 &= \sqrt{2} \cdot 2,02 \\
 &= 2,857 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } 4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas pengelasan:

$$\begin{aligned}
 R_c &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot w \cdot l \\
 &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 370 \cdot \frac{4}{\sqrt{2}} \cdot 1000 \\
 &= 470933,12 \text{ N} \\
 &= 470,933 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap cabut akibat momen:

$$\begin{aligned}
 R_r &= T_w \\
 &= 336357,93 \\
 &= 336,36 \text{ kN} < R_c = 470,933 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap geser:

Gaya geser yang terjadi berdasarkan analisa SAP2000:

$$\begin{aligned}
 R_r &= 126172,59 \text{ N} \\
 &= 126,173 \text{ kN} < R_c = 470,933 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

5.3.4.5 Desain Base Plate

Direncanakan dimensi *base plate*:

$$\begin{aligned}
 B &= 500 \text{ mm} \\
 N &= 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pengelasan antara lantai dengan base plate:

$$\begin{aligned}\Sigma M &= 0 \\ M_{ux} - T_w \cdot N &= 0 \\ T_w &= \frac{M_{ux}}{N} = \frac{65235462,25}{500} = 130470,92 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mutu las, } F_{EXX} &= 370 \text{ MPa} \\ \text{Tebal minimum, } t_{w_{\min}} &= 4 \text{ mm} \\ \text{Tebal efektif, } w &= \frac{1}{\sqrt{2}} 4 \\ &= 2,828 \text{ mm} \\ \text{Panjang pengelasan, } l &= 500 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_c &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \cdot w \cdot l \\ &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 370 \cdot 2,828 \cdot 500 \\ &= 235431 \text{ N} \\ &= 235,431 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_r &= T_w \\ &= 130470,92 \text{ N} \\ &= 130,471 \text{ kN} < R_c = 235,431 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]\end{aligned}$$

Ketebalan *base plate*:

$$\begin{aligned}t_p &\geq 2,11 \sqrt{\frac{T_w \cdot x}{B \cdot f_y}} \\ t_p &\geq 2,11 \sqrt{\frac{130470,92 \cdot 150}{500 \cdot 240}} \\ t_p &\geq 26,95 \text{ mm}\end{aligned}$$

ditentukan, $t_p = 28 \text{ mm}$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

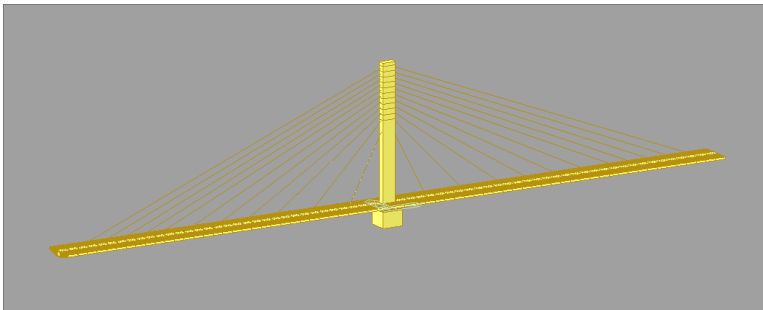
BAB 6

ANALISA STRUKTUR

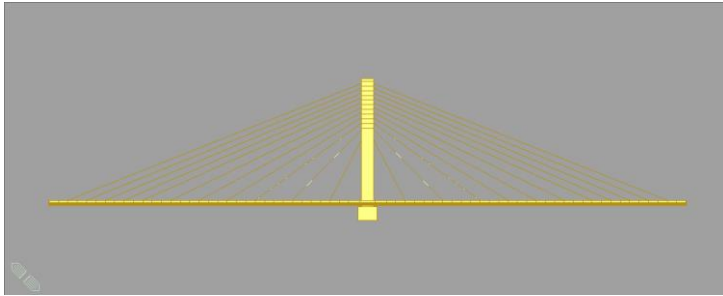
Pemodelan struktur dilakukan menggunakan software MIDAS CIVIL 2011 v2.1. Komponen-komponen struktur yang akan dimodelkan dalam pemodelan meliputi *pylon*, dek *box girder*, dan *strand cable*. Bangunan bawah tidak dimodelkan sesuai dengan batasan masalah bahwa bangunan bawah tidak didesain dalam tugas akhir ini. Untuk melakukan pemodelan perlu ditentukan terlebih dahulu ukuran-ukuran awal dari struktur utama yang akan dimodelkan. Ukuran-ukuran tersebut telah ditentukan pada Bab 4 *Preliminary Design*. Selain itu perlu ditentukan beban-beban yang akan dianalisa dalam analisa struktur. Pembahasan tentang pembebanan akan dibahas pada bab 7 ini. Pemodelan pembebanan meliputi beban statik, beban dinamis, dan beban pelaksanaan (*construction stage analysis*).

6.1 Pemodelan Struktur

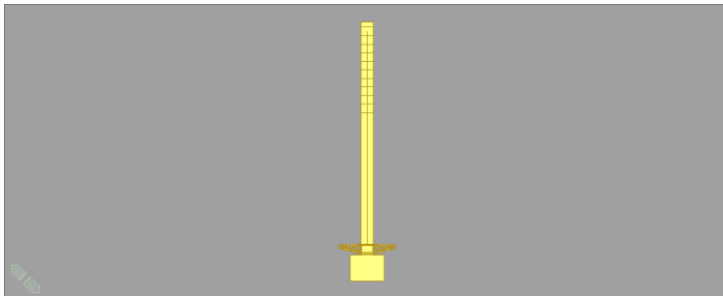
Struktur jembatan *cable stayed* pada tugas akhir ini dimodelkan sebagai struktur tiga dimensi. Berikut ilustrasi pemodelan strukturnya.



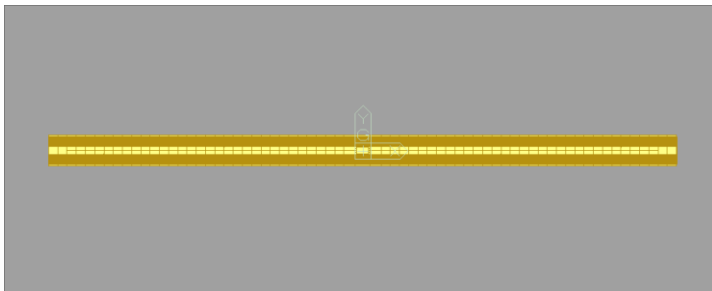
Gambar 6.1 - Tampak perspektif struktur jembatan



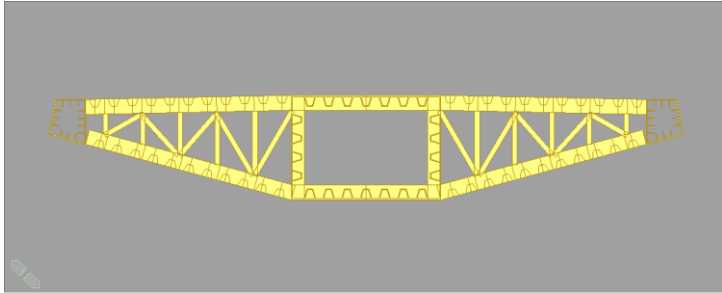
Gambar 6.2 - Tampak memanjang struktur jembatan



Gambar 6.3 - Tampak melintang struktur jembatan



Gambar 6.4 - Tampak atas struktur jembatan



Gambar 6.5 - *Cross section* dek jembatan

6.2 Analisa Beban Statik

Beban-beban yang tergolong beban statik adalah beban tetap (beban mati dan beban mati tambahan), beban hidup, dan beban angin. Beban tetap berupa berat sendiri struktur yang meliputi dek jembatan, *pylon* dan kabel, kemudian ditambah beban mati tambahan yang meliputi trotoar, *parapet* dan *railing*. Untuk analisa berat sendiri tidak akan dihitung secara manual, melainkan akan dianalisa secara otomatis menggunakan MIDAS Civil.

6.2.1 Pembebanan

1. Beban Tetap
 - a) Beban Mati Tambahan

Aspal

Direncanakan tebal aspal 50 mm.

$$\begin{aligned} q_{\text{aspal}} &= 0,0022 \text{ N/mm}^3 \cdot 50 \text{ mm} \\ &= 0,0011 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Trotoar

Direncanakan pelat beton setebal 200 mm.

$$\begin{aligned}
 q_{\text{trottoar}} &= 0,0000235 \text{ N/mm}^3 \cdot 200 \text{ mm} \\
 &= 0,0047 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Railing

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pipa} &= 6 \cdot 8,39 \text{ kg/m} \cdot 2 \text{ m} \\
 &= 100,68 \text{ kg} \\
 &= 987,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Tiang} &= 46,572 \text{ kg/m} \cdot 2 \text{ m} \\
 &= 93,144 \text{ kg} \\
 &= 913,724 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tambahan} &= 30\% (987,67 + 913,724) \\
 &= 570,42 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total} &= 987,67 + 913,724 + 570,42 \\
 &= 2471,395 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Parapet

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pipa} &= 5 \cdot 8,39 \text{ kg/m} \cdot 2 \text{ m} \\
 &= 83,9 \text{ kg} \\
 &= 823,06 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Tiang} &= 46,572 \text{ kg/m} \cdot 1,6 \text{ m} \\
 &= 74,52 \text{ kg} \\
 &= 731,041 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tambahan} &= 30\% (823,06 + 731,041) \\
 &= 466,23 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total} &= 823,06 + 731,041 + 466,23 \\
 &= 2020,331 \text{ N}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup
 - a) Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban terbagi rata ditentukan berdasarkan SNI 1725 2016 Pasal 8.3.1 sebagai berikut:

$$\text{Untuk } L > 30 \text{ m : } q_{\text{BTR}} = 0,9 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

Panjang bentang jembatan = 170 m

$$\begin{aligned} q_{\text{BTR}} &= 9 \left(0,5 + \frac{15}{170} \right) \\ &= 5,3 \text{ kPa} \\ &= 0,0053 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

b) Beban Garis (BGT)

Berdasarkan SNI 1725 2016 Pasal 8.3.1 beban garis harus diambil sebesar:

$$\begin{aligned} p_{\text{BGT}} &= 49 \text{ kN/m} \\ &= 49 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

c) Beban Truk (T)

Beban roda truk diambil sebesar 112,5 kN, dengan faktor beban dinamis (FBD) sebesar 30%.

d) Gaya Rem (TB)

Dalam Pasal 8.7 SNI 1725 2015, gaya rem harus diambil yang terbesar dari kedua kondisi berikut:

25% Berat gandar truk, atau
5% (Beban truk + BTR)

$$25\% \cdot 225 = 56,25 \text{ kN}$$

$$5\% (500 + 340 \cdot 11 \cdot 5,3) = 1016,1 \text{ kN}$$

e) Beban Pejalan Kaki (TP)

Berdasarkan Pasal 8.9 beban bejalan kaki direncanakan sebesar:

$$\begin{aligned} TP &= 5 \text{ kPa} \\ &= 0,005 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

3. Beban Angin pada Struktur

Kecepatan angin dasar, diambil sebesar $V_B = 90$ km/h

a) Beban Angin pada Girder

$$Z = 8,7 \text{ m (elevasi rata-rata girder)} < 10 \text{ m, } V_{DZ} = V_B$$

$$P_B = 0,0024 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P_D &= P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \\ &= 0,0024 \left(\frac{90}{90} \right)^2 \\ &= 0,0024 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) Beban Anging pada Pylon

$$Z = 34600 \text{ m (elevasi rata-rata pylon)}$$

$$Z_0 = 1000 \text{ (Tabel 28 SNI 1725 2016, dengan daerah sub urban)}$$

$$V_{10} = 90 \text{ km/h (diambil sama dengan } V_B)$$

$$V_0 = 17,6 \text{ km/h}$$

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

$$= 2,5 \cdot 17,6 \cdot \left(\frac{90}{90}\right) \ln \left(\frac{34600}{1000}\right)$$

$$= 155,93 \text{ km/h}$$

$$p_B = 0,0024$$

$$p_D = p_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2$$

$$= 0,0024 \left(\frac{155,93}{90}\right)^2$$

$$= 0,0072 \text{ MPa}$$

Lebar pylon, $h = 6500 \text{ mm}$; tebal pylon, $b = 3500 \text{ mm}$

$$P_{DX} = 0,0072 \text{ MPa} \cdot 3500 \text{ mm}$$

$$= 25,2 \text{ N/mm}$$

$$P_{DY} = 0,0072 \text{ MPa} \cdot 6500 \text{ mm}$$

$$= 48,8 \text{ N/mm}$$


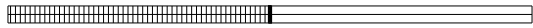


4. Beban Angin pada Beban Hidup (Kendaraan)

Dalam Pasal 9.6.1.2 SNI 1725 2016 jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada jembatan, di mana tekanan tersebut harus diasumsikan sebaga tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm.

6.2.2 Konfigurasi Beban Hidup

Beban hidup diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh gaya-gaya yang maksimum dari masing-masing komponen gaya dalam. Menggunakan pendekatan konfigurasi beban hidup pada Pasal 10.1 SEM PU No. 08/SEM/M/2015, konfigurasi beban hidup untuk desain jembatan ini adalah sebagai berikut:

Tabel 6.1 - Ilustrasi konfigurasi beban hidup

Kasus	Ilustrasi
1	
2	
3	
4	

6.3 Analisa Beban Dinamis

Untuk analisa beban gempa digunakan *respons spectrum analysis* yang merupakan salah satu fitur dari MIDAS Civil. Data gempa dihitung berdasarkan RSNI 2833:201X dengan level gempa 7% dalam 75 tahun (1000 tahun). Berdasarkan perhitungan situs tanah merupakan tanah sedang (SD). Variabel koefisien gempa diberikan dalam tabel berikut.

Tabel 6.2 - Variabel koefisien gempa

PGA	0.2500
Ss	0.5000
S1	0.2500
FPGA	1.3000
Fa	1.4000
Fv	1.9000
As	0.3250
SDS	0.7000
SD1	0.4750
Ts	0.6786

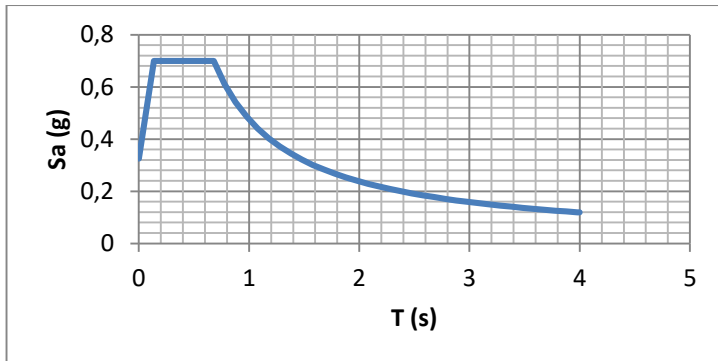
T0	0.1357
----	--------

Dari nilai-nilai variabel di atas didapatkan nilai *respons spectrum* sebagaimana sebagai mana disajikan pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 6.3 - Respons spectrum

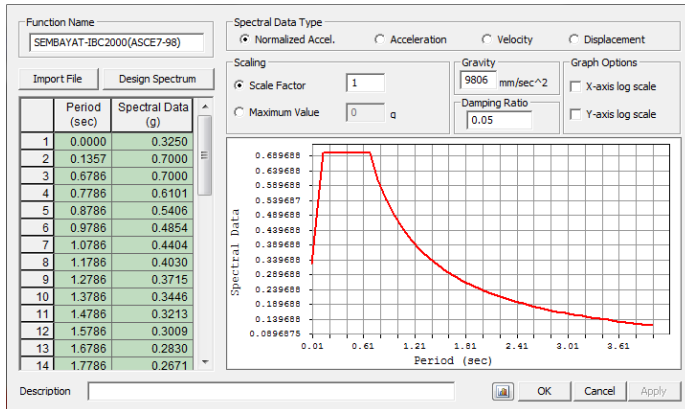
Respons Spektrum		
	T (s)	Sa (g)
0	0	0.325
T0	0.13571	0.70000
Ts	0.67857	0.70000
Ts+0.1	0.77857	0.61009
Ts+0.2	0.87857	0.54065
Ts+0.3	0.97857	0.48540
Ts+0.4	1.07857	0.44040
Ts+0.5	1.17857	0.40303
Ts+0.6	1.27857	0.37151
Ts+0.7	1.37857	0.34456
Ts+0.8	1.47857	0.32126
Ts+0.9	1.57857	0.30090
Ts+1.0	1.67857	0.28298
Ts+1.1	1.77857	0.26707
Ts+1.2	1.87857	0.25285
Ts+1.3	1.97857	0.24007
Ts+1.4	2.07857	0.22852
Ts+1.5	2.17857	0.21803
Ts+1.6	2.27857	0.20846
Ts+1.7	2.37857	0.19970

Ts+1.8	2.47857	0.19164
Ts+1.9	2.57857	0.18421
Ts+2.0	2.67857	0.17733
Ts+2.1	2.77857	0.17095
Ts+2.2	2.87857	0.16501
Ts+2.3	2.97857	0.15947
Ts+2.4	3.07857	0.15429
Ts+2.5	3.17857	0.14944
Ts+2.6	3.27857	0.14488
Ts+2.7	3.37857	0.14059
Ts+2.8	3.47857	0.13655
Ts+2.9	3.57857	0.13273
Ts+3.0	3.67857	0.12913
Ts+3.1	3.77857	0.12571
Ts+3.2	3.87857	0.12247
Ts+3.3	3.97857	0.11939
4 detik	4.00000	0.11875



Gambar 6.6 - Grafik *respons spectrum*

Nilai *respons spectrum* tersebut kemudian diinputkan pada pemodelan MIDAS Civil pada menu Respons Spectrum Function sebagaimana terlihat pada gambar berikut.



Gambar 6.7 - Grafik respons spektrum pada MIDAS Civil

Partisipasi massa untuk beban gempa menurut RSNI 2833 201X adalah 100% beban mati ditambah 50% beban hidup.

6.4 Construction Stage Analysis

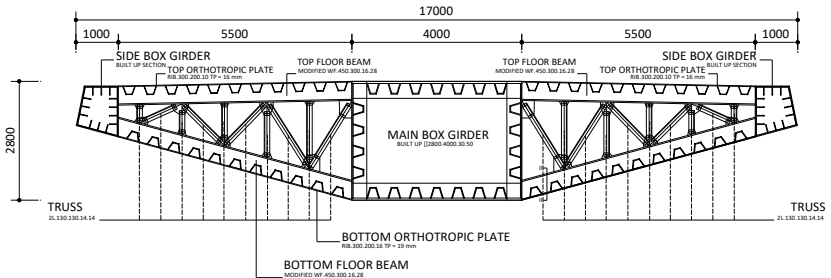
Construction stage analysis adalah salah satu fitur utama yang dimiliki MIDAS Civil. Fitur ini digunakan untuk menganalisa tahap pelaksanaan. Beban yang bekerja pada tahap ini adalah berat sendiri struktur ketika tahap pelaksanaan, beban dek jembatan yang diangkat, dan juga beban *lifting frame*.

6.4.1 Pembebanan

6.4.1.1 Beban Lifting Frame

$$P_{LT} = 500 \text{ kN}$$

6.4.1.2 Beban 1 segmen dek jembatan



Gambar 6.8 - Cross section dek jembatan

Box girder

$$\begin{aligned}
 W1 &= A \text{ (luas) } \cdot \text{densitas} \cdot \text{panjang segmen} \\
 &= 1,395721 \text{ m}^2 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 \cdot 5 \text{ m} \\
 &= 54782,041 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Floor Beam Sisi Atas

$$\begin{aligned}
 W2 &= l \text{ (panjang elemen) } \cdot w \text{ (berat per} \\
 &\quad \text{meter)} \\
 &= 11 \text{ m} \cdot 118,94 \text{ kg/m} \\
 &= 1308,375 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Floor Beam Sisi Bawah

$$\begin{aligned}
 W3 &= l \text{ (panjang elemen) } \cdot w \text{ (berat per} \\
 &\quad \text{meter)} \\
 &= 11,396 \text{ m} \cdot 118,94 \text{ kg/m} \\
 &= 1355,477 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Rangka Batang

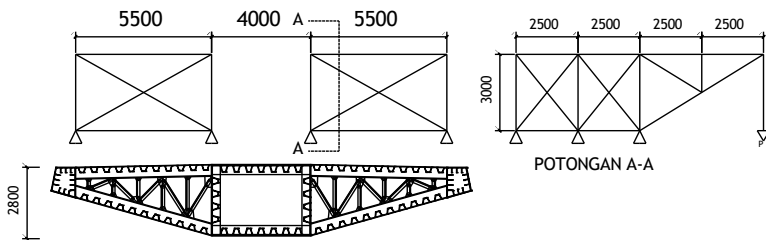
$$\begin{aligned}
 W_4 &= L \text{ (panjang total rangka) } \cdot w \text{ (berat per meter)} \\
 &= 22,145 \text{ m} \cdot 54.071 \text{ kg/m} \\
 &= 1197.452 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat total

$$\begin{aligned}
 W &= \Sigma W_i + 10\% \text{ untuk sambungan} \\
 &= (54782,041 + 1308,375 + 1355,477 + 1197.452) \cdot 1,1 \\
 &= 64507,68 \text{ kg} \\
 &= 632,8203 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.4.1.3 Spesifikasi Lifting Frame

Ketika pelaksanaan digunakan *lifting frame* untuk mengangkat dan memasang segemen-segmen dek jembatan. Berikut ilustrasi bentuk dan skema pengangkatan dek menggunakan *lifting frame*.



Gambar 6.9 - Skema pengangkatan dek dengan *lifting frame*



Gambar 6.10 - Ilustrasi pemasangan dek dengan *lifting frame*

6.5 Beban Suhu

Untuk pengaruh suhu yang ditinjau adalah pengaruh temperatur gradien (TG) dengan mengacu SNI 1725 2016 Pasal 9.3.1.1. perbedaan temperatur ini disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam.

Nilai parameter T1 dan T2 ditentukan berdasarkan Tabel 20 SNI 1725 2016 sebagai berikut:

$$T1 = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan Tabel 1 SNI 1725 2016. Notasi dari beban-beban yang dianalisa adalah sebagai berikut:

Beban Mati (DL)

Beban Mati Tambahan (A-DL)

Beban Hidup (LL)

Beban Angin pada Struktur (EW-S)
 Beban Angin pada Kendaraan (EW-L)
 Temperatur Gradien (TG)
 Beban Gempa (EQ)

Kombinasi beban diberikan sebagai berikut:

- a) Kuat I : $1,1DL + 1,4A-DL + 2LL$
- b) Kuat III: $1,1DL + 1,4A-DL + 1,4EW-S$
- c) Kuat V : $1,1DL + 1,4A-DL + 0,4EW-S + 1EW-L$
- d) Ekstrem V : $1,1DL + 1,4A-DL + 0,5LL + 1EQ$
- e) Daya Layan I : $1DL + 1A-DL + 1LL + 0,3WL-S + 1WL-L + 0,5TG$
- f) Daya Layan II : $1DL + 1A-DL + 1,3LL$
- g) Daya Layan IV : $1DL + 0,7WL-S + 1TG$

6.7 Hasil Analisa Struktur

Berikut hasil analisa struktur menggunakan program bantu MIDAS Civil v2.1 untuk *main box girder*. Hasil ini meliputi hasil analisa statik, gempa dinamik, dan *construction stage analysis*.

6.7.1 Keadaan Kuat Batas

Berikut rekapitulasi hasil gaya maksimum pada masing-masing komponen gaya:

a) Tekan Maksimum

Tabel 6.4 - Output *box girder* (KUAT-Tekan)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
201	KUAT-3	I[4440]	-17510741.95	-73796.59
201	KUAT-3	2/4	-17510741.95	-1991.82
201	KUAT-3	J[4441]	-17510741.95	69812.95

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-22745723.66	2750070184.54
222179.31	2901646992.95
23190082.27	2766004729.36

b) Geser Maksimum

Tabel 6.5 - Output *box girder* (KUAT-Geser)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
202	KUAT-1-C	I[4441]	-11458748.52	1343546.06
202	KUAT-1-C	2/4	-11458748.52	1397399.64
202	KUAT-1-C	J[4442]	-11458748.52	1451253.22

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-760421420.30	5563082835.51
-743195493.08	1451664282.19
-725969565.85	-2821314999.13

c) Momen Maksimum

Tabel 6.6 - Output *box girder* (KUAT-Momen)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
200	KUAT-1-C	I[4439]	-11506579.32	-1451230.07
200	KUAT-1-C	2/4	-11506579.32	-1397376.49
200	KUAT-1-C	J[4440]	-11506579.32	-1343522.92

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
723675919.08	-2805496017.98
740901846.30	1467413824.13
758127773.53	5578762938.24

d) Torsi Maksimum

Tabel 6.7 - Output *box girder* (KUAT-Torsi)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
201	KUAT-1-D	I[4440]	-11662146.06	-751417.86
201	KUAT-1-D	2/4	-11662146.06	-679613.09
201	KUAT-1-D	J[4441]	-11662146.06	-607808.33

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-1544453858.60	-1357152052.49
-1521485955.63	1504909862.52
-1498518052.67	4079752705.53

6.7.2 Keadaan Daya Layan

a) Tekan Maksimum

Tabel 6.8 - Output *box girder* (LAYAN-Tekan)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
201	LAYAN-4	I[4440]	-16267907.67	-61090.93
201	LAYAN-4	2/4	-16267907.67	-1264.05
201	LAYAN-4	J[4441]	-16267907.67	58562.83

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-16736222.41	3298994377.26
-330577.43	3423704343.37
16075067.54	3309106789.48

b) Geser Maksimum

Tabel 6.9 - Output *box girder* (LAYAN-Geser)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
200	LAYAN-2-C	I[4439]	-12516989.07	-1321004.09
200	LAYAN-2-C	2/4	-12516989.07	-1276133.93
200	LAYAN-2-C	J[4440]	-12516989.07	-1231263.77

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
698715814.52	-1904023017.90
711020048.25	1991683997.20
723324281.99	5752780532.30

c) Momen Maksimum

Tabel 6.10 - Output *box girder* (LAYAN-Momen)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
200	LAYAN-2-C	I[4439]	-12516989.07	-1321004.09
200	LAYAN-2-C	2/4	-12516989.07	-1276133.93
200	LAYAN-2-C	J[4440]	-12516989.07	-1231263.77

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-----------	------------

698715814.52	-1904023017.90
711020048.25	1991683997.20
723324281.99	5752780532.30

d) Torsi Maksimum

Tabel 6.11 - Output *box girder* (LAYAN-Torsi)

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
202	LAYAN-2-D	I[4441]	-12349653.70	306616.19
202	LAYAN-2-D	2/4	-12349653.70	351486.35
202	LAYAN-2-D	J[4442]	-12349653.70	396356.51

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-1053225530.70	2635428230.35
-1040921296.96	1648274411.55
-1028617063.23	526510112.76

6.7.3 Lendutan Dek Jembatan

Lendutan ijin jembatan *cabl stayed* dengan dek menggunakan material baja adalah sebesar $L/400$. Sedangkan lendutan yang terjadi dihitung menggunakan program bantu MIDAS Civil. Dari hasil analisis didapatkan lendutan dek sebagai berikut.

$$\Delta = 203,734 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = L/400 = 170000/400 = 425 \text{ mm} > \Delta \text{[memenuhi]}$$

6.7.4 Lendutan Pylon

Lendutan ijin untuk pylon dari struktur diatur dalam RSNI T 12 2004 Pasal 9.2.1 yaitu sebesar $H/400$. Lendutan yang

terjadi dihitung menggunakan program bantu MIDAS Civil. Dari hasil analisis didapatkan lendutan dek sebagai berikut.

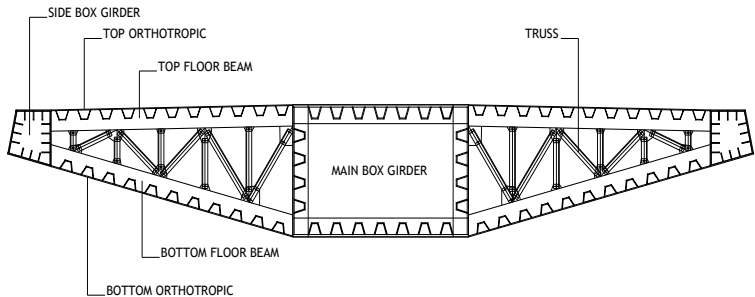
$$\Delta = 155,234 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = H/400 = 65000/400 = 162,5 \text{ mm} > \Delta \text{[memenuhi]}$$

BAB 7

KOMPONEN DEK JEMBATAN

Analisa struktur dek jembatan secara keseluruhan dianalisa menggunakan program bantu MIDAS Civil 2011 v2.1. Struktur dek jembatan yang merupakan struktur *box girder* terdiri dari komponen-komponen struktur diantaranya pelat *orthotropic* dengan *closed ribs* bagian atas dan bawah, *floor beam* bagian atas dan bawah, *box girder* samping dan *box girder* utama. Kapasitas penampang dikontrol dengan mengacu pada AISC 360-10 2010.



Komponen-komponen dek jembatan ditunjukkan dalam gambar di atas. Kemudian kontrol kapasitas dek jembatan akan dipaparkan dalam Bab 8 sampai dengan Bab 11 dengan beban-beban analisa struktur yang telah dilakukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 8 DESAIN PELAT ORTHOTROPIC

Dalam desain dek jembatan *orthotropic* ini pelat *orthotropic* dibagi menjadi 2, yaitu pelat *orthotropic* bagian atas yang secara teknis berfungsi sebagai lantai kendaraan sedangkan secara struktural keseluruhan berfungsi sebagai *flange* atas dari sistem dek, dan pelat *orthotropic* bagian bawah yang secara struktural keseluruhan berfungsi sebagai *flange* bawah dari sistem dek.

Pelat *orthotropic* dihitung sebagai sistem kesatuan balok. Pelat lantai kendaraan akan berperan layaknya *flange* balok dengan ditentukan lebar efektifnya sebagaimana disyaratkan dalam AASHTO LRFD 2012 Chapter 4.6.2.6.4.

8.1 Top Orthotropic Plate

8.1.1 Hasil Analisa Struktur

Analisa dalam LRFD:

- a) Tekan Maksimum

Tabel 8.1 – Tekan maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8272	KUAT-3	I[6548]	-1108937.57	-45.76	-1889.67
8272	KUAT-3	2/4	-1108937.57	-13	-12.66
8272	KUAT-3	J[6549]	-1108937.57	19.76	1864.34

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-1145144.75	36211902.73
2659520.71	36329425.62
-1043839.12	36315895.44

b) Tarik Maksimum

Tabel 8.2 - Tarik maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8323	EKSTREM-5B	I[6600]	123762.72	-35787.05	-4126.94
8323	EKSTREM-5B	2/4	123762.72	-35807.52	-2953.81
8323	EKSTREM-5B	J[6601]	123762.72	-35828	-1780.68

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-9054574.37	-89051901.62
-81611.51	510502.41
6775704.35	95826394.24

c) Geser X Maksimum

Tabel 8.3 – Geser x maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8270	KUAT-1-A4	I[6546]	-532772.69	62953.64	-9083.64
8270	KUAT-1-A4	2/4	-532772.69	62974.12	-7910.51
8270	KUAT-1-A4	J[6547]	-532772.69	62994.59	-6737.38

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-20536219.92	155824654.3
706474.4	-1585037.98
19016346.35	-159045922.8

d) Geser Y Maksimum

Tabel 8.4 – Geser y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8270	KUAT-1-A4	I[6546]	-186568.07	47969.98	-18617.52
8270	KUAT-1-A4	2/4	-186568.07	47990.46	-17444.39
8270	KUAT-1-A4	J[6547]	-186568.07	48010.94	-16271.26

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-43189396.16	129197343.8
1887997.32	9246792.68
44032568.43	-110754951.1

e) Momen X Maksimum

Tabel 8.5 – Momen x maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8239	KUAT-1-C	I[6515]	-186568.07	47969.98	-18617.52
8239	KUAT-1-C	2/4	-186568.07	47990.46	-17444.39
8239	KUAT-1-C	J[6516]	-186568.07	48010.94	-16271.26

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-43189396.16	129197343.8
1887997.32	9246792.68
44032568.43	-110754951.1

f) Momen Y Maksimum

Tabel 8.6 – Momen y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8270	KUAT-1-A4	I[6546]	-532772.69	62953.64	-9083.64
8270	KUAT-1-A4	2/4	-532772.69	62974.12	-7910.51
8270	KUAT-1-A4	J[6547]	-532772.69	62994.59	-6737.38

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-20536219.92	155824654.3
706474.4	-1585037.98
19016346.35	-159045922.8

Analisa dalam ASD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 8.7 - Tekan maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (kN)	Vx (N)	Vy (kN)
8272	LAYAN-4	I[6548]	-997472.59	-41.25	-1714.65
8272	LAYAN-4	2/4	-997472.59	-11.47	-8.28
8272	LAYAN-4	J[6549]	-997472.59	18.32	1698.09

Mx (N-mm)	My (N-mm)
688514.27	36146290.62
4134385.32	36251721.77
754778.84	36238013.77

b) Tarik Maksimum

Tabel 8.8 - Tarik maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (kN)	Vx (N)	Vy (kN)
8290	LAYAN-1-B1	I[6566]	151552.00	-32710.93	1847.73
8290	LAYAN-1-B1	2/4	151552.00	-32692.31	2914.21
8290	LAYAN-1-B1	J[6567]	151552.00	-32673.70	3980.69

Mx (kN-m)	My (N-mm)
5740953.42	-81246018.17
-211471.99	508034.34
-8830099.55	82215548.11

c) Geser X maksimum

Tabel 8.9 – Geser x maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8270	LAYAN-2-A4	I[6546]	-613665.58	57491.36	-9212.58
8270	LAYAN-2-A4	2/4	-613665.58	57509.97	-8146.10
8270	LAYAN-2-A4	J[6547]	-613665.58	57528.59	-7079.62

Mx (kN-m)	My (N-mm)
-20511205.92	-81246018.17
1187152.54	508034.34
20219308.84	82215548.11

d) Geser Y Maksimum

Tabel 8.10 – Geser y maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8238	LAYAN-2-C	I[6513]	9511.13	4174.94	-14222.83
8238	LAYAN-2-C	2/4	9511.13	4156.33	-13156.35
8238	LAYAN-2-C	J[6514]	9511.13	4137.71	-12089.87

Mx (kN-m)	My (N-mm)
-32078513.81	9451518.64
2145464.34	-962573.21
33703240.32	-11330126.33

e) Momen X Maksimum

Tabel 8.11 – Momen x maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (kN)	Vx (N)	Vy (kN)
8340	LAYAN-2-C	I[6617]	-723285.15	43062.76	10364.58
8340	LAYAN-2-C	2/4	-723285.15	43040.42	11644.36
8340	LAYAN-2-C	J[6618]	-723285.15	43018.08	12924.13

Mx (kN-m)	My (N-mm)
36104188.08	132577454.60
3090786.20	3422696.40
-33761946.79	-125665046.02

f) Momen Y Maksimum

Tabel 8.12 – Momen y maksimum ASD

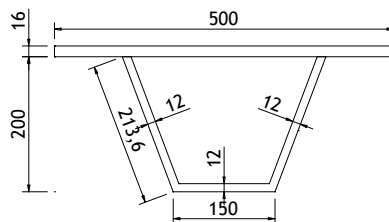
Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8270	LAYAN-2-A4	I[6546]	-613665.58	57491.36	-9212.58
8270	LAYAN-2-A4	2/4	-613665.58	57509.97	-8146.10
8270	LAYAN-2-A4	J[6547]	-613665.58	57528.59	-7079.62

Mx (kN-m)	My (N-mm)
-20511205.92	142267889.73
1187152.54	-1483777.29
20219308.84	-145281983.05

8.1.2 Kapasitas Top Orthotropic Plate

Kapasitas pelat orthotropic dihitung dengan acuan AISC 360-10 sebagaimana dijabarkan berikut.

a) Data Perencanaan

**Gambar 8.1** - Penampang efektif *top rib*

Dimensi *orthotropic* diberikan sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll}
 a = 300 \text{ mm} & h = 200 \text{ mm} & t_p = 16 \text{ mm} \\
 e = 200 \text{ mm} & h' = 213,6 \text{ mm} & t_r = 12 \text{ mm} \\
 j = 150 \text{ mm} & &
 \end{array}$$

Produk yang digunakan untuk desain pelat *orthotropic* ini adalah produk BlueScope dengan Grade 450L15 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_y &= 450 \text{ MPa} \\ F_u &= 520 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Lebar efektif plat diambil berdasarkan ketentuan berikut menurut AASHTO LRFD 2012 4.6.2.6.4.

$$\begin{aligned} \text{Panjang rib, } L &= 5000 \text{ mm} \\ B &= a + e = 300 + 200 = 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika,

$$\begin{aligned} L/B &\geq 5, \text{ maka } b_e = B \\ L/B &< 5, \text{ maka } b_e = B/5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L/B &= 5000/(300 + 200) = 10 > 5, \text{ maka} \\ b_e &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rib dihitung sebagaimana struktur balok dengan lebar efektif pelat lantai dianggap sebagai *flange* bagian atas dari penampang. Maka *section properties* penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_g &= 14672,82 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 89025490 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 228982848 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Nilai A_g , I_x dan I_y dihitung dengan bantuan AutoCAD.

Modulus elastis penampang:

Gari netral elastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{(A_p \cdot 0,5 \cdot t_p) + 2(A_w \cdot (t_p + 0,5h)) + (A_j \cdot (t_p + h - 0,5tr))}{A_p + 2A_w + A_j} \\
 &= \frac{(8000 \cdot 0,5 \cdot 16) + 2(2136 \cdot 116) + (1512 \cdot 210)}{8000 + (2 \cdot 2136) + 1512} \\
 &= 66,686 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$y_2 = t_p + h - y_1 = 16 + 200 - 66,686 = 149,314 \text{ mm}$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu x,

$$\begin{aligned}
 S_{x^t} &= \frac{I_x}{y_1} = \frac{89025490}{66,686} = 1334986,766 \text{ mm}^3 \\
 S_{x_b} &= \frac{I_x}{y_2} = \frac{89025490}{149,314} = 596231,708 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu y,

$$S_y = \frac{I_y}{0,5b_e} = \frac{228982848}{0,5 \times 500} = 915931,392 \text{ mm}^3$$

Modulus plastis penampang:

Garis netral plastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A_p &= 500 \cdot 16 = 8000 \text{ mm}^2 \\
 A^t &= A_b = 0,5 A_g = 0,5 \cdot 14672,82 = 7336,41 \text{ mm}^2 < A_p
 \end{aligned}$$

Maka garis netral plastis berada pada pelat lantai kendaraan.

$$Y_{p1} = \frac{A^t}{b_e} = \frac{7336,41}{500} = 14,673 \text{ mm}$$

$$Y_{p2} = t_p + h - Y_{p1} = 16 + 200 + 14,673 = 201,327 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Z_x &= \sum A_i y_1 \\
 &= (b_e \cdot 0,5 \cdot Y_{p1}^2) + (b_e \cdot 0,5 \cdot (t_p - Y_{p1})^2) + \\
 &\quad (2 \cdot tr \cdot h' \cdot (Y_{p2} - (0,5 \cdot h))) + \\
 &\quad ((j - 2tr) \cdot tr \cdot (Y_{p2} - 0,5tr)) \\
 &= (500 \cdot 0,5 \cdot 14,673^2) + (500 \cdot 0,5 \cdot (16 - 14,673)^2) +
 \end{aligned}$$

$$(2 \cdot 12 \cdot 213,64 \cdot 101,4) + (126 \cdot 12 \cdot 195,327) \\ = 869041,842 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = \sum A_i y_1 \\ = (0,25 \cdot t_p \cdot b_e^2) + \left(2h' \cdot tr \left(0,5j + \left(0,5h \cdot \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \tan \left(\tan^{-1} \left(\frac{0,5(a-j)}{h} \right) \right) \right) - \left(0,5 \frac{tr}{\cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{0,5(a-j)}{h} \right) \right)} \right) \right) \right) + \\ (0,25 \cdot tr \cdot (j - 2tr)^2) \\ = (0,25 \cdot 16 \cdot 500^2) + (2 \cdot 213,6 \cdot 12 \cdot 106,092) + (0,25 \cdot \\ 12 \cdot 126^2) \\ = 1591498,252 \text{ mm}^3$$

b) Kontrol Kapasitas Tekan

Kapasitas tekan struktur dianalisa berdasarkan AISC 360-10 Chapter E. Kekangan pada ujung-ujung *rib* pada *floor beam* dianggap sebagai jepit-jepit, maka nilai faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan AISC 360-10 Appendix 7.

$$K = 0,65 \\ r = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{89025490}{14672,82}} = 77,893 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,65 \cdot 5000}{77,893} = 41,723 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 99,296$$

Maka nilai F_e ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{41,723^2} = 1133,87 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{450}{1133,87} = 0,397 < 2,25$$

Sehingga F_{cr} dihitung sebagai berikut,

$$\begin{aligned} F_{cr} &= [0,685^{F_y/F_e}] F_y \\ &= [0,685^{0,397}] 450 \\ &= 387,26 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\ &= 387,26 \cdot 13595,90 \\ &= 5682199,882 \text{ N} \\ &= 5682,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,9 \cdot 5682,2 \\ &= 5113,98 \text{ kN} > P_r = 1108,9 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= P_n/\Omega \\ &= 5682,2/1,67 \\ &= 3402,51 \text{ kN} > P_r = 997,47 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

c) Kontrol Kapasitas Tarik

Kapasitas tarik struktur dianalisa dalam kapasitas leleh pada penampang bruto saja dalam poin ini berdasarkan AISC 360-10 Chapter D. Untuk analisa ruptur pada penampang netto dan analisa geser blok akan dianalisa dalam pembahasan sambungan antar segmen.

$$P_n = F_y A_g = 450 \cdot 14672,82 = 6602768,145 \text{ N} = 6602,8 \text{ kN}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= \phi P_n \\
 &= 0,9 \cdot 6602,8 \\
 &= 5942,49 \text{ kN} > P_r = 123,76 \text{ kN} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_n / \Omega \\
 &= 5942,49 / 1,67 \\
 &= 3953,75 \text{ kN} > P_r = 151,55 \text{ kN} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

d) Kontrol Kapasitas Lentur

i. Rasio Lebar Tebal

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_e}{2tp} = \frac{500}{2 \times 16} = 15,625$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 23,612$$

$$\lambda_r = 1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 29,515$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa $\lambda < \lambda_p$, maka pelat sayap tergolong kompak.

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{h}{2tr} = \frac{200}{2 \times 10} = 10$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 51,018$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 120,17$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa $\lambda < \lambda_p$, maka pelat badan tergolong kompak.

ii. Kapasitas Lentur terhadap Sumbu X

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 AISC 360-10 Chapter F.

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= F_y \cdot Z_x \\ &= 450 \cdot 869041,84 \\ &= 391068829,23 \text{ N-mm} \\ &= 391,069 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} M_c &= \phi M_n \\ &= 0,9 \cdot 391,069 \\ &= 351,962 \text{ kN-m} > M_r = 43,189 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} M_c &= M_n/\Omega \\ &= 391,069/1,67 \\ &= 234,173 \text{ kN-m} > M_r = 43,189 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

iii. Kapasitas Lentur terhadap Sumbu Y

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 AISC 360-10 Chapter F.

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= F_y \cdot Z_y \\ &= 450 \cdot 1591498,253 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 716174213,764 \text{ N-mm} \\
 &= 716,174 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 M_c &= \phi M_n \\
 &= 0,9 \cdot 716,174 \\
 &= 664,557 \text{ kN-m} > M_r = 159,05 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 M_c &= M_n / \Omega \\
 &= 716,174 / 1,67 \\
 &= 428,847 \text{ kN-m} > M_r = 142,27 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

e) Kontrol Kapasitas Geser

Kapasitas geser orthotropic dikontrol sesuai AISC 360-10 Chapter G2 dan G5 sebagai berikut.

i. Geser Vertikal

$$\begin{aligned}
 k_v &= 5 \\
 h &= h - 3t_r = 200 - (3 \cdot 12) = 164 \text{ mm} \\
 t_w &= 2t_r = 2 \cdot 12 = 24 \text{ mm} \\
 \frac{h}{t_w} &= \frac{164}{24} = 6,8 < 1,1 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 23,19, \text{ maka } C_v = 1 \\
 A_w &= h \cdot t_w = 164 \cdot 24 = 3936 \text{ mm}^2 \\
 V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\
 &= 0,6 \cdot 450 \cdot 3936 \cdot 1 \\
 &= 1062720 \text{ N} \\
 &= 1062,72 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= \phi V_n \\ &= 0,9 \cdot 1062,72 \\ &= 956,448 \text{ kN} > V_r = 18,618 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= V_n/\Omega \\ &= 1062,72/1,67 \\ &= 636,359 \text{ kN} > V_r = 14,22 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

ii. Geser Horizontal

$$\begin{aligned} k_v &= 5 \\ \frac{h}{t_w} &= \frac{a}{t_p} = \frac{300}{16} = 18,75 < 1,1 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 23,19, \text{ maka } C_v = 1 \\ A_w &= (a \cdot t_p) + (j \cdot t_r) = (300 \cdot 16) + (150 \cdot 12) = 6600 \text{ mm}^2 \\ V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,6 \cdot 450 \cdot 6600 \cdot 1 \\ &= 1782000 \text{ N} \\ &= 1782 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= \phi V_n \\ &= 0,9 \cdot 1782 \\ &= 1603,8 \text{ kN} > V_r = 62,995 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 V_c &= V_n/\Omega \\
 &= 1782/1,67 \\
 &= 1067,07 \text{ kN} > V_r = 57,53 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

f) Kontrol Kombinasi Aksial-Lentur

Kontrol kombinasi aksial-lentur dihitung sesuai AISC 360-10 Chapter H1. Sedangkan untuk kontrol kombinasi geser-lentur tidak perlu dikontrol dikarenakan gaya geser relatif kecil.

Apabila nilai $\frac{Pr}{P_c} \geq 2$ maka kombinasi dihitung dengan persamaan berikut,

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mr_x}{Mc_x} + \frac{Mr_y}{Mc_y} \right) \leq 1,0$$

Sedangkan apabila nilai $\frac{Pr}{P_c} < 2$ maka kombinasi dihitung dengan persamaan berikut,

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{Mr_x}{Mc_x} + \frac{Mr_y}{Mc_y} \right) \leq 1,0$$

Kontrol kombinasi dilakukan elemen dengan gaya aksial dan momen yang dominan sebagai berikut:

i. Aksial Dominan

Pada elemen nomor 8272 akibat kombinasi beban KUAT-3, dengan gaya aksial dan momen sebesar:

$$\begin{aligned}
 Pr &= 1108,9 \text{ kN} \\
 Mr_x &= 2,66 \text{ kN-m} \\
 Mr_y &= 36,33 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$\frac{Pr}{P_c} = \frac{1108,9}{5113,98} = 0,217 > 0,2, \text{ maka}$$

$$\frac{1108,9}{5113,98} + \frac{8}{9} \left(\frac{2,66}{351,962} + \frac{36,33}{644,557} \right) = 0,274 < 1,0 \text{[memenuhi]}$$

ii. Momen Dominan

Pada elemen 8239 akibat kombinasi beban KUAT-1-C, dengan gaya aksial dan momen sebesar:

$$\begin{aligned} Pr &= 532,77 \text{ kN} \\ Mr_x &= 19,02 \text{ kN-m} \\ Mr_y &= 159,05 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{Pr}{P_c} = \frac{532,77}{4712,7} = 0,144 > 0,2, \text{ maka}$$

$$\frac{532,77}{5113,98} + \frac{8}{9} \left(\frac{19,02}{351,962} + \frac{159,05}{644,557} \right) = 0,353 < 1,0 \text{[memenuhi]}$$

g) Sambungan Pelat Orthotropic pada Floor Beam

Untuk sambungan pelat *orthotropic* pada *floor beam* digunakan sambungan las *fillet* yang diatur dalam AISC 360-10 Chapter J.

Mutu las yang digunakan adalah E9XTX-X-XM dengan kuat tarik las sebesar $F_{EXX} = 620 \text{ MPa}$.

i. Kapasitas Las Nominal

Ketebalan las ditentukan setebal, $t_w = 12 \text{ mm}$. Sedangkan ketebalan efektif las dihitung sebagai berikut.

$$w = \frac{1}{\sqrt{2}} t_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 12 = 8,485 \text{ mm}$$

Panjang pengelasan,

$$\begin{aligned} l &= e + 2h' + j \\ &= 200 + (2 \cdot 213,6) + 150 \\ &= 777,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Faktor reduksi untuk panjang las,

$$\begin{aligned}\beta &= 1,2 - 0,002 \frac{l}{w} \leq 1,0 \\ &= 1,2 - 0,002 \frac{777,2}{8,495} = 1,02 > 1,0 \\ &= 1,0\end{aligned}$$

$$A_{we} = \beta \cdot l \cdot w = 1,0 \cdot 777,2 \cdot 8,495 = 6594,8 \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} = 0,6 F_{EXX} = 0,6 \cdot 620 = 372 \text{ MPa}$$

Kapasitas nominal las dihitung sebagai berikut:

$$R_n = F_{nw} A_{nw} = 372 \cdot 6594,8 = 2453251,57 \text{ N} = 2453,33 \text{ kN}$$

ii. Kontrol Kapasitas Las terhadap Geser

Kapasitas las terfaktor dihitung sebagai berikut.

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 2453,33 = 1839,9 \text{ kN}$$

Untuk elemen 8270 akibat kombinasi beban KUAT 1-A4 dengan pertimbangan geser x dominan dihitung sebagai berikut.

$$V_x = 62953,6 \text{ N}$$

$$V_y = 9083,6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}R_r &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \\ &= \sqrt{62953,6^2 + 9083,6^2} \\ &= 63605,6 \text{ N} \\ &= 63,61 \text{ kN} < R_c = 1839,9 \text{ kN} \dots \dots \dots [\text{memenuhi}]\end{aligned}$$

Untuk elemen 8239 akibat kombinasi beban KUAT 1-C dengan pertimbangan geser x dominan dihitung sebagai berikut.

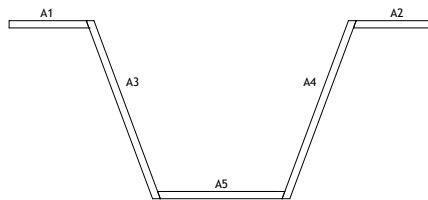
$$V_x = 47970 \text{ N}$$

$$V_y = 18618 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 R_r &= \sqrt{Vx^2 + Vy^2} \\
 &= \sqrt{47970^2 + 18618^2} \\
 &= 51456,1 \text{ N} \\
 &= 51,46 \text{ kN} < R_c = 1839,9 \text{ kN} \dots \dots \dots [\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

iii. Kontrol Kapasitas Las terhadap Aksial dan Momen X

Kapasitas aksial las dihitung berdasarkan gaya aksial yang terjadi pada struktur yang didapatkan dari hasil analisa struktur ditambah gaya aksial pada serat penampang las yang diakibatkan momen yang bekerja. Gaya aksial pada serat dihitung dengan metode elastis.



Gambar 8.2 - Penampang las

Luasan bagian-bagian penampang las seperti ditunjukkan pada gambar di atas dihitung menggunakan AutoCAD dengan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= A_2 = 785,1 \text{ mm}^2 \\
 A_3 &= A_4 = 1889,3 \text{ mm}^2 \\
 A_5 &= 1245,8 \text{ mm}^2 \\
 A_w &= 6594,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Garis netral elastis penampang dihitung sebagai berikut.

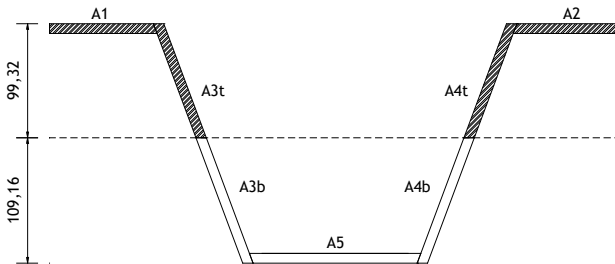
$$c_1 = \frac{(2 \times A_1 \times 0,5w) + (2 \times A_3 \times 0,5(h+tw)) + (A_5 \times (h+0,5w))}{2(A_1 + A_3) + A_5}$$

$$= \frac{(2 \times 785,1 \times 4,243) + (2 \times 1889,3 \times 104,24) + (1245,8 \times 204,24)}{2(785,1 + 1889,3) + 1245,8}$$

$$= 99,322 \text{ mm}$$

$$c_2 = h + w - c_1 = 200 + 8,485 - 99,322 = 109,16 \text{ mm}$$

Luasan serat yang dibatasi garis netral elastis diberikan dalam gambar berikut dan dihitung sebagai berikut.



Gambar 8.3 - Serat atas (terarsir), dan serat bawah (tanpa arsir)

Sudut kemiringan badan rib terhadap sumbu vertikal (θ) dihitung sebagai berikut.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0,5(a-j)}{h} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0,5(300-150)}{200} \right)$$

$$= 20,556^\circ$$

$$A3^t = A4^t$$

$$= c_1 \frac{w}{\cos \theta}$$

$$= 99,322 \frac{8,485}{\cos 20,556}$$

$$= 900,09 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{3b} &= A_{4b} \\
 &= c_2 \frac{w}{\cos \theta} \\
 &= 109,16 \frac{8,485}{\cos 20,556} \\
 &= 989,26 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A^t &= A_1 + A_2 + A_{3^t} + A_{4^t} \\
 &= 785,1 + 785,1 + 900,09 + 900,09 \\
 &= 3370,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_b &= A_{3b} + A_{4b} + A_5 \\
 &= 989,26 + 989,26 + 1245,8 \\
 &= 3224,3
 \end{aligned}$$

$$I_{wx} = 41688289,625 \text{ mm}^4 \text{ (inersia penampang las dihitung dengan bantuan AutoCAD)}$$

Jarak titik berat luasan serat di atas garis netral ke garis netral dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{2((A_{3^t} 0,5c_1) + (A_1(c_1 - 0,5w)))}{2(A_{3^t} + A_1)} \\
 &= \frac{(900,09 \times 0,5 \times 99,332) + (785,1(99,322 - 0,5 \times 8,485))}{785,1 + 1889,3} \\
 &= 44,626 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_2 &= \frac{(2A_{3b} 0,5c_2) + (A_5(c_2 - 0,5w))}{2A_{3b} + A_5} \\
 &= \frac{(2 \times 989,26 \times 0,5 \times 109,16) + (1245,8 - (109,16 - 0,5 \times 8,485))}{(2 \times 989,26) + 1245,5} \\
 &= 74,031 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas las pada luasan yang berada di atas garis netral elastis penampang las dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l^t &= 2 \cdot \frac{c_1}{\cos \theta} + (b_e - a) \\
 &= 2 \frac{99,322}{\cos 20,556} + (500 - 300) \\
 &= 412,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,2 - 0,002 \frac{l}{w} \leq 1,0 \\
 &= 1,2 - 0,002 \frac{412,15}{8,485} = 1,103 > 1,0 \\
 &= 1,0
 \end{aligned}$$

$$A_{we}^t = \beta l^t w = 1,0 \cdot 412,15 \cdot 8,485 = 3497,2 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 R_{Ct} &= \phi F_{nw} A_{we}^t \\
 &= 0,75 \cdot 372 \cdot 3497,2 \\
 &= 975727,93 \text{ N} \\
 &= 975,728 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas las pada luasan yang berada di bawah garis netral elastis penampang las dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l_b &= 2 \frac{c_2}{\cos \theta} + j + 2w \\
 &= 2 \frac{109,16}{\cos 20,556} + 150 + (2 \cdot 8,485) \\
 &= 400,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,2 - 0,002 \frac{l}{w} \leq 1,0 \\
 &= 1,2 - 0,002 \frac{400,14}{8,485} = 1,106 > 1,0 \\
 &= 1,0
 \end{aligned}$$

$$A_{web} = \beta l_b w = 1,0 \cdot 400,14 \cdot 8,485 = 3395,3 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 R_{Cb} &= \phi F_{nw} A_{web} \\
 &= 0,75 \cdot 372 \cdot 3395,3 \\
 &= 947294,727 \text{ N} \\
 &= 947,295 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8272 akibat kombinasi beban KUAT 3 dengan pertimbangan gaya aksial dominan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= 1108937,57 \text{ N (aksial tekan)} \\ M_x &= 1145144,75 \text{ N-mm (momen negatif)} \end{aligned}$$

Gaya aksial yang terjadi pada serat atas akibat momen negatif dihitung sebagai berikut,

$$F_{r^t} = \frac{M_x y_1}{I_{wx}} = \frac{1145144,75 \times 44,626}{41688289,625} = 1,226 \text{ MPa}$$

$$P^t = F_{r^t} A^t = 1,226 \cdot 3370,4 = 6556,8 \text{ N (aksial tarik)}$$

$$\begin{aligned} R_{r^t} &= \frac{A^t}{A_w} P - P^t \\ &= \frac{3370,4}{6594,5} 1108937,57 - 6556,8 \\ &= 562,63 \text{ kN} < R_{c^t} = 975,728 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Gaya aksial yang terjadi pada serat bawah akibat momen negatif dihitung sebagai berikut,

$$F_{r_b} = \frac{M_x y_2}{I_{wx}} = \frac{1145144,75 \times 74,031}{41688289,625} = 2,034 \text{ MPa}$$

$$P_b = F_{r_b} A_b = 2,034 \cdot 3224,3 = 6556,8 \text{ N (aksial tekan)}$$

$$\begin{aligned} R_{r_b} &= \frac{A_b}{A_w} P + P_b \\ &= \frac{3224,3}{6594,5} 1108937,57 + 6556,8 \\ &= 548751,473 \text{ N} \\ &= 548,75 \text{ kN} < R_{c_b} = 947,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8239 akibat kombinasi beban KUAT 1-C dengan pertimbangan momen dominan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= 186568,1 \text{ N (aksial tekan)} \\ M_x &= 44032568,4 \text{ N-mm (momen positif)} \end{aligned}$$

Gaya aksial yang terjadi pada serat atas akibat momen negatif dihitung sebagai berikut,

$$Fr^t = \frac{M_x y_1}{I_{wx}} = \frac{44032568,4 \times 44,626}{41688289,625} = 47,135 \text{ MPa}$$

$$P^t = Fr^t A^t = 47,135 \cdot 3370,4 = 158865 \text{ N (aksial tekan)}$$

$$\begin{aligned} Rr^t &= \frac{A^t}{A_w} P + P^t \\ &= \frac{3370,4}{6594,5} 186568,1 + 158865 \\ &= 254,22 \text{ kN} < R_c^t = 975,728 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Gaya aksial yang terjadi pada serat bawah akibat momen negatif dihitung sebagai berikut,

$$Fr_b = \frac{M_x y_2}{I_{wx}} = \frac{44032568,4 \times 74,031}{41688289,625} = 78,194 \text{ MPa}$$

$$P_b = Fr_b A_b = 78,194 \cdot 3224,3 = 252118 \text{ N (aksial tarik)}$$

$$\begin{aligned} Rr_b &= P_b - \frac{A_b}{A_w} P \\ &= 252118 - \frac{3224,3}{6594,5} 186568,1 \\ &= 160899,114 \text{ N} \\ &= 160,9 \text{ kN} < R_{c_b} = 947,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

iv. Kontrol Kapasitas Las terhadap Aksial dan Momen Y

Garis netral elastis pada sumbu y dihitung sama dengan $0,5 b_e$ karena penampang simetris terhadap sumbu y.

$$c = 0,5 b_e = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ mm}$$

Jarak titik berat luasan kanan/kiri ke garis netral dihitung sebagai berikut:

$$x = \frac{(0,25A_1(j-2tr)) + (A_2(0,5j + (0,5(h+w) - w) \tan \theta + 0,5(w/\cos \theta))) + (A_4(c - 0,5(0,5(b_e - a) - (w/\cos \theta))))}{0,5A_1 + A_2 + A_4}$$

$$= \frac{(0,25 \times 1245,8 \times 130) + (1889,3 \times 115,44) + (785,1 \times 204,53)}{785,1 + 1889,3 + 622,88}$$

$$= 127,12 \text{ mm}$$

Karena penampang simetris dalam bidang y maka luasan serat tertekan sama dengan luasan serat tertarik.

$$A_t = A_c$$

$$= A_1 + A_3 + 0,5A_5$$

$$= 785,1 + 1889,3 + (0,5 \cdot 1245,8)$$

$$= 3297,3 \text{ mm}^2$$

$$I_{wy} = 120839002 \text{ mm}^2 \text{ (dihitung menggunakan AutoCAD)}$$

Kapasitas penampang salah satu serat baik dalam keadaan tertarik maupun tertekan dihitung sebagai berikut.

$$I_{t-c} = 0,5 (b_e - a) + h' + 0,5j$$

$$= 0,5 (500 - 300) + 213,6 + (0,5 \cdot 150)$$

$$= 388,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w} \right) \leq 1,0 \\ &= 1,2 - 0,002 \left(\frac{388,6}{8,485} \right) = 1,108 > 1,0 \\ &= 1,0\end{aligned}$$

$$A_{\text{wet-c}} = \beta l_{t-c} w = 1,0 \cdot 388,6 \cdot 8,485 = 3297,4 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}R_{Ct-c} &= \phi F_{nw} A_{\text{wet-c}} = 0,9 \cdot 372 \cdot 3297,4 = 919969,34 \text{ N} = \\ &919,97 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8272 akibat kombinasi beban KUAT 3 dengan pertimbangan gaya aksial dominan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P &= 1108937,57 \text{ N (aksial tekan)} \\ My &= 36315895,4 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

Gaya aksial yang terjadi pada masing-masing serat akibat momen.

$$\begin{aligned}Fr_t &= Fr_c \\ &= \frac{M_y \cdot x}{I_{wy}} \\ &= \frac{36315895,4 \times 127,12}{120839002} \\ &= 38,205 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pr_t &= Fr_t A_t = 38,205 \cdot 3297,3 = 125972,38 \text{ N} \\ Pr_c &= Fr_c A_c = 38,205 \cdot 3297,3 = 125972,38 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya yang paling menentukan yang terjadi pada serat penampang las adalah gaya tekan yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}Rr &= 0,5P + Pr_c \\ &= (0,5 \cdot 1108937,57) + 125972,38 \\ &= 680441,165 \text{ N} \\ &= 680,441 \text{ kN} < R_{Ct-c} = 919,97 \text{ kN} \text{[memenuhi]}\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8239 akibat kombinasi beban KUAT 1-A4 dengan pertimbangan gaya aksial dominan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= 532772,69 \text{ N (aksial tekan)} \\ M_y &= 159045923 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Gaya aksial yang terjadi pada masing-masing serat akibat momen.

$$\begin{aligned} F_{r_t} &= F_{r_c} \\ &= \frac{M_y \cdot x}{I_{wy}} \\ &= \frac{159045923 \times 127,12}{120839002} \\ &= 167,32 \text{ MPa} \end{aligned}$$

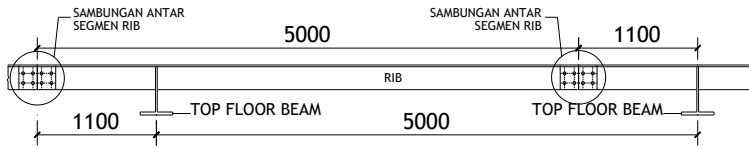
$$\begin{aligned} P_{r_t} &= F_{r_t} A_t = 167,32 \cdot 3297,3 = 551697,63 \text{ N} \\ P_{r_c} &= F_{r_c} A_c = 167,32 \cdot 3297,3 = 551697,63 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya yang paling menentukan yang terjadi pada serat penampang las adalah gaya tekan yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R_r &= 0,5P + P_{r_c} \\ &= (0,5 \cdot 532772,69) + 551697,63 \\ &= 818083,973 \text{ N} \\ &= 818,084 \text{ kN} < R_{c-t} = 919,97 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

h) Sambungan antar Segmen

Untuk sambungan antar segmen *rib* digunakan sambungan baut. Sambungan baut dipilih dengan pertimbangan kemudahan dalam tahap pelaksanaan. Posisi sambungan antar segmen *rib* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 8.4 - Sambungan antar segmen pada rib

Baut yang digunakan merupakan baut mutu tinggi dengan tipe Group B ASTM-A490 dengan spesifikasi diberikan sebagai berikut.

Jenis struktural baut	= tipe friksi
Tipe baut	= Group B ASTM-A490
Kuat tarik nominal, F_{nt}	= 780 MPa
Kuat geser nominal, F_{nv}	= 579 MPa
Diameter baut, D_b	= 24 mm [M24]
Diameter lubang, D	= 27 mm
Pratarik minimum, T_b	= 257 kN

i. Kapasitas Satu Buah Baut

Tipe struktur baut yang digunakan adalah tipe friksi, sehingga kapasitas satu buah baut diitung sebagai berikut.

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

μ = 0,5 (koefisien gesek – untuk permukaan yang tidak dicat dan dibersihkan pada permukaannya atau dilapisi dengan coating kelas B)

D_u = 1,13 (faktor pengkali)

h_f = 1,0 (faktor untuk filler – tanpa filler)

n_s = 3 (jumlah bidang gesek – 2 antara pelat dengan kepala baut dan 1 antar pelat)

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 257 \cdot 3 = 435,62 \text{ kN}$$

Jumlah baut ditentukan secara konservatif dengan pertimbangan kapasitas terhadap gaya aksial.

$$R_c = \phi R_n = 1 \cdot 435,62 = 435,62 \text{ kN}$$

Gaya aksial maksimum,

$$R_r = 1108,9 \text{ kN}$$

$$N = \frac{R_r}{R_c} = \frac{1108,9}{435,62} = 2,55 \approx 3 \text{ buah} \rightarrow \text{digunakan 8 buah}$$

Untuk pertimbangan kapasitas terhadap momen maka digunakan baut sebanyak 8 buah. Ketentuan spasi untuk baut diatur dalam AISC 360-10 Chapter J3.3 sampai J3.5 sebagai berikut.

Ketentuan spasi antar baut:

$$3D \leq S \leq 24t_r \text{ (atau 305 mm)}$$

Ditentukan, $S = 120 \text{ mm}$

$$3D = 81 \text{ mm} < S = 120 \text{ mm} < 24t_r = 288 \text{ mm}$$

Ketentuan spasi pada baut ujung dan bagian ujung pelat:

Spasi minimum diambil dari AISC 360-10 Table J3.4M = 30 mm

Spasi maksimum sebesar $12t_r = 144 \text{ mm}$

Maka ditentukan, $S_1 = 120 \text{ mm}$

$$30 \text{ mm} < S_1 = 120 \text{ mm} < 12 t_r = 144 \text{ mm}$$

ii. Kapasitas Baut dalam Menahan Gaya Geser dan Momen

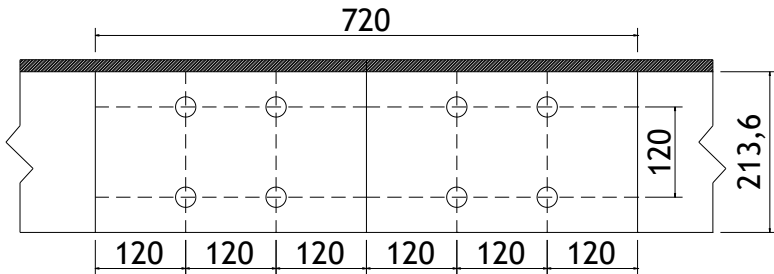
Kapasitas kelompok baut dalam menahan kombinasi gaya geser dan momen dianalisa dengan metode elastis. Struktur di analisa pada pada elemen dengan kondisi momen dan geser dominan yaitu pada elemen nomor 8239 akibat kombinasi beban KUAT 1-C dengan gaya-gaya diberikan sebagai berikut.

$$P_x = P = 186568,07 \text{ N}$$

$$P_y = V = 18617,52 \text{ N}$$

$$M = 44032568,4 \text{ N-mm}$$

Susunan baut diberikan sebagai berikut:



Gambar 8.5 - Susunan baut sambungan segmen pada rib

Variabel-variabel perhitungan diberikan sebagai berikut:

$$\Delta P_x = P_x/N = 186568,07/8 = 138617 \text{ N}$$

$$\Delta P_y = P_y/N = 18617,52/8 = 236,21 \text{ N}$$

$$K_{xi} = \frac{M \times y}{\sum(x^2 + y^2)} \quad K_{yi} = \frac{M \times x}{\sum(x^2 + y^2)}$$

$$R_c = 435,62 \text{ kN} = 435620 \text{ N}$$

Perhitungan gaya pada kelompok baut diberikan pada tabel berikut:

Tabel 8.13 – Perhitungan baut sambungan segmen *top orthotropic plate*

No	x	y	x ²	y ²	M	M . X	M . Y
	mm	mm	mm ²	mm ²	N-mm	N-mm ²	N-mm ²
1	60	120	3600	14400	44032568.4	2641954106	5283908212
2	60	120	3600	14400	44032568.4	2641954106	5283908212
3	60	120	3600	14400	44032568.4	2641954106	5283908212
4	60	120	3600	14400	44032568.4	2641954106	5283908212
			Σ(x ² +y ²)	72000			

Tabel 8.14 - Perhitungan baut sambungan segmen *top orthotropic plate* (lanjutan)

No	Kx	Ky	ΔPx	ΔPy	Rr	Rc	Keterangan
	N	N	N	N	N	N	
1	-73388	36694	-138617	-236.21	215117	435615	memenuhi
2	73388	36694	-138617	-236.21	74727	435615	memenuhi
3	-73388	-36694	-138617	-236.21	215197	435615	memenuhi
4	73388	-36694	-138617	-236.21	74958	435615	memenuhi

iii. Kapasitas Tarik Ruptur Penampang Efektif Rib

Kapasitas tarik ruptur penampang efektif *rib* dihitung berdasarkan posisi lubang baut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_g - n \text{ tr } D \\
 &= 14672,8 - (4 \cdot 12 \cdot 27) \\
 &= 13376,8 \text{ mm}^2 > 85\% A_g = 12471,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n \leq 85\% A_g \\
 &= 12471,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$P_n = F_u A_e = 520 \cdot 12471,9 = 6485385,6 \text{ N} = 6485,39 \text{ kN}$$

Kapasitas tarik ruptur dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

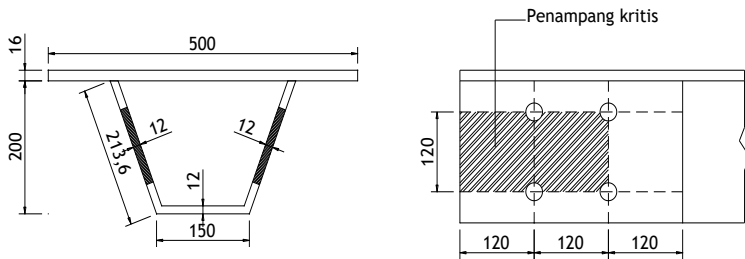
$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,75 \cdot 6485,39 \\ &= 4864,04 \text{ kN} > P_r = 123,76 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas tarik ruptur dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_c &= P_n / \Omega \\ &= 6485,39 / 2 \\ &= 3242,69 \text{ kN} > P_r = 151,55 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

iv. Kapasitas Geser Blok

Kapasitas geser blok penampang *rib* dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter J4.3 sebagai berikut.



Gambar 8.6 - Penampang kritis geser blok (terarsir)

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

$$\begin{aligned} Ubs &= 1,0 \text{ (untuk tegangan tarik merata)} \\ Fy &= 450 \text{ MPa} \\ Fu &= 520 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ant &= 2 (S - D) \text{ tr} = 2 (120 - 27) 12 = 2232 \text{ mm}^2 \\ Anv &= 2 (S1+S - 1,5D) \text{ tr} = 2 (240 - 1,5 \cdot 27) 12 = 4780 \text{ mm}^2 \\ Agv &= 2 (S1+S) \text{ tr} = 2 \cdot 240 \cdot 12 = 5760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,6 Fu Anv + Ubs Fu Ant &= 0,6 \cdot 520 \cdot 4780 + 1,0 \cdot 520 \cdot \\ &2232 \\ &= 2654496 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,6 Fy Agv + Ubs Fu Ant &= 0,6 \cdot 450 \cdot 5760 + 1,0 \cdot 520 \cdot \\ &2232 \\ &= 2715840 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Rn = 2654496 \text{ N} = 2654,5 \text{ kN}$$

Kapasitas geser blok penampang kritis *rib* dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Rc &= \phi Rn \\ &= 0,75 \cdot 2654,5 \\ &= 1990,87 \text{ kN} > Rr = 123,76 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas geser blok penampang kritis *rib* dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Rc &= Rn/\Omega \\ &= 2654,5/2 \\ &= 1327,25 \text{ kN} > Rr = 151,55 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

8.2 Bottom Orthotropic Plate

8.2.1 Hasil Analisa Struktur

Analisa dalam LRFD:

- a) Tekan Maksimum

Tabel 8.15 – Tekan maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8484	KUAT-1-B1	I[439]	-1147109.31	-49706.99	15169.60
8484	KUAT-1-B1	2/4	-1147109.31	-50159.68	13480.14
8484	KUAT-1-B1	J[6525]	-1147109.31	-50612.37	11790.68

Mx (N-mm)	My (N-mm)
37387071.42	-123802333.83
1574900.19	1030992.47
-30013616.65	126996043.55

b) Tarik Maksimum

Tabel 8.16 – Tarik maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8381	KUAT-1-B2	I[4564]	1093254.02	-50901.26	-13120.20
8381	KUAT-1-B2	2/4	1093254.02	-50448.57	-14809.66
8381	KUAT-1-B2	J[4565]	1093254.02	-49995.88	-16499.12

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-39441200.81	-123614236.28
-4528885.12	3073039.82
34607084.97	128628591.14

c) Geser X Maksimum

Tabel 8.17 – Geser x maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8404	KUAT-1-A1	I[358]	-613502.20	-69378.48	-16928.83
8404	KUAT-1-A1	2/4	-613502.20	-68925.79	-18618.29
8404	KUAT-1-A1	J[359]	-613502.20	-68473.10	-20307.75

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-44983884.51	-171242348.01
-549979.69	1637999.38
48107579.52	173386621.99

d) Geser Y Maksimum

Tabel 8.18 – Geser y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8506	KUAT-1-C	I[359]	-144244.02	-51304.74	24101.31
8506	KUAT-1-C	2/4	-144244.02	-51757.43	22411.85
8506	KUAT-1-C	J[360]	-144244.02	-52210.12	20722.39

Mx (N-mm)	My (N-mm)
57538071.54	-119996681.71
-603379.30	8831019.09
-54521175.75	138790444.67

e) Momen X Maksimum

Tabel 8.19 – Momen x maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8405	KUAT-1-B1	I[6413]	-494675.84	-48404.04	-15841.25
8405	KUAT-1-B1	2/4	-494675.84	-47860.81	-17868.60
8405	KUAT-1-B1	J[6414]	-494675.84	-47317.59	-19895.96

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-48282438.66	-140983561.80
2282333.95	3413724.65
58929168.89	146181327.41

f) Momen Y Maksimum

Tabel 8.20 – Momen y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8405	KUAT-1-A1	I[359]	-582898.23	-56784.36	-12255.96
8405	KUAT-1-A1	2/4	-582898.23	-56241.13	-14283.31
8405	KUAT-1-A1	J[360]	-582898.23	-55697.91	-16310.66

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-40699053.64	-161999857.48
-890152.86	7538383.56
45000810.26	175446940.91

Analisa dalam ASD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 8.21 – Tekan maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8486	LAYAN-2-B1	I[6548]	-1027169.96	-44496.82	13861.54
8486	LAYAN-2-B1	2/4	-1027169.96	-44908.35	12325.67
8486	LAYAN-2-B1	J[6549]	-1027169.96	-45319.89	10789.79

Mx (N-mm)	My (N-mm)
34125627.10	-110854259.4
1391619.85	902205.9
-27502701.58	113687511.9

b) Tarik Maksimum

Tabel 8.22 – Tarik maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8472	LAYAN-4	I[4576]	825481.69	36564.39	-5682.17
8472	LAYAN-4	2/4	825481.69	36070.55	-7525.22
8472	LAYAN-4	J[4577]	825481.69	35576.7	-9368.27

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-24824411.71	101636208.5
-5013330.79	-7316195.8
20326897.70	-114787069.5

c) Geser X Maksimum

Tabel 8.23 – Geser x maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8475	LAYAN-2-A1	I[430]	-117385.07	-56485.10	17696.57
8475	LAYAN-2-A1	2/4	-117385.07	-56896.64	16160.70
8475	LAYAN-2-A1	J[431]	-117385.07	-57308.18	14624.82

Mx (N-mm)	My (N-mm)
41330754.95	-143083057.66
-990835.22	-1355879.75
-39472739.57	141400138.87

d) Geser Y Maksimum

Tabel 8.24 – Geser y maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8506	LAYAN-2-C	I[461]	-159863.28	-47237.75	21494.69
8506	LAYAN-2-C	2/4	-159863.28	-47649.28	19958.81
8506	LAYAN-2-C	J[462]	-159863.28	-48060.82	18422.94

Mx (N-mm)	My (N-mm)
51169848.33	-110682464.6
-647029.73	7926322.42
-48624221.97	127563950.1

e) Momen X Maksimum

Tabel 8.25 – Momen x maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8405	LAYAN-2-B1	I[6413]	-624737.55	-36515.7	-11411.57
8405	LAYAN-2-B1	2/4	-624737.55	-36021.86	-13254.62
8405	LAYAN-2-B1	J[6414]	-624737.55	-35528.01	-15097.67

Mx (N-mm)	My (N-mm)
-34742604.72	-106602680.8
2256693.99	2203658.84
44785140.26	109528467.9

f) Momen Y Maksimum

Tabel 8.26 – Momen y maksimum ASD

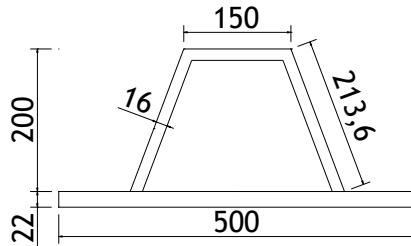
Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
8474	LAYAN-2-A1	I[429]	21619.43	-45443.95	12270.28
8474	LAYAN-2-A1	2/4	21619.43	-45937.79	10427.23
8474	LAYAN-2-A1	J[430]	21619.43	-46431.63	8584.18

Mx (N-mm)	My (N-mm)
31301457.53	-144350631.16
-2744811.69	-7278022.22
-31261933.34	131276117.36

8.2.2 Kapasitas Bottom Orthotropic Plate

Kapasitas pelat *orthotropic* dihitung dengan acuan AISC 360-10 sebagaimana dijabarkan berikut.

a) Data Perencanaan



Gambar 8.7 - Penampang efektif *bottom rib*

Dimensi *orthotropic* diberikan sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll}
 a = 300 \text{ mm} & h = 200 \text{ mm} & tp = 22 \text{ mm} \\
 e = 200 \text{ mm} & h' = 213,6 \text{ mm} & tr = 16 \text{ mm} \\
 j = 150 \text{ mm} & &
 \end{array}$$

Produk yang digunakan untuk desain pelat *orthotropic* ini adalah produk BlueScope dengan Grade WR350 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{array}{ll}
 F_y & = 340 \text{ MPa} \\
 F_u & = 450 \text{ MPa} \\
 E & = 200000 \text{ MPa}
 \end{array}$$

Lebar efektif plat diambil berdasarkan ketentuan berikut menurut AASHTO LRFD 2012 4.6.2.6.4.

$$\begin{array}{lll}
 \text{Panjang rib, } L & = 5000 \text{ mm} \\
 B & = a + e & = 300 + 200 & = 500 \text{ mm}
 \end{array}$$

Jika,

$$\begin{aligned} L/B &\geq 5, \text{ maka } b_e = B \\ L/B &< 5, \text{ maka } b_e = B/5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L/B &= 5000/(300 + 200) = 10 > 5, \text{ maka} \\ b_e &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rib dihitung sebagaimana struktur balok dengan lebar efektif pelat lantai dianggap sebagai *flange* bagian atas dari penampang. Maka *section properties* penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_g &= 19784,39 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 120378463,5 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 308820514 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Nilai A_g , I_x dan I_y dihitung dengan bantuan AutoCAD.

Modulus elastis penampang:

Gari netral elastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{(A_j \cdot 0,5t_r) + (2 \cdot A_w \cdot 0,5h) + (A_p \cdot (h + 0,5t_p))}{A_j + 2A_w + A_p} \\ &= \frac{(1888 \cdot 0,5 \cdot 16) + (2 \cdot 3417,6 \cdot 0,5 \cdot 200) + (9500 \cdot (200 + 0,5 \cdot 22))}{1888 + (2 \cdot 3417,6) + 11000} \\ &= 153,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$y_2 = h + t_p - y_1 = 200 + 22 - 147,55 = 68,9 \text{ mm}$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu x,

$$\begin{aligned} S_{x^t} &= \frac{I_x}{y_1} = \frac{120378463,5}{153,1} = 786272,939 \text{ mm}^3 \\ S_{x^b} &= \frac{I_x}{y_2} = \frac{120378463,5}{68,9} = 1747149,981 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu y,

$$S_y = \frac{I_y}{0,5b_e} = \frac{308820514}{0,5 \times 500} = 1235282,056 \text{ mm}^3$$

Modulus plastis penampang:

Garis netral plastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_p &= 500 \cdot 22 = 11000 \text{ mm}^2 \\ A^t &= A_b = 0,5 A_g = 0,5 \cdot 19784,39 = 9892,2 \text{ mm}^2 < A_p \end{aligned}$$

Maka garis netral plastis berada pada pelat.

$$\begin{aligned} Y_{pb} &= \frac{A_b}{b_e} = \frac{9892,2}{500} = 19,784 \text{ mm} \\ Y_{pt} &= h + tp - Y_{pb} = 200 + 22 - 19,784 = 202,22 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \sum A_i y_1 \\ &= ((j - 2tr) \cdot tr \cdot (Y_{pt} - 0,5tr)) + 2(tr \cdot h' \cdot (Y_{pt} - 0,5h)) + \\ &\quad (0,5 \cdot b_e \cdot (tp - Y_{pb})^2) + (0,5 \cdot b_e \cdot Y_{pb}^2) \\ &= ((150 - 32) \cdot 16 \cdot (202,22 - 8)) + 2(16 \cdot 213,6 \cdot (202,22 \\ &\quad - 100)) + (0,5 \cdot 500 \cdot (22 - 19,784)^2) + (0,5 \cdot 500 \cdot \\ &\quad 19,784^2) \\ &= 1164426,27 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_y &= \sum A_i y_1 \\ &= (0,25 \cdot tp \cdot b_e^2) + \left(2h' \cdot tr \left(0,5j + \left(0,5h \cdot \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. \tan \left(\tan^{-1} \left(\frac{0,5(a-j)}{h} \right) \right) \right) - \left(0,5 \frac{tr}{\cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{0,5(a-j)}{h} \right) \right) \right) \right) \right) + \\ &\quad (0,25 \cdot tr \cdot (j - 2tr)^2) \\ &= (0,25 \cdot 22 \cdot 500^2) + (2 \cdot 213,6 \cdot 16 \cdot 103,96) + (0,25 \cdot 16 \cdot \\ &\quad 130^2) \\ &= 2141256,337 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

b) Kontrol Kapasitas Tekan

Kapasitas tekan struktur dianalisa berdasarkan AISC 360-10 Chapter E. Kekangan pada ujung-ujung *rib* pada *floor beam* dianggap sebagai jepit-jepit, maka nilai faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan AISC 360-10 Appendix 7.

$$K = 0,65$$

$$r = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{120378463,5}{19784,39}} = 78,003 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,65 \times 5000}{78,003} = 41,665 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 114,23$$

Maka nilai F_e ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{41,665^2} = 1137,08 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{340}{1154,01} = 0,299 < 2,25$$

Sehingga F_{cr} dihitung sebagai berikut,

$$\begin{aligned} F_{cr} &= [0,685^{F_y/F_e}] F_y \\ &= [0,685^{0,299}] 340 \\ &= 303,63 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\ &= 303,63 \cdot 19784,39 \\ &= 6007183,5 \text{ N} \\ &= 6007,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= \phi P_n \\
 &= 0,9 \cdot 6007,2 \\
 &= 5406,5 \text{ kN} > P_r = 1147,1 \text{ kN} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_n/\Omega \\
 &= 6007,2/1,67 \\
 &= 3597,1 \text{ kN} > P_r = 1027,2 \text{ kN} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

c) Kontrol Kapasitas Tarik

Kapasitas tarik struktur dianalisa dalam kapasitas leleh pada penampang bruto saja dalam poin ini berdasarkan AISC 360-10 Chapter D. Untuk analisa ruptur pada penampang netto dan analisa geser blok akan dianalisa dalam pembahasan sambungan antar segmen.

$$P_n = F_y A_g = 340 \cdot 19784,39 = 6726691,512 \text{ N} = 6726,7 \text{ kN}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= \phi P_n \\
 &= 0,9 \cdot 6726,7 \\
 &= 6054 \text{ kN} > P_r = 1093,3 \text{ kN} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_n/\Omega \\
 &= 6726,7/1,67 \\
 &= 4028 \text{ kN} > P_r = 825,48 \text{ kN} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

d) Kontrol Kapasitas Lentur

i. Rasio Lebar Tebal

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_e}{2tp} = \frac{500}{2 \times 22} = 11,364$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 27,164$$

$$\lambda_r = 1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 33,955$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa $\lambda < \lambda_p$, maka pelat sayap tergolong kompak.

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{h}{2tr} = \frac{200}{2 \times 16} = 6,25$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 58,694$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 138,25$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa $\lambda < \lambda_p$, maka pelat badan tergolong kompak.

ii. Kapasitas Lentur terhadap Sumbu X

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 AISC 360-10 Chapter F.

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= F_y \cdot Z_x \\ &= 340 \cdot 1164426,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 395904931,48 \text{ N-mm} \\
 &= 395,905 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 M_c &= \phi M_n \\
 &= 0,9 \cdot 395,905 \\
 &= 356,314 \text{ kN-m} > M_r = 58,93 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 M_c &= M_n / \Omega \\
 &= 395,905 / 1,67 \\
 &= 237,07 \text{ kN-m} > M_r = 44,79 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

iii. Kapasitas Lentur terhadap Sumbu Y

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 AISC 360-10 Chapter F.

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p \\
 &= F_y \cdot Z_y \\
 &= 340 \cdot 2141256,337 \\
 &= 728027154,61 \text{ N-mm} \\
 &= 728,017 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 M_c &= \phi M_n \\
 &= 0,9 \cdot 728,017 \\
 &= 655,224 \text{ kN-m} > M_r = 175,45 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 M_c &= M_n / \Omega \\
 &= 728,017 / 1,67 \\
 &= 435,94 \text{ kN-m} > M_r = 144,35 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

e) Kontrol Kapasitas Geser

Kapasitas geser *orthotropic* dikontrol sesuai AISC 360-10 Chapter G2 dan G5 sebagai berikut.

i. Geser Vertikal

$$\begin{aligned}
 k_v &= 5 \\
 h &= h - 3t_r = 200 - (3 \cdot 16) = 152 \text{ mm} \\
 t_w &= 2t_r = 2 \cdot 16 = 32 \text{ mm} \\
 \frac{h}{t_w} &= \frac{170}{32} = 4,8 < 1,1 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 16,679, \text{ maka } C_v = 1 \\
 A_w &= h \cdot t_w = 152 \cdot 32 = 4864 \text{ mm}^2 \\
 V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\
 &= 0,6 \cdot 340 \cdot 4864 \cdot 1 \\
 &= 992256 \text{ N} \\
 &= 992,26 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 V_c &= \phi V_n \\
 &= 0,9 \cdot 992,26 \\
 &= 893,03 \text{ kN} > V_r = 24,101 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 V_c &= V_n / \Omega \\
 &= 992,26 / 1,67 \\
 &= 594,17 \text{ kN} > V_r = 21,49 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

ii. Geser Horizontal

$$k_v = 5$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{a}{tp} = \frac{300}{22} = 13,636 < 1,1 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 26,679, \text{ maka } C_v = 1$$

$$A_w = (a \cdot tp) + (j \cdot tr) = (300 \cdot 22) + (150 \cdot 16) = 9000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,6 \cdot 340 \cdot 9000 \cdot 1 \\ &= 1836000 \text{ N} \\ &= 1836 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= \phi V_n \\ &= 0,9 \cdot 1836 \\ &= 1652,4 \text{ kN} > V_r = 69,378 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= V_n / \Omega \\ &= 1836 / 1,67 \\ &= 1099,4 \text{ kN} > V_r = 57,31 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

f) Kontrol Kombinasi Aksial-Lentur

Kontrol kombinasi aksial-lentur dihitung sesuai AISC 360-10 Chapter H1. Sedangkan untuk kontrol kombinasi geser-lentur tidak perlu dikontrol dikarenakan gaya geser relatif kecil.

Apabila nilai $\frac{Pr}{P_c} \geq 2$ maka kombinasi dihitung dengan persamaan berikut,

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mr_x}{Mc_x} + \frac{Mr_y}{Mc_y} \right) \leq 1,0$$

Sedangkan apabila nilai $\frac{Pr}{Pc} < 2$ maka kombinasi dihitung dengan persamaan berikut,

$$\frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mr_x}{Mc_x} + \frac{Mr_y}{Mc_y} \right) \leq 1,0$$

Kontrol kombinasi dilakukan elemen dengan gaya aksial dan momen yang dominan sebagai berikut:

i. Aksial Dominan

Pada elemen nomor 8484 akibat kombinasi beban KUAT 1-B1, dengan gaya aksial dan momen sebesar:

$$\begin{aligned} Pr &= 1147,1 \text{ kN} \\ Mr_x &= 30,01 \text{ kN-m} \\ Mr_y &= 127 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{1147,1}{5406,5} = 0,17953 < 0,2, \text{ maka}$$

$$\frac{1147,1}{5406,5} + \frac{8}{9} \left(\frac{30,01}{356,314} + \frac{127}{655,22} \right) = 0,46 < 1,0 \text{[memenuhi]}$$

ii. Momen Dominan

Pada elemen 8405 akibat kombinasi beban KUAT 1-A1, dengan gaya aksial dan momen sebesar:

$$\begin{aligned} Pr &= 582,9 \text{ kN} \\ Mr_x &= 45,0 \text{ kN-m} \\ Mr_y &= 175,45 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{582,9}{5406,5} = 0,11 > 0,2, \text{ maka}$$

$$\frac{582,9}{2 \times 5406,5} + \left(\frac{45,0}{356,314} + \frac{175,45}{655,22} \right) = 0,45 < 1,0 \text{[memenuhi]}$$

g) Sambungan Pelat Orthotropic pada Floor Beam

Untuk sambungan pelat *orthotropic* pada *floor beam* digunakan sambungan las *fillet* yang diatur dalam AISC 360-10 Chapter J.

Mutu las yang digunakan adalah E9XTX-X-XM dengan kuat tarik las sebesar $F_{EXX} = 620$ MPa.

i. Kapasitas Nominal

Ketebalan las ditentukan setebal, $t_w = 15$ mm. Sedangkan ketebalan efektif las dihitung sebagai berikut.

$$w = \frac{1}{\sqrt{2}} t_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 15 = 10,607 \text{ mm}$$

Panjang pengelasan,

$$\begin{aligned} l &= e + 2h' + j \\ &= 200 + (2 \cdot 213,6) + 150 \\ &= 777,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Faktor reduksi untuk panjang las,

$$\begin{aligned} \beta &= 1,2 - 0,002 \frac{l}{w} \leq 1,0 \\ &= 1,2 - 0,002 \frac{777,2}{10,607} = 1,053 > 1,0 \\ &= 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{we} &= \beta \cdot l \cdot w = 1,0 \cdot 777,2 \cdot 10,607 = 8243,5 \text{ mm}^2 \\ F_{nw} &= 0,6 F_{EXX} = 0,6 \cdot 620 = 372 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kapasitas nominal las dihitung sebagai berikut:

$$R_n = F_{nw} A_{nw} = 372 \cdot 8243,5 = 3066564,46 \text{ N} = 3066,6 \text{ kN}$$

ii. Kontrol Kapasitas Las terhadap Geser

Kapasitas las terfaktor dihitung sebagai berikut.

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 3066,6 = 2299,9 \text{ kN}$$

Untuk elemen 8404 akibat kombinasi beban KUAT 1-A1 dengan pertimbangan geser x dominan dihitung sebagai berikut.

$$V_x = 68473,1 \text{ N}$$

$$V_y = 20308 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_r &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \\ &= \sqrt{68473,1^2 + 20308^2} \\ &= 71421,1 \text{ N} \\ &= 71,421 \text{ kN} < R_c = 2299,9 \text{ kN} \dots \dots \dots [\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Untuk elemen 8239 akibat kombinasi beban KUAT 1-C dengan pertimbangan geser x dominan dihitung sebagai berikut.

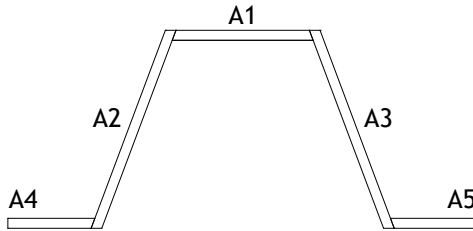
$$V_x = 51304,7 \text{ N}$$

$$V_y = 24101,3 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_r &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \\ &= \sqrt{51304,7^2 + 24101,3^2} \\ &= 56683,8 \text{ N} \\ &= 56,684 \text{ kN} < R_c = 2299,9 \text{ kN} \dots \dots \dots [\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

iii. Kontrol Kapasitas Las terhadap Aksial dan Momen X

Kapasitas aksial las dihitung berdasarkan gaya aksial yang terjadi pada struktur yang didapatkan dari hasil analisa struktur ditambah gaya aksial pada serat penampang las yang diakibatkan momen yang bekerja. Gaya aksial pada serat dihitung dengan metode elastis.



Gambar 8.8 - Penampang las

Luasan bagian-bagian penampang las seperti ditunjukkan pada gambar di atas dihitung menggunakan AutoCAD dengan hasil sebagai berikut:

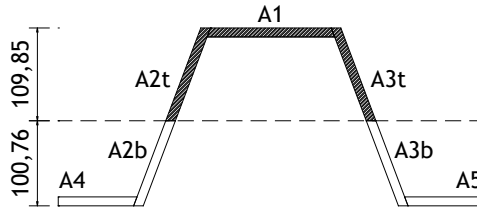
$$\begin{aligned}
 A1 &= 1548,9 \text{ mm}^2 \\
 A2 = A3 &= 2385,8 \text{ mm}^2 \\
 A4 = A5 &= 961,64 \text{ mm}^2 \\
 A_w &= 8243,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Garis netral elastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \frac{(A1 \times 0,5w) + 2(A2 \times 0,5 \times (h+w)) + 2(A4 \times (h+0,5w))}{A1 + 2(A2 + A4)} \\
 &= \frac{(1548,9 \times 5,303) + 2(2385,8 \times 105,3) + 2(961,64 \times 205,3)}{1548,9 + 2(2385,8 + 961,6)} \\
 &= 109,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c_2 = h + w - c_1 = 200 + 10,607 - 109,85 = 100,76 \text{ mm}$$

Luasan serat yang dibatasi garis netral elastis diberikan dalam gambar berikut dan dihitung sebagai berikut.



Gambar 8.9 - Serat atas (terarsir), dan serat bawah (tanpa arsir)

Sudut kemiringan badan *rib* terhadap sumbu vertikal (θ) dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1} \left(\frac{0,5(a-j)}{h} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{0,5(300-150)}{200} \right) \\ &= 20,556^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A2^t &= A3^t \\ &= c_1 \frac{w}{\cos \theta} \\ &= 109,85 \frac{10,607}{\cos 20,556} \\ &= 1244,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A2_b &= A3_b \\ &= c_2 \frac{w}{\cos \theta} \\ &= 100,76 \frac{10,607}{\cos 20,556} \\ &= 1141,4 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A^t &= A1 + A2^t + A3^t \\ &= 1548,9 + 1244,3 + 1244,3 \\ &= 4037,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_b &= A_{2b} + A_{3b} + A_4 + A_5 \\
 &= 1141,4 + 1141,4 + 961,64 + 961,64 \\
 &= 4206,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$I_{wx} = 52191249,75 \text{ mm}^4 \text{ (inersia penampang las dihitung dengan bantuan AutoCAD)}$$

Jarak titik berat luasan serat di atas garis netral ke garis netral dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{2(A_2^t \times 0,5c_1) + (A_1 \times (c_1 - 0,5w))}{2A_2^t + A_1} \\
 &= \frac{2(1244,31 \times 0,5 \times 109,85) + (1548,9(109,85 - 0,5 \times 10,607))}{(2 \times 1244,31) + 1548,9} \\
 &= 73,957 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_2 &= \frac{2(A_{2b} \times 0,5c_2) + 2(A_4(c_2 - 0,5w))}{2(A_{2b} + A_4)} \\
 &= \frac{2(1141,41 \times 0,5 \times 100,76) + 2(961,64(100,76 - 0,5 \times 10,607))}{2(1141,4 + 961,64)} \\
 &= 70,993 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas las pada luasan yang berada di atas garis netral elastis penampang las dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l^t &= 2 \cdot \frac{c_1}{\cos \theta} + j + 2w \\
 &= 2 \cdot \frac{109,85}{\cos 20,556} + 150 + (2 \cdot 10,607) \\
 &= 405,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,2 - 0,002 \frac{l}{w} \leq 1,0 \\
 &= 1,2 - 0,002 \frac{405,84}{10,607} = 1,124 > 1,0 \\
 &= 1,0
 \end{aligned}$$

$$A_{we}^t = \beta l^t w = 1,0 \cdot 405,84 \cdot 10,607 = 4304,6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 R_c^t &= \phi F_{nw} A_{we}^t \\
 &= 0,75 \cdot 372 \cdot 4304,6 \\
 &= 1200985,8 \text{ N} \\
 &= 1200,99 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas las pada luasan yang berada di bawah garis netral elastis penampang las dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l_b &= 2 \frac{c_2}{\cos \theta} + (b_e - a) \\
 &= 2 \frac{100,76}{\cos 20,556} + (300 - 200) \\
 &= 415,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,2 - 0,002 \frac{l}{w} \leq 1,0 \\
 &= 1,2 - 0,002 \frac{415,23}{10,607} = 1,122 > 1,0 \\
 &= 1,0
 \end{aligned}$$

$$A_{web} = \beta l_b w = 1,0 \cdot 415,23 \cdot 10,607 = 4404,1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 R_{cb} &= \phi F_{nw} A_{web} \\
 &= 0,75 \cdot 372 \cdot 4404,1 \\
 &= 1228756,27 \text{ N} \\
 &= 1228,76 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8484 akibat kombinasi beban KUAT 1-B1 dengan pertimbangan gaya aksial dominan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= 1147109,31 \text{ N (aksial tekan)} \\
 M_x &= 37387071,42 \text{ N-mm (momen positif)}
 \end{aligned}$$

Gaya aksial yang terjadi pada serat atas akibat momen positif dihitung sebagai berikut,

$$F_r^t = \frac{M_x y_1}{I_{wx}} = \frac{37387071,42 \times 73,957}{52191249,75} = 52,979 \text{ MPa}$$

$$P^t = Fr^t A^t = 52,979 \cdot 4037,5 = 213903 \text{ N (aksial tekan)}$$

$$\begin{aligned} Rr^t &= \frac{A^t}{A_w} P - P^t \\ &= \frac{4037,5}{8243,8} 1147109,31 + 213903 \\ &= 775,71 \text{ kN} < R_c^t = 1200,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Gaya aksial yang terjadi pada serat bawah akibat momen negatif dihitung sebagai berikut,

$$Fr_b = \frac{M_x y_2}{I_{wx}} = \frac{37387071,42 \times 70,993}{52191249,75} = 50,856 \text{ MPa}$$

$$P_b = Fr_b A_b = 50,856 \cdot 4206,1 = 213903 \text{ N (aksial tarik)}$$

$$\begin{aligned} Rr_b &= \frac{A_b}{A_w} P + P_b \\ &= \frac{4206,1}{8243,8} 1147109,31 - 213903 \\ &= 371369,89 \text{ N} \\ &= 371,37 \text{ kN} < R_{c_b} = 1228,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8405 akibat kombinasi beban KUAT 1-B1 dengan pertimbangan momen dominan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= 494675,8 \text{ N (aksial tekan)} \\ M_x &= 58929168,9 \text{ N-mm (momen positif)} \end{aligned}$$

Gaya aksial yang terjadi pada serat atas akibat momen negatif dihitung sebagai berikut,

$$Fr^t = \frac{M_x y_1}{I_{wx}} = \frac{58929168,9 \times 73,957}{52191249,75} = 83,505 \text{ MPa}$$

$$P^t = Fr^t A^t = 83,505 \cdot 4037,5 = 337151 \text{ N (aksial tekan)}$$

$$\begin{aligned} Rr^t &= \frac{A^t}{A_w} P + P^t \\ &= \frac{4037,5}{8243,8} 494675,8 + 337151 \\ &= 579,425 \text{ kN} < Rc^t = 1200,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Gaya aksial yang terjadi pada serat bawah akibat momen negatif dihitung sebagai berikut,

$$Fr_b = \frac{M_x y_2}{I_{wx}} = \frac{58929168,9 \times 70,993}{52191249,75} = 80,158 \text{ MPa}$$

$$P_b = Fr_b A_b = 80,158 \cdot 4206,1 = 337152 \text{ N (aksial tarik)}$$

$$\begin{aligned} Rr_b &= P_b - \frac{A_b}{A_w} P \\ &= 337152 - \frac{4206,1}{8243,8} 494675,8 \\ &= 84761,005 \text{ N} \\ &= 84,761 \text{ kN} < Rc_b = 1228,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

iv. Kontrol Kapasitas Las terhadap Aksial dan Momen Y

Garis netral elastis pada sumbu y dihitung sama dengan $0,5 b_e$ karena penampang simetris terhadap sumbu y.

$$c = 0,5 b_e = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ mm}$$

Jarak titik berat luasan kanan/kiri ke garis netral dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 x &= \\
 &= \frac{(0,25A_1(j-2tr)) + (A_2(0,5j + (0,5(h+w) - w) \tan \theta + 0,5(w/\cos \theta))) + (A_4(c - 0,5(0,5(b_e - a) - (w/\cos \theta))))}{0,5A_1 + A_2 + A_4} \\
 &= \frac{(0,25 \times 1548,9 \times 200) + (2385,8 \times 116,18) + (961,6 \times 260,41)}{774,4 + 2385,8 + 961,64} \\
 &= 146,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena penampang simetris dalam bidang y maka luasan serat tertekan sama dengan luasan serat tertarik.

$$\begin{aligned}
 A_t &= A_c \\
 &= 0,5A_1 + A_2 + A_4 \\
 &= 774,4 + 2385,8 + 961,64 \\
 &= 4121,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$I_{wy} = 151564930 \text{ mm}^2 \text{ (dihitung menggunakan AutoCAD)}$$

Kapasitas penampang salah satu serat baik dalam keadaan tertarik maupun tertekan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 l_{t-c} &= 0,5 (b_e - a) + h' + 0,5j \\
 &= 0,5 (500 - 300) + 213,6 + (0,5 \cdot 150) \\
 &= 388,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w} \right) \leq 1,0 \\
 &= 1,2 - 0,002 \left(\frac{388,6}{10,607} \right) = 1,127 > 1,0 \\
 &= 1,0
 \end{aligned}$$

$$A_{wet-c} = \beta l_{t-c} w = 1,0 \cdot 388,6 \cdot 10,607 = 4121,7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 RC_{t-c} &= \phi F_{nw} A_{wet-c} \\
 &= 0,9 \cdot 372 \cdot 4121,7
 \end{aligned}$$

$$= 1149961,67 \text{ N}$$

$$= 1149,962 \text{ kN}$$

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8484 akibat kombinasi beban KUAT 1-B1 dengan pertimbangan gaya aksial dominan dihitung sebagai berikut:

$$P = 1147109,3 \text{ N (aksial tekan)}$$

$$M_y = 126996043,6 \text{ N-mm}$$

Gaya aksial yang terjadi pada masing-masing serat akibat momen.

$$F_{r_t} = F_{r_c}$$

$$= \frac{M_y \cdot x}{I_{wy}}$$

$$= \frac{126996043,6 \times 146,79}{151564930}$$

$$= 122,99 \text{ MPa}$$

$$Pr_t = F_{r_t} A_t = 122,99 \cdot 4121,9 = 506961,332 \text{ N}$$

$$Pr_c = F_{r_c} A_c = 122,99 \cdot 4121,9 = 506961,332 \text{ N}$$

Gaya yang paling menentukan yang terjadi pada serat penampang las adalah gaya tekan yang dihitung sebagai berikut.

$$R_r = 0,5P + Pr_c$$

$$= (0,5 \cdot 1147109,3) + 506961,332$$

$$= 1080515,99 \text{ N}$$

$$= 1080,52 \text{ kN} < R_{c-t} = 1149,962 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Kontrol kekuatan las pada elemen nomor 8405 akibat kombinasi beban KUAT 1-A1 dengan pertimbangan gaya aksial dominan dihitung sebagai berikut:

$$P = 582898,23 \text{ N (aksial tekan)}$$

$$M_y = 175446940,9 \text{ N-mm}$$

Gaya aksial yang terjadi pada masing-masing serat akibat momen.

$$\begin{aligned}
 Fr_t &= Fr_c \\
 &= \frac{M_y \cdot x}{I_{wy}} \\
 &= \frac{159045923 \times 146,79}{151564930} \\
 &= 169,92 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$Pr_t = Fr_t A_t = 169,92 \cdot 4121,9 = 700374,692 \text{ N}$$

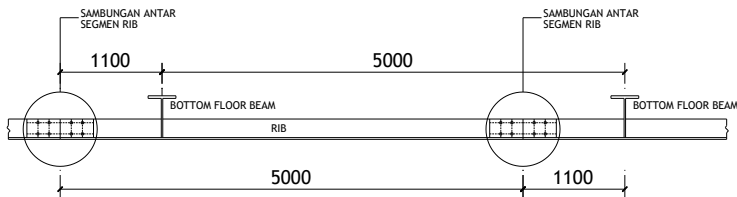
$$Pr_c = Fr_c A_c = 169,92 \cdot 4121,9 = 700374,692 \text{ N}$$

Gaya yang paling menentukan yang terjadi pada serat penampang las adalah gaya tekan yang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Rr &= 0,5P + Pr_c \\
 &= (0,5 \cdot 582898,23) + 700374,692 \\
 &= 991823,81 \text{ N} \\
 &= 991,824 \text{ kN} < R_{c-c} = 1149,962 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

h) Sambungan antar Segmen

Untuk sambungan antar segmen *rib* digunakan sambungan baut. Sambungan baut dipilih dengan pertimbangan kemudahan dalam tahap pelaksanaan. Posisi sambungan antar segmen *rib* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 8.10 – Sambungan segmen *bottom orthotropic plate*

Baut yang digunakan merupakan baut mutu tinggi dengan tipe Group B ASTM-A490 dengan spesifikasi diberikan sebagai berikut.

Jenis struktural baut	= tipe friksi
Tipe baut	= Group B ASTM-A490
Kuat tarik nominal, F_{nt}	= 780 MPa
Kuat geser nominal, F_{nv}	= 579 MPa
Diameter baut, D_b	= 24 mm [M24]
Diameter lubang, D	= 27 mm
Pratarik minimum, T_b	= 257 kN

i. Kapasitas Satu Buah Baut

Tipe struktur baut yang digunakan adalah tipe friksi, sehingga kapasitas satu buah baut diitung sebagai berikut.

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

μ = 0,5 (koefisien gesek – untuk permukaan yang tidak dicat dan dibersihkan pada permukaannya atau dilapisi dengan coating kelas B)

D_u = 1,13 (faktor pengkali)

h_f = 1,0 (faktor untuk filler – tanpa filler)

n_s = 3 (jumlah bidang gesek – 2 antara pelat dengan kepala baut dan 1 antar pelat)

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 257 \cdot 3 = 435,62 \text{ kN}$$

Jumlah baut ditentukan secara konservatif dengan pertimbangan kapasitas terhadap gaya aksial.

$$R_c = \phi R_n = 1 \cdot 435,62 = 435,62 \text{ kN}$$

Gaya aksial maksimum,

$$R_r = 1108,9 \text{ kN}$$

$$N = \frac{R_r}{R_c} = \frac{1108,9}{435,62} = 2,55 \approx 3 \text{ buah} \rightarrow \text{digunakan 8 buah}$$

Untuk pertimbangan kapasitas terhadap momen maka digunakan baut sebanyak 8 buah. Ketentuan spasi untuk baut diatur dalam AISC 360-10 Chapter J3.3 sampai J3.5 sebagai berikut.

Ketentuan spasi antar baut:

$$3D \leq S \leq 24t_r \text{ (atau 305 mm)}$$

Ditentukan, $S = 120 \text{ mm}$

$$3D = 81 \text{ mm} < S = 200 \text{ mm} < 12t_r = 240 \text{ mm}$$

Ketentuan spasi pada baut ujung dan bagian ujung pelat:

Spasi minimum diambil dari AISC 360-10 Table J3.4M = 30 mm

Spasi maksimum sebesar $12t_r = 120 \text{ mm}$

Maka ditentukan, $S_1 = 120 \text{ mm}$

ii. Kapasitas Baut dalam Menahan Gaya Geser dan Momen

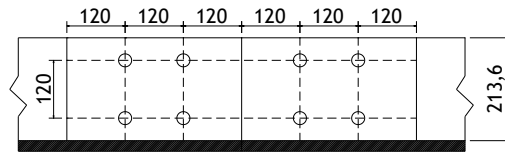
Kapasitas kelompok baut dalam menahan kombinasi gaya geser dan momen dianalisa dengan metode elastis. Struktur di analisa pada elemen dengan kondisi momen dan geser dominan yaitu pada elemen nomor 8405 akibat kombinasi beban KUAT 1-B1 dengan gaya-gaya diberikan sebagai berikut.

$$P_x = P = 494675,84 \text{ N}$$

$$P_y = V = 19895,96 \text{ N}$$

$$M = 58929168,89 \text{ N-mm}$$

Susunan baut diberikan sebagai berikut:



Gambar 8.11 - Susunan baut sambungan segmen pada rib

Variabel-variabel perhitungan diberikan sebagai berikut:

$$\Delta P_x = P_x/N = 494675,84/8 = 143389 \text{ N}$$

$$\Delta P_y = P_y/N = 19895,96/8 = 1896,2 \text{ N}$$

$$K_{xi} = \frac{M \times y}{\sum(x^2 + y^2)} \quad K_{yi} = \frac{M \times x}{\sum(x^2 + y^2)}$$

$$R_c = 435,62 \text{ kN} = 435620 \text{ N}$$

Perhitungan gaya pada kelompok baut diberikan pada tabel berikut:

Tabel 8.27 – Perhitungan baut segmen *bottom orthotropic plate*

No	x	y	x ²	y ²	M	M . X	M . Y
	mm	mm	mm ²	mm ²	N-mm	N-mm ²	N-mm ²
1	60	120	3600	14400	58929168.9	3535750133	7071500267
2	60	120	3600	14400	58929168.9	3535750133	7071500267
3	60	120	3600	14400	58929168.9	3535750133	7071500267
4	60	120	3600	14400	58929168.9	3535750133	7071500267
			$\sum(x^2 + y^2)$	72000			

Tabel 8.28 - Perhitungan baut segmen *bottom orthotropic plate*
(lanjutan)

No	Kx	Ky	ΔPx	ΔPy	Rr	Rc	Keterangan
	N	N	N	N	N	N	
1	-98215	49107.6	-143389	-1896.2	246173	435615	memenuhi
2	98215.3	49107.6	-143389	-1896.2	65342	435615	memenuhi
3	-98215	-49108	-143389	-1896.2	246929	435615	memenuhi
4	98215.3	-49108	-143389	-1896.2	68132	435615	memenuhi

iii. Kapasitas Tarik Ruptur Penampang Efektif Rib

Kapasitas tarik ruptur penampang efektif *rib* dihitung berdasarkan posisi lubang baut sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - n \cdot t_r \cdot D \\ &= 19784,4 - (4 \cdot 16 \cdot 27) \\ &= 18056,4 \text{ mm}^2 > 85\% A_g = 16816,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= A_n \leq 85\% A_g \\ &= 16816,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$P_n = F_u A_e = 450 \cdot 16816,7 = 7567527,951 \text{ N} = 7567,53 \text{ kN}$$

Kapasitas tarik ruptur dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

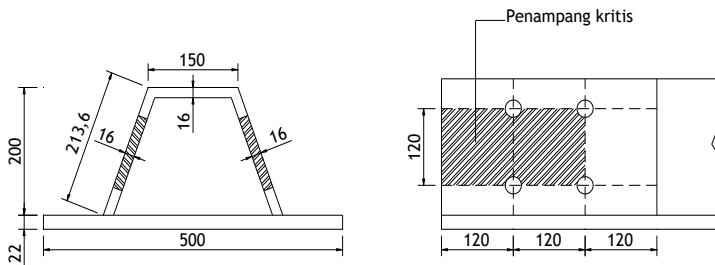
$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,75 \cdot 7567,53 \\ &= 5675,65 \text{ kN} > P_r = 1093,25 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas tarik ruptur dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_n / \Omega \\
 &= 7567,53 / 2 \\
 &= 3783,76 \text{ kN} > P_r = 825,48 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

iv. Kapasitas Geser Blok

Kapasitas geser blok penampang rib dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter J4.3 sebagai berikut.



Gambar 8.12 - Penampang kritis geser blok (terarsir)

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

$$\begin{aligned}
 U_{bs} &= 1,0 \text{ (untuk tegangan tarik merata)} \\
 F_y &= 340 \text{ MPa} \\
 F_u &= 450 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= 2 (S - D) t_r = 2 (120 - 27) 16 = 2976 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= 2 (S_1 + S - 1,5D) t_r = 2 (240 - 1,5 \cdot 27) 16 = 6384 \text{ mm}^2 \\
 A_{gv} &= 2 (S_1 + S) t_r = 2 \cdot 240 \cdot 16 = 7680 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} &= 0,6 \cdot 450 \cdot 6384 + 1,0 \cdot 450 \cdot 2976 \\
 &= 2976 \\
 &= 3062880 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} &= 0,6 \cdot 340 \cdot 7680 + 1,0 \cdot 450 \cdot \\
 &2976 \\
 &= 2905920 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$R_n = 2905920 \text{ N} = 2905,92 \text{ kN}$$

Kapasitas geser blok penampang kritis rib dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_c &= \phi R_n \\
 &= 0,75 \cdot 2905,92 \\
 &= 2179,44 \text{ kN} > R_r = 1093,3 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

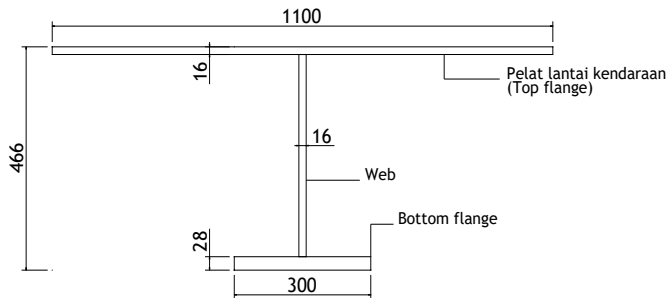
Kapasitas geser blok penampang kritis rib dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_c &= R_n / \Omega \\
 &= 2905,92 / 2 \\
 &= 1452,96 \text{ kN} > R_r = 825,48 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

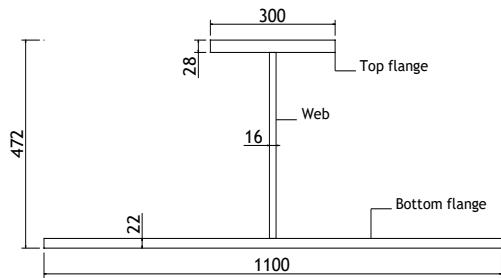
BAB 9 DESAIN FLOOR BEAM

Struktur *floor beam* atau gelagar melintang tesusun dari pelat lantai kendaraan yang diperkuat oleh profil T sehingga keduanya bekerja bersama-sama layaknya balok WF yang tidak sismetris. Pada pelat lantai kendaraan ditentukan lebar efektif di mana pada lebar efektif tersebut dianalisa sebagai kesatuan *flange* dari *floor beam*.

Floor beam dalam desain jembatan *cable stayed* ini terbagi menjadi 2 jenis *floor beam*, yaitu *floor beam* pada bagian atas penampang dek (*top floor beam*) dan *floor beam* pada bagian bawah penampang dek (*bottom floor beam*). Ilustrasi masing-masing *floor beam* diberikan pada gambar berikut.



Gambar 9.1 - Penampang *top floor beam*



Gambar 9.2 - Penampang *bottom floor beam*

9.1 Top Floor Beam

9.1.1 Hasil Analisa Struktur

Analisa dalam LRFD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 9.1 – Tekan maksimum LRFD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
3057	KUAT-1-D	I[6821]	-1818876.03	357721.16	-353217.46
3057	KUAT-1-D	2/4	-1818878.80	357721.16	-353079.06
3057	KUAT-1-D	J[6617]	-1818881.56	357721.16	-352940.65

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-8553585.33	-129082412.83	685891282.75
-8553585.33	-84806439.81	641041982.88
-8553585.33	-40547819.35	596192683.01

b) Tarik Maksimum

Tabel 9.2 – Tarik maksimum LRFD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
3056	KUAT-1-A4	I[6548]	2594309.03	-226162.20	367286.73
3056	KUAT-1-A4	2/4	2594306.26	-226162.20	367425.14
3056	KUAT-1-A4	J[6412]	2594303.50	-226162.20	367563.54

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
6482946.73	127349348.88	-528889099.06
6482946.73	81292088.56	-500534006.77
6482946.73	35217475.70	-472178914.48

c) Geser X Maksimum

Tabel 9.3 – Geser x maksimum LRFD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
2852	KUAT-1-A4	I[6548]	456066.09	486562.23	2290.74
2852	KUAT-1-A4	2/4	456060.57	486562.23	2566.72
2852	KUAT-1-A4	J[6412]	456055.05	486562.23	2842.71

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-3062368.17	3098971.81	413339884.79
-3062368.17	2491788.31	291699325.08
-3062368.17	1815609.29	170058765.36

d) Geser Y Maksimum

Tabel 9.4 – Geser y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
2955	KUAT-1-C	I[6651]	-107067.60	-126974.96	-577276.47
2955	KUAT-1-C	2/4	-107070.36	-126974.96	-577138.06
2955	KUAT-1-C	J[6515]	-107073.13	-126974.96	-576999.66

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-5564529.42	-423204747.67	305860813.57
-5564529.42	-350837370.66	321780302.68
-5564529.42	-278487346.20	337699791.79

e) Momen X Maksimum

Tabel 9.5 – Momen x maksimum LRFD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
2955	KUAT-1-C	I[6651]	-107067.60	-126974.96	-577276.47
2955	KUAT-1-C	2/4	-107070.36	-126974.96	-577138.06
2955	KUAT-1-C	J[6515]	-107073.13	-126974.96	-576999.66

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-5564529.42	-423204747.67	305860813.57
-5564529.42	-350837370.66	321780302.68
-5564529.42	-278487346.20	337699791.79

f) Momen Y Maksimum

Tabel 9.6 – Momen y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
2987	KUAT-1-A4	I[6683]	555748.69	228235.91	-22478.46
2987	KUAT-1-A4	42770	555745.92	228235.91	-22340.06
2987	KUAT-1-A4	J[6547]	555743.16	228235.91	-22201.65

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-9043876.39	16134853.74	697608311.22
-9043876.39	18944415.30	668993227.32
-9043876.39	21736624.31	640378143.42

Analisa dalam ASD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 9.7 – Tekan maksimum ASD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
3057	LAYAN-2-D	I[6821]	-1350368.15	306712.43	-258019.47
3057	LAYAN-2-D	2/4	-1350370.67	306712.43	-257893.64
3057	LAYAN-2-D	J[6617]	-1350373.18	306712.43	-257767.82

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-7862590.94	-104191958.61	622181083.03
-7862590.94	-71850648.48	583727003.78
-7862590.94	-39525113.40	545272924.53

b) Tarik Maksimum

Tabel 9.8 – Tarik maksimum ASD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
3056	LAYAN-2-D	I[6820]	1494618.26	-221605.55	206633.14
3056	LAYAN-2-D	2/4	1494615.74	-221605.55	206758.96
3056	LAYAN-2-D	J[6616]	1494613.23	-221605.55	206884.79

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
6532492.30	61142595.91	-521088751.58
6532492.30	35228072.62	-493304950.06
6532492.30	9297774.30	-465521148.54

c) Geser X Maksimum

Tabel 9.9 – Geser x maksimum ASD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
2852	LAYAN-2-A4	I[6548]	151797.80	435015.05	-32022.71
2852	LAYAN-2-A4	2/4	151792.78	435015.05	-31771.82
2852	LAYAN-2-A4	J[6412]	151787.76	435015.05	-31520.93

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-2859832.11	-20204996.36	374448831.83
-2859832.11	-12230680.09	265695067.21
-2859832.11	-4319087.03	156941302.59

d) Geser Y Maksimum

Tabel 9.10 – Geser y maksimum ASD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
813	LAYAN-2-B1	I[6548]	-472389.25	-52431.72	457733.40
813	LAYAN-2-B1	2/4	-472391.75	-52431.72	457859.03
813	LAYAN-2-B1	J[6412]	-472394.26	-52431.72	457984.65

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
787698.33	-2731931.91	3942251.45
787698.33	-60036512.58	10505384.51
787698.33	-117356817.97	17068517.56

e) Momen X Maksimum

Tabel 9.11 – Momen x maksimum ASD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
2955	LAYAN-2-C	I[6651]	-187802.08	-2667.29	-337568.65
2955	LAYAN-2-C	2/4	-187804.60	-2667.29	-337442.82
2955	LAYAN-2-C	J[6515]	-187807.11	-2667.29	-337317.00

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-5564529.42	-236547933.50	290902483.57
-5564529.42	-194233142.85	291236894.95
-5564529.42	-151934127.23	291571306.32

f) Momen Y Maksimum

Tabel 9.12 – Momen y maksimum ASD

Element	Comb	Part	P (N)	Vx (N)	Vy (N)
2988	LAYAN-2-A4	I[6684]	139794.12	302430.46	-47930.37
2988	LAYAN-2-A4	2/4	139791.61	302430.46	-47804.54
2988	LAYAN-2-A4	J[6548]	139789.09	302430.46	-47678.72

T (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-7747254.58	-24145257.93	626882604.55
-7747254.58	-18143874.28	588965377.71
-7747254.58	-12158265.67	551048150.87

9.1.2 Kapasitas Top Floor Beam

Kapasitas *floor beam* dihitung dengan acuan AISC 360-10 sebagaimana dijabarkan berikut.

a) Data Perencanaan

Digunakan profil T sebagai penguat pelat dengan produk Continental Steel dengan mutu ASTM Grade 60 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_y &= 450 \text{ MPa} \\ F_u &= 520 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pelat lantai berperilaku sebagai *flange* dari *floor beam* dan diambil lebar efektifnya sebagai lebar *flange* dengan mengikuti ketentuan AASHTO LRFD 2012 4.6.2.6.4 sebagai berikut.

Panjang floor beam, L = 5500 mm
 Jarak antar floor beam, B = 5000 mm

Jika,

$L/B \geq 5$, maka $b_e = B$
 $L/B < 5$, maka $b_e = L/5$

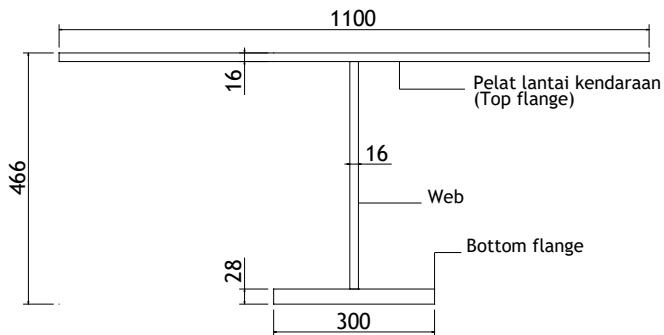
$L/B = 5500/5000 = 1,1 < 5$, maka

$B = 5500/5 = 1100$ mm

Section properties dari penampang diberikan sebagai berikut.

Tabel 9.13 – *Section properties of top floor beam*

Hw	tw	Bf1	tf1	Bf2	tf2	A	Ix	Iy	rx	ry
m	m	mm	m	m	m	mm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm
42	16	110	16	30	28	3275	12526	18378	19.55	23.68
2		0		0		2	7	1	7	8



Gambar 9.3 - Cross section *top floor beam*

Modulus elastis penampang:

Garis netral elastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ye_1 &= \frac{(0,5 \times 1100 \times 16^2) + (16 \times 422 \times (16 + 0,5 \times 422)) + (300 \times 28 \times (16 + 422 + 14))}{(1100 \times 16) + (16 \times 422) + (300 \times 28)} \\
 &= 167,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ye_2 &= tf_1 + Hw + tf_2 - ye_1 = 16 + 422 + 28 - 167,02 = 298,98 \\
 &\text{mm}
 \end{aligned}$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu x dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S_{X^t} &= \frac{Ix}{ye_1} = \frac{1252668981,5}{167,02} = 7500024,584 \text{ mm}^3 \\
 S_{X_b} &= \frac{Ix}{ye_2} = \frac{1252668981,5}{298,98} = 4189836,416 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu y dihitung sebagai berikut.

$$Sy = \frac{Iy}{0,5 \times Bf_1} = \frac{1837810710}{0,5 \times 1100} = 3341474,018 \text{ mm}^3$$

Modulus plastis penampang:

Garis netral plastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Af &= Bf_1 \cdot tf_1 = 1100 \cdot 16 = 17600 \text{ mm}^2 \\
 A^t &= 0,5 \cdot Ag = 0,5 \cdot 32752 = 16376 \text{ mm}^2 < Af
 \end{aligned}$$

Maka garis netral plastis jatuh pada pelat sayap.

$$\begin{aligned}
 yp_1 &= A^t / Bf_1 = 16376 / 1100 = 14,887 \text{ mm} \\
 yp_2 &= tf_1 + Hw + tf_2 - yp_1 = 16 + 422 + 28 - 14,887 = 451,11 \\
 &\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_x &= \sum(A_i + y_i) \\
 &= (0,5 \cdot Bf1 \cdot y_{p1}^2) + (0,5 \cdot Bf1 \cdot (tf1 - y_{p1})^2) + (tw \cdot Hw \cdot \\
 &\quad (y_{p2} - (0,5Hw + tf2))) + (Bf2 \cdot tf2 \cdot (y_{p2} - 0,5tf2)) \\
 &= (0,5 \cdot 1100 \cdot 221,63) + (0,5 \cdot 1100 \cdot 1,2382) + (16 \cdot 422 \\
 &\quad \cdot 212,11) + (300 \cdot 28 \cdot 437,11) \\
 &= 5226510,022 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_y &= \sum(A_i + x_i) \\
 &= (0,25 \cdot tf1 \cdot Bf1^2) + (0,25 \cdot Hw \cdot tw^2) + (0,25 \cdot tf2 \cdot \\
 &\quad Bf2^2) \\
 &= (0,25 \cdot 16 \cdot 1210000) + (0,25 \cdot 422 \cdot 256) + (0,25 \cdot 28 \cdot \\
 &\quad 90000) \\
 &= 5497008 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

b) Kontrol Kapasitas Tekan

i. Rasio Lebar Tebal

$$\begin{aligned}
 kc &= 0,35 \leq 4/\sqrt{h/t_w} \leq 0,76 \\
 &= 0,35 < \leq 4/\sqrt{h/t_w} = 0,779 > 0,76 \\
 &= 0,76
 \end{aligned}$$

Untuk pelat sayap,

$$\lambda = \frac{0,5Bf1}{tf1} = \frac{550}{16} = 34,375$$

$$\lambda_r = 0,64 \sqrt{\frac{kcE}{F_y}} = 0,64 \sqrt{\frac{0,76 \cdot 200000}{450}} = 11,762$$

$\lambda > \lambda_r$, maka pelat sayap tergolong langsing.

ii. Rasio Kelangsingan Efektif

Faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan AISC 360-10 Appendix 7 dengan mengasumsikan perletakan ujung-ujung *floor beam* sebagai sendi-sendi.

$$K = 1,0$$

Kelangsingan terhadap sumbu x,

$L_x = 1000$ mm (jarak antar rangka batang sebagai *bracing floor beam*)

$$\frac{KL_x}{r_x} = \frac{1,0 \cdot 1000}{195,57} = 5,11 < 140 \text{[memenuhi]}$$

Kelangsingan terhadap sumbu y,

$L_y = 200$ mm (jarak bebas tak terkekang oleh *rib orthotropic*)

$$\frac{KL_y}{r_y} = \frac{1,0 \cdot 200}{236,882} = 0,8443 < 140 \text{[memenuhi]}$$

iii. Kuat Tekan Elemen

Kuat tekan elemen langsing dihitung berdasarkan AISC 260-10 Chapter E7 sebagai berikut:

Faktor reduksi untuk elemen langsing,

Untuk elemen yang tidak diperkaku maka nilai $Q_a = 1,0$

Nilai Q_s dihitung sebagai berikut:

$$\frac{0,5Bf_1}{tf_1} = \frac{550}{16} = 34,375 > 1,17 \sqrt{\frac{Ekc}{F_y}} = 1,17 \sqrt{\frac{200000 \times 0,76}{450}} = 21,503$$

maka

$$Q_s = \frac{0,9Ekc}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} = \frac{0,9 \times 200000 \times 0,76}{450 \times 34,75^2} = 0,2573$$

$$Q = Q_s \cdot Q_a = 0,2573 \cdot 1,0 = 0,2573$$

Tegangan kritis:

$$\frac{KL}{r} = 5,11 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{0,2573 \times 450}} = 195,77$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{5,11^2} = 75496,7 \text{ MPa}$$

$$\frac{QF_y}{F_e} = \frac{0,2573 \cdot 450}{75496,7} = 0,0015 < 2,25 \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= Q [0,685^{QF_y/F_e}] F_y \\ &= 0,2573 [0,685^{0,0015}] 450 \\ &= 115,704 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal:

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} A_g \\ &= 115,704 \cdot 32752 \\ &= 3789540,45 \text{ N} \\ &= 3789,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang berdasarkan analisa LRFD:

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,9 \cdot 3789,54 \\ &= 3410,6 \text{ kN} > P_r = 1818,9 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang berdasarkan analisa ASD:

$$\begin{aligned} P_c &= P_n / \Omega \\ &= 3789,54 / 1,67 \\ &= 2269,2 \text{ kN} > P_r = 1350,4 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

c) Kontrol Kapasitas Tarik

Kapasitas kuat tarik penampang dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter D sebagai berikut.

i. Leleh pada Penampang Bruto

$$P_n = F_y A_g = 450 \cdot 32752 = 14738400 \text{ N} = 14738,4 \text{ kN}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,9 \cdot 14738,4 \\ &= 13264,56 \text{ kN} > P_r = 2594,3 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= P_n/\Omega \\ &= 14738,4/1,67 \\ &= 8825,4 \text{ kN} > P_r = 1494,62 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

ii. Tarik Ruptur pada Penampang Netto

Digunakan sambungan las, maka nilai A_n diambil sama dengan A dan nilai U sama dengan 1.

$$\begin{aligned} A_e &= 32752 \text{ mm}^2 \\ P_n &= F_u A_e = 520 \cdot 32752 = 17031040 \text{ N} = 17031,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,75 \cdot 17031,04 \\ &= 12773,3 \text{ kN} > P_r = 2594,3 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= P_n/\Omega \\ &= 17031,04/2 \\ &= 8515,5 \text{ kN} > P_r = 1494,6 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

d) Kontrol Kapasitas Lentur pada Sumbu Kuat

i. Rasio Lebar-Tebal Penampang

$$k_c = 0,76$$

Momen yang dipertimbangkan adalah momen negatif, maka perbandingan modulus elastis penampang tarik dan tekan dihitung sebagai berikut.

$$S_{X_t}/S_{X_c} = S_{X_t}^{\text{top}}/S_{X_t}^{\text{bot}} = 7500024,584/4189836,416 = 1,79 > 0,7$$

$$\text{Maka, } FL = 0,7 \quad F_y = 0,7 \cdot 450 = 315 \text{ MPa}$$

Rasio lebar tebal pelat sayap,

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 8,011$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{FL}} = 0,95 \sqrt{\frac{0,76 \times 200000}{315}} = 20,868$$

$$\lambda_{f1} = \frac{bf1}{2tf1} = \frac{1100}{32} = 34,375 > \lambda_r \text{[pelat sayap langsing]}$$

$$\lambda_{fb} = \frac{bf2}{2tf2} = \frac{300}{56} = 5,36 < \lambda_p \text{[pelat sayap kompak]}$$

Rasio lebar tebal pelat badan,

Akibat momen negatif, kondisi sayap bawah tertekan, maka rasio lebar tebal dihitung sebagai berikut.

$$M_p = F_y Z_x = 450 \cdot 5226510,022 = 2351929509,82 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned} M_y &= F_y S_{x_b} \\ &= 450 \cdot 4189836,416 \\ &= 1885426387,088 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{rw} = 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,7 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 120,17$$

$$\begin{aligned}\lambda_{pw} &= \frac{\left(\frac{hc}{hp}\right)\sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0,54\frac{M_p}{M_y}-0,09\right)^2} \leq \lambda_{rw} \\ &= 41,022 < 120,17 \\ &= 41,022\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_w &= hc/t_w \\ &= (2 \cdot y_{e1}) / t_w \\ &= (2 \cdot 167,02)/16 \\ &= 37,372 < \lambda_{pw} \dots\dots\dots[\text{pelat badan kompak}]\end{aligned}$$

ii. Pelelehan pada Sayap Tertekan

Akibat momen negatif kondisi sayap bawah mengalami tekan, maka leleh pada sayap tertekan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}S_{xc} &= S_{xb} = 4189836,416 \text{ mm}^3 \\ I_{yc} &= \frac{1}{12} t f^2 \cdot B f^3 = \frac{1}{12} \cdot 28 \cdot 300^3 = 63000000 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 1837810710 \text{ mm}^4 \\ \frac{I_{yc}}{I_y} &= \frac{63000000}{1837810710} = 0,0343 < 0,23, \text{ maka nilai } R_{pc} = 1,0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= R_{cp} \cdot M_{yc} \\ &= 1,0 \cdot 1885426387,088 \\ &= 1885426387,088 \text{ N-mm} \\ &= 1885,43 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

iii. Tekuk Torsi Lateral

$$L_b = 200 \text{ mm (jarak bebas antar rib orthotropic plate)}$$

$$L_p = 1,1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{6}a_w\right)}} \text{ dengan } a_w = \frac{hc \cdot t_w}{b_{fct_{fc}}} = \frac{334,044 \times 16}{1100 \times 16} = 0,304$$

$$r_t = \frac{1100}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{6}\cdot 0,304\right)}} = 309,8 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,1 \cdot 309,8 \cdot \sqrt{\frac{200000}{450}} = 7184,3 \text{ mm} > L_b$$

Karena $L_b < L_p$ maka perhitungan tekuk torsi lateral tidak diperlukan.

iv. Pelelehan pada Sayap Tertarik

Apabila $S_{xt} > S_{xc}$ maka tidak diperlukan kontrol.

$$S_{xt} = S_{xt} = 7500024,584 \text{ mm}^3 > S_{xc} = S_{xb} = 4189836,416 \text{ mm}^3$$

Maka tidak diperlukan kontrol terhadap pelelehan pada sayap tertarik.

v. Kontrol yang Paling Menentukan

Dari semua kontrol M_n yang dilakukan, kontrol yang paling menentukan adalah akibat pelelehan pada sayap tertekan.

$$M_n = 1885,43 \text{ kN}$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu kuat dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_c &= \phi M_n \\ &= 0,9 \cdot 1885,43 \\ &= 1696,88 \text{ kN-m} > M_r = 423,2 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu kuat dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_c &= M_n/\Omega \\ &= 1885,43/1,67 \\ &= 1129 \text{ kN-m} > M_r = 236, 55 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

e) **Kontrol Kapasitas Lentur pada Sumbu Lemah**

i. **Rasio Lebar Tebal Pelat Sayap**

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 8,011$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 21,082$$

Sayap atas,

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{0,5Bf1}{t_{f1}} = \frac{550}{16} = 34,38 > \lambda_r, \text{ sayap atas langsing.}$$

Sayap bawah,

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{0,5Bf2}{t_{f2}} = \frac{150}{28} = 5,36 < \lambda_p, \text{ sayap bawah kompak.}$$

ii. **Kapasitas Lentur**

Kapasitas lentur dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter F6.

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y$$

$$F_y Z_y = 450 \cdot 5497008 = 2473653600 \text{ N-mm}$$

$$1,6 F_y S_y = 1,6 \cdot 450 \cdot 3341474,018 = 2405861293,091 \text{ N-mm}$$

$$M_n = 2405861293,091 \text{ N-mm} = 2405,9 \text{ kN-m}$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu lemah dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

$$M_c = \phi M_n$$

$$= 0,9 \cdot 2405,9$$

$$= 2156,28 \text{ kN-m} > M_r = 697,61 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu lemah dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_c &= M_n / \Omega \\ &= 2405,9 / 1,67 \\ &= 1440,64 > M_r = 626,88 \text{ kN-m} \dots\dots\dots [\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

f) Kontrol Kapasitas Geser pada Sumbu Kuat

Geser pada sumbu kuat dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter G2 sebagai berikut.

$$k_v = 5 \text{ (untuk pelat badan tanpa pengaku lateral dan } h/t_w < 260)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{422}{16} = 26,375 < 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot 200000}{450}} = 51,854$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,6 \cdot 450 \cdot 422 \cdot 16 \cdot 1,0 \\ &= 1823040 \text{ N} \\ &= 1823,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= \phi V_n \\ &= 1,0 \cdot 1823,04 \\ &= 1823,04 \text{ kN} > V_r = 577,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 V_c &= V_n / \Omega \\
 &= 1823,04 / 1,5 \\
 &= 1215,36 \text{ kN} > V_r = 457,73 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

g) Kontrol Kapasitas Geser pada Sumbu Lemah

Geser pada sumbu lemah dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter G7 sebagai berikut.

$$k_v = 1,2$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= (B_f1 \cdot t_f1) + (B_f2 \cdot t_f2) \\
 &= (1100 \cdot 16) + (300 \cdot 28) \\
 &= 26000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{b}{t_f} = \frac{550}{16} = 34,375$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{1,2 \cdot 200000}{450}} = 25,403$$

$$1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{1,2 \cdot 200000}{450}} = 34,475$$

$$\frac{b}{t_f} > 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

Maka C_v dihitung sebagai berikut,

$$C_v = \frac{1,5 k_v E}{\left(\frac{b_f}{t_f}\right)^2 F_y} = 0,677$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\
 &= 0,6 \cdot 450 \cdot 26000 \cdot 0,677 \\
 &= 4752714,05 \text{ N} \\
 &= 4752,71 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= \phi V_n \\ &= 1,0 \cdot 4752,71 \\ &= 4752,71 \text{ kN} > V_r = 486,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= V_n/\Omega \\ &= 4752,71/1,5 \\ &= 3168,48 \text{ kN} > V_r = 435,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

h) Kontrol Kombinasi Aksial-Lentur

Analisa kombinasi aksial-lentur dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter H1 sebagai berikut.

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$, maka digunakan persamaan berikut,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

Apabila $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$, maka digunakan persamaan berikut,

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

Dari semua gaya yang diperhitungkan dipilih yang berpotensi memiliki kombinasi terbesar, yaitu pada elemen nomor 3057 akibat kombinasi KUAT 1D (1,1DL + 1,4A-DL + 2LL-D).

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1818,9}{3410,6} = 0,533 > 0,2$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{1818,9}{3410,6} + \frac{8}{9} \left(\frac{129,08}{1696,9} + \frac{596,19}{2165,3} \right) = 0,846 < 1,0$$

Hasil nilai dari kombinasi adalah $0,846 < 1,0$ maka kombinasi dinyatakan memenuhi.

i) Desain Sambungan

Untuk *floor beam* digunakan sambungan las *fillet* yang dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter J.

Mutu las yang digunakan: E8XTX-X-XM

$$F_{EXX} = 550 \text{ MPa}$$

i. Kapasitas Nominal Las

Ketebalan las minimum ditentukan berdasarkan AISC 360-10 Table J2.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} tw &= 12 \text{ mm} \\ w &= 0,7071 \cdot 12 = 8,485 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang pengelasan:

$$\begin{aligned} l &= Bf1 + 2Bf2 + 2Hw - 2tw \\ &= 1100 + (2 \cdot 300) + (2 \cdot 422) - (2 \cdot 16) \\ &= 2512 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang efektif pengelasan:

$$\frac{l}{w} = \frac{2512}{8,485} = 296,04$$

Maka faktor reduksi untuk panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\beta &= 1,2 - 0,002 l/w \leq 1,0 \\ &= 1,2 - 0,002 \cdot 2512/8,485 \\ &= 0,608 < 1\end{aligned}$$

Kekuatan las:

$$\begin{aligned}R_n &= F_{nw} A_{we} \\ A_{we} &= \beta l w \\ &= 0,608 \cdot 2512 \cdot 8,485 \\ &= 12957,7 \text{ mm}^2 \\ \theta &= 0 \text{ (sudut pembebanan)} \\ F_{nw} &= 0,6 F_{EXX} (1 + 0,5 \sin^{1,5}\theta) \\ &= 0,6 \cdot 550 (1 + 0) \\ &= 330 \text{ MPa} \\ R_n &= 330 \cdot 12957,7 \text{ mm}^2 \\ &= 4276055,58 \text{ N} \\ &= 4276,1 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kapasitas las dalam analisa LRFD:

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 4276,1 = 3207 \text{ kN}$$

Kapasitas las dalam analisa ASD:

$$R_c = R_n/\Omega = 4276,1/2 = 2138 \text{ kN}$$

ii. Kontrol terhadap Gaya Geser

Gaya geser yang menentukan sesuai dengan tabel yang telah diberikan:

Untuk LRFD:

$$\begin{aligned}\text{Gaya geser arah x, } R_{rx} &= 126974,96 \text{ N} = 126,975 \text{ kN} \\ \text{Gaya geser arah y, } R_{ry} &= 577276,47 \text{ N} = 577,276 \text{ kN} \\ \text{Gaya geser kombinasi,}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_r &= \sqrt{126,975^2 + 577,276^2} \\ &= 591,08 \text{ kN} < R_c = 3207 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Untuk ASD:

Gaya geser arah x, $R_{rx} = 52431,72 \text{ N} = 52,432 \text{ kN}$

Gaya geser arah y, $R_{ry} = 457984,65 \text{ N} = 457,985 \text{ kN}$

Gaya geser kombinasi,

$$\begin{aligned} R_r &= \sqrt{52,432^2 + 457,985^2} \\ &= 460,73 \text{ kN} < R_c = 2138 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

iii. Kontrol terhadap Gaya Tarik

Untuk LRFD:

Gaya tarik yang paling menentukan adalah,

$$R_r = 2594,31 \text{ kN} < R_c = 3207 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

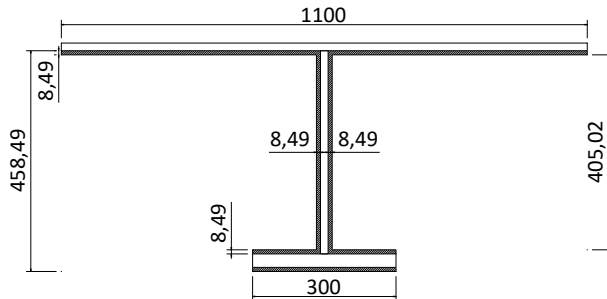
Untuk ASD:

Gaya tarik paling menentukan adalah,

$$R_r = 1494,62 \text{ kN} < R_c = 2138 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

iv. Kontrol terhadap Tarik akibat Momen

Gaya tarik akibat momen ditentukan dengan mencari serat tarik dari penampang las sebagai berikut.

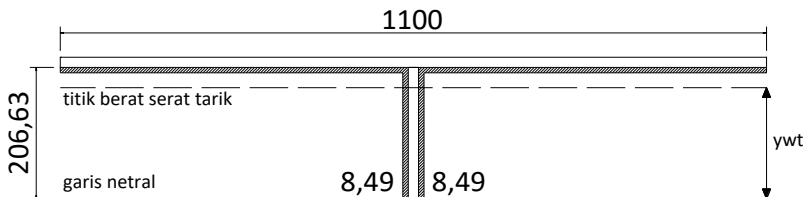


Gambar 9.4 - Penampang las

Mencari letak garis netral:

$$\begin{aligned}
 y_{w1} &= \frac{(9198,05 \times 4,243) + (6873,6 \times 211) + (2409,8 \times 417,76) + (2545,6 \times 726,24)}{9198,05 + 6873,6 + 2409,8 + 2545,6} \\
 &= 206,628 \text{ mm} \\
 y_{w2} &= 458,49 - 206,628 = 251,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada perletakan *floor beam (box girder)* merupakan momen negatif, maka serat yang berada di atas garis netral merupakan serat tarik. Sehingga perlu dihitung jarak antara titik berat luasan serat tertarik dan garis netral.



Gambar 9.5 - Penampang las pada serat tarik

$$y_{wt} = \frac{(3362,6 \times 99,072) + (9198,05 \times 202,39)}{3362,6 + 9198,05} = 174,73 \text{ mm}$$

$$A_{wt} = 12560,6 \text{ mm}^2 \text{ (luasan serat tertarik)}$$

$$\begin{aligned} I_w &= \Sigma I_{wi} + y_{wi}^2 A_{wi} \\ &= \\ 376807051,51 + 94098231,05 + 107433240,99 + 156092219,14 \\ &= 734430742,69 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nw} A_{wt} \\ &= 330 \cdot 12560,6 \\ &= 4145012,9 \text{ N} \\ &= 4145,01 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_t = \frac{M_r y_{wt}}{I_w}, \quad \text{dan} \quad R_r = F_t A_{wt}$$

Kapasitas tarik akibat momen pada pengelasan dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} M_r &= 423204747,67 \text{ N-mm} \\ F_t &= \frac{423204747,67 \times 174,73}{734430742,69} = 100,68 \text{ MPa} \\ R_r &= 100,68 \cdot 12560,6 = 1264658,09 \text{ N} = 1264,7 \text{ kN} \\ R_c &= \phi R_n \\ &= 0,75 \cdot 4145,01 \\ &= 3108,76 \text{ kN} > R_r \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

Kapasitas tarik akibat momen pada pengelasan dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} M_r &= 236547933,5 \text{ N-mm} \\ F_t &= \frac{236547933,5 \times 174,73}{734430742,69} = 56,28 \text{ MPa} \\ R_r &= 56,28 \cdot 12560,6 = 706873,586 \text{ N} = 706,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_c &= R_n / \Omega \\
 &= 4145,01 / 2 \\
 &= 2073 \text{ kN} > R_r \text{[memenuhi]}
 \end{aligned}$$

9.2 Bottom Floor Bam

9.2.1 Hasil Analisa Struktur

Analisa dalam LRFD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 9.14 – Tekan maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3159	KUAT-1-C	I[259]	-2633800.62	134664.94	1132988.51
3159	KUAT-1-C	2/4	-2633749.83	134664.94	1133175.99
3159	KUAT-1-C	J[395]	-2633699.04	134664.94	1133363.47

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-5313277.44	624170185.95	-254752481.24
-5313277.44	424837733.44	-278442810.82
-5313277.44	225472298.55	-302133140.41

b) Tarik Maksimum

Tabel 9.15 – Tarik maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3124	KUAT-1-C	I[3011]	3837958.83	-105335.08	-1030449.22
3124	KUAT-1-C	2/4	3838009.62	-105335.08	-1030261.73
3124	KUAT-1-C	J[3283]	3838060.41	-105335.08	-1030074.25

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
8325334.43	-382603463.59	410802050.00
8325334.43	-201342761.75	429332655.19
8325334.43	-20115042.30	447863260.37

c) Geser X Maksimum

Tabel 9.16 – Geser y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
5367	KUAT-1-C	I[3011]	-173638.93	388367.79	-357974.45
5367	KUAT-1-C	2/4	-173588.91	388367.79	-357789.83
5367	KUAT-1-C	J[3283]	-173538.89	388367.79	-357605.22

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
1421027.55	-35389925.77	18682396.82
1421027.55	26605271.29	-48593767.53
1421027.55	88568488.09	-115869931.88

d) Geser Y Maksimum

Tabel 9.17 – Geser y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3158	KUAT-1-C	I[190]	314394.05	-380509.05	-1157462.22
3158	KUAT-1-C	2/4	314444.84	-380509.05	-1157274.74
3158	KUAT-1-C	J[394]	314495.64	-380509.05	-1157087.25

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-----------	-----------	-----------

-6480454.23	-708434073.67	-420346612.23
-6480454.23	-504829173.68	-353407250.82
-6480454.23	-301257256.08	-286467889.41

e) Momen X Maksimum

Tabel 9.18 – Momen x maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3158	KUAT-1-C	I[190]	314394.05	-380509.05	-1157462.22
3158	KUAT-1-C	2/4	314444.84	-380509.05	-1157274.74
3158	KUAT-1-C	J[394]	314495.64	-380509.05	-1157087.25

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-6480454.23	-708434073.67	-420346612.23
-6480454.23	-504829173.68	-353407250.82
-6480454.23	-301257256.08	-286467889.41

f) Momen Y Maksimum

Tabel 9.19 – Momen y maksimum LRFD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3123	KUAT-1-A1	I[155]	-285051.66	-86377.95	29557.80
3123	KUAT-1-A1	2/4	-285000.87	-86377.95	29745.28
3123	KUAT-1-A1	J[359]	-284950.08	-86377.95	29932.77

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
8859647.72	33271135.83	520749917.27

8859647.72	28054820.76	535945573.23
8859647.72	22805523.32	551141229.19

Analisa dalam ASD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 9.20 – Tekan maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3225	LAYAN-2-C	I[325]	-1763987.21	-141137.51	255830.64
3225	LAYAN-2-C	2/4	-1763941.04	-141137.51	256001.08
3225	LAYAN-2-C	J[461]	-1763894.87	-141137.51	256171.52

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
5280030.79	128130513.27	274940349.80
5280030.79	83109654.40	299769338.36
5280030.79	38058811.55	324598326.93

b) Tarik Maksimum

Tabel 9.21 – Tarik maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3124	LAYAN-2-C	I[156]	3524790.22	-42310.53	-850065.22
3124	LAYAN-2-C	2/4	3524836.40	-42310.53	-849894.78
3124	LAYAN-2-C	J[360]	3524882.57	-42310.53	-849724.34

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
6946153.98	-335492868.22	359245346.16

6946153.98	-185963919.39	366688637.80
6946153.98	-36464954.55	374131929.44

c) Geser X Maksimum

Tabel 9.22 – Geser x maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
5367	LAYAN-2-C	I[3011]	-76175.02	389693.33	-251142.67
5367	LAYAN-2-C	2/4	-76129.55	389693.33	-250974.83
5367	LAYAN-2-C	J[3283]	-76084.08	389693.33	-250807.00

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
1456321.63	-25022678.63	18501286.87
1456321.63	18467719.31	-49004497.83
1456321.63	61929044.29	-116510282.52

d) Geser Y Maksimum

Tabel 9.23 – Geser y maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3260	LAYAN-2-C	I[3011]	2316310.88	198126.20	-897854.83
3260	LAYAN-2-C	2/4	2316376.49	198126.20	-897612.62
3260	LAYAN-2-C	J[3283]	2316442.11	198126.20	-897370.41

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
2278914.17	-346781459.18	207176623.45
2278914.17	-122349954.83	157645498.82

2278914.17	102020997.50	108114374.20
------------	--------------	--------------

e) Momen X Maksimum

Tabel 9.24 – Momen x maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3159	LAYAN-2-C	I[259]	-1563360.54	128280.63	842399.10
3159	LAYAN-2-C	2/4	-1563314.36	128280.63	842569.54
3159	LAYAN-2-C	J[395]	-1563268.19	128280.63	842739.98

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
-6480454.23	474145622.65	-231633352.63
-6480454.23	325935317.59	-254200551.35
-6480454.23	177695028.55	-276767750.06

f) Momen Y Maksimum

Tabel 9.25 – Momen y maksimum ASD

Element	Comb	Part	Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)
3196	LAYAN-2-A3	I[296]	-1100054.10	-42203.39	183525.86
3196	LAYAN-2-A3	2/4	-1100007.93	-42203.39	183696.30
3196	LAYAN-2-A3	J[432]	-1099961.75	-42203.39	183866.74

Tu (N-mm)	Mx (N-mm)	My (N-mm)
7252567.01	88388628.51	445710047.73
7252567.01	56087666.75	453134491.51
7252567.01	23756721.00	460558935.29

9.2.2 Kapasitas Bottom Floor Beam

Kapasitas *floor beam* dihitung dengan acuan AISC 360-10 sebagaimana dijabarkan berikut.

a) Data Perencanaan

Digunakan profil T sebagai penguat pelat dengan produk Continental Steel dengan mutu ASTM Grade 50 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_y &= 340 \text{ MPa} \\ F_u &= 450 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pelat berperilaku sebagai *flange* dari *floor beam* dan diambil lebar efektifnya sebagai lebar *flange* dengan mengikuti ketentuan AASHTO LRFD 2012 4.6.2.6.4 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Panjang floor beam, } L &= 5500 \text{ mm} \\ \text{Jarak antar floor beam, } B &= 5000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika,

$$\begin{aligned} L/B &\geq 5, \text{ maka } b_e = B \\ L/B &< 5, \text{ maka } b_e = L/5 \end{aligned}$$

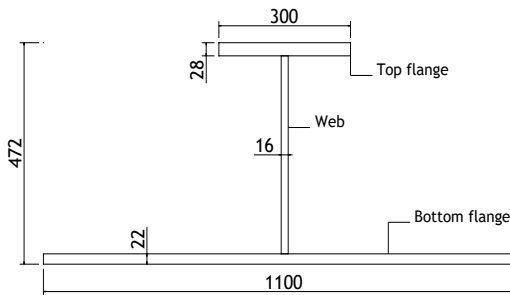
$$L/B = 5500/5000 = 1,1 < 5, \text{ maka}$$

$$B = 5500/5 = 1100 \text{ mm}$$

Section properties dari penampang diberikan sebagai berikut.

Tabel 9.26 – Section properties of bottom floor beam

Hw	tw	Bf1	tf1	Bf2	tf2	A	lx	ly	rx	ry
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm
422	16	300	28	1100	22	39352	141148	250331	18.939	25.222

**Gambar 9.6** - Cross section bottom floor beam

Modulus elastis penampang:

Garis netral elastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ye_1 &= \frac{(0,5 \times 300 \times 28^2) + (16 \times 422 \times (28 + 0,5 \times 422)) + (1100 \times 22 \times (28 + 422 + 11))}{(300 \times 28) + (16 \times 422) + (1100 \times 22)} \\
 &= 327,49 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ye_2 &= tf1 + Hw + tf2 - ye_1 = 28 + 422 + 22 - 327,49 = 144,51 \\
 &\text{mm}
 \end{aligned}$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu x dihitung sebagai berikut.

$$S_{x^t} = \frac{Ix}{ye_1} = \frac{1411479497,75}{327,49} = 4309945,336 \text{ mm}^3$$

$$S_{x_b} = \frac{Ix}{ye_2} = \frac{1411479497,75}{144,51} = 9767591,34 \text{ mm}^3$$

Modulus elastis penampang terhadap sumbu y dihitung sebagai berikut.

$$S_y = \frac{Iy}{0,5 \times Bf_1} = \frac{2503310710}{0,5 \times 1100} = 4551474,018 \text{ mm}^3$$

Modulus plastis penampang:

Garis netral plastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$A_{f_b} = Bf_2 \cdot tf_2 = 1100 \cdot 22 = 24200 \text{ mm}^2$$

$$A_b = 0,5 \cdot Ag = 0,5 \cdot 39352 = 19676 \text{ mm}^2 < A_f$$

Maka garis netral plastis jatuh pada pelat sayap bawah.

$$y_{p_2} = A_b / Bf_2 = 19676 / 1100 = 17,887 \text{ mm}$$

$$y_{p_1} = tf_1 + Hw + tf_2 - y_{p_2} = 28 + 422 + 22 - 17,887 = 454,11 \text{ mm}$$

$$Z_x = \sum(A_i \cdot y_i)$$

$$= (Bf_1 \cdot tf_1 \cdot (y_{p_1} - 0,5tf_1)) + (tw \cdot Hw \cdot (y_{p_1} - (0,5Hw + tf_1))) + (0,5 \cdot Bf_2 \cdot (tf_2 - y_{p_2})^2) + (0,5 \cdot Bf_2 \cdot y_{p_2}^2)$$

$$= (300 \cdot 28 \cdot 440,11) + (16 \cdot 422 \cdot 215,11) + (0,5 \cdot 1100 \cdot 16,15) + (0,5 \cdot 1100 \cdot 319,95)$$

$$= 5334666,022 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = \sum(A_i \cdot x_i)$$

$$= (0,25 \cdot tf_1 \cdot Bf_1^2) + (0,25 \cdot Hw \cdot tw^2) + (0,25 \cdot tf_2 \cdot Bf_2^2)$$

$$= (0,25 \cdot 28 \cdot 90000) + (0,25 \cdot 422 \cdot 256) + (0,25 \cdot 22 \cdot 1210000)$$

$$= 7312008 \text{ mm}^3$$

b) Kontrol Kapasitas Tekan**i. Rasio Lebar Tebal**

$$\begin{aligned}
 kc &= 0,35 \leq 4/\sqrt{h/t_w} \leq 0,76 \\
 &= 0,35 < 4/\sqrt{h/t_w} = 0,779 > 0,76 \\
 &= 0,76
 \end{aligned}$$

Untuk pelat sayap,

$$\lambda = \frac{0,5Bf1}{tf1} = \frac{550}{22} = 25$$

$$\lambda_r = 0,64 \sqrt{\frac{kcE}{Fy}} = 0,64 \sqrt{\frac{0,76 \cdot 200000}{340}} = 13,532$$

$\lambda > \lambda_r$, maka pelat sayap tergolong langsung.

ii. Rasio Kelangsingan Efektif

Faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan AISC 360-10 Appendix 7 dengan mengasumsikan perletakan ujung-ujung *floor beam* sebagai sendi-sendi.

$$K = 1,0$$

Kelangsingan terhadap sumbu x,

$$L_x = 1036 \text{ mm (jarak antar rangka batang sebagai } \textit{bracing floor beam})$$

$$\frac{KL_x}{r_x} = \frac{1,0 \cdot 1000}{189,389} = 5,47 < 140 \text{[memenuhi]}$$

Kelangsingan terhadap sumbu y,

$$L_y = 200 \text{ mm (jarak bebas tak terkekang oleh } \textit{rib orthotropic})$$

$$\frac{KL_y}{r_y} = \frac{1,0 \cdot 200}{257,217} = 0,793 < 140 \text{[memenuhi]}$$

iii. Kuat Tekan Elemen

Kuat tekan elemen langsing dihitung berdasarkan AISC 260-10 Chapter E7 sebagai berikut:

Faktor reduksi untuk elemen langsing,

Untuk elemen yang tidak diperkaku maka nilai $Q_a = 1,0$

Nilai Q_s dihitung sebagai berikut:

$$\frac{0,5Bf_1}{tf_1} = \frac{550}{22} = 25 > 1,17 \sqrt{\frac{E k c}{F_y}} = 1,17 \sqrt{\frac{200000 \times 0,76}{340}} = 24,74 \text{ maka}$$

$$Q_s = \frac{0,9Ekc}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} = \frac{0,9 \times 200000 \times 0,76}{450 \times 25^2} = 0,6438$$

$$Q = Q_s \cdot Q_a = 0,6438 \cdot 1,0 = 0,6438$$

Tegangan kritis:

$$\frac{KL}{r} = 5,47 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{0,6438 \times 340}} = 142,37$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{5,47^2} = 65965,7 \text{ MPa}$$

$$\frac{QF_y}{F_e} = \frac{0,6438 \cdot 340}{65965,7} = 0,0033 < 2,25 \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= Q [0,685^{QF_y/F_e}] F_y \\ &= 0,0033 [0,685^{0,0033}] 340 \\ &= 218,605 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal:

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} A_g \\ &= 218,605 \cdot 39352 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8602559,72 \text{ N} \\
 &= 8602,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas penampang berdasarkan analisa LRFD:

$$\begin{aligned}
 P_c &= \phi P_n \\
 &= 0,9 \cdot 8602,56 \\
 &= 7742,3 \text{ kN} > P_r = 2633,8 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas penampang berdasarkan analisa ASD:

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_n/\Omega \\
 &= 8602,56/1,67 \\
 &= 5151,2 \text{ kN} > P_r = 1764 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

c) Kontrol Kapasitas Tarik

Kapasitas kuat tarik penampang dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter D sebagai berikut.

i. Leleh pada Penampang Bruto

$$P_n = F_y A_g = 340 \cdot 39352 = 13379680 \text{ N} = 13379,68 \text{ kN}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= \phi P_n \\
 &= 0,9 \cdot 13379,68 \\
 &= 12042 \text{ kN} > P_r = 3838,1 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_n/\Omega \\
 &= 13379,68/1,67 \\
 &= 8011,8 \text{ kN} > P_r = 3524,88 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

ii. Tarik Ruptur pada Penampang Netto

Digunakan sambungan las, maka nilai An diambil sama dengan A dan nilai U sama dengan 1.

$$\begin{aligned} A_e &= 39352 \text{ mm}^2 \\ P_n &= F_u A_e = 450 \cdot 39352 = 17708400 \text{ N} = 17708 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,75 \cdot 17708 \\ &= 13281,3 \text{ kN} > P_r = 3838,1 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} P_c &= P_n / \Omega \\ &= 17708 / 2 \\ &= 8854,2 \text{ kN} > P_r = 3452,88 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

d) Kontrol Kapasitas Lentur pada Sumbu Kuat

i. Rasio Lebar Tebal Penampang

$$k_c = 0,76$$

Momen yang dipehitungkan adalah momen positif, maka perbandingan modulus elastis penampang tarik dan tekan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{x_t} / S_{x_c} &= S_{x_{bot}} / S_{x_{top}} = 9767591,34 / 4309945,336 = 2,27 > 0,7 \\ \text{Maka, FL} &= 0,7 F_y = 0,7 \cdot 340 = 238 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rasio lebar tebal pelat sayap,

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 9,22$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{F L}} = 0,95 \sqrt{\frac{0,76 \times 200000}{238}} = 24,01$$

$$\lambda_{f1} = \frac{b f_1}{2 t f_1} = \frac{300}{56} = 5,36 < \lambda_p \text{[pelat sayap kompak]}$$

$$\lambda_{fb} = \frac{b f_2}{2 t f_2} = \frac{1100}{44} = 25 > \lambda_r \text{[pelat sayap langsing]}$$

Rasio lebar tebal pelat badan,

Akibat momen positif, kondisi sayap atas tertekan, maka rasio lebar tebal dihitung sebagai berikut.

$$M_p = F_y Z_x = 340 \cdot 5334666,022 = 1813786447,42 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned} M_y &= F_y S_x^t \\ &= 340 \cdot 4309945,336 \\ &= 1465381414,221 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{rw} = 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,7 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 138,25$$

$$\begin{aligned} \lambda_{pw} &= \frac{\left(\frac{hc}{hp}\right) \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0,54 \frac{M_p}{M_y} - 0,09\right)^2} \leq \lambda_{rw} \\ &= 52,285 < 120,17 \\ &= 52,285 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_w &= hc/tw \\ &= (2 \cdot y_{e1}) / tw \\ &= (2 \cdot 327,49) / 16 \\ &= 40,9467 < \lambda_{pw} \text{[pelat badan kompak]} \end{aligned}$$

ii. Pelelehan pada Sayap Tertekan

Akibat momen positif kondisi sayap atas mengalami tekan, maka leleh pada sayap tertekan dihitung sebagai berikut.

$$S_{xc} = S_x^t = 4309945,336 \text{ mm}^3$$

$$I_{yc} = \frac{1}{12} t f l^3 = \frac{1}{12} \cdot 28 \cdot 300^3 = 63000000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2503310710 \text{ mm}^4$$

$$\frac{I_{yc}}{I_y} = \frac{63000000}{2503310710} = 0,0252 < 0,23, \text{ maka nilai } R_{pc} = 1,0$$

$$\begin{aligned} M_n &= R_{cp} \cdot M_{yc} \\ &= 1,0 \cdot 1465381414,221 \\ &= 1465381414,221 \text{ N-mm} \\ &= 1465,38 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

iii. Tekuk Torsi Lateral

$$L_b = 200 \text{ mm (jarak bebas antar rib orthotropic plate)}$$

$$L_p = 1,1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{6}a_w\right)}} \text{ dengan } a_w = \frac{h_c \cdot t_w}{b_{fc} t_{fc}} = \frac{654,98 \times 16}{300 \times 28} = 1,248$$

$$r_t = \frac{300}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{6}1,248\right)}} = 78,797 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,1 \cdot 78,797 \cdot \sqrt{\frac{200000}{340}} = 2102,2 \text{ mm} > L_b$$

Karena $L_b < L_p$ maka perhitungan tekuk torsi lateral tidak diperlukan.

iv. Pelehan pada Sayap Tertarik

Apabila $S_{xt} > S_{xc}$ maka tidak diperlukan kontrol.

$$S_{xt} = S_{xb} = 9767591,34 \text{ mm}^3 > S_{xc} = S_{xt} = 4309945,336 \text{ mm}^3$$

Maka tidak diperlukan kontrol terhadap pelelehan pada sayap tertarik.

v. Kontrol yang Paling Menentukan

Dari semua kontrol M_n yang dilakukan, kontrol yang paling menentukan adalah akibat pelelehan pada sayap tertekan.

$$M_n = 1465,38 \text{ kN}$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu kuat dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_c &= \phi M_n \\ &= 0,9 \cdot 1465,38 \\ &= 1318,84 \text{ kN-m} > M_r = 708,43 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu kuat dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_c &= M_n / \Omega \\ &= 1465,38 / 1,67 \\ &= 877,47 \text{ kN-m} > M_r = 236,55 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

e) Kontrol Kapasitas Lentur pada Sumbu Lemah

i. Rasio Lebar Tebal Pelat Sayap

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 9,216$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{200000}{340}} = 24,254$$

Sayap atas,

$$\lambda = \frac{b}{tf} = \frac{0,5Bf1}{tf1} = \frac{150}{28} = 5,357 < \lambda_p, \text{ sayap atas kompak.}$$

Sayap bawah,

$$\lambda = \frac{b}{tf} = \frac{0,5Bf2}{tf2} = \frac{550}{22} = 25 < \lambda_p, \text{ sayap bawah kompak.}$$

ii. Kapasitas Lentur

Kapasitas lentur dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter F6.

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y$$

$$F_y Z_y = 340 \cdot 7312008 = 2486082720 \text{ N-mm}$$

$$1,6 F_y S_y = 1,6 \cdot 340 \cdot 4551474,018 = 2476001865,891 \text{ N-mm}$$

$$M_n = 2476001865,891 \text{ N-mm} = 2476 \text{ kN-m}$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu lemah dalam analisa LRFD dihitung sebagai berikut:

$$M_c = \phi M_n$$

$$= 0,9 \cdot 2476$$

$$= 2228,4 \text{ kN-m} > M_r = 551,14 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Kapasitas lentur terhadap sumbu lemah dalam analisa ASD dihitung sebagai berikut:

$$M_c = M_n / \Omega$$

$$= 2476 / 1,67$$

$$= 1482,64 > M_r = 445,71 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

f) Kontrol Kapasitas Geser pada Sumbu Kuat

Geser pada sumbu kuat dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter G2 sebagai berikut.

$k_v = 5$ (untuk pelat badan tanpa pengaku lateral dan $h/t_w < 260$)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{422}{16} = 26,375 < 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot 200000}{340}} = 59,656$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,6 \cdot 340 \cdot 422 \cdot 16 \cdot 1,0 \\ &= 1377408 \text{ N} \\ &= 1377,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= \phi V_n \\ &= 1,0 \cdot 1377,41 \\ &= 1377,41 \text{ kN} > V_r = 1157,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_c &= V_n / \Omega \\ &= 1377,41 / 1,5 \\ &= 918,272 \text{ kN} > V_r = 897,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

g) Kontrol Kapasitas Geser pada Sumbu Lemah

Geser pada sumbu lemah dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter G7 sebagai berikut.

$$k_v = 1,2$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= (Bf_1 \cdot tf_1) + (Bf_2 \cdot tf_2) \\
 &= (300 \cdot 28) + (1100 \cdot 22) \\
 &= 32600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{b}{tf} = \frac{550}{22} = 25 < 1,1 \sqrt{\frac{kvE}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{1,2 \cdot 200000}{340}} = 29,225$$

Maka $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\
 &= 0,6 \cdot 340 \cdot 32600 \cdot 1,0 \\
 &= 6650400 \text{ N} \\
 &= 6650,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas struktur dalam analisa LRFD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 V_c &= \phi V_n \\
 &= 1,0 \cdot 6650,4 \\
 &= 6650,4 \text{ kN} > V_r = 388,37 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Kapasitas struktur dalam analisa ASD diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 V_c &= V_n / \Omega \\
 &= 6650,4 / 1,5 \\
 &= 4433,6 \text{ kN} > V_r = 128,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

h) Kontrol Kombinasi Aksial-Lentur

Analisa kombinasi aksial-lentur dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter H1 sebagai berikut.

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$, maka digunakan persamaan berikut,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

Apabila $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$, maka digunakan persamaan berikut,

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

Dari semua gaya yang diperhitungkan dipilih yang berpotensi memiliki kombinasi terbesar, yaitu pada elemen nomor 3159 akibat kombinasi KUAT 1-C (1,1DL + 1,4A-DL + 2LL-C).

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{2633,8}{7742,3} = 0,3402 > 0,2$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{2633,8}{7742,3} + \frac{8}{9} \left(\frac{624,17}{1632,4} + \frac{302,13}{2228,4} \right) = 0,801 < 1,0$$

Hasil nilai dari kombinasi adalah $0,801 < 1,0$ maka kombinasi dinyatakan memenuhi.

i) Desain Sambungan

Untuk *floor beam* digunakan sambungan las *fillet* yang dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter J.

Mutu las yang digunakan: E9XTX-X-XM

$$F_{EXX} = 620 \text{ MPa}$$

i. Kapasitas Nominal Las

Ketebalan las minimum ditentukan berdasarkan AISC 360-10 Table J2.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} tw &= 15 \text{ mm} \\ w &= 0,7071 \cdot 15 = 10,607 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang pengelasan:

$$\begin{aligned}
 l &= 2Bf_1 + Bf_2 + 2Hw - 2tw \\
 &= (2 \cdot 300) + 1100 + (2 \cdot 422) - (2 \cdot 16) \\
 &= 2512 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang efektif pengelasan:

$$\frac{l}{w} = \frac{2512}{10,607} = 236,834$$

Maka faktor reduksi untuk panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,2 - 0,002 l/w \leq 1,0 \\
 &= 1,2 - 0,002 (2512/10,607) \\
 &= 0,73 < 1
 \end{aligned}$$

Kekuatan las:

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nw} A_{we} \\
 A_{we} &= \beta l w \\
 &= 0,73 \cdot 2512 \cdot 10,607 \\
 &= 19352,3 \text{ mm}^2 \\
 \theta &= 0 \text{ (sudut pembebanan)} \\
 F_{nw} &= 0,6 F_{EXX} (1 + 0,5 \sin^{1,5}\theta) \\
 &= 0,6 \cdot 620 (1 + 0) \\
 &= 372 \text{ MPa} \\
 R_n &= 372 \cdot 19352,3 \text{ mm}^2 \\
 &= 7199037,83 \text{ N} \\
 &= 7199,04 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas las dalam analisa LRFD:

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 7199,04 = 5399 \text{ kN}$$

Kapasitas las dalam analisa ASD:

$$R_c = R_n/\Omega = 7199,04/2 = 3599,5 \text{ kN}$$

ii. Kontrol terhadap Gaya Geser

Gaya geser yang menentukan sesuai dengan tabel yang telah diberikan:

Untuk LRFD:

$$\text{Gaya geser arah x, } R_{rx} = 380509,05 \text{ N} = 380,51 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya geser arah y, } R_{ry} = 1157462,22 \text{ N} = 1157,46 \text{ kN}$$

Gaya geser kombinasi,

$$\begin{aligned} R_r &= \sqrt{380,51^2 + 1157,46^2} \\ &= 1218,4 \text{ kN} < R_c = 5399 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Untuk ASD:

$$\text{Gaya geser arah x, } R_{rx} = 198126,2 \text{ N} = 198,126 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya geser arah y, } R_{ry} = 897854,83 \text{ N} = 897,855 \text{ kN}$$

Gaya geser kombinasi,

$$\begin{aligned} R_r &= \sqrt{198,126^2 + 897,855^2} \\ &= 919,45 \text{ kN} < R_c = 3599 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

iii. Kontrol terhadap Gaya Tarik

Untuk LRFD:

Gaya tarik yang paling menentukan adalah,

$$R_r = 3838,06 \text{ kN} < R_c = 5399 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

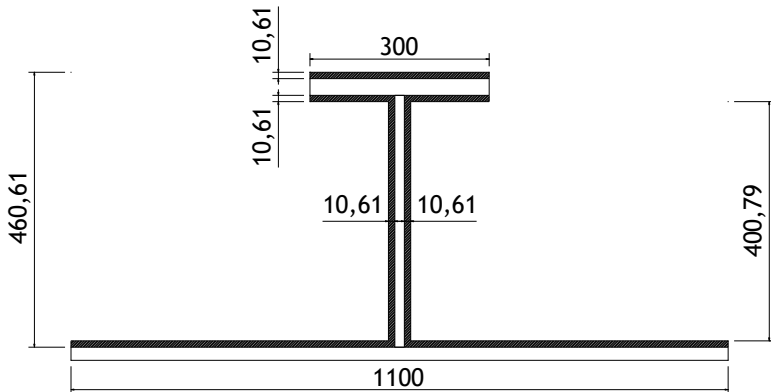
Untuk ASD:

Gaya tarik paling menentukan adalah,

$$R_r = 3524,88 \text{ kN} < R_c = 3599 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

iv. Kontrol terhadap Tarik akibat Momen

Gaya tarik akibat momen ditentukan dengan mencari serat tarik dari penampang las sebagai berikut.



Gambar 9.7 - Penampang las

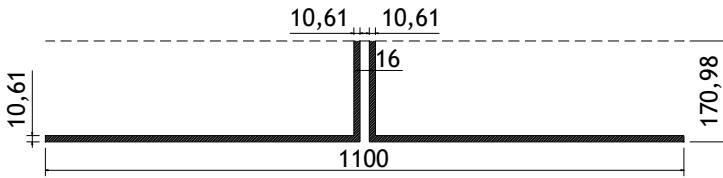
Mencari letak garis netral:

$$y_{w1} = \frac{(3181,98 \times 5,3033) + (3182 \times 43,91) + (8502 \times 249,61) + (11498 \times 465,91)}{3182 + 3182 + 8502 + 11498}$$

$$= 289,627 \text{ mm}$$

$$y_{w2} = 460,61 - 289,627 = 170,98 \text{ mm}$$

Momen yang terjadi adalah momen positif, maka serat yang berada di bawah garis netral merupakan serat tarik. Sehingga perlu dihitung jarak antara titik berat luasan serat tertarik dan garis netral.



Gambar 9.8 - Penampang las pada serat tarik

$$y_{wt} = \frac{(3627,03 \times 85,49) + (11273 \times 165,68)}{3627,03 + 11273} = 146,16 \text{ mm}$$

$$A_{wt} = 14899,6 \text{ mm}^2 \text{ (luasan serat tertarik)}$$

$$\begin{aligned} I_w &= \Sigma I_{wi} + y_{wi}^2 A_{wi} \\ &= 257260396,231 + 192147379,414 + 127422813,247 + \\ &\quad 315701362,907 \\ &= 892531951,8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nw} A_{wt} \\ &= 372 \cdot 14899,6 \\ &= 5542647,01 \text{ N} \\ &= 5542,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_t = \frac{M_r y_{wt}}{I_w}, \quad \text{dan} \quad R_r = F_t A_{wt}$$

Kapasitas tarik akibat momen pada pengelasan dalam analisa LRFD:

$$M_r = 708434073,67 \text{ N-mm}$$

$$F_t = \frac{708434073,67 \times 146,16}{892531951,8} = 116,01 \text{ MPa}$$

$$R_r = 116,01 \cdot 14899,6 = 1728496,837 \text{ N} = 1728,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 R_c &= \phi R_n \\
 &= 0,75 \cdot 5542,65 \\
 &= 5156,99 \text{ kN} > R_r \text{[memenuhi]}
 \end{aligned}$$

Kapasitas tarik akibat momen pada pengelasan dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned}
 M_r &= 177695028,55 \text{ N-mm} \\
 F_t &= \frac{177695028,55 \times 146,16}{892531951,8} = 29,10 \text{ MPa} \\
 R_r &= 29,10 \cdot 14899,6 = 433555,226 \text{ N} = 433,56 \text{ kN} \\
 R_c &= R_n/\Omega \\
 &= 5542,65/2 \\
 &= 2771 \text{ kN} > R_r \text{[memenuhi]}
 \end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 10 DESAIN BOX GIRDER

Struktur *box girder* dalam desain jembatan *cable stayed* ini terbagi menjadi 2 tipe. Pertama *box girder* yang berada pada sisi samping kanan dan kiri penampang dek yang berbentuk tak simetris difungsikan sebagai peyangga *railing* dan *trottoar*. Bentuk tak simetris dipilih untuk mereduksi gaya angin yang menumbuk dek jembatan secara lateral atau agar didapatkan bentuk aerodinamis. Tipe kedua adalah *box girder* utama yang berada di tengah penampang dek yang merupakan struktur paling utama dari penampang dek. Pada *box girder* utama terdapat pengankuran kabel pada dek jembatan.

Perhitungan kapasitas struktur *box girder* dilakukan dengan acuan AISC 360-10 sesuai pasal-pasalnya sebagaimana akan dijabarkan pada poin-poin berikut.

10.1 Box Girder Samping (Side Box Girder)

10.1.1 Hasil Analisa Struktur

Analisa dalam LRFD:

- a) Tekan Maksimum

Tabel 10.1 – Tekan maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
201	KUAT-3	I[4440]	-17510741.95	-73796.59
201	KUAT-3	2/4	-17510741.95	-1991.82
201	KUAT-3	J[4441]	-17510741.95	69812.95

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-22745723.66	2750070184.54

222179.31	2901646992.95
23190082.27	2766004729.36

b) Geser Maksimum

Tabel 10.2 – Geser maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
202	KUAT-1-C	I[4441]	-11458748.52	1343546.06
202	KUAT-1-C	2/4	-11458748.52	1397399.64
202	KUAT-1-C	J[4442]	-11458748.52	1451253.22

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-760421420.30	5563082835.51
-743195493.08	1451664282.19
-725969565.85	-2821314999.13

c) Momen Maksimum

Tabel 10.3 – Momen maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
200	KUAT-1-C	I[4439]	-11506579.32	-1451230.07
200	KUAT-1-C	2/4	-11506579.32	-1397376.49
200	KUAT-1-C	J[4440]	-11506579.32	-1343522.92

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
723675919.08	-2805496017.98
740901846.30	1467413824.13

758127773.53	5578762938.24
--------------	---------------

d) Torsi Maksimum

Tabel 10.4 – Torsi maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
201	KUAT-1-D	I[4440]	-11662146.06	-751417.86
201	KUAT-1-D	2/4	-11662146.06	-679613.09
201	KUAT-1-D	J[4441]	-11662146.06	-607808.33

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-1544453858.60	-1357152052.49
-1521485955.63	1504909862.52
-1498518052.67	4079752705.53

Analisa dalam ASD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 10.5 – Tekan maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
201	LAYAN-4	I[4440]	-16267907.67	-61090.93
201	LAYAN-4	2/4	-16267907.67	-1264.05
201	LAYAN-4	J[4441]	-16267907.67	58562.83

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-16736222.41	3298994377.26
-330577.43	3423704343.37

16075067.54	3309106789.48
-------------	---------------

b) Geser Maksimum

Tabel 10.6 – Geser maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
200	LAYAN-2-C	I[4439]	-12516989.07	-1321004.09
200	LAYAN-2-C	2/4	-12516989.07	-1276133.93
200	LAYAN-2-C	J[4440]	-12516989.07	-1231263.77

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
698715814.52	-1904023017.90
711020048.25	1991683997.20
723324281.99	5752780532.30

c) Momen Maksimum

Tabel 10.7 – Momen maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
200	LAYAN-2-C	I[4439]	-12516989.07	-1321004.09
200	LAYAN-2-C	2/4	-12516989.07	-1276133.93
200	LAYAN-2-C	J[4440]	-12516989.07	-1231263.77

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
698715814.52	-1904023017.90
711020048.25	1991683997.20
723324281.99	5752780532.30

d) Torsi Maksimum

Tabel 10.8 – Torsi maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
202	LAYAN-2-D	I[4441]	-12349653.70	306616.19
202	LAYAN-2-D	2/4	-12349653.70	351486.35
202	LAYAN-2-D	J[4442]	-12349653.70	396356.51

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-1053225530.70	2635428230.35
-1040921296.96	1648274411.55
-1028617063.23	526510112.76

10.1.2 Kapasitas Box Girder Samping**a) Data Perencanaan**

Material baja yang digunakan adalah produk BlueScope Steel dengan mutu Grade 250L15 yang diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_y &= 250 \text{ MPa} \\ F_u &= 410 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dimensi box girder samping diberikan sebagai berikut.

Dinding box girder:

$$\begin{aligned} H_1 &= 1200 \text{ mm} & B_1 &= 800 \text{ mm} \\ H_2 &= 951 \text{ mm} & B_2 &= 1025 \text{ mm} \\ t &= 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensi rib:

$$\begin{aligned} h_r &= 186 \text{ mm} \\ A_r &= 2970 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

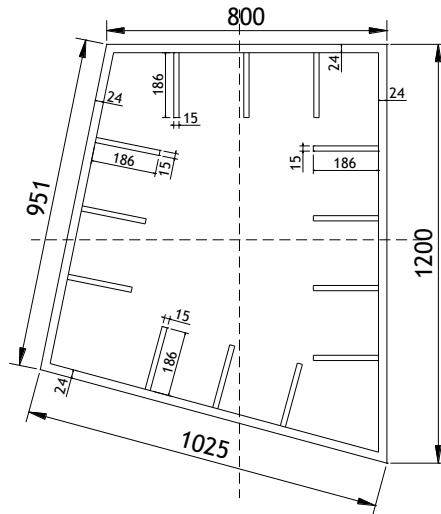
$$t_r = 15 \text{ mm}$$

Section properties:

$$\begin{aligned} A_g &= 129359,7 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 15020120140,85 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 20500177584,65 \text{ mm}^4 \\ r_x &= 340,8 \text{ mm} \\ r_y &= 398,1 \text{ mm} \\ Z_x &= 48880920,275 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Letak garis netral elastis:

$$\begin{aligned} y_{e_1} &= 560,15 \text{ mm} \\ y_{e_2} &= 639,85 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 10.1 - Penampang *side box girder*

- b) Kapasitas Tekan
i. Rasio Lebar Tebal

$$\frac{b}{t} = \frac{B2-2t}{2t} = 20,354 < 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 42,144$$

....[kompak]

ii. Kapasitas Tekan

Faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan AISC 360-10 Appendix 7 dengan mengasumsikan perletakan ujung-ujung *box girder* sebagai sendi-sendi.

$$K = 1,0$$

$$L = 20000 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1,0 \times 20000}{340,8} = 58,694 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{58,694^2} = 572,99 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{250}{572,99} = 0,4363 < 2,25$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= [0,685^{F_y/F_e}] F_y \\ &= [0,685^{0,4363}] 250 \\ &= 211,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} A_g \\ &= 211,96 \cdot 129359,7 \\ &= 32339924,9 \text{ N} \\ &= 3233,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,9 \cdot 3233,99 \\ &= 29106 \text{ kN} > P_r = 17511 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} P_c &= P_n / \Omega \\ &= 3233,99 / 1,67 \\ &= 19365 \text{ kN} > P_r = 16268 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

c) Kapasitas Lentur

Kapasitas lentur penampang dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter F7.

i. Rasio Lebar Tebal

Pelat sayap,

$$\frac{b_2 - 2t}{2t} = \frac{977}{48} = 20,354 < 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 31,678$$

....[kompak]

Pelat badan,

$$\frac{h_1}{2t} = \frac{1200}{48} = 25 < 1,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,42 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 68,448$$

.....[kompak]

ii. Kapasitas Lentur

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$\begin{aligned} M_n &= 240 \cdot 48880920,275 \\ &= 12220230068,821 \\ &= 12220,23 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} M_c &= \phi M_n \\ &= 0,9 \cdot 12220,23 \end{aligned}$$

$$= 10998,207 \text{ kN-m} > M_r = 5578,8 \text{ kN-m}$$

.....[memenuhi]

Kapasitas penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} M_c &= M_n / \Omega \\ &= 12220,23 / 1,67 \\ &= 7317,5 \text{ kN-m} > M_r = 5752,8 \text{ kN-m} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

d) Kapasitas Geser

Kapasitas geser dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter G2 dan G5 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} k_v &= 5 \\ A_w &= (H_1 + H_2) t = (1200 + 951) 24 = 51624 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{H_1}{2t} = \frac{1200}{48} = 25 < 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{250}} = 69,57$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot 51624 \cdot 1,0 \\ &= 7743600 \text{ N} \\ &= 7743,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} V_c &= \phi V_n \\ &= 1,0 \cdot 7743,6 \\ &= 7743,6 \text{ kN} > V_r = 1451 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} V_c &= V_n / \Omega \\ &= 7743,6 / 1,5 \\ &= 5162,4 \text{ kN} > V_r = 1321 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

e) Kapasitas Torsi

Kapasitas penampang *box* dalam menahan gaya torsi dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter H3 sebagai berikut.

$$\frac{H1-2t}{2t} = \frac{977}{48} = 24 < 2,45 \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 2,45 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 69,296$$

$$Fcr = 0,6 Fy = 0,6 \cdot 250 = 150 \text{ MPa}$$

$$C = 2A t - 4,5 (4 - \pi)t^3$$

$$A = 837141 \text{ mm}^2 \text{ (luasan yang dibatasi perimeter dinding } box)$$

$$C = (2 \cdot 837141 \cdot 2) - (4 - \pi) 24^3 = 40129389,8 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} Tn &= Fcr C \\ &= 150 \cdot 40129389,8 \\ &= 6019408473,7 \text{ N-mm} \\ &= 6019,4 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} Tc &= \phi Tn \\ &= 0,9 \cdot 6019,4 \\ &= 5417,5 \text{ kN-m} > Tr = 1544,5 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} Tc &= Tn/\Omega \\ &= 6019,4/1,67 \\ &= 3604,4 \text{ kN-m} > Tr = 1053,2 \text{ kN-m} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

f) Desain Sambungan

Untuk sambungan antar segmen *box girder* digunakan sambungan baut, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tipe baut = Group B – ASTM A490
 Kuat tarik nominal, F_{nt} = 780 MPa
 Kuat geser nominal, F_{nv} = 579 MPa
 Diameter baut, D_b = 30 mm
 Diameter lubang, D = 33 mm
 Pratarik minimum, T_b = 408 kN

i. Kapasitas Baut

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

μ = 0,5 (untuk permukaan kelas B yang tidak dicat dan dibersihkan pada permukaannya, atau yang dilapisi dengan coating kelas B)

$$D_u = 1,13 \text{ (faktor pengkali)}$$

$$h_f = 1,0$$

n_s = 3 (bidang gesek, 1 antar pelat, 2 antara pelat dan kepala baut)

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 408 \cdot 3 = 691,56 \text{ kN}$$

Kekuatan baut (lubang standar dan slot pendek) LRFD:

$$R_c = \phi R_n = 1,0 \cdot 691,56 = 691,56 \text{ kN}$$

Kekuatan baut (lubang standar dan slot pendek) ASD:

$$R_c = R_n / \Omega = 691,56 / 1,5 = 461,04 \text{ kN}$$

ii. Jumlah Baut dalam Analisa LRFD

Pertimbangan terhadap pengaruh gaya tarik, di mana gaya tarik diambil sebesar $\phi F_y A_g$.

$$R_r = \phi F_y A_g = 1,0 \cdot 150 \cdot 129360 = 32339924,93 \text{ N} = 32340 \text{ kN}$$

$$n = \frac{Rr}{Rc} = \frac{32340}{691,56} = 46,76 \approx 47 \text{ buah}$$

Baut dipasang pada keempat sisi *box girder*. Jumlah pada masing-masing sisi sebanyak:

$$n' = n/4 = 47/4 = 11,75 \approx 12 \text{ buah}$$

Pada sisi atas dan bawah baut dipertimbangkan teradap gaya tarik akibat momen yang terjadi, sehingga koreksi jumlah untuk sisi atas dan bawah adalah sebagai berikut:

$$Rr' = \frac{Mrx}{ye_{min}} = \frac{5578762938,24}{560,15} = 9959408,98 = 9959,4 \text{ kN}$$

$$n'' = \frac{Rr'}{Rc} = \frac{9959,4}{691,56} = 14,4 \approx 15 \text{ buah}$$

Dari hasil analisa jumlah baut, didapatkan jumlah baut untuk masing-masing sisi atas dan bawah adalah 15 buah dan untuk sisi kanan dan kiri adalah 11 buah, maka jumlah total baut yang akan digunakan untuk sambungan *box girder* samping adalah,

$$N = 2 (15 + 12) = 54 \text{ buah}$$

iii. Jumlah Baut dalam Analisa ASD

Pertimbangan terhadap pengaruh gaya tarik, di mana gaya tarik diambil sebesar $F_y Ag/\Omega$.

$$Rr = F_y Ag/\Omega = 150. 129360/1,5 = 21559950 \text{ N} = 21560 \text{ kN}$$

$$n = \frac{Rr}{Rc} = \frac{21560}{461,04} = 46,8 \approx 47 \text{ buah}$$

Baut dipasang pada keempat sisi *box girder*. Jumlah pada masing-masing sisi sebanyak:

$$n' = n/4 = 47/4 = 11,75 \approx 12 \text{ buah}$$

Pada sisi atas dan bawah baut dipertimbangkan teradap gaya tarik akibat momen yang terjadi, sehingga koreksi jumlah untuk sisi atas dan bawah adalah sebagai berikut:

$$Rr' = \frac{Mrx}{ye_{min}} = \frac{5752780532.3}{560,15} = 10270071,5 = 10270,1 \text{ kN}$$

$$n'' = \frac{Rr'}{Rc} = \frac{10270,1}{461,04} = 22,28 \approx 23 \text{ buah}$$

Dari hasil analisa jumlah baut, didapatkan jumlah baut untuk masing-masing sisi atas dan bawah adalah 23 buah dan untuk sisi kanan dan kiri adalah 12 buah, maka jumlah total baut yang akan digunakan untuk sambungan *box girder* samping adalah,

$$N = 2 (23 + 12) = 70 \text{ buah}$$

iv. Jumlah Baut yang Digunakan dan Ketentuannya

Dari analisa jumlah LRFD dan ASD jumlah baut yang paling menentukan adalah dari analisa ASD yaitu sebanyak 70 buah. Sedangkan untuk ketentuan spasi baut diatur dalam AISC 360-10 Chapter J3.3 sampai dengan J3.5 sebagaimana akan dipaparkan berikut.

Spasi antar baut (S) harus berada di antara nilai berikut.

$$3D \leq S \leq 24t \text{ (atau 305 mm)}$$

$$3D = 3 \cdot 33 = 99 \text{ mm}$$

$$24t = 24 \cdot 24 = 576 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk spasi baut ujung dengan ujung pelat (S1) harus berada di antara nilai berikut.

$$38 \text{ mm (untuk } D = 33 \text{ mm)} \leq S1 \leq 12t \text{ (atau 150 mm)}$$

$$12t = 12 \cdot 24 = 228 \text{ mm}$$

10.2 Box Girder Utama (Main Box Girder)

10.2.1 Hasil Analisa Struktur

Analisa dalam LRFD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 10.9 – Tekan maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
78	KUAT-1-A4	I[6763]	-17931570.80	2097204.62
78	KUAT-1-A4	2/4	-17931570.80	2345692.87
78	KUAT-1-A4	J[6764]	-17931570.80	2594181.12

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-80586550.41	-40620999587.84
-80586550.41	-46174621451.71
-80586550.41	-52349463941.83

b) Geser Maksimum

Tabel 10.10 – Geser maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
35	KUAT-1-B1	I[6737]	-1216909.82	5774040.75
35	KUAT-1-B1	2/4	-1216909.82	6022529.00
35	KUAT-1-B1	J[6738]	-1216909.82	6271017.25

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-72663397.39	53395821055.25
-72663397.39	38650108868.58

-72663397.39	23283176055.67
--------------	----------------

c) Momen Maksimum

Tabel 10.11 – Momen maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
43	KUAT-1-B2	I[6727]	-3447582.85	-486668.81
43	KUAT-1-B2	2/4	-3447582.85	-238180.56
43	KUAT-1-B2	J[6728]	-3447582.85	10307.69

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-63458712.47	123806756942.44
-63458712.47	124712818654.27
-63458712.47	124997659739.84

d) Torsi Maksimum

Tabel 10.12 – Torsi maksimum LRFD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
64	KUAT-1-D	I[6748]	-7154852.62	1329740.72
64	KUAT-1-D	2/4	-7154852.62	1578228.97
64	KUAT-1-D	J[6749]	-7154852.62	1826717.22

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-30521761616.49	-25688079399.69
-30521761616.49	-29323041505.41
-30521761616.49	-33579224237.38

Analisa dalam ASD:

a) Tekan Maksimum

Tabel 10.13 – Tekan maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
57	LAYAN-2-A4	I[6741]	-17061595.83	-2552309.99
57	LAYAN-2-A4	2/4	-17061595.83	-2340607.04
57	LAYAN-2-A4	J[6742]	-17061595.83	-2128904.08

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-60476581.38	-50731098101.29
-60476581.38	-44614951818.11
-60476581.38	-39028062922.44

b) Geser Maksimum

Tabel 10.14 – Geser maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
53	LAYAN-2-B1	I[6737]	-5354626.64	3883928.84
53	LAYAN-2-B1	2/4	-5354626.64	4095631.79
53	LAYAN-2-B1	J[6738]	-5354626.64	4307334.75

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-52726464.18	9257479215.10
-52726464.18	-716971570.54
-52726464.18	-11220679743.66

c) Momen Maksimum

Tabel 10.15 – Momen maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
82	LAYAN-2-B1	I[6767]	-10642468.33	-2399407.90
82	LAYAN-2-B1	2/4	-10642468.33	-2187704.94
82	LAYAN-2-B1	J[6768]	-10642468.33	-1976001.99

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
4505833.26	-80817495702.29
4505833.26	-75083604649.85
4505833.26	-69878970984.90

d) Torsi Maksimum

Tabel 10.16 – Torsi maksimum ASD

Element	Load	Part	Pr (N)	Vry (N)
71	LAYAN-2-D	I[6756]	-6849577.25	-1529651.42
71	LAYAN-2-D	2/4	-6849577.25	-1317948.46
71	LAYAN-2-D	J[6757]	-6849577.25	-1106245.51

Tr (N-mm)	Mrx (N-mm)
-19641500443.64	-23010267159.91
-19641500443.64	-19450767303.66
-19641500443.64	-16420524834.92

10.2.2 Kapasitas Box Girder Samping

a) Data Perencanaan

Material baja yang digunakan adalah produk BlueScope Steel dengan mutu Grade 400L15 yang diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_y &= 360 \text{ MPa} \\ F_u &= 480 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dimensi box girder samping diberikan sebagai berikut.

Dinding box girder:

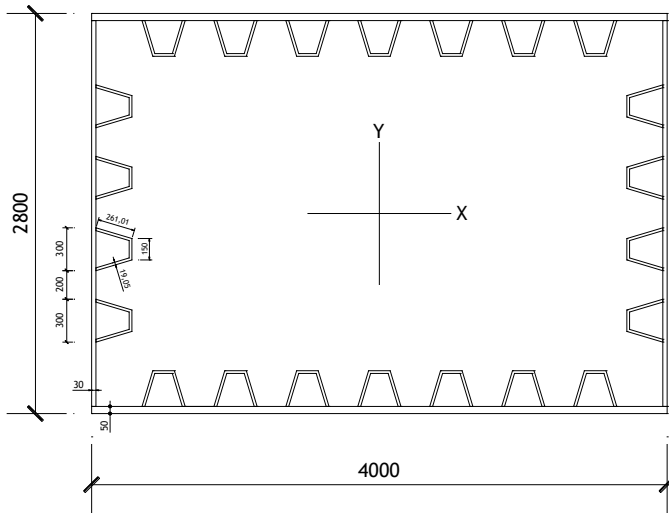
$$\begin{aligned} H &= 2800 \text{ mm} & t_w &= 30 \text{ mm} \\ B &= 4000 \text{ mm} & t_f &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensi rib:

$$\begin{aligned} a &= 300 \text{ mm} & j &= 150 \text{ mm} \\ e &= 200 \text{ mm} & h' &= 261,01 \text{ mm} \\ h &= 250 \text{ mm} & t_r &= 19 \text{ mm} \\ A_r &= 12802 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Section properties:

$$\begin{aligned} A_g &= 843642 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 1133700000000 \text{ mm}^4 & r_x &= 1159,23 \text{ mm} \\ I_y &= 1667500000000 \text{ mm}^4 & r_y &= 1405,898 \text{ mm} \\ S_x &= 809785714,286 \text{ mm}^3 & Z_x &= 926457378,93 \text{ mm}^3 \\ S_y &= 833750000,000 \text{ mm}^3 & Z_y &= 1064174076.61 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



Gambar 10.2 - Penampang *main box girder*

b) Kapasitas Tekan

i. Rasio Lebar Tebal

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{B}{2tf} = \frac{4000}{100} = 40 > 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{360}} = 35,12$$

.....[langsing]

ii. Faktor Reduksi Elemen Langsing

Karena penampang merupakan elemen langsing, maka kapasitas struktur dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter E7 sebagai berikut. Faktor reduksi untuk elemen langsing yang seluruhnya diperkaku dihitung sesuai Chapter E7.2.

$$Q_s = 1,0$$

Karena $b/t > 1,4 \sqrt{E/F_y}$, maka lebar efektif penampang tertekan dihitung sebagai berikut:

$$b_e = 1,92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,38}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Nilai f secara konservatif diambil sebesar F_y .

$$b_e = 1,92 \cdot 50 \cdot \sqrt{\frac{200000}{360}} \left[1 - \frac{0,38}{40} \sqrt{\frac{200000}{360}} \right] = 1756,1 \text{ mm} < B$$

$$A_e = b_e 2t_f + (H - 2t_f) 2t_w + n A_r$$

$$n = 22 \text{ (jumlah rib)}$$

$$A_e = (1756,1 \cdot 100) + (2800 - 100) \cdot 60 + (22 \cdot 12802) = 619249 \text{ mm}^2$$

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g} = \frac{619249}{843642} = 0,734$$

$$Q = Q_s \cdot Q_a = 1,0 \cdot 0,734 = 0,734$$

iii. Kapasitas Tekan

$$K = 1,0 \text{ (diasumsikan sendi-sendi)}$$

$$L = 20000 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1,0 \times 20000}{1159,23} = 17,253 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{360}} = 129,58$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 200000}{1159,23^2} = 6631,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{Q F_y}{F_e} = \frac{0,734 \times 360}{6631,5} = 0,0398 < 2,25 \text{ maka } F_{cr} \text{ dihitung sebagai berikut.}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= Q [0,685^{Q_{F_y/Fe}}] F_y \\
 &= 0,734 [0,685^{0,0398}] 360 \\
 &= 260,293 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= F_{cr} A_g \\
 &= 260,293 \cdot 843642 \\
 &= 219594066 \text{ N} \\
 &= 219594 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned}
 P_c &= \phi P_n \\
 &= 0,9 \cdot 219594 \\
 &= 197635 \text{ kN} > P_r = 17932 \text{ kN} \dots\dots\dots [\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_n / \Omega \\
 &= 219594 / 1,67 \\
 &= 131493 \text{ kN} > P_r = 17062 \text{ kN} \dots\dots\dots [\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

c) Kapasitas Lentur

Kapasitas lentur penampang *box* dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter F7.

i. Rasio Lebar Tebal

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{2tf} = \frac{4000}{100} = 40 > \lambda_r = 1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{200000}{360}} = 32,998$$

...[langsing]

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{2tw} = \frac{2800}{60} = 46,667 < \lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{360}} = 57,04$$

.....[kompak]

ii. Pelelehan

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= F_y Z_x \\ &= 360 \cdot 926457378,93 \\ &= 333524656413,304 \text{ N-mm} \\ &= 333524,656 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

iii. Tekuk Lokal Sayap

Untuk pelat sayap langsing.

$$\begin{aligned} b_e &= 1,92 \cdot 2tf \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0,38}{(b/2tf)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \\ &= 1,92 \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{200000}{360}} \left[1 - \frac{0,38}{40} \sqrt{\frac{200000}{360}} \right] = 3512,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

< B

$$I_e = 1006100000000 \text{ mm}^4 \text{ (dihitung menggunakan AutoCAD)}$$

$$S_e = \frac{I_e}{0,5H} = \frac{1006100000000}{0,5 \times 2800} = 718642857,143 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_n &= F_y S_e \\ &= 360 \cdot 718642857,143 \\ &= 258711428571,429 \text{ N-mm} \\ &= 258711,43 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

iv. Kontrol yang Paling Menentukan

Mn yang paling menentukan adalah akibat tekuk lokal sayap.

$$M_n = 258711,43 \text{ kN-m}$$

Kapasitas penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} M_c &= \phi M_n \\ &= 0,9 \cdot 258711,43 \\ &= 232840,286 \text{ kN-m} > M_r = 124997,7 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

...[memenuhi]

Kapasitas penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} M_c &= M_n / \Omega \\ &= 258711,43 / 1,67 \\ &= 154917,023 \text{ kN-m} > M_r = 80817,5 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

....[memenuhi]

d) Kapasitas Geser

Kapasitas geser penampang dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter G2.

$$\begin{aligned} k_v &= 5 \\ A_w &= H \cdot 2t_w = 168000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{2t_w} = \frac{2800}{60} = 46,67 < 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{360}} = 54,325$$

Maka nilai $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \\ &= 0,6 \cdot 360 \cdot 168000 \cdot 1,0 \\ &= 36288000 \text{ N} \\ &= 36288 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned}
 V_c &= \phi V_n \\
 &= 1,0 \cdot 36288 \\
 &= 36288 \text{ kN} > V_r = 6271 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned}
 V_c &= V_n/\Omega \\
 &= 36288/1,5 \\
 &= 24192 \text{ kN} > V_r = 4307,3 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

e) Kapasitas Torsi

Kapasitas torsi penampang *box* dihitung sesuai dengan AISC 360-10 Chapter H3.

$$\frac{h}{2t_w} = \frac{2800}{60} = 40 < 2,45\sqrt{E/F_y} = 2,45\sqrt{200000/360} = 57,75$$

Maka nilai F_{cr} dihitung sebagai berikut,

$$F_{cr} = 0,6 F_y = 0,6 \cdot 360 = 216 \text{ MPa}$$

$$C = 2At - 4,5 (4 - \pi)t^3$$

$$A = 9401743,049 \text{ mm}^2 \text{ (luasan yang dibatasi perimeter dinding } box \text{ dan } rib)$$

$$t = 26,4 \text{ mm (tebal rata-rata } rib \text{ dan dinding } box)$$

$$\begin{aligned}
 C &= (2 \cdot 9401743,049 \cdot 26,4) - [4,5 (4 - \pi) 26,4^3] \\
 &= 496340957,8 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= F_{cr} C \\
 &= 216 \cdot 496340957,8 \\
 &= 107209646895,125 \text{ N-mm} \\
 &= 107210 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

Kapasitas torsi penampang dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned}
 T_c &= \phi T_n \\
 &= 0,9 \cdot 107210 \\
 &= 96488,7 \text{ kN-m} > T_r = 30522 \text{ kN-m} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

Kapasitas torsi penampang dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned}
 T_c &= T_n/\Omega \\
 &= 107210/1,67 \\
 &= 64197 \text{ kN-m} > T_r = 19642 \text{ kN-m} \dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

f) Desain Sambungan

Untuk sambungan antar segmen *box girder* digunakan sambungan baut, dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Tipe baut} &= \text{Group B} - \text{ASTM A490} \\
 \text{Kuat tarik nominal, } F_{nt} &= 780 \text{ MPa} \\
 \text{Kuat geser nominal, } F_{nv} &= 579 \text{ MPa} \\
 \text{Diameter baut, } D_b &= 36 \text{ mm} \\
 \text{Diamter lubang, } D &= 39 \text{ mm} \\
 \text{Pratarik minimum, } T_b &= 595 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

i. Kapasitas Baut

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

$\mu = 0,5$ (untuk permukaan kelas B yang tidak dicat dan dibersihkan pada permukaannya, atau yang dilapisi dengan coating kelas B)

$$\begin{aligned}
 D_u &= 1,13 \text{ (faktor pengkali)} \\
 h_f &= 1,0 \\
 n_s &= 3 \text{ (bidang gesek, 1 antar pelat, 2 antara pelat dan kepala baut)}
 \end{aligned}$$

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 595 \cdot 3 = 1008,5 \text{ kN}$$

Kekuatan baut (lubang standar dan slot pendek) dalam LRFD:

$$R_c = \phi R_n = 1,0 \cdot 1008,5 = 1008,5 \text{ kN}$$

Kekuatan baut (lubang standar dan slot pendek) dalam ASD:

$$R_c = R_n/\Omega = 1008,5/1,5 = 672,35 \text{ kN}$$

ii. Jumlah Baut dalam Analisa LRFD

Pertimbangan terhadap pengaruh gaya tarik, di mana gaya tarik diambil sebesar $\phi F_y A_g$.

$$\begin{aligned} R_r &= \phi F_y A_g \\ &= 1,0 \cdot 360 \cdot 843642 \\ &= 303710984,2 \text{ N} \\ &= 303711 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$n = \frac{R_r}{R_c} = \frac{303711}{1008,5} = 302 \text{ buah}$$

Baut dipasang pada keempat sisi *box girder*. Jumlah pada masing-masing sisi sebanyak:

$$n' = n/4 = 302/4 = 75,5 \approx 76 \text{ buah}$$

Pada sisi atas dan bawah baut dipertimbangkan teradap gaya tarik akibat momen yang terjadi, sehingga koreksi jumlah untuk sisi atas dan bawah adalah sebagai berikut:

$$R_r' = \frac{M r_x}{0,5 \times h} = \frac{124997659739,84}{0,5 \times 2800} = 89284042,671 \text{ N} = 89284 \text{ kN}$$

$$n'' = \frac{R_r'}{R_c} = \frac{89284}{1008,5} = 88,5 \approx 89 \text{ buah}$$

Dari hasil analisa jumlah baut, didapatkan jumlah baut untuk masing-masing sisi atas dan bawah sebanyak 89 buah dan masing-masing sisi samping sebanyak 76 buah, maka jumlah total baut yang akan digunakan untuk sambungan *box girder* samping adalah,

$$N = 2 (89 + 76) = 330 \text{ buah}$$

iii. Jumlah Baut dalam Analisa ASD

Pertimbangan terhadap pengaruh gaya tarik, di mana gaya tarik diambil sebesar $F_y A_g / \Omega$.

$$\begin{aligned} R_r &= F_y A_g / \Omega \\ &= 360 \cdot 843642 / 1,5 \\ &= 202473989,495 \text{ N} \\ &= 202474 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$n = \frac{R_r}{R_c} = \frac{202474}{672,35} = 302 \text{ buah}$$

Baut dipasang pada keempat sisi *box girder*. Jumlah pada masing-masing sisi sebanyak:

$$n' = n/4 = 302/4 = 75,5 \approx 76 \text{ buah}$$

Pada sisi atas dan bawah baut dipertimbangkan teradap gaya tarik akibat momen yang terjadi, sehingga koreksi jumlah untuk sisi atas dan bawah adalah sebagai berikut:

$$R_r' = \frac{M_{rx}}{0,5 \times h} = \frac{80817495702,29}{0,5 \times 2800} = 57726782,64 \text{ N} = 57727 \text{ kN}$$

$$n'' = \frac{R_r'}{R_c} = \frac{57727}{672,35} = 85,86 \approx 86 \text{ buah}$$

Dari hasil analisa jumlah baut, didapatkan jumlah baut untuk masing-masing sisi atas dan bawah sebanyak 86 buah dan masing-masing sisi samping sebanyak 76 buah, maka jumlah total

baut yang akan digunakan untuk sambungan *box girder* samping adalah,

$$N = 2 (86 + 76) = 324 \text{ buah}$$

iv. Jumlah Baut yang Digunakan dan Ketentuannya

Dari analisa jumlah LRFD dan ASD jumlah baut yang paling menentukan adalah dari analisa LRFD yaitu sebanyak 330 buah. Sedangkan untuk ketentuan spasi baut diatur dalam AISC 360-10 Chapter J3.3 sampai dengan J3.5 sebagaimana akan dipaparkan berikut.

Spasi antar baut (S) harus berada di antara nilai berikut.

$$3D \leq S \leq 24t \text{ (atau 305 mm)}$$

$$3D = 3 \cdot 39 = 117 \text{ mm}$$

$$24t = 24 \cdot 30 = 720 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk spasi baut ujung dengan ujung pelat (S_1) harus berada di antara nilai berikut.

$$46 \text{ mm (untuk } D_b = 36 \text{ mm)} \leq S_1 \leq 12t \text{ (atau 150 mm)}$$

$$12t = 12 \cdot 30 = 360 \text{ mm}$$

BAB 11

DESAIN RANGKA BATANG DAN LRB

Rangka batang didesain menggunakan profil siku ganda yang disambung dengan pelat kopel. Kapasitas rangka batang dihitung dengan acuan AISC 360-10 sebagaimana yang akan dipaparkan berikut.

11.1 Rangka Batang

11.1.1 Hasil Analisa Srtuktur

Analisa dalam LRFD:

- a) Tekan Maksimum

Tabel 11.1 – Tekan maksimum LRFD

Elemen	KOMBINASI	Ujung I (N)	Ujung J (N)	Panjang (mm)
6694	KUAT-1-C	-1029277.265	-1028268.491	1800

- b) Tarik Maksimum

Tabel 11.2 – Tarik maksimum LRFD

Elemen	KOMBINASI	Ujung I (N)	Ujung J (N)	Panjang (mm)
6695	KUAT-1-C	1349577.569	1350586.344	1800

Analisa dalam ASD:

- a) Tekan Maksimum

Tabel 11.3 – Tekan maksimum ASD

Elemen	KOMBINASI	Ujung I (N)	Ujung J (N)	Panjang (mm)
6729	LAYAN-2-D	-946712.322	-945795.254	1800

b) Tarik Maksimum

Tabel 11.4 – Tarik maksimum ASD

Elemen	KOMBINASI	Ujung I (N)	Ujung J (N)	Panjang (mm)
6695	LAYAN-2-C	951529.454	952446.522	1800

11.1.2 Kapasitas Rangka Batang**11.1.2.1 Data Perencanaan**

Mutu baja yang digunakan dalam desain rangka batang diberikan sebagai berikut:

Mutu = BJ-41
 F_y = 250 MPa
 F_u = 410 MPa
 E = 200000 MPa

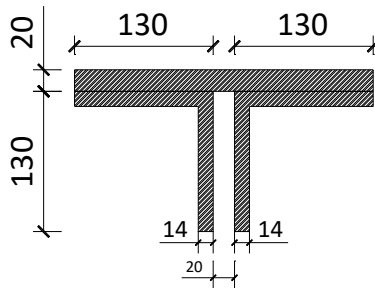
Dimensi penampang profil siku ganda yang digunakan diberikan sebagai berikut:

Tabel 11.5 – *Section properties* profil siku ganda

b	t	r	A	w	e	I_x / I_y	i_x / i_y	I_ζ	i_ζ	k_ζ
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm	
130	14	14	37.4	27.2	3.72	540	3.94	857	4.97	1.41

I_η	W_η	i_η	k_η
cm ⁴	cm ³	cm	
223	42.4	2.53	5.4

δ	tp	cy	y_0	x_0
mm	mm	mm	mm	mm
20	20	94.4	30.2	0



Gambar 11.1 - Penampang profil siku ganda rangka batang

11.1.2.2 Kapasitas Tekan

a) Rasio Lebar Tebal

$$\frac{b}{t} = \frac{130}{14} = 9,3 < 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 12,7 \dots\dots[\text{non-slender}]$$

b) Kelangsingan Batang

Kontrol kelangsingan batang terhadap sumbu bahan (sumbu x):

$$K = 1,0$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1,0 \times 1800}{39,4} = 45,685 < 200 \dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Kontrol kelangsingan batang terhadap sumbu y:

$$\begin{aligned} I_{y_{total}} &= 2 [I_y + A (0,5 cy)^2] \\ &= 2 [5400000 + 3740 (0,5 \cdot 94,4)^2] \\ &= 44128486,4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_{y_{total}}}{Ag}} = \sqrt{\frac{44128486,4}{2 \times 3740}} = 76,808 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

Pada batang yang didesain, disambung dengan 5 pelat kopel. Maka jarak antar pelat kopel adalah sebagai berikut.

$$a = \frac{L}{n+1} = \frac{1800}{5+1} = 300 \text{ mm}$$

$r_i = 25,3 \text{ mm}$ (radius girasi komponen individu)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{1,0 \times 1800}{76,808}\right)^2 + \left(\frac{300}{25,3}\right)^2} = 26,264 < 200 \dots [\text{memenuhi}]$$

c) Tekuk Lentur Batang Tanpa Elemen Langsing

Kapasitas tekan terhadap tekuk lentur dihitung berdasarkan ASIC 360-10 Chapter E3.

Tekuk lentur terhadap sumbu x:

$$\frac{KL}{r} = 45,685 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} = 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{26,264^2} = 945,75 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{250}{945,75} = 0,284 < 2,25 \text{ maka}$$

$$F_{cr} = [0,685^{F_y/F_e}] F_y = [0,685^{0,284}] 250 = 226,21 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} A_g \\ &= 226,21 \cdot 2 \cdot 3740 \\ &= 1692029,994 \text{ N} \\ &= 1692,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tekuk lentur terhadap sumbu y:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 26,264 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)_m^2} = \frac{\pi^2 200000}{26,264^2} = 2861,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{250}{2861,6} = 0,0874 < 2,25 \text{ maka}$$

$$F_{cr} = [0,685^{F_y/F_e}] F_y = [0,685^{0,0874}] 250 = 241,87 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} A_g \\ &= 241,87 \cdot 2 \cdot 3740 \\ &= 1809200,98 \text{ N} \\ &= 1809,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

d) Tekuk Torsi dan Lentur Torsi Batang Tanpa Elemen Langsing

Kapasitas tekan terhadap tekuk lentur dan tekuk torsi dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter E4.

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cr}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right]$$

$F_{cry} = 241,87$ (sama dengan nilai F_{cr} pada perhitungan tekuk lentur terhadap sumbu y)

$$\begin{aligned} \bar{r}_0^2 &= x_0^2 + y_0^2 + \frac{Ix + Iy}{A} \\ &= 0 + 912,04 + \frac{5400000 + 5400000}{3740} = 3799,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2} = 1 - \frac{0 + 912,04}{3799,7} = 0,76$$

$$G = 77200 \text{ MPa (modulus geser elastis – AISC 360-10 Ch E4)}$$

$$J = \sum \frac{b t^3}{3}$$

$$b' = b - 0,5t = 130 - 0,5 \cdot 14 = 123 \text{ mm}$$

$$J = 2 \frac{2 \times 123 \times 14^3}{3} = 450016 \text{ mm}^4$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{Ag \bar{r}_0^2} = \frac{77200 \times 450016}{7480 \times 3799,7} = 1222,3 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{241,87 + 1222,3}{1,520} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 241,87 \times 1222,3 \times 0,76}{(241,87 + 1222,3)^2}} \right]$$

$$= 229,18 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g$$

$$= 229,18 \cdot 7480$$

$$= 1714251,97 \text{ N}$$

$$= 1714,3 \text{ kN}$$

e) Kontrol yang Paling Menentukan

$P_n = 1692,03 \text{ kN}$ (akibat tekuk lentur terhadap sumbu x)

Kapasitas tekan dalam analisa LRFD:

$$P_c = \phi P_n$$

$$= 0,9 \cdot 1692,03$$

$$= 1522,8 \text{ kN} > P_r = 1029,3 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Kapasitas tekan dalam analisa ASD:

$$P_c = P_n / \Omega$$

$$= 1692,03 / 1,67$$

$$= 1013,2 \text{ kN} > P_r = 946,71 \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

11.1.2.3 Kestabilan Pelat Kopel

Dalam AISC 360-10 Chapter Commentary E6.2 dinyatakan bahwa kriteria penampang untuk *built-up section*

ataupaun sambungan dari *built-up section* ditentukan berdasarkan pengalaman ataupun penelitian. Maka dari itu, sebagai pendekatan kestabilan pelat kopel dikontrol sesuai SNI T 03 2005 mengenai Struktur Baja untuk Jembatan.

Kriteria:

$$\frac{I_p}{c_y} \geq 10 \frac{I_1}{a}$$

Dimensi pelat kopel:

$$\begin{aligned} h &= 170 \text{ mm} \\ t_p &= 20 \text{ mm} \\ a &= 300 \text{ mm} \\ c_y &= 94,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$I_p = \frac{1}{12} t_p h^3 = \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 170^3 = 8188333,333 \text{ mm}^4$$

$$I_1 = I_\eta = 2230000 \text{ mm}^4$$

$$\frac{I_p}{c_y} = \frac{8188333,333}{94,4} = 86741 \text{ mm}^3 > 10 \frac{I_1}{a} = 74333 \text{ mm}^3$$

1.1.1.1. Kapasitas Tarik

Kapasitas tarik struktur pada poin ini dihitung hanya untuk pelelehan pada penampang bruto sesuai AISC 360-10 Chapter D. Untuk tarik ruptur pada penampang netto akan dihitung pada poin desain sambungan.

$$P_n = F_y A_g = 250 \cdot 7480 = 1870000 \text{ N} = 1870 \text{ kN}$$

Kapasitas dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,9 \cdot 1870 \\ &= 1683 \text{ kN} > P_r = 1350,6 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

Kapasitas dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} P_c &= P_n / \Omega \\ &= 1870 / 1,67 \\ &= 1119,8 \text{ kN} > P_r = 952,45 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

11.1.2.4 Desain Sambungan

a) Spesifikasi Baut

Digunakan sambungan tipe baut gesek kritis dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tipe baut} &= \text{Group B} - \text{ASTM A490} \\ \text{Kuat tarik nominal, } F_{nt} &= 780 \text{ MPa} \\ \text{Kuat geser nominal, } F_{nv} &= 579 \text{ MPa} \\ \text{Diameter baut, } D_b &= 30 \text{ mm} \\ \text{Diameter lubang, } D &= 33 \text{ mm} \\ \text{Pratarik minimum, } T_b &= 408 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Kapasitas dan Jumlah Baut

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

$\mu = 0,5$ (untuk permukaan kelas B yang tidak dicat dan dibersihkan pada permukaannya, atau yang dilapisi dengan coating kelas B)

$$\begin{aligned} D_u &= 1,13 \text{ (faktor pengkali)} \\ h_f &= 1,0 \\ n_s &= 4 \text{ (bidang gesek, 2 antar pelat, 2 antara pelat dan kepala baut)} \end{aligned}$$

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 408 \cdot 4 = 922,08 \text{ kN}$$

Kekuatan baut (lubang standar dan slot pendek):

$$R_c = \phi R_n = 1,0 \cdot 922,08 = 922,08$$

Jumlah baut:

$$n = \frac{Rr}{Rc} = \frac{1350,6}{922,08} = 1,47 \approx 2 \text{ buah}$$

Ketentuan spasi antar baut diatur dalam AISC 360-10 Chapter J3.3 sampai J3.5 sebagai berikut.

Spasi antar baut, $S = 250 \text{ mm}$

Kriteria:

$$3D = 3 \cdot 33 = 99 \text{ mm} < S = 250 \text{ mm} < 24t = 24 \cdot 14 = 336 \text{ mm}$$

.....[memenuhi]

Spasi ujung pelat terhadap baut ujung, $S1 = 45 \text{ mm}$

Kriteria:

$$38 \text{ mm} < S1 = 45 \text{ mm} < 12t = 12 \cdot 14 = 150 \text{ mm} \text{[memenuhi]}$$

c) Kapasitas terhadap Geser Blok

Kapasitas geser blok diatur dalam AISC 360-10 Chapter J4.3 sebagai berikut.

$$Rn = 0,6 Fu A_{nv} + U_{bs} Fu A_{nt} \leq 0,6 Fy A_{gv} + U_{bs} Fu A_{nt}$$

$$Fy = 250 \text{ MPa}$$

$$Fu = 410 \text{ MPa}$$

$$U_{bs} = 1,0 \text{ (gaya terdistribusi merata)}$$

$$A_{nt} = 2(b - e - 0,5D) t = 2136,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = (S+S1) 2 t = (250 + 45) 2 \cdot 14 = 8260 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n D 2 t = 8260 - (2 \cdot 33 \cdot 2 \cdot 14) = 6412 \text{ mm}^2$$

$$0,6 Fu A_{nv} + U_{bs} Fu A_{nt} = (0,6 \cdot 410 \cdot 6412) + (1,0 \cdot 410 \cdot 2136,4) = 2453276 \text{ N}$$

$$0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} = (0,6 \cdot 250 \cdot 8260) + (1,0 \cdot 410 \cdot 2136,4) \\ = 2114924 \text{ N}$$

$$R_n = 2114924 \text{ N} = 2114,9 \text{ kN}$$

Kapasitas geser blok dalam analisa LRFD:

$$R_c = \phi R_n \\ = 0,75 \cdot 2114,9 \\ = 1586,2 \text{ kN} > R_r = 1350,6 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Kapasitas geser blok dalam analisa ASD:

$$R_c = R_n / \Omega \\ = 2114,9 / 2 \\ = 1057,5 \text{ kN} > R_r = 952,45 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

d) Kapasitas Tarik Ruptur pada Penampang Netto

$$P_n = F_u A_e$$

$$A_e = A_n U$$

Jumlah baut 2 dengan jumlah baris 1, maka:

$$A_n = A_g - 2 D t \\ = 7480 - (2 \cdot 33 \cdot 14) \\ = 6556 \text{ mm}^2 > 85\% A_g = 6358 \text{ mm}^2 [\text{memenuhi}]$$

$$x = t_p + e = 20 + 37,2 = 57,2 \text{ mm} \\ l = 250 \text{ mm}$$

$$U = 1 - \frac{x}{l} \leq 0,9 \\ = 1 - \frac{57,2}{250} = 0,7712 < 0,9$$

$$A_e = 6556 \cdot 0,7712 = 5056 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 410 \cdot 5056 = 2072954,75 \text{ N} = 2072,95 \text{ kN}$$

Kapasitas dalam analisa LRFD:

$$\begin{aligned} P_c &= \phi P_n \\ &= 0,75 \cdot 2072,95 \\ &= 1554,72 \text{ kN} > P_r = 1350,6 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas dalam analisa ASD:

$$\begin{aligned} P_c &= P_n / \Omega \\ &= 2072,95 / 2 \\ &= 1036,48 \text{ kN} > P_r = 952,45 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

11.1.3 Rekapitulasi Jumlah Baut

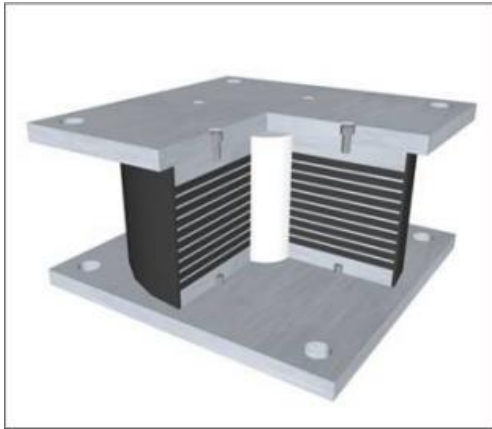
Jumlah baut pada rangka batang yang telah dihitung diberikan sebagai hasil rekapitulasi pada tabel berikut.

Tabel 11.6 – Rekapitulasi jumlah baut

No.	Rr (N)	Rc (N)	Jumlah Baut (buah)
1	212178.235	922080.000	1
2	78336.084	922080.000	1
3	164073.294	922080.000	1
4	100388.852	922080.000	1
5	253922.973	922080.000	1
6	883810.387	922080.000	1
7	813121.190	922080.000	1
8	710571.405	922080.000	1
9	757150.952	922080.000	1
10	1350586.344	922080.000	2

11.2 Desain Lead Rubber Bearing

Perletakan yang digunakan sebagai tumpuan dek jembatan adalah tumpuan tipe Lead Rubber Bearing (LRB). LRB bekerja berdasarkan prinsip *base isolation*, dan membatasi energi yang ditransfer dari tanah ke struktur akibat gempa. Material yang digunakan sebagai LRB adalah lapisan *elastomeric* dan perkuatan pelat baja yang divulkanisasi dengan inti timah (*lead*) di bagian tengah, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 11.2 - *Lead rubber bearing* (LRB)

Pada desain jembatan *cabl*e stayed ini, LRB dimodelkan pada MIDAS Civil dengan properti *General Link* dengan tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB). Produk LRB yang digunakan adalah produk Mageba LASTO LRB (Switzerland) dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 11.7 - Dimensi Mageba LASTO LRB

LASTO*LRB - $d_{LR} = 400\text{mm}$										
D (mm)	t_s (mm)	H_s (mm)	N_{sd} (kN)	N_{st} (kN)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	K_1 (kN/mm)	K_{sp} (kN/mm)	K_2 (kN/mm)	ξ (%)
500	160	326	3,600	1,250	315	755	1.1	1.89	814	29
600	176	350	5,950	2,150	420	990	1.45	2.49	1,346	28
700	192	374	8,750	3,450	515	1230	1.8	3.09	1,991	28
800	208	398	10,950	5,100	620	1500	2.17	3.73	2,725	26
900	216	410	16,250	6,750	690	1750	2.65	4.38	3,658	26
1000	224	422	18,750	10,100	760	2030	3.16	5.07	4,693	25

Dari hasil pemodelan didapatkan gaya maksimum yang bekerja pada LRB sebagai berikut.

Tabel 11.8 - Gaya maksimum pada LRB

Axial (N)	Shear x (N)	Shear y (N)
-7661.74	1392.95	1300.34

Kapasitas LRB diberikan sebagai berikut.

Kapasitas aksial,

$$N_{sd} = 10950 \text{ kN} > N_u = 7661,74 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Kapasitas tahanan horizontal,

$$F_2 = 1500 \text{ kN} > V_x = 1392,95 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Berdasarkan analisa dinyatakan bahwa LRB yang digunakan memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam desain jembatan *cabl stayed* Sembayat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 12 STRUKTUR KABEL

Struktur kabel merupakan salah satu struktur utama dan ciri khas dari konstruksi jembatan *cable stayed*. Struktur kabel berfungsi menyokong struktur dek dan menyalurkan beban-beban yang bekerja pada struktur dek ke *pylon*. Beban-beban tersebut diantaranya beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban saat pelaksanaan.

12.1 Data Perencanaan

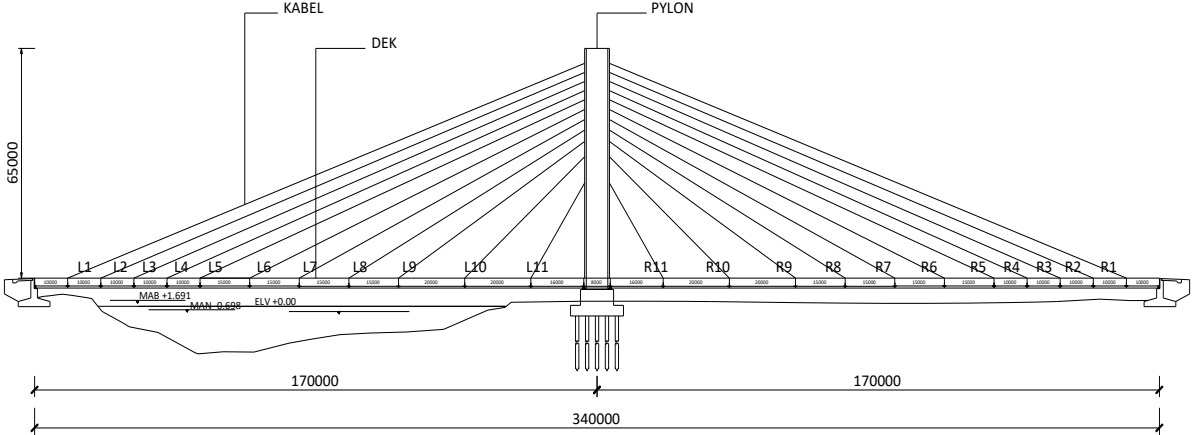
Kabel untuk jembatan *cable stayed* disyaratkan harus merupakan kabel mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 MPa. Dalam desain ini digunakan kabel dari jenis VSL SSI 2000 dengan spesifikasi material sesuai dengan A416, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Produk	= VSL SSI 2000
Kuat tarik, F_u	= 1860 MPa (100% GUTS)
Kuat tarik ijin, F_{all}	= 1116 MPa (60% GUTS)
Diameter 1 strand, ϕ_s	= 12,7 mm (1/2")
Luas penampang, A_s	= 150 mm ²

GUTS (*Guaranteed Ultimate Tensile Strength*) merupakan kekuatan tarik yang telah dijamin oleh produsen, dan dalam desain ini digunakan 60% GUTS.

Konfigurasi kabel diberikan pada gambar 8.1, dengan bentang kanan pada gambar dinamai R, dan bentang kiri dinamai L. Sedangkan penomoran dimulai dari paling tepi.

Jumlah strand dan dimensi kabel yang digunakan dalam desain telah ditentukan dalam *preliminary design*, kemudian dimodelkan dengan program bantu MIDAS Civil sehingga diperoleh gaya dalam kabel.



Gambar 12.1 - Susunan kabel

12.2 Pretension Kabel

Pada konstruksi jembatan *cable stayed*, perlu dilakukan *pretension* atau pemberian gaya pratarik untuk kabel sebelum dibebani. Hal ini diperlukan untuk mengatur posisi dek jembatan agar sesuai dengan posisi akhir jembatan sebelum menerima beban hidup. Apabila gaya pratarik ini tidak diberikan maka dek akan melendut terlebih dahulu sebelum menerima beban hidup, sehingga posisi dek akan menjadi kacau. Hal ini terjadi karena kabel akan berdeformasi terlebih dahulu tanpa pemberian gaya pratarik.

Penentuan gaya pratarik ini dapat ditentukan menggunakan program bantu MIDAS Civil dengan menggunakan menu *Unknown Load Factor*. Fungsi *Unknown Load Factor* pada dasarnya adalah mencari faktor beban yang seharusnya bekerja pada kabel agar sistem struktur menjadi seimbang, di mana faktor tersebut yang kemudian digunakan sebagai jumlah beban pratarik yang akan diinputkan pada pemodelan.

Berikut langkah-langkah untuk menentukan nilai gaya pratarik kabel menggunakan *Unknown Load Factor*:

1. Membuat pemodelan struktur jembatan.
2. Melakukan input gaya pratarik pada menu Load-Pretension sebesar 1 N.
3. Memberi batasan deformasi untuk nodal pada lantai kendaraan. Hal ini bertujuan untuk mengatur batasan deformasi lantai kendaraan akibat beban mati. Besar nilai batasan deformasi adalah sebesar +0,01m dan -0,01 yang artinya lantai kendaraan boleh melendut maksimal $\pm 0,01$ m.

4. Melakukan iterasi dengan program MIDAS Civil untuk mendapatkan gaya pratarik yang sesuai dengan lendutan yang telah ditentukan.

Hasil gaya pratarik dari *Unknown Load Factor* untuk masing-masing kabel diberikan pada tabel 8.1 sebagai berikut.

Tabel 12.1 - Nilai gaya pratarik kabel

Cable R &L	Force (N)
1	10000000
2	11000000
3	11000000
4	10000000
5	8000000
6	5200000
7	1900000
8	800000
9	700000
10	650000
11	690000

Kemudian gaya patarik ini diinputkan kedalam menu *pretension cable* dan diinputkan gaya-gaya yang lainnya sehingga didapatkan gaya hasil analisa keseluruhan struktur.

12.3 Kapasitas Struktur Kabel

12.3.1 Output Gaya Dalam pada Kabel

Tabel 12.2 - Output gaya dalam kabel

Kabel	Force	Kabel	Force
	kN		kN
R1	9569.4	L1	9569.4
R2	8528.4	L2	8528.4
R3	6489.8	L3	6489.8
R4	3906.2	L4	3906.2
R5	5262.5	L5	5262.5
R6	5147.8	L6	5147.8
R7	9016.7	L7	9016.7
R8	13209.4	L8	13209.4
R9	13745.3	L9	13745.3
R10	12737.7	L10	12737.7
R11	7709.2	L11	7709.2

12.3.2 Kapasitas Penampang Kabel

Dimensi kabel didapatkan dari hasil *preliminary design* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Penampang per } \textit{strand} &= 150 \text{ mm}^2 \\
 \text{Jumlah } \textit{strand} \text{ per kabel} &= 91 \text{ buah} \\
 \text{Penampang satu kabel, Asc} &= 13650 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Gaya dalam maksimum kabel hasil pemodelan diberikan sebagai berikut:

$$Pr = 13745,3 \text{ kN (pada kabel no. 9)}$$

Kapasitas kabel dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_c &= F_{\text{all Asc}} \\
 &= 1116 \cdot 13650 \\
 &= 15233400 \text{ N} \\
 &= 15233,4 \text{ kN} > Pr = 13745,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

.....[memenuhi]

Rekapitulasi kapasitas kabel untuk keseluruhan kabel diberikan pada tabel berikut.

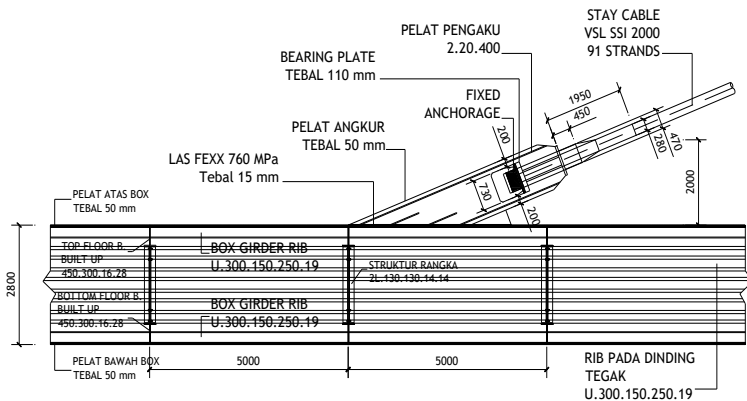
Tabel 12.3 - Rekapitulasi kapasitas kabel

Kabel	Force	Kapasitas	Keterangan
	kN	kN	
R1	9569.4	15233.4	memenuhi
R2	8528.4	15233.4	memenuhi
R3	6489.8	15233.4	memenuhi
R4	3906.2	15233.4	memenuhi
R5	5262.5	15233.4	memenuhi
R6	5147.8	15233.4	memenuhi
R7	9016.7	15233.4	memenuhi
R8	13209.4	15233.4	memenuhi
R9	13745.3	15233.4	memenuhi
R10	12737.7	15233.4	memenuhi
R11	7709.2	15233.4	memenuhi
L1	9569.4	15233.4	memenuhi
L2	8528.4	15233.4	memenuhi
L3	6489.8	15233.4	memenuhi
L4	3906.2	15233.4	memenuhi
L5	5262.5	15233.4	memenuhi

L6	5147.8	15233.4	memenuhi
L7	9016.7	15233.4	memenuhi
L8	13209.4	15233.4	memenuhi
L9	13745.3	15233.4	memenuhi
L10	12737.7	15233.4	memenuhi
L11	7709.2	15233.4	memenuhi

12.4 Desain Angkur Kabel

Angkur pada gelagar merupakan angkur mati. Pada desain angkur ini akan dilakukan kontrol terhadap tegangan pelat baja akibat beban tarik maksimum yang diberikan oleh kabel. Bentuk dan dimensi awal angkur diberikan pada gambar 8.3.



Gambar 12.2 - Struktur angkur pada dek

Struktur angkur pada desain jembatan *cable stayed* ini terdiri dari:

- a) *Bearing plate*

- b) Kapasitas Sambungan
- c) Pelat angkur dan pengakunya
- d) Pipa angkur dan penagku pipa
- e) Sambungan las

12.4.1 Kapasitas Bearing Plate

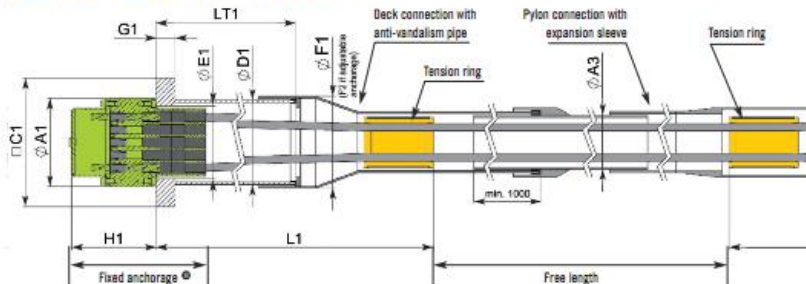
Produk yang digunakan dalam desain bearing plate adalah pelat baja BlueScope Steel grade 250L15 dengan spesifikasi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_y &= 240 \text{ MPa} \\ F_u &= 410 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan pada *bearing plate* didesain berdasarkan dimensi pada kabel.

VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS

STANDARD ARRANGEMENT WITH TENSION RING



Gambar 8.3 – Detail kabel VSL SSI 2000

$$\begin{aligned} \phi A1 &= 480 \text{ mm} & LT1 &= 500 \text{ mm} \\ [] C1 &= 730 \text{ mm} & H1 &= 370 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_p' = LT1^2 = 500^2 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_p &= [C]^2 - 0,25\pi\phi A1^2 \\ &= 730^2 - (0,25 \cdot \pi \cdot 480^2) \\ &= 351944 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan ijin pelat baja:

$$\begin{aligned} F_{yp} &= 0,8 F_y \sqrt{\frac{A_p'}{A_p} - 0,2} \\ &= 0,8 \cdot 240 \sqrt{\frac{250000}{351944} - 0,2} \\ &= 137,16 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan pada pelat angkur,

$$P = 13745,3 \text{ kN} = 13745293,5 \text{ N}$$

$$F_t = \frac{P}{A_p} = \frac{13745293,5}{351944} = 39,06 \text{ MPa} < F_{yp} = 137,16 \text{ MPa}$$

....[memenuhi]

12.4.2 Kapasitas Sambungan

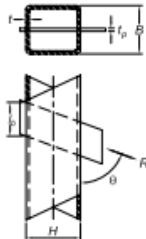
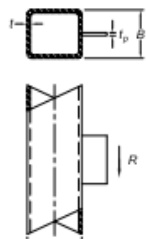
Kemampuan pelat angkur dan *box girder* dalam menahan gaya tarik yang diberikan kabel diatur dalam AISC 360-10 Chapter K sebagaimana akan dipaparkan berikut.

Persamaan yang digunakan disesuaikan dengan bentuk sambungan yang digunakan sebagaimana diberikan pada AISC 360-10 Table K1.2 berikut.

Material baja yang digunakan sebagai pelat angkur kabel adalah produk BlueScope Steel grade 450L15 dengan spesifikasi sebagai berikut.

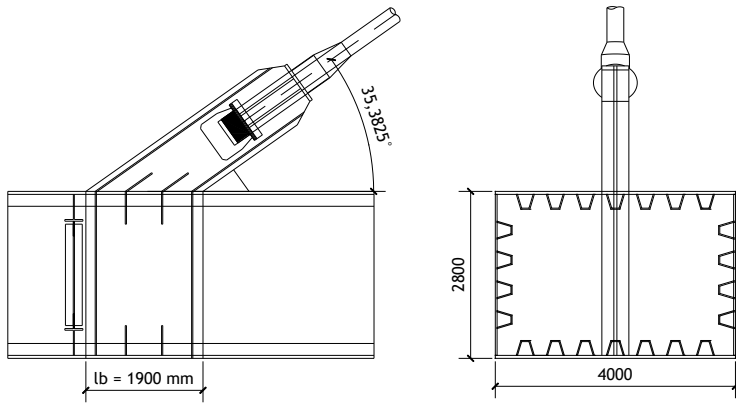
Tebal pelat, $t_p = 50 \text{ mm}$
 Kuat leleh, $F_{yp} = 400 \text{ MPa}$
 Kuat Tarik, $F_{up} = 500 \text{ MPa}$

Tabel 12.4 – Persamaan kapasitas sambungan *gusset plate* (AISC 360-10 Table K1.2)

<p>Longitudinal Through Plate T- and Y-Connections, Under Plate Axial Load</p> 	<p>Limit State: HSS Wall Plastification</p> $R_n \sin \theta = \frac{2F_y t^2}{1 - \frac{t_f}{B}} \left(\frac{2t_f}{B} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_f}{B} Q_f} \right) \quad (K1-13)$ <p>$\phi = 1.00$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p>
<p>Longitudinal Plate T-Connections, Under Plate Shear Load</p> 	<p>Limit States: Plate Limit States and HSS Punching Shear</p> <p>For R_n, see Chapter J. Additionally, the following relationship shall be met:</p> $t_f \leq \frac{F_u}{F_y P} t \quad (K1-3)$

Dimensi yang dihitung diberikan sebagai berikut.

- t = 50 mm (tebal *box girder*)
- B = 4000 mm (lebar *box girder*)
- H = 2800 mm (tinggi *box girder*)
- lb = 1900 mm
- θ = 35,3825°
- Q_f = 1,0 (untuk gaya tarik)



Gambar 12.3 – Dimensi *gusset plate* untuk angkur dek

Kapasitas plastisifikasi pada dinding box girder terhadap gaya aksial tarik dihitung sebagai berikut.

$$R_n \sin \theta = \frac{2F_y t^2}{1 - \frac{t_p}{B}} \left(\frac{2l_b}{B} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_p}{B} Q_f} \right)$$

$$R_n (0,579) = \frac{2 \cdot 360 \cdot 50^2}{1 - \frac{50^2}{4000}} \left(\frac{2 \cdot 1900}{4000} + 4 \sqrt{1 - \frac{50}{4000} \cdot 1,0} \right)$$

$$\begin{aligned} R_n &= 18663348,6 \text{ N} \\ &= 18663,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_c &= \phi R_n \\ &= 1,0 \cdot 18663,35 \\ &= 18663,35 \text{ kN} < R_r = 13745,3 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

Kapasitas sambungan terhadap geser dihitung sebagai berikut.

$$t_p \leq \frac{F_u}{F_{yp}} t = \frac{480}{400} 50 = 60 \text{ mm}$$

$$t_p = 50 \text{ mm} < 60 \text{ mm} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

$$R_n = 0,6 F_{yp} A_{gv}$$

$$A_{gv} = t_p \cdot l_b = 50 \cdot 1900 = 95000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \cdot 400 \cdot 95000 \\ &= 22800000 \text{ N} \\ &= 22800 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$R_c = \phi R_n = 1,0 \cdot 22800 = 22800 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_r &= 13745,3 \text{ kN} \cos \theta \\ &= 13745,3 \cos 35,3825 \\ &= 11206,61 \text{ kN} < R_c = 22800 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}] \end{aligned}$$

12.4.3 Kapasitas Pelat Angkur

Gaya yang bekerja pada struktur pelat angkur adalah gaya tarik dari kabel yang dikontrol pada penampang kritis.

a) Dimensi Pelat Angkur

$$\text{Lebar pelat angkur, } b_{pc} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat angkur, } t_{pc} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar pengaku, } b_s = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pengaku, } t_s = 20 \text{ mm}$$

Luas penampang,

$$\begin{aligned} A_g &= (b_{pc} \cdot t_{pc}) + (b_s \cdot t_s) \\ &= (200 \cdot 50) + (400 \cdot 20) \\ &= 26000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b) Kapasitas Tarik akibat Leleh pada Penampang Bruto

$$P_n = F_y A_g = 400 \cdot 26000 = 10400000 \text{ N} = 10400 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 10400 = 9360 \text{ kN}$$

c) Kapasitas Tarik akibat Ruptur pada Penampang Netto

Pelat tidak dilubangi ataupun disambung menggunakan baut.

$$A_e = 85\% \cdot A_g = 85\% \cdot 26000 \text{ mm}^2 = 22100 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_u A_e = 550 \cdot 22100 = 11050000 \text{ N} = 11050 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,75 \cdot 11050 = 9945 \text{ kN}$$

d) Kontrol Paling Menentukan

Kontrol yang paling menentukan,

$$P_c = 9360 \text{ kN (akibat leleh pada penampang bruto)}$$

Gaya yang bekerja pada satu penampang kritis,

$$\begin{aligned} P_r &= 0,5 P \\ &= 0,5 \cdot 13745,3 \text{ kN} \\ &= 6872,65 \text{ kN} < P_c = 11050 \text{ kN} \text{[memenuhi]} \end{aligned}$$

12.4.4 Kapasitas Pipa Angkur

Gaya yang bekerja pada pipa angkur adalah gaya tekan yang diakibatkan tertariknya *fix anchorage* akibat gaya pada kabel sehingga menekan pipa angkur yang tertahan oleh *bearing plate*.

a) Dimensi Pipa Angkur

Pipa angkur terdiri dari pipa baja dan pelat pengaku. Dimensi dari penampang adalah sebagai berikut.

Dimensi pipa,

Panjang pipa, L	= 1080 mm
Diameter luar, D_0	= 440 mm
Diameter dalam, D_1	= 390 mm
Tebal pipa, t	= 50 mm

$$\begin{aligned} A_p &= 0,25 \pi (D_0^2 - D_1^2) \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot (440^2 - 390^2) \\ &= 32594 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{64} \pi (D_0^4 - (D_0 - 2t)^4) \\ &= \frac{1}{64} \pi (440^4 - (440 - 2 \cdot 50)^4) \\ &= 1183869922 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1183869922}{32594}} = 190,583 \text{ mm}$$

Dimensi pengaku,

Lebar pengaku, b_s	= 250 mm
Tebal pengaku, t_s	= 40 mm

Jumlah pengaku, n_s = 4

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{total}}} &= b_s \cdot t_s \cdot n_s \\ &= 250 \cdot 40 \cdot 4 \\ &= 40000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b) Kapasitas Pipa

Rasio lebar tebal pipa:

$$\frac{D}{t} = \frac{450}{50} = 9 < 0,11 \frac{E}{F_y} = 0,11 \frac{200000}{400} = 55 \text{[non-slender]}$$

Kapasitas penampang:

$K = 0,65$ (sambungan kaku pada ujung-ujung pipa)

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,65 \times 1080}{190,583} = 3,683 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{400}} = 105,32$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 200000}{(3,683)^2} = 145521,21 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{400}{145521,21} = 0,00275 < 2,25 \text{ maka}$$

$$F_{cr} = [0,685^{F_y/F_e}] F_y = [0,685^{0,00275}] 400 = 399,584 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 399,584 \cdot 40000 = 15983361,85 \text{ N} = 15983,36 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 15983,36 = 14385,03 \text{ kN}$$

c) Kapasitas Pengaku

Kapasitas tekan pelat pengaku dihitung berdasarkan AISC 360-10 Chapter E3 sebagai berikut:

$$A_s = b_s t_s = 250 \cdot 40 = 10000 \text{ mm}^2$$

$$I_{sy} = \frac{1}{12} b_s t_s^3 = \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 40^3 = 1333333,3 \text{ mm}^4$$

$$r_{sy} = \sqrt{\frac{I_{py}}{A_s}} = \sqrt{\frac{1333333,3}{10000}} = 11,55 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,65 \times 1080}{11,55} = 60,78 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{400}} = 105,32$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 200000}{60,78^2} = 534,33 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{400}{534,33} = 0,749 > 2,25 \text{ maka}$$

$$F_{cr} = [0,685^{F_y/F_e}] F_y = [0,685^{0,749}] 400 = 301,295 \text{ MPa}$$

$$A_g = A_{\text{Stotal}} = 40000 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 301,295 \cdot 40000 = 12051800 \text{ N} = 12051,8 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 12051,8 = 10846,62 \text{ kN}$$

d) Kapasitas Total

Kapasitas tekan total pelat ditambah pengaku adalah sebagai berikut:

$$P_c = 14385,03 + 10846,62 = 25231,65 \text{ kN}$$

Gaya maksimum yang bekerja pada pipa tekan adalah sebesar:

$$P_r = 13745,3 \text{ kN} < P_c = 25231,65 \text{ kN} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

12.4.5 Sambungan Las pada Dek

Untuk sambungan struktur angkur pada *box girder* digunakan sambungan las, dengan mutu las sebagai berikut:

$$\text{Mutu} = \text{E9XTX-X-XM}$$

$$F_{EXX} = 760 \text{ MPa}$$

Ketebalan las minimum:

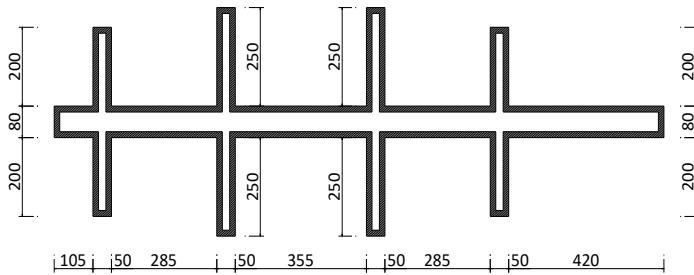
$$t_w = 15 \text{ mm}$$

$$w = 0,7071 \cdot 15 = 10,607 \text{ mm}$$

Panjang pengelasan didesain seperti terlihat pada gambar berikut.

Faktor panjang pengelasan dihitung berdasarkan dimensi terpanjang,

$$\frac{l}{w} = \frac{420}{10,607} = 39,596 < 100, \text{ maka faktor panjang pengelasan diambil } 1,0.$$



Gambar 12.4 - Tampak atas penampang las ankur

$$A_{we} = 74083,7 \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} = 0,6 F_{EXX} = 0,6 \cdot 760 = 456 \text{ MPa}$$

$$R_n = F_{nw} A_{we} = 456 \cdot 74083,7 = 33179147,2 \text{ N} = 33179,15 \text{ kN}$$

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 33179,15 = 24884,36 \text{ kN}$$

Gaya yang bekerja pada ankur,

$$R_r = 13745,3 \text{ kN} < R_c = 24884,36 \text{ kN} \text{[memenuhi]}$$

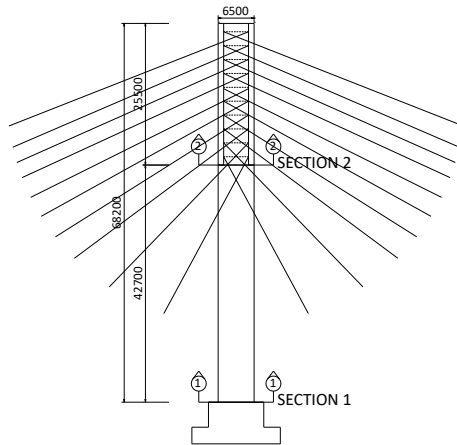
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 13 STRUKTUR PYLON

Struktur *pylon* berfungsi untuk memikul beban pada lantai kendaraan yang disalurkan oleh kabel, kemudian menyalurkan beban tersebut ke *pillar* dan pondasi. Material yang digunakan untuk struktur *pylon* adalah material beton bertulang dengan mutu tinggi. Mutu tinggi digunakan untuk memenuhi kapasitas *pylon* yang harus mencukupi dalam memikul beban-beban yang bekerja. Peraturan yang digunakan dalam mendesain struktur *pylon* adalah RSNi T 12 2004 tentang Struktur Beton untuk Jembatan.

13.1 Gaya Dalam pada Pylon

Gaya dalam pada *pylon* didapatkan dari hasil pemodelan menggunakan program bantu MIDAS Civil. Kemudian gaya tersebut dikoreksi dengan penambahan gaya akibat momen sekunder yang dianalisa berdasarkan kelangsingan struktur *pylon*.



Gambar 13.1 - Potongan memanjang struktur *pylon*

Penampang pada *pylon* yang akan dilakukan analisa penulangan adalah pada daerah di bawah angkur kabel dan pada daerah angkur kabel. Penampang tersebut ditunjukkan pada gambar 9.1 berikut. *Section 1* merupakan penampang pada daerah *joint* pada *pillar*, sedangkan *section 2* merupakan penampang pada daerah pengakuran kabel.

Gaya dalam hasil pemodelan yang digunakan untuk mendesain tulangan *pylon* diberikan sebagai berikut.

Gaya dalam desain *section 1*:

a) Untuk Analisa Sumbu Kuat

Tabel 13.1 - Gaya dalam maksimum-X1 untuk *pylon*

Element	Load	Part	Pu (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)
1	EKSTREM-5A	I[62]	-126370.26	1478.90	11824.22
1	EKSTREM-5A	2/4	-114108.64	1478.90	11824.22
1	EKSTREM-5A	J[7807]	-101847.01	1478.90	11824.22

Tu (kN-m)	Mx (kN-m)	My (kN-m)
-1518.38	545395.50	75770.77394
-1518.38	302930.69	44936.43128
-1518.38	87388.98	14105.38568

b) Untuk Analisa Sumbu Lemah

Tabel 13.2 - Gaya dalam maksimum-Y1 untuk *pylon*

Element	Load	Part	Pu (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)
1	EKSTREM-5B	I[62]	-126371.81	4841.38	3606.16
1	EKSTREM-5B	2/4	-114110.19	4841.38	3606.16

1	EKSTREM-5B	J[7807]	-101848.56	4841.38	3606.16
---	------------	---------	------------	---------	---------

Tu (kN-m)	Mx (kN-m)	My (kN-m)
-1518.46	166333.95	247801.53
-1518.46	92386.96	146859.12
-1518.46	26651.57	45918.04

Gaya dalam desain *section 2*:

a) Untuk Analisa Sumbu Kuat

Tabel 13.3 - Gaya dalam maksimum-X2 untuk *pylon*

Element	Load	Part	Pu (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)
2	EKSTREM-5A	I[7807]	-90437.75	910.85	9391.73
2	EKSTREM-5A	42770	-89864.20	910.85	9391.73
11	EKSTREM-5A	J[7815]	-6998.84	2112.50	133.59

Tu (kN-m)	Mx (kN-m)	My (kN-m)
1308.34	87388.98	13924.05
1308.34	81438.81	12787.94
-7433.76	435.70	127.83

b) Untuk Analisa Sumbu Lemah

Tabel 13.4 - Gaya dalam maksimum-Y2 untuk *pylon*

Element	Load	Part	Pu (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)
2	EKSTREM-5B	I[7807]	-90445.50	2967.73	2881.12
2	EKSTREM-5B	42770	-89871.96	2967.73	2881.12

11	EKSTREM-5B	J[7818]	-6999.06	640.16	433.11
----	------------	---------	----------	--------	--------

Tu (kN-m)	Mx (kN-m)	My (kN-m)
1307.76	26651.57	45891.19
1307.76	24778.13	42181.67
-7434.00	187.73	38.99

13.2 Analisa Kelangsingan dan Momen Sekunder

13.2.1 Spesifikasi Material dan Dimensi Pylon

Spesifikasi material beton dan tulangan diberikan sebagai berikut:

Kuat tekan beton, f_c' = 60 MPa

Modulus elastisitas beton =

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{60} = 36406 \text{ MPa}$$

Kuat leleh baja, f_y = 420 MPa

Modulus elastisitas baja, E_s = 200000 MPa

Dimensi pylon dibagi menjadi 2, yaitu pada *section 1* dan *section 2* sebagai berikut:

Dimensi *section 1*:

$$b_1 = 3900 \text{ mm}$$

$$h_1 = 6500 \text{ mm}$$

Dimensi *section 2*:

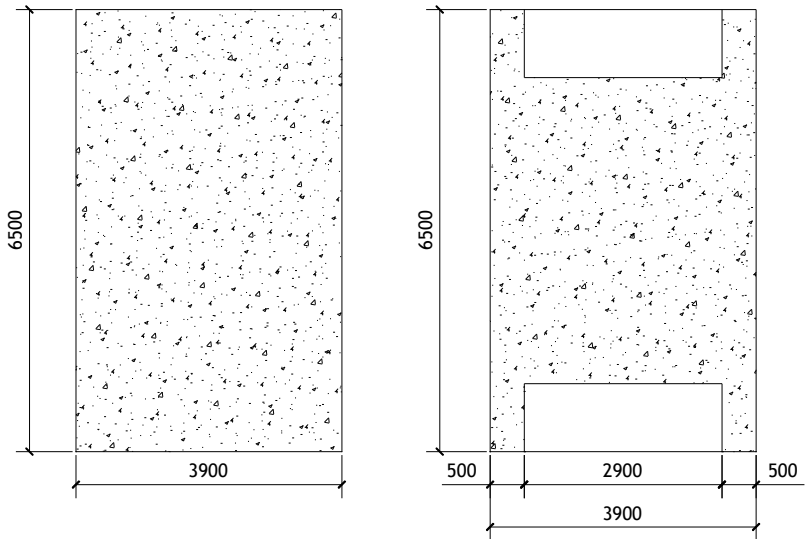
$$b_2 = 3900$$

$$h_2 = 4500$$

$$t_f = 500 \text{ mm}$$

$$t' = 1000 \text{ mm}$$

Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 9.2 berikut.



Gambar 13.2 - Section-1 (kanan), Section-2 (kiri)

13.2.2 Kelangsingan Pylon

Faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan asumsi bahwa *pylon* merupakan struktur jepit-bebas, sehingga nilai $K = 2,2$ berdasarkan RSNI T 12 2004 gambar 5.7-1.

Tinggi *pylon*, $H = 68200$ mm

Faktor reduksi momen inersia = $0,7$ (Pasal 5.7.4.2)

Section-1:

Luas penampang, $A_{g1} = b_1 h_1 = 3900 \cdot 6500 = 25350000$ mm²

Momen inersia *pylon*,

$$I_{x1} = 0,7 \frac{b_1 h_1^3}{12} = 0,7 \frac{3900 \times 6500^3}{12} = 62477187500000 \text{ mm}^4$$

$$I_{y1} = 0,7 \frac{h b_1^3}{12} = 0,7 \frac{6500 \times 3900^3}{12} = 22491787500000 \text{ mm}^4$$

Section-2:

Luas penampang,

$$\begin{aligned} A_{g2} &= (b_2 h_2) + 4(tf t') \\ &= (3900 \cdot 4500) + 4(500 \cdot 1000) \\ &= 19550000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia *pylon*,

$$\begin{aligned} I_{x2} &= 0,7 \left[\frac{b h^3}{12} + 4 \left(\frac{t' t'^3}{12} + (0,5(h_2 + t'))^2 t' t' \right) \right] \\ &= 0,7 \left[\frac{3900 \times 6500^3}{12} + 4 \left(\frac{500 \times 1000^3}{12} + (0,5(4500 + 1000))^2 500 \times 1000 \right) \right] \\ &= 31318437500000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{y2} &= 0,7 \left[\frac{h b^3}{12} + 4 \left(\frac{t' t'^3}{12} + (0,5(b_2 - t'))^2 t' t' \right) \right] \\ &= 0,7 \left[\frac{6500 \times 3900^3}{12} + 4 \left(\frac{1000 \times 500^3}{12} + (0,5(3900 - 500))^2 1000 \times 500 \right) \right] \\ &= 19646404166666,7 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Luas penampang rata-rata:

$$\begin{aligned} A_g &= 0,5 (A_{g1} + A_{g2}) \\ &= 0,5 (25350000 + 19550000) \\ &= 22450000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia rata-rata:

$$\begin{aligned} I_x &= 0,5 (I_{x1} + I_{x2}) \\ &= 0,5 (62477187500000 + 31318437500000) \\ &= 46897812500000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y &= 0,5 (I_{y1} + I_{y2}) \\ &= 0,5 (22491787500000 + 19646404166666,7) \\ &= 21069095833333,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Jari-jari girasi penampang,

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{46897812500000}{22450000}} = 1445,3 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{21069095833333,3}{22450000}} = 968,76 \text{ mm}$$

Kelangsingan terhadap sumbu x:

$$\frac{KH}{r_x} = \frac{2,2 \times 68200}{1445,3} = 103,81 > 22 \dots\dots\dots[\text{kolom langsing}]$$

Kelangsingan terhadap sumbu y:

$$\frac{KH}{r_y} = \frac{2,2 \times 68200}{968,76} = 154,88 > 22 \dots\dots\dots[\text{kolom langsing}]$$

13.2.3 Perbesaran Momen

Perbesaran momen dihitung pada masing-masing *section* sesuai dengan Pasal 5.7.6 RSNi T 12 2004.

a) Pada Section-1

Analisa pada sumbu kuat (sumbu x):

Pemeriksaan kolom bergoyang atau tak bergoyang,

$$\Sigma P_u = 126370260,74 \text{ kN}$$

$$V_u = 11824223,66 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\Delta_0 &= 129,8 \text{ mm} \\ l &= 42700 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$Q = \frac{\Sigma Pu \Delta_0}{V u l} = \frac{126370260,74 \times 129,8}{11824223,66 \times 42700} = 0,0325 < 0,05 \text{ [tak bergoyang]}$$

Karena section-1 merupakan kolom tak bergoyang maka perbesaran momen dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}M1 &= 87388977799,2 \text{ N-mm} \\ M2 &= 545395497987,21 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M1}{M2} \geq 0,4 = 0,6 + 0,4 \frac{87388977799,2}{545395497987,21} = 0,664 > 0,4$$

$$P_D = 103330808,75 \text{ kN (beban mati terfaktor)}$$

$$\beta_d = \frac{P_D}{P_u} = \frac{103330808,75}{126370260,74} = 0,818$$

Nilai kekaun (EI) dihitung berdasarkan Pasal 5.7.6.3 RSNI T 12-2004 sebagai berikut.

$$I_g = I_{x1}/0,7 = 62477187500000/0,7 = 89253125000000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}EI &= \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_d} = \frac{0,4 \times 36406 \times 89253125000000}{1 + 0,818} \\ &= 715053883480808000 \text{ N-mm}^2\end{aligned}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(Kl)^2} = \frac{\pi^2 715053883480808000}{(2,2 \times 42700)^2} = 799718979,91 \text{ N}$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} = \frac{0,664}{1 - \frac{126370260,74}{0,75 \times 799718979,91}} = 0,8414 < 1$$

Nilai M2 diambil tidak boleh kurang dari nilai berikut.

$$M_{2\min} = P_u (15 + 0,03h) = 126370260,74 (15 + 0,03 \cdot 6500) \\ = 26537754755,4 \text{ N-mm} < M_2$$

Maka dipakai nilai M_2 dari hasil pemodelan.

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \\ = 1,0 \cdot 545395497987,21 \\ = 545395497987,21 \text{ N-mm} \\ = 545395,5 \text{ kN-m}$$

Analisa pada sumbu lemah (sumbu y):

Pemeriksaan kolom bergoyang atau tak bergoyang,

$$\Sigma P_u = 126371813,06 \text{ kN} \\ V_u = 4841377,22 \text{ kN} \\ \Delta_0 = 135,1 \text{ mm} \\ l = 427000 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\Sigma P_u \Delta_0}{V_u l} = \frac{126371813,06 \times 135,1}{4841377,22 \times 427000} = 0,083 < 0,05 \text{ [bergoyang]}$$

Karena section-1 merupakan kolom tak bergoyang maka perbesaran momen dihitung sebagai berikut.

$$M_1 = 45918042093,95 \text{ N-mm} \\ M_2 = 247801528867,29 \text{ N-mm}$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 = 0,6 + 0,4 \frac{45918042093,95}{247801528867,29} = 0,6741 > 0,4$$

$$P_D = 103330808,75 \text{ kN (beban mati terfaktor)}$$

$$\beta_d = \frac{P_D}{P_u} = \frac{103330808,75}{126371813,06} = 0,818$$

Nilai kekaun (EI) dihitung berdasarkan Pasal 5.7.6.3 RSNI T 12 2004 sebagai berikut.

$$I_g = I_{y1}/0,7 = 22491787500000/0,7 = 32131125000000 \text{ mm}^4$$

$$EI = \frac{0,4 Ec I_g}{1+\beta d} = \frac{0,4 \times 36406 \times 23223958333333,3}{1+0,818} = 257420820517858000 \text{ N-mm}^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(Klu)^2} = \frac{\pi^2 257420820517858000}{(2,2 \times 42700)^2} = 287900423,66 \text{ N}$$

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0,75P_c}} = \frac{0,7294}{1 - \frac{126371813,06}{0,75 \times 287900423,66}} = 1,6254 > 1$$

Nilai M2 diambil tidak boleh kurang dari nilai berikut.

$$M_{2\min} = Pu (15 + 0,03h) = 26538080742,6 (15 + 0,03 \cdot 6500) = 26538080742,6 \text{ N-mm} < M_2$$

Maka dipakai nilai M2 dari hasil pemodelan.

$$\begin{aligned} \delta_{ns} M_2 &= 1,6254 \cdot 247801528867,29 \\ &= 402775096003,07 \text{ N-mm} \\ &= 402775,096 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$M_s = Pu \cdot \Delta_0 = 126371813,06 \cdot 135,1 = 17072831944,406 \text{ N-mm}$$

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-Q} = \frac{17072831944,406}{1-0,083} = 18609744577,35 \text{ N-mm} = 18609,745 \text{ kN-m}$$

$$M_c = 402775,096 + 18609,745 = 421384,841 \text{ kN-m}$$

b) Pada Section-2

Analisa pada sumbu kuat (sumbu x):

Pemeriksaan kolom bergoyang atau tak bergoyang,

$$\begin{aligned}\Sigma P_u &= 90437749,88 \text{ kN} \\ V_u &= 9391734,88 \text{ kN} \\ \Delta_0 &= 132,419 \text{ mm} \\ l &= 25500 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$Q = \frac{\Sigma P_u \Delta_0}{V_u l} = \frac{90437749,88 \times 132,42}{9391734,88 \times 25500} = 0,05001 < 0,05$$

[bergoyang]

Karena section-1 merupakan kolom tak bergoyang maka perbesaran momen dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}M_1 &= 435700936,78 \text{ N-mm} \\ M_2 &= 87388977799,2 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 = 0,6 + 0,4 \frac{435700936,78}{87388977799,2} = 0,602 > 0,4$$

$$P_D = 64191916,78 \text{ kN (beban mati terfaktor)}$$

$$\beta_d = \frac{P_D}{P_u} = \frac{64191916,78}{90437749,88} = 0,7098$$

Nilai kekaun (EI) dihitung berdasarkan Pasal 5.7.6.3 RSNI T 12 2004 sebagai berikut.

$$I_g = I_{x2}/0,7 = 31318437500000/0,7 = 44740625000000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}EI &= \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_d} = \frac{0,4 \times 43332 \times 41869791666666,7}{1 + 0,7098} \\ &= 381059198677046000 \text{ N-mm}^2\end{aligned}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(Kl)^2} = \frac{\pi^2 381059198677046000}{(2,2 \times 2550)^2} = 1194996058,2 \text{ N}$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} = \frac{0,6395}{1 - \frac{90437749,88}{0,75 \times 1194996058,2}} = 0,67 < 1$$

Nilai M2 diambil tidak boleh kurang dari nilai berikut.

$$M_{2\min} = P_u (15 + 0,03h) = 90437749,88 (15 + 0,03 \cdot 6500) \\ = 13565662482 \text{ N-mm} < M_2$$

Maka dipakai nilai M_2 dari hasil pemodelan.

$$\delta_{ns} M_2 = 1,0 \cdot 87388977799,2 \\ = 87388977799,2 \text{ N-mm} \\ = 87388,98 \text{ kN-m}$$

$$M_s = P_u \cdot \Delta_0 = 90437749,88 \cdot 132,419 = 11975676401,36 \text{ N-mm}$$

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-Q} = \frac{11975676401,36}{1-0,05001} = 12605975159,326 \text{ N-mm} \\ = 12605,975 \text{ kN-m}$$

$$M_c = \delta_{ns} M_2 + \delta_s M_s \\ = 87388,98 + 12605,975 \\ = 99994,953 \text{ kN-m}$$

Analisa pada sumbu lemah (sumbu y):

Pemeriksaan kolom bergoyang atau tak bergoyang,

$$\Sigma P_u = 90445504,5 \text{ kN} \\ V_u = 2967730,17 \text{ kN} \\ \Delta_0 = 250,335 \text{ mm} \\ l = 25500 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\Sigma P_u \Delta_0}{V_u l} = \frac{90445504,5 \times 250,335}{2967730,17 \times 25500} = 0,2992 > 0,05 \text{ [bergoyang]}$$

Karena section-1 merupakan kolom bergoyang maka perbesaran momen dihitung sebagai berikut.

$$M_1 = 38985779,82 \text{ N-mm} \\ M_2 = 45891189342,95 \text{ N-mm}$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 = 0,6 + 0,4 \frac{38985779,82}{45891189342,95} = 0,003 > 0,4$$

$$P_D = 64191916,78 \text{ kN (beban mati terfaktor)}$$

$$\beta_d = \frac{P_D}{P_u} = \frac{64191916,78}{90445504,5} = 0,7097$$

Nilai kekaun (EI) dihitung berdasarkan Pasal 5.7.6.3 RSNI T 12 2004 sebagai berikut.

$$I_g = I_{y2}/0,7 = 19646404166666,7/0,7 = 28066291666666,7 \text{ mm}^4$$

$$EI = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_d} = \frac{0,4 \times 36406 \times 28066291666666,7}{1 + 0,7097} = 239051181940916000 \text{ N-mm}^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(Kl_u)^2} = \frac{\pi^2 239051181940916000}{(2,2 \times 2550)^2} = 749661000,5 \text{ N}$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} = \frac{0,6401}{1 - \frac{90445504,5}{0,75 \times 749661000,5}} = 0,7154 < 1$$

Nilai M2 diambil tidak boleh kurang dari nilai berikut.

$$M_{2_{\min}} = P_u (15 + 0,03h) = 90445504,5 (15 + 0,03 \cdot 4500) = 13566825675 \text{ N-mm} < M_2$$

Maka dipakai nilai M2 dari hasil pemodelan.

$$\begin{aligned} \delta_{ns} M_2 &= 1,0 \cdot 45891189342,95 \\ &= 45891189342,95 \text{ N-mm} \\ &= 45891,19 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$M_s = P_u \cdot \Delta_0 = 90445504,5 \cdot 250,335 = 22641675369,01$$

$$\begin{aligned}\delta_s M_s &= \frac{M_s}{1-Q} = \frac{Pu \Delta_0}{1-Q} = \frac{22641675369,01 \times 250,335}{1-0,2992} \\ &= 32307767046,2 \text{ N-mm} \\ &= 32307,767 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_c &= \delta_{ns} M_2 + \delta_s M_s \\ &= 45891,19 + 32307,767 \\ &= 78198,97 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

13.3 Penulangan Pylon

Penulangan longitudinal *pylon* dilakukan menggunakan program bantu spColumn. Pada spColumn dimodelkan penampang *pylon* section-1 untuk desain pada section-1 dan dimodelkan penampang section-2 untuk desain section-2.

Sedangkan penulangan sengkang transversal dihitung secara manual berdasarkan SNI T 12 2004 Pasal 5.2.

13.3.1 Perhitungan Tulangan Longitudinal

Gaya yang diintupkan dalam perhitungan spColumn adalah gaya yang telah dihitung berdasarkan perbesaran momen sesuai perhitungan di atas. Rekapitulasi gaya hasil perhitungan perbesaran momen diberikan pada tabel berikut.

Tabel 13.5 - Rekapitulasi gaya pada pylon

Section	Gaya Aksial (kN)	Momen X (kN-m)	Momen Y (kN-m)
Section-1	126370.261	545395.498	421384.841
Section-2	90437.750	87388.978	78198.956

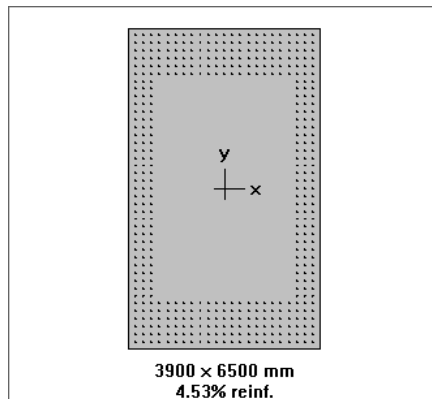
Direncanakan tulangan longitudinal D57 dan tulangan transversal D16 dengan kuat tarik baja $f_y = 420 \text{ MPa}$. Secara lengkap diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan beton, } f_c' &= 60 \text{ MPa} \\ \text{Modulus elastisitas beton, } E_c &= 36406 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kuat tarik baja, f_y	= 420 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Tulangan longitudinal, D_L	= 57 mm (D57)
Tulangan transversal, D_T	= 16 mm (D16)
Clear cover	= 100 mm

a) Penulangan Section-1

Pemodelan pada section-1 ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 13.3 - Pemodelan penulangan section-1

Hasil penulangan:

Material:

f_c'	= 60 MPa
E_c	= 36406 MPa
f_c	= 51 MPa
mm^2	
β_1	= 0,65
f_y	= 420 MPa
E_s	= 199955 MPa

Reinforcement:

Jumlah tulangan	= 450
Rasio, ρ	= 4,53%
A_s	= 1148289,385

Kontrol jarak antar tulangan:

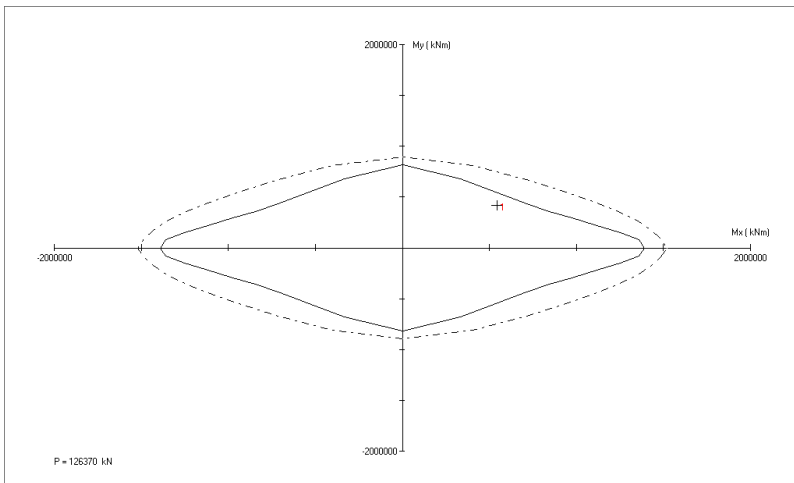
Jumlah tulangan dalam 1 layer, $n = 23$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b-2clearcover-2Dt-nDl}{n-1} \\
 &= \frac{3900-(2 \times 100)-(2 \times 16)-(23 \times 57)}{23-1} \\
 &= 107,14 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

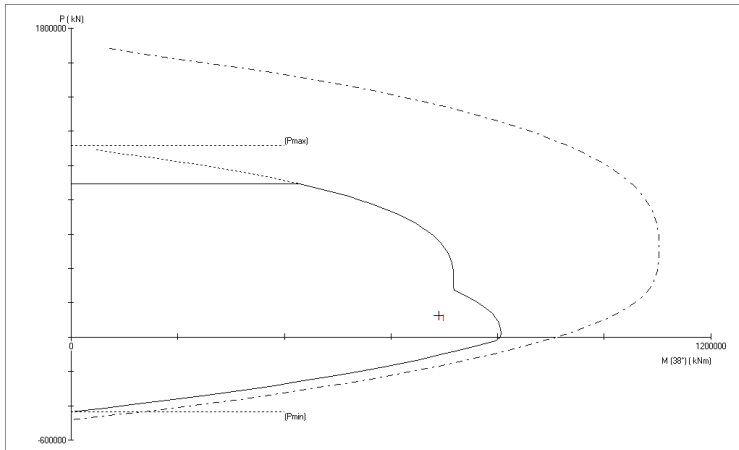
Kontrol rasio tulangan:

Berdasarkan SNI T 12 2004 Pasal 5.7.8.1 disyaratkan rasio tulangan longitudinal kolom tidak boleh kurang dari 0,01 A_g dan tidak boleh melebihi 0,08 A_g .

Rasio tulangan berdasarkan perhitungan, $\rho = 0,0435$
 $0,01 < \rho = 0,0435 < 0,08 \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$

Diagram interaksi:

Gambar 13.4 - Diagram interaksi Mx-My analisa spColumn

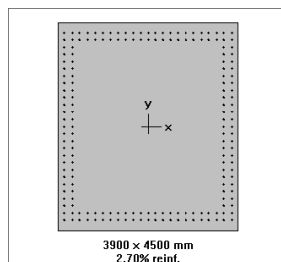


Gambar 13.5 - Diagram interaksi P-M analisa spColumn

Dari kedua diagram interaksi di atas dapat dilihat bahwa gaya dalam maksimum yang bekerja pada *pylon* masih di dalam zona aman sehingga disimpulkan bahwa penampang dengan penulangan longitudinal yang telah didesain memenuhi persyaratan.

b) Section-2

Pemodelan pada section-2 ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 13.6 - Pemodelan penulangan section-2

Hasil penulangan:

Material:

f_c' = 60 MPa
 E_c = 36406 MPa
 f_c = 51 MPa
 mm^2
 β_1 = 0,65
 f_y = 420 MPa
 E_s = 199955 MPa

Reinforcement:

Jumlah tulangan = 186
 Rasio, ρ = 2,704%
 A_s = 474627,11

Kontrol jarak antar tulangan:Jumlah tulangan dalam 1 layer, $n = 23$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2\text{clearcover} - 2Dt - nDl}{n-1} \\
 &= \frac{3900 - (2 \times 100) - (2 \times 16) - (23 \times 57)}{23-1} \\
 &= 107,14 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]
 \end{aligned}$$

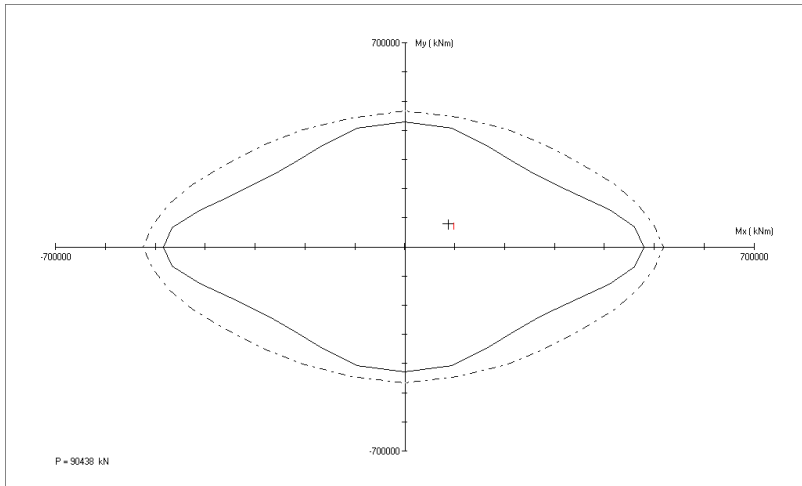
Kontrol rasio tulangan:

Berdasarkan SNI T 12 2004 Pasal 5.7.8.1 disyaratkan rasio tulangan longitudinal kolom tidak boleh kurang dari 0,01 A_g dan tidak boleh melebihi 0,08 A_g .

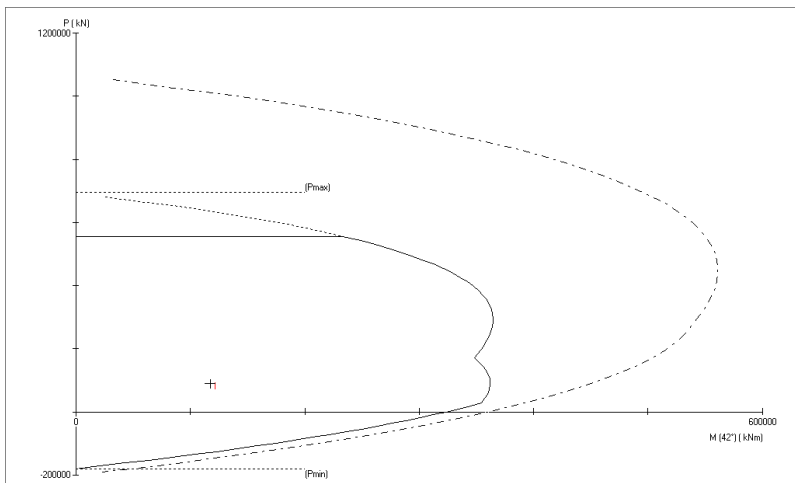
Rasio tulangan berdasarkan perhitungan, $\rho = 0,02704$

$$0,01 < \rho = 0,02704 < 0,08 \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

Diagram interaksi:



Gambar 13.7 - Diagram interaksi Mx-My analisa spColumn



Gambar 13.8 - Diagram interaksi P-M analisa spColumn

Dari kedua diagram interaksi di atas dapat dilihat bahwa gaya dalam maksimum yang bekerja pada *pylon* masih di dalam zona aman sehingga disimpulkan bahwa penampang dengan penulangan longitudinal yang telah didesain memenuhi persyaratan.

13.3.2 Perhitungan Tulangan Transversal

13.3.2.1 Perhitungan Tulangan

a) Section-1

Gaya geser maksimum desain:

$$\begin{array}{ll}
 V_y & = 11824223,66 \text{ N} & f_c' & = 60 \text{ MPa} \\
 V_x & = 4841377,22 \text{ N} & f_y & = 420 \text{ MPa} \\
 T_u & = 2651652681,39 \text{ N-mm} & D_T & = 16 \text{ mm} \\
 N_u & = 145392697,05 \text{ N} & &
 \end{array}$$

Tinjauan geser pada sumbu kuat (arah y):

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d$$

$$A_g = 25350000 \text{ mm}^2$$

$$b_w = 3900 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - 2 \cdot \text{clearcover} - D_T - 0,5D_L \\
 &= 6500 - (2 \cdot 100) - 16 - (0,5 \cdot 57) \\
 &= 6355,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{145392697,05}{14 \times 25350000}\right) \frac{\sqrt{60}}{6} \cdot 3500 \cdot 6355,5 \\
 &= 45108342,461 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,7 \cdot V_c \\
 &= 0,7 \cdot 45108342,461 \\
 &= 31575839,723 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \cdot 31575839,723 = 15787919,86 \text{ N}$$

$$V_u = V_y = 11824223,66 \text{ N} < 0,5 \phi V_c = 15787919,86 \text{ N}$$

Karena $V_u < 0,5 \phi V_c$ maka penampang sudah cukup kuat menahan gaya geser yang terjadi, sehingga tidak diperlukan tulangan geser. Tetapi untuk keamanan dipasang tulangan geser minimum yang dihitung berdasarkan 5.2.7 sebagai berikut:

$$A_{V(\min)} = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

Digunakan D16 dengan 5 kaki,

$$A_v = 5 \cdot 0,25 \pi D^2 = 5 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 = 1005,3 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{3 A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 1005,3 \times 420}{3500} = 361,91 \text{ mm}$$

Tinjauan geser pada sumbu lemah (arah x):

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c t}}{6} b_w d$$

$$A_g = 25350000 \text{ mm}^2$$

$$b_w = 6500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= b - 2 \text{clearcover} - D_T - 0,5D_L \\ &= 3900 - (2 \cdot 100) - 16 - (0,5 \cdot 57) \\ &= 3755,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{145392697,05}{14 \times 25350000} \right) \frac{60}{6} \cdot 6500 \cdot 3755,5 \\ &= 44424613,881 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,7 \cdot V_c \\ &= 0,7 \cdot 44424613,881 \\ &= 31097229,71 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \cdot 31097229,71 = 15548614,85 \text{ N}$$

$$V_u = V_x = 4841377,22 \text{ N} < 0,5 \phi V_c = 15548614,85 \text{ N}$$

Karena $V_u < 0,5 \phi V_c$ maka penampang sudah cukup kuat menahan gaya geser yang terjadi, sehingga tidak diperlukan tulangan geser. Tetapi untuk keamanan dipasang tulangan geser minimum yang dihitung berdasarkan 5.2.7 sebagai berikut:

$$A_{V(\min)} = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

Digunakan D16 dengan 8 kaki,

$$A_v = 8 \cdot 0,25 \pi D^2 = 8 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 = 1608,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{3 A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 1005,3 \times 420}{3500} = 311,8 \text{ mm}$$

Tinjauan terhadap torsi:

Pengaruh torsi boleh diabaikan bila persamaan berikut terpenuhi.

$$T_u < \phi 0,083 \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

$$T_u = 2651652681,39 \text{ N-mm}$$

$$A_{cp} = 3900 \cdot 6500 = 25350000 \text{ mm}^2$$

$$p_{cp} = 2 \cdot (3900 + 6500) = 20800 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi 0,083 \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) &= 0,75 \cdot 0,083 \cdot \sqrt{60} \left(\frac{25350000^2}{20800} \right) \\ &= 14897300333,152 \text{ N-mm} > T_u \end{aligned}$$

Persamaan di atas memenuhi dengan $T_u < 0,083 \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$ sehingga pengaruh torsi dapat diabaikan.

b) Section-2

Gaya geser maksimum desain:

$$\begin{array}{ll}
 V_y & = 9648565,77 \text{ N} & f_c' & = 60 \text{ MPa} \\
 V_x & = 2967730,17 \text{ N} & f_y & = 420 \text{ MPa} \\
 T_u & = 7881229472,76 \text{ N-mm} & & \\
 N_u & = 105947144,95 \text{ N} & D_T & = 16 \text{ mm}
 \end{array}$$

Tinjauan geser pada sumbu kuat (arah y):

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= 17550000 \text{ mm}^2 \\
 b_w &= 3900 \text{ mm} \\
 d &= h - 2\text{clearcover} - D_T - 0,5D_L \\
 &= 4500 - (2 \cdot 100) - 16 - (0,5 \cdot 57) \\
 &= 4234,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{105947144,95}{14 \times 17550000}\right) \frac{\sqrt{60}}{6} \cdot 3500 \cdot 4234,07 \\
 &= 30510474 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,7 \cdot V_c \\
 &= 0,7 \cdot 30510474 \\
 &= 21357331,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \cdot 21357331,8 = 10678665,9 \text{ N}$$

$$V_u = V_y = 9648565,77 \text{ N} < 0,5 \phi V_c = 10678665,9$$

Karena $V_u < 0,5 \phi V_c$ maka penampang sudah cukup kuat menahan gaya geser yang terjadi, sehingga tidak diperlukan tulangan geser. Tetapi untuk keamanan dipasang tulangan geser minimum yang dihitung berdasarkan 5.2.7 sebagai berikut:

$$A_{V(\min)} = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

Digunakan D16 dengan 5 kaki,

$$A_v = 5 \cdot 0,25 \pi D^2 = 5 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 = 1005,3 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{3 A_v f_y}{b w} = \frac{3 \times 1005,3 \times 420}{3500} = 361,91 \text{ mm}$$

Tinjauan geser pada sumbu lemah (arah x):

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b w d$$

$$A_g = 17550000 \text{ mm}^2$$

$$b w = 4500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= b - 2 \text{clearcover} - D_T - 0,5D_L \\ &= 3900 - (2 \cdot 100) - 16 - (0,5 \cdot 57) \\ &= 3661,06 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{105947144,95}{14 \times 17550000}\right) \frac{\sqrt{60}}{6} \cdot 6500 \cdot 3661,06 \\ &= 30440071,92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,7 \cdot V_c \\ &= 0,7 \cdot 30440071,92 \\ &= 21308050,347 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \cdot 21308050,347 = 10654025,17 \text{ N}$$

$$V_u = V_x = 2967730,17 \text{ N} < 0,5 \phi V_c = 10654025,17 \text{ N}$$

Karena $V_u < 0,5 \phi V_c$ maka penampang sudah cukup kuat menahan gaya geser yang terjadi, sehingga tidak diperlukan tulangan geser. Tetapi untuk keamanan dipasang tulangan geser minimum yang dihitung berdasarkan 5.2.7 sebagai berikut:

$$A_{v(\min)} = \frac{1 b_w s}{3 f_y}$$

Digunakan D16 dengan 6 kaki,

$$A_v = 6 \cdot 0,25 \pi D^2 = 6 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 = 1206,4 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{3 A_v f_y}{b w} = \frac{3 \times 1206,4 \times 420}{3500} = 337,78 \text{ mm}$$

Tinjauan terhadap torsi:

Pengaruh torsi boleh diabaikan bila persamaan berikut terpenuhi.

$$T_u < \phi 0,083 \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

$$\begin{aligned} T_u &= 7881229472,76 \text{ N-mm} \\ A_{cp} &= 3900 \cdot 4500 = 17550000 \text{ mm}^2 \\ p_{cp} &= 2 \cdot (3500 + 4500) = 16800 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi 0,083 \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) &= 0,75 \cdot 0,083 \cdot \sqrt{60} \left(\frac{17550000^2}{16800} \right) \\ &= 8840156241,651 \text{ N-mm} < T_u \end{aligned}$$

Persamaan di atas memenuhi dengan $T_u < 0,083 \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$ sehingga pengaruh torsi dapat diabaikan.

13.3.2.2 Persyaratan Jarak Tulangan

Persyaratan mengenai penulangan transversal diatur dalam SNI T 12 2004 Pasal 5.7.8.4. Jarak antara sengkang tidak melebihi harga terkecil dari:

- $0,5 h_c$:
Section-1 = $0,5 \cdot 6500 = 3250 \text{ mm}$
Section-2 = $0,5 \cdot 4500 = 2250 \text{ mm}$
- $7,5 d_b = 7,5 \cdot 57 = 427,5 \text{ mm}$
- 300 mm

Berdasarkan analisa penulangan geser dan persyaratan jarak tulangan, digunakan:

- Section-1

Tulangan geser sumbu kuat : 5D16 – 300 mm
Tulangan geser sumbu lemah : 8D16 – 300 mm

- Section-2

Tulangan geser sumbu kuat : 5D16 – 300 mm

Tulangan geser sumbu lemah : 6D16 – 300 mm

Satu sengkang pertama dari ujung bawah *pylon* harus ditempatkan tidak lebih dari 100 mm.

13.3.3 Persyaratan dan Pendetailan Tulangan

a) Kontrol Tarik Muka Kolom pada Sambungan Kolom

Dalam pasal 5.7.8.6 SNI T 12 2004 disyaratkan tulangan pada muka kolom pada daerah sambungan harus memiliki kekuatan tarik tidak kurang dari 0,25 $f_y A_s$.

Jumlah tulangan pada muka tarik:

$$\begin{aligned} n &= \text{jumlah tulangan 1 layer} \cdot \text{jumlah layer} \\ &= 23 \cdot 6 \\ &= 138 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$D_L = 57 \text{ mm}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$A_{S(\text{muka})} = 138 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 57^2 = 352142,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{S(\text{total})} = 1148291,4 \text{ mm}^2$$

Kuat tarik muka kolom:

$$F_t = A_{S(\text{muka})} f_y = 352142,7 \cdot 420 = 147899934 \text{ N}$$

$$0,25 A_s f_y = 0,25 \cdot 1148291,38 \cdot 420 = 120570595 \text{ N}$$

$$F_t > 0,25 A_s f_y \text{[memenuhi]}$$

b) Panjang Penyaluran Sambungan Kolom

Panjang penyaluran sambungan antar tulangan dihitung sebagai berikut.

$$l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f_{cr}}} \right) d_b$$

$\psi_t = 1,3$ (untuk jarak tulangan horizontal 300 mm)

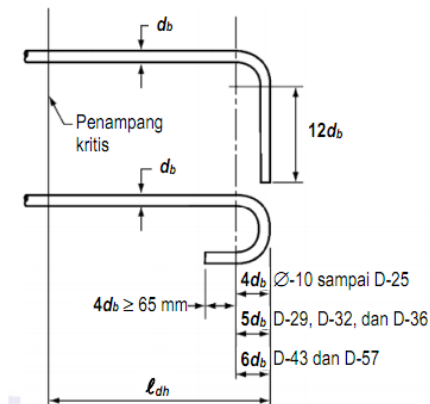
$\psi_e = 1,0$ (untuk tulangan tanpa galvanisasi)

$\lambda = 1,0$ (untuk beton dengan berat normal)

$$l_d = \left(\frac{420 \times 1,3 \times 1,0}{1,7 \times 1,0 \times \sqrt{85}} \right) 57 = 1985,7 \text{ mm}$$

Dipakai $l_d = 2000$ mm.

c) Panjang Kait pada Angkur Tulangan dan Angkur Pylon pada Pillar



Gambar 9.9 – Persyaratan tulangan kait

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24\psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_{cr}}} \right) d_b$$

$\psi_e = 1,0$ (untuk tulangan tanpa lapisan epoksi)

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1,0 \times 420}{1,0 \times \sqrt{85}} \right) 57 = 623,2 \text{ mm}$$

Diambil $l_{dh} = 700 \text{ mm}$

Kait pertama pada gambar 9.9 digunakan untuk kait angkur *pylon* pada *pillar* dengan panjang komponen sebagai berikut:

$$12db = 12 \cdot 57 = 684 \text{ mm (diambil 700 mm)}$$

$$6db = 6 \cdot 57 = 342 \text{ mm (diambil 350 mm)}$$

Kait kedua pada gambar 9.9 digunakan untuk kait angkur tulangan pada ujung *pylon*.

$$12db = 12 \cdot 57 = 684 \text{ mm (diambil 700 mm)}$$

$$6db = 6 \cdot 57 = 342 \text{ mm (diambil 350 mm)}$$

$$4db = 4 \cdot 57 = 228 \text{ mm (diambil 300 mm)}$$

13.4 Analisa Angkur pada Pylon

Desain angkur pada pylon meliputi *bearing plate* yang menahan tegangan akibat gaya tarik kabel dan juga kontrol tegangan pada beton akibat gaya tarik kabel. Gaya tarik kabel diberikan sebagai berikut.

Tabel 13.6 - Gaya dalam pada kabel

Kabel	Force	Kabel	Force
	kN		kN
R1	9569.4	L1	9569.4
R2	8528.4	L2	8528.4
R3	6489.8	L3	6489.8
R4	3906.2	L4	3906.2
R5	5262.5	L5	5262.5
R6	5147.8	L6	5147.8
R7	9016.7	L7	9016.7
R8	13209.4	L8	13209.4

R9	13745.3	L9	13745.3
R10	12737.7	L10	12737.7
R11	7709.2	L11	7709.2

Penampang kabel seperti telah didesain pada bab sebelumnya diberikan sebagai berikut.

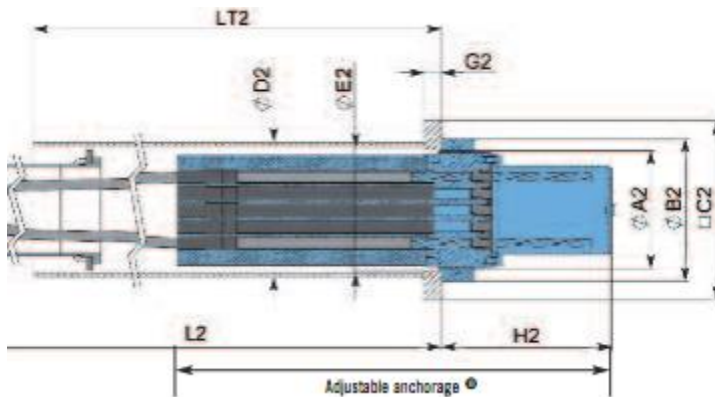
Lebar pelat angkur, $[C2] = 760 \text{ mm}$

Diameter angkur kabel, $\phi A2 = 490 \text{ mm}$

Panjang pengankuran, $LT2 = 1300 \text{ mm}$

$$A_p' = LT1^2 = 1300^2 = 1690000 \text{ mm}^2$$

$$A_p = [C2^2 - 0,25\pi\phi A1^2 = 760^2 - (0,25 \cdot \pi \cdot 490^2) = 389025,901 \text{ mm}^2$$



Gambar 13.9 - Detail *ajustable anchorage* VSL SSI 2000

Tegangan tekan pada beton diambil sebesar $85\% f_c'$.

$$f_c = 0,85 \cdot f_c' = 0,85 \cdot 60 = 51 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin beton di bawah pelat angkur dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_{cp} &= 0,8 \cdot f_c \sqrt{\frac{A_p'}{A_p} - 0,2} \\
 &= 0,8 \cdot 51 \cdot \sqrt{\frac{1690000}{389025,901} - 0,2} \\
 &= 83,06 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi di bawah pelat angkur dihitung sebagai berikut:

Gaya tarik maksimum, $P_u = 13745293,5 \text{ N}$

Tegangan tarik:

$$f_t = \frac{P_u}{A_p} = \frac{13745293,5}{389025,901} = 35,333 \text{ MPa} < f_{cp} = 83,06 \text{ MPa}$$

.....[memenuhi]

BAB 14

ANALISA AERODINAMIS

Analisa aerodinamis dibutuhkan dalam desain jembatan dengan struktur kabel, baik struktur *suspension* maupun *cable stayed*. Hal ini dikarenakan kegagalan stabilitas aerodinamis sangat rentan terjadi pada struktur jembatan kabel. Investigasi kegagalan aerodinamis pada struktur jembatan berawal dari runtuhnya jembatan Tacoma Narrows pada tahun 1940. Setelah kejadian tersebut jembatan dengan struktur kabel harus dianalisa terhadap stabilitas aerodinamis.

Kegagalan aerodinamis biasanya disebabkan oleh resonansi, dengan hembusan angin yang menyebabkan struktur mengalami frekuensi eksternal periodik. Ketika frekuensi eksternal tersebut memiliki nilai yang sama dengan frekuensi alami struktur maka struktur akan mulai beresonansi. Resonansi ini akan menyebabkan struktur mengalami osilasi (keadaan dimana struktur bergetar) sampai apabila kapasitas struktur tidak mencukupi maka akan terjadi kegagalan. Kegagalan ini dinamakan fenomena *vortex shedding*.

Kegagalan aerodinamis lainnya adalah fenomena *aeroelastic flutter*. *Flutter* adalah ketidakstabilan dinamis struktur elastis pada aliran fluida yang disebabkan oleh defleksi struktur yang kemudian diperparah oleh gaya akibat aliran fluida sampai struktur mengalami kegagalan.

Dalam analisa dinamis, akan dihitung frekuensi alami struktur. Kemudian dihitung efek *vortex shedding* berdasarkan frekuensi alami yang telah dihitung. Serta akan dilakukan analisa *aeroelastic flutter*.

14.1 Frekuensi Alami

Persamaan yang digunakan dalam menghitung frekuensi alami struktur adalah rumus eksperimen yang dikeluarkan oleh

Public Work Research Institute of Japan (PWRI) yang tertera dalam SEM PU Nomor 08/SE/M/2015 Pasal 12.3 sebagai berikut.

$$f_b = 33,8 \cdot L^{-0,763}$$

$$f_t = 17,5 \cdot L^{-0,453}$$

$$h = 10,0005 + 0,0148 \cdot f_b$$

Di mana,

L merupakan panjang bentang dalam meter

h merupakan redaman struktur dalam %

Sehingga nilai frekuensi struktur yang dihitung berdasarkan persamaan di atas diberikan sebagai berikut.

$$L = 170 \text{ m}$$

$$f_b = 33,8 \cdot 170^{-0,763} = 0,671559 \text{ Hertz}$$

$$f_t = 17,5 \cdot 170^{-0,453} = 1,708617 \text{ Hertz}$$

14.2 Stabilitas Aerodinamik (SEM PU NO. 08/SE/M/2015)

Dalam Surat Edaran Kementrian PU Nomor 08/SE/M/2015 tentang Jembatan Beruji Kabel disyaratkan satabilitas aerodinamik struktur jembatan *cabl stayed* sebagai berikut.

$$P_b = \left(\frac{\rho B}{m} \right) \left(\frac{16V^2}{BLf_b^2} \right)$$

$$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{densitas udara})$$

$$B = 17 \text{ m (lebar dek)}$$

$$V = 90 \text{ km/jam (kecepatan angin rencana)}$$

$$\begin{aligned}
 m &= A_{\text{dek}} \cdot \rho_{\text{baja}} \quad (\text{berat jembatan per satuan panjang}) \\
 &= 1404451,748 \cdot 10^{-6} \cdot 7850 \\
 &= 11024,946 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$P_b = \left(\frac{1,3 \times 17^2}{11024,946} \right) \left(\frac{16 \times 90}{17 \times 0,671559^2} \right) = 6,39985 > 1,0$$

Karena $P_b > 1,0$ maka diperlukan analisa aerodinamis lebih lanjut, maka akan dilakukan analisa *vortex shedding* dan *flutter*.

14.3 Vortex Shedding

14.3.1 Kecepatan Angin berdasarkan Angka Strouhal

Kecepatan angin dihitung berdasarkan frekuensi lentur alami struktur sehingga kecepatan ini dianggap sebagai kecepatan pada kondisi resonansi. Nilai angka *Strouhal* diambil berdasarkan bentuk penampang dek. Untuk penampang *box* digunakan angka *Strouhal* = 0,2.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{f_B h}{S} \\
 S &= 0,2 \\
 h &= 2,8 \text{ m (tinggi dek jembatan)}
 \end{aligned}$$

$$V = \frac{0,671559 \times 2,8}{0,2} = 9,401826 \text{ m/s}$$

14.3.2 Angka Reynold

Untuk kontrol kestabilan struktur nilai angka *Reynold* harus berada antara 10^5 sampai dengan 10^7 .

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{VB}{\bar{\nu}} \\
 V &= \text{kecepatan dihitung berdasarkan angka } \textit{Strouhal} \\
 &= 8,9647 \text{ m/s} \\
 B &= 17 \text{ m (lebar lantai kendaraan)} \\
 \bar{\nu} &= 0,15 \text{ cm}^2/\text{dt (viskositas kinematik udara)}
 \end{aligned}$$

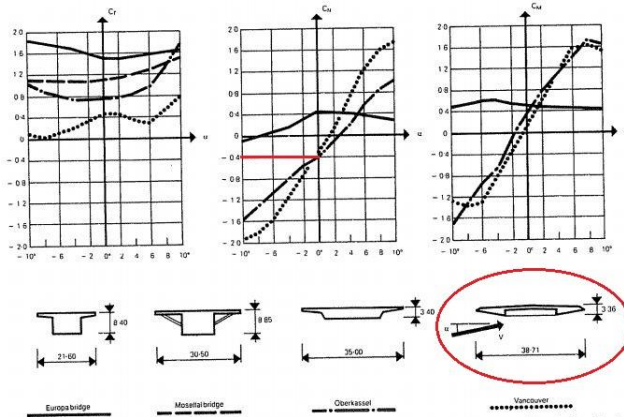
$$Re = \frac{9,402 \times 17}{1,5 \times 10^{-5}} = 9513752,5 = 9,514 \cdot 10^6$$

Dari perhitungan didapatkan $10^5 < Re < 10^7$, maka penampang dianggap memenuhi berdasarkan kriteria Reynold.

14.3.3 Amplitudo akibat Osilasi

Pusaran angin menyebabkan gaya angkat F_o (*uplift*). Amplitudo akibat osilasi akan dihitung berdasarkan gaya angkat ini. Perhitungan gaya angkat dihitung sebagai berikut.

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} Ch$$



Gambar 14.1 - Koefisien gaya angkat C (Walther, Rene 1999)

Dimana,

- ρ = 1,3 kg/m³ (densitas udara)
- V = kecepatan berdasarkan angka *Strouhal* (tabel 10.2)
- h = 2,8 m (tinggi dek)
- C = koefisien gaya angkat ditentukan berdarakan gambar di atas

Dalam menentukan nilai C, penampang diwakilkan dengan penampang yang tersedia yaitu jembatan Vancouver (gambar 10.2). sehingga didapatkan nilai $C = 0,4$.

$$F_0 = 1,3 \frac{9,401826^2}{2} 0,4 \cdot 2,8 = 64,3511 \text{ N/m}$$

Amplitudo struktur akibat osilasi gaya angkat diberikan sebagai berikut.

$$\hat{v} = \frac{\pi}{\delta} \frac{1}{k} \frac{F_0}{B}$$

$$\delta = 0,02 \text{ (penurunan logaritmik berdasarkan Tabel 11 SEM PU No. 08/SE/M/2015)}$$

$$B = 17 \text{ m (lebar dek)}$$

$$k = \text{kekakuan lentur struktur per meter panjang}$$

$$k = \frac{m}{v_{max}}$$

$$m = \text{berat sendiri dek per meter panjang} \\ = 11024,946 \text{ kg/m}$$

$$v_{max} = 0,522 \text{ m}$$

$$k = \frac{11024,946}{0,522} = 21120,59 \text{ kg/m/m} = 207,193$$

$$\text{N/mm/m}$$

Amplitudo struktur akibat osilasi dihitung sebagai berikut.

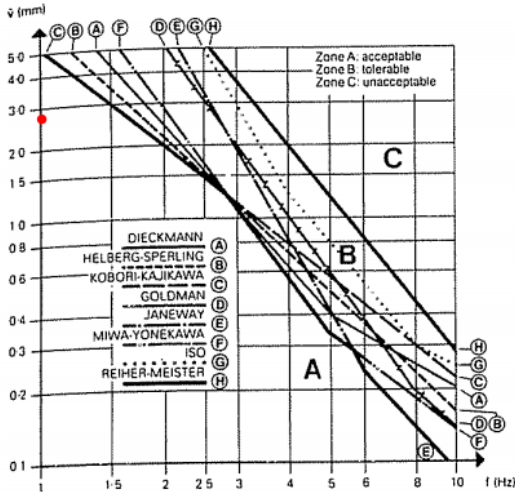
$$f_B = 0,5776 \text{ Hz}$$

$$f_T = 0,6914 \text{ Hz}$$

$$F_0 = 71,409 \text{ N/m}$$

$$\hat{v}_3 = \frac{\pi}{0,02} \times \frac{1}{207,193} \times \frac{64,3511}{17} = 2,87 \text{ mm}$$

Kontrol keamanan amplitudo struktur akibat osilasi ditentukan berdasarkan grafik Rene Walther 1999, dengan mengkombinasikan nilai frekuensi lentur dan nilai amplitudo akibat osilasi sebagai berikut.



Gambar 14.2 - Kontrol keamanan amplitudo (Walther, Rene 1999)

Dapat dilihat pada gambar di atas bahwa nilai hasil plot ampiltudo dan frekuensi lentur berada pada zona aman.

14.3.4 Percepatan akibat Osilasi

Percepatan akibat osilasi dihitung berdasarkan nilai amplitudo akibat osilasi sebagai berikut.

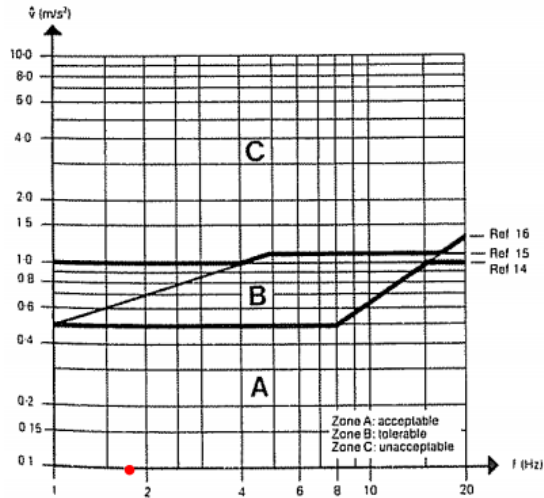
$$\hat{v} = 4 \pi^2 f_B^2 \hat{v}$$

$$f_b = 0,671559 \text{ Hertz}$$

$$f_t = 1,708617 \text{ Hertz}$$

$$\hat{v}_3 = 4 \pi^2 \cdot 0,671559^2 \cdot 2,87 \cdot 10^{-3} = 0,051 \text{ m/s}^2$$

Kontrol keamanan percepatan akibat osilasi ditentukan berdasarkan grafik Rene Walther 1999 dengan mengkombinasikan nilai frekuensi torsi f_T dengan nilai percepatan akibat osilasi sebagai berikut.



Gambar 14.3 - Kontrol keamanan percepatan (Walther, Rene 1999)

Dapat dilihat pada gambar di atas bahwa nilai plot antara percepatan akibat osilasi dan nilai frekuensi torsi berada dalam zona aman.

14.4 Flutter

Hasil akhir perhitungan *flutter* adalah didapatkannya nilai kecepatan kritis aktual struktur ($V_{critic.actual}$). Apabila nilai kritis aktual struktur lebih besar dari nilai kecepatan angin rencana, maka struktur dinyatakan aman.

Perhitungan *flutter* menggunakan metode *Kloppel* sebagai berikut.

$$\mu = \frac{m}{\pi \rho b^2}$$

Dengan,

$$m = 11024,946 \text{ kg/m (berat struktur = w)}$$

$$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3 \text{ (densitas udara)}$$

$$b = 0,5B = 0,5 \cdot 17 = 8,5 \text{ m}$$

$$\mu = \frac{11024,946}{\pi \times 1,3 \times 8,5^2} = 37,363$$

Menentukan jari-jari girasi penampang dek:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = 1537400000000 \text{ mm}^4$$

$$A = 1404451,748 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{1537400000000}{1404451,748}} = 1046,261 \text{ mm} = 1,046 \text{ m}$$

$$r/b = 1,046/8,5 = 0,1231$$

Untuk $f_b = 0,671559 \text{ Hz}$ dan $f_i = 1,708617 \text{ Hz}$:

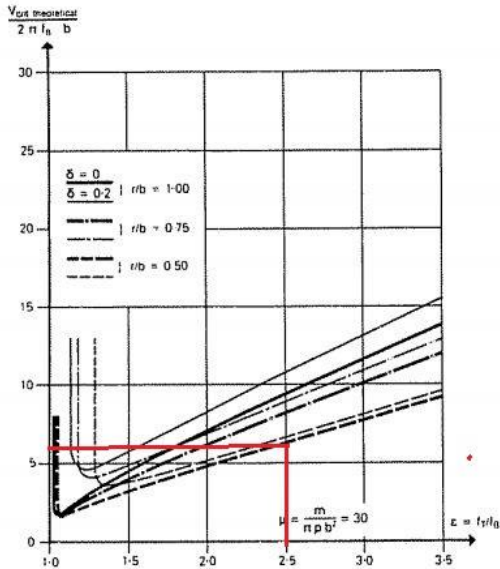
$$\epsilon_3 = \frac{f_T}{f_B} = \frac{1,708617}{0,671559} = 2,5443$$

Nilai $V_{\text{critic.theoritic}}$ ditentukan berdasarkan grafik pada gambar 14.5.

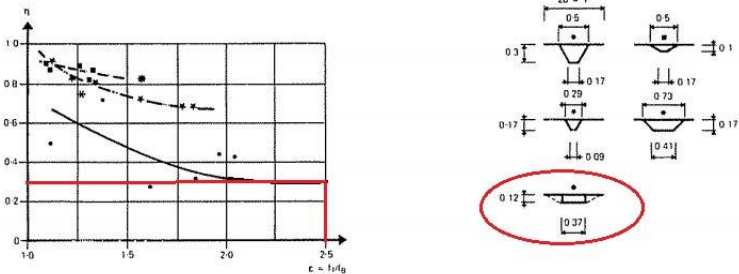
$$\frac{V_{\text{critic.theoritic-3}}}{2\pi f_B b} = 6$$

$$V_{\text{critic.theoritic}} = 6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,671559 \cdot 8,5 = 215,196 \text{ m/s}$$

Nilai $V_{critic.actual}$ harus dikoreksi dengan faktor η yang ditentukan menggunakan grafik milik Rene Walther 1999 sebagaimana diberikan pada gambar 14.6 berikut.



Gambar 14.4 - Grafik $V_{critic.theoretic}$ (Walther, Rene 1999)



Gambar 14.5 Faktor koreksi $V_{critic.actual}$ (Walther, Rene 1999) -

Diasumsikan sudut serang angin 6° , maka untuk dek yang *streamlined* faktor koreksi harus dikalikan $\frac{1}{2}$ sebagai berikut.

$$\eta_{(\alpha.\text{wind } 0)} = 0,3$$

$$\eta_{(\alpha.\text{wind } 6)} = \eta_{(\alpha.\text{wind } 0)} \cdot \frac{1}{2} = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15$$

Kecepatan aktual kritis pada sudut serang angin 0° :

$$V_{\text{critic.actual}(0)} = 0,3 \cdot 215,196 = 64,558 \text{ m/s} = 232,41 \text{ km/h}$$

Kecepatan aktual kritis pada sudut serang angin 6° :

$$V_{\text{critic.actual}(6)} = 0,15 \cdot 215,196 = 32,279 \text{ m/s} = 116,21 \text{ km/h}$$

Kecepatan angin rencana untuk desain jembatan *cable stayed* ini adalah sebesar 90 km/h.

$$V_{\text{rencana}} < V_{\text{critic.actual}} \dots\dots\dots[\text{memenuhi}]$$

14.5 Frekuensi Struktur

Pada poin ini akan disajikan nilai-nilai frekuensi struktur hasil pemodelan yang meliputi frekuensi alami dan frekuensi yang terjadi akibat hembusan angin pada kecepatan rencana. Struktur akan mengalami resonansi apabila nilai frekuensi alami sama dengan nilai frekuensi yang terjadi akibat angin.

Tabel 14.1 – Frekuensi alami struktur

Mode No	Frequency	Frequency	Period
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
1	1.96726	0.31310	3.19387
2	2.14982	0.34216	2.92265
3	2.37836	0.37853	2.64182
4	3.22382	0.51309	1.94899
5	3.67422	0.58477	1.71007

6	4.59269	0.73095	1.36808
7	4.96410	0.79006	1.26573
8	5.69308	0.90608	1.10365
9	8.04036	1.27966	0.78146
10	8.53663	1.35865	0.73603
11	8.62043	1.37199	0.72887
12	9.34975	1.48806	0.67202
13	10.13258	1.61265	0.62010
14	13.57632	2.16074	0.46281
15	14.67401	2.33544	0.42819
16	15.67031	2.49401	0.40096
17	17.38273	2.76655	0.36146
18	18.94888	3.01581	0.33159
19	21.76550	3.46409	0.28868
20	22.22626	3.53742	0.28269
21	22.52217	3.58452	0.27898
22	22.71736	3.61558	0.27658
23	28.41542	4.52245	0.22112
24	30.52520	4.85824	0.20584
25	30.59801	4.86983	0.20535
26	31.60511	5.03011	0.19880
27	32.99216	5.25087	0.19045
28	37.26365	5.93069	0.16861
29	38.17437	6.07564	0.16459
30	39.23029	6.24369	0.16016

Tabel 14.2 – Frekuensi struktur akibat angin

Mode No	Frequency	Frequency	Period
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
1	1.97000	0.31354	3.18944
2	2.15211	0.34252	2.91955
3	2.38147	0.37902	2.63837
4	3.22382	0.51309	1.94899
5	3.67793	0.58536	1.70835
6	4.59772	0.73175	1.36659
7	4.96471	0.79016	1.26557
8	5.70393	0.90781	1.10155
9	8.04732	1.28077	0.78078
10	8.53656	1.35864	0.73603
11	8.62635	1.37293	0.72837
12	9.36750	1.49089	0.67074
13	10.12493	1.61143	0.62057
14	13.58405	2.16197	0.46254
15	14.68314	2.33690	0.42792
16	15.67850	2.49531	0.40075
17	17.41397	2.77152	0.36081
18	18.93972	3.01435	0.33175
19	21.78102	3.46656	0.28847
20	22.24370	3.54020	0.28247
21	22.52218	3.58452	0.27898
22	22.76044	3.62244	0.27606
23	28.40482	4.52077	0.22120
24	30.55292	4.86265	0.20565
25	30.62307	4.87381	0.20518

26	31.66827	5.04016	0.19841
27	32.99225	5.25088	0.19044
28	37.32675	5.94074	0.16833
29	38.14103	6.07033	0.16474
30	39.24202	6.24556	0.16011

Tabel 14.3 – Selisih nilai frekuensi alami dan frekuensi akibat angin

Mode No	f_{natural}	f_{wind}	Selisih
	(cycle/sec)	(cycle/sec)	(cycle/sec)
1	0.31310	0.31354	0.00044
2	0.34216	0.34252	0.00036
3	0.37853	0.37902	0.00049
4	0.51309	0.51309	0.00000
5	0.58477	0.58536	0.00059
6	0.73095	0.73175	0.00080
7	0.79006	0.79016	0.00010
8	0.90608	0.90781	0.00173
9	1.27966	1.28077	0.00111
10	1.35865	1.35864	-0.00001
11	1.37199	1.37293	0.00094
12	1.48806	1.49089	0.00283
13	1.61265	1.61143	-0.00122
14	2.16074	2.16197	0.00123
15	2.33544	2.33690	0.00145
16	2.49401	2.49531	0.00130
17	2.76655	2.77152	0.00497
18	3.01581	3.01435	-0.00146
19	3.46409	3.46656	0.00247

20	3.53742	3.54020	0.00278
21	3.58452	3.58452	0.00000
22	3.61558	3.62244	0.00686
23	4.52245	4.52077	-0.00169
24	4.85824	4.86265	0.00441
25	4.86983	4.87381	0.00399
26	5.03011	5.04016	0.01005
27	5.25087	5.25088	0.00001
28	5.93069	5.94074	0.01004
29	6.07564	6.07033	-0.00531
30	6.24369	6.24556	0.00187

BAB 15

METODE PELAKSANAAN DAN MAINTENANCE

Pada bab ini akan dibahas metode pelaksanaan dalam konstruksi jembatan *cable stayed* ini, sekaligus analisa stuktur ketika *maintenance*. Metode pelaksanaan mencakup pemasangan dek jembatan dan kontrol keamanan struktur ketika pemasangan dek. Sedangkan analisa struktur ketika *maintenance* mencakup pelepasan 1 buah kabel untuk diganti dan bagaimana pengaruhnya terhadap struktur jembatan.

15.1 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan yang digunakan adalah *balance cantilever method*. Untuk memasang dek digunakan *lifting frame* dan juga digunakan bantuan perancah untuk memasang masing-masing segmen dek jembatan. Tahapan-tahapan pelaksanaan dijelaskan pada poin 10.1.1 sedangkan analisa struktur tahap pelaksanaan dijelaskan pada poin 10.1.2.

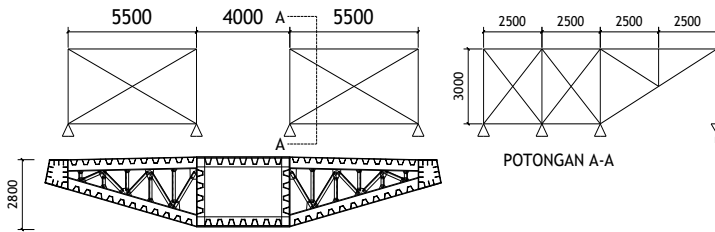
15.1.1 Tahapan Pelaksanaan

Lifting frame yang digunakan disesuaikan dengan dimensi dek jembatan. Spesifikasi *lifting frame* diberikan sebagai berikut

Berat *lifting frame*, W_{LF} = 500 kN
Berat 1 segmen dek jembatan, W_{deck} = 683 kN

Kapasitas *lifting frame* yang tersedia adalah 100 ton sampai 480 ton. Kapasitas yang dipilih disesuaikan dengan berat dek per segmen.

Maka digunakan *lifting frame* dengan kapasitas 100 ton atau setara dengan 1000 kN. Dimensi *lifting frame* dapat dilihat pada gambar 10.1 berikut.

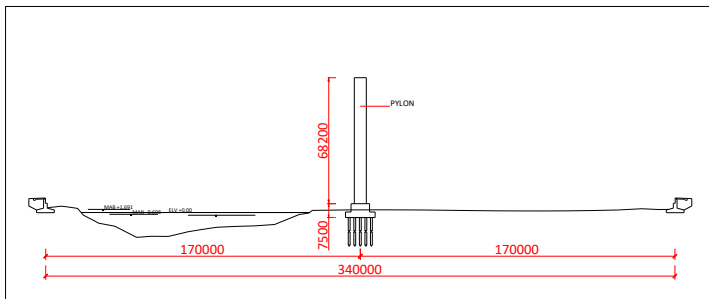


Gambar 15.1 - Dimensi *lifting frame*

Tahapan pelaksanaan diuraikan sebagai berikut:

a) Tahap Pertama

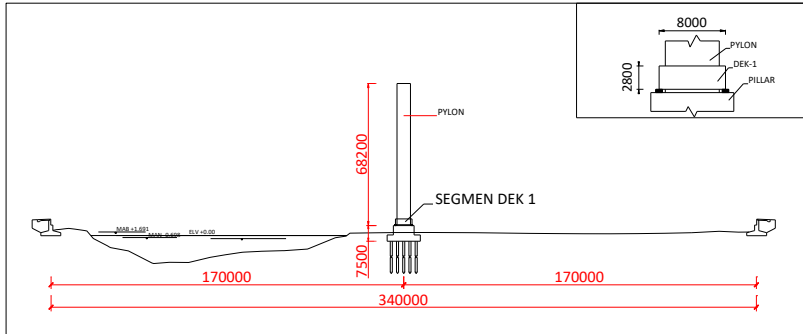
Tahap pertama, didirikan bangunan bawah yaitu pondasi dan pillar kemudian *pylon* sebagaimana terlihat pada gambar di bawah.



Gambar 15.2 - Tahap pertama pelaksanaan

b) Tahap Kedua

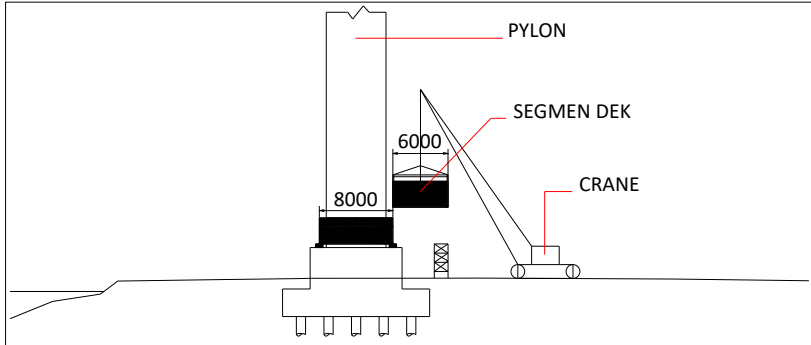
Pada tahap kedua, segmen dek pertama dipasang menggunakan *crane* dan perancah di atas *pillar*, sebagaimana terlihat pada gambar berikut.



Gambar 15.3 - Tahap kedua pelaksanaan

c) Tahap Ketiga

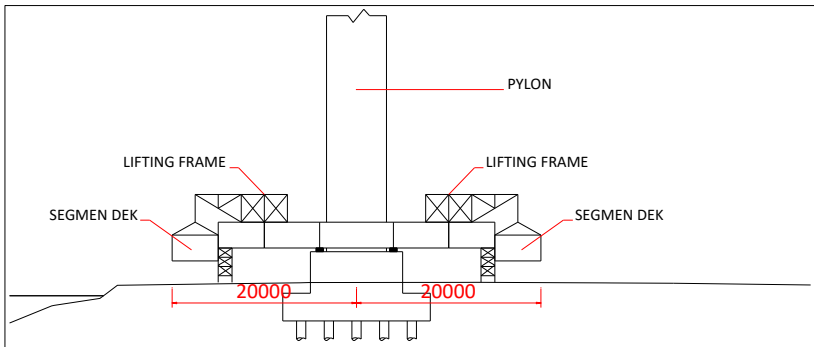
Pada tahap ketiga dipasang dek segmen 2 menggunakan *crane* dikarenakan belum tersedia *space* untuk *lifting frame*, selain itu kondisi di lapangan memungkinkan untuk dilakukan demikian. Kemudian dipasang segmen dek sebelah kiri. Demi menjaga kestabilan struktur ketika pemasangan segmen dek, digunakan perancah untuk menjaga keamanan pada sisi kanan. Di sisi lain lapangan sebelah kanan (utara) *pylon* merupakan daerah sedimen di mana dimungkinkan untuk dilakukan pemasangan perancah. Hal ini diilustrasikan dalam gambar berikut.



Gambar 15.4 - Tahap ketiga pelaksanaan

d) Tahap Keempat

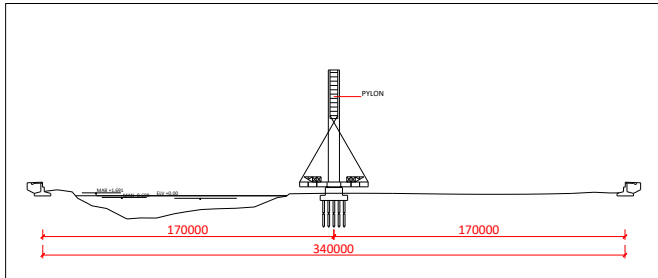
Pada tahap keempat dipasang segmen dek selanjutnya menggunakan *lifting frame*. Pada posisi ini digunakan perancah karena total segmen terlalu panjang yaitu 20 m dihitung dari *pylon* ke segmen yang dipasang. Hal ini diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 15.5 - Tahap keempat pelaksanaan

e) Tahap Kelima

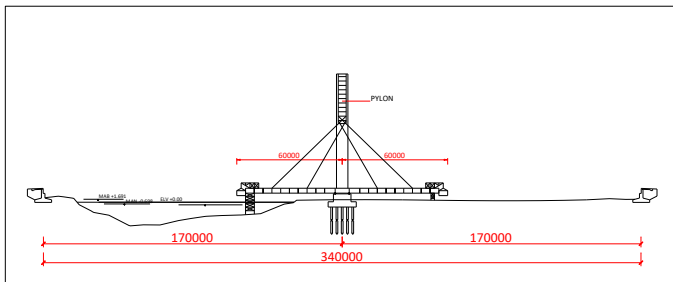
Pada tahap kelima dilakukan pemasangan kabel dan juga dilakukan *jacking* pada *pylon*. Pada tahap ini perancah bisa dilepas dan dipindah untuk pemasangan selanjutnya. Hal ini diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 15.6 - Tahap kelima pelaksanaan

f) Tahap Keenam

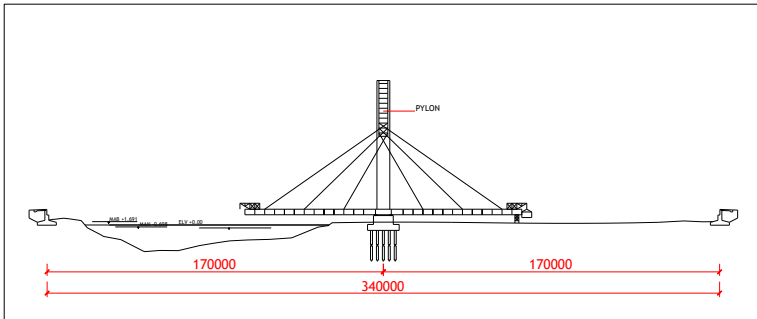
Perancah masih dipasang pada segmen yang berjarak 60 meter dari *pylon*. Hal ini dilakukan karena pada segmen-segmen sebelumnya sampai segmen ini jarak antar pengangkuran kabel pada *pylon* masih cukup panjang yaitu masing-masing 20 meter.



Gambar 15.7 - Tahap keenam pelaksanaan

g) Tahap Ketujuh

Pada tahap ini dan seterusnya, akan digunakan perancah untuk pemasangan segmen dek sebelah utara, di mana segmen ini harus dipasang terlebih dahulu kemudian baru segmen sebelah selatan. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kondisi *unbalanced* pada tahap pelaksanaan.



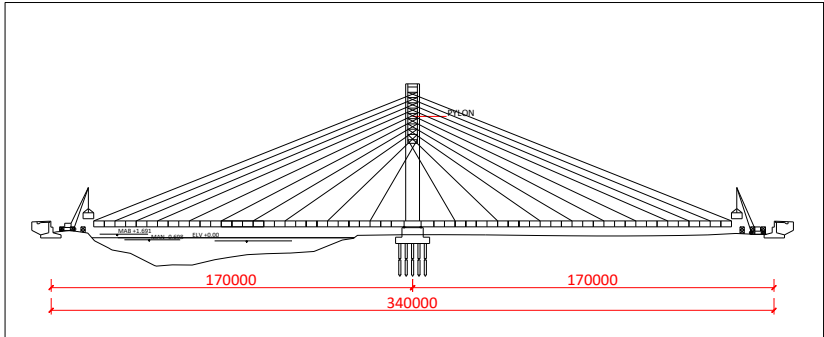
Gambar 15.8 - Tahap ketujuh pelaksanaan

Sedangkan untuk segmen sebelah selatan tidak perlu menggunakan perancah dikarenakan kondisi lapangan yang tidak memungkinkan dan juga kondisi *balanced* dijamin untuk tahap pemasangan segmen bagian selatan.

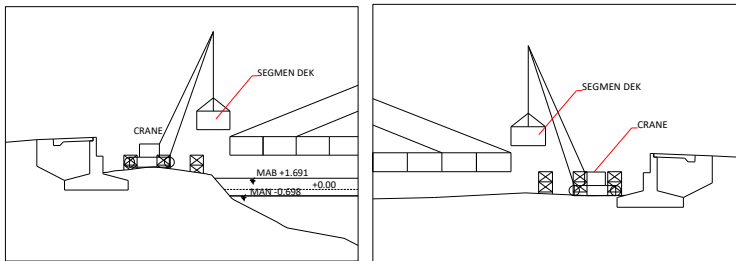
h) Tahap Kedelapan

Segmen-segmen dek terus dipasang sesuai dengan metode pada tahap ketujuh hingga segmen dek mencapai jarak 150 meter dari *pylon*. Kemudian pada segmen dengan jarak lebih dari 150 meter yang juga sudah dekat dengan *abutment* pemasangan segmen dek dilakukan menggunakan *falsework* dan *crane*. Hal ini dilakukan karena pada daerah ini berpotensi terjadi deformasi yang cukup besar pada dek akibat beban *lifting frame* dan segmen dek yang diangkat. Selain itu pada daerah ini kondisi

lapangan sudah tidak berada pada daerah genangan air, sehingga sangat memungkinkan.



Gambar 15.9 - Tahap pelaksanaan kedelapan



Gambar 15.10 - Pelaksanaan pada ujung selatan (kiri) dan utara (kanan)

15.2 Analisa Struktur Tahap Pelaksanaan

Ketika pelaksanaan berlangsung, perlu dilakukan analisa kapasitas struktur jembatan. Hal ini dikarenakan pada tahap pelaksanaan berpotensi untuk terjadi beban yang berlebih dibandingkan beban layan jembatan.

Untuk melakukan analisa tersebut digunakan menu *construction stage analysis* pada program bantu MIDAS Civil. *Construction stage analysis* merupakan salah satu menu utama yang ditawarkan dalam penggunaan MIDAS Civil. Metode dari *construction stage* yang digunakan adalah *backward analysis*, di mana analisa dimulai pada kondisi utuh jembatan yang sudah sepenuhnya terbangun, kemudian komponen-komponen struktur dilepas satu persatu hingga pada kondisi tahap awal pelaksanaan.

Beban-beban yang diperhitungkan dalam *construction stage analysis* adalah berat sendiri struktur yang secara otomatis akan dihitung oleh MIDAS Civil, *pretension load* untuk kabel, dan beban pelaksanaan yang meliputi *lifting frame* dan pekerja. Berikut diberikan beban-beban yang perlu diinput ke dalam pemodelan.

- Berat sendiri dianalisa langsung oleh MIDAS Civil.
- Pretension load:

Tabel 15.1 - Gaya prataik kabel

Kabel (R & L)	Force (N)
1	7342612.5
2	7729759.5
3	7067614.0
4	6205660.0
5	5323181.5
6	4668788.0
7	1886256.4
8	311189.8
9	500000.0
10	700000.0
11	474346.2

- **Beban Angin**

Pada pylon:

$$P_{DX} = 25,2 \text{ N/mm}$$

$$P_{DY} = 48,8 \text{ N/mm}$$

Pada dek:

$$P_D = 0,0072 \text{ MPa}$$

- **Beban Pelaksanaan**

Beban *lifting frame* (termasuk pekerja dan peralatan lain)
= 500 kN

Beban segmen dek = 683 kN

Setelah beban diinputkan, dilakukan konfigurasi tahap-tahap pelaksanaan dan running program. Berikut diberikan hasil analisa struktur, dengan perbandingan beban maksimum pada tahap pelaksanaan dengan kapasitas elemen struktur.

a) Orthotropic Plate-1

Tabel 15.2 - Kapasitas *orthotropic plate-1*

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas Orthotropic	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	363.95	3402.51	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	302.94	3953.75	memenuhi
3	Geser X	kN	33.33	1067.07	memenuhi
4	Geser Y	kN	9.20	636.36	memenuhi
5	Momen X	kN-m	27.40	234.17	memenuhi

6	Momen Y	kN-m	87.94	428.85	memenuhi
---	------------	------	-------	--------	----------

b) Orthotropic Plate-2

Tabel 15.3 - Kapasitas orthotropic plat-2

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas Orthotropic	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	1360.98	3597.10	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	860.58	4028.00	memenuhi
3	Geser X	kN	47.84	893.03	memenuhi
4	Geser Y	kN	19.40	1099.40	memenuhi
5	Momen X	kN-m	45.68	237.07	memenuhi
6	Momen Y	kN-m	126.16	435.94	memenuhi

c) Floor Beam-1

Tabel 15.4 - Kapasitas floor beam-1

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas Floorbeam	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	501.94	2269.20	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	876.61	8515.50	memenuhi
3	Geser X	kN	257.76	1215.36	memenuhi
4	Geser Y	kN	271.76	3168.48	memenuhi
5	Momen X	kN-m	112.49	1129.00	memenuhi

6	Momen Y	kN-m	381.16	1440.64	memenuhi
---	------------	------	--------	---------	----------

d) Floor Beam-2

Tabel 15.5 - Kapasitas floor beam-2

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas Floorbeam	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	1606.43	5151.20	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	865.62	8011.80	memenuhi
3	Geser X	kN	496.35	918.27	memenuhi
4	Geser Y	kN	352.77	6650.40	memenuhi
5	Momen X	kN-m	220.80	877.47	memenuhi
6	Momen Y	kN-m	392.31	1482.64	memenuhi

e) Box Girder Samping

Tabel 15.6 - Kapasitas box girder samping

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas Side Box	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	6585.15	19365.00	memenuhi
2	Geser	kN	909.28	5162.40	memenuhi
3	Momen	kN-m	2829.53	7317.50	memenuhi
4	Torsi	kN-m	727.58	3604.40	memenuhi

f) *Box Girder Utama*

Tabel 15.7 - Kapasitas box girder utama

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas Core Box	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	26883.36	131493.00	memenuhi
2	Geser	kN	5101.69	21729.00	memenuhi
3	Momen	kN-m	75968.32	154917.02	memenuhi
4	Torsi	kN-m	936.73	64197.00	memenuhi

g) *Rangka Batang*

Tabel 15.8 - Kapasitas struktur rangka batang

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas Truss	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	649.163	1013.2	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	690.063	1036.5	memenuhi

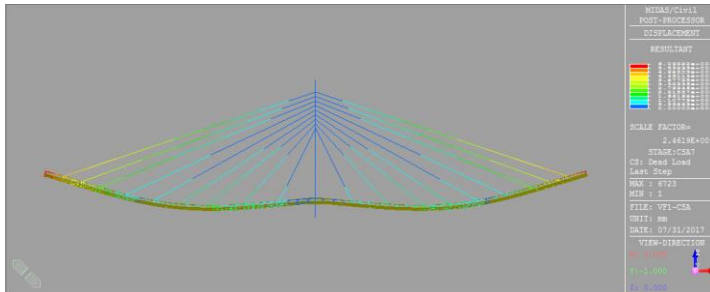
h) *Kabel*

Tabel 15.9 - Kapasitas penampang kabel

No	Gaya	Satuan	Beban Pelaksanaan	Kapasitas kabel	Keterangan
1	Aksial Tarik	kN	10776.54	15233.40	memenuhi

Selain kapasitas struktur, lendutan juga perlu diperiksa untuk memastikan bahwa bentuk/*alignment* vertikal struktur tidak berubah dari desain yang direncanakan atau menjadi kacau.

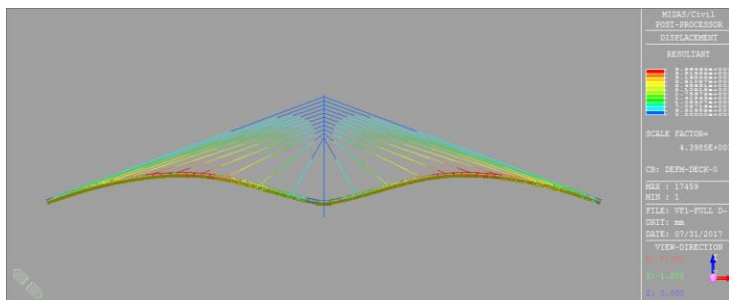
Dari tahap pelaksanaan keseluruhan deformasi yang paling signifikan terjadi sebagai mana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 15.11 – Deformasi dek pada tahap pelaksanaan (tampilan dalam skala)

Dengan koordiat dek terangkat terhadap sumbu vertikal sebesar 609,3 mm dari kondisi datar.

Sedangkan *alignment* vertikal desain jembatan ditunjukkan pada gambar berikut



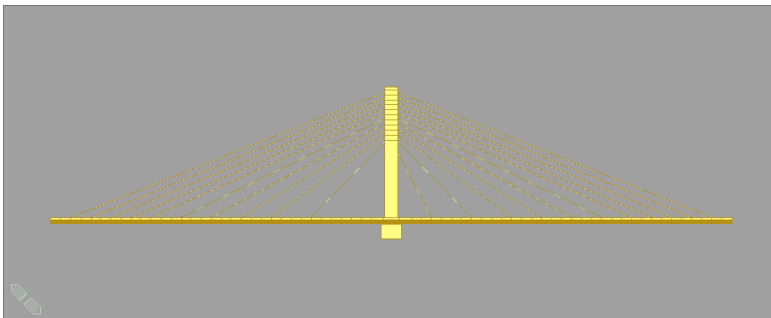
Gambar 15.12 – Kondisi normal dek dengan aligmnet yang telah didesain (gambar dalam skala)

Dengan dek terangkat terhadap sumbu vertikal pada lokasi yang sama dengan deformasi yang terjadi pada taha pelaksanaan sebesar 157,612 mm dari kondisi datar.

Deformasi yang terjadi pada tahap pelaksanaan adalah deformasi vertikal dengan arah ke atas. Hal ini terjadi karena gaya pretension pada kabel yang menarik struktur dek serta struktur belum terpasang sepenuhnya. Apabila struktur sudah terpasang sepenuhnya dan juga beban mati tambahan sudah bekerja maka dapat dipastikan kondisi desain akan tercapai.

15.3 Analisa Struktur ketika Maintenance

Pada masa perawatan apabila dibutuhkan penggantian kabel, maka struktur perlu ditinjau kapasitasnya dengan kondisi satu kabel dilepas. Tinjauan ini dilakukan dengan memilih beberapa kabel yang dilepas bergantian untuk mendapatkan pengaruh gaya yang terbesar. Dari hasil analisa *trial and error* didapatkan pengaruh terbesar pada kondisi kabel terdekat dengan *pylon* dilepas sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 15.13 – 1 kabel dilepas pada tahap *maintenance*

Berikut hasil analisa struktur pemodelan dengan analisa satu kabel dilepas dan dibandingkan dengan kapasitas elemen struktur sebagaimana telah dihitung pada bab-bab sebelumnya.

a) ***Orthotropic Plate-1***

Tabel 15.10 - Kapasitas *orthotropic plate-1*

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas Orthotropic	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	985.86	3402.51	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	152.50	3953.75	memenuhi
3	Geser X	kN	56.11	1067.07	memenuhi
4	Geser Y	kN	14.16	636.36	memenuhi
5	Momen X	kN-m	33.53	234.17	memenuhi
6	Momen Y	kN-m	141.68	428.85	memenuhi

b) ***Orthotropic Plate-2***

Tabel 15.11 - Kapasitas *orthotroic plate-2*

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas Orthotropic	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	1029.17	3597.100	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	767.18	4028.000	memenuhi
3	Geser X	kN	58.54	893.03	memenuhi
4	Geser Y	kN	21.39	1099.4	memenuhi
5	Momen X	kN-m	50.98	237.070	memenuhi
6	Momen Y	kN-m	147.31	435.940	memenuhi

c) ***Floor Beam-1***

Tabel 15.12 - Kapasitas floor beam-1

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas Floorbeam	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	1668.81	2269.200	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	1619.54	8515.500	memenuhi
3	Geser X	kN	427.35	1215.360	memenuhi
4	Geser Y	kN	413.47	3168.480	memenuhi
5	Momen X	kN-m	235.78	1129.000	memenuhi
6	Momen Y	kN-m	614.71	1440.640	memenuhi

d) Floor Beam-2**Tabel 15.13 - Kapasitas floor beam-2**

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas Floorbeam	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	1762.13	5151.20	memenuhi
2	Aksial Tarik	kN	3660.13	8011.80	memenuhi
3	Geser X	kN	347.47	918.27	memenuhi
4	Geser Y	kN	1017.43	6650.40	memenuhi
5	Momen X	kN-m	476.80	877.47	memenuhi
7	Momen Y	kN-m	465.71	1482.64	memenuhi

e) Box Girder Samping

Tabel 15.14 - Kapasitas *box girder* samping

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas Side Box	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	15365.51	19365.00	memenuhi
2	Geser	kN	1246.50	5162.40	memenuhi
3	Momen	kN-m	5283.02	7317.50	memenuhi
4	Torsi	kN-m	1005.86	3604.40	memenuhi

f) Box Girder Utama**Tabel 15.15** - Kapasitas *box girder* utama

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas Core Box	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	18549.15	131493.00	memenuhi
2	Geser	kN	5139.30	21729.00	memenuhi
3	Momen	kN-m	81147.85	154917.02	memenuhi
4	Torsi	kN-m	19654.47	64197.00	memenuhi

g) Rangka Batang**Tabel 15.16** - Kapasitas rangka batang

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas Truss	Keterangan
1	Aksial Tekan	kN	962.89	1013.2	memenuhi

2	Aksial Tarik	kN	953.32	1036.5	memenuhi
---	--------------	----	--------	--------	-----------------

h) Kabel

Tabel 15.17 - Kapasitas penampang kabel

No	Jenis Gaya	Satuan	Gaya	Kapasitas kabel	Keterangan
1	Aksial Tarik	kN	11454.55	15233.40	memenuhi

BAB 16 KESIMPULAN

16.1 Kesimpulan

Hasil analisa dan kontrol yang telah dilakukan untuk seluruh elemen desain struktur jembatan *cabl stayed* Sembayat disajikan pada bab kesimpulan dengan rincian sebagai berikut:

1. Panjang total desain jembatan ini adalah 340 m yang terdiri dari dua bentang utama masing-masing 170 m. Lebar total dek jembatan adalah 17 m yang terdiri dari 2@1m *aerodinamic shape box girder*, 2@5,5m lebar jalan dan 4m trotoar sekaligus tempat pengangkuran kabel. Konfigurasi kabel dalam arah memanjang digunakan tipe *modified fan pattern*, dan konfigurasi kabel dalam arah melintang digunakan *single plane system*.
2. *Railing* dan *parapet* didesain terhadap tumbukan kendaraan sesuai dengan persyaratan AASHTO MASH 2009. *Railing* terdiri dari batang horizontal dengan profil pipa baja dimensi $\phi 89,1$ mm dengan panjang bersih 1800 mm, dan tiang penyangga profil *rectengular hollow* 200.200.8.
3. Pelat lantai kendaraan berupa *orthotropic plate* dengan *closed ribs* yang terdiri dari pelat baja dengan ketebalan 16 mm dan rusuk (*rib*) berupa penampang *trapezoidal* U.300.150.200.12. Jarak bersih antar dinding *rib* 200 mm. Sambungan antara *rib* dengan *floor beam* berupa las dengan ketebalan $t_w = 12$ mm. Sedangkan pada sisi bawah dek jembatan digunakan pula *orthotropic plate* dengan ketebalan yang berbeda, yaitu dengan tebal pelat 22 mm dan ketebalan *rib* 16 mm. Ketebalan sambungan las untuk *orthotropic* bagian bawah adalah $t_w = 15$ mm.
4. *Floor beam* (gelagar melintang) berupa profil T.900.300.16.28 yang dalam kondisi servis berkombinasi dengan pelat lantai kendaraan. Sambungan *floor beam*

pada box girder menggunakan las dengan ketebalan $t_w = 12$ mm untuk *floor beam* bagian atas, dan $t_w = 15$ mm untuk *floor beam* bagian bawah.

5. *Box girder* bagian samping didesain dengan bentuk aerodinamis sehingga menjadi tak simetris yang terdiri dari dinding *box* dan *open ribs* sebagai pengaku. Ketebalan dinding *box* adalah sebesar $t_p = 24$ mm. Tinggi *rib* adalah sebesar 186 mm dengan ketebalan $t_r = 15$ mm.
6. Perletakan yang digunakan dalam desain jembatan *cable stayed* Sembayat adalah tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB). Digunakan produk Mageba LASTO LRB dengan diameter 800 mm untuk masing-masing perletakan.
7. Struktur kabel yang digunakan adalah produk VSL SSI 2000 dengan tipe ASTM A-416 Grade 270 dengan jumlah *strand* 91 dan diameter selongsong 280 mm. Dimensi ini sama untuk masing-masing kabel.
8. Struktur *pylon* terbuat dari material beton mutu tinggi dengan kuat tekan $f_c' = 60$ MPa. Dimensi *pylon* pada bagian bawah adalah 3900 mm x 6500 mm dengan tulangan longitudinal terpasang 450D57 dan sengkang 5D16 – 300 untuk arah sumbu kuat, dan sengkang 8D16 – 300 untuk arah sumbu lemah. Sedangkan pada bagian angkur kabel dimensi efektifnya sebesar 3900 mm x 4500 mm dengan tulangan longitudinal terpasang 186D57 dan sengkang 5D16 – 300 untuk arah sumbu kuat, dan 6D16 – 300 untuk arah sumbu lemah.
9. Stabilitas aerodinamis struktur jembatan dihitung menggunakan rumus empiris. Pengaruh *vortex shedding* menunjukkan bahwa tahanan aerodinamis penampang dek masih berada pada zona *acceptable*. Sedangkan pengaruh *flutter* juga aman, dengan kecepatan angin ijin untuk *flutter* sebesar 116 km/jam.
10. Untuk konstruksi pemasangan dek jembatan digunakan metode *balanced cantilver* dengan alat bantu *lifting frame*, *crane* dan perancah. Pada daerah endapan yaitu

sekitar *pylon*, dek dipasang menggunakan bantuan *crane* dan perancah. Sedangkan untuk daerah aliran sungai digunakan *lifting frame* untuk merangkai segmen-segmen dek. Kemudian pada daerah yang dekat dengan *abutment* digunakan kembali *crane* dan perancah untuk memasang dek. Hal ini dikarenakan kondisi lapangan yang memungkinkan dengan adanya endapan pada sungai. Pengaruh gaya akibat pelaksanaan dihitung dengan program bantu MIDAS Civil menggunakan fitur *construction stage analysis* dengan metode *backward process*. Dari hasil analisa struktur dinyatakan aman terhadap beban pada tahap pelaksanaan.

11. Analisa tahap *maintenance*, yaitu ketika dilakukan penggantian kabel, dihitung menggunakan program MIDAS Civil dengan mengasumsikan satu kabel lepas. Dari hasil analisa, struktur dinyatakan aman.

16.2 Saran

Hasil pengerjaan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, sehingga untuk hasil desain sejenis yang lebih baik, kedepannya perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dalam menentukan konfigurasi kabel arah melintang, sekiranya perlu dilakukan peninjauan yang mendalam. Hal ini dikarenakan pemilihan konfigurasi (*single plane/double plane*) akan berpengaruh pada desain struktur dek dan *pylon*. Bentuk penampang dek didesain menyesuaikan konfigurasi tersebut, sebagaimana *single plane system* mengahruskan penggunaan dek dengan penampang *box* yang memiliki kekakuan torsi yang tinggi. Sedangkan *single plane system* juga berdampak pada struktur *pylon*, dimana dibutuhkan *pylon* dengan kekuatan tinggi untuk menyangga struktur jembatan, dengan konsekuensi penampang *pylon* akan cenderung besar dengan kuat tekan f_c' yang besar pula untuk material beton.

2. Pengaku melintang penampang dek pada desain jembatan *cable stayed* ini menggunakan struktur rangka yang dirasa kurang efisien, maka untuk lebih optimal sebaiknya digunakan diafragma pelat baja untuk desain serupa selanjutnya.
3. Dalam menentukan distribusi pembebanan untuk *construction stage analysis*, perlu dilakukan pemodelan beban *lifting frame* yang lebih mendetail sehingga distribusi beban lebih mendekati kondisi nyata.
4. Pengecekan kapasitas struktur pada saat *maintenance* dalam desain ini hanya diperiksa pada satu kondisi kabel dilepas dengan percobaan 3 lokasi pelepasan kabel secara berturut-turut. Untuk mendapatkan hasil yang lebih detail dan aman sebaiknya untuk desain selanjutnya dilakukan pemeriksaan pada semua lokasi kabel.
5. Untuk keperluan desain jembatan *cable stayed* yang sesungguhnya, perlu dilakukan analisa aerodinamis menggunakan uji terowongan angin disamping dihitung menggunakan formula empiris untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. 2010. *Specification for Structural Steel Buildings* (AISC 360-10). Chicago.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan* (RSNI T 02 2004).
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan* (RSNI T 03 2005).
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa* (RSNI 2833 2013).
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Pembebanan untuk Jembatan* (SNI 1725 2016).
- Corus. 2007. *Student Guide to Steel Bridge Design*. Corus Construction and Development Magazine.
- Heins, C., P., Firmage, D., A. 1979. *Design of Modern Steel Highway Bridges*. Wiley.
- Juvani, J., Lipponen, O. 2012. *Cable Stayed Bridge*.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2015. *Perencanaan Jembatan Beruji Kabel* (Peraturan Nomor 08/SE/M/2015).
- Troitsky, M. S. 1988. *Cable Stayed Bridges: Theory and Design – Second Edition*. Boston. BSP Professional Books.
- Walther, Rene. 1999. *Cable Stayed Bridges*. London. Thomas Telford.

Wiecon. 2008. *Suspension, Cable Stayed and Extradosed Bridges*. Project Preference Catalogue: Bridge Service.

Xu, You-Lin. 2013. *Wind Effects on Cable Supported Bridges*. Singapore. Wiley.

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Rizal Purnawan lahir di Sorong, 23 Maret 1995 merupakan anak sulung dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Ngrami Sukomoro Nganjuk, SDN Kapas 1 Sukomoro Nganjuk, SMPN 2 Nganjuk dan SMAN 1 Nganjuk. Setelah lulus dari sekolah menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana pada program studi D4 Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS pada tahun 2013.

Pada masa perkuliahan di ITS, penulis telah berkesempatan untuk mengikuti dan berperan dalam kegiatan organisasi dan perlombaan baik dalam bidang keprofesian maupun non-keprofesian antara lain, lembaga kerohanian jurusan Jamaah Masjid Al-Azhar (JMAA), *Internasional Roof Truss Design Competition (IRTDC) 6th Civil in Action* Universitas Gajah Mada. Dalam bidang akademik, penulis mengambil bidang keahlian struktur sebagai konsentrasi utama pembelajaran.

Penulis berharap, Tugas Akhir Terapan ini dapat membawa manfaat dan pembelajaran bagi para pembaca dan juga bagi penulis sendiri. Semoga Allah memberikan hikmah untuk proses pembelajaran dan terpenuhinya tugas akhir ini. Apabila pembaca hendak bertanya atau berdiskusi seputar topik yang berkaitan dengan TAT ini, dapat menghubungi penulis melalui kontak berikut.

Email : rizalpurnawan23@gmail.com

Phone : +62857 4883 0620

LAMPIRAN

Xlerplate[®]
Xlercoil[®]

PRODUCT INFORMATION



Product reference standards

General specification requirements

Unless otherwise agreed or required by the specification, products are supplied in accordance with AS/NZS 3678 (Structural steel - hot-rolled plates and floor plates), AS/NZS 1594 (Hot-rolled steel flat products), AS1548 (Steel plates for pressure equipment) and AS/NZS1365 (Tolerances for flat-rolled steel products). These specifications cover such matters as testing, inspection, certification procedures and dimensional tolerances.

Because BlueScope Steel supplies products to the latest edition of any published standard specification, the year of issue of a standard specification is not used in its designation on certificates, product brands, or delivery documents. For the same reason references to standard specification in this brochure may not always include the year of issue. Information about standard specifications was current at the date of publication of this brochure.

Engineering & Structural Grades

AS/NZS 3678, AS/NZS 1594

These standards specify a range of engineering and structural grades defined by mechanical properties and chemical composition. These fully-killed, fine-grained carbon-manganese and carbon-manganese-niobium steels have excellent forming and welding characteristics. Chemical composition and properties are shown in the following tables.

AS/NZS 3678 CHEMICAL COMPOSITION - MECHANICAL PROPERTY GRADES

Grade	Cast or product analysis																
	C	Si		Mn	P	S	Cr (Note 1)		Ni (Note 1)		Cu (Note 1)		Mo (Note 1)	Al	Ti	Micro-Alloying elements (Note 2)	CE (Note 2)
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
250 & 250L15	0.22	–	0.55	1.70	0.040	0.030	–	0.30	0.50	–	0.40	0.10	0.100	0.040	(Note 3)	0.44	
*300 & 300L15	0.22	–	0.55	1.70	0.040	0.030	–	0.30	0.50	–	0.40	0.10	0.100	0.040	(Note 3)	0.44	
350 & 350L15	0.22	–	0.55	1.70	0.040	0.030	–	0.30	0.50	–	0.40	0.35	0.100	0.040	(Note 4)	0.48	
*400 & 400L15	0.22	–	0.55	1.70	0.040	0.030	–	0.30	0.50	–	0.40	0.35	0.100	0.040	(Note 4)	0.48	
*450 & 450L15	0.22	–	0.55	1.80	0.040	0.030	–	0.30	0.50	–	0.60	0.35	0.100	0.040	(Note 4)	0.48	
*WR350	0.14	0.15	0.75	1.70	0.160	0.030	0.35	1.05	0.55	0.15	0.50	0.10	0.100	0.040	(Note 4)	–	

*By enquiry only

NOTES:

1. Except for grades 450, 450L15, WR350, Cr + Ni + Cu + Mo = 1.00% maximum apply
2. Carbon equivalent (CE) is calculated from the following equation based on actual cast analysis:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

3. Niobium plus vanadium : 0.030% maximum.
4. Vanadium: 0.10% maximum, Nb + V + Ti: 0.15% maximum.

AS/NZS 1594 TENSILE PROPERTY REQUIREMENTS FOR FORMABILITY, STRUCTURAL AND WEATHER-RESISTANT GRADES

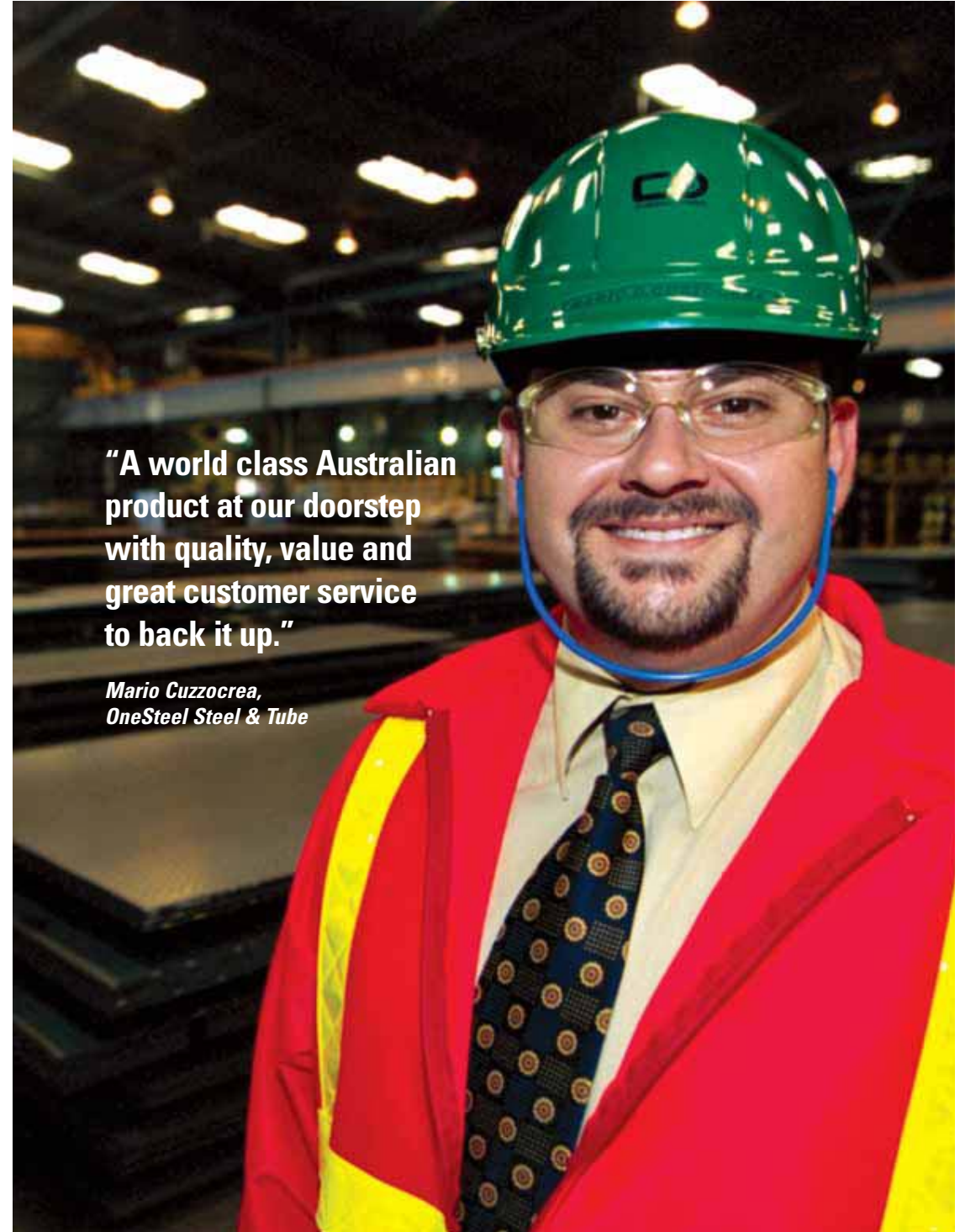
Grade	Minimum upper yield stress MPa	Minimum tensile strength MPa	Elongation, % min (Notes 1 and 2)					
			Normal Thickness, mm					
			≤ 3			> 3		
			L ₀ =50mm	L ₀ =80mm	L ₀ =200mm	L ₀ =50mm	L ₀ =80mm	L ₀ =200mm
HA1	(Note 3)	(Note 3)	–	–	–	–	–	–
HA200	200	300	24	22	17	28	26	19
HA250, HU250	250	350	22	20	16	26	24	17
HA300, HU300	300	400	20	18	15	24	22	16
HA350	350	430	18	16	14	22	20	15
HW350	340	450	–	–	15	–	–	15

NOTES:

1. L₀ = original gauge length of test piece.
2. Elongation testing is not required for floor plate.
3. For design purposes, yield and tensile strengths approximate those of Structural Grade HA200. For specific information contact BlueScope Steel.



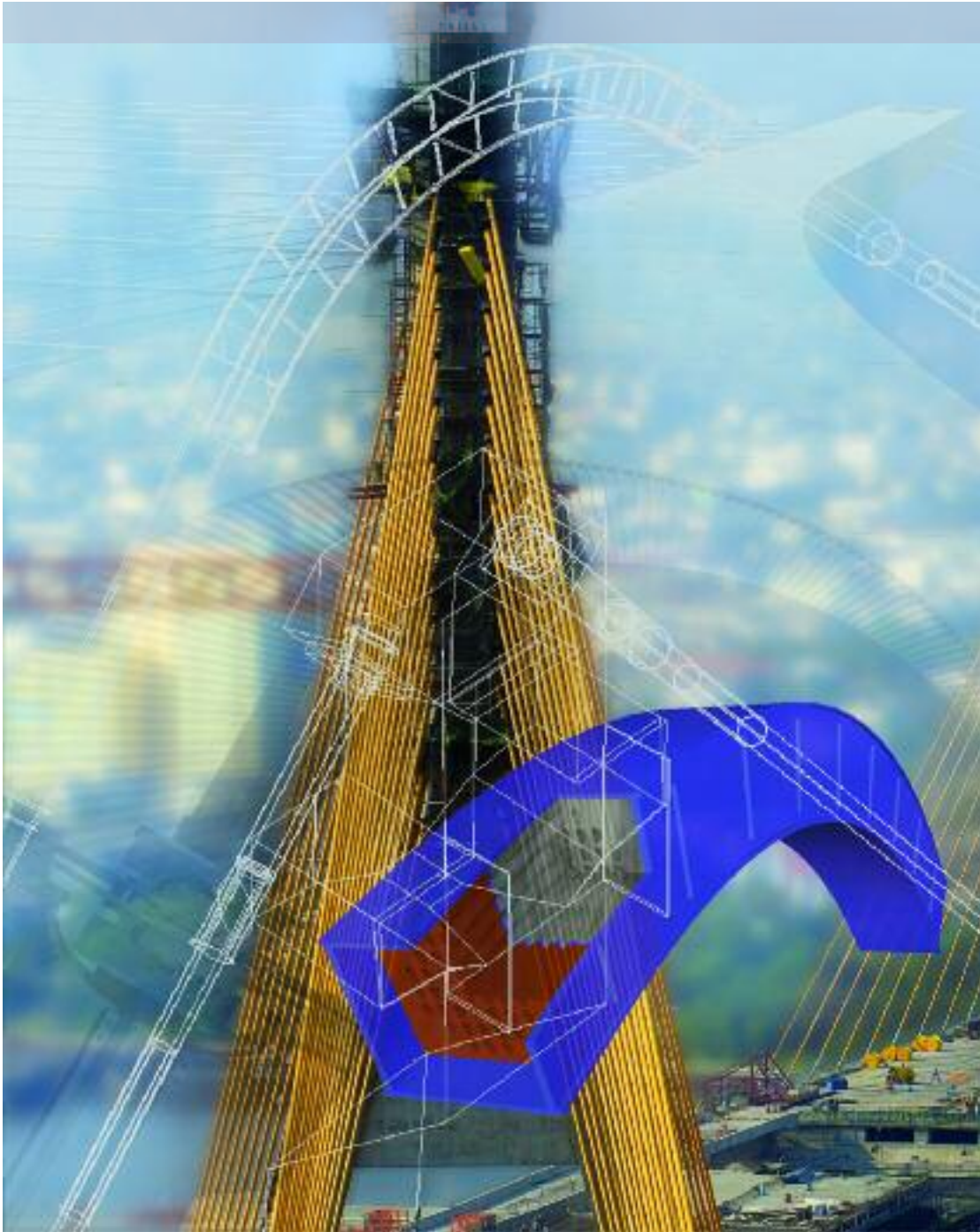
Conducting a tensile test on XLERPLATE™ material test piece in the Mechanical Testing Laboratory of BlueScope Steel.



“A world class Australian product at our doorstep with quality, value and great customer service to back it up.”

*Mario Cuzzocrea,
OneSteel Steel & Tube*

VSL SSI 2000 STAY CABLE SYSTEM



DESIGN
ENGINEERING
SUPPLY
INSTALLATION
MONITORING

VSL - LEADING IN STAY CABLE TECHNOLOGY



Industrial Ring Road – Bangkok, 2008

VSL – a worldwide network

From concept to site works, the VSL network of locally operating units adds value throughout all stages of a project by providing fully-customised solutions, developed and implemented by highly-trained and experienced staff working in close partnership with clients. Customers have access to a local partner, while benefiting from global resources, know-how and expertise as well as VSL's continuing development of specialist construction techniques.

VSL – a commitment to quality, safety and sustainable development

VSL pursues a strong quality, safety and sustainable development policy in keeping with its leading position as a specialist contractor. Proactive management systems have been

established to address local needs while ensuring a high common standard throughout the company network.

VSL recognises that its employees are the key to competitiveness, efficiency and safe working practices. The company is committed to "Safety First" and strives for "Zero Accident" by motivating and empowering its employees to act responsibly in order to achieve these goals.

VSL – a specialist stay cable contractor

As leader in stay cable technology, VSL offers the solutions to tackle today's challenges in cable-stayed construction and develops the next-generation systems in close collaboration with its clients. The recent boom in cable-stayed bridges with considerably increased

spans and cable lengths calls for faster erection cycles and increases the dynamic demands on the stay cables. VSL's lightweight erection equipment, compact strand bundle solutions and its highly-efficient and reliable damping systems lead the way in meeting today's needs.

Its vast experience led VSL to launch the SSI 2000 system, which has been installed very successfully on more than 100 projects in recent years. VSL's latest developments extend the SSI 2000 range to provide even greater flexibility for a multitude of applications, while maintaining the system's proven outstanding performance. VSL's portfolio is now well over 150 cable-stayed bridges.



CREATING SUSTAINABLE SOLUTIONS TOGETHER



Designed to last

VSL Stay cables have a design life of 100 years even in the most aggressive environments. Elements are fully replaceable without requiring modifications to the structure. All the materials used have been carefully selected and all components have been detailed to meet the highest durability criteria. In addition, the modular nature of the VSL SSI 2000 Stay cable system helps reduce the environmental impact of maintenance operations by minimising the amount of waste generated when parts have to be replaced during the structure's life cycle.

New VSL developments in stay cable technology

SSI Saddle, a patented design facilitating simplified pylon layouts resulting in enhanced bridge aesthetics and increased structural efficiency

SSI 2000-C, a compact stay cable system with reduced cable diameter and therefore reduced wind drag

SSI 2000-D, a stay cable protected against corrosion by dehumidification techniques - a patented solution offering the smallest cable diameters available in strand technology and minimising wind drag while fully maintaining the advantages of strand-by-strand replacement

A choice of two damping systems to control cable vibrations efficiently, adapted to the characteristics of the structure

Modern engineering to stringent standards

Designers, owners and authorities are demanding:

- Increased long-term performance of stay cables, tensile members and anchorages; leak-tightness of the anchorage assembly; easy inspection and maintenance; the capability to replace cables with minimal interruption to bridge traffic; and reliable control of cable vibrations
- Minimal wind drag for long spans
- Outstanding static and fatigue behaviour, validated by performance testing
- Incorporation of damping systems at the time of installation or as part of dynamic retrofitting
- Improved aesthetics by using compact anchorages, saddles and coloured cables

Main contractors seek:

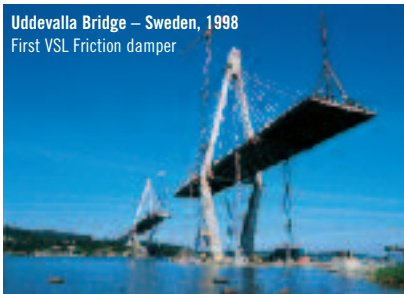
- Simple interfaces between deck erection and stay cable installation with a reduced number of activities on the critical path
- Lightweight installation equipment, facilitating a flexible erection schedule that separates deck and pylon construction from the stay cable erection works and minimises the crane time required

Owners benefit from:

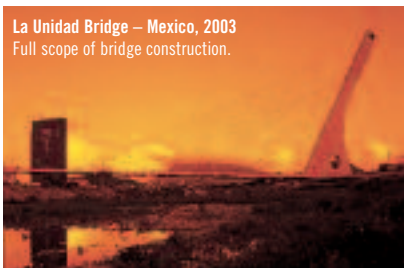
- Enhanced durability
- Substantial savings on maintenance

The VSL SSI 2000 Stay cable system is designed to meet the requirements and applicable specifications issued by *fib* (International Federation for Structural Concrete), PTI (Post-Tensioning Institute) and CIP (Commission Interministérielle de la Précontrainte).

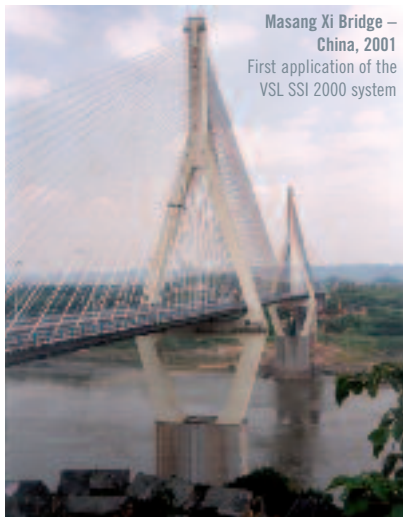
Uddevalla Bridge – Sweden, 1998
First VSL Friction damper



La Unidad Bridge – Mexico, 2003
Full scope of bridge construction.



Masang Xi Bridge – China, 2001
First application of the VSL SSI 2000 system



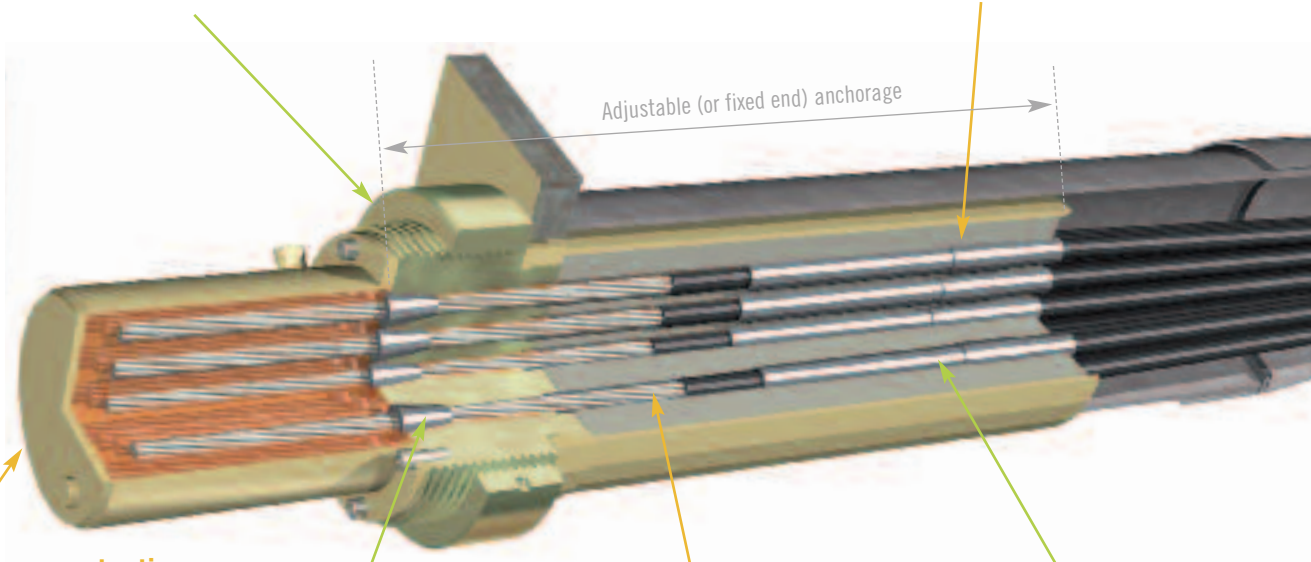
SSI 2000: VSL STAY CABLE TECHNOLOGY

Compact anchorage

Fully prefabricated including its corrosion protection in controlled factory conditions

Several complementary barriers

For complete water tightness of the anchorage



Anchorage protection cap with flexible gel filler

Strands encapsulated by a polymerised and bonded filler, achieving reliable corrosion protection while allowing access for inspection if necessary

Replaceable strand system in a durable stay pipe

Sheathed, greased or waxed strands with optional galvanization, protected in an HDPE pipe with proven ageing performance. Each strand can be individually monitored, inspected and replaced

Individual encapsulation and deviation

Each strand is individually protected with a multi-layer barrier system inside a leak-tight anchorage assembly and is separately guided to filter bending stresses at the anchorage entrance

High fatigue resistance

Demonstrated in fatigue tests in accordance with *fib* and PTI requirements under combined tensile and bending action

The SSI 2000 Stay cable system is based on VSL's proven strand technologies

The SSI 2000 wedge anchorages and its tensile members as well as its protective system meet the most stringent requirements for durability, tensile capacity and fatigue performance. Its strand-by-strand technology ensures maximum flexibility and full capability for replacement.

High fatigue performance

The anchorage assembly is designed to control the deviation of individual strands and to filter cable vibrations outside the wedge anchorage zone. Its outstanding fatigue performance has been demonstrated in fatigue tests as specified in the latest recommendations by PTI and *fib* with imposed angular deviation of the

anchorage from the cable axis. A tension ring or a guide deviator can be used to bundle the strands at the exit of the guide pipe.

Durability and multi-barrier protection

All SSI 2000 stay cables are engineered for a design life of 100 years in the most aggressive environments.

The unique feature of individual encapsulation of each strand within the anchorage assembly eliminates the risk of corrosion migration between strands.

The multi-barrier protection system is achieved in the free length by individually sheathed, greased or waxed strands with optional galvanization

within the protective outer stay pipe. The protection is maintained in the anchorage assembly by a flexible gel filler injection, which has passed the stringent leak-tightness tests specified by PTI and *fib*.

Cable installation with lightweight equipment and minimum impact on other erection activities

The compact nature of the anchorages and the strand-by-strand installation with lightweight equipment frees tower crane time and does not require any heavy deck equipment. Therefore, the stay installation does not impair the key activities in a typical deck and pylon construction cycle.

Free tension ring

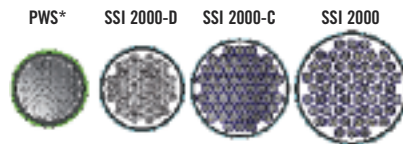
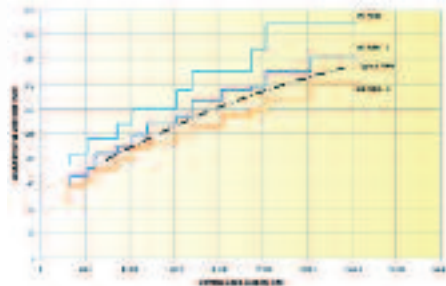
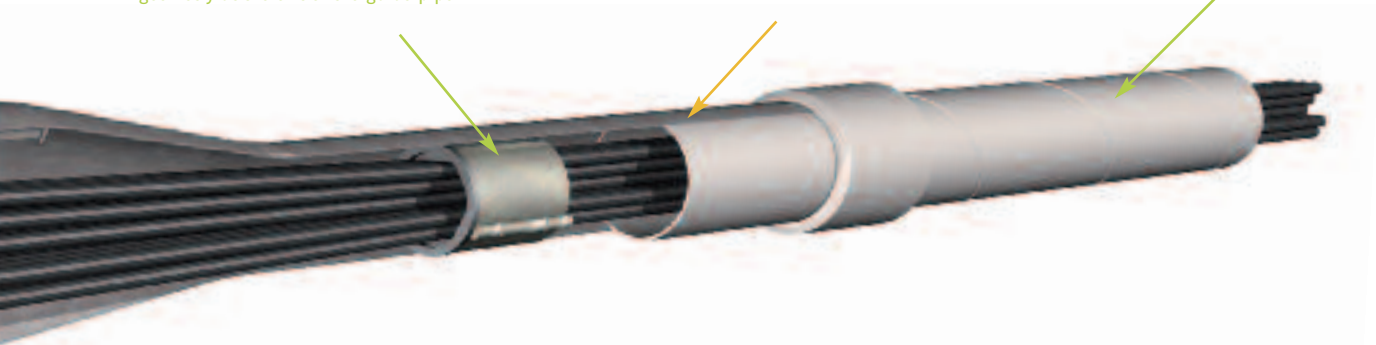
Located inside the stay pipe. Can be replaced by a guide deviator, depending on the geometry at the exit of the guide pipe

Anti-vandalism protection

Designed to protect the stay cable above deck level and to accommodate an optional damping system

Low drag coefficient and aeroelastic stability

External helical ribs tested in wind tunnel for efficient control of rain-wind induced vibrations. Two options for even lower wind drag – SSI 2000-C and SSI 2000-D with reduced stay pipe diameters



Comparison of equivalent drag diameter of different types of stays

Equivalent Drag Diameter = O.D. Stay Pipe x Drag Coefficient Cd
Cd = 0.6 for SSI 2000 has been determined in wind tunnel testing

Cd = 0.8 for PWS is based on typical project specification

* PWS = typical parallel wire system

Three systems are available to meet project-specific aerodynamic requirements.

The standard SSI 2000 system with an optimised stay pipe to control rain-wind induced vibration and minimise wind drag

The stay pipe is fitted with a continuous helical rib, effectively suppressing rain and wind induced vibrations and reducing the wind drag on the cable. Extensive wind tunnel testing at speeds of up to 70m/s has been carried out for validation.

SSI 2000-C: the VSL compact system for long cables

Reduced stay pipe diameters result in lower wind drag on the stay cable and hence in a reduction of wind loads on the structure. This can be an important parameter in the design of long-span bridges. The SSI 2000-C compact stay cable range offers significantly reduced stay pipe diameters for the same permissible cable load. While this is the system of choice for exceptionally long cables, special tools are required for its installation.

SSI 2000-D: the VSL dehumidified system for even lower wind drag

The system maintains all the proven features of the standard anchorage system, while reducing further the cross section of the ducted strand bundle by eliminating the sheathing of the strands and providing equivalent corrosion protection through permanent dehumidification of the cable. The result is the most compact parallel strand stay cable on the market – a system with fully replaceable individual strands and unrivalled low wind drag.

Cable replacement strand by strand with minimum traffic disruption

Strands can be individually monitored, inspected and replaced: entire cables can be replaced strand by strand. The use of lightweight equipment minimises the impact on vehicular traffic and cable replacement can be achieved under single lane closures.

VSL Dampers

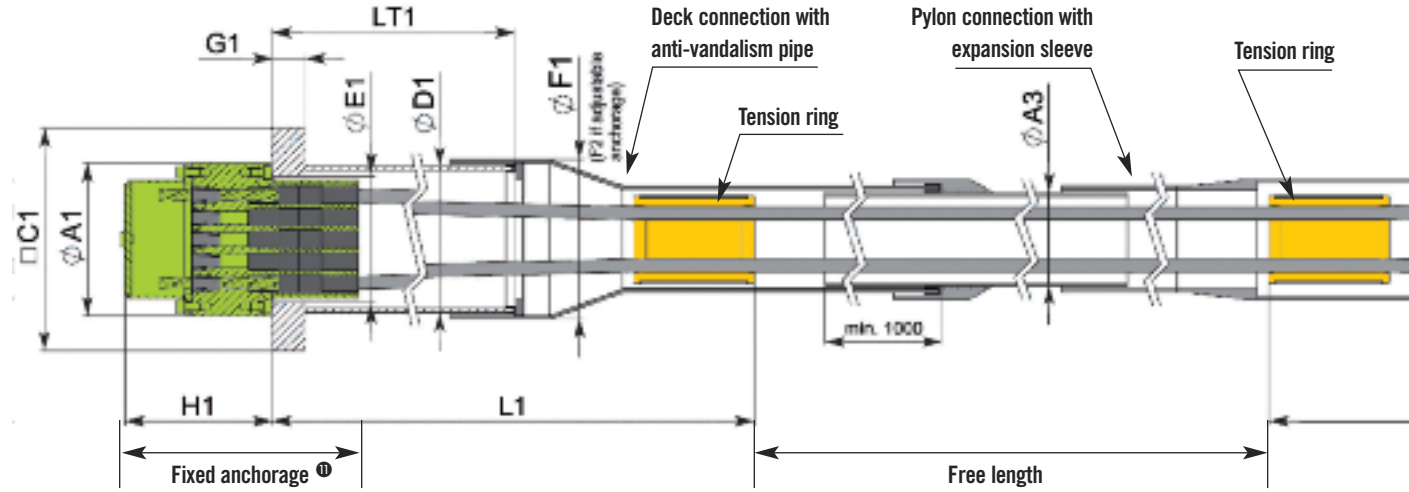
The stay cable can be designed with two types of dampers, the VSL Friction damper or the VSL VE damper, or provision can be made for later installation.

SSI Saddle with fully replaceable strands

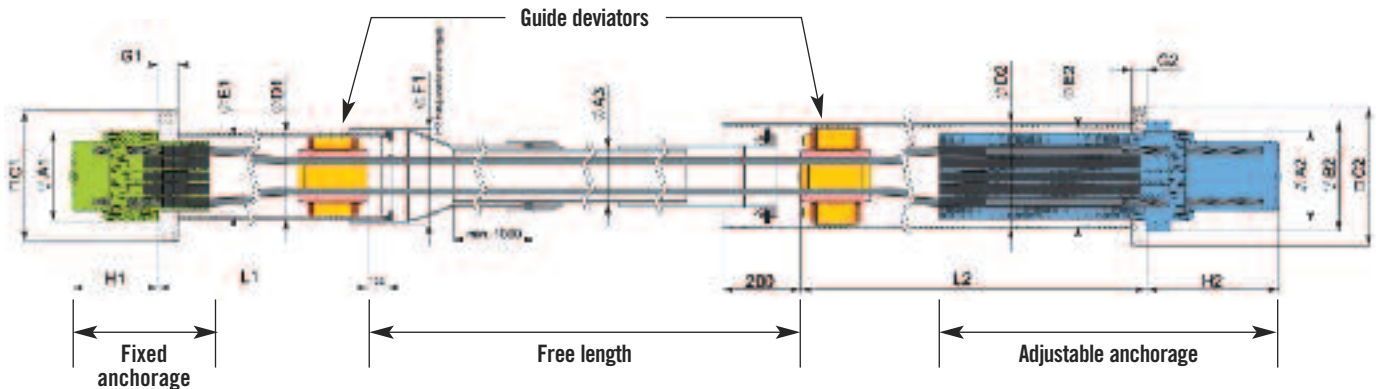
For extradosed bridges and cable-stayed bridges with compact pylon arrangements, VSL offers a patented saddle solution compatible with the SSI 2000 system. The compact saddle design allows for strand-by-strand installation and replacement and achieves a safe and reliable anchorage for unbalanced cable loads. Extensive fatigue testing has been carried out in accordance with *fib* requirements to demonstrate that there is equivalent performance between saddle and standard anchorages.

VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS

STANDARD ARRANGEMENT WITH TENSION RING



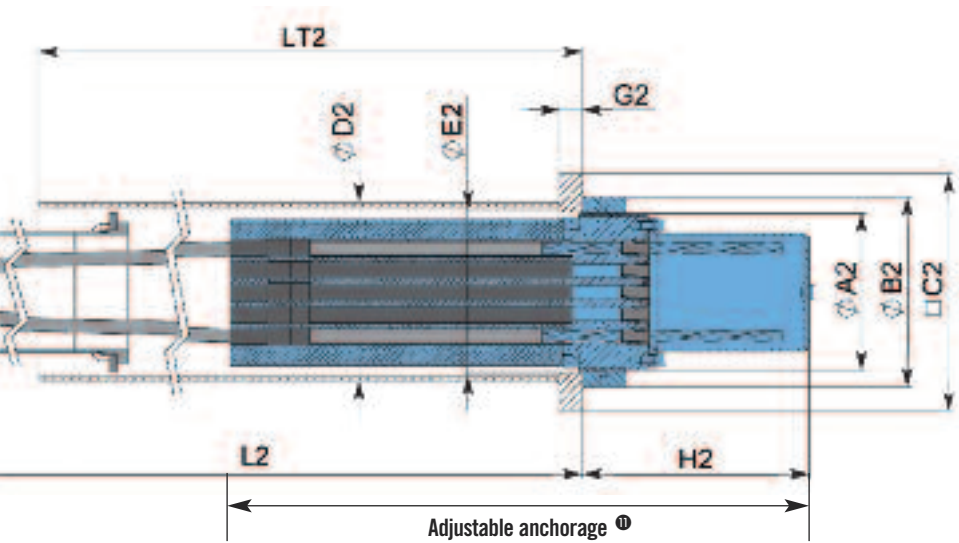
ALTERNATIVE ARRANGEMENT WITH GUIDE DEVIATOR



CABLE UNIT ③	NUMBER OF STRANDS	STAY			STAY PIPE		
		BREAKING LOAD AT 100% GUTS kN ①	ADMISSIBLE LOAD AT 50% GUTS kN ②	ADMISSIBLE LOAD AT 60% GUTS kN ②	SSI 2000 mm ④	SSI 2000-C ØA3/thk mm ④	SSI 2000-D mm ⑤
6-12	12	3,348	1,674	2,009	125/4.9	95/5.0	80/5.0
6-19	19	5,301	2,651	3,181	140/5.4	110/5.0	95/5.0
6-22	22	6,138	3,069	3,683	160/5.0	120/5.0	105/5.0
6-31	31	8,649	4,325	5,189	160/5.0	140/6.0	120/6.0
6-37	37	10,323	5,162	6,194	180/5.6	150/6.0	130/6.0
6-43	43	11,997	5,999	7,198	200/6.2	165/6.0	145/6.0
6-55	55	15,345	7,673	9,207	200/6.2	180/6.0	155/6.0
6-61	61	17,019	8,510	10,211	225/7.0	190/6.0	165/6.0
6-73	73	20,367	10,184	12,220	250/7.8	210/6.6	175/6.0
6-85	85	23,715	11,858	14,229	250/7.8	225/6.9	190/6.0
6-91	91	25,389	12,695	15,233	280/8.7	230/7.2	200/6.2
6-109	109	30,411	15,206	18,247	315/9.8	250/7.7	215/6.7
6-127	127	35,433	17,717	21,260	315/9.8	270/8.4	235/7.3
6-139	139	38,781	19,391	23,269	315/9.8	-	-
6-151	151	42,129	21,065	25,277	355/11.1	-	-
6-169	169	47,151	23,576	28,291	355/11.1	-	-
6-187 ⁶	187	52,173	26,087	31,304	400/12.3	-	-

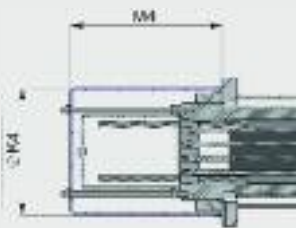
FIXED ANCHORAGE						
ØA1	C1	ØD1/thk	ØE1	ØF1	G1	H1 mini
mm	mm ⑥	mm/mm	mm	mm	mm	mm
185	260	177.8/4.5	150	190	35	205
230	335	219.1/6.3	190	233	50	220
250	355	219.1/6.3	205	233	50	220
280	415	244.5/6.3	230	260	60	245
300	455	273/6.3	255	286	70	270
340	505	323.9/7.1	285	337	75	275
380	550	323.9/7.1	310	337	75	295
380	585	355.6/8	330	370	85	310
430	650	406.4/8.8	370	420	95	330
430	685	406.4/8.8	370	420	110	360
480	730	457/10	420	470	110	370
495	775	457/10	420	470	120	380
550	845	508/11	475	525	130	430
570	900	520/12	480	540	135	440
590	920	559/12.5	490	550	140	460
630	970	585/14	510	580	150	480
660	1,000	600/15	550	620	160	490

① Based on strand specification as per EN 10138 (150mm², 1860MPa); reduction required for ASTM A416 or BS 5896; GUTS = Guaranteed Ultimate Tensile Strength of strand
 ② Recommended max. service stress for stay cables as per fib bulletin No. 30 and CIP
 ③ Recommended max. service stress for extradosed cables as per CIP
 ④ Galvanized and sheathed strand with a minimum sheathing thickness of 1.5mm



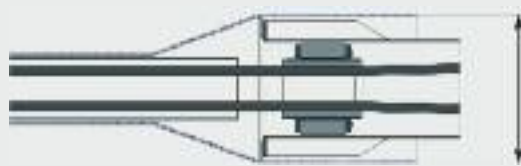
Adjustable anchorage ⑩

OPTIONAL ITEMS



Optional anchorage cap

for adjustable anchorage in severe environments class C5-M and -I as per ISO 12944

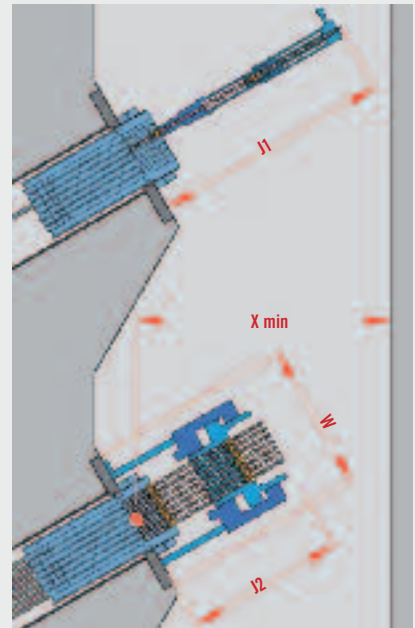


Optional anti-vandalism pipe

for future provision of damper

Required clearances

In case of facing adjustable anchorages, it is recommended to provide two times the minimum clearance. If reduced clearances are required, please contact VSL.



Required jack clearances

ANCHORAGE UNIT	W mm	J1 mm	J2 mm	Xmin mm
6-12 to 6-19	490	1,000	1,000	1,500
6-22 to 6-43	620	1,050	1,100	1,500
6-55 to 6-73	780	1,100	1,200	1,500
6-85 to 6-91	780	1,150	1,300	1,500
6-109 to 6-127	970	1,200	1,500	1,800
6-139 to 6-187	- ⑨	1,250	- ⑨	2,000

ADJUSTABLE ANCHORAGE						
ØA2	B2	C2	ØD2/hk	E2	G2	H2 mini
mm	mm	mm ⑥	mm/mm	mm	mm	mm
190	230	290	219.1/6.3	196	30	320
235	285	355	267/6.3	241	35	345
255	310	385	298.5/7.1	261	40	355
285	350	440	323.9/7.1	291	45	405
310	380	485	355.6/8	316	50	435
350	425	540	406.4/8.8	356	55	450
385	470	585	419/10	391	60	490
385	470	600	419/10	391	65	525
440	530	680	508/11	446	75	525
440	540	710	508/11	446	80	585
490	590	760	559/12.5	496	80	580
505	610	795	559/12.5	511	90	615
560	670	865	610/12.5	566	95	665
580	700	910	630/15	590	100	685
590	720	940	640/15	600	100	695
630	760	1,000	685/15	640	110	730
660	800	1,050	720/15	670	120	770

DEVIATED LENGTH	
L1	L2
mm	mm
1,100	1,500
1,370	1,770
1,550	1,950
1,740	2,140
1,920	2,320
2,170	2,570
2,290	2,690
2,490	2,900
2,710	3,120
2,830	3,240
3,080	3,490
3,230	3,640
3,630	4,030
3,680	4,090
3,770	4,170
4,180	4,580
4,190	4,590

STANDARD ARRANGEMENT				ALTERNAT.
LT1 DECK	LT1 PYLON	LT2 DECK	LT2 PYLON	
mm ⑦	mm	mm ⑦	mm	HORIZONTAL FORCE ON GUIDE DEVIATOR kN ⑩
500	500	1,000	1,000	
500	500	1,000	1,000	80
500	500	1,000	1,000	92
500	900	1,000	1,200	130
500	900	1,000	1,200	155
500	900	1,000	1,200	180
500	1,100	1,000	1,400	230
500	1,100	1,000	1,400	255
500	1,100	1,000	1,400	306
500	1,300	1,000	1,600	356
500	1,300	1,000	1,600	381
500	1,300	1,000	1,600	456
500	2,000	1,000	2,000	531
500	2,000	1,000	2,000	582
500	2,000	1,000	2,000	632
500	2,200	1,000	2,500	707
500	2,200	1,000	2,500	783

OPTIONAL DETAILS		
ØF4	ØK4	M4 MINI
mm	mm	mm
430	240	380
450	300	400
470	320	410
505	360	460
545	390	490
585	440	510
610	490	550
630	490	580
650	550	580
680	560	640
700	610	640
730	630	670
740	690	700
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨

⑤ Galvanized strand in accordance with NF A 35-035

⑥ Square bearing plate based on concrete strength of 45MPa cube (36MPa cylinder); dimensions can be adjusted for other concrete strength or steel structures

⑦ Can be reduced if required; please contact VSL

⑧ Larger units available on request

⑨ Dimensions available on request

⑩ SLS Level

⑪ Fixed or adjustable anchorages are interchangeable between pylon and deck, see dimensions L1 and L2



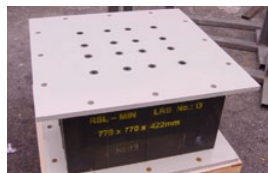
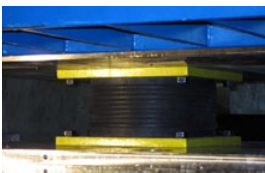
Seismic protection

mageba seismic protection devices – for reliable preservation of structures



LASTO[®]LRB Lead Rubber Bearing

proven, safe, versatile



mageba
Switzerland www.mageba.ch



Product features

Principle

mageba LASTO®LRB lead rubber bearings work on the principle of base isolation and limits the energy transferred from the ground to the structure in the event of an earthquake. The rubber and steel laminated bearing is designed to support the weight of the structure and to provide post-yield elasticity. The rubber provides the isolation and re-centring of the bearing after a seismic event. The lead core deforms plastically under shear deformations, while dissipating energy through heat.

Properties

LASTO®LRB lead rubber bearings consist of alternate layers of elastomeric material and vulcanized reinforcement steel plates with a central lead core. They provide a high level of damping of up to 30% due to high absorption capacity of the lead core.

As the reinforcement steel plates are fully embedded in the elastomeric material, they are sealed, and therefore protected against corrosion. The devices are manufactured with the rubber vulcanised to the top and bottom connection plates. The bearings can also be supplied with additional anchor plates, allowing easier replacement of the device in case of maintenance needs.

Application

LASTO®LRB devices are made from natural rubber (NR) providing a high resistance against mechanical wear.

Lead rubber bearings find wide applications in structures. This is due to their simplicity and the combined isolation and energy dissipation functions in a single, compact unit. In terms of seismic protection, it is a crucial aspect to minimise the seismic energy transfer to the superstructure and to limit the horizontal displacements of the device.

Under normal conditions LASTO®LRB lead rubber bearings act as regular elastomeric bearings. Therefore, in case of structures

with limited space for bearings and seismic protection means all these functions can be combined in a single device.

The fitting of structures with lead rubber bearings is one of the most used seismic isolation means and has proven its effectiveness in numerous earthquakes. The system has been researched over the past decades and allows the structural engineer a straight-forward simulation of the device response due to simple bi-linear modelling.

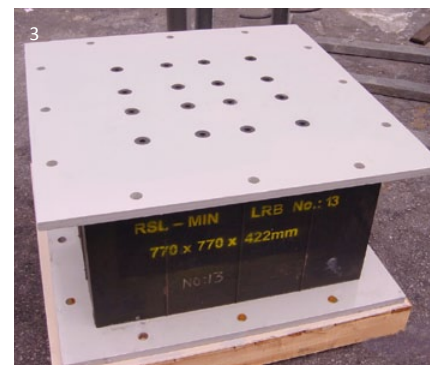
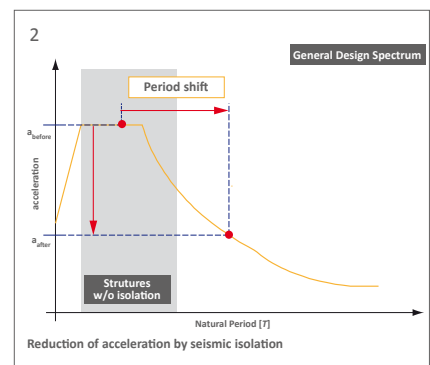
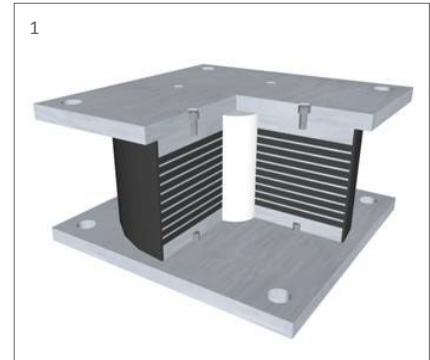
Seismic isolation

Seismic isolation is the decoupling of structures from ground motions induced by earthquake motions which could cause damage to the structures. To achieve such decoupling, different seismic devices – so called isolators – are strategically installed in specific locations of structures, allowing them to perform properly during an earthquake.

Seismic isolators provide sufficient flexibility to the structure, so that the natural period of the structure differentiates as much as possible from the natural period of the earthquake. This prevents the occurrence of resonance, which could lead to severe damage or even collapse of a structure.

An effective seismic isolation system shall provide the following main functions:

- Performance under all service loads, vertical and horizontal; shall be as effective as conventional structural bearings
- Provide enough horizontal flexibility in order to reach the target natural period for the isolated structure
- Re-centring capabilities after the occurrence of a severe earthquake so that no residual displacements can disrupt the serviceability of the structure
- Provide an adequate level of energy dissipation in order to control the displacements that could otherwise damage other structural members



- 1 Schematic view of a LASTO®LRB device
- 2 Principle of seismic isolation – reduction of acceleration by means of period shifting
- 3 LASTO®LRB device ready for installation
- 4 Viaduct de Chillon, Switzerland, retrofitted with LASTO®LRB bearings

Properties & benefits

Materials

The following materials are used for the production of mageba LASTO®LRB lead rubber bearings:

- Reinforcing plates, the top and bottom plates are made from rolled carbon steel conforming to ASTM A36 or A570
- Natural rubber, type NR, grade 3 per ASTM D4014-81
- Lead with a minimum purity of 99.9%

Anchoring system

LASTO®LRB devices are equipped with anchor plates to facilitate the connection to the lower and upper concrete structures. Alternatively, the bearings can be prepared for connection to steel structures.

Corrosion protection

mageba proposes standard corrosion protection systems according to EN ISO 12944, with corrosivity category depending on location, environmental conditions and the required degree of protection.

Corrosion protection systems according to other standards can be provided upon request.

Main dimensions

The table below summarizes the main dimensions for one given seismic design displacement. Values for other sets of input parameters can be provided upon request.

Benefits

- Significant dissipation of energy during earthquakes leading to an optimized structure size and reduced structure cost
- Combined transfer of service and seismic loads leading to minimal space requirement for the devices
- Effective solution for a wide range of types of structures
- Effective solution for the retrofitting or upgrade of existing structures
- Re-centring capabilities of bearings after a seismic event allows to maintain the serviceability of the structure
- Well researched technology with several decades of track record for many applications worldwide

Inspection and maintenance

LASTO®LRB lead rubber bearings are maintenance free. The condition and position of the bearings should be inspected at regular intervals. Upon request, mageba specialists can carry out such inspections and summarize the results in a detailed report.



1 Testing of LASTO®LRB bearings
2 Manufacturing of LASTO®LRB bearings

LASTO®LRB – $d_{bd} = 400\text{mm}$										
D (mm)	t_e (mm)	H_B (mm)	N_{Sd} (kN)	N_{Ed} (kN)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	K_r (kN/mm)	K_{eff} (kN/mm)	K_v (kN/mm)	ξ (%)
500	160	326	3,600	1,250	315	755	1.1	1.89	814	29
600	176	350	5,950	2,150	420	990	1.45	2.49	1,346	28
700	192	374	8,750	3,450	515	1230	1.8	3.09	1,991	28
800	208	398	10,950	5,100	620	1500	2.17	3.73	2,725	26
900	216	410	16,250	6,750	690	1750	2.65	4.38	3,658	26
1000	224	422	18,750	10,100	760	2030	3.16	5.07	4,693	25

Important Note: This table is intended only as a preliminary reference for the design of the isolator. The final design and technical details will be fully defined once all the parameters of the project are considered in the final design.

Legend

d_{bd}	Design seismic displacement	F_1	Yield force
D	Rubber block diameter	F_2	Maximum horizontal force (at d_{bd})
t_e	Total rubber height	K_r	Horizontal stiffness
H_B	Total isolator's height	K_{eff}	Effective stiffness
N_{Sd}	Maximum vertical service load	K_v	Vertical stiffness
N_{Ed}	Maximum vertical seismic load	ξ	Damping ratio



Quality & support

Quality

For five decades, mageba bearings have proven their worth in thousands of structures under most demanding conditions. In addition to the product properties, the extensive experience of mageba's well-qualified manufacturing and installation staff also contributes to the high quality and durability of the products.

mageba has a process-orientated quality system that is certified in accordance with ISO 9001:2008. Quality is also regularly inspected by independent institutes, such as the materials testing body (MPA) of the University of Stuttgart. mageba factories are certified for welding in accordance with ISO 3834-2, and according to the current steel construction standard EN 1090.

CE Certification

LASTO®LRB lead rubber bearings are designed and manufactured in accordance with European Standard EN 15129:2009 and with EN 1337. Bearings are marked with the CE mark of conformity, which confirms that they satisfy all requirements of this standard, without exception. All necessary type testing performed on LASTO®LRB devices was carried out at an independent testing facility and fully supervised by a certified body.

mageba LASTO®LRB lead rubber bearings can also be designed and manufactured in accordance with other international specifications, such as the "AASHTO Guide Specification for Seismic Isolation Design", Japanese Specifications, National Norms, etc.

Testing

If required by the client, full-scale factory production control testing can be carried out. mageba performs the tests in-house as well as with independent 3rd party test institutes. Commonly performed tests are based on European Standard EN 15129:2009 or AASHTO "Guide Specifications for Seismic Isolation Design". For special projects, customised testing can also be performed if requested by the client.

Customer support

Our product specialists will be glad to advise you in selection of the optimal solution for your project, and to provide you with a quotation.

On our website, www.mageba.ch, you can find further product information, including reference lists and tender documentation.

Reference projects for mageba seismic devices



Awaza Bridge (TM)



Flendruz (CH)



Langenargen (DE)



Ramstore Bridge (KZ)



Agin Bridge (TR)



Vasco da Gama Bridge (PT)

mageba seismic devices



RESTON®SA & STU



RESTON®PSD



RESTON®PENDULUM



LASTO®LRB & HDRB

mageba
Switzerland www.mageba.ch

engineering connections®

BRIDGE CONSTRUCTION PARTNER



PRECAST
SEGMENTAL
CONSTRUCTION

INSITU
CONSTRUCTION

HEAVY LIFTING

STAY CABLE
CONSTRUCTION

PRECAST SEGMENTAL ERECTION BALANCED CANTILEVER ERECTION WITH



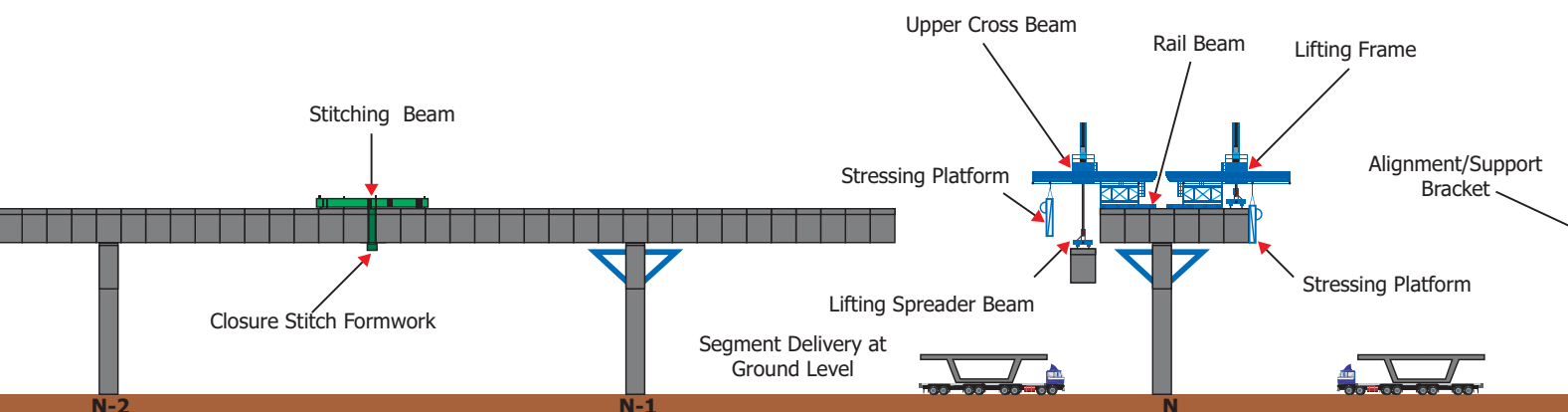
West Tsing Yi - Hong Kong (2004-2005)
14,000m² of deck, 250 segments

VSL continually develops innovative lifting solutions applicable to precast segment erection. VSL strand lifting units, incorporating multiple safety features are regularly utilised, providing a large range of lifting capacities whilst allowing precise alignment and placement of segments.

Extensive studies conducted by VSL's technical centres facilitate the development of project specific lifting systems. Precast element delivery usually governs the method adopted and VSL have successfully operated lifting frames suitable for use on projects with

considerable delivery constraints. VSL lifting frames are self-contained and incorporate safe unobstructed working platforms and accesses to all necessary locations.

Following assembly, installation and commissioning by suitable cranes, VSL



LIFTING FRAMES



Serembam Middle Ring Rd 2 – Malaysia (2008-2009) 12,196m² of deck, 481 precast elements



Lai Chi Kok – Hong Kong (2004-2005) 63,000m² of deck, 1,771 segments



Quarashia Bridge – Saudi Arabia (1989-1990) 12,820m² of deck, 143 segments



Kisosansen Bridge – Japan (1998-2001) 90,000m² of deck, 344 segments



Shenzhen Western Corridor – Hong Kong (2004-2005) 90,800m² of deck, 1,879 segments

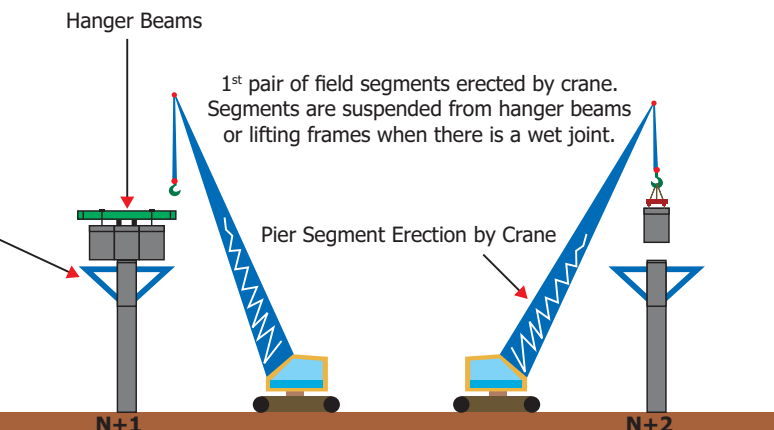
FEATURES & ADVANTAGES

- Relatively simple temporary works requirements.
- High rates of erection.
- Large segments can be erected.
- Optimised crew cycles.
- Multiple levels of segment alignment and adjustment are possible.
- Strand lifting units can be adopted and provide several levels of safety features.
- Deck construction does not have to be linear, but can be sequenced to follow pier construction.

lifting frames can operate independently. VSL lifting systems incorporate two primary hydraulic systems providing both lifting and self-launching mechanisms. When high lifting speeds are required, generally greater than 20 meters per hour, tandem lifting units or winch systems have been utilised.

VSL technical centres typically work with engineers to incorporate necessary lifting system tie down into the permanent works, to ensure suitable load introduction into the permanent works and also provide stage by stage analysis, geometry control and precamber calculation. VSL's experienced

supervisory teams regularly achieve erection cycles of two pairs of segments per shift.



Typical Erection Cycle	Duration: 13 Shifts												
Description	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Erect & Assemble Lifting Frames & Brackets on Pier Head	█	█	█										
Segment Erection - Pair 1				█									
Wet Joint Construction				█									
Wet Joint Curing					█	█							
Segment Erection - Pair 2-3							█						
Segment Erection - Pair 4-5								█					
Segment Erection - Pair 6-7									█				
Segment Erection - Pair 8-9										█			
Segment Erection - Pair 10-11											█		
Segment Erection - Pair 12-13												█	
Remove Lifting Frames													█

PRECAST SEGMENTAL ERECTION BALANCED CANTILEVER ERECTION WITH

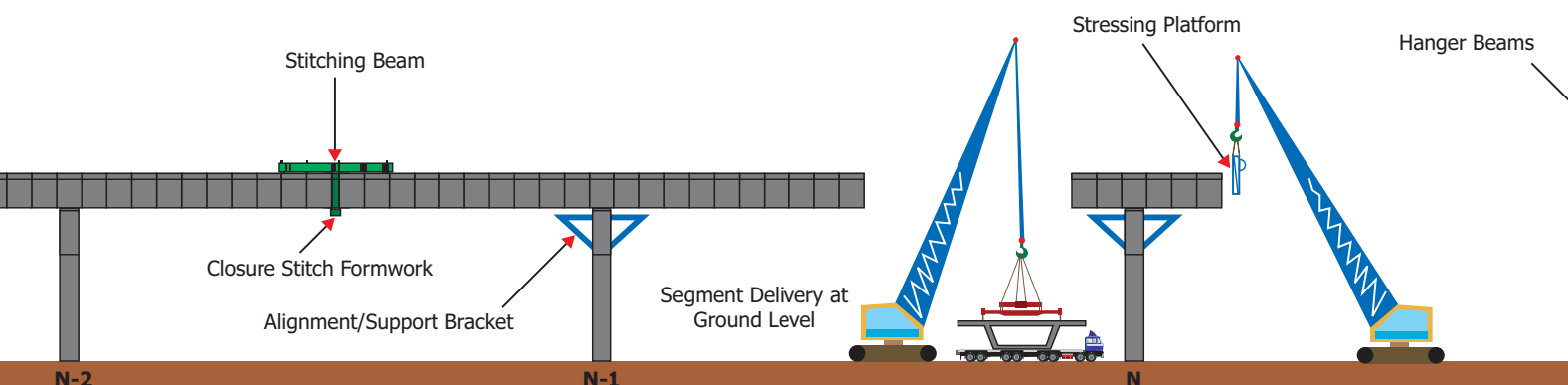


West Rail - Hong Kong (1999-2002)
8,330m² of deck, 617 segments

Erection using suitable mobile craneage has frequently been executed by VSL, particularly in relation to balanced cantilever construction. When site and ground conditions are suitable, this method of erection has proved highly effective and can facilitate considerable rates of erection.

VSL project teams provide detailed craneage studies helping to optimise crane usage while minimising disruption to the surrounding environment. In particular, VSL has assisted contractors to develop and implement temporary traffic management schemes. VSL technical centres work with production

team to develop additional temporary works, in particular pier segment supports and access requirements. VSL is capable of offering stage-by-stage analysis and detailed precamber calculation. With careful project design and management, cranes of varying types and capacities have been utilised by



CRANES



Lai Chi Kok - Hong Kong (2004-2006)
63,000m² of deck, 1,771 segments



West Link - Australia (2004-2005)
86,000m² of deck, 3,013 segments



Shatin T3 - Hong Kong (2004-2007)
65,800m² of deck, 1,806 segments

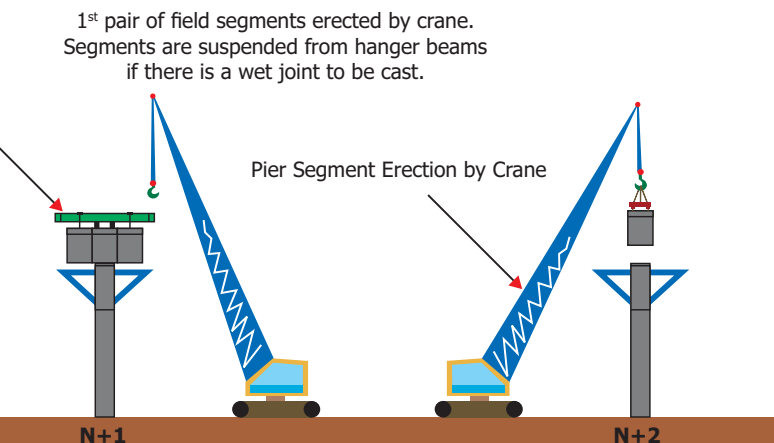


West Rail - Hong Kong (1999-2002)
8,330m² of deck, 617 segments

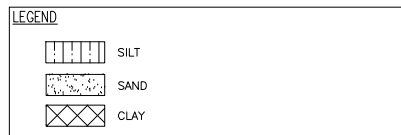
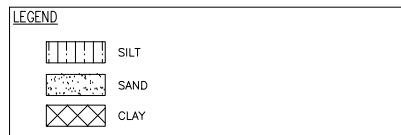
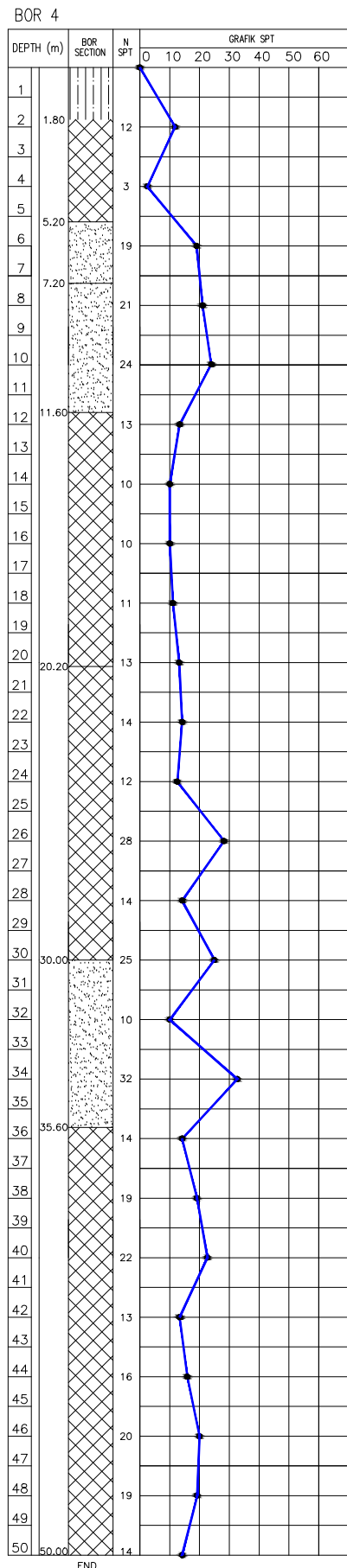
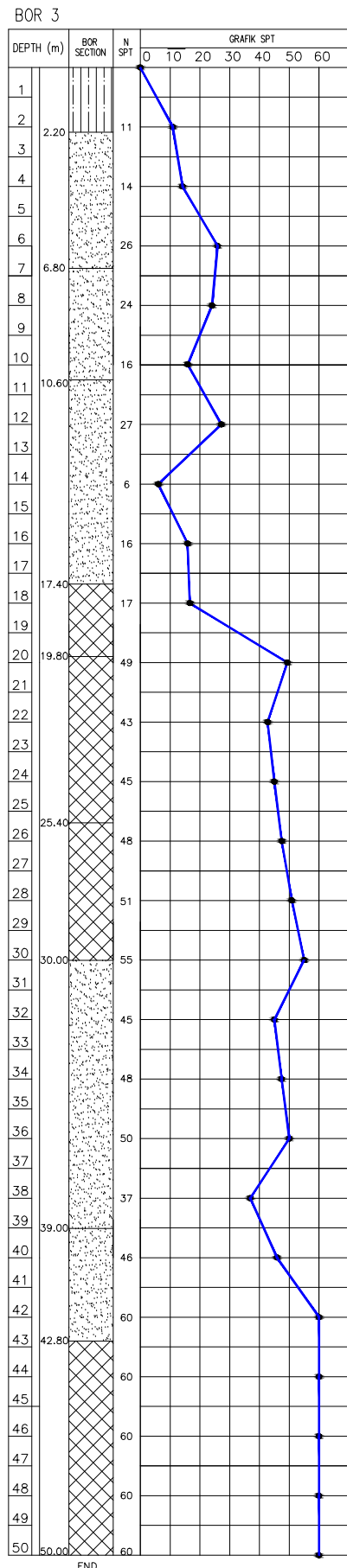
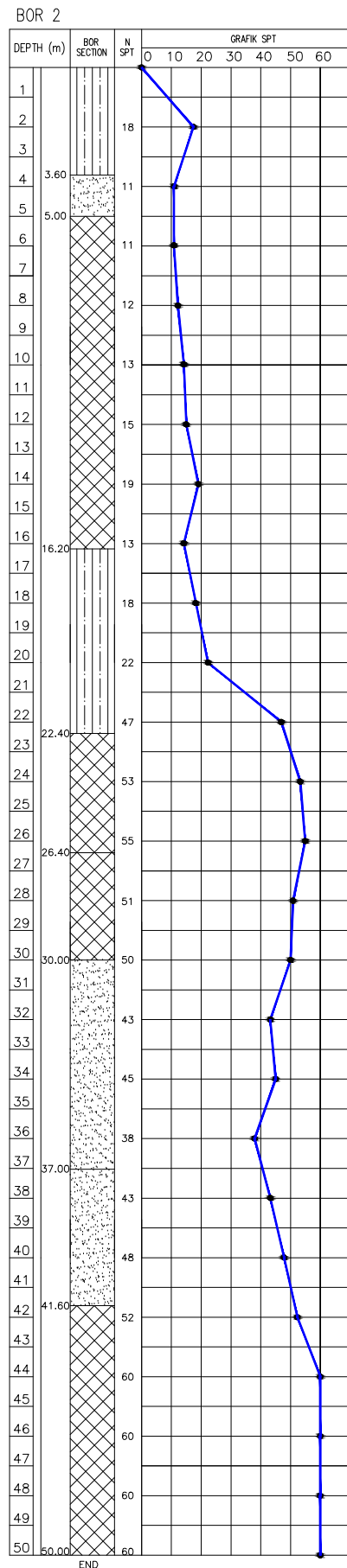
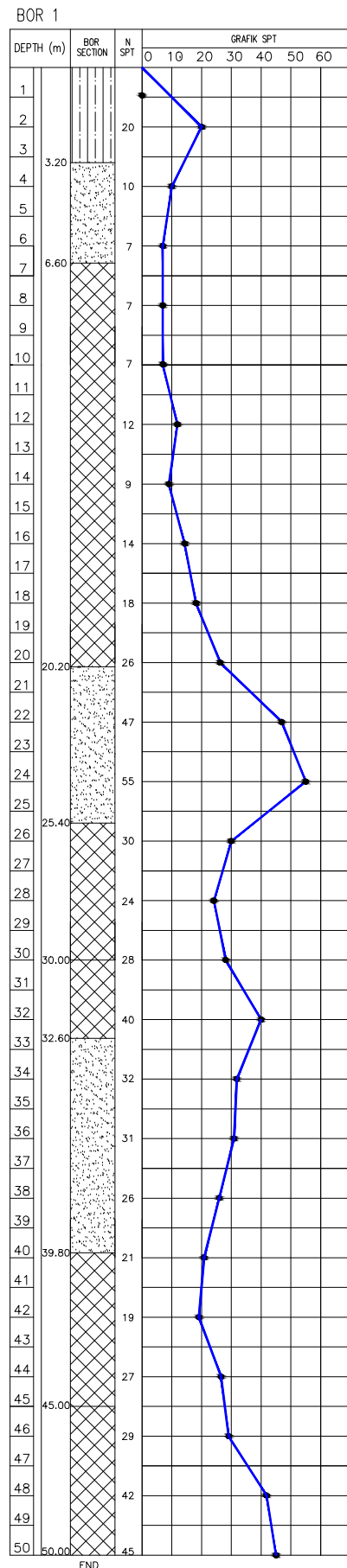
FEATURES & ADVANTAGES

- Temporary works requirements are minimised.
- Fast rates of erection are possible.
- Multiple work fronts are possible.
- Optimised crew size.
- Minimal engineering requirements.
- Cranes are generally readily available in the market.
- Cranes can be utilised to execute other activities.
- Deck construction does not have to be linear, but can be sequenced to follow pier construction.

VSL to achieve the best operating results. Typical erection rates are up to 6 segments per day.



Typical Erection Cycle	Duration: 8 Shifts							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Description								
Installation of Pier Segment Support Brackets	Red	Red	Red		Yellow			
Installation of Pier Segment				Red			Yellow	
Segment Erection - Pair 1-3					Red			
Segment Erection - Pair 4-6						Red		
Segment Erection - Pair 7-9							Red	
Segment Erection - Pair 10-12								Red



NAMA GAMBAR :

SPT DARI PERENCANA

SKALA : NTS

TANGGAL : 17 - 03 - 2016

KODE GAMBAR	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
	1	1

SHOP DRAWING

Nama Kegiatan :

PEMBANGUNAN JEMBATAN SEMBAYAT BARU II (MYC)

Nomor Kontrak : KU.08.08/BM-METRO.I/SGATS-ATS/1641

Tanggal Kontrak : 25 November 2015

Tahun Anggaran : 2015 - 2017

Wilayah : Provinsi Jawa Timur

DIAJUKAN KONTRAKTOR :
PT. BRANTAS ABIPRAYA (Persero)

KAMALUL ASFIYAK. ST
PROJECT MANAGER

DIPERIKSA KONSULTAN :
PT. WAHANA MITRA AMERTA, MONOHEKSA, PARIGRAHA

Ir. DEDY PURWOKO P.
SITE ENGINEER

MENGETAHUI :
PPK PELAKSANA JALAN NASIONAL
Sadang-Gresik-Arteri Tengah Surabaya- Arteri Timur SURABAYA

HERY WAHYU WIBOWO, ST, MT
NIP. 19770702 200502 1 002

C A T A T A N

DAFTAR GAMBAR

NO.	NOMOR GAMBAR	JUDUL GAMBAR
1	01	TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN EXISTING DAN MODIFIKASI
2	02	TAMPAK SAMPING DAN DENAH
3	03	POTONGAN MEMANJANG DAN MELINTANG
4	04	DETAIL ANGKUR PADA PYLON
5	05	PENULANGAN PYLON
6	06	DETAIL PENULANGAN PYLON
7	07	DETAIL PENULANGAN PADA ANGKUR PYLON
8	08	POTONGAN MELINTANG PENAMPANG DEK
9	09	DETAIL LAPISAN PELAT LANTAI KENDARAAN
10	10	DETAIL ANGKUR PADA DEK
11	11	DETAIL SAMBUNGAN SEGMENTAL MAIN BOX GIRDER
12	12	CROSS SECTION OF SIDE BOX GIRDER
13	13	FLOOR BEAM PADA BOX GIRDER
14	14	DETAIL PENAMPANG EFEKTIF TOP FLOOR BEAM
15	15	DETAIL PENAMPANG EFEKTIF BOTTOM FLOOR BEAM
16	16	DETAIL ORTHOTROPIC PLATE (RIB) TOP RIB AND BOTTOM RIB
17	17	DETAIL SAMBUNGAN RANGKA 1
18	18	DETAIL SAMBUNGAN RANGKA 2
19	19	DETAIL SAMBUNGAN RANGKA 3
20	20	DESAIN PARAPET
21	21	DESAIN RAILING

JUDUL GAMBAR

TAMPAK MEMANJANG
JEMBATAN EXISTING DAN MODIFIKASI

SKALA

1:1200

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

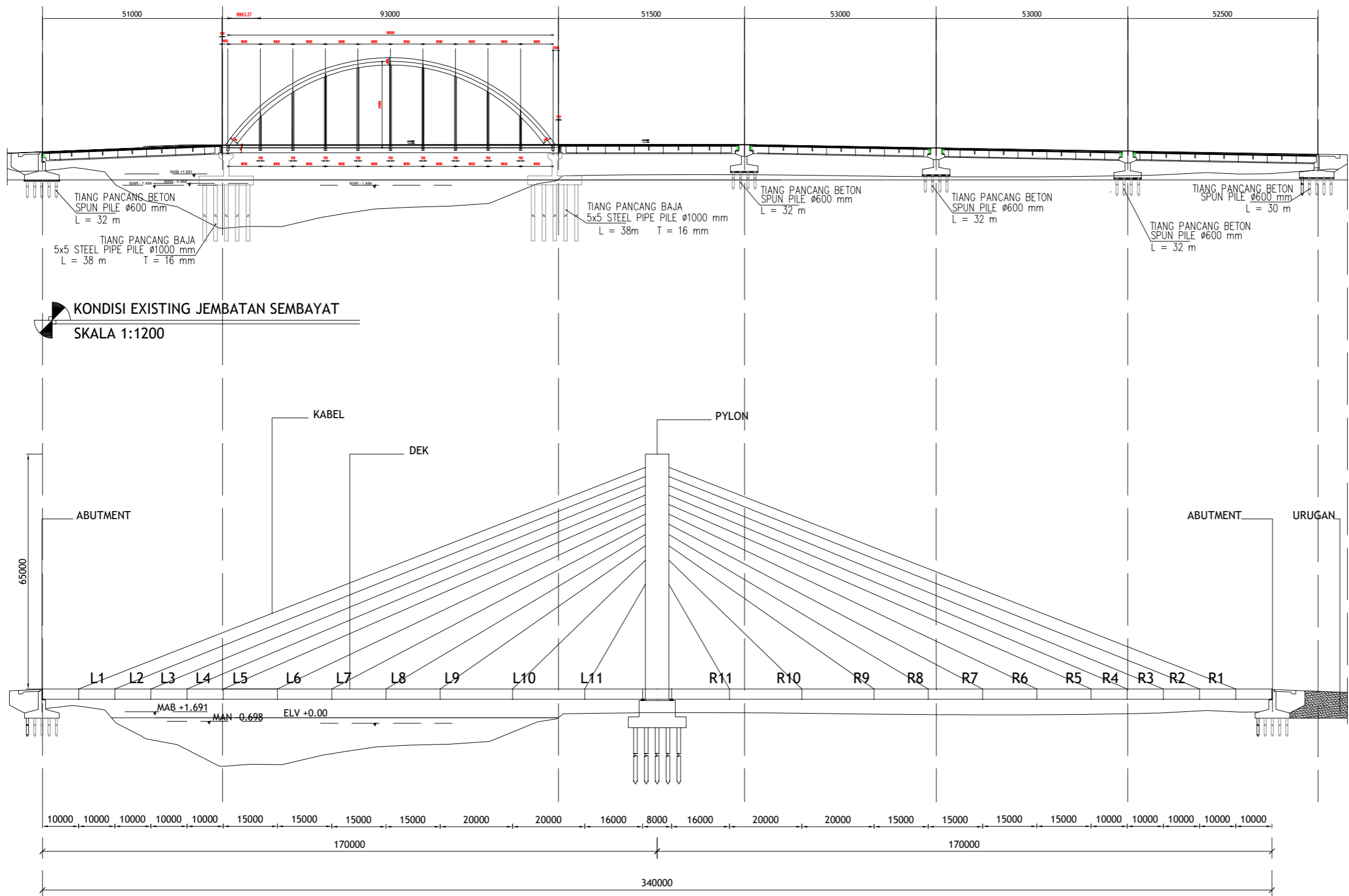
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

01

21



KONDISI EXISTING JEMBATAN SEMBAYAT
SKALA 1:1200

JEMBATAN CABLE STAYED SEMBAYAT
SKALA 1:1200

JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING
DAN DENAH

SKALA

1:1200

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

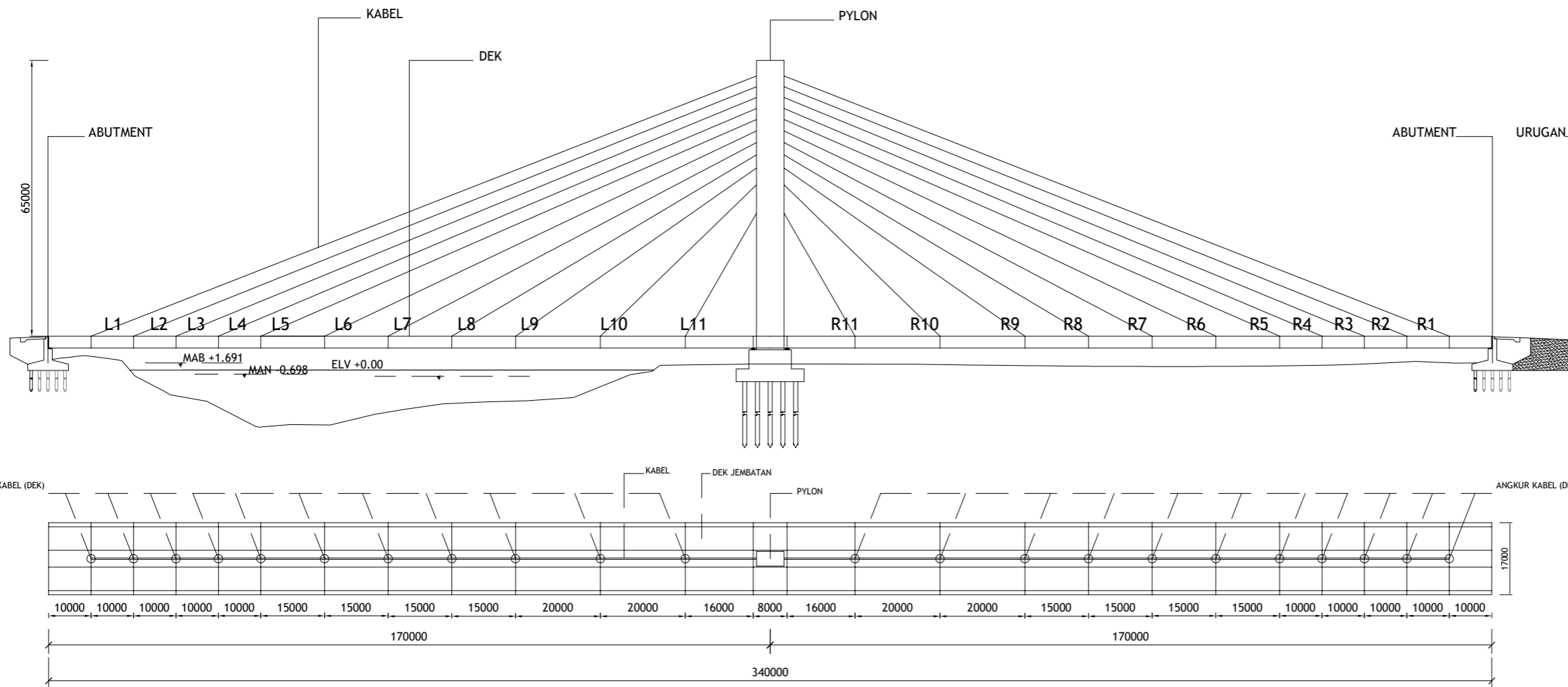
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

02

21



TAMPAK SAMPING DAN DENAH JEMBATAN CABLE STAYED
SKALA 1:1200

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG
DAN MELINTANG

SKALA

1:1200

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

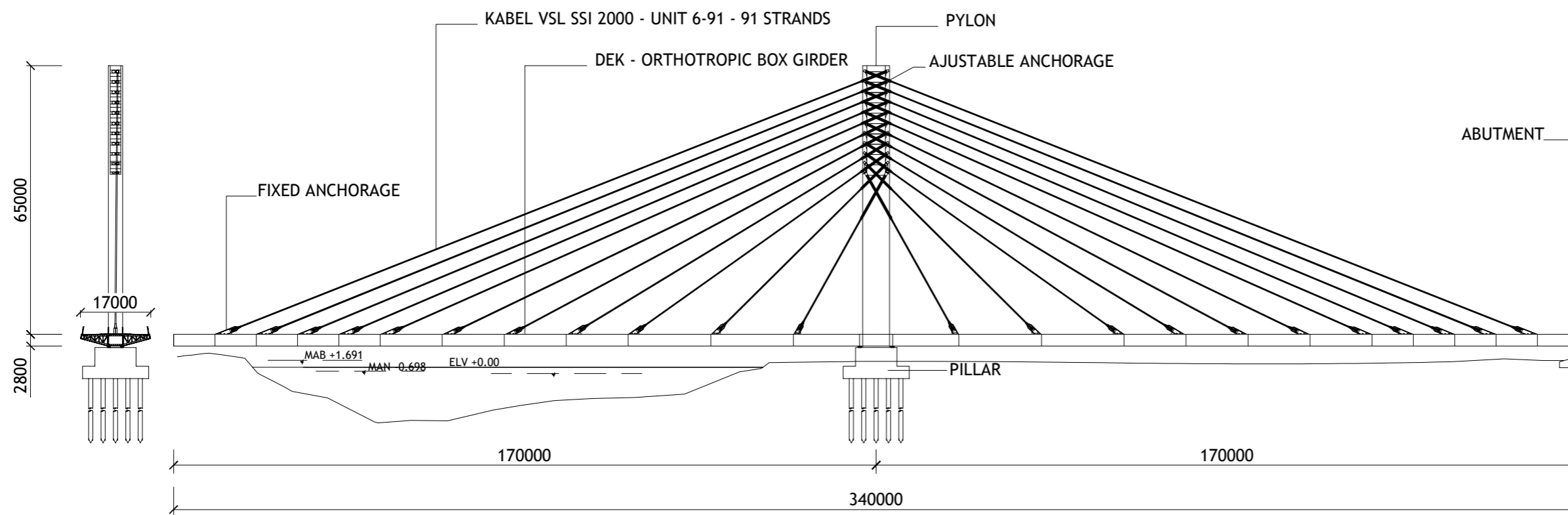
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

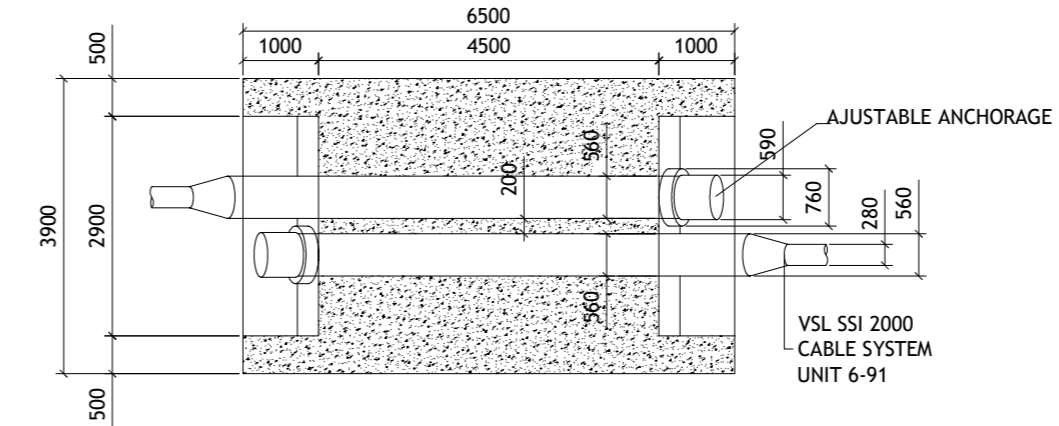
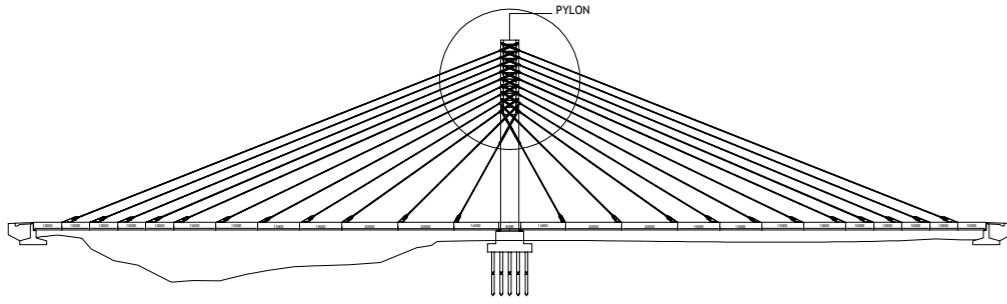
JUMLAH

03

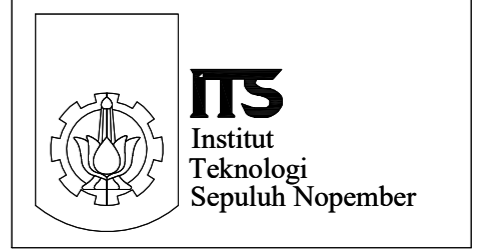
21



POTONGAN MELINTANG & MEMANJANG JEMBATAN
SKALA 1:1200



POTONGAN A-A
SKALA 1:100



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL GAMBAR

DETAIL ANGKUR PADA PYLON

SKALA

1:300

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

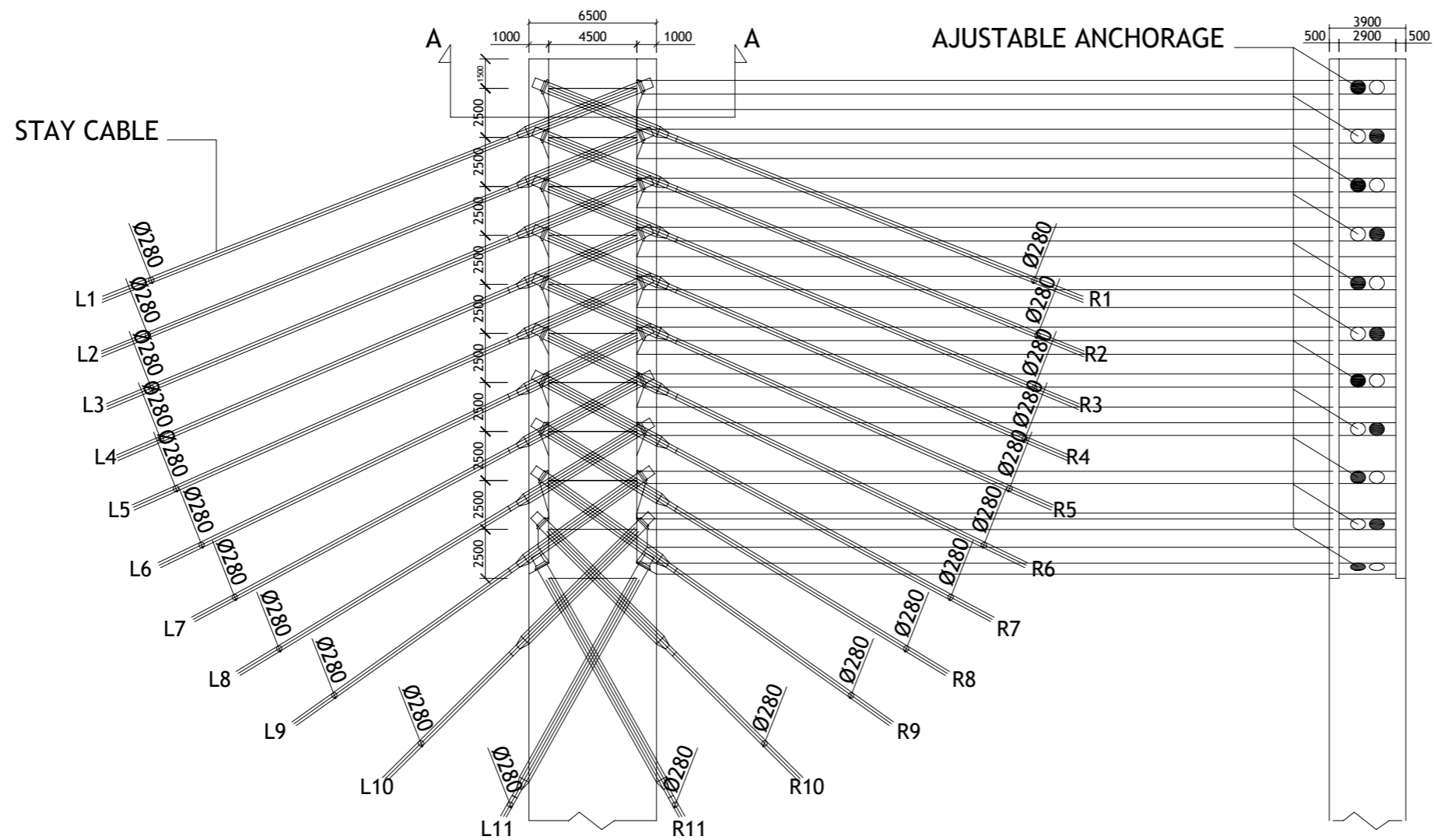
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

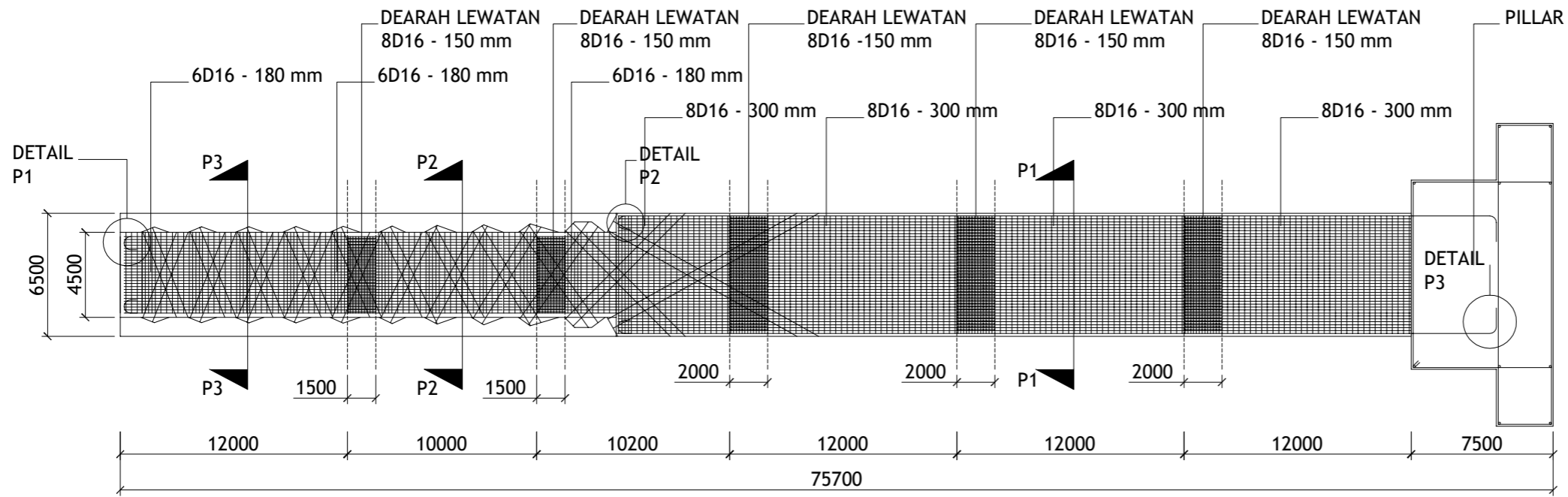
JUMLAH

04

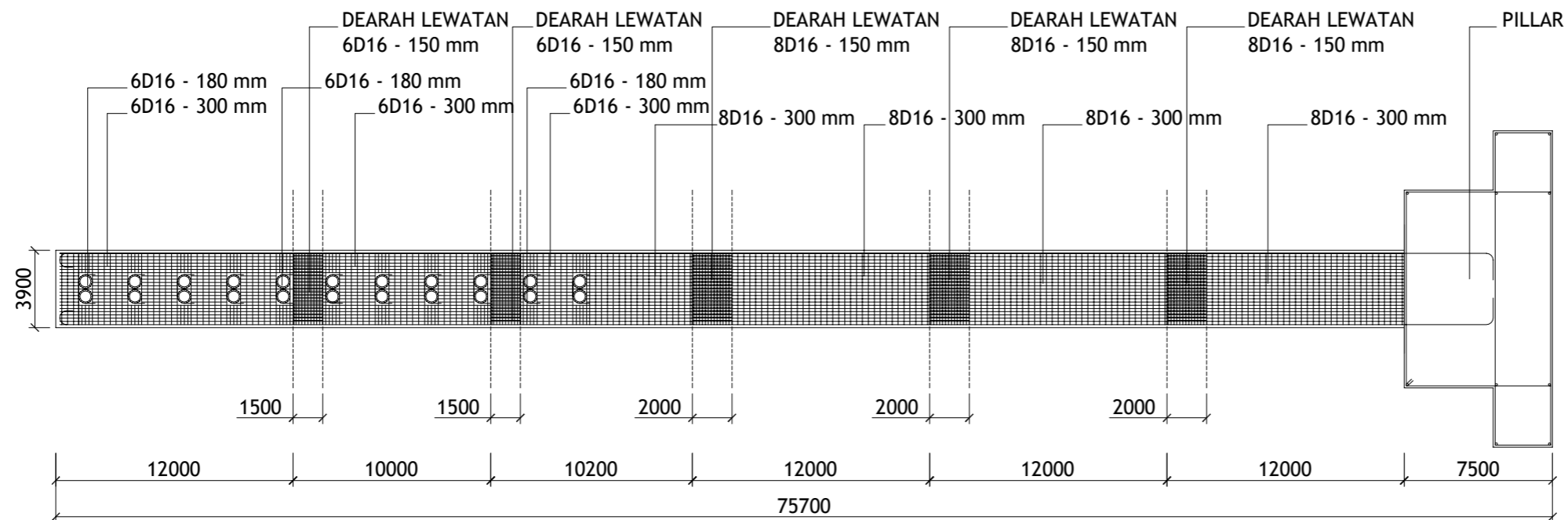
21



DETAIL ANGKUR PADA PYLON
SKALA 1:300



PENULANGAN PYLON - POTONGAN MEMANJANG
SKALA 1:300



PENULANGAN PYLON - POTONGAN MELINTANG
SKALA 1:300

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PYLON

SKALA

1:300

SPESIFIKASI

PENULANGAN PYLON

CONCRETE $f_c' = 60$ MPa
REBAR D57 $F_y = 420$ MPa
REBAR D16 $F_y = 420$ MPa

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

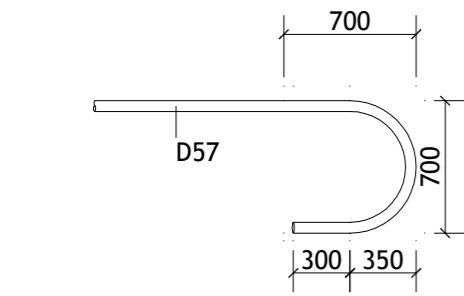
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

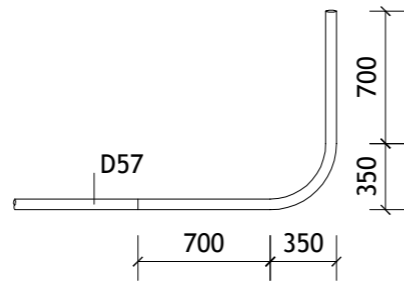
JUMLAH

05

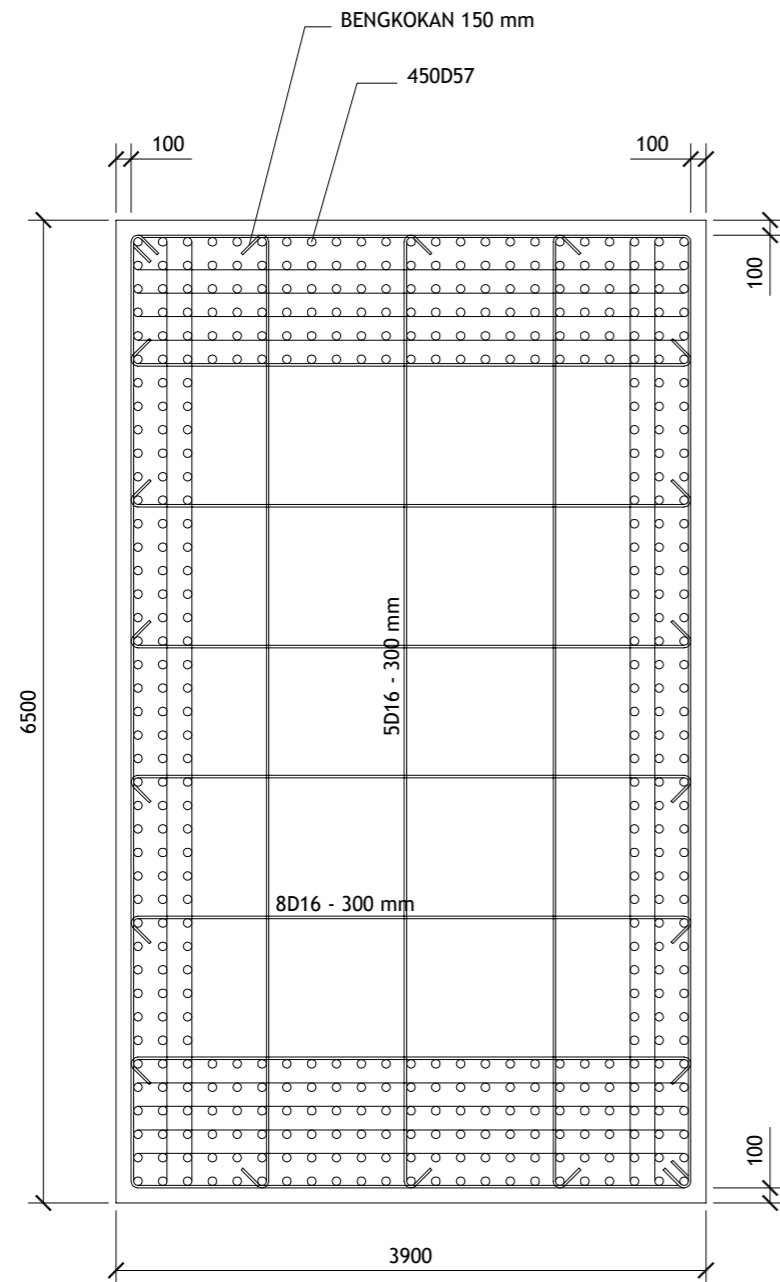
21



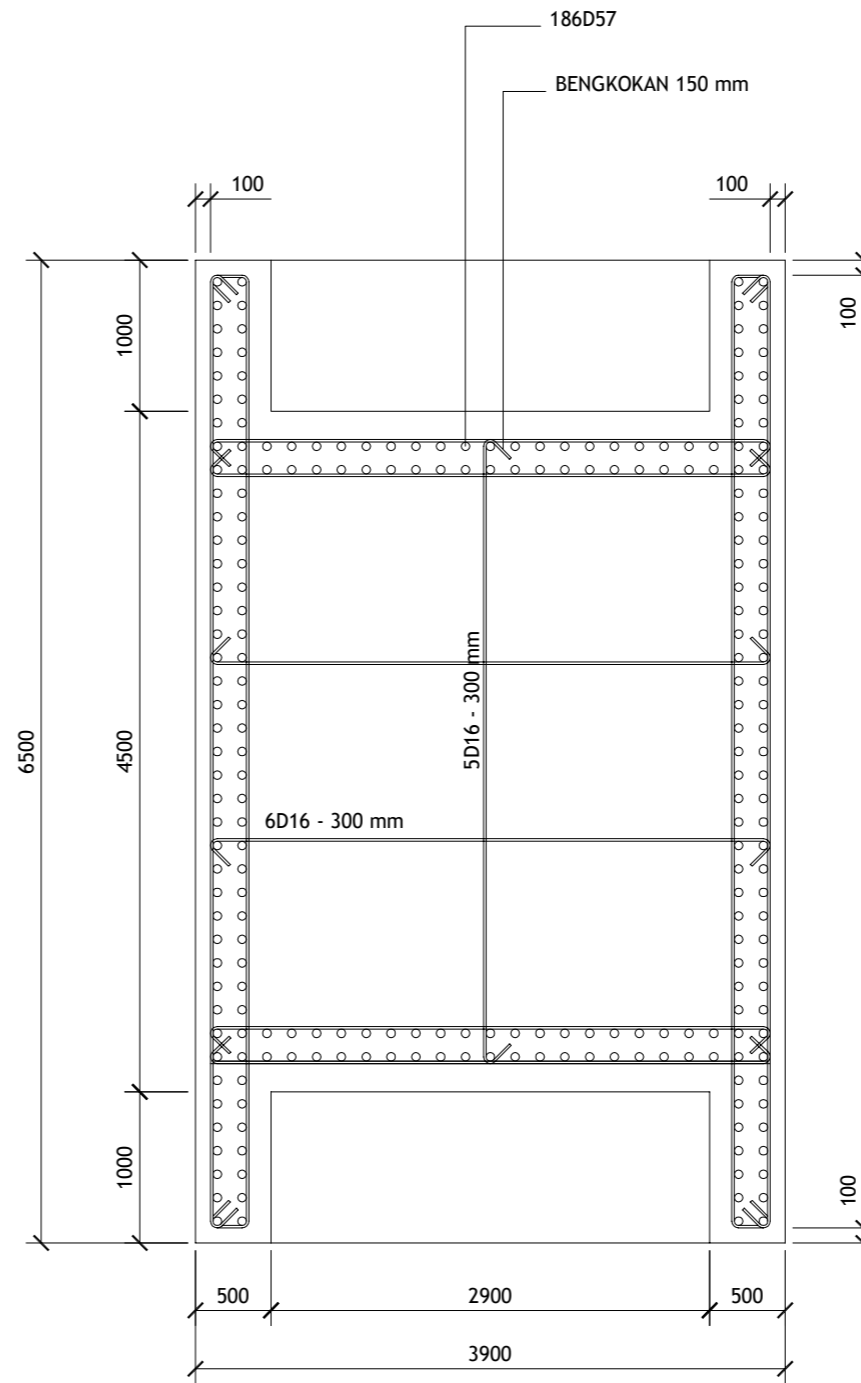
DETAIL P1&P2 - KAIT ANGKUR TULANGAN PLON
SKALA 1:40



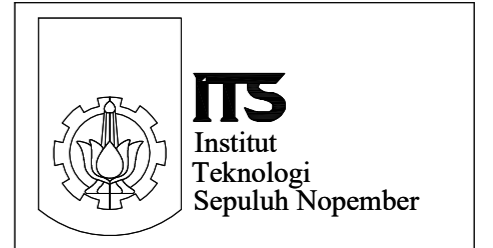
DETAIL P3 - ANGKUR PILLAR
SKALA 1:40



POTONGAN P1 - PENAMPANG PYLON SECTION-1
SKALA 1:50



POTONGAN P2 - PENAMPANG PYLON SECTION-2
SKALA 1:50



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PYLON

SKALA

1:50

SPEKIFIKASI

BETON $f_c' = 60$ MPa
REBAR D57 $F_y = 420$ MPa
REBAR D16 $F_y = 420$ MPa

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

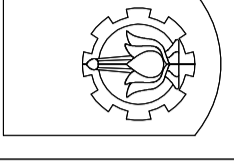
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

06

21



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA 2017

JUDUL GAMBAR

**DETAIL PENULANGAN PADA
 ANGKUR PYLON**

SKALA 1:50

SPESIFIKASI

BETON $f_c' = 60$ MPa
 REBAR D57 $F_y = 420$ MPa
 REBAR D36 $F_y = 420$ MPa
 REBAR D29 $F_y = 420$ MPa
 REBAR D16 $F_y = 420$ MPa

NAMA MAHASISWA

**RIZAL PURNAWAN
 (3113 041 061)**

DOSEN PEMBIMBING

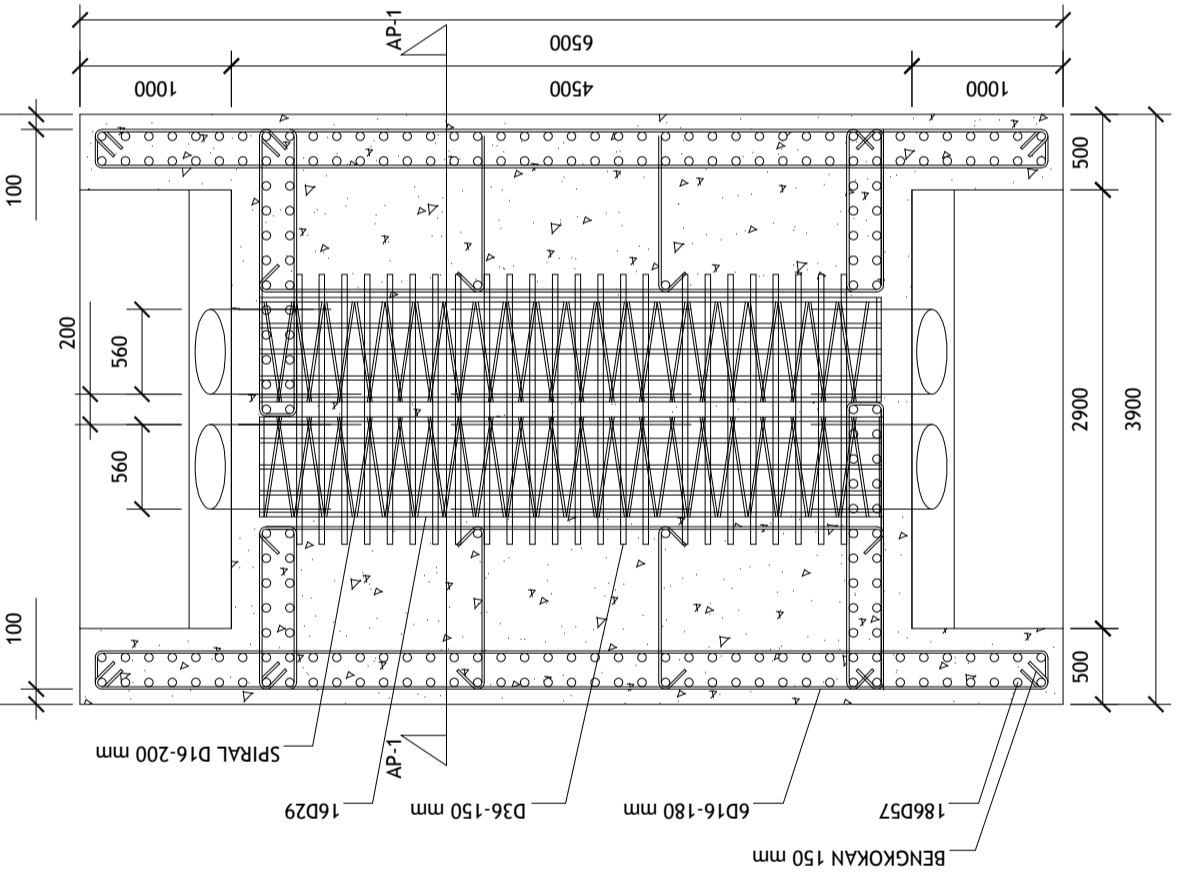
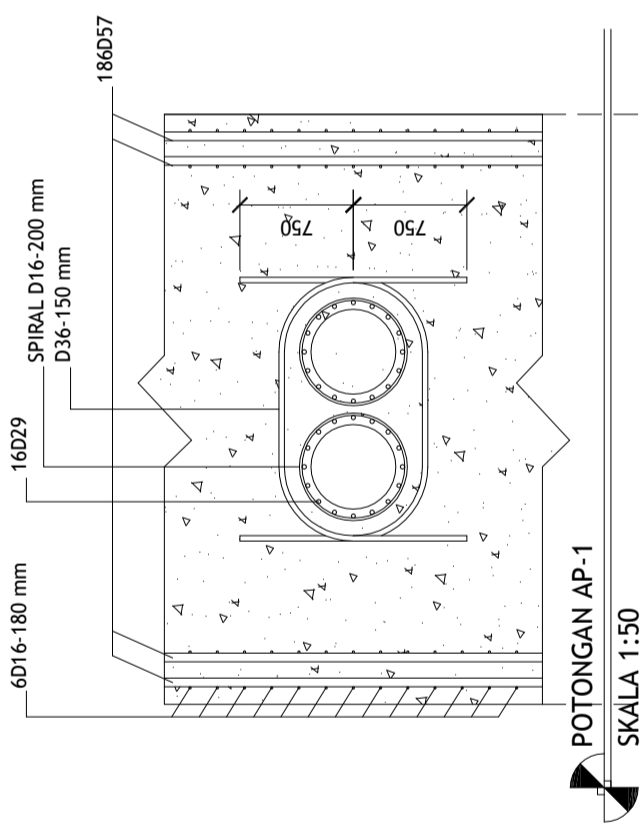
**Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
 Ir. SUNGKONO, CES.**

KETERANGAN

NOMOR GAMBAR **JUMLAH**

07

20



**POTONGAN P3 - PENAMPANG PYLON SECTION-2
 SKALA 1:50**

JUDUL GAMBAR

**POTONGAN MELINTANG
PENAMPANG DEK**

SKALA

1:100

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

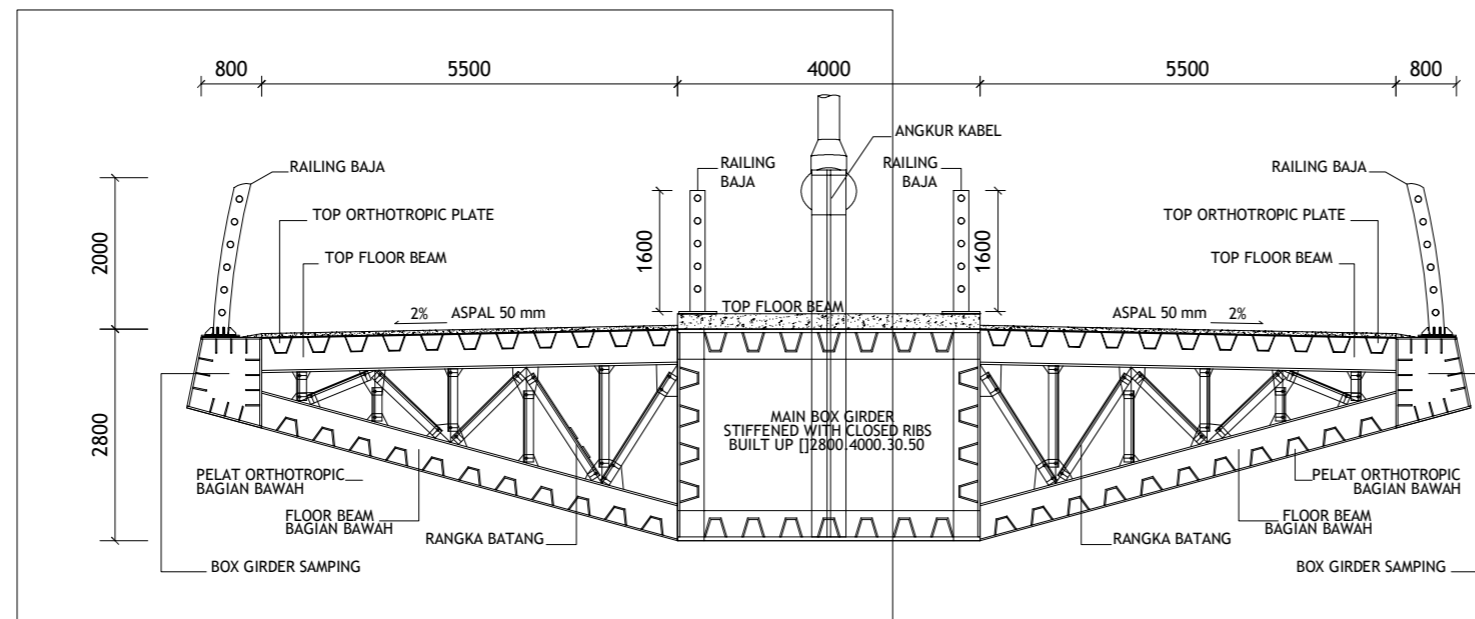
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

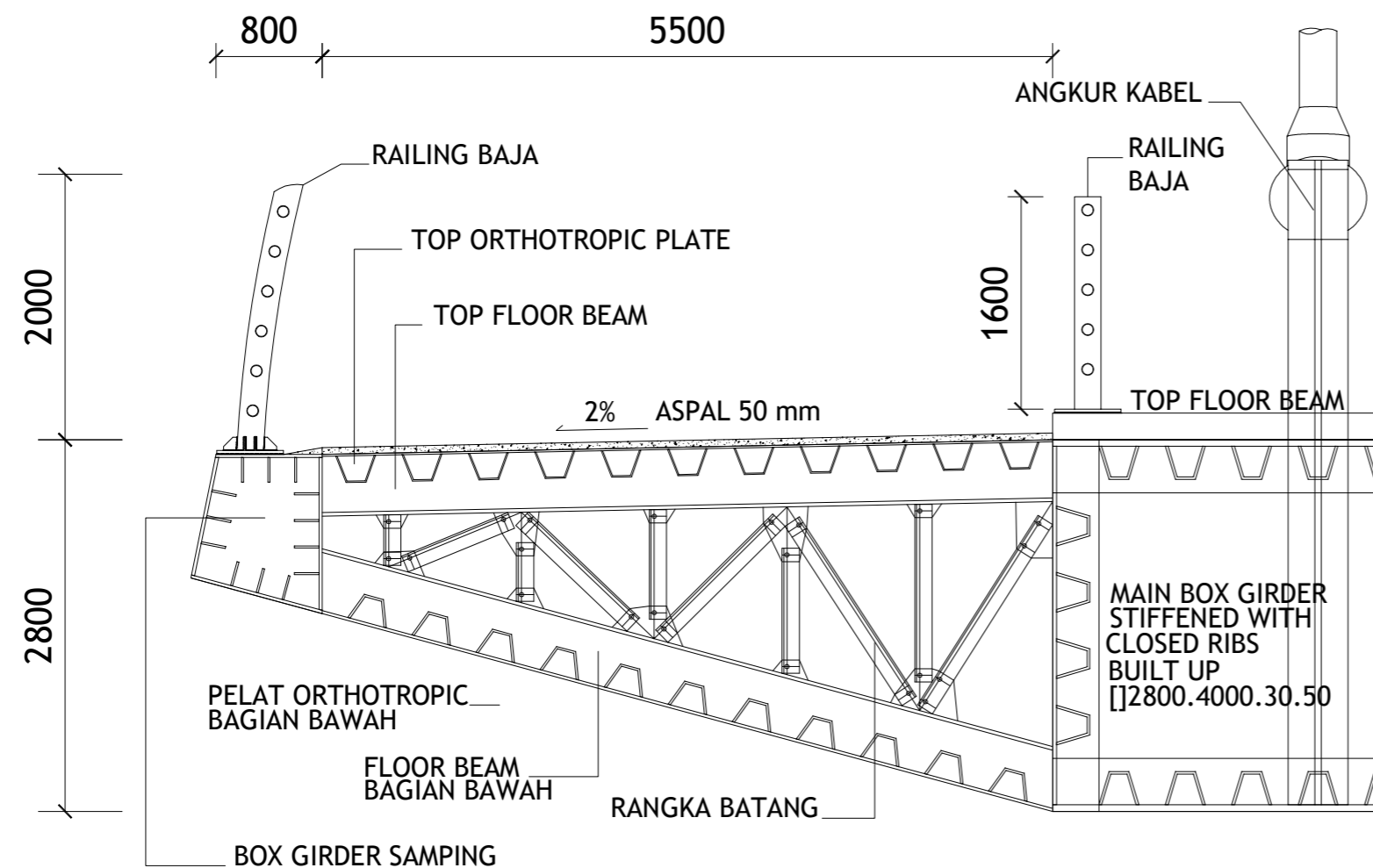
JUMLAH

08

21



POTONGAN MELINTANG PENAMPANG DEK
SKALA 1:100



POTONGAN MELINTANG PENAMPANG DEK
SKALA 1:50

JUDUL GAMBAR

DETAIL LAPISAN PELAT LANTAI KENDARAAN

SKALA

1:100

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

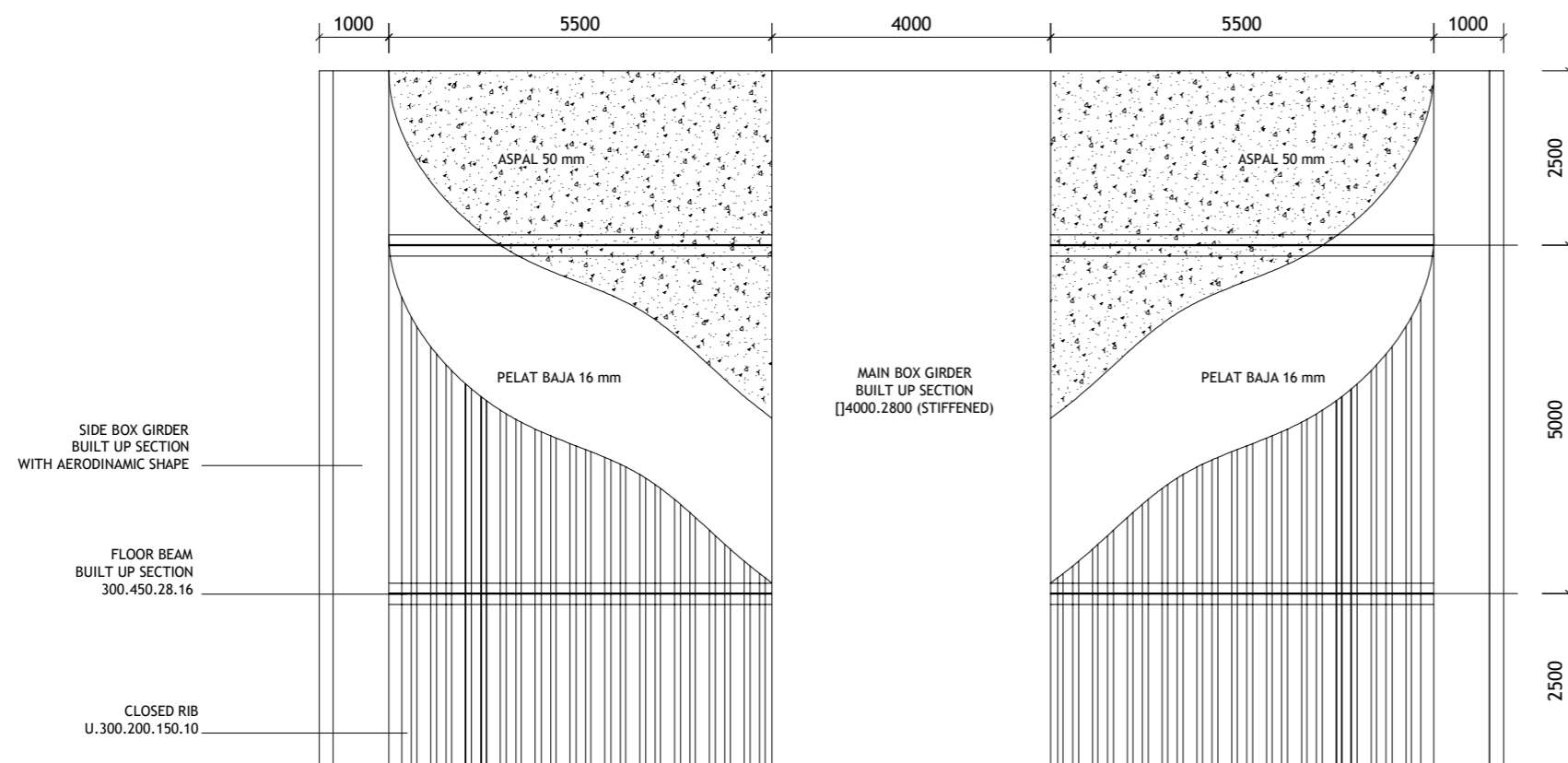
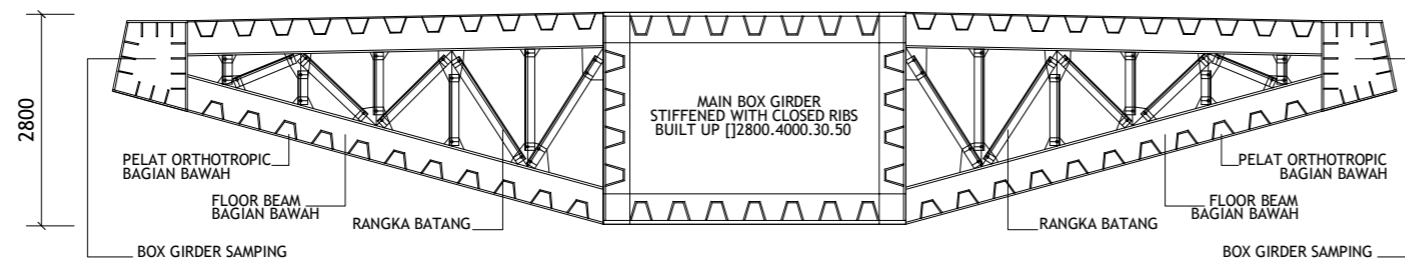
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

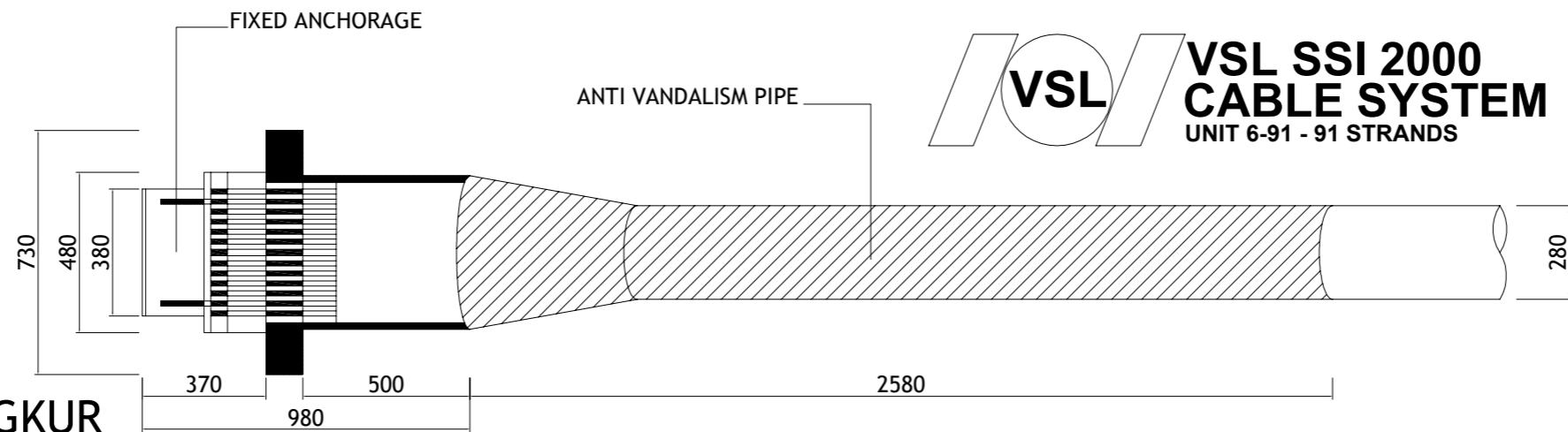
JUMLAH

09

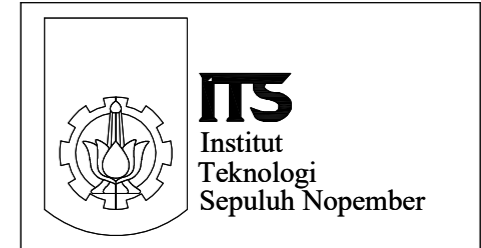
21



 **DETAIL LAPISAN PELAT LANTAI KENDARAAN**
SKALA 1:100



VSL VSL SSI 2000
CABLE SYSTEM
UNIT 6-91 - 91 STRANDS



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

DETAIL KABEL ANGKUR

SKALA 1:20

JUDUL GAMBAR

DETAIL ANGKUR PADA DEK

SKALA

1:50

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

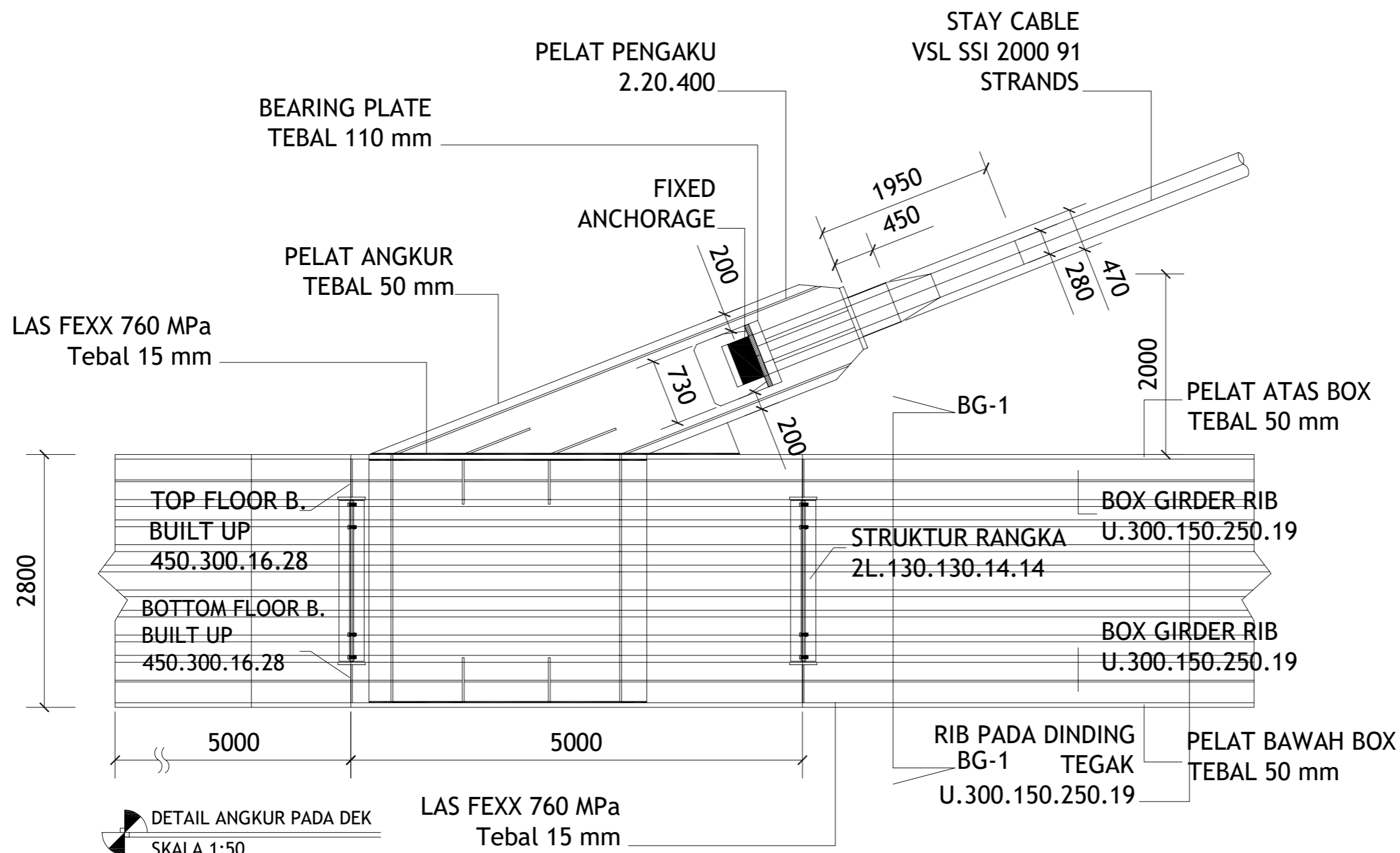
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

10

21



DETAIL ANGKUR PADA DEK
SKALA 1:50

LAS FEXX 760 MPa
Tebal 15 mm

RIB PADA DINDING
BG-1 TEGAK
U.300.150.250.19

PELAT BAWAH BOX
TEBAL 50 mm

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN SEGMENTAL
MAIN BOX GIRDER

SKALA

1:40

SPESIFIKASI

MAIN BOX GIRDER [BLUESCOPE 400L15]

Fy = 360 MPa

Fu = 480 MPa

BAUT [GROUP B - ASTM A490]

Fnt = 780 MPa

Fnv = 579 MPa

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

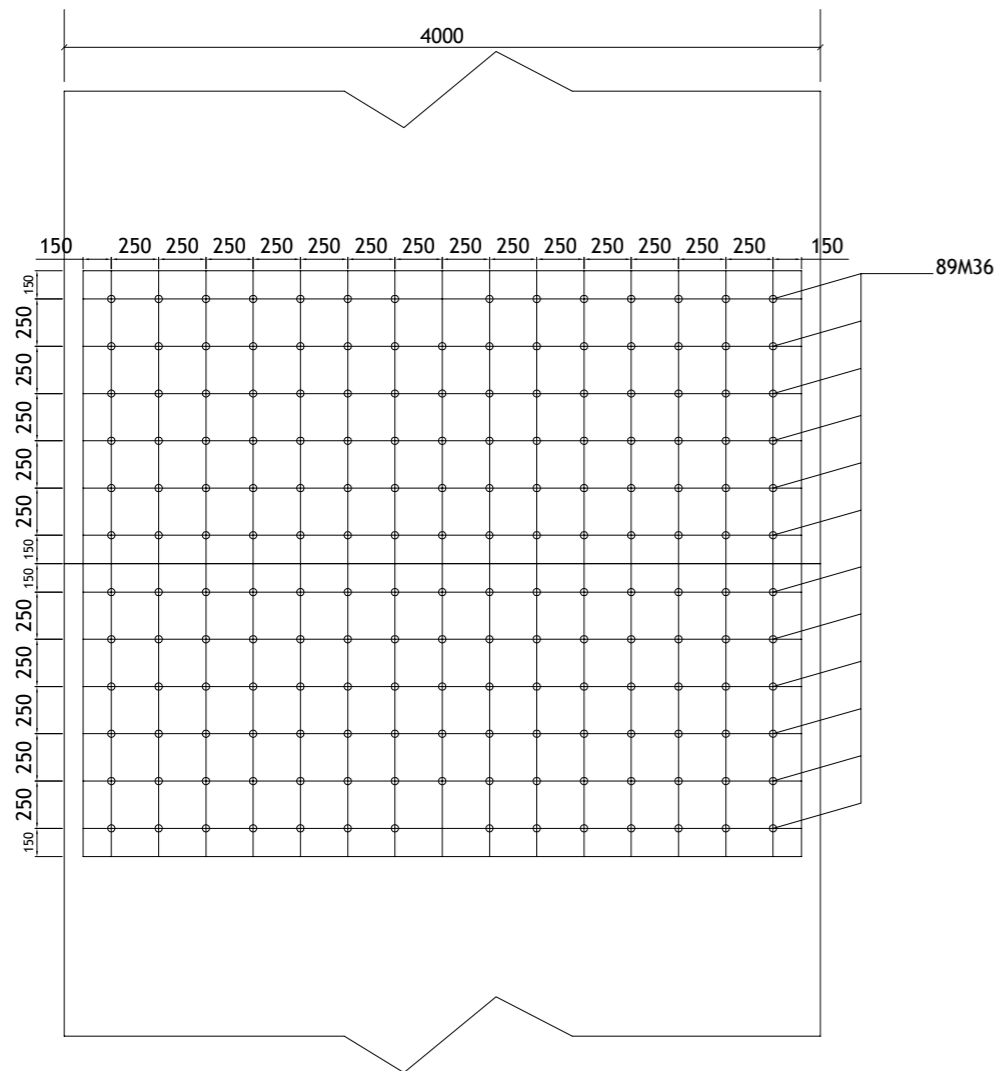
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

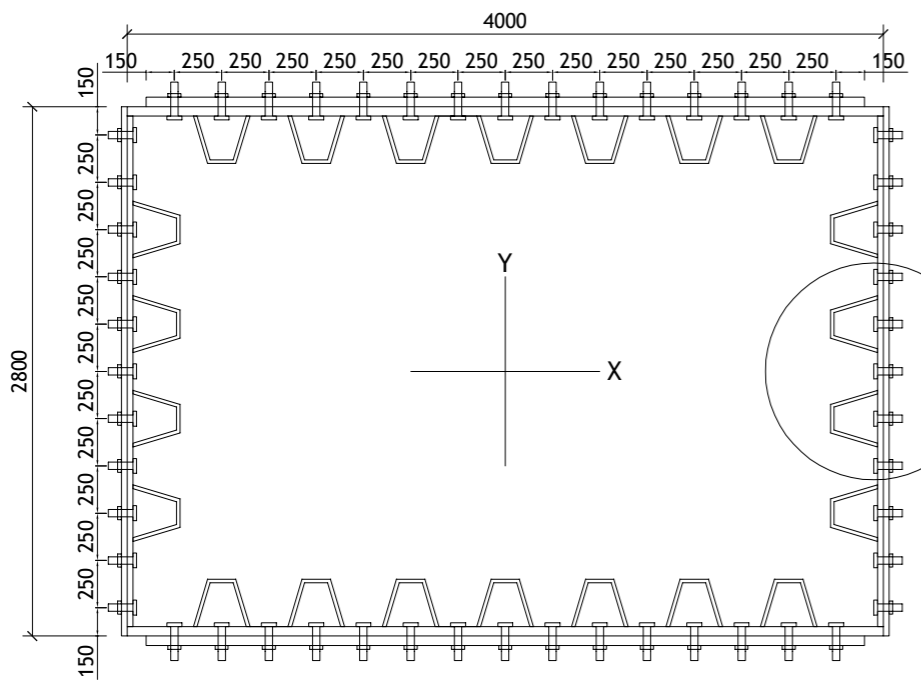
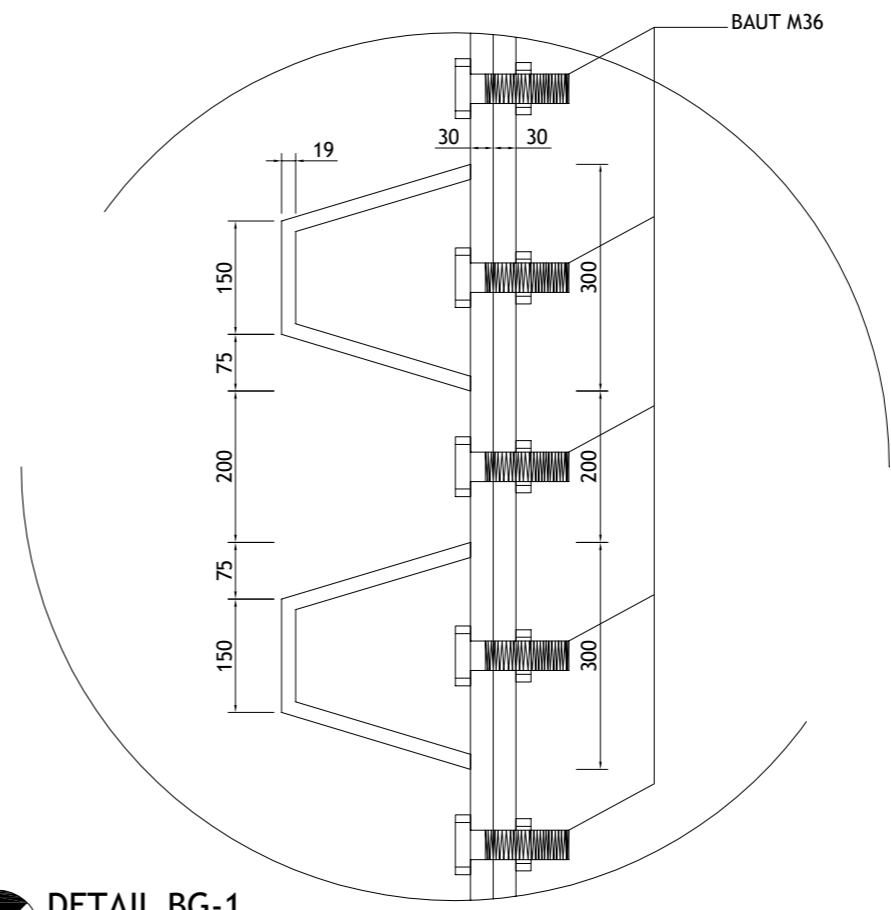
11

20

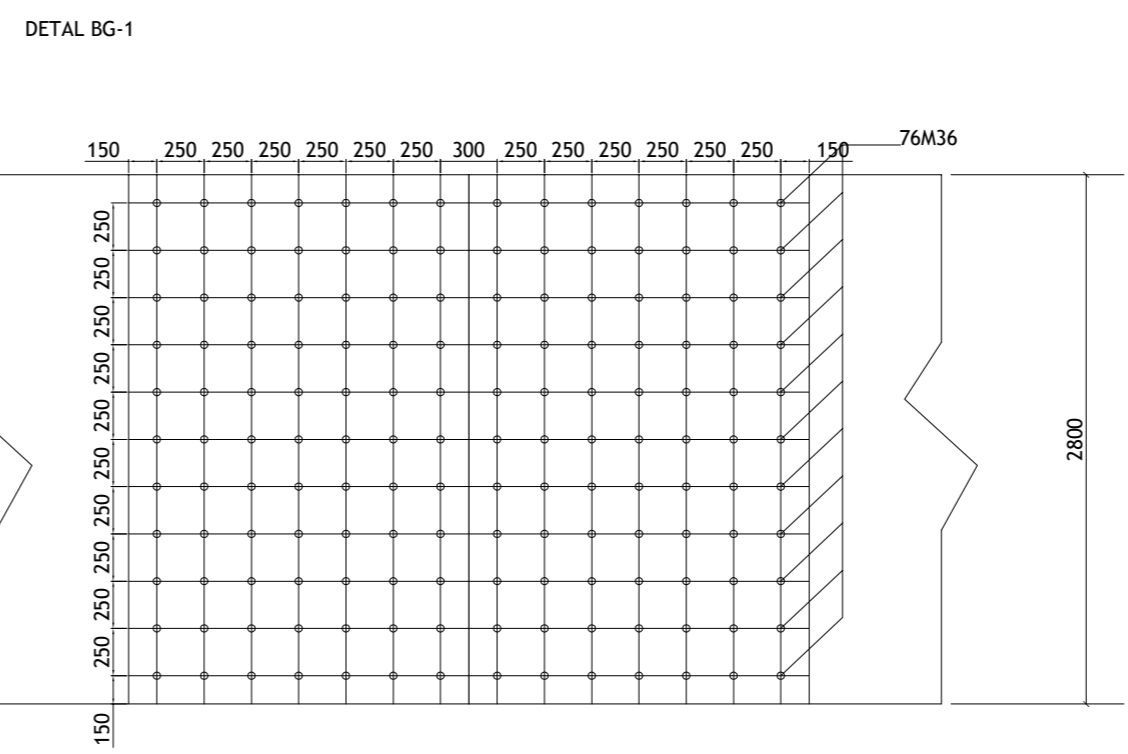


TAMPAK ATAS SAMBUNGAN SEGMENTAL BOX GIRDER
SKALA 1:40

DETAIL BG-1
SKALA 1:10



POTONGAN MELINTANG MAIN BOX GIRDER
SKALA 1:40



TAMPAK SAMPINGSAMBUNGAN SEGMENTAL BOX GIRDER
SKALA 1:40

JUDUL GAMBAR

CROSS SECTION OF SIDE BOX GIRDER

SKALA

1:10

SPESIFIKASI

PRODUK BLUESCOPE STEEL
Fy = 250 MPa
Fu = 410 MPa

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

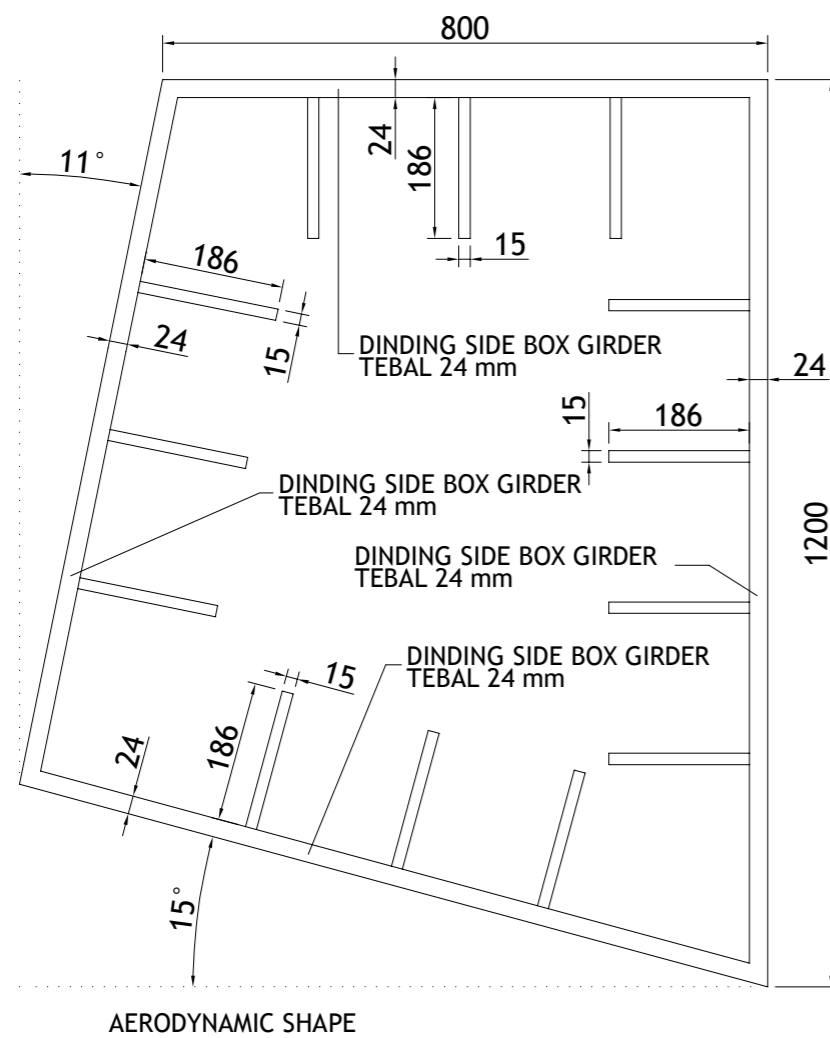
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

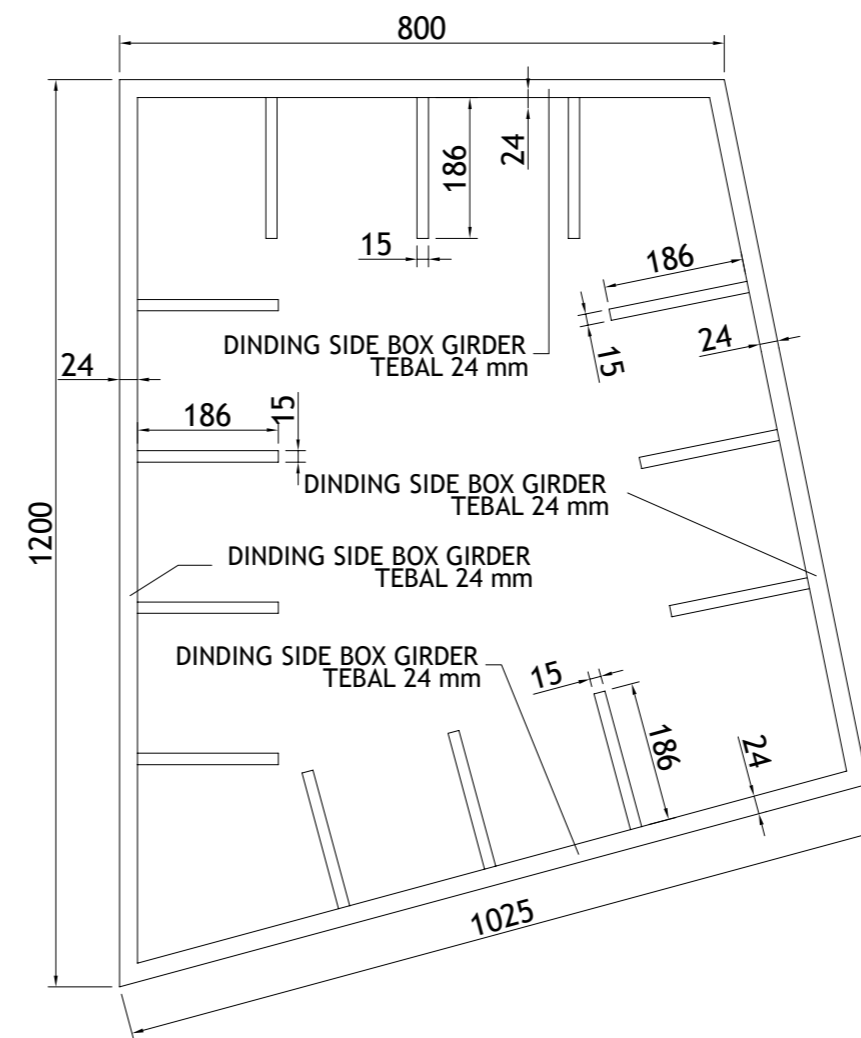
12

21



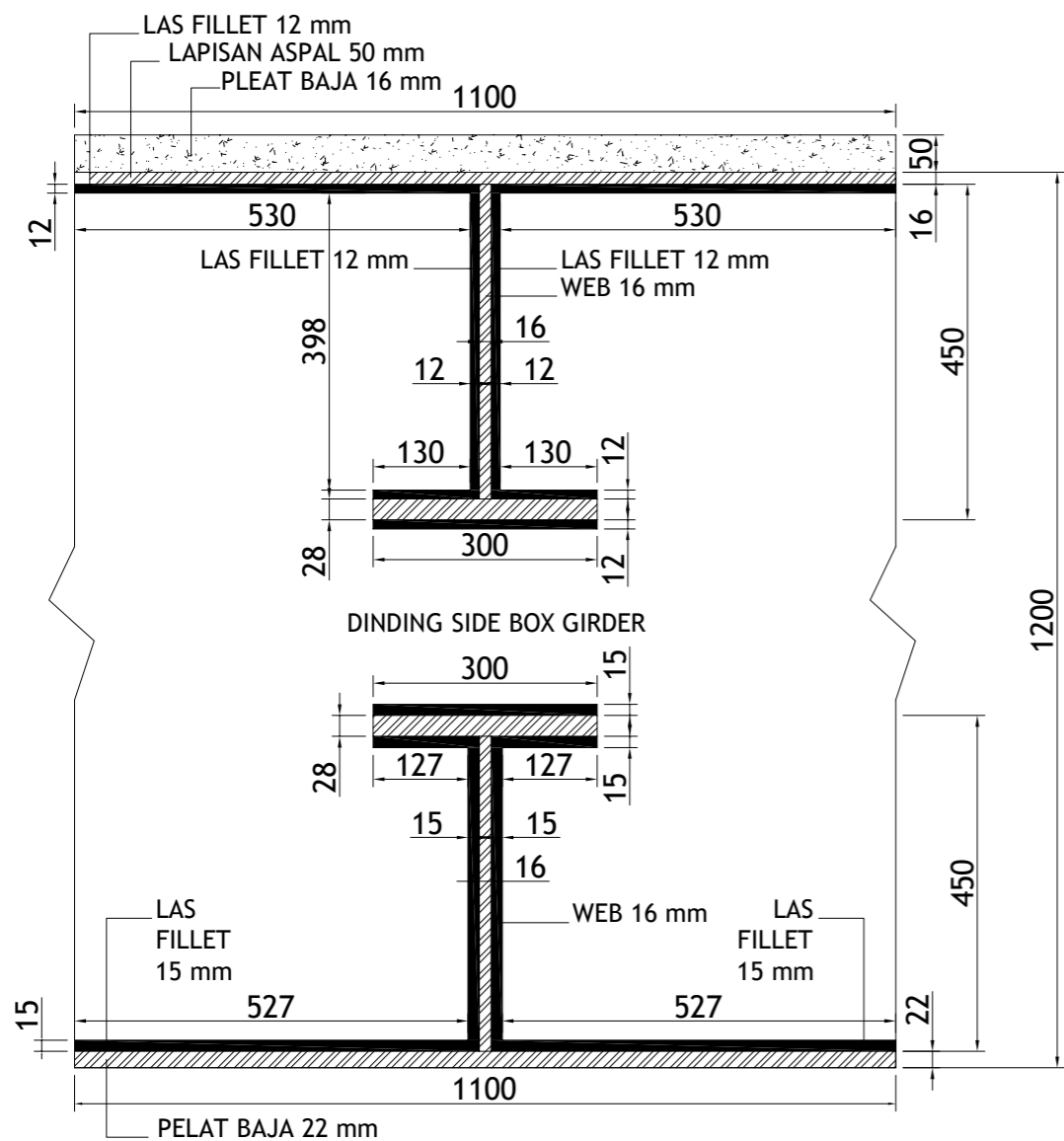
POTONGAN MELINTANG SIDE BOX GIRDER (KIRI)

SKALA 1:10

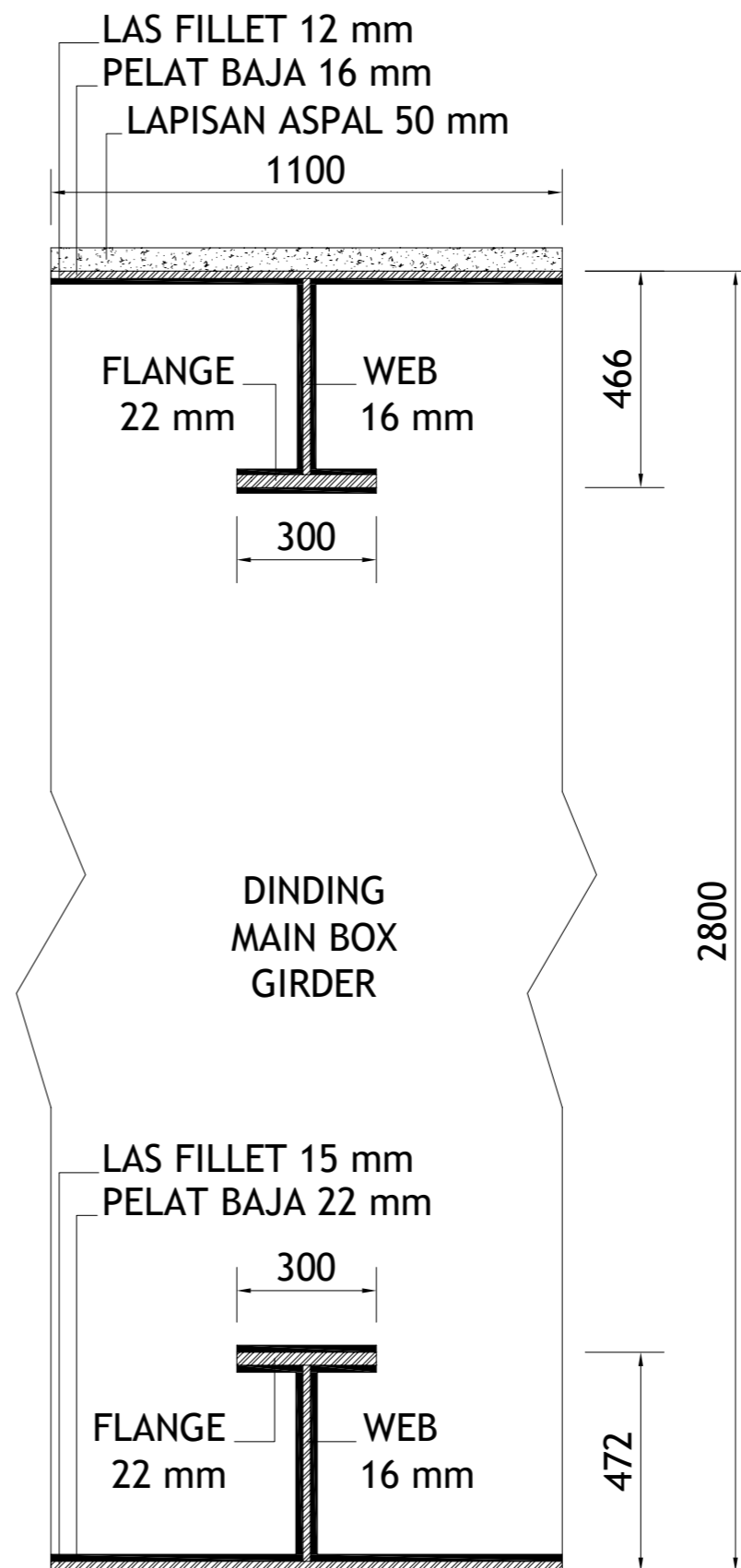


POTONGAN MELINTANG SIDE BOX GIRDER (KIRI)

SKALA 1:10



SAMBUNGAN FLOOR BEAM PADA SIDE BOX GIRDER
SKALA 1:10



SAMBUNGAN FLOOR BEAM PADA MAIN BOX GIRDER
SKALA 1:15

JUDUL GAMBAR

FLOOR BEAM PADA BOX GIRDER

SKALA

1:15

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

13

20

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENAMPANG EFEKTIF
TOP FLOOR BEAM

SKALA

1:5

PROYEK

FLOOR BEAM - CONTINENTAL STEEL
T.450.300.16.28
Fy = 450 MPa, Fu = 520 MPa
MUTU LAS E8XTX-X-XM
FEXX = 550 MPa

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

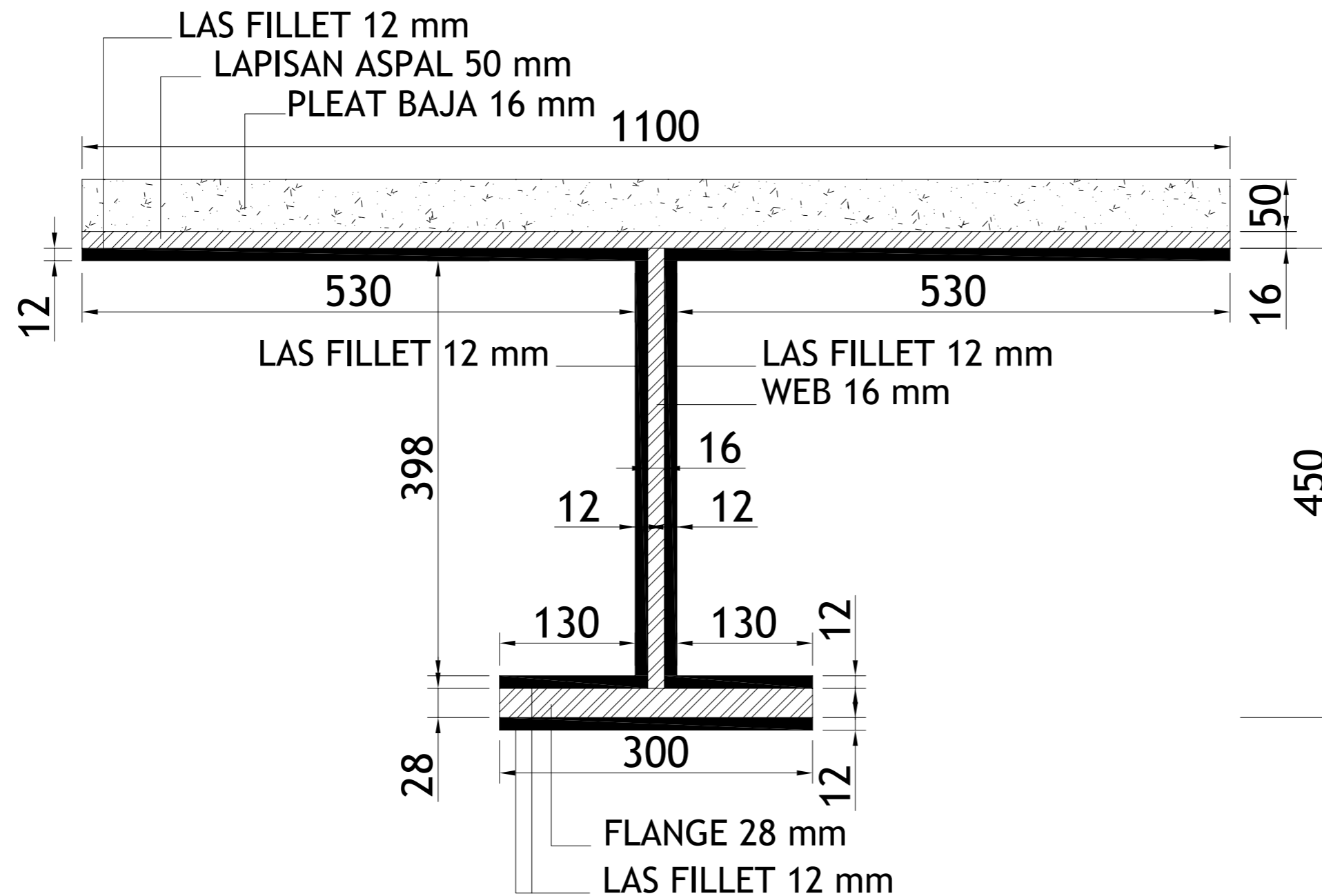
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

14

21



 **DETAIL PENAMPANG EFEKTIF TOP FLOOR BEAM**
SKALA 1:5

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENAMPANG EFEKTIF
BOTTOM FLOOR BEAM

SKALA

1:5

PROYEK

FLOOR BEAM - CONTINENTAL STEEL
T.450.300.16.28
Fy = 340 MPa, Fu = 450 MPa
MUTU LAS E9XTX-X-XM
FEXX = 620 MPa

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

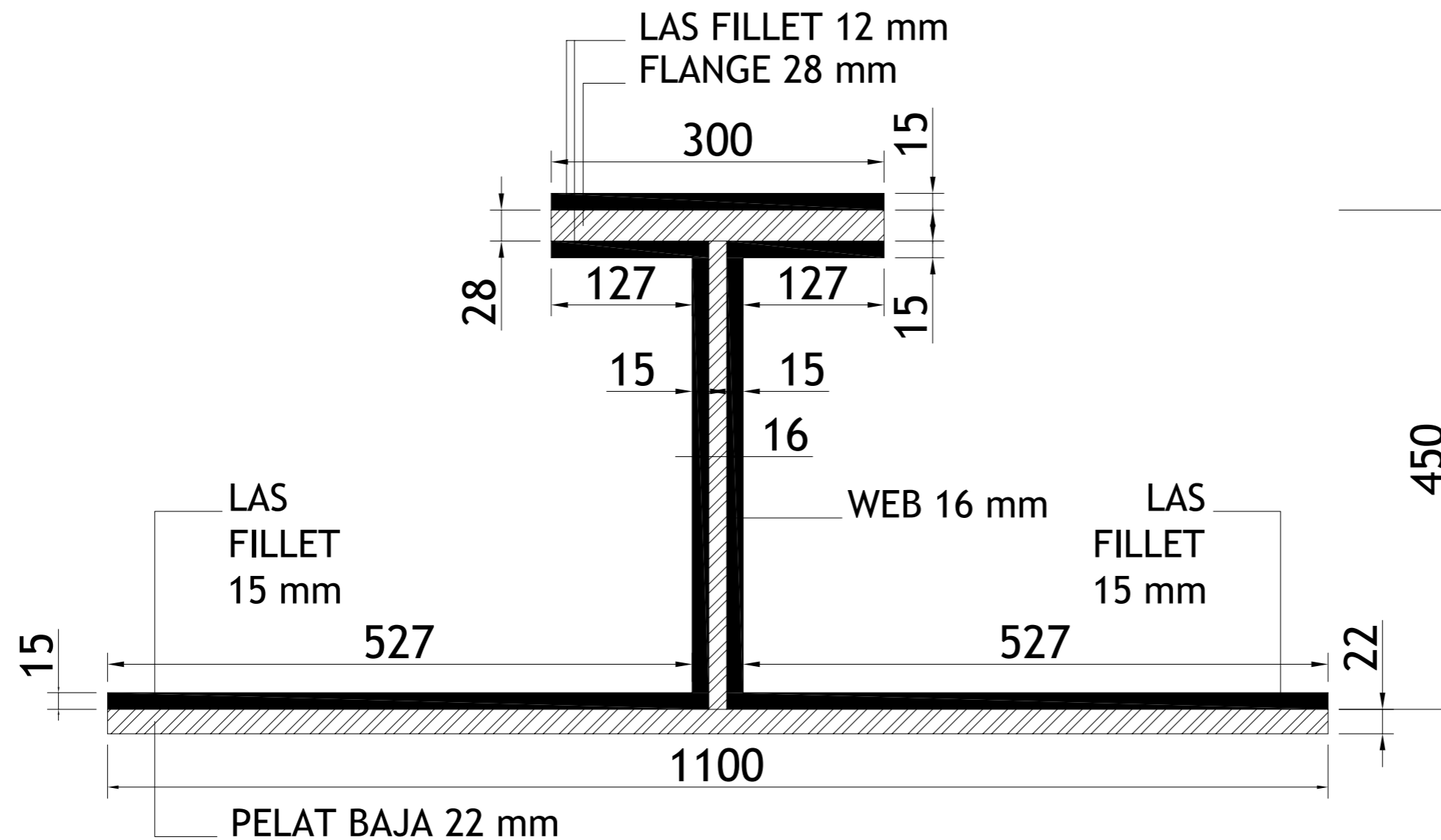
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

15

20



 **DETAIL PENAMPANG EFEKTIF BOTTOM FLOOR BEAM**
SKALA 1:5

JUDUL GAMBAR

DETAIL ORTHOTROPIC PLATE (RIB)
TOP RIB DAN BOTTOM RIB

SKALA

1:5

SPEKIFIKASI

BLUESCOPE STEEL PLATE
TOP ORTH - [$F_y = 450$ MPa $F_u = 520$ MPa]
BOT ORTH - [$F_y = 340$ MPa $F_u = 450$ MPa]

LAS MUTU E9XTX-X-XM
FEXX = 620 MPa

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

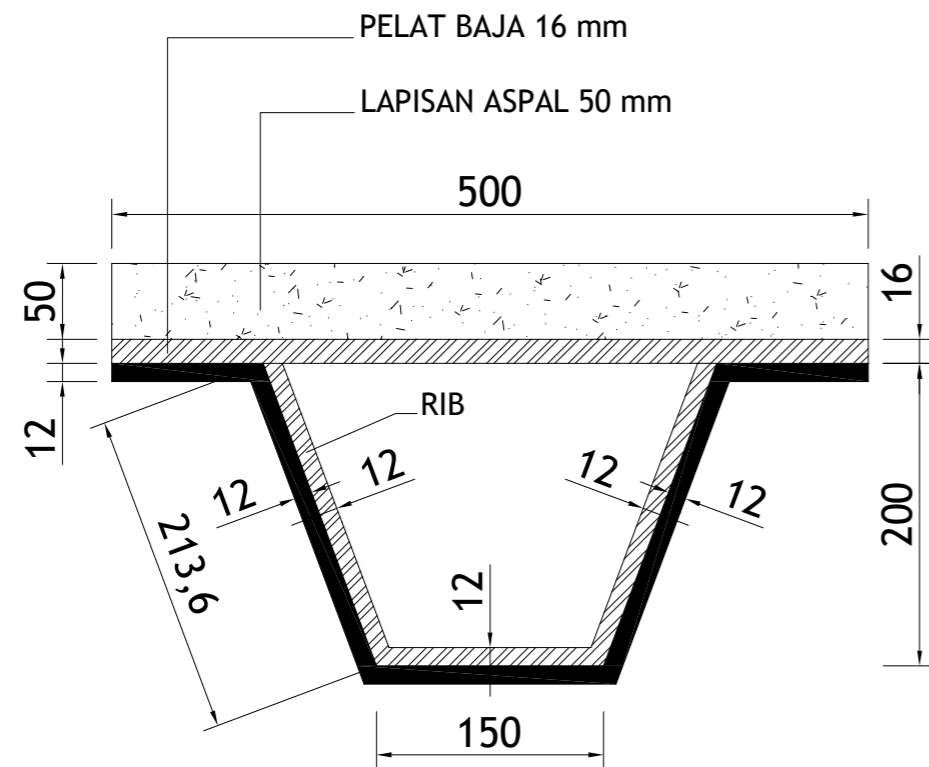
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

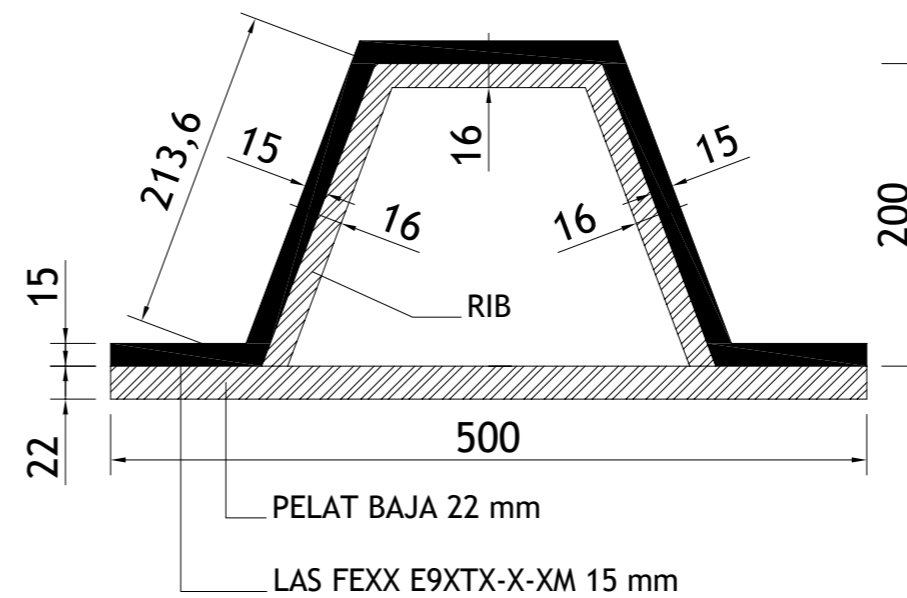
JUMLAH

16

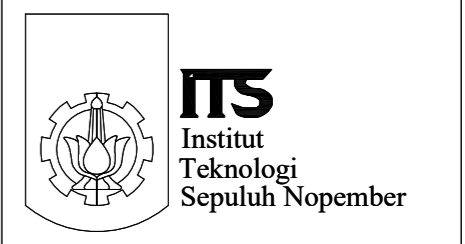
21



DETAIL PENAMPANG EFEKTIF TOP RIB
SKALA 1:5



DETAIL PENAMPANG EFEKTIF BOTTOM RIB
SKALA 1:5



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA 2017

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN RANGKA 1

SKALA

1:10

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
 (3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
 Ir. SUNGKONO, CES.

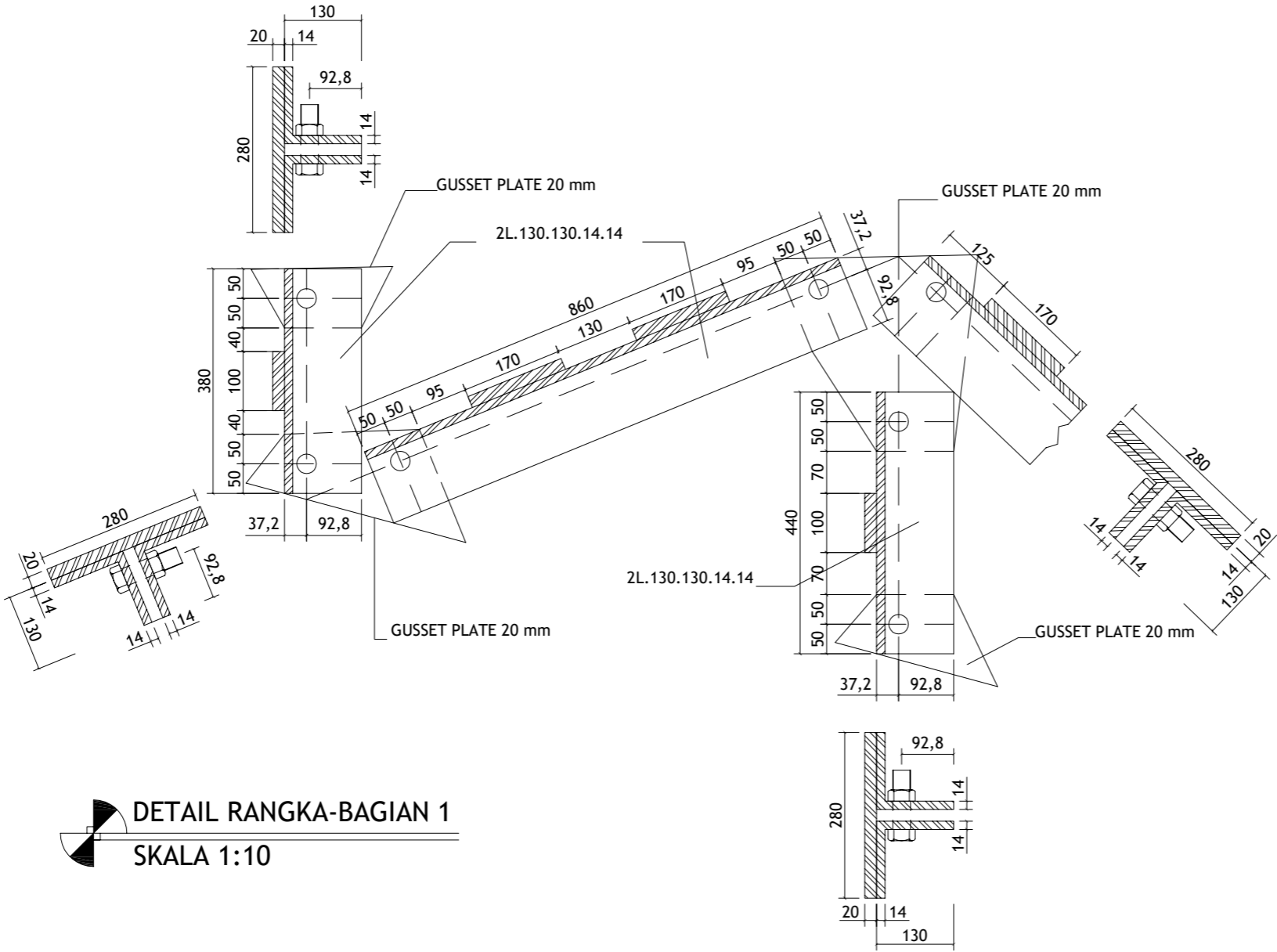
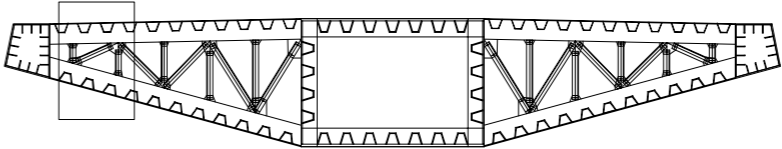
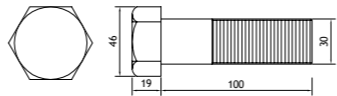
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

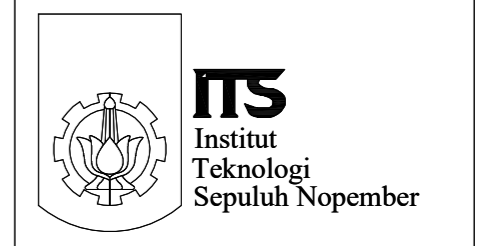
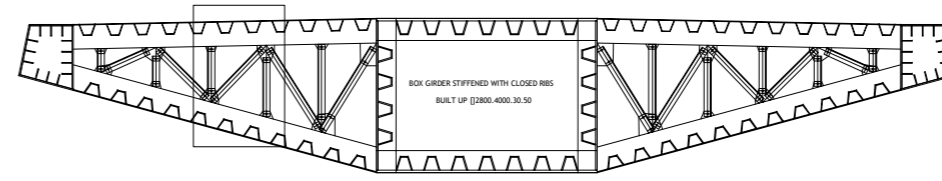
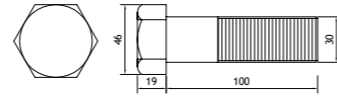
JUMLAH

17

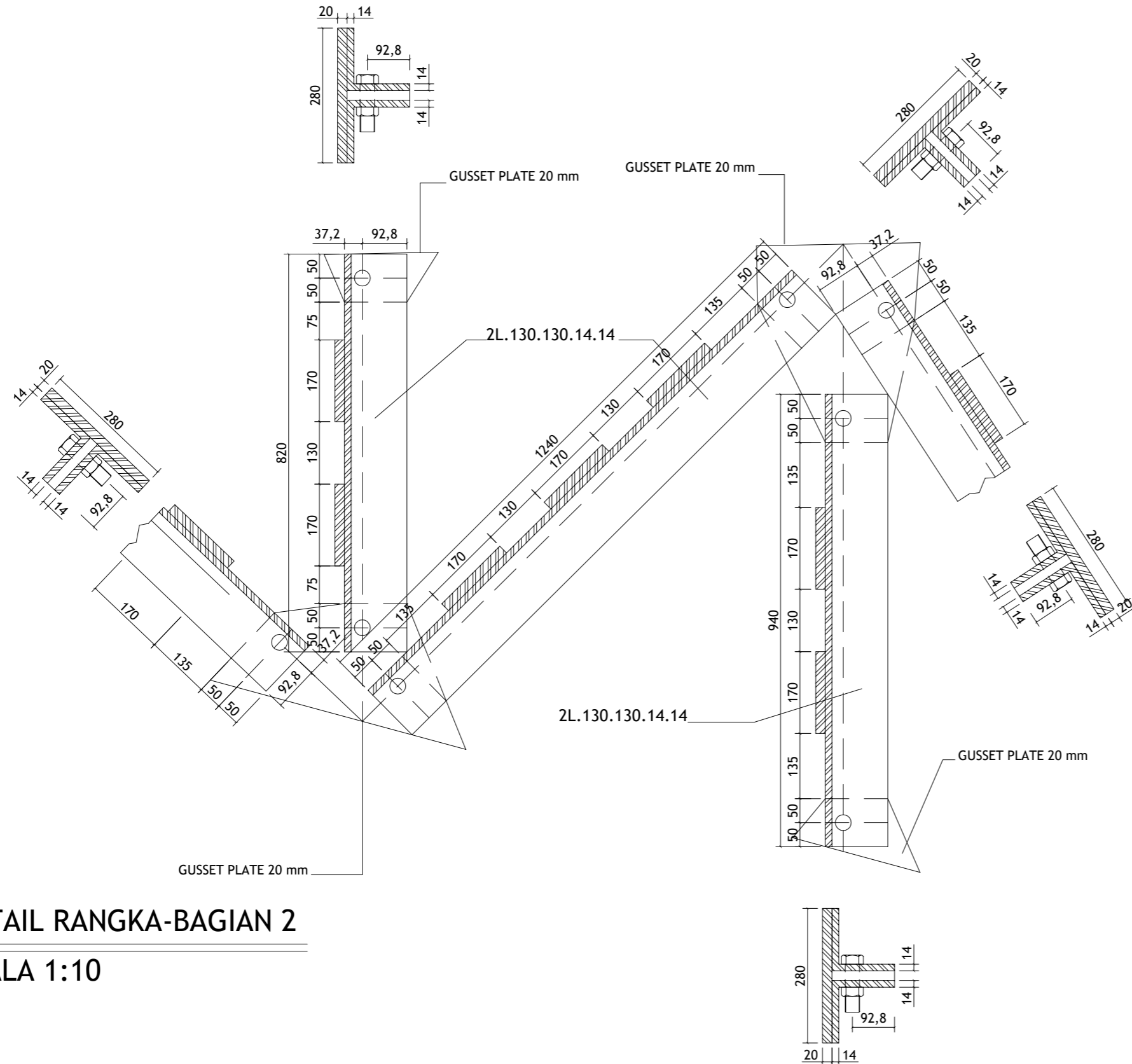
21



DETAIL RANGKA-BAGIAN 1
 SKALA 1:10



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA 2017



DETAIL RANGKA-BAGIAN 2
 SKALA 1:10

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN RANGKA 2

SKALA

1:10

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
 (3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
 Ir. SUNGKONO, CES.

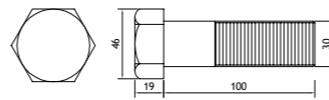
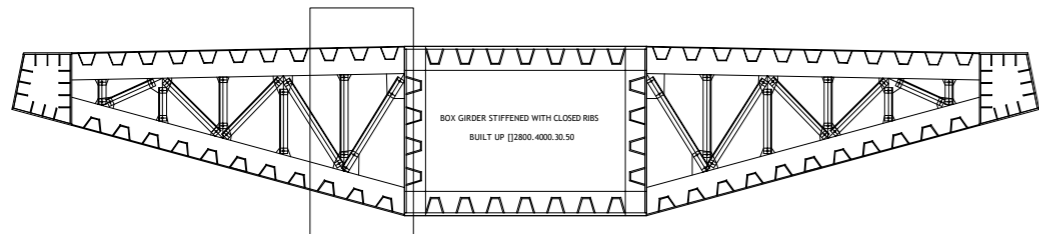
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

18

21



JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN RANGKA 3

SKALA

1:10

PROYEK

TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

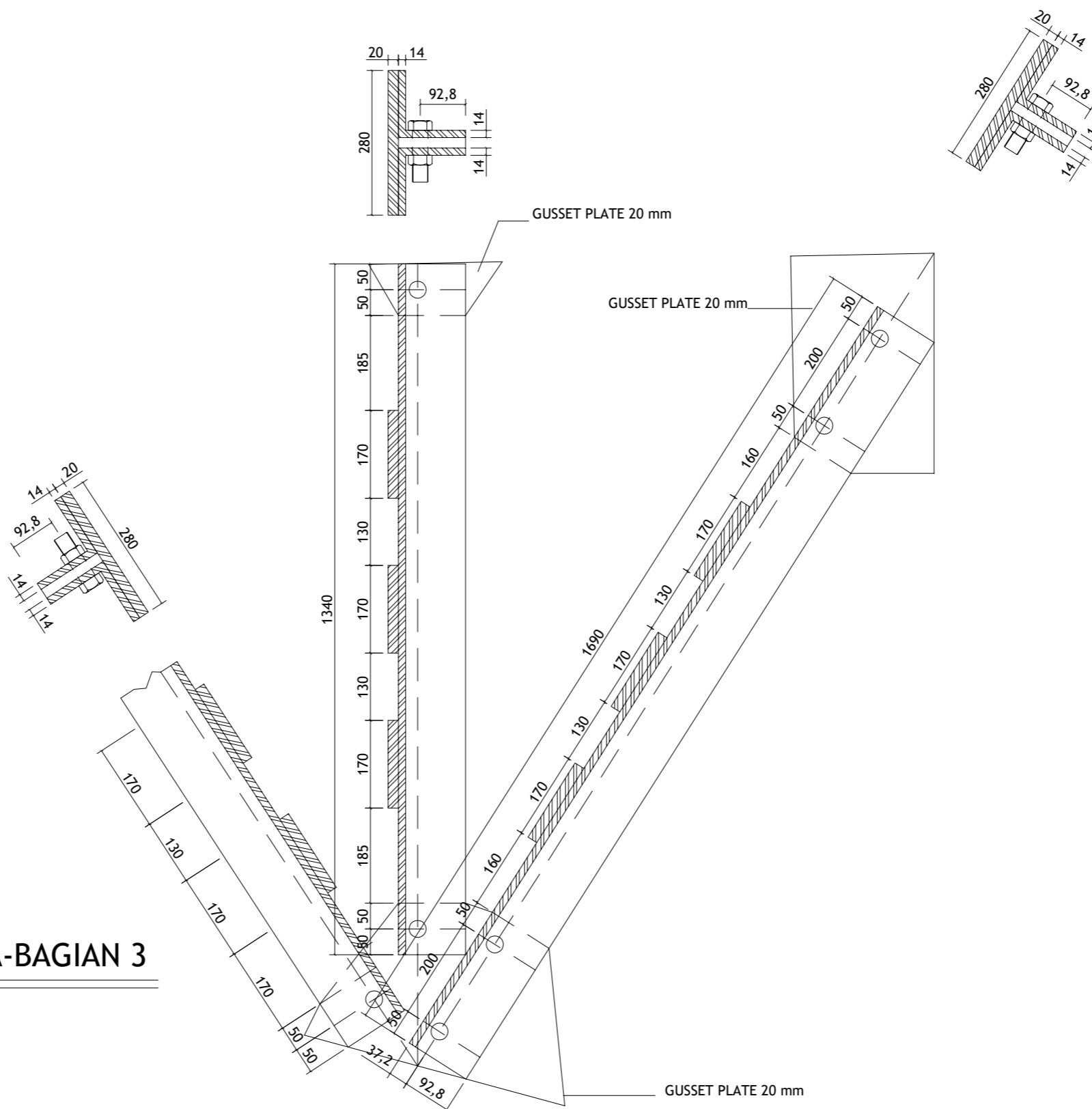
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

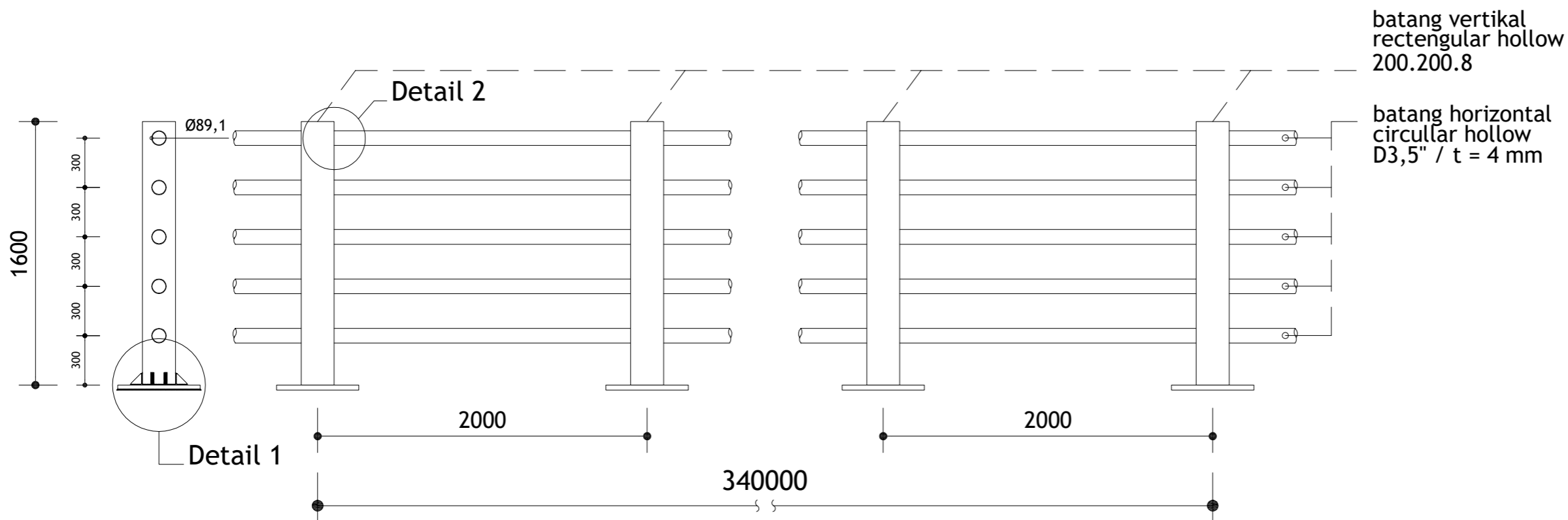
19

21

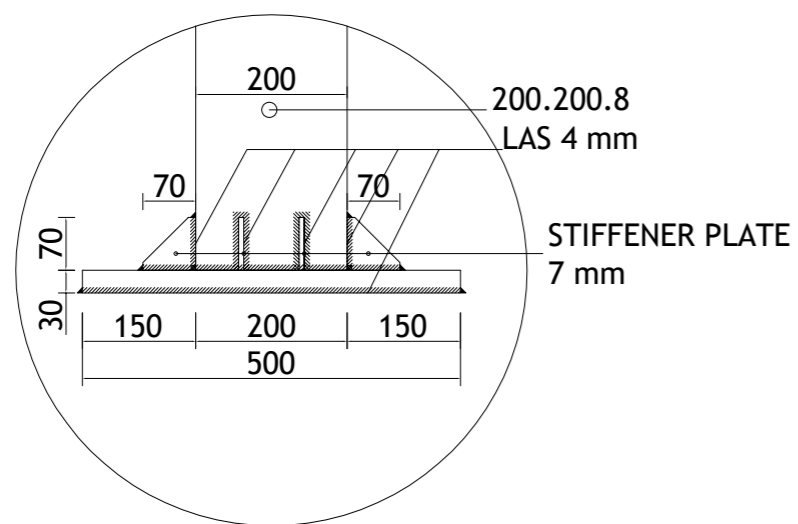


DETAIL RANGKA-BAGIAN 3

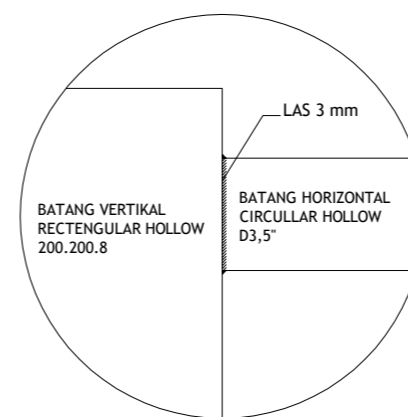
SKALA 1:10



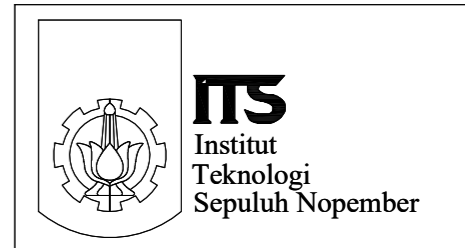
LONG AND CROSS SECTION
SCALE 1 : 30



DETAIL 1
SCALE 1 : 10



DETAIL 1
SCALE 1 : 10



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL GAMBAR

DESAIN PARAPET

SKALA

1:30

PROYEK

TUGAS AKHIR
(STRUKTUR SEKUNDER)

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

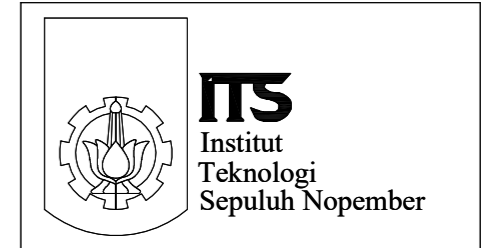
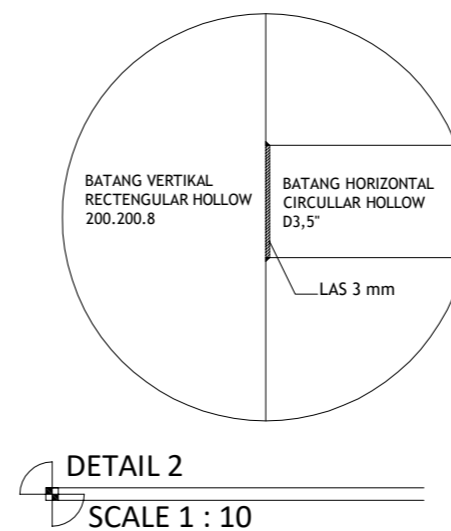
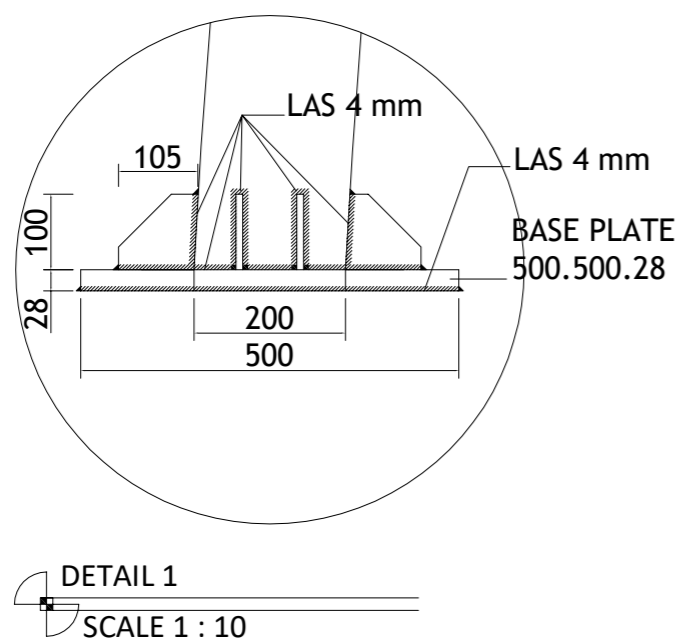
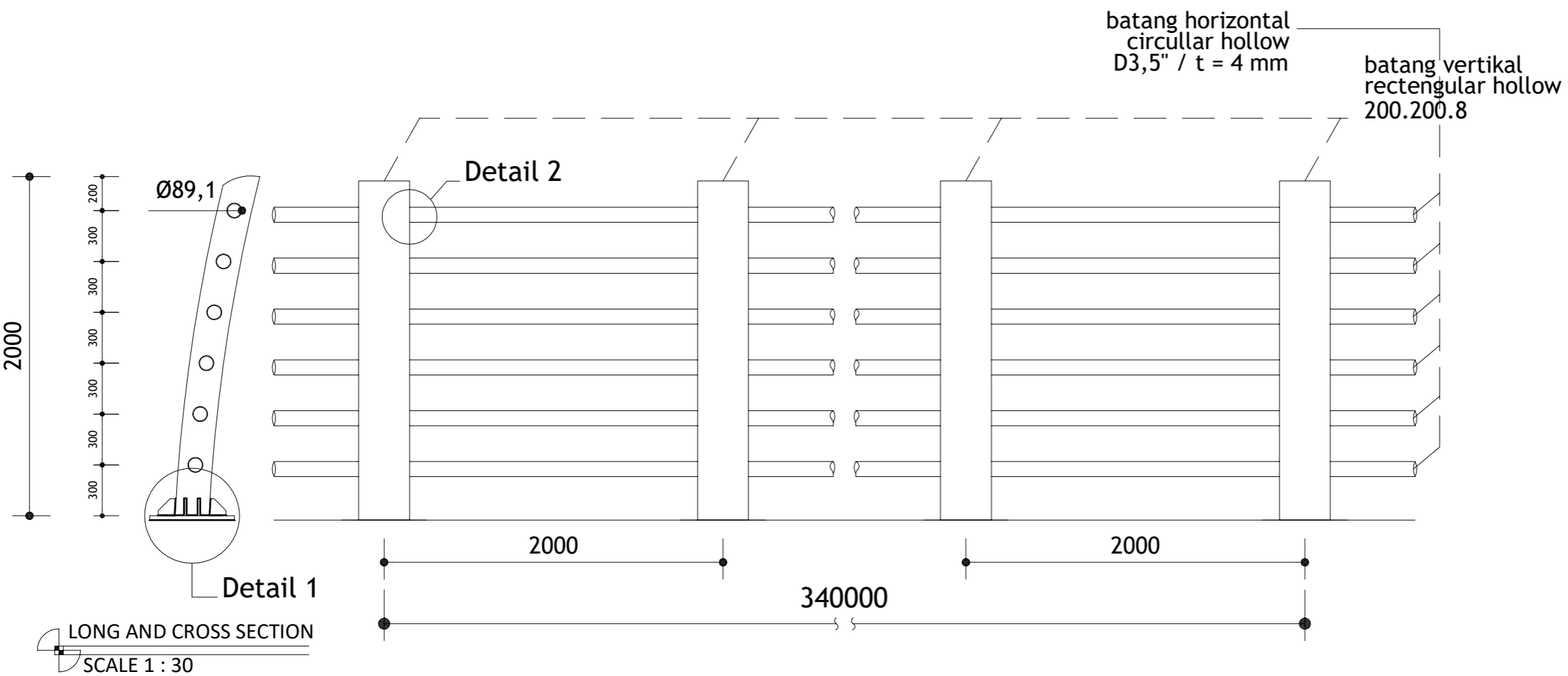
KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

20

21



DIPLOMA IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

JUDUL GAMBAR

DESAIN RAILING

SKALA

VARIES

PROYEK

TUGAS AKHIR
(STRUKTUR SEKUNDER)

NAMA MAHASISWA

RIZAL PURNAWAN
(3113 041 061)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D
Ir. SUNGKONO, CES.

KETERANGAN

NOMOR GAMBAR

JUMLAH

21

21