



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS
JEMBATAN SURAMADU MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN *SIDE
SPAN SUSPENDED***

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI

NRP. 03111540000107

Dosen Pembimbing

1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
2. Bambang Piscesa, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS
JEMBATAN SURAMADU MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN *SIDE
SPAN SUSPENDED***

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI

NRP. 03111540000107

Dosen Pembimbing :

1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
2. Bambang Piscesa, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT (RC18-4803)

**UPPER STRUCTURE DESIGN MODIFICATION OF
SURAMADU BRIDGE WITH SUSPENSION BRIDGE
CONSTRUCTION WITH SIDE SPAN SUSPENDED**

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI

NRP. 03111540000107

Academic Supervisor :

1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
2. Bambang Pisceca, ST., MT., PhD

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

**MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS
JEMBRAN SURAMADU MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI JEMBRAN GANTUNG DENGAN *SIDE
SPAN SUSPENDED***

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

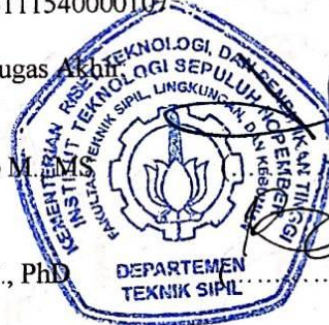
DYAH SUKMA PUTRI ANDINI

NRP. 03111540000107

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M.

2. Bambang Piscesa, ST., MT., PhD



**SURABAYA
JULI, 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS
JEMBATAN SURAMADU MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN *SIDE
SPAN SUSPENDED***

Nama : Dyah Sukma Putri Andini
NRP : 03111540000107
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK – ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., Ms
2. Bambang Pisceca, ST., MT., PhD.

Abstrak

Jembatan Suramadu merupakan jembatan yang melintas di selat madura yang menghubungkan Kota Surabaya dan Pulau Madura. Jembatan ini menjadi jalur alternatif untuk meningkatkan laju perekonomian, pembangunan infrastruktur serta kegiatan pariwisata untuk Pulau Madura. Kondisi eksisting jembatan merupakan konstruksi jembatan cable stayed dengan bentang utama sepanjang 818 meter serta lebar jalan 30 meter.

Dalam perencanaan ini Jembatan Suramadu didesain menggunakan konstruksi jembatan gantung dengan tipe side span suspended. Jembatan ini direncanakan dengan bentang utama 1200 meter yang terdiri dari bentang tengah 800 meter dan bentang samping 200 m di setiap sisinya, serta lebar lantai kendaraan 30 meter. Material yang menyusun lantai kendaraan berupa material baja dengan tipe orthotropic steel box girder. Struktur pylon dari beton bertulang yang terletak pada kedua sisi bentang tengah jembatan.

Dari hasil perencanaan diperoleh dimensi struktur sekunder yang terdiri atas railing dengan profil rectangular hollow 200.200.8 dan circular hollow D3,5". Sedangkan untuk struktur utama, pada lantai kendaraan direncanakan menggunakan orthotropic plate tebal 16 mm, closed ribs bentuk trapezoidal dimensi 300.250.150.8, floor beam profil T dimensi

700.300.15.28, pelat dinding box girder samping tebal 24 mm dan rangka batang dimensi 2L 150.150.15.15. Sambungan yang digunakan adalah las fillet dan baut M24 dan M30. Struktur kabel tersusun atas 7-wire strand dengan diameter kabel utama 550 mm tersusun dari 7 kabel strand 187 dan kabel penggantung 140 mm tersusun dari strand 109. Pada kolom pylon didesain dengan dimensi 5000 x 7000 mm dan balok kolom dimensi 5000 x 5000 mm dengan rongga didalamnya.

Dalam desain struktur jembatan gantung ini digunakan program bantu MIDAS Civil 2011 v2.1 pada analisa struktur utama sekaligus tahapan metode pelaksanaan dan SAP2000 untuk menganalisa struktur sekunder. Hasil analisa juga digunakan untuk analisa stabilitas aerodinamis yang meliputi kontrol frekuensi alami, efek flutter dan vortex shedding. Desain dilakukan dengan mengacu SNI 1725 2016, Peraturan PU No. 08/SE/M/2015, RSNI 2833 2016, SNI 2847 2013.

Kata kunci: Jembatan gantung, side span suspended, kabel, orthotropic deck

UPPER STRUCTURE DESIGN MODIFICATION OF SURAMADU BRIDGE WITH SUSPENSION BRIDGE CONSTRUCTION WITH SIDE SPAN SUSPENDED

Name : Dyah Sukma Putri Andini
NRP : 03111540000107
Department : Civil Engineering FTSLK – ITS
Academic Supervisor : 1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., Ms
2. Bambang Pisceca, ST., MT., PhD.

Abstract

Suramadu Bridge is a bridge that crosses the Madura Strait that connects the city of Surabaya and Madura Island. This bridge is an alternative route to increase the economic pace, infrastructure development and tourism activities for Madura Island. The existing condition of the bridge is the construction of cable stayed bridge with a main span of 818 meters and a road width of 30 meters.

In this modification, Suramadu bridge is designed using suspension bridge construction with side span suspended type. The bridge has total span of 1200 m consisting of mid span 800-metre and side span 200 m on each side, as well as a 30-metre total width. The deck is created from steel material with orthotropic steel box girder type. Pylon structure is created from reinforced concrete located both sides of the center of the bridge.

The results of design obtained a secondary structure dimension consisting of railing with a rectangular hollow profile 200.200.8 and circular hollow D3,5 ". As for the main structure, the deck is planned to use an orthotropic plate the thickness 16 mm, closed ribs with shape trapezoidal have dimension 300.250.150.8, floor beam with profile T 700.300.15.28, side box girder plate thickness 24 mm and 2L 150.150.15.15-dimensional rod frame. The connections used are welding fillet and bolts M24 and M30.

The cable structure is composed of 7-wire strand with a diameter of 550 mm main cable composed of 7 strand 187 cables and a 140 mm hanger composed of Strand 109. In the Pylon column was designed with dimensions of 5000 x 7000 mm and a column beam of 5000 x 5000 mm with non massive structure.

In the design of the structure of the suspension bridge used the program of MIDAS Civil 2011 v 2.1 for the analysis of the main structure and the stages of implementation methods and SAP2000 to analyze secondary structures. The results of the analysis are also used for aerodynamic stability analysis which includes natural frequency control, flutter and vortex shedding effects. Design is done by referring SNI 1725 2016, regulation PU No. 08/SE/M/2015, RSNI 2833 2016, SNI 2847 2013.

Keyword: Suspension Bridge, side span suspended, cable, orthotropic deck

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan petunjuk dan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas akhir ini berjudul “Modifikasi Perencanaan Struktur Bangunan Atas Jembatan Suramadu Menggunakan Konstruksi Jembatan Gantung dengan *Side Span Suspended*”. Secara garis besar proposal ini membahas mengenai modifikasi ulang jembatan Suramadu menggunakan jembatan tipe gantung. Pada akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., Ms, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Bambang Pisceca, ST., MT., PhD. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Wahyu Herijanto, MT. selaku dosen wali.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staff pengajar Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS.
5. Orang tua penulis ayah Wahono Yudo dan ibu Suci Atminaningsih dan adik Hanis Prabu Dewangga yang selalu memberikan dukungan moral maupun material serta doa yang tiada putusnya.
6. Rekan-rekan mahasiswa Kopassus S58 umumnya dan 39A/GL 99-101 khususnya yang telah membantu penyusunan tugas akhir dan telah membantu selama masa perkuliahan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 22 Juli 2019

(Penulis)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jembatan Gantung (<i>Suspension Bridge</i>).....	5
2.1.1 Bentuk Struktur	5
2.1.2 Pengaku Jembatan Gantung	6
2.2 Jenis Kabel	7
2.3 Angkur Kabel	9
2.3.1 Sistem Pengankuran	9
2.3.2 Posisi dan Detail Pengankuran	10
2.4 Deck Kendaraan	12
2.4.1 Orthotropic Steel Deck.....	13
2.5 Menara (<i>Tower</i>).....	15
2.6 Metode Pelaksanaan	16
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Diagram Alir	17
3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur	18
3.2.1 Data Jembatan Suramadu	18
3.2.2 Gambar Jembatan Suramadu <i>Eksisting</i>	18
3.2.3 Data Modifikasi Jembatan Suramadu.....	18

3.2.4 Studi Literatur.....	19
3.3 Preliminary Design.....	20
3.3.1 Ukuran Pokok Jembatan Suramadu.....	20
3.3.2 Konfigurasi Kabel.....	21
3.3.3 Dimensi Kabel.....	22
3.3.4 Dimensi Lantai Kendaraan.....	23
3.3.5 Dimensi <i>Pylon</i>	24
3.4 Desain Struktur Sekunder.....	25
3.4.1 Perencanaan Railing Jembatan.....	25
3.5 Analisa Struktural Utama.....	26
3.5.1 Pembebanan Statis.....	26
3.5.2 Pembebanan Dinamis.....	32
3.6 Perhitungan Kapasitas Struktur.....	33
3.6.1 Perhitungan Struktur Baja.....	33
3.6.2 Perhitungan Struktur Beton.....	36
3.7 Analisa Perilaku Dinamis.....	41
3.7.1 Frekuensi Alami.....	41
3.7.2 Efek <i>Vortex-Shedding</i>	41
3.7.3 Angka Reynold.....	42
3.7.4 Efek <i>Flutter</i>	43
3.8 Kontrol Stabilitas.....	44
3.9 Staging Analysis.....	44
3.10 Penyusunan Gambar Kerja.....	45
BAB IV PEMBAHASAN.....	47
4.1 Preliminary Design.....	47
4.1.1 Preliminary Design Geometrik Jembatan.....	47
4.1.2 Preliminary Design Elemen Struktur.....	51
4.2 Desain Struktur Sekunder.....	57
4.2.1 Railing.....	58
4.3 Permodelan dan Analisa Struktur.....	70
4.3.1 Permodelan Struktur.....	70
4.3.2 Analisa Beban Statis.....	72
4.3.3 Analisa Beban Dinamis.....	80

4.3.4 Kontrol Lendutan	87
4.4 Permodelan <i>Deck</i> Jembatan.....	90
4.5 Orthotropic Plate	92
4.5.1 Data Perencanaan	92
4.5.2 Hasil Analisa Struktur	93
4.5.3 Kontrol Kemampuan Penampang.....	94
4.5.4 Sambungan <i>Orthotropic Plate</i> pada <i>Floor Beam</i>	100
4.5.5 Sambungan antar Segmen	108
4.6 Floor Beam.....	114
4.6.1 Data Perencanaan	114
4.6.2 Hasil Analisa Struktur	115
4.6.3 Kontrol Kemampuan Penampang.....	116
4.6.4 Sambungan <i>Floor Beam</i>	124
4.7 Box Girder Samping.....	130
4.7.1 Data Perencanaan	130
4.7.2 Hasil Analisa Struktur	131
4.7.3 Kontrol Pengaku.....	132
4.7.4 Kontrol Kemampuan Penampang.....	133
4.7.5 Sambungan Box Girder	137
4.8 Rangka Batang	140
4.8.1 Data Perencanaan	140
4.8.2 Hasil Analisa Struktur	141
4.8.3 Kontrol Kemampuan Penampang.....	141
4.8.4 Sambungan Rangka Batang.....	143
4.9 Struktur Kabel	147
4.9.1 Kabel Penggantung (<i>Hanger</i>).....	147
4.9.2 Kabel Utama.....	154
4.10 Struktur <i>Pylon</i>	157
4.10.1 Kolom <i>Pylon</i>	158
4.10.2 Balok <i>Pylon</i>	176
4.11 Desain Angkur.....	191
4.11.1 Desain Angkur pada <i>Pylon</i>	191
4.11.2 Desain Blok Angkur.....	194

4.12 Desain Perletakan	201
4.13 Perilaku Aerodinamis	204
4.13.1 Frekuensi Alami	204
4.13.2 Efek Pusaran Angin (<i>Vortex Shedding</i>).....	211
4.13.3 Efek Ayunan (<i>Flutter</i>)	216
4.14 <i>Staging Analysis</i> dan <i>Maintenance</i>	222
4.14.1 <i>Staging Analysis</i>	222
4.14.2 <i>Maintenance</i>	227
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	233
5.1 Kesimpulan.....	233
5.2 Saran	235
DAFTAR PUSTAKA.....	237
LAMPIRAN	239

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Umum Struktur Jembatan Gantung (Supriyadi dan Muntohar, 2007)	5
Gambar 2.2 Bentuk Umum Jembatan Gantung (a) side span free, (b) side span suspended (Supriyadi dan Muntohar, 2007)	6
Gambar 2.3 Tipe Jembatan Gantung dengan Pengaku (Supriyadi dan Muntohar, 2007)	7
Gambar 2.4 Kabel Tipe Spiral Strand (Mustazir, 2002)	8
Gambar 2.5 Kabel Tipe Lock Coil Strand (Mustazir, 2002)	8
Gambar 2.6 Kabel Tipe Parallel Wire Strand (Mustazir, 2002)....	8
Gambar 2.7 Kabel Tipe Structural Rope (Mustazir, 2002)	9
Gambar 2.8 Tipe Angkur (a) Angkur Mati, (b) Angkur Hidup (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	10
Gambar 2.9 Alternatif Pengangkuran pada Menara (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)	11
Gambar 2.10 Lokasi Angkur pada Deck Jembatan (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)	12
Gambar 2.12 Penampang Orthotropic Steel Box Girder (Robert Connor dkk, 2012).....	14
Gambar 2.13 Tipe Rib untuk Orthotropic Deck (Robert Connor dkk, 2012).....	14
Gambar 2.14 Jenis - Jenis Pylon (Troitsky, 1977)	15
Gambar 2.15 Metode Pelaksanaan (Suleyman Adanur, 2012)....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Pengerjaan.....	17
Gambar 3.2 Tampak Samping Jembatan Eksisting	18
Gambar 3.3 Denah dan Tampak Samping Jembatan Modifikasi 21	
Gambar 3.4 Kabel sebagai Poligon Funicular (Supriyadi dan Muntohar, 2007).....	21
Gambar 3.5 Beban Lajur "D"	29
Gambar 3.6 Pembebanan Truk "T" 500 kN	29
Gambar 3.7 Faktor Panjang Efektif (k)	37
Gambar 3.8 Efek Ayunan dengan Beda Fase $\pi/2$ (Walther, 1999)	43
Gambar 3.9 Backward Construction Stage Analysis (Sumber: Midasoft.com)	45

Gambar 4.1 Long Section Jembatan Eksisting	48
Gambar 4.2 Long Section dan Denah Jembatan Gantung	50
Gambar 4.3 Dimensi Awal Ribs (dalam mm)	52
Gambar 4.4 Dimensi Ban Truk.....	52
Gambar 4.5 Cross Section Dek Jembatan dengan Sistem Orthotropic Box Girder	54
Gambar 4.6 Long Section Rencana Railing	58
Gambar 4.7 Cross Section Rencana Railing.....	58
Gambar 4.8 Skema Pembebanan pada Railing.....	59
Gambar 4.9 Konfigurasi Beban Railing	62
Gambar 4.10 Output Gaya Aksial dan Momen	62
Gambar 4.11 Tampak Perspektif Struktur Jembatan	70
Gambar 4.12 Tampak Memanjang Struktur Jembatan	70
Gambar 4.13 Tampak Melintang Struktur Jembatan.....	71
Gambar 4.14 Tampak Atas Struktur Jembatan.....	71
Gambar 4.15 Tampak Perspektif Deck Jembatan.....	71
Gambar 4.16 Ilustrasi Beban Rem.....	74
Gambar 4.17 Ilustrasi Beban Angin pada Kendaraan	77
Gambar 4.18 Konfigurasi Beban Hidup	78
Gambar 4.19 Grafik Respon Spectrum.....	82
Gambar 4.20 Grafik Respon Spectrum pada Midas	83
Gambar 4.21 Deformasi Vertikal Akibat Beban Hidup	88
Gambar 4.22 Deformasi Longitudinal Akibat Kombinasi Beban Gempa	89
Gambar 4.23 Komponen Struktur Deck Jembatan	90
Gambar 4.24 Permodelan Deck pada SAP2000.....	90
Gambar 4.25 Permodelan Closed Ribs.....	91
Gambar 4.26 Permodelan Floor Beam	91
Gambar 4.27 Permodelan Box Samping	91
Gambar 4.28 Detail Orthotropic Plate	92
Gambar 4.29 Penampang Las	102
Gambar 4.30 Serat Atas (Terarsir), Serat Bawah (Tanpa Arsir).....	102
Gambar 4.31 Sambungan antar Segmen pada Ribs.....	109

Gambar 4.32 Susunan Baut Sambungan Segmen pada Ribs.....	111
Gambar 4.33 Penampang Kritis Geser Blok	113
Gambar 4.34 Detail Penampang Floor Beam.....	114
Gambar 4.35 Penampang Las.....	126
Gambar 4.36 Serat Atas (Terarsir), Serat Bawah (Tidak Terarsir)	127
Gambar 4.37 Detail Penampang Box Girder.....	130
Gambar 4.38 Pengaku Vertikal pada Box Girder.....	132
Gambar 4.39 Pengaku Vertikal pada Box Girder.....	133
Gambar 4.40 Sambungan Baut pada Sisi Box Girder	139
Gambar 4.41 Detail Penampang Rangka Batang	140
Gambar 4.42 Tatanan Sistem Kabel Penggantung	148
Gambar 4.43 Desain Sambungan pada Deck	149
Gambar 4.44 Persamaan Kapasitas Gusset Plate (SNI 1729 2015 Tabel K1.2).....	150
Gambar 4.45 Dimensi Sambungan Pelat pada Box Girder	150
Gambar 4.46 Dimensi Bearing Plate	151
Gambar 4.47 Penampang Kabel VSL SSI 2000.....	155
Gambar 4.48 Susunan Kabel Utama	156
Gambar 4.49 Struktur Pylon Tampak Depan	157
Gambar 4.50 Detail Penampang Kolom Pylon	158
Gambar 4.51 Desain Penampang dan Tulangan Longitudinal pada Program Bantu SpColumn.....	163
Gambar 4.52 Diagram Interaksi Mx-My Analisa SpColumn....	165
Gambar 4.53 Diagram Interaksi P-M Analisa SpColumn.....	166
Gambar 4.54 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Sendi Plastis	174
Gambar 4.55 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Luar Sendi Plastis	175
Gambar 4.56 Detail Penampang Balok Pylon	176
Gambar 4.57 Desain Penampang dan Tulangan Longitudinal pada Program Bantu SpColumn.....	178
Gambar 4.58 Diagram Interaksi Mx-My Analisa SpColumn....	180

Gambar 4.59 Diagram Interaksi P-M Analisa SpColumn	181
Gambar 4.60 Desain Penulangan Balok Pylon Daerah Sendi Plastis	189
Gambar 4.61 Desain Penulangan Balok Pylon Daerah Luar Sendi Plastis.....	190
Gambar 4.62 Detail Adjustable Anchorage VSL SSI 2000	191
Gambar 4.63 Dimensi Angkur.....	191
Gambar 4.64 Dimensi Angkur Daerah Angkur pada Pylon	192
Gambar 4.65 Detail Fixed Anchorage VSL SSI 2000.....	195
Gambar 4.66 Daerah Angkur pada Blok Angkur	195
Gambar 4.67 Dimensi Angkur.....	196
Gambar 4.68 Dimensi Blok Angkur Tampak Samping.....	197
Gambar 4.69 Dimensi Blok Angkur Tampak Depan	197
Gambar 4.70 Gaya yang Bekerja pada Kontrol Guling.....	199
Gambar 4.71 POT Bearing Type PL	201
Gambar 4.72 Detail Dimensi POT Bearing Type PL	203
Gambar 4.73 Mode 1 Assymmetrical Bending	204
Gambar 4.74 Mode 5 Symmetrical Torsion	205
Gambar 4.75 Mode 10 Symmetrical Bending	205
Gambar 4.76 Mode 18 Symmetrical Bending	206
Gambar 4.77 Mode 27 Symmetrical Bending	206
Gambar 4.78 Mode 32 Assymmetrical Bending	207
Gambar 4.79 Mode 54 Assymmetrical Bending	207
Gambar 4.80 Mode 57 Assymmetrical Bending	208
Gambar 4.81 Koeffisien Gaya Angkat C (Walther, 1999)	213
Gambar 4.82 Kontrol Keamanan Amplitudo (Walther, 1999) ..	214
Gambar 4.83 Kontrol Keamanan Percepatan (Walther, 1999) ..	216
Gambar 4.84 Efek Flutter dengan Perbedaan Fase $\pi/2$	217
Gambar 4.85 Grafik $V_{critic.actual}$ (Walther, 1999).....	219
Gambar 4.86 Faktor Koreksi $V_{critic.actual}$ (Walther, 1999).....	220
Gambar 4.87 Completed Stage (CS0)	222
Gambar 4.88 Stage 1 (CS1).....	223
Gambar 4.89 Stage 2 (CS2).....	223

Gambar 4.90 Stage 3 (CS3).....	223
Gambar 4.91 Stage 4 (CS4).....	224
Gambar 4.92 Stage 5 (CS5).....	224
Gambar 4.93 Stage 6 (CS6).....	224
Gambar 4.94 Stage 7 (CS7).....	225
Gambar 4.95 Perubahan Sag selama Proses Konstruksi	225
Gambar 4.96 Perubahan Pylon selama Proses Konstruksi	226
Gambar 4.97 Kabel Putus Tengah Bentang	227
Gambar 4.98 Kabel Putus Dekat Pylon.....	228
Gambar 4.99 Gaya yang Bekerja pada Kabel Penggantung	230
Gambar 4.100 Gaya yang Bekerja pada Kabel Utama.....	230
Gambar 4.101 Gaya Torsi yang Bekerja pada Lantai Kendaraan	231

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Kabel.....	9
Tabel 2.2 Tipe Steel Girder (Troitsky, 1977).....	13
Tabel 3.1 Berat Isi untuk Beban Mati	26
Tabel 3.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	27
Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan.....	27
Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"	28
Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban "T"	30
Tabel 3.6 Nilai V_o dan Z_o untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu.....	31
Tabel 3.7 Tekanan Angin Dasar.....	31
Tabel 3.8 Faktor Modifikasi Respon (R_d) untuk Hubungan antar Elemen Struktur.....	32
Tabel 3.9 Faktor Modifikasi Respon (R_d) untuk Bangunan Bawah	33
Tabel 3.10 Sifat Mekanis Baja Struktural	33
Tabel 4.1 Mutu Kabel.....	55
Tabel 4.2 Test Level 4 dalam AASHTO MASH 2009	59
Tabel 4.3 Spesifikasi Circular Hollow D 3,5"	60
Tabel 4.4 Spesifikasi Rectangular Hollow 200.200.8	60
Tabel 4.5 Rekapitulasi Gaya Dalam yang Terjadi.....	63
Tabel 4.6 Kombinasi Beban dan Faktor Beban.....	78
Tabel 4.7 Kombinasi Pembebanan Statis	78
Tabel 4.8 Hasil Analisa Struktur Statis Pylon.....	79
Tabel 4.9 Hasil Analisa Struktur Statis Pylon Transversal	80
Tabel 4.10 Hasil Analisa Struktur Statis Cable	80
Tabel 4.11 Hasil Analisa Struktur Statis Hanger.....	80
Tabel 4.12 Respon Spectrum.....	81
Tabel 4.13 Faktor Modifikasi Respons (R)	83
Tabel 4.14 Konfigurasi Pembebanan Dinamis	84
Tabel 4.15 Output dari Participation Masses (Mode 1-15)	85
Tabel 4.16 Output dari Participation Masses (Mode 21-35)	85
Tabel 4.17 Output dari Participation Masses (Mode 50-65)	86
Tabel 4.18 Hasil Analisa Struktur Dinamis Pylon	86
Tabel 4.19 Hasil Analisa Struktur Dinamis Pylon Transversal...	87

Tabel 4.20 Hasil Analisa Struktur Dinamis Cable.....	87
Tabel 4.21 Hasil Analisa Struktur Dinamis Hanger	87
Tabel 4.22 Lendutan Deck Jembatan	87
Tabel 4.23 Gaya Dalam Orthotropic Plate	93
Tabel 4.24 Perhitungan Baut Sambungan Segmen Orthotropic Plate	111
Tabel 4.25 Perhitungan Baut Sambungan Segmen Orthotropic Plate (Lanjutan)	112
Tabel 4.26 Gaya Dalam Floor Beam	115
Tabel 4.27 Gaya Dalam Box Girder	131
Tabel 4.28 Panjang Kabel Penggantung setiap Segmen.....	148
Tabel 4.29 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon Section 1	174
Tabel 4.30 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon Section 2	175
Tabel 4.31 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon Section 3	176
Tabel 4.32 Rekapitulasi Hasil Penulangan Balok Pylon	189
Tabel 4.33 Kapasitas POT Bearing Type PL.....	202
Tabel 4.34 Dimensi Utama POT Bearing Type PL.....	202
Tabel 4.35 Nilai f_B dan f_T	209
Tabel 4.36 Nilai f_B dan f_T (Lanjutan).....	210

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan suatu infrastruktur yang menghubungkan dua wilayah yang terpisah akibat adanya suatu halangan seperti sungai, rel kereta api, ataupun jalan. Berdasarkan UU 38 Tahun 2004, menjelaskan bahwa jalan dan termasuk jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional. Sehingga dalam proses perencanaan dan perancangan jembatan perlu mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika – arsitektural yang meliputi: Aspek lalu lintas, Aspek teknis, Aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Faktor-faktor yang mempengaruhi perencanaan jembatan sebagai sarana transportasi antara lain faktor keamanan, kenyamanan, estetika, keawetan, kemudahan pengerjaan dan nilai ekonomis.

Pulau Madura merupakan salah satu wilayah yang secara geografis terpisah dengan Kota Surabaya. Pulau Madura yang menjadi bagian dari provinsi Jawa Timur mengalami kondisi yang kurang menguntungkan. Hal ini dapat dilihat dari adanya ketimpangan sosial dan ekonomi dibandingkan dengan daerah-daerah lain di provinsi Jawa Timur. Sebelum adanya Jembatan Suramadu akses satu-satunya untuk menyeberang ke Pulau Madura adalah menggunakan penyebarangan kapal feri Ujung – Kamal. Sehingga dengan adanya pembangunan Jembatan Suramadu diharapkan dapat menjadi jalur alternatif sehingga dapat meningkatkan laju perekonomian, pembangunan infrastruktur serta kegiatan pariwisata.

Kondisi Jembatan Suramadu saat ini memiliki panjang total 5438 meter yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu *causeway* 1458 dan 1818 meter, *approach bridge* 672 meter dan *main bridge* sepanjang 818 meter. Pada *causeway* terbagi menjadi 19 bentang yang terdiri dari 8 bentang pada sisi kanan kiri *approach bridge* dan 3 bentang pada *main bridge*. Lebar total jembatan 30 meter yang terdiri dari 4 lajur 2 arah dengan lebar 2 x 14 meter. Struktur

bawah pada *approach bridge* terdapat total 14 pilar dengan penggunaan *bored pile* diameter 180 cm dan panjang mencapai 60 – 90 meter. Jarak dasar lantai dengan HWL (*High Water Level*) 35 meter.

Dapat dilihat pada jumlah pilar yang menopang bentang utama mengakibatkan berkurangnya *effective linier water* pada penampang selat. Hal ini akan menyulitkan lalu lintas kapal yang akan melintas di bawah jembatan. Karena adanya Jembatan Suramadu ini telah ditentukan aturan mengenai batas maksimum ukuran kapal yang dapat melintas. Sehingga kapal-kapal besar tidak dapat melintas di bawah Jembatan Suramadu dan harus direncanakan arus lalu lintas yang lain. Dengan adanya ruang bebas yang lebar pada bagian bawah jembatan kemungkinan kapal besar dapat melewati Selat Madura tanpa dikhawatirnya terjadi tabrakan pada pilar. Selain mempengaruhi *effective linier water*, banyak pilar juga akan meningkatkan risiko besarnya *scouring* akibat adanya gerusan arus air laut. Kondisi ini dikhawatirkan akan meningkatkan pula risiko keruntuhan jembatan akibat kegagalan pada struktur bangunan bawah.

Maka dari itu, perlu adanya modifikasi desain Jembatan Suramadu yang optimum berdasarkan dengan panjang bentang dan dapat mengurangi penggunaan pilar pada struktur bawah. Sehingga dapat memaksimalkan *effective linier water* dan mengurangi risiko *scouring* namun tetap memperhatikan nilai estetika sebagai ikon Surabaya dan Madura. Desain yang tepat adalah dengan desain jembatan bentang panjang menggunakan sistem *suspension*.

Dalam tugas akhir ini, Jembatan Suramadu akan direncanakan ulang sebagai jembatan *suspension* dengan *side span suspended*. Desain ulang ini diharapkan dapat memberikan solusi dalam merancang sebuah jembatan bentang panjang dan mengurangi kebutuhan pilar sehingga permasalahan mengenai *effective linier water* dan *scouring* dapat diminimalisir. Jembatan *suspension* atau yang biasa disebut dengan jembatan gantung memiliki panjang bentang yang dinilai optimum diterapkan pada bentang 300 – 2000 meter. Susunan kabel utama maupun kabel

vertikal dan *pylon* akan tetap mempertahankan nilai estetik dari Jembatan Suramadu.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan dari denah dan tampak setelah modifikasi?
2. Bagaimana menentukan *preliminary design* pada elemen struktur Jembatan Suramadu?
3. Bagaimana menganalisa pembebanan yang terjadi pada Jembatan Suramadu?
4. Bagaimana permodelan struktur menggunakan program bantu MIDAS?
5. Bagaimana kontrol kekuatan rantai kendaraan terhadap beban?
6. Bagaimana menentukan konfigurasi dan dimensi kabel serta mengontrol kekuatan terhadap beban?
7. Bagaimana bentuk struktur *pylon* dan penulangan?
8. Bagaimana menuangkan hasil desain struktur Jembatan Suramadu dalam bentuk gambar teknik?

1.3 Batasan Masalah

Mengingat keterbatasan waktu dan keterbatasan data dalam penyusunan tugas akhir maka perencanaan Jembatan Suramadu diperlukan pembatasan masalah yang meliputi:

1. Tidak memperhitungkan anggaran biaya.
2. Tidak merencanakan struktur bangunan bawah.
3. Tidak merencanakan perkerasan dan geometrik jalan.
4. Tidak memperhitungkan analisis hidrologi.
5. Tidak meminjau aspek arsitektural, *mechanical* dan *electrical*.

1.4 Tujuan

Dengan rumusan masalah tersebut maka tujuan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan perubahan dari denah dan tampak setelah modifikasi.
2. Menentukan preliminary design pada elemen struktur Jembatan Suramadu.
3. Menganalisa pembebanan yang terjadi pada Jembatan Suramadu.
4. Memodelkan struktur menggunakan program bantu MIDAS.
5. Melakukan kontrol kekuatan lantai kendaraan terhadap beban.
6. Menentukan konfigurasi dan dimensi kabel serta mengontrol kekuatan terhadap beban.
7. Memperoleh bentuk struktur *pylon* dan penulangan.
8. Menuangkan hasil desain struktur Jembatan Suramadu dalam bentuk gambar teknik.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

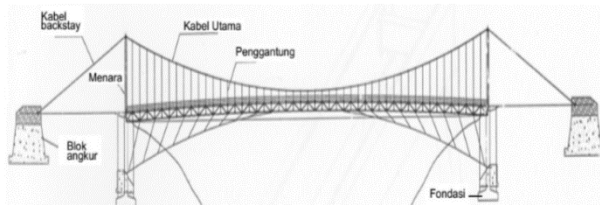
1. Desain baru Jembatan Suramadu diharapkan dapat referensi dalam melakukan desain jembatan dengan menggunakan sistem *suspension*.
2. Untuk dunia ketekniksipilan, diharapkan desain baru Jembatan Suramadu menjadi inspirasi jembatan masa depan yang lebih modern untuk diterapkan khususnya di Indonesia.
3. Untuk penulis diharapkan dapat menambah pengetahuan dan *skill* ilmu perencanaan jembatan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan gantung adalah jenis konstruksi jembatan yang menggunakan kabel-kabel baja sebagai penggantungnya dan terpasang di antara menara-menara. Tipe ini sering digunakan untuk jembatan bentang panjang. Salah satu kelebihan dari tipe jembatan gantung adalah dapat mengurangi jumlah pilar. Jembatan gantung terdiri atas pelengkung penggantung dan batang penggantung (*hanger*) dari kabel baja, dan bagian yang lurus berfungsi untuk mendukung lantai kendaraan (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Skema umum jembatan gantung seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema Umum Struktur Jembatan Gantung (Supriyadi dan Muntohar, 2007)

Jembatan gantung terpanjang di dunia saat ini adalah jembatan Akashi Kaikyo (1998) di Jepang dengan bentang tengah 1991 m dan menggunakan struktur pengaku *stiffening truss girder* dengan tinggi mencapai 14 m.

2.1.1 Bentuk Struktur

Berkaitan dengan bentang luar (*side span*) terdapat bentuk struktur jembatan gantung seperti pada Gambar 2.2 sebagai berikut (Supriyadi dan Muntohar, 2007):

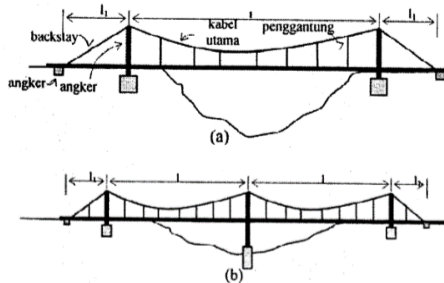
1. Bentuk bentang *war bebas* (*side span free*)

Pada bentang luar kabel utama tidak berfungsi untuk menahan lantai jembatan. Sehingga pada bentang luar tidak

terdapat *hanger*. Bentuk ini disebut juga dengan tipe *straight backstays* atau kabel utama pada bentang luar berbentuk lurus.

2. Bentuk bentang luar digantungi (*side span suspended*)

Pada bentuk ini kabel utama pada bentang luar menahan struktur lantai jembatan dengan dihubungkan oleh *hanger*.



Gambar 2.2 Bentuk Umum Jembatan Gantung (a) *side span free*, (b) *side span suspended* (Supriyadi dan Muntohar, 2007)

2.1.2 Pengaku Jembatan Gantung

Berdasarkan letak pengaku jembatan gantung dibagi menjadi dua jenis yaitu (Steiveman 1953 dalam Supriyadi dan Muntohar 2007):

1. Jembatan gantung tanpa pengaku

Pada tipe jembatan ini seluruh beban sendiri dan lalu lintas didukung penuh oleh kabel. Hal ini dikarenakan tidak terdapatnya elemen struktur kaku pada jembatan. Elemen yang berfungsi untuk mendukung lalu lintas berupa struktur sederhana.

2. Jembatan gantung dengan pengaku

Jembatan tipe ini adalah dimana pada salah satu bagian strukturnya mempunyai bagian yang lurus yang berfungsi untuk mendukung lantai lalu lintas. *Deck* pada jembatan ini biasanya berupa struktur rangka, yang mempunyai kekakuan (EI) tertentu. Dalam perhitungan struktur secara keseluruhan, beban dari lantai jembatan didukung secara bersama-sama oleh

kabel dan gelagar pengaku berdasarkan prinsip kompatibilitas lendutan.

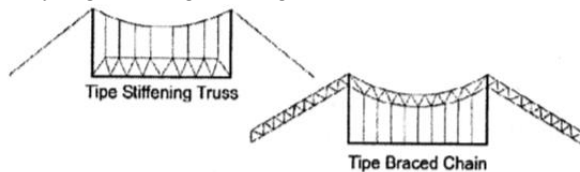
Jembatan gantung dengan pengaku mempunyai dua dasar bentuk umum seperti pada Gambar 2.3, yaitu:

1. Tipe rangka batang kaku (*stiffening truss*)

Pada tipe ini jembatan mempunyai bagian yang kaku pada lantai kendaraan dengan *hanger* yang kemudian dihubungkan dengan kabel utama.

2. Tipe rantai kaku (*braced chain*)

Pada tipe ini bagian yang kaku atau diperkaku adalah bagian yang berfungsi sebagai kabel utama.



Gambar 2.3 Tipe Jembatan Gantung dengan Pengaku (Supriyadi dan Muntohar, 2007)

2.2 Jenis Kabel

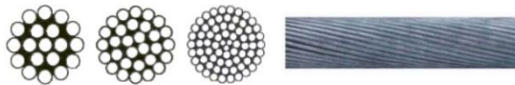
Konfigurasi kabel merupakan bagian terpenting dalam desain jembatan dengan sistem kabel hal ini akan mempengaruhi tidak hanya pada kinerja structural jembatan tetapi juga menyangkut metoda/kemudahan *erection* dan biaya pembangunan. (Mustazir, 2002). Untuk jembatan gantung yang relative panjang, kabel penggantung umumnya disusun di lokasi atau sering disebut dengan *Aerial Spinning* baik dalam *parallel wire* ataupun *long lay wire*.

Kabel dibuat terbuat dari kawat baja dengan kekuatan sekitar 120-150 kg/mm². Terdapat tiga jenis lapisan pelindung (ASTM), yaitu lapisan tipis kelas A, lapisan sedang kelas B atau dua kali berat kelas A dan lapisan berat kelas C atau tiga kali berat

kelas B. Macam-macam tipe kabel dapat dilihat pada Gambar 2.4 – Gambar 2.7 dan spesifikasi pada Tabel 2.1.

a. *Spiral Strand*

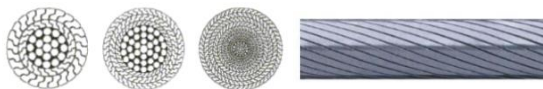
Spiral strand terdiri dari susunan kawat yang dipuntir dan mengelilingi inti. Kawat dapat disusun dalam satu atau lebih layer untuk mencapai diameter yang diinginkan. Terkadang susunan kabel dipuntir dengan arah yang berlawanan.



Gambar 2.4 Kabel Tipe Spiral Strand (Mustazir, 2002)

b. *Lock Coil Strand*

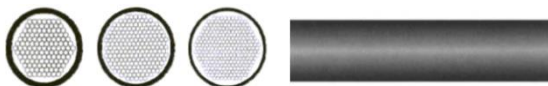
Lock coil strand terdiri atas kawat bulat digalvanis berdiameter besar. Kabel jenis ini terdiri dari pusat kabel yang dikelilingi oleh puntiran kabel dalam satu layer atau lebih layer.



Gambar 2.5 Kabel Tipe Lock Coil Strand (Mustazir, 2002)

c. *Parallel Wire Strand*

Parallel wire strand terdiri dari kawat bulat digalvanis dengan diameter 5 sampai 7 mm berbentuk hexagonal dengan helix panjang. Kawat tersebut akan dibungkus dengan High Density Polythylene (HDPE) tube.



Gambar 2.6 Kabel Tipe Parallel Wire Strand (Mustazir, 2002)






d. Structural Rope

Structural rope umumnya terdiri dari 6 buah *strand* (untaian kawat) yang dipuntir mengelilingi *steel core*. Tipe ini memiliki kelenturan yang tinggi dan terkadang terdiri dari diameter kecil. Modulus elastisitas yang dimiliki kurang dari setengah modulus elastisitas baja structural.



Gambar 2.7 Kabel Tipe Structural Rope (Mustazir, 2002)

Tabel 2.1 Spesifikasi Kabel

Jenis Kabel	 Coupled bars 7 \varnothing 26 Steel 835/1030	 Uncoupled bars 26 \varnothing 18	 Parallel wires 128 \varnothing 7	 Strands 27 \varnothing 15	 Locked-coil cables
<i>Tendons</i>	<i>Bars</i> \varnothing 26.5, 32, 36 mm	<i>Bars</i> \varnothing 16 mm	<i>Wire</i> \varnothing 6, 7 mm	<i>Strand</i> \varnothing 0.5, 0.6, 0.7 of 7 twisted wires	<i>Wire with different profiles</i> \varnothing 2-9.7 mm
0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	835 1080	1350	1470	1570 ~ 1670	--
<i>Ultimate tensile strength, β_z</i> (N/mm ²)	1030 1230	1500	1670	1770 ~ 1870	1000 ~ 1300
<i>Fatigue</i>					
$\Delta\sigma$ (N/mm ²)	80	-	350	300 ~ 320	120 ~ 150
σ_{max}/β_z	0.6	-	0.45	0.5 ~ 0.45	0.45
<i>Modulus of elasticity, E</i> (N/mm ²)	210 000	210 000	205 000	180 000 ~ 200 000	180 000 ~ 165 000
<i>Failure Load</i> kN	7339	7624	7467	7634	7310

Sumber: Peraturan PU No. 08/SE/M/2015

2.3 Angkur Kabel

2.3.1 Sistem Pengukuran

Keseluruhan beban yang bekerja akan di transfer pada angkur. Blok angkur merupakan tipe gravitasi untuk semua jenis tanah yang berfungsi sebagai penahan ujung-ujung kabel utama

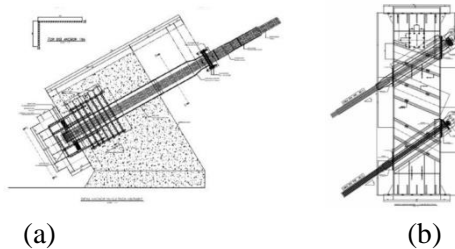
serta menyalurkan gaya-gaya yang dipikul ke pondasi. Secara umum terdapat dua sistem pengangkuran pada jembatan beruji kabel seperti pada Gambar 2.8, yaitu:

a. Angkur Hidup

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

b. Angkur Mati

Pengangkuran dilakukan pada ujung kabel, tetapi pada bagian ini tidak dilakukan pemberian tegangan. Angkur mati biasanya diletakkan pada blok angkur.



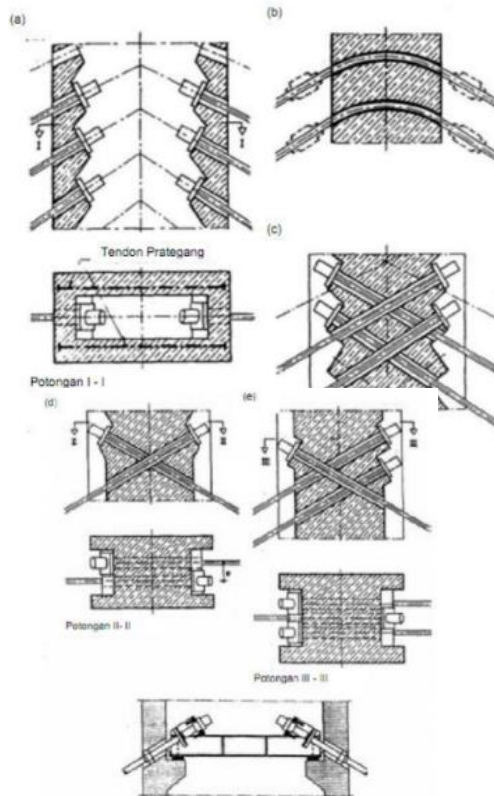
Gambar 2.8 Tipe Angkur (a) Angkur Mati, (b) Angkur Hidup
(Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

2.3.2 Posisi dan Detail Pengangkuran

Posisi dan detail pengangkuran untuk jembatan gantung terdapat pada dua posisi yaitu pengangkuran pada menara dan pada *deck* jembatan.

a. Pengangkuran pada Menara

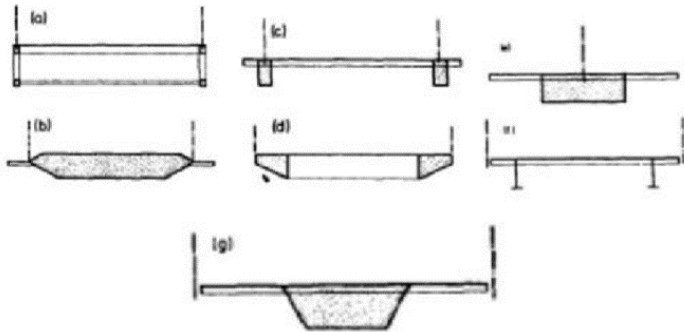
Bagian kabel yang masuk ke dalam menara ditempatkan di dalam suatu pipa pengarah / guide pipe dari konstruksi baja menembus dari sisi *mid span* ke sisi *side span* dan sebaliknya. Terdapat beberapa alternative pengangkuran pada menara seperti pada Gambar 2.9 dibawah ini:



Gambar 2.9 Alternatif Pengangkuran pada Menara (Peraturan PU No. 08/SE/M/2015)

b. Pengangkuran pada *Deck* Jembatan

Pada jembatan gantung kabel penggantung diangkurkan pada elemen utama *deck* jembatan, sedangkan pada kasus lain angkur harus diletakkan di luar elemen utama sehingga diperlukan *bracker* khusus untuk menyalurkan gaya ke elemen utama dek jembatan. Beberapa jenis pengangkuran pada lantai seperti pada Gambar 2.10.





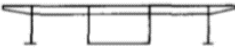
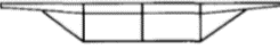
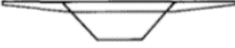

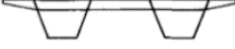
Gambar 2.10 Lokasi Angkur pada Deck Jembatan (Peraturan PU No. 08/SE/M/2016)

2.4 Deck Kendaraan

Penggunaan sistem lantai dapat menambahkan pula kekakuan dari konstruksi jembatan gantung. Lantai kendaraan biasanya berupa beton dengan berat relative ringan, *deck orthotropic*, atau baja berongga yang sebagian diisi dengan beton (komposit baja – beton). Pada sistem lantai juga terdapat pengaruh kembang susut yang dapat menyebabkan penambahan tegangan pada struktur dek sendiri. Untuk itu penggunaan *expantion joint* sebaiknya diberikan setiap 30–40 meter untuk mencegah kerusakan dek dan struktur utama (Troitsky, 1994).

Gelagar baja (*steel girder*) dapat disusun menjadi plat I – girder atau *box girder*. Plat I girder terdiri dari plat baja yang disusun menjadi bentuk I yang kemudian disatukan menjadi bentuk yang utuh. Sedangkan *box girder* memiliki berbagai macam bentuk yang dapat dilihat dari Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tipe Steel Girder (Troitsky, 1977)

Types of main girder		
Arrangement		Deck cross - sections
1	Twin I girder	
2	Single rectangular box girder	
3	Central box girder and side single web girders	
4	Single twin cellular box girder and sloping struts	
5	Single trapezoidal box girder	
6	Twin rectangular box girder	
7	Twin trapezoidal box girder	

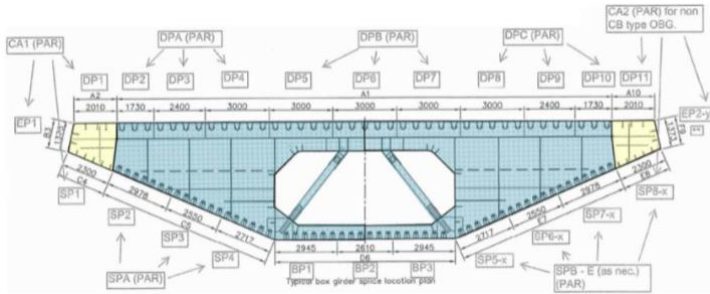
Seiring perkembangannya rangka baja dapat digunakan pada jembatan bentang panjang namun memiliki kelemahan yaitu tampilan kurang menarik, biaya perawatan yang besar dan sulitnya perlinfungan terhadap korosi. Pada beberapa kasus, penggunaan rangka baja dapat dikombinasikan antara *highway* dan *railroad traffic*.

2.4.1 Orthotropic Steel Deck

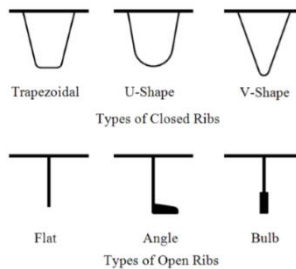
Orthotropic panel harus dipertimbangkan sebagai sebuah “modul” komponen structural yang dapat dirangkai menjadi sebuah penampang melintang jembatan di berbagai bentuk geometri. Dalam kenyataannya, *orthotropic* panel memperbolehkan perencana untuk mendesain penampang seperti

single cell box girder. Namun rincian dari modular panel bisa ditentukan berdasarkan pengalaman dunia secara kumulatif melalui pengujian laboratorium yang berhasil dan dalam masa layan (Robert Connor, 2012). Penampang *orthotropic* dapat dilihat pada Gambar 2.12.

Gambar 2.11 Penampang *Orthotropic Steel Box Girder* (Robert Connor dkk, 2012)



Panel *Orthotropic* umumnya diklasifikasikan sebagai *open-rib sistem* dan *close-rib sistem*. Dalam kedua sistem, *ribs* disusun dengan arah longitudinal jembatan untuk distribusi beban roda ke FBs dan untuk meningkatkan kekakuan lentur girder primer. Ketika *ribs* disusun dengan arah transversal jembatan kondisi daya tahan permukaan akan memburuk karena adanya “*washboard effect*” yang disebabkan oleh beban roda. Sistem panel orthotropic dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut:



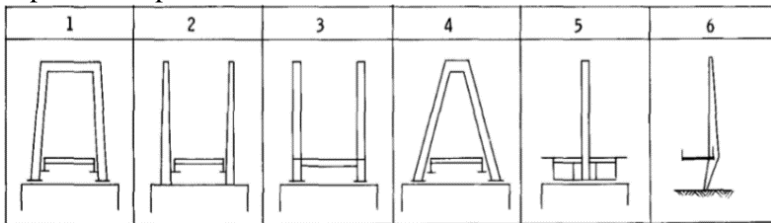
Gambar 2.12 Tipe Rib untuk Orthotropic Deck (Robert Connor dkk, 2012)

2.5 Menara (*Tower*)

Pylon adalah elemen struktur vertikal yang merupakan bagian utama pada struktur jembatan gantung. Struktur ini akan menjadi tumpuan dari *main cable* dan sebagai penyalur beban dari kabel pemikul utama. Menurut Pasaribu (1995) konstruksi *pylon* dapat dibagi menjadi:

1. Menara (*tower*) adalah bagian atas dari struktur *pylon* dimana terdapat *saddle* yang berfungsi sebagai tempat menumpunya *main cable*.
2. Pilar (*pier*) bagian bawah dari *pylon* setelah menara.

Beban yang dipikul oleh kabel akan disalurkan oleh menara ke tanah melalui pondasi (*pier*). Dengan demikian agar dapat menyalurkan beban dengan baik, perlu diketahui bentuk atau macam Menara yang akan digunakan. Beberapa jenis Menara dapat dilihat pada Gambar 2.14 di bawah ini:



Gambar 2.13 Jenis - Jenis *Pylon* (Troitsky, 1977)

Ada tiga jenis tipe menara berdasarkan jenis perletakan:

1. Menara terjepit di atas pondasi

Tipe perletakan ini menghasilkan momen tekuk yang besar pada menara. Menara yang terjepit di pondasi lebih fleksibel dan beban serta perbedaan temperature tidak berpengaruh banyak pada tegangan yang ada. Pada sistem ini, gelagar utama berada di antara kaki menara dan di topang oleh balok melintang.

2. Menara terjepit pada gelagar jembatan

Sistem ini biasa menggunakan gelagar *box* dan menara terjepit pada gelagar jembatan. Pengaturan seperti ini

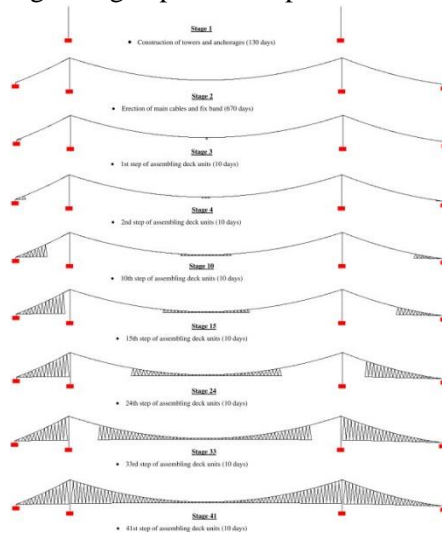
dimaksudkan tidak hanya untuk memperkuat box gelagar namun juga untuk memperkuat perletakan dari jembatan dan juga mampu menahan gaya horisontal yang terjadi akibat bertambahnya gaya gesek di perletakan.

3. Menara dengan perletakan sendi di atas pondasi

Perletakan dipasang di atas pondasi dengan arah pergerakan sejajar sumbu memanjang jembatan atau tegak lurus arah melintang. Sehingga dapat mengurangi momen tekuk pada menara. Pada kasus tanah yang jelek, perletakan akan bekerja dalam mengatasi rotasi arah longitudinal, sehingga momen tekuk tidak diterima oleh pondasi.

2.6 Metode Pelaksanaan

Dalam konstruksi jembatan gantung waktu pelaksanaan konstruksi bergantung pada karakteristik material seperti modulus elastisitas, rangkai dan susut untuk beton dan dan relaksasi untuk baja tarik perlu dipertimbangkan. Hal ini dikarenakan variable tersebut dipengaruhi iklim selama konstruksi. Metode pelaksanaan untuk jembatan gantung dapat dilihat pada Gambar 2.15.

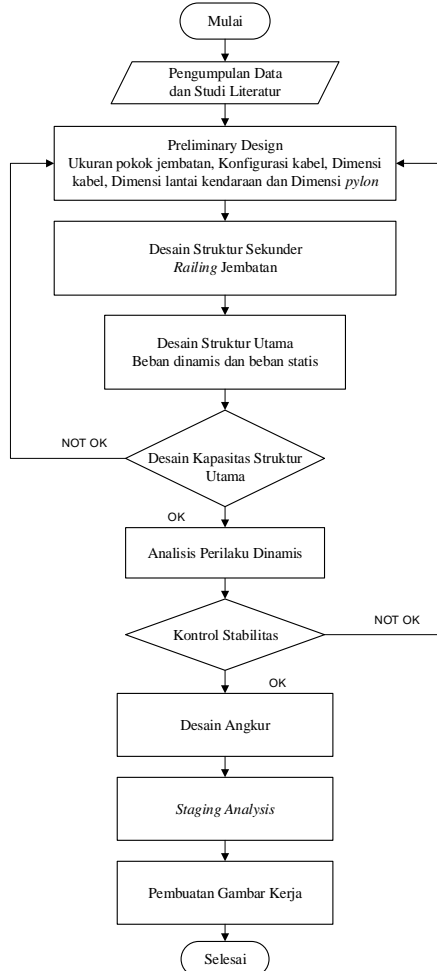


Gambar 2.14 Metode Pelaksanaan (Suleyman Adanur, 2012)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini dijelaskan secara singkat pada Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Pengerjaan

3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

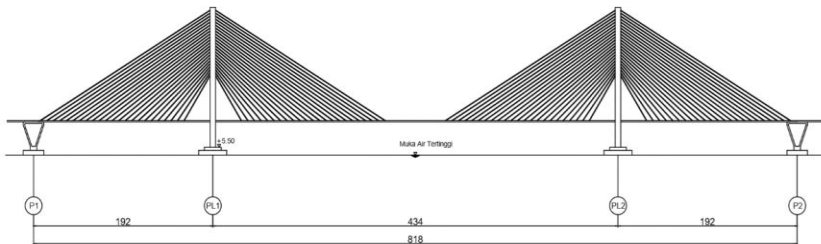
3.2.1 Data Jembatan Suramadu

Data perencanaan awal Jembatan Suramadu adalah sebagai berikut:

Nama	: Jembatan Suramadu
Lokasi	: Selat Madura
Panjang Jembatan	: <i>Midspan</i> 800 m, <i>Approach</i> 1344 m
Lebar Jembatan	: 30 meter
Tipe Jembatan	: <i>Cable Stayed</i>
Jumlah pylon	: 4 buah

3.2.2 Gambar Jembatan Suramadu *Eksisting*

Gambar jembatan eksisting yang akan dilampirkan dapat dilihat pada Gambar 3.2 terdiri dari potongan memanjang untuk mengetahui panjang dan tinggi jembatan.



Gambar 3.2 Tampak Samping Jembatan Eksisting

3.2.3 Data Modifikasi Jembatan Suramadu

Data Jembatan Suramadu yang akan direncanakan ulang adalah memodifikasi ulang jembatan tipe *cable stayed* menjadi jembatan gantung (*suspension bridge*) yang biasa diterapkan pada bentang panjang salah satu contohnya pada *Akashi-Kaikyo Bridge* di Jepang dengan bentang tengah 1901 m. Jembatan modifikasi ini akan menghilangkan dua *pylon* di tengah bentang untuk memperlebar ruang bebas antar *pylon*. Berikut adalah data jembatan modifikasi:

Nama	: Jembatan Suramadu
Tipe Jembatan	: <i>Suspension bridge</i>
Panjang modifikasi kedua sisi	: <i>Midspan 800 m, Side span @200 m</i>
Lebar Jembatan	: 30 meter
Material Struktur	: Baja
Jumlah <i>Pylon</i>	: 2 buah
Tinggi Bebas	: 35 meter
Tipe Jalur Kendaraan	: <i>Single Cell Box Girder</i>
Zona Gempa	: Zona gempa Selat Madura

3.2.4 Studi Literatur

Langkah pertama dalam melakukan studi literatur adalah mencari dan mengumpulkan literatur-literatur yang berkaitan dengan jembatan bentang panjang dan jembatan gantung (*suspension bridge*). Literatur ini mencakup beberapa informasi antara lain sistem struktur, konsep arsitektur, konsep aerodinamis, konsep *orthotropic deck* dsb. Beberapa literatur tersebut antara lain:

1. Supriyadi, B., Muntohar. 2007. *Jembatan*. Yogyakarta.
2. Troitsky, M. S. 1988. *Cable Stayed Bridge: Theory and Design – Second Edition*. Boston. BSP Professional Books.
3. Walther, Rene. 1999. *Cable Stayed Bridge*. London. Thomas Telford.
4. Heins, C., P., Firmage, D., A. 1979. *Design of Modern Steel Highway Bridge*. Wiley.
5. Gimsing, N. J., Georgakis, C. T. 2012. *Cable Supported Bridge*. United Kingdom. John Wiley and Sons.
6. Pugsley, Sir A. 1968. *The Theory of Suspension Bridges – Second Edition*. London. Edward Arnold.

Perencanaan ulang Jembatan Suramadu ini mengacu pada beberapa literatur maupun beberapa peraturan antara lain:

1. Standar Pembebanan untuk Jembatan. SNI 1725-2016.

2. Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. RSNI 2833-2016.
3. Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. RSNI T-03-2005.
4. Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. RSNI T-12-2004.
5. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729 2015.
6. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Beton SNI 2847 2013.
7. *Design Manual for Orthotropic Deck Steel Plate Deck Bridge* AISC 1963.
8. Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum No 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel”.

3.3 Preliminary Design

Pada tahap ini memperkirakan mutu bahan dan material, dimensi awal dari elemen struktur utama dan profil yang akan digunakan. Penentuan dimensi harus memenuhi syarat minimum atau maksimum yang telah ditentukan.

3.3.1 Ukuran Pokok Jembatan Suramadu

Penentuan ukuran pokok dari jembatan gantung diperoleh dengan perhitungan berikut dan dapat dilihat pada Gambar 3.3:

1. *Side Span* (L_1)

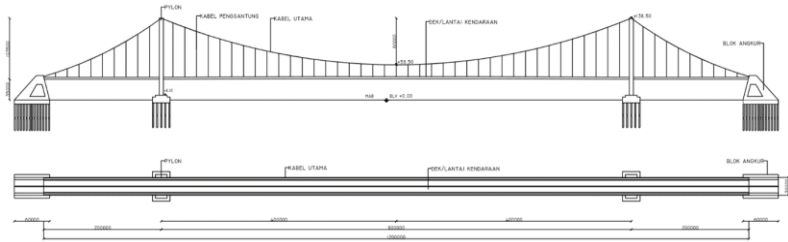
Panjang *side span* diperhitungkan dengan kisaran 0,17–0,5 dari *mid span* (L). Sehingga pada jembatan modifikasi ini direncanakan panjang *side span* = 200 m.

2. Lebar Kabel Utama

Lebar kabel utama diasumsikan sama dengan lebar jembatan yang disyaratkan memiliki lebar berkisar 0,018 – 0,05 dari *mid span* (L). Sehingga pada jembatan modifikasi ini direncanakan lebar antara kabel utama = 30 m

3. Tinggi Sag atau Dip

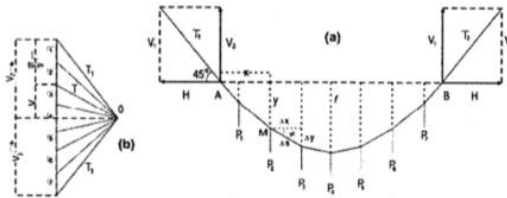
Tinggi sag atau dip minimum yaitu beda tinggi antara lengkung terendah kabel utama dan puncak *pylon* adalah 0,1 dari *main span* (L). Sehingga pada jembatan modifikasi ini direncanakan tinggi sag minimum = 80 m



Gambar 3.3 Denah dan Tampak Samping Jembatan Modifikasi

3.3.2 Konfigurasi Kabel

Jika beban vertikal dikenakan pada kabel gantung yang diikatkan pada dua tumpuan, maka akan memberikan bentuk segi banyak terbatas yang ditentukan oleh hubungan antar beban. Seperti pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Kabel sebagai Poligon Funicular (Supriyadi dan Muntohar, 2007)

Reaksi tumpuan (T_1 dan T_2) akan miring/membentuk sudut sehingga akan menimbulkan reaksi arah horisontal/kompomen horisontal ke H. dimana H adalah tegangan horisontal kabel. Momen total pada sembarang titik kabel dapat dihitung seperti pada balok sederhana, yaitu:

$$M = M' - H \cdot y \quad (3.1)$$

Dimana M' adalah momen lentur pada berbagai titik akibat beban vertikal dan reaksi. Momen pada persamaan di atas harus berharga 0, karena kabel diasumsikan *flexible*. Maka ordinat kelengkungan kabel dapat diperoleh dengan persamaan 3.2

$$y = M'/H \quad (3.2)$$

Bentuk kabel utama juga memiliki persamaan yang dapat diperoleh dari tinggi *sag* dan panjang bentang jembatan. Persamaan tersebut antara lain.

1. Kabel bentuk Catenary

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c} \quad (3.3)$$

2. Kabel bentuk Parabola

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{H} \cdot x^2 \quad (3.4)$$

Dalam Pasal 4.4.3 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 dijelaskan tentang acuan jarak kabel yang umum digunakan. *Deck* jembatan yang terbuat dari baja atau material komposit, jarak antar kabel adalah 15 meter sampai dengan 25 meter.

3.3.3 Dimensi Kabel

Pada perencanaan dimensi kabel rumus yang digunakan untuk mengetahui panjang kabel parabola di antara dua tumpuan dengan elevasi yang sama adalah:

$$l = L \left(1 + \frac{8}{3} n^2 \right) \quad (3.5)$$

Dimana:

$$n = d/L$$

L = panjang bentang kabel
 f = kedalaman lengkungan/simpangan kabel (*sag*)

Perubahan panjang kabel diantara dua tumpuan (ΔL) adalah sebagai hasil dari pemanjangan elastis, gelindiran *saddle* atau perubahan suhu. Sedangkan akibat lendutan pilar dan lendutan kabel perubahan panjang bentang adalah ΔL . dan Δd adalah perubahan simpangan (*sag*) kabel.

$$\Delta l = \frac{Hl}{EA} \left(1 + \frac{16}{13} n^2 \right) \quad (3.6)$$

Dimana:

E : Koefisien elastis kabel
 A : Luas penampang kabel
 H : Tegangan horisontal H

Dimensi kabel awal diperoleh dari besar gaya kabel yang bekerja akibat beban sendiri struktur. Gaya yang bekerja pada kabel dapat dihitung sebagai berikut:

1. Kabel bentuk Catenary

$$T = w' \cdot y \quad (3.7)$$

$$H = w' \cdot c \quad (3.8)$$

2. Kabel bentuk Parabola

$$T = H \left\{ 1 + \frac{w^2}{H^2} \cdot x^2 \right\}^{0,5} \quad (3.9)$$

3.3.4 Dimensi Lantai Kendaraan

Pada desain jembatan gantung ini digunakan orthotropic steel plate sebagai lantai kendaraan. Desain mengacu pada AISC 1963 "*Design Manual for Orthotropic Steel Deck Bridge*".

1. Ketebalan pelat lantai

Ketebalan pelat lantai ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$t_p = 0,0065 \times a \times \sqrt[3]{p} \quad (3.10)$$

Dimana:

- t_p : Tebal minimum pelat (in)
 a : Jarak antara *ribs* (in)
 P : Tekanan akibat roda truk (faktor beban dinamis sebesar 30%) (psi)

$$P = \frac{(100\%+30\%) \times T}{A} \quad (3.11)$$

Dimana:

- A : Luas bidang kontak sesuai SNI 1725:2016 pasal 8.4.1 dan ditambah 2 kali tebal aspal pada masing-masing sisi

2. Desain rusuk (*ribs*)
 Panjang efektif rusuk dihitung sebagai berikut:

$$s_1 = 0,7 s \quad (3.12)$$

Dimana:

- l : Jarak antar gelagar melintang

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

3.3.5 Dimensi Pylon

Dimensi struktur *pylon* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_{perlu} = T/fc' \quad (3.13)$$

Dimana:

- A_{perlu} : Luas penampang *pylon*

T : Gaya aksial total pada *pylon*

Pada perencanaan ini *pylon* terbuat dari material beton dan terdapat elemen vertikal maupun horisontal yang seperti portal pada bangunan gedung. Maka elemen vertikal tower akan menerima gaya normal dari elemen kabel dan menerima momen dari beban angin maupun gempa sama seperti elemen kolom pada struktur bangunan Gedung. Untuk elemen horisontal berfungsi untuk mengurangi tekuk pada *pylon* sehingga dihitung seperti balok.

3.4 Desain Struktur Sekunder

Desain struktur sekunder adalah komponen pada struktur yang tidak memikul beban utama dan tidak mempengaruhi kekuatan struktur utama.

3.4.1 Perencanaan Railing Jembatan

Railing memiliki fungsi untuk memberikan keamanan bagi pejalan kaki. Seluruh sistem pengaman harus aman dan tahan dari hantaman kendaraan. Perhitungan *railing* didasarkan pada SNI 1725:2016 Pasal 11.

Railing jembatan direncanakan menerima beban $w = 0,75$ kN/m' yang bekerja sepanjang sandaran paling atas. Kemudian beban w didistribusikan ke setiap join.

$$P_w = w \times b \quad (3.14)$$

Dimana:

- w : Beban per meter lari
- b : Jarak yang dipikul tiap join

Kemudain dicari momen dan geser yang terjadi pada tiang *railing* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$M_u = w \times 0,5L \times H \quad (3.15)$$

$$V_u = w \times 0,5L \quad (3.16)$$

Koneksi ke landasaan diberi *base plate* yang diangker plat *orthotropic*. Analisa profil *railing* menggunakan program bantu SAP2000.

3.5 Analisa Struktu Utama

Struktur utama terdiri dari *hanger*, kabel utama dan *pylon*. Analisa struktur utama dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* MIDAS. Analisa jembatan gantung terdiri dari analisa beban dinamis (gempa) dan statis. Hal ini dimaksudkan untuk menentukan gaya pada elemen pendukung beban (gelagar, *pylon* dan kabel). Sedangkan analisa dinamis untuk menentukan kestabilan struktur.

3.5.1 Pembebanan Statis

Beban statis pada jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 terdiri dari:

3.5.1.1 Beban Mati

Beban mati merupakan kumpulan berat setiap komponen baik structural maupun nonstructural. Beban mati terdiri dari berat sendiri dan berat mati tambahan yang akan dijelaskan di bawah ini.

1. Berat Sendiri

Berat sendiri merupakan berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen structural ditambah elemen nonstructural yang dianggap tetap. Besarnya kerapatan massa dan berat isi berbagai macam bahan dapat dilihat di Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2245
2	Besi tuang	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal	22,0	2245

6	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton $f'c < 35$ MPa	22,0 – 25,0	2320
8	Beton $35 < f'c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
9	Baja	78,5	7850
10	Kayu	7,8	800
11	Kayu keras	11,0	1125

Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 2 Pasal 7.1

Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

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
	Aluminium	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

Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 3 Pasal 7.2

2. Berat Mati Tambahan

Berat seluruh elemen tambahan yang dapat menjadi beban bagi jembatan dan merupakan elemen nonstructural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Adapun faktor beban untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)			
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,7
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,8
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 4 Pasal 7.3

3.5.1.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan umumnya terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T" yang akan dijelaskan dibawah ini.

1. Beban lajur "D"

Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lantai jembatan yang diasumsikan sama dengan suatu iring-iringan kendaraan. Beban lajur yang bekerja bergantung lebar jalan itu sendiri. Beban lajur terbagi menjadi dua yaitu beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Faktor beban untuk lajur "D" dapat dilihat di Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 12 Pasal 8.3

Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas q kPa yang dipengaruhi oleh panjang bentang total jembatan yang dibebani L seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned} &\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : \\ q &= 9,0 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} &\text{Jika } L > 30 \text{ m} : \\ q &= 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \end{aligned} \quad (3.18)$$

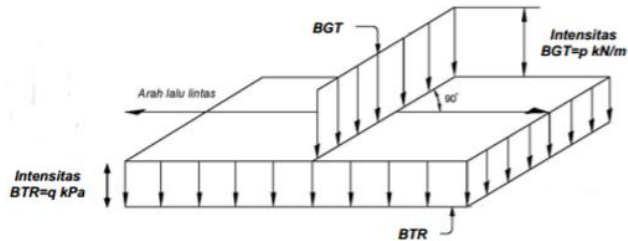
Keterangan:

q : Intensitas BTR dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L : Panjang total jembatan yang dibebani (m)

Beban garis terpusat (BGT) memiliki intensitas p kN/m yang harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas

pada jembatan. Besar intensitas p adalah $49,0 \text{ kN/m}$. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.5.

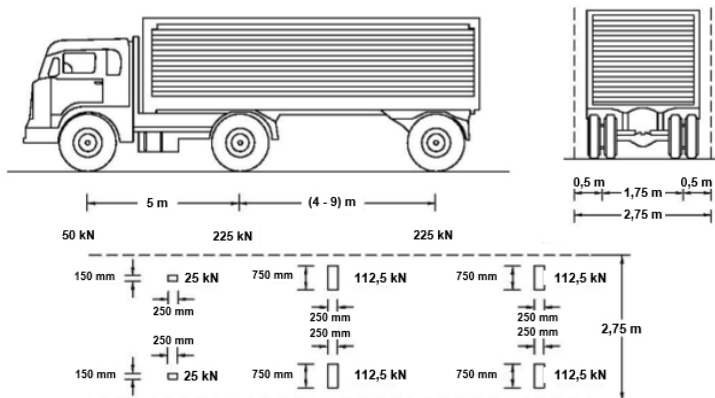


Gambar 3.5 Beban Lajur "D"

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban Truk "T"

Beban truk adalah satu kendaraan berat dengan tiga gandar yang ditempatkan di beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Beban truk digunakan untuk perhitungan struktur lantai dan tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban lajur "D". Pembebanan truk "T" dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Pembebanan Truk "T" 500 kN

Sumber: SNI 1725:2016

Adapun faktor beban yang digunakan untuk pembebanan truk dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^s)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^u)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 13 Pasal 8.4

3. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

25% dari berat gandar truk desain atau,

5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem harus ditempatkan di semua jalur rencana yang dimuati dannyang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini diasumsikan bekerja horisontal pada permukaan jalan arah longitudinal.

3.5.1.3 Beban Lingkungan Angin

Sesuai dengan SNI 1725:2016 tekanan angin yang ditentukan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 sampai 126 km/jam. Untuk jembatan yang lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan air laut, kecepatan angin rencana (V_{DZ}) harus dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$V_{DZ} = 2,5 \times V_0 \times \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \times \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.19)$$

Keterangan:

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

V_{10} : Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm

V_B : Kecepatan angin rencana 90 sampai 126 km/jam

Z : Elevasi struktur

V_0 : Kecepatan gesekan angin (Tabel 3.6)

Z_o : Panjang gesekan dihilu jembatan (Tabel 3.6)

Untuk nilai V_o dapat diperoleh dari:

Grafik kecepatan angin dasar untuk periode ulang

Survey angin pada lokasi jembatan

Jika tidak ada data, dapat diasumsikan 90 sampai 126 km/jam

Tabel 3.6 Nilai V_o dan Z_o untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_o (mm)	70	1000	2500

Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 28 Pasal 9.6.1

Jika tidak terdapat adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.20)$$

Keterangan:

P_B : Tekanan angin dasar seperti yang ditentukan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Tekanan Angin Dasar

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

Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 29 Pasal 9.6.1.1

3.5.2 Pembebanan Dinamis

Dalam suatu perencanaan jembatan harus diperhitungkan beban dinamis yang akan bekerja dalam hal ini yang dimaksudkan adalah beban gempa. Pada jembatan direncanakan dengan kemungkinan gempa terlampaui adalah 7% dalam 75 tahun. Berdasarkan SNI 1725:2016 beban gempa diambil sebagai gaya horisontal yang ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara koefisien *respon elastic* (C_{sm}) dan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d). Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$E_Q = \left(\frac{C_{sm}}{R_d} \right) \times W_t \quad (3.21)$$

Keterangan:

- E_Q : Gaya gempa horisontal statis (kN)
- C_{sm} : Koefisien respon gempa elastis
- R_d : Faktor modifikasi respon
- W_t : Berat total struktur yang terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Faktor modifikasi respon dapat diperoleh dari Tabel 6 RSNI 2833-2016. Sedangkan koefisien respon elastik diperoleh dari percepatan batuan dasar dan *spectra* percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien rencana yang diperoleh dari peta gempa harus dikalikan dengan faktor amplikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 di bawah ini.

Tabel 3.8 Faktor Modifikasi Respon (R_d) untuk Hubungan antar Elemen Struktur

Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8

Kolom, pilar atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan pondasi	1,0

Sumber: RSNI 2833:2016

Tabel 3.9 Faktor Modifikasi Respon (R_d) untuk Bangunan Bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Catatan:

Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

Sumber: RSNI 2833:2016

3.6 Perhitungan Kapasitas Struktur

3.6.1 Perhitungan Struktur Baja

Perhitungan struktur baja mengacu pada SNI 1729 2015.

1. Sifat Mekanis Baja

Sifat mekanis baja pada umumnya seperti pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 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 mekanis baja struktural lainnya yang dibutuhkan dalam perencanaan sebagai berikut:

Modulus elastisitas (E)	= 200.000 MPa
Modulus geser (G)	= 80.000 MPa
Angka poisson (μ)	= 0,3
Koefisien pemuaian (α)	= 12×10^{-6} per °C

2. Perencanaan Komponen Struktur

Struktur tarik

Mengacu pada SNI 1729 2015 Chapter D.

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

$$P_n = F_y A_g \quad (3.22)$$

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

- Untuk rupture pada penampang netto

$$P_n = F_u A_e \quad (3.23)$$

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

Struktur tekan

Mengacu pada SNI 1729 2015 Chapter E.

- Komponen struktur yang mengalami tekan harus memenuhi persyaratan berikut

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.24)$$

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

Dengan F_{cr} dihitung sebagai berikut

$$F_{cr} = Q \left[0.658^{Q F_y / F_e} \right] F_y \quad (3.25)$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{Q F_y}}$$

$$\frac{KL}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{Q F_y}}$$

$$F_{cr} = 0.977F_e \quad (3.26)$$

Dimana:

- F_e : Tegangan kritis tekuk elastis = $\pi^2 E / (KL/r)^2$
 Q : Faktor reduksi akibat kelangsingan elemen = A_{eff}/A
 K : Faktor panjang efektif
 L : Panjang bentang dari ribs
 r : Radius girasi = I_x/A

- Persyaratan kelangsingan
 Komponen tekan harus memenuhi persyaratan kelangsingan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{LK}{r} \leq 140 \quad (3.27)$$

Rasio lebar tebal elemen penampang λr dapat dilihat pada Tabel B4.1a SNI 1729 2015.

Struktur lentur

Perhitungan struktur lentur mengacu pada SNI 1729 2015 Chapter F. Kekuatan desain elemen struktur lentur harus memenuhi persamaan berikut:

$$M_r \leq M_c = \phi M_n \text{ (LRFD)} \quad (3.28)$$

$$M_r \leq M_c = M_n / \Omega \text{ (ASD)} \quad (3.29)$$

Dimana:

- M_r : *Momen required* (kapasitas akibat gaya dalam)
 M_c : *Momen capacity* (kapasitas tahanan momen elemen struktur)
 M_n : Momen nominal (dihitung berdasarkan kriteria masing-masing penampang sesuai dengan klasifikasi pada Tabel F1.1 SNI 1729 2015 dan diatur pada Chapter F)

Struktur geser

Perhitungan struktur geser secara keseluruhan diatur dalam SNI 1729 2015 Chapter G dengan kriteria desain geser sebagai berikut:

$$V_r \leq V_c = \phi V_n \text{ (LRFD)} \quad (3.30)$$

$$V_r \leq V_c = V_n / \Omega \text{ (ASD)} \quad (3.31)$$

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

3.6.2 Perhitungan Struktur Beton

Perhitungan struktur beton pada *pylon* mengacu pada SNI 2847 2013. *Pylon* didesain menggunakan pertimbangan gaya aksial dan lentur menggunakan metode interaksi.

1. Analisa Struktur Tekan

Desain kekuatan struktur lentur dan aksial komponen tekan pada *pylon* diatur pada Pasal 10.3.6.1 sebagai berikut:

$$\phi P_{n(\max)} = 0,8\phi [0,85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3.32)$$

Sedangkan dalam perencanaan kolom dibagi menjadi dua jenis, yaitu kolom pendek dan kolom langsing. Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila persamaan berikut terpenuhi:

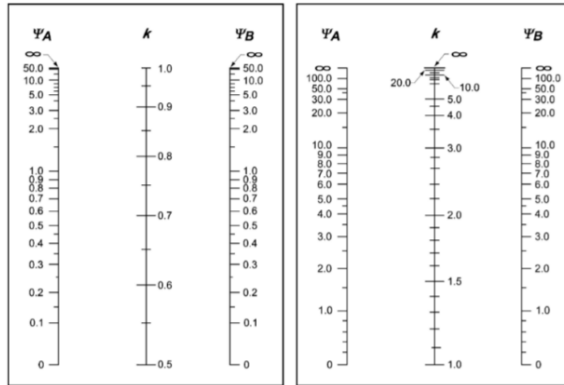
$$\frac{Kl_u}{r} \leq 22 \quad (3.33)$$

Dimana

l_u : panjang bebas komponen tekan

r : jari-jari girasi penampang kolom

k : faktor panjang efektif yang ditentukan dari Gambar 3.7.



Rangka tidak bergoyang Rangka bergoyang
 Gambar 3.7 Faktor Panjang Efektif (k)

Sumber: SNI 2847 2013

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.

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c} < 0,05 \quad (3.34)$$

Dimana:

$\sum P_u$: 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

Kolom tak bergoyang

Untuk struktur tak bergoyang, perbesaran momen dihitung berdasarkan Pasal 10.10.6 SNI 2847 2013 sebagai berikut:

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2 \quad (3.35)$$

Dimana:

- M_c : momen terfaktor yang diperbesar
 M_2 : momen terfaktor
 δ_{ns} : faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} > 1,0 \quad (3.36)$$

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

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) > 0,4 \quad (3.37)$$

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

Kolom bergoyang

Untuk struktur bergoyang, perbesaran momen dihitung berdasarkan Pasal 10.10.7 SNI 2847 2013 sebagai berikut:

Momen M_1 dan M_2 diujung komponen harus diambil sebesar:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (3.38)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad (3.39)$$

Dimana nilai δ_s dihitung sebagai berikut:

$$\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1 \quad (3.40)$$

Apabila nilai δ_s meelbihi 1,5 maka dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1 \quad (3.41)$$

Untuk mempermudah analisis perhitungan tulangan kolom digunakan program bantu PCACol.

2. Persyaratan Tulangan Memanjang Kolom

Ketentuan luas tulangan memanjang kolom diatur dalam Pasal 21.6.3 SNI 2847 2013 sebagai berikut:

$$0,01A_g \leq A_{st} \leq 0,06A_g \quad (3.42)$$

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

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

3. Ketentuan Tulangan Senggang

Ukuran tulangan sengkang atau spiral tidak boleh kurang dari ketentuan berikut. Jarak antar sengkang atau spiral tidak melebihi harga terkecil dari:

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

4. Desain Tulangan Geser *Pylon*

Kekuatan geser untuk struktur *pylon* direncanakan sebagai berikut:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3.43)$$

Kekuatan geser nominal dihitung sebagai berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.44)$$

V_c dan V_s pada struktur yang dibebani tekan aksial dihitung sebagai berikut:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b w d \quad (3.45)$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3.46)$$

Jarak antar tulangan geser maksimum dihitung sebagai berikut:

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

5. Desain Tulangan Torsi Pylon

Pengaruh torsi dapat diabaikan apabila momen torsi terfaktor kurang dari:

$$\phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{Nu}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f_c'}}} \quad (3.47)$$

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

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f_c'} \right) \quad (3.48)$$

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

$$\phi T_n \geq T_u \quad (3.49)$$

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (3.50)$$

6. lala

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

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk torsi diambil sebesar:

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{y1}}{f_{yt}} \cot^2 \theta \quad (3.51)$$

3.7 Analisa Perilaku Dinamis

Perilaku aerodinamis pada jembatan gantung terjadi akibat adanya angin dengan kecepatan tertentu sehingga perlu dilakukan analisa dan kontrol. Analisa stabilitas ini meliputi *vortex-shedding* dan *flutter*. Pada perencanaan sebenarnya dibutuhkan *wind tunnel test* atau uji terowongan angin.

3.7.1 Frekuensi Alami

Frekuensi alami yang dihitung yaitu frekuensi lentur (f_B) dan frekuensi torsi (f_r). Menurut Walther (1999), frekuensi alami dari struktur yang mempunyai sag dari parabola, yaitu:

$$f_B = \frac{1,11}{f_{0,5}} \quad (3.52)$$

Sedangkan frekuensi alami torsi yaitu:

$$f_r = \frac{b}{2r} f_B \quad (3.53)$$

Dimana:

- b : Jarak melintang antar kabel
- r : Jari-jari girasi dari penampang lantai kendaraan

3.7.2 Efek *Vortex-Shedding*

Pada kecepatan angin tertentu atau yang disebut kecepatan kritis akan terjadi *vortex-shedding*. Menurut Walther (1999) untuk memperoleh nilai percepatan kritis tersebut, digunakan persamaan Angka Strouhal (S) sebagai berikut:

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (3.54)$$

Dimana:

- S : Angka Strouhal
- f_B : Frekuensi alami lentur balok
- h : Tinggi lantai kendaraan
- V : Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

3.7.3 Angka Reynold

Akibat kecepatan angin yang dihitung berdasarkan dari angka Strouhal. Angka Reynold (Re) harus diantara $10^5 - 10^7$. Persamaan yang digunakan:

$$Re = \frac{V \cdot B}{\nu} \quad (3.55)$$

Dimana:

- V : Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal
- B : Lebar lantai kendaraan
- ν : Viskositas kinematic udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{detik}$)

Akibat terpaan angin akan terjadi uplift atau gaya angkat yang besarnya:

$$F_o = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \times C \times h \quad (3.56)$$

Dimana:

- F_o : Gaya angkat
- ρ : Berat volume udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)
- V : Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal
- C : Koefisien gaya angkat dari lantai kendaraan didapat dari grafik
- h : Tinggi lantai kendaraan

Gaya angkat akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\tilde{v} = \frac{\pi \cdot F_o}{\delta \cdot m} \times v \quad (3.57)$$

Dimana:

- F_o : Gaya angkat
- \tilde{v} : Amplitudo osilasi

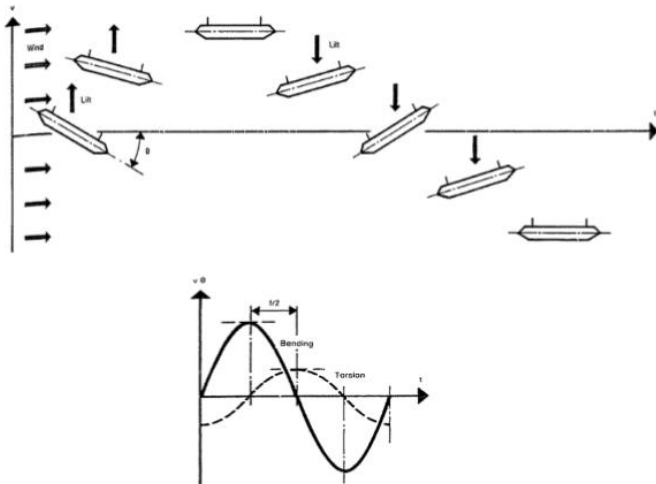
- δ : Penurunan logaritmik (koefisien peredaman sekitar 0,05)
 v_{max} : Deformasi statis maksimum karena berat sendiri dalam arah yang ditinjau
 m : Berat sendiri lantai kendaraan per meter panjang

3.7.4 Efek Flutter

Flutter adalah vibrasi yang timbul akibat adanya elemen yang bergerak melengkung akibat beban aerodinamis. Fenomena efek ayunan terjadi pada kecepatan kritis akan menimbulkan ayunan lentur (f_B) dan ayunan torsi (f_T). Akibat ayunan lentur dan ayunan torsi yang tidak bersamaan akan menimbulkan efek buruk pada struktur. Sehingga desain yang ideal harus memiliki perbandingan dari keduanya dengan perbedaan fase sebesar $\pi/2$ detik. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.8.

Perbandingan angka fatik yang diijinkan terjadi yaitu:

$$\frac{f_b}{f_t} = 2,5 \quad (3.58)$$



Gambar 3.8 Efek Ayunan dengan Beda Fase $\pi/2$ (Walther, 1999)

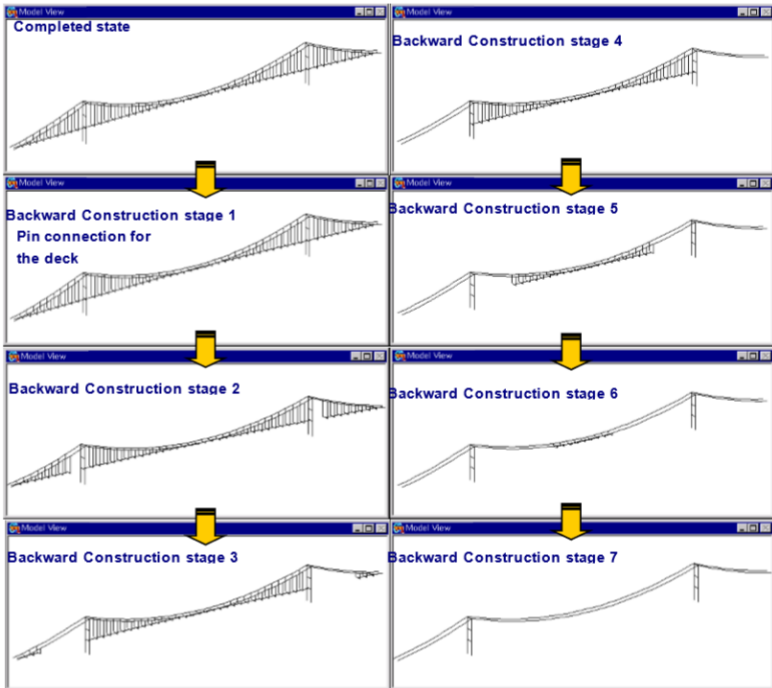
3.8 Kontrol Stabilitas

Analisa permodelan struktur secara keseluruhan dan adanya analisa perilaku dinamis dilakukan dengan bantuan *software* MIDAS.

3.9 Staging Analysis

Pada tahap ini dilakukan perhitungan analisa terhadap metode pelaksanaan konstruksi jembatan gantung. Dimulai dari keadaan final sampai melepas perbagian dari jembatan sesuai dengan tahapan pelaksanaan. Semua tahapan tersebut dilakukan analisa untuk memperoleh gaya per tahapan dan memperhitungkan kekuatan struktur tersebut.

Metode *staging analysis* yang digunakan adalah *Backward Contruction Stage Analysis*. Metode ini merupakan analisa yang akurat dengan memperhatikan gaya batang di awal sebagai refleksi dari perilaku angkur jembatan gantung pada kabel yang dikenakan kepada gaya aksial di lantai kendaraan. Metode *stage analysis* yang sama dapat diaplikasikan kepada angkur jembatan gantung seperti penambahan kabel penggantung dan metode konstruksi *jack-down*. *Stage analysis* akan dilakukan seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Backward Construction Stage Analysis (Sumber: Midasoft.com)

3.10 Penyusunan Gambar Kerja

Penyusunan gambar kerja menggunakan program bantu AutoCad. Susunan gambar yang akan disusun antara lain:

- Denah jembatan
- Potongan melintang dan memanjang
- Penulangan *pylon*
- Detail kabel
- Detail *orthotropic deck*
- Sambungan
- Detail angkur

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

Sebelum melakukan analisa struktur sekunder maupun struktur utama pada perencanaan, diperlukan *preliminary design* untuk menentukan taksiran dimensi awal masing-masing komponen. *Preliminary design* dibagi menjadi *preliminary design* geometrik jembatan dan *preliminary design* elemen struktur. *Preliminary design* geometrik ditentukan dengan pertimbangan kondisi eksisting dan persyaratan dimensi geometrik jembatan. *Preliminary design* elemen struktur ditentukan berdasarkan ketentuan dan peraturan yang ada. Pada dimensi elemen struktur akan dilakukan analisa selanjutnya dan apabila dimensi tidak memenuhi syarat kemampuan struktur maka dimensi dapat dirubah seperlunya.

4.1.1 Preliminary Design Geometrik Jembatan

4.1.1.1 Panjang Total Jembatan

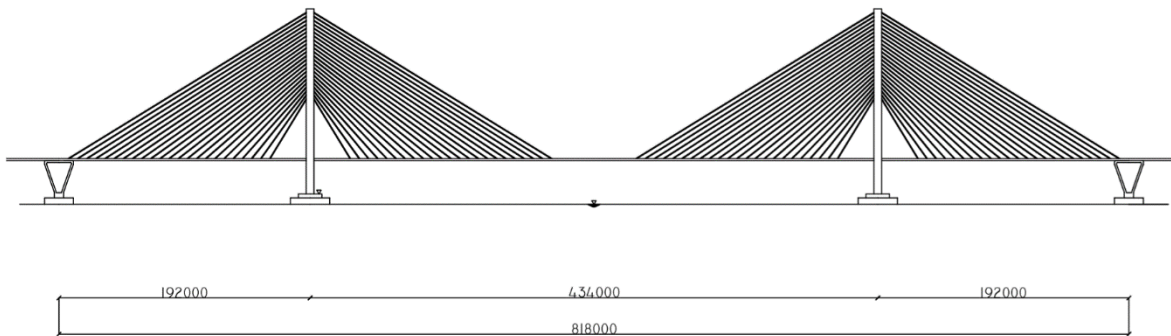
Penentuan panjang total jembatan mempertimbangkan kondisi jembatan eksisting. Pertimbangan tersebut juga meliputi penempatan posisi *pylon*.

a. Kondisi eksisting jembatan

Panjang total jembatan eksisting : 818 m

Jarak antar pylon : 434 m

Layout jembatan eksisting dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Long Section* Jembatan Eksisting

b. Perencanaan layout memanjang jembatan

Dengan kondisi eksisting seperti pada Gambar 4.1 maka direncanakan jembatan gantung dengan panjang bentang tengah (*mid span*) dan jarak antar *pylon* sepanjang $L = 800$ m. panjang bentang. Sedangkan panjang bentang sisi jembatan (*side span*) direncanakan dengan perbandingan (0,17–0,5) dari bentang tengah. Sehingga diperoleh panjang bentang sisi jembatan (*side span*) sepanjang $l = 200$ m disetiap sisinya.

4.1.1.2 Lebar Total Jembatan

Lebar total jembatan direncanakan sesuai dengan lebar total jembatan eksisting yaitu sebesar $B = 30$ m. Sisi samping selebar 1 meter digunakan untuk pengangkuran kabel penggantung. Pembagian jalur seperti berikut:

- 4 lajur mobil (@ 3,25 m)
- 2 lajur darurat (@ 3,25 m)
- 2 lajur sepeda motor (@ 2,85 m)

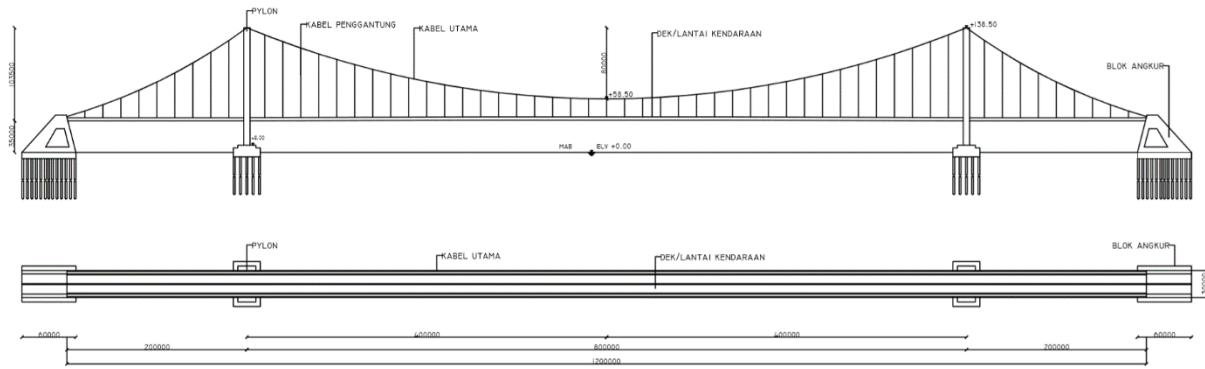
4.1.1.3 Tinggi Dip dan Pylon

Perencanaan tinggi dip menggunakan perbandingan 1/10 dari bentang tengah jembatan. Sehingga diperoleh tinggi dip/sag sebesar $d = 80$ m. Maka untuk tinggi *pylon* direncanakan sebesar $h = 100$ m dihitung dari dasar lantai kendaraan.

4.1.1.4 Lebar Kabel Utama

Perencanaan lebar kabel utama direncanakan dengan perbandingan 0,018 – 0,05 dari bentang tengah jembatan. Pemasangan kabel penggantung direncanakan memiliki sudut untuk menambah reaksi horisontal pada kabel utama. Sudut yang digunakan pada kabel penggantung sebesar $1,2^\circ$ terhadap sumbu vertikal. Sehingga diperoleh lebar kabel utama sebesar $b = 34,2$ m dan masih berada pada batas yang ditentukan.

Perencanaan geometrik jembatan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Long Section* dan Denah Jembatan Gantung

4.1.2 Preliminary Design Elemen Struktur

4.1.2.1 Dimensi Orthotropic Box Girder

Pada perencanaan ini digunakan *steel orthotropic girder* dengan model *single trapezoidal stiffening girder*. Model ini dipilih untuk meningkatkan kekakuan torsi pada dek/lantai kendaraan. Peraturan yang digunakan mengacu pada AISC 1963 "Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridge".

1. Tinggi Gelagar

Perencanaan tinggi gelagar untuk jenis lantai kendaraan *orthotropic box girder* dengan bentang tengah 800 m dilakukan dengan melakukan perbandingan terhadap jembatan gantung yang telah ada. Perbandingan jembatan gantung yang digunakan adalah The 3rd Carquinez Strait Bridge, San Francisco dengan spesifikasi:

Panjang bentang tengah jembatan = 728 m

Tinggi gelagar = 3 m

Maka dengan perbandingan tersebut diperoleh desain tinggi gelagar untuk jembatan gantung sebesar 3,5 m.

2. Rusuk (*Ribs*)

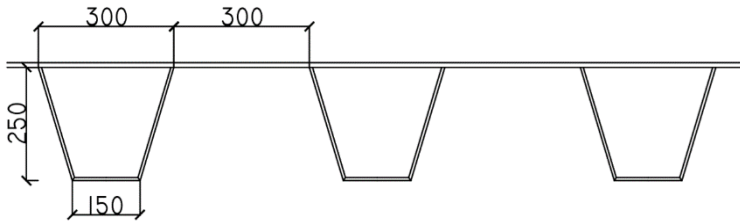
Ribs yang digunakan adalah tipe *closed ribs* berbentuk *trapezoidal*. Jarak antara *floor beam* adalah sebesar 5 m. Dimensi awal *ribs* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dengan spesifikasi:

Tinggi *closed ribs* = 250 mm

Lebar sisi atas = 300 mm

Lebar sisi bawah = 150 mm

Jarak antar *ribs* (a) = 300 mm (diukur dari sisi luar)



Gambar 4.3 Dimensi Awal *Ribs* (dalam mm)

3. Tebal Pelat Lantai Kendaraan

Ketebalan tebal pelat lantai kendaraan harus memenuhi persamaan:

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

$$a = 300 \text{ mm (11,81 in)}$$

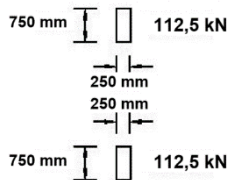
$$T = 112,5 \text{ kN (25,29 kips)}$$

$$\text{Ketebalan aspal, } t = 100 \text{ mm}$$

Perhitungan beban akibat satu ban truk dengan dimensi:

$$bo = 750 \text{ mm}$$

$$do = 250 \text{ mm}$$



Gambar 4.4 Dimensi Ban Truk

$$A = (bo + t)(do + t)$$

$$A = (750 + 100)(250 + 100)$$

$$A = 297500 \text{ mm}^2 (461,126 \text{ in}^2)$$

$$p = \frac{T}{A} = \frac{25290}{461,126} = 54,84 \text{ psi (0,378 MPa)}$$

Diperoleh

$$tp \text{ (in)} \geq 0,0065 \cdot 11,81 \sqrt[3]{54,84} = 0,29 \text{ in} = 7,41 \text{ mm}$$

Maka direncanakan $t_p = 16 \text{ mm}$
 Sesuai dengan dimensi pelat baja yang tersedia

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

$$w_{\text{ijin}} = \frac{a}{300} = \frac{300}{300} = 1 \text{ mm}$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{1}{12} t_p^3 = \frac{1}{12} 16^3 = 341,3 \text{ mm}^3$$

$$w = \frac{5}{6} \frac{1}{384} \frac{p \cdot a^4}{EI}$$

$$w = \frac{5}{6} \frac{1}{384} \frac{0,469 \cdot 300^4}{2 \cdot 10^5 \cdot 341,3}$$

$$w = 0,121 \text{ mm} > w_{\text{ijin}}$$

[Memenuhi]

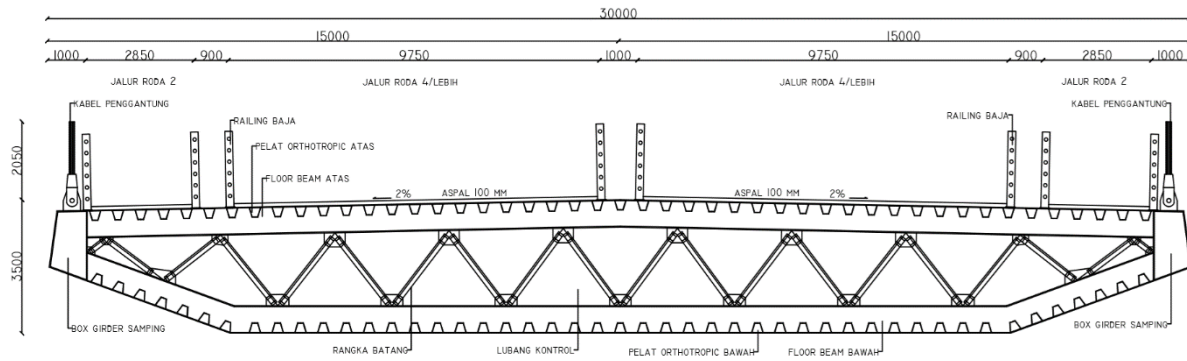
4. Dimensi *Floor Beam*

Floor beam atau gelagar melintang direncanakan menggunakan pelat dengan sambungan las berbentuk T yang juga dilas dengan pelat lantai dengan tinggi balok (d) direncanakan:

$$d \geq \frac{B}{38} = \frac{30}{38} = 0,78 \text{ m}$$

Maka digunakan pelat berbentuk T dengan dimensi 800.300.14.26.

Gambar *preliminary design* untuk dek/lantai kendaraan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.5 Cross Section Dek Jembatan dengan Sistem Orthotropic Box Girder

4.1.2.2 Konfigurasi dan Dimensi Kabel

Konfigurasi yang direncanakan untuk jembatan gantung adalah side span suspended yang simetris.

1. Konfigurasi Kabel Penggantung

Jarak antar kabel penggantung direncanakan sebesar 20 m yang mengacu pada Pasal 4.4.3 SEM PU Nomor 08/SE/M/2015 yang berbunyi untuk gelagar dengan material baja jarak kabel direncanakan antara 15 – 25 m.

2. Dimensi Kabel Penggantung

Terdapat dua spesifikasi kabel parallel VSL *7-wire strand* yang digunakan seperti pada Tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Mutu Kabel

Standart	ASTM A 416-06 Grade 270	Euronorme 138-3
Ø (mm)	15,2	15,7
As (mm ²)	140	150
Fu (f _{ijin} =0,7fu) (MPa)	1860 (1302)	1770 (1239)
Ukuran angkur	7, 12, 19, 31, 37, 61 dan 91 strand	

Menurut RSNI T-03-2005 Pasal 12.6 kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm². Maka dalam perencanaan digunakan kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270.

a. Pembebanan

Beban Mati (DL)

Berdasarkan SEM PU Nomor 08/SE/M/2015 Pasal 4.6.3 memberikan estimasi awal berat gelagar jembatan. Gelagar box baja dapat ditentukan dalam kisaran 2,5 s/d 3,5 kN/m².

$$\begin{aligned}
 \text{Berat box girder} &= 3 \text{ kN/m}^2 \times B \times 1,1 \times 0,5 \\
 &= 3 \times 30 \times 1,1 \times 0,5 \\
 &= 49,5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat utilitas (30\%)} &= 49,5 \text{ kN/m} \times 0,3 \times 1,1 \times 0,5 \\
 &= 8,167 \text{ kN/m} \\
 \text{Berat aspal 10 cm} &= 22 \text{ kN/m}^3 \times B \times t \times 0,5 \\
 &= 22 \times 30 \times 0,10 \times 0,5 \\
 &= 33 \text{ kN/m} \\
 \text{Total DL} &= 90,667 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL)

$$\begin{aligned}
 q \text{ BTR} &= 9 \text{ kN/m}^2 \times B \times 0,5 \times (1 + \text{FBD}) \\
 &= 9 \text{ kN/m}^2 \times 30 \times 0,5 \times (1 + 30\%) \\
 &= 175,5 \text{ kN/m} \\
 p \text{ BGT} &= 49 \text{ kN/m} \times B \times 0,5 \times (1 + \text{FBD}) \\
 &= 49 \text{ kN/m} \times 30 \times 0,5 \times (1 + 30\%) \\
 &= 955,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka pembebanan total untuk satu kabel penggantung yaitu lantai kendaraan sepanjang 20 m.

$$\begin{aligned}
 \text{DL} &= 90,667 \text{ kN/m} \times 20 = 1813,34 \text{ kN} \\
 q \text{ BTR} &= 175,50 \text{ kN/m} \times 20 = 3510 \text{ kN} \\
 p \text{ BGT} &= 955,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan dimensi kabel

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

Dimana:

$$\begin{aligned}
 P_{ni} &= \text{beban total yang bekerja pada dek (kN)} \\
 f_{ni} &= \text{tegangan ijin kabel netto (kN/m}^2\text{)} \\
 Asc &= \text{luas penampang kabel (mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

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

$$Asc = \frac{DL + q \text{ BTR} + p \text{ BGT}}{f_{ni}}$$

$$Asc = \frac{(1813,34 + 3510 + 955,5) \times 1000 \text{ N}}{1302 \text{ MPa}}$$

$$\text{Asc} = 4822,456 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah strand (n)} = \frac{\text{Asc}}{\text{As}} = \frac{4822,456}{140} = 34,5 \text{ strand}$$

Maka digunakan kabel penggantung dengan tipe ASTM 416-06 Grade 270 yang di *supply* oleh VSL SSI 2000 dengan spesifikasi:

$$\begin{aligned} \text{Diameter strand, } \varnothing &= 15,2 \text{ mm} \\ \text{Luasan, As} &= 140 \text{ mm}^2 \\ \text{Jumlah strand, n} &= 37 \text{ buah} \end{aligned}$$

4.1.2.3 Struktur Pylon

Spesifikasi material *pylon* yang direncanakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Material} &= \text{Beton bertulang} \\ f_c' &= 60 \text{ MPa} \\ f_y &= 420 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Preliminary struktur *pylon* ditentukan berdasarkan perbandingan dengan jembatan gantung yang telah ada dengan panjang bentang yang hampir sama. Oleh karena itu direncanakan dimensi *pylon* sebesar:

$$\begin{aligned} b &= 5000 \text{ mm} \\ h &= 6500 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.2 Desain Struktur Sekunder

Struktur sekunder pada desain jembatan gantung ini adalah desain *railing* jembatan. *Railing* terletak pada sisi jalur roda dua dan jalur darurat. Desain *railing* mengacu kepada SNI 1725-2016 dan AASHTO. Struktur sekunder tidak melalui tahap analisa bersama dengan struktur utama. Karena struktur sekunder tidak begitu berpengaruh pada perilaku struktur utama, sehingga dilakukan analisa secara terpisah.

4.2.1 Railing

4.2.1.1 Perencanaan *Railing*

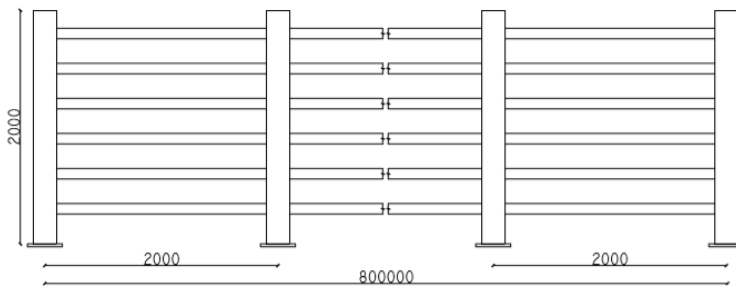
1. Spesifikasi Mutu

Spesifikasi mutu yang digunakan pada perencanaan *railing* jembatan adalah BJ 50, dengan spesifikasi sebagai berikut:

F_y	= 290	MPa
F_u	= 500	MPa
E	= 200000	MPa

2. Perencanaan Dimensi *Railing*

Perencanaan dimensi *railing* dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6 *Long Section Rencana Railing*



Gambar 4.7 *Cross Section Rencana Railing*

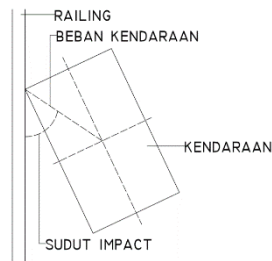
3. Perencanaan Pembebanan *Railing*

Perencanaan *railing* mengacu pada AASHTO *Manual Assessing Safety Hardware* (MASH) 2009 yang juga menjadi acuan perencanaan *railing* pada SNI 1725-2016. Dalam AASHTO beban diklasifikasikan menjadi 6 jenis *test level* yang ditentukan berdasarkan jenis kendaraan dan kecepatan kendaraan yang melintas. Pada perencanaan jembatan gantung ini *railing* didesain mampu menahan beban rencana pada *test level* 4 yaitu untuk kendaraan terbesar adalah *single unit truck* dengan spesifikasi pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 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	Passenger car	2420	1097,7	62	27,711	25
	4 11	Pickup truck	5000	2268,0	62	27,711	25
	4 12	Single unit truck	22000	9979,2	56	25,029	15

Sedangkan untuk skematika pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.8 Skema Pembebanan pada *Railing*

4. Perencanaan Dimensi Profil

Batang horisontal didesain menggunakan profil *circular hollow* D 3,5” dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Spesifikasi *Circular Hollow D 3,5"*

D	ts	w	A	I	S	r
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
88,9	4	8,38	10,7	96,3	28,9	3

Batang vertikal atau tiang sandaran didesain menggunakan profil *rectangular hollow* 200.200.8 dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Spesifikasi *Rectangular 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

4.2.1.2 Pembebanan Railing

Untuk analisa struktur dilakukan menggunakan bantuan *software* SAP2000. Hal ini diharapkan dapat memberikan hasil perhitungan yang lebih akurat.

Beban Mati (DL)

Beban mati akan diperhitungkan secara otomatis oleh SAP2000 saat dilakukan permodelan. *Software* akan memperhitungkan beban mati sesuai dengan dimensi dan spesifikasi mutu yang di *input* kan dengan menggunakan faktor pembesaran 1,1 karena berupa material baja sesuai dengan Tabel 3 SNI 1725-2016.

Beban Hidup (LL)

Beban hidup merupakan beban tumbukan kendaraan sesuai dengan SNI 1725-2016 yang mengacu pada AASHTO MASH 2009. Besar beban dianalisa menggunakan:

$$F = m \cdot a$$

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

Waktu tumbukan diasumsikan terjadi dalam 1 detik dan railing direncanakan cukup kuat sehingga v_2 adalah 0. Maka diperoleh perumusan:

$$a = \frac{v_1 - 0}{1} = v_1 \text{ m/s}^2$$

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

Maka besar beban hidup yang diakibatkan oleh setiap tipe kendaraan adalah:

$$F_1 = m_1 \cdot a_1 = 1097,71 \cdot 27,71 = 30418,21 \text{ N}$$

$$F_2 = m_2 \cdot a_2 = 2268 \cdot 27,71 = 62847,54 \text{ N}$$

$$F_3 = m_3 \cdot a_3 = 9979,2 \cdot 25,03 = 249768,29 \text{ N}$$

Besar beban bersudut yang terjadi pada *railing* akan diproyeksikan berdasarkan sudut tumbukan yang terjadi menjadi gaya pada sumbu sejajar (aksial) dan pada sumbu tegak lurus *railing*.

Proyeksi pada sumbu sejajar (aksial) dengan rumus

$$P_{na} = F_n \cdot \cos \theta$$

$$P_{1a} = 30418,21 \cdot \cos 25 = 27568,26 \text{ N}$$

$$P_{2a} = 62847,54 \cdot \cos 25 = 56959,21 \text{ N}$$

$$P_{3a} = 249768,29 \cdot \cos 15 = \mathbf{241257,64 \text{ N}}$$

Proyeksi pada sumbu tegak lurus dengan rumus

$$P_{nv} = F_n \cdot \sin \theta$$

$$P_{1v} = 30418,21 \cdot \sin 25 = 12855,29 \text{ N}$$

$$P_{2v} = 62847,54 \cdot \sin 25 = 26560,52 \text{ N}$$

$$P_{3v} = 249768,29 \cdot \sin 15 = \mathbf{64644,79 \text{ N}}$$

Maka diperoleh beban terbesar pada sumbu sejajar dan tegak lurus railing dan beban akan dibagi merata pada 6 batang horisontal. Beban di setiap batang horisontal sebesar:

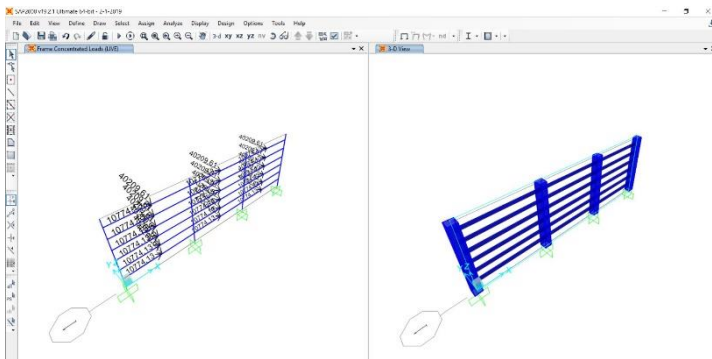
$$P_a = \frac{241257,64}{6} = 40209,61 \text{ N} = 40,2096 \text{ kN}$$

$$P_v = \frac{64644,79}{6} = 10774,13 \text{ N} = 10,7741 \text{ kN}$$

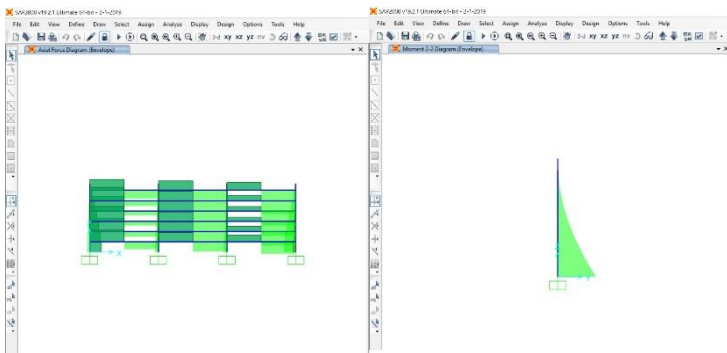
4.2.1.3 Permodelan SAP2000

1. Permodelan Struktur

Permodelan menggunakan SAP2000 dilakukan dengan mengambil 3 segmen pada struktur *railing* yaitu sepanjang 6 meter. Permodelan struktur dan beban dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Konfigurasi Beban Railing



Gambar 4.10 Output Gaya Aksial dan Momen

2. Hasil Analisa SAP2000

Pada Tabel 4.5 di bawah ini merupakan rekapitulasi gaya yang terjadi akibat beban yang bekerja pada railing.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Gaya Dalam yang Terjadi

No	Jenis Batang	Jenis Gaya Dalam		
		Axial	Moment	Geser
		N	N-mm	N
1	Horizontal 1	6126,03	11022664,2	20330,41
2	Horizontal 2	7629,29	10977968,3	20434,7
3	Horizontal 3	8296,17	10888155,2	20831,55
4	Horizontal 4	8337,22	10752342,6	21051,98
5	Horizontal 5	7808,28	10569149,9	21054,21
6	Horizontal 6	6694,15	10433859,57	20770,52
7	Vertikal	6830,11		
	Momen x (M3)		39779998,82	44891,15
	Momen y (M2)		72157729	117235,5

4.2.1.4 Kontrol Kekuatan Batang Horizontal

1. Kontrol Kapasitas Lentur

Kelangsingan batang: [SNI 1729:2015 Tabel B4.1b]

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{88,9}{4} = 22,225 < \lambda_p = 0,07 \frac{E}{f_y} = 48,28$$

[Penampang kompak]

Momen nominal: [SNI 1729:2015 Chapter F8]

$$Z_x = \frac{4}{3}(D^3 - (D - t)^3)$$

$$Z_x = \frac{4}{3}(88,9^3 - (88,9 - 4)^3)$$

$$Z_x = 120847,09 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot f_y \\M_n &= 120847,09 \cdot 290 \\M_n &= 35045657,07 \text{ Nmm} \\M_n &= 35,045 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_c &= 0,9 \cdot M_n \\M_c &= 0,9 \cdot 35,045 \text{ kNm} \\M_c &= 31,541 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Momen terbesar yang terjadi pada batang horisontal adalah:

$$\begin{aligned}M_r &= 11022664,2 \text{ Nmm} \\M_r &= 11,023 \text{ kNm} < M_c = 31,541 \text{ kNm} \\& \mathbf{[Memenuhi]}$$

2. Kontrol Kapasitas Tekan
Kontrol kelangsingan komponen struktur tekan

$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{1 \cdot 2000}{30} = 66,67 < 140$$

[Memenuhi]

Kontrol rasio lebar-tebal elemen penampang

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{88,9}{4} = 22,225 < \lambda_r = 0,11 \frac{E}{f_y} = 75,862$$

[Memenuhi]

Kontrol tekan nominal akibat tekuk lentur: [SNI 1729:2015 Chapter E3]

$$\frac{KL}{r} = 66,67 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 123,691$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{66,67^2} = < 444,132$$

$$\frac{f_y}{F_e} = 0,653 < 2 \text{ [Elastis]}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{22,225}{\pi} \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,269 < 1,5$$

Maka

$$F_{cr} = [0,685^{f_y/F_e}] \cdot f_y = [0,685^{0,653}] \cdot 290$$

$$F_{cr} = 226,522 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 226,522 \cdot 1070 = 242378,73 \text{ N}$$

$$P_c = \phi \cdot P_n = 0,9 \cdot 242,379 = 218,141 \text{ kN}$$

Gaya aksial terbesar yang terjadi pada batang horisontal adalah:

$$P_r = 8337,22 \text{ N}$$

$$P_r = 8,337 \text{ kN} < P_c = 218,141 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

3. Interaksi Aksial Lentur

Interaksi dihitung berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter H1

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{8,337}{218,141} = 0,038 < 0,2 \text{ [Rumus Interaksi 2]}$$

Maka

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} = \frac{8,337}{218,141} + \frac{11,023}{31,541} = 0,387 < 1$$

[Memenuhi]

4.2.1.5 Kontrol Kekuatan Batang Vertikal

1. Kontrol Kapasitas Lentur

Kontrol kelangsingan

Pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200}{9} = 25 < \lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 29,413$$

[Penampang kompak]

Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{200}{9} = 25 < \lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 63,552$$

[Penampang kompak]

Momen Nominal LRFD

$$M_n = Z_x \cdot fy$$

$$M_n = 442624 \cdot 290$$

$$M_n = 128360960 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 128,361 \text{ kNm}$$

$$M_c = 0,9 \cdot M_n$$

$$M_c = 0,9 \cdot 128,361 \text{ kNm}$$

$$M_c = 115,525 \text{ kNm}$$

Momen ultimate pada tiang sandaran adalah:

$$M_r = M_{ux} = 72157729 \text{ Nmm}$$

$$M_r = 72,158 \text{ kNm} < M_c = 115,525 \text{ kNm}$$

[Memenuhi]

4.2.1.6 Sambungan Batang Horisontal dan Vertikal

Pada sambungan antara batang horisontal dan vertikal digunakan las bersudut (*fillet*) dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\text{Mutu las, E70xx} = 482 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal las minimum} = 3 \text{ mm [SNI T 03 2005 Tabel 15]}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal las rencana, } t_w &= 3 \text{ mm} \\
 \text{Tebal las efektif, } w &= 0,707 \cdot 3 = 2,121 \text{ mm} \\
 \text{Panjang efektif las, } L_w &= \pi \cdot D = \pi \cdot 88,9 = 279,29 \text{ mm} \\
 \text{Gaya geser, } R_r &= 21054,21 \text{ N} = 21,054 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Gaya geser nominal terfaktor} \\
 R_c &= 0,75 \times w \times L_w \times 0,6 \times F_{exx} \\
 R_c &= 0,75 \times 3 \times 279,29 \times 0,6 \times 482 \\
 R_c &= 128484,83 \text{ N} \\
 R_c &= 128,484 \text{ kN} > R_r = 21,054 \text{ kN} \\
 &\text{[Memenuhi]}
 \end{aligned}$$

4.2.1.7 Sambungan pada *Base Plate*

Pada sambungan antara *base plate* dan tiang sandaran diberikan pelat pengaku untuk membantu menahan momen pada *joint* ini. Pengaku yang direncanakan memiliki spesifikasi:

$$\begin{aligned}
 &\text{Dimensi pengaku} \\
 b_s &= 8 \text{ mm} \\
 h_s &= 50 \text{ mm} \\
 n &= 2 \text{ buah pengaku di setiap sisi tiang sandaran}
 \end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada sambungan antara *base plate* dan tiang sandaran adalah:

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

$$\begin{aligned}
 \phi P_p &= 0,85 \cdot A_g \cdot f_y \\
 \phi P_p &= 0,85 \cdot 2 \cdot 400 \cdot 290 \\
 \phi P_p &= 197200 \text{ N} \\
 e_1 &= h_s/2 = 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$e_2 = \frac{(tb^2) + (t(h-2t)(b-0,5t)) + 2 b_s h_s (b + 0,5h_s)}{tb + t(h-2t) + 2 b_s h_s}$$

$$e_2 = \frac{501472}{3872}$$

$$e_2 = 129,512 \text{ mm}$$

$$T_w = \frac{M_u - \phi P_p \cdot e_1}{e_2}$$

$$T_w = \frac{72157729 - 197200 \cdot 25}{129,512}$$

$$T_w = 519083,352 \text{ N}$$

Tebal pengelasan

Mutu las, E70xx = 482 Mpa

Panjang efektif las, $L_w = b + 4h_s + 4h_s + 2b_s$
= 616 mm

$$T_w = 0,75 \times w \times L_w \times 0,6 \times F_{exx}$$

$$w = \frac{T_w}{0,75 \times L_w \times 0,6 \times F_{exx}}$$

$$w = \frac{519083,352}{519083,352}$$

$$w = \frac{519083,352}{0,75 \times 616 \times 0,6 \times 482}$$

$w = 3,885 \text{ mm}$ (tebal las efektif)

$$t_w = \frac{3,885}{0,707} = 5,49 \text{ mm (tebal las rencana)}$$

maka direncanakan $t_w = 6 \text{ mm}$

Kontrol kapasitas pengelasan

$$R_c = 0,75 \times w \times L_w \times 0,6 \times F_{exx}$$

$$R_c = 0,75 \times 0,707 \times 6 \times 616 \times 0,6 \times 482$$

$$R_c = 566775,317 \text{ N}$$

$$R_c = 566,775 \text{ kN}$$

Kontrol terhadap cabut akibat momen

$$R_c = 566,775 \text{ kN} > R_r = T_w = 519,083 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

Kontrol terhadap geser

$$R_c = 566,775 \text{ kN} > R_r = 117,235 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.2.1.7 Desain *Base Plate*

Direncanakan dimensi *base plate*:

$$B = 350 \text{ mm}$$

$$H = 350 \text{ mm}$$

Pengelasan antara lantai kendaraan dan *base plate*:

$$\sum M = 0$$

$$M_{ux} - T_w \cdot N = 0$$

$$T_w = \frac{M_{ux}}{N}$$

$$T_w = \frac{72157729}{350} = 206164,9 \text{ N}$$

1. Kontrol Pengelasan

$$\text{Mutu las, E70xx} = 482 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal las, } t_w, t_{w_{\min}} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal las efektif, } w = 0,707 \cdot 6 = 4,242 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang las efektif, } L_w = 350 \text{ mm}$$

$$R_c = 0,75 \times w \times L_w \times 0,6 \times F_{exx}$$

$$R_c = 0,75 \times 4,242 \times 350 \times 0,6 \times 482$$

$$R_c = 322031,4 \text{ N}$$

$$R_c = 322,031 \text{ kN} > R_r = T_w = 206,165 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

2. Tebal *Base Plate*

$$t_p \geq 2,11 \sqrt{\frac{T_w \cdot x}{B \cdot f_y}}$$

$$t_p \geq 2,11 \sqrt{\frac{206164,9 \cdot 50}{350 \cdot 290}}$$

$$t_p \geq 26$$

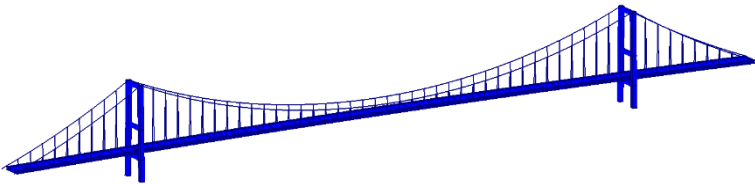
direncanakan $t_p = 26 \text{ mm}$

4.3 Permodelan dan Analisa Struktur

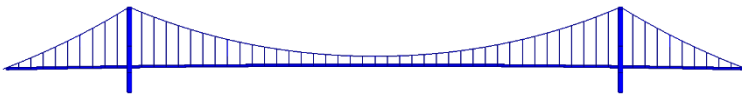
Pada sub bab ini akan membahas mengenai gaya-gaya yang terjadi pada struktur utama. Permodelan struktur dilakukan menggunakan program bantu MIDAS CIVIL 2011 v2.1. Komponen struktur yang akan dimodelkan meliputi *deck box girder*, kabel dan *pylon*. Sedangkan beban yang bekerja terdiri dari beban statik (beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin), beban dinamis (beban gempa dengan analisa *respon spectrum*) dan *staging analysis* (beban saat proses pelaksanaan).

4.3.1 Permodelan Struktur

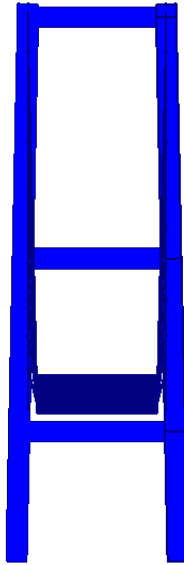
Struktur jembatan gantung pada tugas akhir ini dimodelkan sebagai struktur tiga dimensi. Gambar 4.10 – Gambar 4.14 di bawah ini adalah ilustrasinya.



Gambar 4.11 Tampak Perspektif Struktur Jembatan



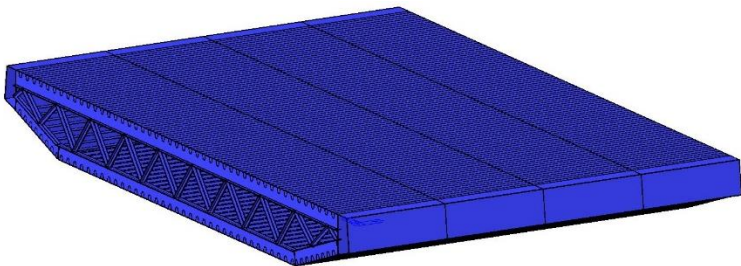
Gambar 4.12 Tampak Memanjang Struktur Jembatan



Gambar 4.13 Tampak Melintang Struktur Jembatan



Gambar 4.14 Tampak Atas Struktur Jembatan



Gambar 4.15 Tampak Perspektif Deck Jembatan

4.3.2 Analisa Beban Statis

4.3.2.1 Analisa Pembebanan Statis

Beban yang termasuk dalam pembebanan statis adalah beban tetap, beban hidup dan beban angin. Untuk analisa berat sendiri akan dianalisa secara otomatis oleh program bantu midas. Maka untuk perhitungan pembebanan statis sebagai berikut:

1. Beban Tetap

a. Beban mati struktur (MS)

b. Beban mati tambahan (MA)

Aspal

Tebal aspal = 100 mm

$$q = 22 \text{ kN/m}^3 \times 100 \text{ mm}$$

$$q = 0,000022 \text{ N/mm}^3 \times 100 \text{ mm}$$

$$q = 0,0022 \text{ N/mm}^2$$

Railing

$$q_{\text{pipa}} = 6 \times W \times L$$

$$q_{\text{pipa}} = 6 \times 8,38 \text{ kg/m} \times 2$$

$$q_{\text{pipa}} = 100,56 \text{ kg} = 1005,6 \text{ N}$$

$$q_{\text{tiang}} = W \times L$$

$$q_{\text{tiang}} = 46,572 \text{ kg/m} \times 2$$

$$q_{\text{tiang}} = 93,144 \text{ kg} = 931,44 \text{ N}$$

$$q_{\text{tambahan}} = 30\% \times (q_{\text{pipa}} + q_{\text{tiang}})$$

$$q_{\text{tambahan}} = 30\% \times (100,56 + 93,144)$$

$$q_{\text{tambahan}} = 58,111 \text{ kg} = 581,112 \text{ N}$$

$$q_{\text{total}} = 1005,6 + 931,44 + 581,112$$

$$q_{\text{total}} = 2518,15 \text{ N}$$

2. Beban Hidup

a. Beban Terbagi Rata (BTR)

BTR dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.3.1

Untuk $L > 30 \text{ m}$

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

Dimana $L = 800 \text{ m}$

$$q_{BTR} = 0,9 \left(0,5 + \frac{15}{800} \right) \text{kPa}$$

$$q_{BTR} = 0,467 \text{ kPa} = 0,00047 \text{ N/mm}^2$$

b. Beban Garis Terpusat (BGT)

BTR dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.3.1

$$p_{BGT} = 49 \text{ kN/m} = 49 \text{ N/mm}$$

$$P_{BGT} = (1 + DLA) \times p_{BTR}$$

$$P_{BGT} = (1 + 30\%) \times 49$$

$$P_{BGT} = 63,7 \text{ N/mm}$$

c. Beban Truk (T)

T dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.4.1

$$q_T = 112,5 \text{ kN} = 112.500 \text{ N}$$

$$Q_T = (1 + DLA) \times q_T$$

$$Q_T = (1 + 30\%) \times 112500$$

$$Q_T = 146250 \text{ N}$$

d. Gaya rem (TB)

Gaya rem dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 pasal

8.7 dengan mengambil nilai terbesar dari:

25% dari berat gandar truk desain

$$TB = 25\% \times (T \times 2)$$

$$TB = 25\% \times (112,5 \times 2)$$

$$TB = 56,25 \text{ kN}$$

5% dari berat truk rencana + beban BTR

$$TB = 5\% \times (\text{Beban truk} + \text{BTR})$$

$$TB = 5\% \times (500 \text{ kN} + (0,467 \times 20 \times 3,25))$$

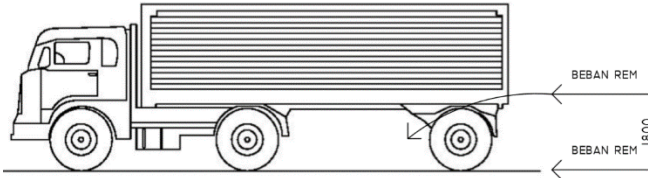
$$TB = 26,517 \text{ kN}$$

Gaya diasumsikan bekerja pada jarak horisontal setinggi 1800 mm diatas permukaan jalan sehingga

menimbulkan momen torsi. Gaya rem dipilih yang terbesar maka diperoleh:

$$TB = 56,25 \text{ kN} \times 1,8 \text{ m}$$

$$TB = 101,25 \text{ kNm}$$



Gambar 4.16 Ilustrasi Beban Rem

3. Beban Angin

a. Beban angin pada struktur

Kecepatan angin diperoleh dari data angin yang terjadi pada daerah Selat Madura, diambil sebesar $V_B = 44 \text{ knot} = 81,49 \text{ km/jam}$.

Beban angin pada *deck*

$Z = 36,75 \text{ m}$ (elevasi rata-rata girder dari permukaan air)

$$Z = 36750 \text{ mm} > 10000 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 70 \text{ mm}$$

$$V_0 = 13,2 \text{ km/jam}$$

(Tabel 28 SNI 1725:2016, Daerah lahan terbuka)

$$V_{10} = V_B = 81,49 \text{ km/jam}$$

Karena tekanan angin pada *deck* berada di elevasi lebih dari 10.000 mm maka kecepatan angin rencana (V_{DZ}) sebagai berikut:

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

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot 13,2 \cdot \left(\frac{81,49}{81,49}\right) \cdot \ln\left(\frac{36750}{70}\right)$$

$$V_{DZ} = 206,692 \text{ km/jam}$$

Tekanan angin rencana dalam MPa menggunakan persamaan:

$P_D = 0,0024$ (Tabel 29 SNI 1725:2016, Angin tekan dengan komponen bangunan atas balok)

$$P_{D\text{tekan}} = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

$$P_{D\text{tekan}} = 0,0024 \left(\frac{206,692}{81,49} \right)^2$$

$$P_{D\text{tekan}} = 0,01544 \text{ MPa}$$

Karena struktur *deck* termasuk dalam komponen balok maka tidak menerima angin hisap.

Angin diterima oleh *orthotropic deck* sehingga dikalikan dengan tinggi penampang *deck*.

$$h = 3500 \text{ mm}$$

$$P_D = 0,01544 \text{ MPa} \times 3500 \text{ mm}$$

$$P_D = 54,040 \text{ N/mm} > 4,4 \text{ N/mm}$$

Beban angin pada *pylon*

$$Z = 65,25 \text{ m}$$

$$Z = 65250 \text{ mm} > 10000 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 70 \text{ mm}$$

$$V_0 = 13,2 \text{ km/jam}$$

$$V_{10} = V_B = 81,49 \text{ km/jam}$$

Karena tekanan angin pada *pylon* berada di elevasi lebih dari 10.000 mm maka kecepatan angin rencana (V_{DZ}) sebagai berikut:

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

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot 13,2 \cdot \left(\frac{81,49}{81,49}\right) \cdot \ln\left(\frac{65250}{70}\right)$$

$$V_{DZ} = 225,637 \text{ km/jam}$$

Struktur pylon sebagai komponen kolom akan menerima angin tekandan hisap.

$$P_{Dtekan} = 0,0024$$

$$P_{Dtekan} = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2$$

$$P_{Dtekan} = 0,0024 \left(\frac{225,637}{81,49}\right)^2$$

$$P_{Dtekan} = 0,0184 \text{ MPa}$$

$$P_{Dhisap} = 0,0012$$

$$P_{Dhisap} = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2$$

$$P_{Dhisap} = 0,0012 \left(\frac{225,637}{81,49}\right)^2$$

$$P_{Dhisap} = 0,0092 \text{ MPa}$$

Angin akan diterima oleh *pylon* dalam arah longitudinal maupun transversal. Dimensi pylon yang direncanakan:

$$b = 5000 \text{ mm}$$

$$h = 6500 \text{ mm}$$

Angin tekan

$$P_{Dx} = 0,0184 \times 5000$$

$$P_{Dx} = 92,001 \text{ N/mm}$$

$$P_{Dy} = 0,0184 \times 6500$$

$$P_{Dy} = 119,602 \text{ N/mm}$$

Angin hisap

$$P_{Dx} = 0,0092 \times 5000$$

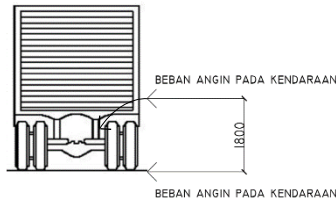
$$P_{Dx} = 46,00 \text{ N/mm}$$

$$P_{Dy} = 0,0092 \times 6500$$

$$P_{Dy} = 59,801 \text{ N/mm}$$

b. Beban angin pada kendaraan

Beban angin pada kendaraan diatur pada SNI 1725:2016 Pasal 9.6.1.2 dengan asumsi tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm yang bekerja tegak lurus dan berada setinggi 1800 mm di atas permukaan jalan.



Gambar 4.17 Ilustrasi Beban Angin pada Kendaraan

4. Beban Temperature

Pengaruh suhu yang ditinjau adalah pengaruh temperature gradien (TG) yang mengacu pada SNI 1725 2016 Pasal 9.3.1.1. Perbedaan temperature 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. Untuk nilai parameter T1 dan T2 ditentukan berdasarkan Tabel 20 SNI 1725 2016 sebagai berikut:

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

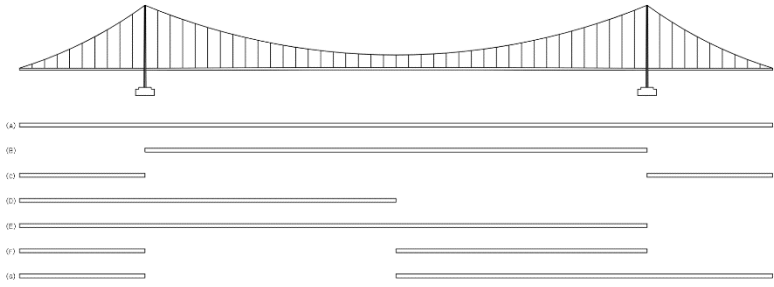
$$T2 = 8^\circ \text{ C}$$

4.3.2.2 Konfigurasi Pembebanan Statis

Konfigurasi pembebanan diperlukan untuk memperoleh gaya-gaya maksimum dari setiap komponen gaya dalam. Untuk besar *load factor* diperoleh dari SNI 1725:2016 Tabel 1 seperti pada Tabel 4.6. Sedangkan konfigurasi pembebanan mengacu pada Peraturan Kementerian PU No 08/SE/M/2015 seperti pada Gambar 4.17 di bawah ini.

Tabel 4.6 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _i	EW _l	BF	EU _i	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TC}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TC}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TC}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TC}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	0	1,00	1,00
Daya Javan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TC}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Javan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TC}	-	-	-	-
Daya Javan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TC}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Javan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Gambar 4.18 Konfigurasi Beban Hidup

Hasil kombinasi pembebanan statis yang telah disesuaikan dengan *load factor* dan menjadi kombinasi pada permodelan struktur menggunakan MIDAS CIVIL 2011 adalah seperti pada Tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.7 Kombinasi Pembebanan Statis

Kuat I	Tipe a	1,1MS+2MA+1,8TT/1,8TD+1,8TB
	Tipe b	1,1MS+2MA+1,8TT/1,8TD+1,8TB
	Tipe c	1,1MS+2MA+1,8TT/1,8TD+1,8TB
	Tipe d	1,1MS+2MA+1,8TT/1,8TD+1,8TB
	Tipe e	1,1MS+2MA+1,8TT/1,8TD+1,8TB
	Tipe f	1,1MS+2MA+1,8TT/1,8TD+1,8TB
	Tipe g	1,1MS+2MA+1,8TT/1,8TD+1,8TB

Kuat III		1,1MS+2MA+1,4EWs
Kuat V		1,1MS+2MA+0,4EWs+1EWL
Daya Layan I	Tipe a	1MS+1MA+1TT/1TD+1TB+0,3EWs+1EWL
	Tipe b	1MS+1MA+1TT/1TD+1TB+0,3EWs+1EWL
	Tipe c	1MS+1MA+1TT/1TD+1TB+0,3EWs+1EWL
	Tipe d	1MS+1MA+1TT/1TD+1TB+0,3EWs+1EWL
	Tipe e	1MS+1MA+1TT/1TD+1TB+0,3EWs+1EWL
	Tipe f	1MS+1MA+1TT/1TD+1TB+0,3EWs+1EWL
	Tipe g	1MS+1MA+1TT/1TD+1TB+0,3EWs+1EWL
Daya Layan II	Tipe a	1MS+1MA+1,3TT/1,3TD+1,3TB
	Tipe b	1MS+1MA+1,3TT/1,3TD+1,3TB
	Tipe c	1MS+1MA+1,3TT/1,3TD+1,3TB
	Tipe d	1MS+1MA+1,3TT/1,3TD+1,3TB
	Tipe e	1MS+1MA+1,3TT/1,3TD+1,3TB
	Tipe f	1MS+1MA+1,3TT/1,3TD+1,3TB
	Tipe g	1MS+1MA+1,3TT/1,3TD+1,3TB
Daya Layan IV		1MS+1MA+0,7EWs

4.3.2.3 Hasil Analisa Beban Statis

Tabel 4.8 Hasil Analisa Struktur Statis Pylon

Gaya Dalam		Axial (kN)	Shear-x (kN)	Shear-y (kN)	Torsion (kNm)	Moment-x (kNm)	Moment-y (kNm)
Tekan Maksimum							
Kuat I	Tipe g	275516,43	68558,58	35160,95	160454,57	174642,85	798917,72
Geser-x Maksimum							
Kuat I	Tipe f	263306,41	76632,805	25524,06	265644,84	224498,43	872468,6
Geser-y Maksimum							
Kuat III	-	226410,57	69484,90	38579,06	165644,84	335796,30	539200,13
Torsi Maksimum							
Kuat I	Tipe d	268384,06	73127,11	33885,31	274624,1	173750,79	684179,20
Momen-x Maksimum							
Kuat I	Tipe b	268533,81	72816,05	30153,94	100156,81	370902,5	765314,47
Momen-y Maksimum							
Kuat I	Tipe f	263306,41	76632,805	25524,06	265644,84	224498,43	833958,63

Tabel 4.9 Hasil Analisa Struktur Statis Pylon Transversal

Gaya Dalam		Axial (kN)	Shear-x (kN)	Shear-y (kN)	Torsion (kNm)	Moment-x (kNm)	Moment-y (kNm)
Tekan Maksimum							
Kuat III	-	25276,93	48060,94	34194,76	103039,67	127495,32	205628,63
Geser-x Maksimum							
Kuat III	-	25276,93	48060,94	34194,76	103039,67	127495,32	205628,63
Geser-y Maksimum							
Kuat III	-	24129,56	47282,82	46583,59	97456,53	167455,81	303044,36
Torsi Maksimum							
Kuat III	-	25276,93	48060,94	34194,76	103039,67	127495,32	205628,63
Momen-x Maksimum							
Kuat I	Tipe b	4529,44	23672,91	21317,54	68314,39	223274,41	180062,12
Momen-y Maksimum							
Kuat I	Tipe f	4496,47	24825,16	20980,33	86196,03	78808,48	308442,95

Tabel 4.10 Hasil Analisa Struktur Statis Cable

	Kuat I	Kuat IIIx	Kuat IIIy	Kuat Vx	Kuat Vy
Axial (kN)	147917,2714	134745,9681	142608,618	134624,019	135914,631
	Daya Layan Ix	Daya Layan Iy	Daya Layan II	Daya Layan IVx	Daya Layan IVy
Axial (kN)	117909,2069	119876,5639	119118,39	113794,103	118384,603

Tabel 4.11 Hasil Analisa Struktur Statis Hanger

	Kuat I	Kuat IIIx	Kuat IIIy	Kuat Vx	Kuat Vy
Axial (kN)	2881,9804	2630,5282	2836,1795	2627,4958	2686,2533
	Daya Layan Ix	Daya Layan Iy	Daya Layan II	Daya Layan IVx	Daya Layan IVy
Axial (kN)	2320,8198	2364,8880	2347,5439	2229,8776	2332,7032

4.3.3 Analisa Beban Dinamis

4.3.3.1 Analisa Pembebanan Dinamis

Untuk analisa beban dinamis digunakan *respon spectrum* menggunakan fitur dari MIDAS CIVIL. Data gempa dihitung berdasarkan RSNI 2833:201X. Lokasi yang dipilih adalah Selat

Madura dalam peta gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun dengan data:

Situs tanah	= SD
Lokasi	= Selat Madura
PGA	= 0,248 g (Percepatan puncak di batuan dasar)
Ss	= 0,49 g (Percepatan 0,2 detik)
S1	= 0,229 g (Percepatan 1 detik)

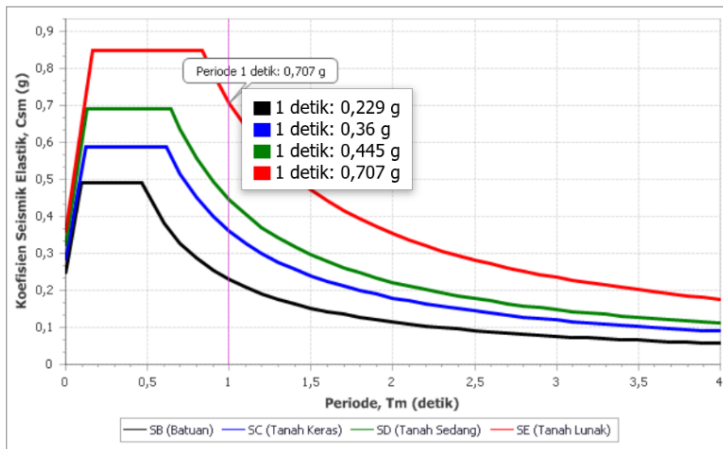
Dari variable di atas diperoleh nilai *respon spectrum* seperti pada Tabel 4.12 di bawah ini.

Tabel 4.12 *Respon Spectrum*

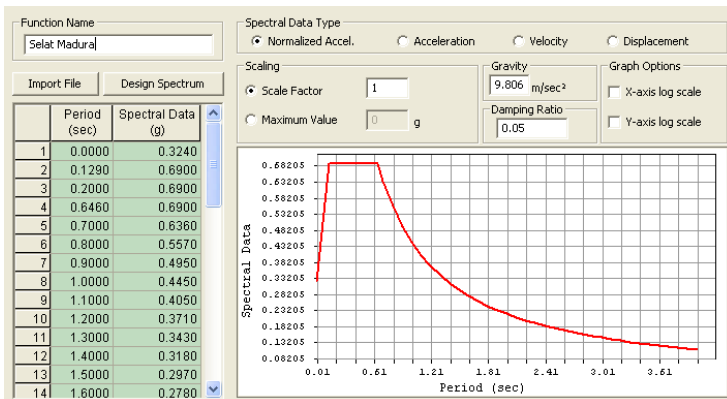
Variabel	T (detik)	Sa (g)
Kelas Situs: SD (Tanah Sedang)		
As	0	0,324
T0	0,129	0,69
SDS	0,2	0,69
Ts	0,646	0,69
Ts+0.1	0,7	0,636
Ts+0.2	0,8	0,557
Ts+0.3	0,9	0,495
Ts+0.4	1	0,445
SD1	1	0,445
Ts+0.5	1,1	0,405
Ts+0.6	1,2	0,371
Ts+0.7	1,3	0,343
Ts+0.8	1,4	0,318
Ts+0.9	1,5	0,297
Ts+1	1,6	0,278
Ts+1.1	1,7	0,262
Ts+1.2	1,8	0,247
Ts+1.3	1,9	0,234

Variabel	T (detik)	Sa (g)
Kelas Situs: SD (Tanah Sedang)		
Ts+1.4	2	0,223
Ts+1.5	2,1	0,212
Ts+1.6	2,2	0,202
Ts+1.7	2,3	0,194
Ts+1.8	2,4	0,186
Ts+1.9	2,5	0,178
Ts+2	2,6	0,171
Ts+2.1	2,7	0,165
Ts+2.2	2,8	0,159
Ts+2.3	2,9	0,154
Ts+2.4	3	0,148
Ts+2.5	3,1	0,144

Berikut adalah grafik nilai *respon spectrum* yang dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19. Grafik diperoleh dari petagempa.pusjatan.pu.go.id dengan memasukkan situs tanah dan lokasi.



Gambar 4.19 Grafik Respon Spectrum



Gambar 4.20 Grafik Respon Spektrum pada Midas

Kelas situs SD diperoleh dari data tanah pada daerah Jembatan Suramadu dengan nilai SPT N rata-rata pada kedalaman 30 meter berkisar antara 15 sampai 50. Maka berdasarkan SNI 1726:2012 situs tanah dapat dikategorikan sebagai tanah sedang (SD).

Faktor modifikasi respon (R) diatur pada SNI 2833:201X Tabel 6. Pada arah longitudinal (x) dikategorikan sebagai kolom tunggal dan untuk arah transversal (y) dikategorikan sebagai kolom majemuk. Pada tugas akhir ini, Jembatan Suramadu dikategorikan berdasarkan klasifikasi operasional sebagai jembatan penting. Maka untuk faktor modifikasi respon (R) arah x sebesar 2,0 dan untuk arah y sebesar 3,5 seperti pada Tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4.13 Faktor Modifikasi Respons (R)

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

4.3.3.2 Konfigurasi Pembebanan Dinamis

Kombinasi pembebanan untuk respon spektrum adalah Ekstrem I dengan konfigurasi beban yang terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa yaitu respon spektrum. Konfigurasi pembebanan LL mengacu pada Peraturan Kementerian PU No 08/SE/M/2015. Maka kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.14 di bawah ini.

Tabel 4.14 Konfigurasi Pembebanan Dinamis

Ekstrem IX	Type a	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+1EQ_x+0,3EQ_y$
	Type b	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+1EQ_x+0,3EQ_y$
	Type c	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+1EQ_x+0,3EQ_y$
	Type d	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+1EQ_x+0,3EQ_y$
	Type e	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+1EQ_x+0,3EQ_y$
	Type f	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+1EQ_x+0,3EQ_y$
	Type g	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+1EQ_x+0,3EQ_y$
Ekstrem IY	Type a	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+0,3EQ_x+1EQ_y$
	Type b	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+0,3EQ_x+1EQ_y$
	Type c	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+0,3EQ_x+1EQ_y$
	Type d	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+0,3EQ_x+1EQ_y$
	Type e	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+0,3EQ_x+1EQ_y$
	Type f	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+0,3EQ_x+1EQ_y$
	Type g	$1, 1MS+2MA+0,3TT/0,3TD+0,3TB+0,3EQ_x+1EQ_y$

4.3.3.3 Hasil Analisa Beban Dinamis

1. Kontrol Partisipasi Massa

Perhitungan respon dinamik struktur harus memiliki partisipasi massa dalam menghasilkan respon total sebesar sekurang-kurangnya 90%. Tabel 4.15 – Tabel 4.17 merupakan *output* dari partisipasi massa.

Tabel 4.15 Output dari Participation Masses (Mode 1-15)

Mode No	Periode (sec)	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	9.549	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
2	6.188	0.00	0.02	0.00	0.00	2.85	2.85
3	5.070	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	2.85
4	3.842	0.00	0.02	0.00	0.00	8.61	11.46
5	3.019	0.00	0.02	14.44	14.44	0.00	11.46
6	2.450	2.65	2.67	0.00	14.44	0.00	11.46
7	2.280	0.00	2.67	0.00	14.44	10.38	21.84
8	2.049	0.00	2.67	0.00	14.44	0.00	21.84
9	2.037	0.00	2.67	7.22	21.66	0.00	21.84
10	1.990	0.00	2.67	0.00	21.66	5.40	27.23
11	1.856	0.00	2.67	0.00	21.66	0.00	27.23
12	1.468	0.00	2.67	0.00	21.66	0.00	27.23
13	1.109	0.00	2.67	0.00	21.66	0.86	28.09
14	1.023	0.00	2.67	0.13	21.78	0.00	28.09
15	0.966991	0.00	2.67	4.29	26.08	0.00	28.09

Tabel 4.16 Output dari Participation Masses (Mode 21-35)

Mode No	Periode (sec)	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
21	0.737595	0.00	60.02	0.00	26.08	0.01	28.22
22	0.732957	0.00	60.02	0.00	26.08	0.00	28.22
23	0.730157	0.00	60.02	0.00	26.08	0.00	28.22
24	0.700944	0.00	60.02	0.00	26.08	0.49	28.70
25	0.662432	0.00	60.02	0.00	26.08	0.00	28.70
26	0.659953	0.00	60.02	50.64	76.72	0.00	28.70
27	0.596306	0.00	60.02	0.00	76.72	0.00	28.70
28	0.583517	0.05	60.07	0.00	76.72	0.00	28.70
29	0.530145	0.00	60.07	0.00	76.72	0.00	28.70
30	0.491411	0.00	60.07	0.00	76.72	0.29	28.99
31	0.471568	0.00	60.07	0.00	76.72	0.00	28.99
32	0.439726	0.00	60.07	0.01	76.73	0.00	28.99
33	0.430594	13.34	73.41	0.00	76.73	0.00	28.99
34	0.416802	6.34	79.75	0.00	76.73	0.00	28.99
35	0.408369	0.00	79.75	0.00	76.73	0.00	28.99

Tabel 4.17 Output dari Participation Masses (Mode 50-65)

Mode No	Periode (sec)	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
50	0.287403	0.00	86.19	0.00	80.20	0.15	30.54
51	0.271139	0.00	86.19	0.00	80.20	0.00	30.54
52	0.267806	2.63	88.82	0.00	80.20	0.00	30.54
53	0.263285	0.00	88.82	0.00	80.20	0.04	30.58
54	0.260998	2.90	91.71	0.00	80.20	0.00	30.58
55	0.259671	0.13	91.85	0.00	80.20	0.00	30.58
56	0.259144	0.00	91.85	0.00	80.20	0.00	30.58
57	0.252777	0.00	91.85	11.80	92.00	0.00	30.58
58	0.249270	0.00	91.85	0.00	92.00	0.00	30.58
59	0.241845	0.00	91.85	0.00	92.00	0.00	30.58
60	0.241836	0.00	91.85	0.00	92.00	0.00	30.58

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa sampai mode 30 partisipasi massa belum mencapai angka 90%. Maka dari itu terus dilakukan penambahan mode dengan cara menambahkan *Number of Frequencies* pada *Eigenvalue Analysis Control* di program MIDAS CIVIL yang digunakan. Sehingga diperoleh partisipasi massa lebih dari 90% pada mode 54 dan mode 57.

2. Hasil Analisa Beban Dinamis

Tabel 4.18 Hasil Analisa Struktur Dinamis Pylon

Gaya Dalam	Axial (kN)	Shear-x (kN)	Shear-y (kN)	Torsion (kNm)	Moment-x (kNm)	Moment-y (kNm)
Tekan Maksimum						
Ekstreme Ix Tipe a	242409,86	53832,21	14022,41	136280,94	239988,20	526215,36
Geser-x Maksimum						
Ekstreme Iy Tipe b	215904,93	60927,22	18196,74	131004,74	332837,79	777884,35
Geser-y Maksimum						
Ekstreme Iy Tipe a	240451,77	48287,95	22274,65	131086,82	360145,69	667430,73
Torsi Maksimum						
Ekstreme Ix Tipe d	182614,66	53332,23	13515,69	146553,98	365695,06	744792,04
Momen-x Maksimum						
Ekstreme Ix Tipe d	182614,66	53332,23	13515,69	146553,98	365695,06	744792,04
Momen-y Maksimum						
Ekstreme Ix Tipe g	242003,82	58714,92	19353,68	142397,33	199262,06	872468,6

Tabel 4.19 Hasil Analisa Struktur Dinamis Pylon Transversal

Gaya Dalam		Axial (kN)	Shear-x (kN)	Shear-y (kN)	Torsion (kNm)	Moment-x (kNm)	Moment-y (kNm)
Tekan Maksimum							
Ekstreme Iy	Tipe a	4346,33	24096,80	51402,47	77967,96	181328,62	193544,30
Geser-x Maksimum							
Ekstreme Iy	Tipe b	4345,27	24308,60	51386,13	76137,37	181305,18	195153,55
Geser-y Maksimum							
Ekstreme Iy	Tipe a	4346,33	24096,80	51402,47	77967,96	181328,62	193544,30
Torsi Maksimum							
Ekstreme Ix	Tipe f	4137,88	22163,95	27586,57	96730,93	73598,13	162679,54
Momen-x Maksimum							
Ekstreme Iy	Tipe a	4346,33	24096,80	51402,47	77967,96	181328,62	193544,30
Momen-y Maksimum							
Ekstreme Iy	Tipe b	4345,27	24308,60	51386,13	76137,37	181305,18	195153,55

Tabel 4.20 Hasil Analisa Struktur Dinamis Cable

	Ekstrem Ix	Ekstrem Iy
Axial (kN)	135878,666	134582,840

Tabel 4.21 Hasil Analisa Struktur Dinamis Hanger

	Ekstrem Ix	Ekstrem Iy
Axial (kN)	2753,463	2599,348

4.3.4 Kontrol Lendutan

1. Lendutan *Deck* Jembatan

Pembebanan untuk kontrol lendutan pada jembatan menggunakan beban layan yang diatur dalam SNI 17225:2016 pasal 8.4.6.1. Pembatasan besar lendutan berdasarkan RSNI T-03-2005 pasal 4.7.2. Sedangkan lendutan yang terjadi diperoleh dari hasil analisa setiap konfigurasi beban hidup menggunakan MIDAS CIVIL seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.22 Lendutan *Deck* Jembatan

Konfigurasi Beban Hidup	Lendutan (mm)
Tipe a	629
Tipe b	745
Tipe c	145

Konfigurasi Beban Hidup	Lendutan (mm)
Tipe d	694
Tipe e	718
Tipe f	697
Tipe g	687

Lendutan ijin diperoleh sebesar:

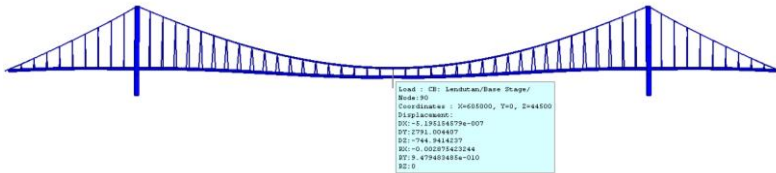
$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{800}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{800000}{800} = 1000 \text{ m}$$

Lendutan hasil analisa dardiperoleh sebesar:

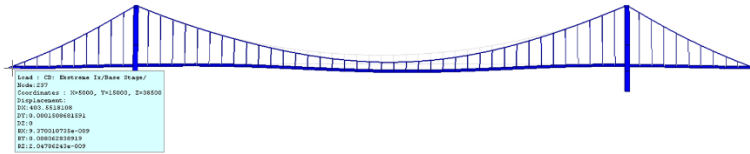
$$\Delta = 745 \text{ mm} < \Delta_{\text{ijin}} = 1000 \text{ mm}$$

[Memenuhi]



Gambar 4.21 Deformasi Vertikal Akibat Beban Hidup

Deformasi longitudinal pada *deck* diperlukan untuk merencanakan *expantion joint*. Dari analisa deformasi diperoleh deformasi longitudinal (arah x) untuk pembebanan statis sebesar 247 mm. Sedangkan untuk pembebanan dinamis akibat gempa sebesar 404 mm. Sehingga direncanakan *expantion joint* sebesar 500 mm. Ilustrasi lendutan longitudinal dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.22 Deformasi Longitudinal Akibat Kombinasi Beban Gempa

2. Lentutan *Pylon*

Lentutan ijin untuk *pylon* dari struktur diatur pada SNI T-12-2004 Pasal 9.2.1 Pembebanan yang digunakan adalah beban hidup layan. Besar lentutan diperoleh dari hasil analisa menggunakan MIDAS CIVIL.

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{H}{400}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{130500}{400} = 326,25 \text{ mm}$$

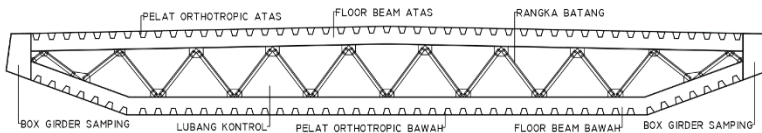
Lentutan hasil analisa diperoleh sebesar:

$$\Delta = 269 \text{ mm} < \Delta_{\text{ijin}} = 326,25 \text{ mm}$$

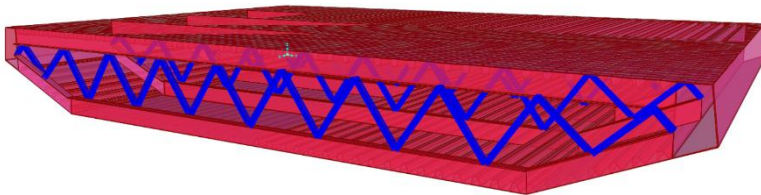
[Memenuhi]

4.4 Permodelan *Deck* Jembatan

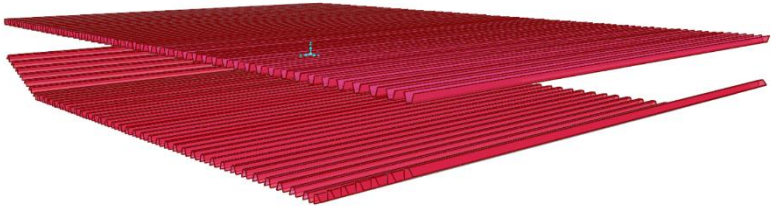
Analisa struktur *deck* secara keseluruhan di analisa menggunakan program bantu SAP2000. Struktur *deck* merupakan struktur *box girder* yang terdiri dari komponen-komponen struktur diantaranya pelat *orthotropic* dengan *closed ribs* di bagian atas dan bawah, *floor beam* bagian atas dan bawah, *box girder* samping serta pengaku lateral yang terdiri dari rangka batang dan pelat sambung. Struktur dimodelkan secara keseluruhan dengan sepanjang satu segmen *deck* yaitu 20 meter dan terdapat pengaku di setiap 5 meter. Untuk komponen *deck* dapat dilihat pada Gambar 4.21 sedangkan untuk permodelan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.22 – Gambar 4.25.



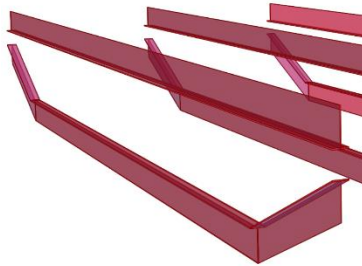
Gambar 4.23 Komponen Struktur *Deck* Jembatan



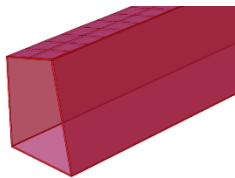
Gambar 4.24 Permodelan *Deck* pada SAP2000



Gambar 4.25 Permodelan Closed Ribs



Gambar 4.26 Permodelan Floor Beam



Gambar 4.27 Permodelan Box Samping

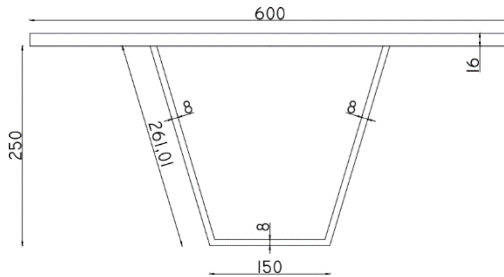
Perletakan pada *deck* jembatan dimodelkan dengan jepit-jepit pada kedua ujung segmen *deck*. Kontrol kapasitas *deck* yang diinginkan adalah kemampuan penampang dalam menahan beban hidup yang terjadi. Sehingga pada permodelan ini beban yang diberikan adalah beban lajur yaitu BGT dan BTR. Kapasitas penampang dikontrol dengan peraturan yang mengacu pada SNI 1729 2015.

4.5 Orthotropic Plate

Dalam desain *deck* jembatan ini *orthotropic* dibagi menjadi dua, yaitu *orthotropic* bagian atas yang berfungsi sebagai lantai kendaraan secara struktur memiliki kedudukan seperti *flange* atas dan *orthotropic* bagian bawah sebagai *flange* bawah dari sistem *deck*. Pelat *orthotropic* dihitung sebagai sistem kesatuan balok sehingga perlu ditentukan lebar efektif *flange* balok.

4.5.1 Data Perencanaan

Desain *orthotropic plate* terdiri dari pelat lantai dan *closed ribs* seperti pada Gambar 4.26.



Gambar 4.28 Detail *Orthotropic Plate*

Dimensi *orthotropic* diberikan sebagai berikut:

a	= 300 mm	h	= 250 mm
e	= 300 mm	tp	= 16 mm
b	= 150 mm	tr	= 8 mm

Produk yang digunakan untuk desain pelat *orthotropic* ini adalah pelat produk BlueScope dengan Grade 450L15 dengan spesifikasi mutu:

f_y	= 450 MPa
f_u	= 520 MPa
E	= 200000 MPa

Lebar efektif pelat diambil berdasarkan ketentuan AASHTO LRFD 2012 4.6.2.6.4.

Panjang *ribs*, L = 5000 mm

$$B = a + e = 300 + 300 = 600 \text{ mm}$$

Jika,

$$L/B \geq 5, \text{ maka } be = B$$

$$L/B < 5, \text{ maka } be = B/5$$

Maka diperoleh

$$L/B = 5000/600 = 8,33 > 5$$

$$be = 600 \text{ mm}$$

Ribs dihitung sebagai struktur balok dengan lebar efektif pada pelat lantai dianggap sebagai *flange* bagian atas. Maka diperoleh *section properties* dengan bantuan AutoCAD sebagai berikut:

$$A_g = 14862 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 119375286 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 340650968 \text{ mm}^4$$

$$Z_x = 873064 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 1940438 \text{ mm}^3$$

4.5.2 Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur *orthotropic plate* dilakukan dengan program bantu SAP2000. Dengan hasil analisa didapatkan gaya dalam maksimum dari semua kombinasi seperti pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Gaya Dalam *Orthotropic Plate*

Tekan Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
1131327	0,69	1283,79	48270	159120
Tarik Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
1134539	2,43	542,58	14670	52320
Geser X Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
338793	3128,34	7505,67	63150	1072350

Geser Y Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
42435,6	46,17	10864,89	884400	2948730
Momen X Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
230064	3128,34	8181,12	1477470	662760
Momen Y Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
42435,6	46,17	10864,89	884400	2948730

4.5.3 Kontrol Kemampuan Penampang

4.5.3.1 Kontrol Kapasitas Tekan

Kapitas tekan dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter E.

$$K = 0,65 \quad [\text{SNI 1729:2015 Tabel C-A-7.1}]$$

$$r = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{119375286}{14862}} = 89,623 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,65 \cdot 5000}{89,623} = 36,263 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 99,296$$

Maka F_e ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(36,263)^2} = 1501,067 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{450}{1501,076} = 0,300 < 2,25$$

Sehingga F_{cr} dihitung sebagai berikut:

$$F_{cr} = \left[0,685^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = [0,685^{0,3}] \cdot 450$$

$$F_{cr} = 396,935 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 396,935 \cdot 14862$$

$$P_n = 5899243,4 \text{ N}$$

$$P_n = 5899,243 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 5899,243$$

$$P_c = 5309,320 \text{ kN}$$

Gaya tekan terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* adalah:

$$P_r = 1131327 \text{ N}$$

$$P_r = 1131,327 \text{ kN} < P_c = 5309,32 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.5.3.2 Kontrol Kapasitas Tarik

Kapasitas tarik dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter D.

$$P_n = F_y \cdot A_g = 450 \cdot 14862$$

$$P_n = 6687900 \text{ N}$$

$$P_n = 6687,900 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 6687,900$$

$$P_c = 6019,11 \text{ kN}$$

Gaya tarik terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* adalah:

$$P_r = 1134538,5 \text{ N}$$

$$P_r = 1134,538 \text{ kN} < P_c = 6019,11 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.5.3.3 Kontrol Kapasitas Lentur

1. Rasio Lebar Tebal

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_e}{2 t_p} = \frac{600}{2 \cdot 16} = 18,75$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 23,612$$

$\lambda < \lambda_p$, maka **[Penampang kompak]**

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{h}{t_r} = \frac{250}{8} = 31,25$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 51,018$$

$\lambda < \lambda_p$, maka **[Penampang kompak]**

2. Kapasitas Lentur Sumbu X

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 SNI 1729:2015 Chapter F.

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 450 \cdot 873064$$

$$M_n = 392878800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 392,879 \text{ kNm}$$

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \cdot 392,879$$

$$M_c = 353,591 \text{ kNm}$$

Momen terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* adalah:

$$M_r = 1477470 \text{ Nmm}$$

$$M_r = 1,477 \text{ kNm} < M_c = 353,59 \text{ kNm}$$

[Memenuhi]

3. Kapasitas Lentur Sumbu Y

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 SNI 1729:2015 Chapter F.

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_y$$

$$M_n = 450 \cdot 1940438$$

$$M_n = 873197100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 873,197 \text{ kNm}$$

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \cdot 873,197$$

$$M_c = 785,877 \text{ kNm}$$

Momen terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* adalah:

$$M_r = 2948730 \text{ Nmm}$$

$$M_r = 2,949 \text{ kNm} < M_c = 785,877 \text{ kNm}$$

[Memenuhi]

4.5.3.4 Kontrol Kapasitas Geser

Kapasitas geser dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter G2 dan G5.

1. Kapasitas Geser Vertikal (Y)

$$K_v = 5 \quad (\text{tanpa pengaku transversal } h_w < 260)$$

$$h = h - t_r = 250 - 8 = 242 \text{ mm}$$

$$t_w = 2 \cdot t_r = 2 \cdot 8 = 16 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{242}{16} = 15,125 < 1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} = 51,854$$

$$\text{Maka } C_v = 1$$

$$A_w = h \cdot t_w = 242 \cdot 16 = 3872 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$V_n = 0,6 \cdot 450 \cdot 3872 \cdot 1$$

$$V_n = 1045440 \text{ N}$$

$$V_n = 1045,440 \text{ kN}$$

$$V_c = \phi V_n = 0,9 \cdot 1045,440$$

$$V_c = 940,896 \text{ kN}$$

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* adalah:

$$V_r = 10865 \text{ N}$$

$$V_r = 10,865 \text{ kN} < V_c = 940,896 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

2. Kapasitas Geser Horizontal (X)

$$K_v = 5 \quad (\text{tanpa pengaku transversal } h_w < 260)$$

$$h = a = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = t_p = 16 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{16} = 18,75 < 1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} = 51,854$$

$$\text{Maka } C_v = 1$$

$$A_w = h \cdot t_w = 300 \cdot 16 = 4800 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$V_n = 0,6 \cdot 450 \cdot 4800 \cdot 1$$

$$V_n = 1296000 \text{ N}$$

$$V_n = 1296 \text{ kN}$$

$$V_c = \phi V_n = 0,9 \cdot 1296$$

$$V_c = 1166,4 \text{ kN}$$

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* adalah:

$$V_r = 3128,34 \text{ N}$$

$$V_r = 3,128 \text{ kN} < V_c = 1166,4 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.5.3.5 Kontrol Kombinasi Aksial Lentur

Kontrol kombinasi aksial lentur dihitung berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter H1. Kontrol kombinasi geser lentur tidak perlu dikontrol karena gaya yang relatif kecil. kombinasi dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini.

Apabila nilai $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ 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 $\frac{Pr}{Pc} < 0,2$ 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 pada elemen dengan gaya aksial dan momen yang dominan sebagai berikut:

1. Aksial Dominan

$$Pr = 1131,327 \text{ kN}$$

$$Mr_x = 0,048 \text{ kNm}$$

$$Mr_y = 0,159 \text{ kNm}$$

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{1131,327}{5309,319} = 0,213 > 0,2$$

Maka digunakan persamaan 1.

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mr_x}{Mc_x} + \frac{Mr_y}{Mc_y} \right) \leq 1,0$$

$$0,213 + \frac{8}{9} \left(\frac{0,048}{353,591} + \frac{0,159}{785,877} \right) \leq 1,0$$

$$0,214 \leq 1,0$$

[Memenuhi]

2. Momen Dominan

$$Pr = 42,436 \text{ kN}$$

$$Mr_x = 0,884 \text{ kNm}$$

$$Mr_y = 2,949 \text{ kNm}$$

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{42,436}{5309,319} = 0,0079 < 0,2$$

Maka digunakan persamaan 2.

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{Mr_x}{Mc_x} + \frac{Mr_y}{Mc_y} \right) \leq 1,0$$

$$0,0080 + \left(\frac{0,884}{353,591} + \frac{2,949}{785,877} \right) \leq 1,0$$

$$0,01025 \leq 1,0$$

[Memenuhi]

4.5.4 Sambungan *Orthotropic Plate* pada *Floor Beam*

Sambungan antara pelat *orthotropic* yang terdiri dari *ribs* dan pelat lantai pada *floor beam* direncanakan menggunakan las *fillet* berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J. Spesifikasi las yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Mutu} &= \text{E70xx} \\ F_{\text{exx}} &= 490 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4.5.4.1 Kapasitas Las Nominal

$$\begin{aligned} \text{Ketebalan las:} \\ t_w &= 8 \text{ mm} \\ w &= 0,707 \times 8 = 5,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang pengelasan} \\ l &= e + 2h' + b \\ l &= 300 + 2 \cdot 261 + 150 = 972 \text{ mm} \\ \frac{l}{w} &= \frac{972}{5,65} = 171,827 > 100 \end{aligned}$$

Karena $l/w > 100$ maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

$$\begin{aligned} \beta &= 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w} \right) = 1,2 - 0,002 \cdot 171,827 \\ \beta &= 0,856 < 1 \\ A_{\text{we}} &= \beta \cdot l \cdot w = 0,856 \cdot 972 \cdot 5,65 = 4708,587 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kapasitas las

$$R_n = A_w \cdot 0,6 \cdot F_{exx}$$

$$R_n = 4708,587 \cdot 0,6 \cdot 490$$

$$R_n = 1384324,5 \text{ N} = 1384,325 \text{ kN}$$

4.5.4.2 Kontrol Kapasitas Las terhadap Geser

Kapasitas las terfaktor diperoleh sebesar:

$$R_c = \phi R_n$$

$$R_c = 0,75 \cdot 1384,325 = 1038,243 \text{ kN}$$

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* dan dengan pertimbangan geser x dominan adalah:

$$V_x = 3128,34 \text{ N}$$

$$V_y = 7505,67 \text{ N}$$

$$R_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$R_r = \sqrt{3128,34^2 + 7505,67^2}$$

$$R_r = 8131,519 \text{ N} = 8,1315 \text{ kN} < R_c = 1038,243 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* dan dengan pertimbangan geser y dominan adalah:

$$V_x = 46,17 \text{ N}$$

$$V_y = 10864,89 \text{ N}$$

$$R_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

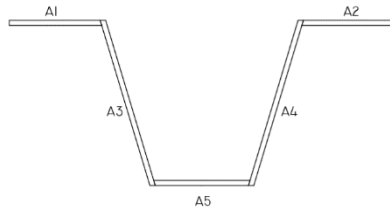
$$R_r = \sqrt{46,17^2 + 10864,89^2}$$

$$R_r = 10864,98 \text{ N} = 10,865 \text{ kN} < R_c = 1038,243 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.5.4.2 Kontrol Kapasitas Las terhadap Aksial dan Momen X

Kapasitas aksial las dihitung terhadap gaya aksial yang terjadi pada penampang yang diperoleh dari analisa struktur dan gaya aksial pada serat penampang yang diakibatkan oleh momen yang bekerja. Gaya aksial pada serat dihitung dengan metode elastis. Penampang las dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.29 Penampang Las

Dari gambar tersebut dapat diperoleh luas per bagian dengan bantuan AutoCAD sebagai berikut:

$$A1 = A2 = 808,223 \text{ mm}^2$$

$$A3 = A4 = 1523,82 \text{ mm}^2$$

$$A5 = 835,093 \text{ mm}^2$$

$$A_w = 5499,179 \text{ mm}^2$$

Garis netral penampang diperoleh sebagai berikut:

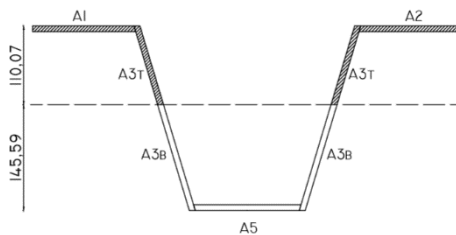
$$C_1 = \frac{(2 \cdot A1 \cdot 0,5w) + (2 \cdot A3 \cdot 0,5(h + tw)) + (A5(h + 0,5w))}{A_w}$$

$$C_1 = 110,068 \text{ mm}$$

$$C_2 = h + w - C_1 = 250 + 5,65 - 110,068$$

$$C_2 = 145,589 \text{ mm}$$

Luasan serat yang telah terbagi sesuai dengan garis netral elastis seperti pada Gambar 4.28.



Gambar 4.30 Serat Atas (Terarsir), Serat Bawah (Tanpa Arsir)

Untuk menghitung luasan daerah terarsir dan tidak terarsir diperlukan kemiringan sudut badan *ribs*.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0,5 (a - b)}{h} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,5 (300 - 150)}{250} \right)$$

$$\theta = 16,70^\circ$$

$$A3^t = A4^t = C_1 \frac{w}{\cos \theta} = 110,068 \frac{5,65}{\cos 16,70^\circ}$$

$$A3^t = A4^t = 650,052 \text{ mm}^2$$

$$A3_b = A4_b = C_2 \frac{w}{\cos \theta} = 145,589 \frac{5,65}{\cos 16,70^\circ}$$

$$A3_b = A4_b = 859,839 \text{ mm}^2$$

$$A^t = A1 + A2 + A3^t + A4^t$$

$$A^t = 808,223 + 808,223 + 650,052 + 650,052$$

$$A^t = 2916,551 \text{ mm}^2$$

$$A_b = A5 + A3_b + A4_b$$

$$A_b = 835,093 + 859,839 + 859,839$$

$$A_b = 2554,771 \text{ mm}^2$$

Inersia penampang las diperoleh dari bantuan AutoCad
 $I_{wx} = 75621432 \text{ mm}^4$

Jarak titik berat serat atas atau serat bawah ke garis netral dihitung sebagai berikut:

$$y_1 = \frac{2((A3^t \cdot 0,5 \cdot C_1) + (A1(C_1 - 0,5w)))}{2(A3^t + A1)}$$

$$y_1 = 83,968 \text{ mm}$$

$$y_2 = \frac{(2 \cdot A3_b \cdot 0,5 \cdot C_2) + (A5(C_2 - 0,5w))}{2 \cdot A3_b + A5}$$

$$y_2 = 95,665 \text{ mm}$$

Kapasitas las pada luasan serat atas yang berada di atas garis netral elastis penampang las sebagai berikut:

$$I^t = 2 \cdot \frac{C_1}{\cos \theta} + (be - a)$$

$$I^t = 2 \cdot \frac{110,068}{\cos 16,70^\circ} + (600 - 300) = 529,828 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{I^t}{w} \right) = 1,2 - 0,002 \cdot \left(\frac{529,828}{5,65} \right)$$

$$\beta = 1,012 > 1$$

$$A_{we}^t = \beta \cdot I^t \cdot w = 1 \cdot 529,828 \cdot 5,65 = 2997,161 \text{ mm}^2$$

Kapasitas las

$$Rn^t = A_{we}^t \cdot 0,6 \cdot F_{exx}$$

$$Rn^t = 2997,161 \cdot 0,6 \cdot 490$$

$$Rn^t = 881165,22 \text{ N} = 881,165 \text{ kN}$$

$$Rc^t = \phi Rn^t$$

$$Rc^t = 0,75 \cdot 881,165 = 660,875 \text{ kN}$$

Kapasitas las pada luasan serat bawah yang berada di bawah garis netral elastis penampang las sebagai berikut:

$$I_b = 2 \cdot \frac{C_2}{\cos \theta} + b + 2w$$

$$I_b = 2 \cdot \frac{145,589}{\cos 16,70^\circ} + 150 + 2 \cdot 5,65 = 465,313 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{I^t}{w} \right) = 1,2 - 0,002 \cdot \left(\frac{465,313}{5,65} \right)$$

$$\beta = 1,035 > 1$$

$$A_{web} = \beta \cdot I_b \cdot w = 1 \cdot 465,313 \cdot 5,65 = 2632,20 \text{ mm}^2$$

Kapasitas las

$$Rn_b = A_{web} \cdot 0,6 \cdot F_{exx}$$

$$Rn_b = 2632,206 \cdot 0,6 \cdot 490$$

$$Rn_b = 773868,56 \text{ N} = 773,869 \text{ kN}$$

$$Rc_b = \phi Rn_b$$

$$Rc_b = 0,75 \cdot 773,869 = 580,401 \text{ kN}$$

Gaya dalam terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* dan dengan pertimbangan aksial dominan adalah:

$$P = 1131327 \text{ N}$$

$$M_x = 48270 \text{ Nmm (Momen positif)}$$

Kontrol kekuatan las dengan pertimbangan aksial dominan yang terjadi pada serat atas adalah:

$$F_r^t = \frac{M_x \cdot y_1}{I_{wx}} = \frac{48270 \cdot 83,968}{75621432} = 0,0536 \text{ MPa}$$

$$P^t = F_r^t \cdot A^t = 0,0536 \cdot 2916,551 = 156,32 \text{ N}$$

$$R_r^t = \frac{A^t}{A_w} P + P^t$$

$$R_r^t = \frac{2916,551}{5499,179} \cdot 1131327 + 156,32$$

$$R_r^t = 600168,17 \text{ N}$$

$$R_r^t = 600,168 \text{ kN} < R_c^t = 660,875 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

Kontrol kekuatan las dengan pertimbangan aksial dominan yang terjadi pada serat bawah adalah:

$$F_r^b = \frac{M_x \cdot y_2}{I_{wx}} = \frac{48270 \cdot 95,665}{75621432} = 0,0611 \text{ MPa}$$

$$P_b = F_r^b \cdot A_b = 0,0611 \cdot 2554,771 = 156,00 \text{ N}$$

$$R_r^b = \frac{A_b}{A_w} P - P_b$$

$$R_r^b = \frac{2554,771}{5499,179} \cdot 1131327 - 156,00$$

$$R_r^b = 525428,13 \text{ N}$$

$$R_r^b = 525,428 \text{ kN} < R_c^b = 580,401 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

Gaya dalam terbesar yang terjadi pada *orthotropic plate* dan dengan pertimbangan momen dominan adalah:

$$P = 230064 \text{ N}$$

$$M_x = 1477470 \text{ Nmm (Momen positif)}$$

Kontrol kekuatan las dengan pertimbangan aksial dominan yang terjadi pada serat atas adalah:

$$F_{R^t} = \frac{M_x \cdot y_1}{I_{wx}} = \frac{1477470 \cdot 83,968}{75621432} = 1,641 \text{ MPa}$$

$$P^t = F_{R^t} \cdot A^t = 1,641 \cdot 2916,551 = 4784,716 \text{ N}$$

$$R_{R^t} = \frac{A^t}{A_w} P + P^t$$

$$R_{R^t} = \frac{2916,551}{5499,179} \cdot 230064 + 4784,716$$

$$R_{R^t} = 126801,72 \text{ N}$$

$$R_{R^t} = 126,802 \text{ kN} < R_{c^t} = 660,875 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

Kontrol kekuatan las dengan pertimbangan momen dominan yang terjadi pada serat bawah adalah:

$$F_{R_b} = \frac{M_x \cdot y_2}{I_{wx}} = \frac{1477470 \cdot 95,665}{75621432} = 1,869 \text{ MPa}$$

$$P_b = F_{R_b} \cdot A_b = 1,869 \cdot 2554,771 = 4775,049 \text{ N}$$

$$R_{R_b} = \frac{A_b}{A_w} P - P_b$$

$$R_{R_b} = \frac{2554,771}{5499,179} \cdot 230064 - 4775,049$$

$$R_{R_b} = 102106,51 \text{ N}$$

$$R_{R_b} = 102,107 \text{ kN} < R_{c_b} = 580,401 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.5.4.2 Kontrol Kapasitas Las terhadap Aksial dan Momen Y

Garis netral terhadap sumbu y dihitung sebesar 0,5 be karena penampang simetris terhadap sumbu y.

$$c = 0,5 \text{ be} = 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ mm}$$

Jarak titik berat luasan kanan/kiri ke garis netral diperoleh:

$$x = 120,137 \text{ mm}$$

Karena penampang yang simetris maka luasan serat tekan sama dengan luasan serat tarik.

$$A_t = A_c = A1 + A3 + 0,5A5$$

$$A_t = A_c = 808,223 + 1523,82 + 0,5 \cdot 835,093$$

$$A_t = A_c = 2749,590 \text{ mm}^2$$

Inersia penampang las diperoleh dari bantuan AutoCad

$$I_{wy} = 185089656 \text{ mm}^4$$

Kapasitas las pada serat tertekan atau tertarik sebagai berikut:

$$l_{t-c} = 0,5(be - a) + h' + 0,5b$$

$$l_{t-c} = 0,5(600 - 300) + 261 + 0,5 \cdot 150 = 468 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{l_{t-c}}{w} \right) = 1,2 - 0,002 \cdot \left(\frac{468}{5,65} \right)$$

$$\beta = 1,028 > 1$$

$$A_{we} = \beta \cdot l_{t-c} \cdot w = 1 \cdot 468 \cdot 5,65 = 2749,23 \text{ mm}^2$$

Kapasitas las

$$Rn_{t-c} = A_{we} \cdot 0,6 F_{exx}$$

$$Rn_{t-c} = 2749,23 \cdot 0,6 \cdot 490$$

$$Rn_{t-c} = 808273,96 \text{ N} = 808,274 \text{ kN}$$

$$Rc_{t-c} = \phi Rn_{t-c}$$

$$Rc_{t-c} = 0,75 \cdot 808,274 = 606,205 \text{ kN}$$

Gaya dalam terbesar yang terjadi pada *orthotropic deck* dan dengan pertimbangan aksial dominan adalah:

$$P = 1131327 \text{ N}$$

$$My = 159120 \text{ Nmm}$$

Kontrol kekuatan las dengan pertimbangan aksial dominan yang terjadi pada masing-masing serat adalah:

$$Fr_t = Fr_c = \frac{My \cdot x}{I_{wy}} = \frac{159120 \cdot 120,137}{185089656} = 0,103 \text{ MPa}$$

$$Pr_t = Fr_t \cdot A_t = 0,103 \cdot 2749,590 = 283,942 \text{ N}$$

$$Pr_c = Fr_c \cdot A_c = 0,103 \cdot 2749,590 = 283,942 \text{ N}$$

Gaya yang paling menentukan yang terjadi pada serat penampang las adalah gaya tekan sebagai berikut:

$$R_r = 0,5 P + Pr_c$$

$$R_r = 0,5 \cdot 1131327 + 283,942$$

$$R_r = 565947,44 \text{ N}$$

$$R_r = 565,947 \text{ kN} < R_{c_{t-c}} = 606,205 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

Gaya dalam terbesar yang terjadi pada *orthotropic deck* dan dengan pertimbangan momen dominan adalah:

$$P = 42435,6 \text{ N}$$

$$M_y = 2948730 \text{ Nmm}$$

Kontrol kekuatan las dengan pertimbangan aksial dominan yang terjadi pada masing-masing serat adalah:

$$Fr_t = Fr_c = \frac{My \cdot x}{I_{wy}} = \frac{2948730 \cdot 120,137}{185089656} = 1,913 \text{ MPa}$$

$$Pr_t = Fr_t \cdot A_t = 1,913 \cdot 2749,590 = 5261,876 \text{ N}$$

$$Pr_c = Fr_c \cdot A_c = 1,913 \cdot 2749,590 = 5261,876 \text{ N}$$

Gaya yang paling menentukan yang terjadi pada serat penampang las adalah gaya tekan sebagai berikut:

$$R_r = 0,5 P + Pr_c$$

$$R_r = 0,5 \cdot 42435,6 + 5261,876$$

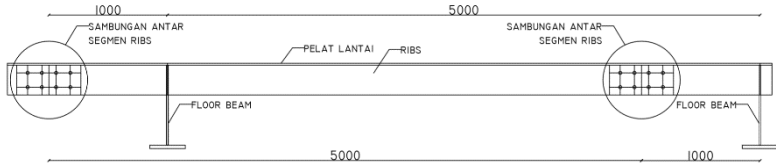
$$R_r = 26479,676 \text{ N}$$

$$R_r = 26,480 \text{ kN} < R_{c_{t-c}} = 606,205 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.5.5 Sambungan antar Segmen

Sambungan antar segmen *ribs* digunakan sambungan baut. Sambungan baut dipilih karena pertimbangan pelaksanaan yang lebih mudah. Desain posisi sambungan baut pada *ribs* dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.31 Sambungan antar Segmen pada Ribs

Baut yang digunakan untuk perencanaan sambungan pada ribs adalah baut mutu tinggi dengan tipe Group B ASTM-A490 dengan spesifikasi:

Jenis structural baut	= tipe friksi
Tipe baut	= Group B ASTM-490
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

4.5.5.1 Kapasitas Satu Buah Baut

Perhitungan kapasitas satu buah baut untuk tipe baut friksi adalah sebagai berikut:

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

Dimana:

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)

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 257 \cdot 3 = 435,62 \text{ kN}$$

$$R_c = \phi R_n = 1 \cdot 435,62 = 435,62 \text{ kN}$$

Jumlah baut ditentukan berdasarkan kapasitas terhadap gaya aksial. Gaya aksial maksimum adalah:

$$R_r = 1131,327 \text{ kN}$$

$$N = \frac{R_r}{R_c} = \frac{1131,327}{435,62} = 2,59 \approx 3 \text{ buah}$$

Untuk pertimbangan kemampuan baut terhadap momen maka digunakan baut sebanyak 8 buah. Ketentuan spasi baut dihitung berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J3.3 sampai J3.5.

Ketentuan spasi antar baut:

$$3D \leq S \leq 24t_r$$

$$3 \cdot 27 \leq S \leq 24 \cdot 8$$

$$81 \leq S \leq 192$$

Direncanakan $S = 120 \text{ mm}$

Ketentuan spasi pada baut ujung dan bagian ujung pelat penyambung:

Spasi minimum = 30 mm [SNI 1729 2015 Tabel J3.4M]

$$30 \leq S_1 \leq 12t_r$$

$$30 \leq S_1 \leq 12 \cdot 8$$

$$30 \leq S_1 \leq 96$$

Direncanakan $S_1 = 90 \text{ mm}$

4.5.5.1 Kapasitas Baut Menahan Gaya Geser dan Momen

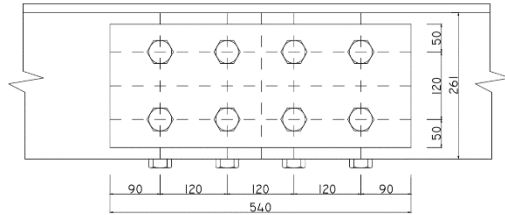
Perhitungan kapasitas baut dalam menahan kombinasi geser dan momen dianalisa menggunakan metode elastis. Gaya geser dan momen terbesar yang terjadi adalah:

$$P_x = P = 230064 \text{ N}$$

$$P_y = V = 8181,12 \text{ N}$$

$$M = 1477470 \text{ Nmm}$$

Desain sambungan baut seperti pada Gambar 4.30.



Gambar 4.32 Susunan Baut Sambungan Segmen pada Ribs

Perhitungan kapasitas baut dapat dilihat lebih lengkap pada Tabel 4.24 – Tabel 4.25.

$$\Delta P_x = \frac{P_x}{N} = \frac{230064}{8} = 28758 \text{ N}$$

$$\Delta P_y = \frac{P_y}{N} = \frac{8181,12}{8} = 1022,64 \text{ N}$$

Berikut adalah rumus yang digunakan pada perhitungan kapasitas baut dalam menahan geser dan momen.

$$K_{xi} = \frac{M \cdot y}{\sum(x^2 + y^2)}$$

$$K_{yi} = \frac{M \cdot x}{\sum(x^2 + y^2)}$$

$$R_r = \sqrt{(\Delta P_x + K_{xi})^2 + (\Delta P_y + K_{yi})^2}$$

Tabel 4.24 Perhitungan Baut Sambungan Segmen *Orthotropic Plate*

no.	x	y	x ²	y ²	M	Mx	My
	mm	mm	mm ²	mm ²	Nm	Nmm ²	Nmm ²
1	60	180	3600	32400	1477470	88648200	265944600
2	60	60	3600	3600	1477470	88648200	88648200
3	60	60	3600	3600	1477470	88648200	88648200
4	60	180	3600	32400	1477470	88648200	265944600
			$\sum(x^2 + y^2)$	86400			

Tabel 4.25 Perhitungan Baut Sambungan Segmen *Orthotropic Plate* (Lanjutan)

no.	Kx	Ky	Px/N	Py/N	Rr	Rc	Keterangan
	N	N	N	N	N	N	
1	-3078,06	-1026,02	-28758	-1022,64	31901,91	435615	Memenuhi
2	-1026,02	-1026,02	-28758	-1022,64	29854,4	435615	Memenuhi
3	1026,021	1026,021	-28758	-1022,64	27731,98	435615	Memenuhi
4	3078,063	1026,021	-28758	-1022,64	25679,94	435615	Memenuhi

4.5.5.1 Kapasitas Tarik Ruptur Penampang Efektif *Ribs*

Kapasitas tarik ruptur penampang efektif ribs dihitung berdasarkan posisi lubang baut sebagai berikut:

$$A_n = A_g - n \cdot t_r \cdot D$$

$$A_n = 14862 - 4 \cdot 8 \cdot 27$$

$$A_n = 13998 \text{ mm}^2 > 85\%A_g = 12632,7 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 85\%A_g < A_n$$

$$A_e = 12632,7 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_u \cdot A_e$$

$$P_n = 520 \cdot 12632,7 \text{ K}$$

$$P_n = 6569004 \text{ N} = 6569,004 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,75 \cdot 6569,004$$

$$P_c = 4926,753 \text{ kN}$$

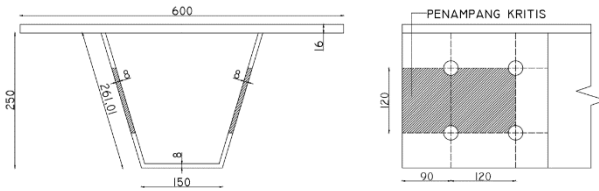
$$P_r = 1134538,5 \text{ N}$$

$$P_r = 1134,539 \text{ kN} < P_c = 4926,753 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.5.5.1 Kapasitas Geser Blok

Kapasitas geser blok pada penampang *ribs* dihitung berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J4.3. Penampang kritis geser blok dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.33 Penampang Kritis Geser Blok

Perhitungan kapasitas penampang kritis geser blok adalah sebagai berikut:

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (1)$$

$$R_n = 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (2)$$

Dimana:

$$U_{bs} = 1,0 \text{ (Untuk tegangan tarik merata)}$$

$$F_y = 450 \text{ MPa}$$

$$F_u = 520 \text{ MPa}$$

$$A_{nt} = 2 (S - D) t_r = 2 (120 - 27) 8 = 1488 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 2 (S_1 + S - 1,5D) t_r$$

$$A_{nv} = 2 (90 + 120 - 1,5 \cdot 27) 8 = 2712 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = 2 (S_1 + S) t_r = 2 (90 + 120) 8 = 3360 \text{ mm}^2$$

Kapasitas penampang kritis geser blok akan dipilih nilai terkecil dari persamaan (1) dan (2).

$$(1) 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

$$0,6 \cdot 520 \cdot 2712 + 1 \cdot 520 \cdot 1488 = 1619904 \text{ N}$$

$$(2) 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

$$0,6 \cdot 450 \cdot 3360 + 1 \cdot 520 \cdot 1488 = 1680960 \text{ N}$$

$$R_n = 1619904 \text{ N} = 1619,904 \text{ kN}$$

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 1619,904$$

$$R_c = 1214,928 \text{ kN}$$

$$R_r = 1134538,5 \text{ N}$$

$$R_r = 1134,539 \text{ kN} < R_c = 1214,928 \text{ kN}$$

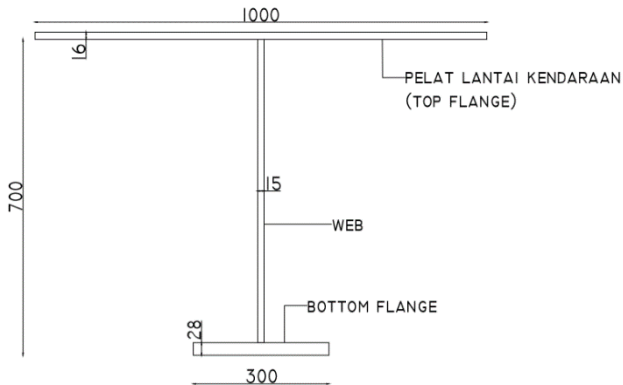
[Memenuhi]

4.6 Floor Beam

Struktur *floor beam* tersusun dari pelat lantai kendaraan yang diperkuat dengan profil T sehingga berbentuk seperti profil WF yang tidak simetris. Pelat lantai kendaraan ditentukan lebar efektif sebagai kesatuan *flange* dari *floor beam*.

4.6.1 Data Perencanaan

Floor beam dalam desain jembatan gantung ini terbagi menjadi dua yaitu *floor beam* pada bagian atas dan bagian bawah penampang dek. Untuk perencanaan dimensi seperti pada Gambar 4.32.



Gambar 4.34 Detail Penampang *Floor Beam*

Dimensi *floor beam* diberikan sebagai berikut:

H	= 700 mm	bf ₁	= be
tw	= 15 mm	tf ₁	= 16 mm
bf ₂	= 300 mm	tf ₂	= 28 mm

Digunakan profil T sebagai penguat pelat dengan produk BlueScope dengan Grade 450L15 dengan spesifikasi mutu:

fy	= 450 MPa
fu	= 520 MPa
E	= 200000 MPa

Lebar efektif pelat diambil berdasarkan ketentuan AASHTO LRFD 2012 4.6.2.6.4.

Panjang *floor beam*, L = 14000 mm

Jarak antar *floor beam*, B = 5000 mm

Jika,

$L/B \geq 5$, maka $b_e = B$

$L/B < 5$, maka $b_e = B/5$

$L/B = 14000/5000 = 2,8 < 5$

$b_e = 5000/5 = 1000$ mm

Maka diperoleh *section properties* dengan bantuan AutoCAD sebagai berikut:

$A_g = 34480$ mm²

$I_x = 3110000000$ mm⁴

$I_y = 1400000000$ mm⁴

$Z_x = 9174773$ mm³

$Z_y = 4667800$ mm³

4.6.2 Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur *floor beam* dilakukan dengan program bantu SAP2000. Dengan hasil analisa didapatkan gaya dalam maksimum dari semua kombinasi seperti pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Gaya Dalam Floor Beam

Tekan Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
1078128	31093,8	77113,34	86450	733510
Tarik Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
1228944	31009,81	77739	68020	1014100
Geser X Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
663747,4	2249722	226410,1	9245180	17302300

Geser Y Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
1212074	13361,5	362115	4060210	2073570
Momen X Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
70481,33	2035943	226410,1	30407950	27082230
Momen Y Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
295008,8	3580,19	362081,9	10401600	1655903000

4.6.3 Kontrol Kemampuan Penampang

4.6.3.1 Kontrol Kapasitas Tekan

1. Rasio Lebar Tebal

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{(700 - 28)/15}} = 0,598$$

$$0,35 \leq K_c \leq 0,76$$

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{0,5 \cdot b_{f1}}{t_{f1}} = \frac{0,5 \cdot 1000}{16} = 31,25$$

$$\lambda_r = 0,64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}} = 0,64 \sqrt{\frac{0,598 \cdot 200000}{450}} = 10,43$$

$\lambda > \lambda_p$, maka **[Penampang langsing]**

2. Rasio Kelangsingan Efektif

$$K = 1 \quad [\text{SNI 1729:2015 Tabel C-A-7.1}]$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{3110000000}{34480}} = 300,422 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{1400000000}{34480}} = 201,252 \text{ mm}$$

Kelangsingan terhadap sumbu X

$L_x = 3000 \text{ mm}$ (jarak antara rangka batang sebagai *bracing*)

$$\frac{KL_x}{r_x} = \frac{1 \cdot 3000}{300,422} = 9,986 \leq 140$$

[Memenuhi]

Kelangsingan terhadap sumbu Y

$L_x = 300 \text{ mm}$ (jarak antara ribs sebagai *bracing*)

$$\frac{KL_y}{r_y} = \frac{1 \cdot 300}{201,252} = 1,49 \leq 140$$

[Memenuhi]

3. Kuat Tekan Elemen

Kapasitas tekan dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter E7. Karena elemen termasuk elemen langsing maka perlu dilakukan reduksi terhadap kapasitas kuat tekan elemen.

Untuk elemen langsing yang tidak diperkaku $Q_a = 1,0$

$$\lambda = \frac{b}{t} = 31,25 > 1,17 \sqrt{\frac{E K_c}{F_y}} = 19,068$$

Maka

$$Q_s = \frac{0,09 E K_c}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} = \frac{0,09 \cdot 200000 \cdot 0,598}{450(19,068)^2} = 0,245$$

$$Q = Q_s \cdot Q_a = 0,245 \cdot 1 = 0,245$$

Tegangan kritis

$$\frac{KL}{r} = 9,986 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{0,245 \cdot 450}} = 200,7$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(9,986)^2} = 19794,757 \text{ MPa}$$

$$\frac{Q F_y}{F_e} = \frac{0,245 \cdot 450}{19794,757} = 0,0055 < 2,25$$

Sehingga F_{cr} dihitung sebagai berikut:

$$F_{cr} = Q \left[0,685 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = 0,245 \cdot [0,685^{0,0055}] \cdot 450$$

$$F_{cr} = 109,921 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 109,921 \cdot 34480$$

$$P_n = 37900062,5 \text{ N}$$

$$P_n = 3790,063 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 3790,063$$

$$P_c = 3411,056 \text{ kN}$$

Gaya tekan terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$P_r = 1078128 \text{ N}$$

$$P_r = 1078,128 \text{ kN} < P_c = 3411,056 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.6.3.2 Kontrol Kapasitas Tarik

1. Leleh pada Penampang Bruto

Kapasitas tarik dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter D.

$$P_n = F_y \cdot A_g = 450 \cdot 34480$$

$$P_n = 15516000 \text{ N}$$

$$P_n = 15516 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 15516$$

$$P_c = 13964,4 \text{ kN}$$

Gaya tarik terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$P_r = 1228944,4 \text{ N}$$

$$P_r = 1228,944 \text{ kN} < P_c = 13964,4 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

2. Leleh pada Penampang Bruto

Digunakan sambungan las maka nilai

$$A_n = A_g$$

$$U = 1$$

$$A_e = A_n U = 34480 \cdot 1 = 34480 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_u \cdot A_e = 520 \cdot 34480$$

$$P_n = 17929600 \text{ N}$$

$$P_n = 17929,6 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 17929,6$$

$$P_c = 13447,2 \text{ kN}$$

Gaya tarik terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$P_r = 1228944,4 \text{ N}$$

$$P_r = 1228,944 \text{ kN} < P_c = 13447,2 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.6.3.3 Kontrol Kapasitas Lentur Sumbu Kuat

1. Rasio Lebar Tebal

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{0,5 \cdot 300}{28} = \frac{150}{28} = 5,357$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 8,011$$

$$\lambda < \lambda_p, \text{ maka [Penampang kompak]}$$

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{d}{t_f} = \frac{178}{15} = 11,867$$

$$\lambda_p = 0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,84 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 17,709$$

$\lambda < \lambda_p$, maka **[Penampang kompak]**

2. Kontrol Lentur

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 SNI 1729:2015 Chapter F.

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 450 \cdot 9174773$$

$$M_n = 4128647850 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 4128,648 \text{ kNm}$$

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \cdot 4128,648$$

$$M_c = 3715,783 \text{ kNm}$$

Momen terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$M_r = 30407950 \text{ Nmm}$$

$$M_r = 30,408 \text{ kNm} < M_c = 353,59 \text{ kNm}$$

[Memenuhi]

4.6.3.4 Kontrol Kapasitas Lentur Sumbu Lemah

1. 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,

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{0,5 \cdot 1000}{16} = 31,25 > \lambda_r \text{ [tidak kompak]}$$

Sayap bawah,

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{0,5 \cdot 300}{28} = 5,357 < \lambda_p \text{ [kompak]}$$

2. Kapasitas Lentur

Kapasitas lentur dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter F6.

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_y \leq 1,6 F_y \cdot S_y$$

$$F_y \cdot Z_y = 450 \cdot 4667800 = 2100000000 \text{ Nmm}$$

$$1,6 F_y \cdot S_y = 1,6 \cdot 450 \cdot 2793045 = 2010992400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 2010992400 \text{ Nmm} = 2010,992 \text{ kNm}$$

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \cdot 2010,992$$

$$M_c = 1809,893 \text{ kN}$$

Momen terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$M_r = 1655903000 \text{ Nmm}$$

$$M_r = 1655,903 \text{ kNm} < M_c = 1809,893 \text{ kNm}$$

[Memenuhi]

4.6.3.5 Kontrol Kapasitas Geser

1. Kapasitas Geser Sumbu Kuat

Kapasitas geser dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter G2.

$$K_v = 5 \quad (\text{tanpa pengaku transversal } H < 260)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{700 - 28}{15} = 44,8 < 1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} = 51,854$$

$$\text{Maka } C_v = 1$$

$$A_w = h \cdot t_w = 672 \cdot 15 = 10080 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$V_n = 0,6 \cdot 450 \cdot 10080 \cdot 1$$

$$V_n = 2721600 \text{ N}$$

$$V_n = 2721,6 \text{ kN}$$

$$V_c = \phi V_n = 0,9 \cdot 2721,6$$

$$V_c = 2449,44 \text{ kN}$$

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$V_r = 362115 \text{ N}$$

$$V_r = 362,115 \text{ kN} < V_c = 2449,44 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

2. Kapasitas Geser Sumbu Lemah

Kapasitas geser dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter G7.

$$K_v = 1,2 \quad (\text{dibebani pada sumbu lemah})$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{0,5 \cdot 1000}{16} = 31,25$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} = 25,403$$

$$1,37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} = 31,639$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} < 31,25 < 1,37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}$$

Maka

$$C_v = \frac{1,1 \sqrt{K_v E / F_y}}{h / t_w} = \frac{25,403}{31,25} = 0,813$$

$$A_w = (bf_1 \cdot tf_1) + (bf_2 \cdot tf_2)$$

$$A_w = (1000 \cdot 16) + (300 \cdot 28) = 24400 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$V_n = 0,6 \cdot 450 \cdot 24400 \cdot 0,813$$

$$V_n = 5355445,67 \text{ N}$$

$$V_n = 5355,446 \text{ kN}$$

$$V_c = \phi V_n = 0,9 \cdot 5355,446$$

$$V_c = 4819,901 \text{ kN}$$

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$V_r = 2249722 \text{ N}$$

$$V_r = 2249,722 \text{ kN} < V_c = 2449,44 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.6.3.6 Kontrol Kapasitas Aksial Lentur

Kontrol kombinasi aksial lentur dihitung berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter H1.

Apabila nilai $\frac{Pr}{P_c} \geq 0,2$ 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 $\frac{Pr}{P_c} < 0,2$ 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 pada elemen dengan gaya aksial dan momen yang dominan sebagai berikut:

$$Pr = 1078,128 \text{ kN}$$

$$Mr_x = 0,08645 \text{ kNm}$$

$$Mr_y = 0,73351 \text{ kNm}$$

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{1078,128}{3411,056} = 0,316 > 0,2$$

Maka digunakan persamaan 1.

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mr_x}{Mc_x} + \frac{Mr_y}{Mc_y} \right) \leq 1,0$$

$$0,316 + \frac{8}{9} \left(\frac{0,086}{3715,783} + \frac{0,7335}{1809,893} \right) \leq 1,0$$

$$0,3161 \leq 1,0$$

[Memenuhi]

4.6.4 Sambungan *Floor Beam*

Sambungan untuk floor beam menggunakan sambungan las *fillet* yang direncanakan berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J. Spesifikasi las yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Mutu} &= E70xx \\ F_{exx} &= 490 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4.6.4.1 Kapasitas Las Nominal

Ketebalan las:

$$\begin{aligned} t_w &= 12 \text{ mm} \\ w &= 0,707 \times 12 = 8,485 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang pengelasan

$$\begin{aligned} l &= (bf1 - t_w) + bf2 + (bf2 - t_w) + 2(H - t_f) \\ l &= (1000 - 15) + 300 + (300 - 15) + 2(700 - 28) \\ l &= 2914 \text{ mm} \\ \frac{l}{w} &= \frac{2914}{8,485} = 343,418 > 100 \end{aligned}$$

Karena $l/w > 100$ maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

$$\begin{aligned} \beta &= 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w} \right) = 1,2 - 0,002 \cdot 343,418 \\ \beta &= 0,513 < 1 \end{aligned}$$

$$A_{we} = \beta \cdot l \cdot w = 0,513 \cdot 2914 \cdot 8,485 = 12688,5 \text{ mm}^2$$

Kapasitas las

$$R_n = A_{we} \cdot 0,6 \cdot F_{exx}$$

$$R_n = 12688,5 \cdot 0,6 \cdot 490$$

$$R_n = 3730430,73 \text{ N} = 3730,431 \text{ kN}$$

Kapasitas las terfaktor diperoleh sebesar:

$$R_c = \phi R_n$$

$$R_c = 0,75 \cdot 3730,431 = 2797,823 \text{ kN}$$

4.6.4.2 Kontrol Kapasitas Las terhadap Geser dan Aksial

1. Kontrol Geser

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *floor beam* adalah:

$$V_x = 2249722 \text{ N} = 2249,722 \text{ kN}$$

$$V_y = 362115 \text{ N} = 362,115 \text{ kN}$$

$$R_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$R_r = \sqrt{2249,722^2 + 362,115^2}$$

$$R_r = 2278,679 \text{ kN} < R_c = 2797,823 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

2. Kontrol Tarik

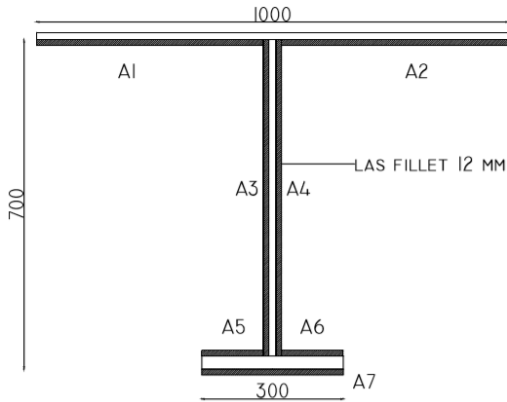
Gaya aksial terbesar adalah gaya tarik yang terjadi pada *floor beam* sebesar:

$$P_r = 1228944,4 \text{ N}$$

$$P_r = 1228,944 \text{ kN} < R_c = 2797,823 \text{ kN}$$

4.6.4.2 Kontrol Kapasitas Las terhadap Aksial Akibat Momen

Gaya tarik akibat momen diperoleh dengan menghitung luas penampang serat tarik. Untuk penampang las dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.35 Penampang Las

Dari gambar tersebut dapat diperoleh luas per bagian dengan bantuan AutoCAD sebagai berikut:

$$A1 = A2 = 4077,2 \text{ mm}^2$$

$$A3 = A4 = 5702,1 \text{ mm}^2$$

$$A5 = A6 = 1107,3 \text{ mm}^2$$

$$A7 = 2545,6 \text{ mm}^2$$

$$A_w = 24318,816 \text{ mm}^2$$

Garis netral penampang diperoleh sebagai berikut:

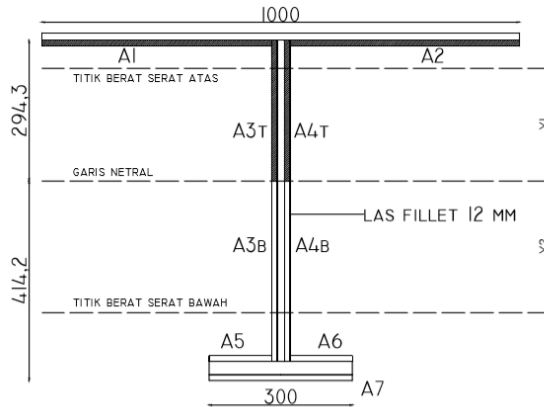
$$C_1 = \frac{2 \cdot A1 \cdot y1 + 2 \cdot A3 \cdot y3 + 2 \cdot A5 \cdot y5 + A7 \cdot y7}{A_w}$$

$$C_1 = 294,289 \text{ mm}$$

$$C_2 = H + w - C_1 = 700 + 8,485 - 294,289$$

$$C_2 = 414,196 \text{ mm}$$

Luasan serat yang telah terbagi sesuai dengan garis netral elastis seperti pada Gambar 4.34.



Gambar 4.36 Serat Atas (Terarsir), Serat Bawah (Tidak Terarsir)

Luasan serat atas atau bawah diperoleh sebagai berikut:

$$A1 = A2 = 4077,178 \text{ mm}^2$$

$$A3^t = A4^t = C_1 \cdot w = 2497,128 \text{ mm}^2$$

$$A3_b = A4_b = (C_2 - w - tf) \cdot w = 3204,981 \text{ mm}^2$$

$$A5 = A6 = 1107,3 \text{ mm}^2$$

$$A7 = 2545,6 \text{ mm}^2$$

$$A^t = A1 + A2 + A3^t + A4^t$$

$$A^t = 4077,178 + 4077,178 + 2497,128 + 2497,128$$

$$A^t = 13148,611 \text{ mm}^2$$

$$A_b = A5 + A6 + A7 + A3_b + A4_b$$

$$A_b = 2 \cdot 1107,3 + 2545,6 + 2 \cdot 3204,981$$

$$A_b = 11170,205 \text{ mm}^2$$

Inersia penampang las diperoleh dari bantuan AutoCad

$$I_w = 2469372140 \text{ mm}^4$$

Jarak titik berat serat atas atau serat bawah ke garis netral dihitung sebagai berikut:

$$y_1 = \frac{2(A1(C_1 - 0,5w) + (A3^t \cdot 0,5C_1))}{2(A3^t + A1)}$$

$$y_1 = 235,768 \text{ mm}$$

$$y_2 =$$

$$= \frac{2(A3_b(0,5 \cdot (C_2 - w - tf)) + A5(C_2 - 0,5w - w - tf)) + A7(C_2 - 0,5w)}{2 \cdot A3_b + 2 \cdot A5 + A7}$$

$$y_2 = 275,844 \text{ mm}$$

Kapasitas las pada luasan serat atas yang berada di atas garis netral elastis penampang las sebagai berikut:

$$Rn^t = A^t \cdot 0,6 \cdot F_{exx}$$

$$Rn^t = 13148,611 \cdot 0,6 \cdot 490$$

$$Rn^t = 3865691,75 \text{ N} = 3865,692 \text{ kN}$$

$$Rc^t = \phi \cdot Rn^t$$

$$Rc^t = 0,75 \cdot 3865,692 = 2899,269 \text{ kN}$$

Kapasitas las pada luasan serat bawah yang berada di bawah garis netral elastis penampang las sebagai berikut:

$$Rn_b = A_b \cdot 0,6 \cdot F_{exx}$$

$$Rn_b = 11170,205 \cdot 0,6 \cdot 490$$

$$Rn_b = 3284040,27 \text{ N} = 3284,040 \text{ kN}$$

$$Rc_b = \phi \cdot Rn_b$$

$$Rc_b = 0,75 \cdot 3284,040 = 2463,030 \text{ kN}$$

Kontrol kekuatan las terhadap aksial akibat momen yang terjadi pada serat atas adalah:

$$M_x = 1655903000 \text{ Nmm}$$

$$Fr^t = \frac{M_x \cdot y_1}{I_w} = \frac{1655903000 \cdot 235,768}{2469372140} = 158,10 \text{ MPa}$$

$$Rr^t = Fr^t \cdot A^t = 158,10 \cdot 13148,611 = 2078802,14 \text{ N}$$

$$Rr^t = 2078,802 \text{ kN} < Rc^t = 2899,269 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

Kontrol kekuatan las terhadap aksial akibat momen yang terjadi pada serat bawah adalah:

$$Fr_b = \frac{M_x \cdot y_2}{I_w} = \frac{1655903000 \cdot 275,844}{2469372140} = 184,97 \text{ MPa}$$

$$Rr_b = Fr_b \cdot A_b = 184,97 \cdot 11170,205 = 2066200,66 \text{ N}$$

$$Rr_b = 2066,201 \text{ kN} < Rc_b = 2463,03 \text{ kN}$$

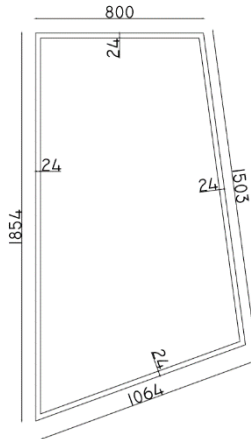
[Memenuhi]

4.7 Box Girder Samping

Box girder samping memiliki bentuk yang tidak simetris untuk mereduksi gaya angin yang menumbuk *deck* jembatan secara lateral sehingga diperoleh bentuk yang aerodinamis. *Box girder* samping juga difungsikan sebagai pengangkuran dari kabel penggantung.

4.7.1 Data Perencanaan

Profil yang digunakan tersusun atas dua pelat badan dan dua buah pelat sayap sehingga membentuk suatu bentuk geometri kotak (*hollow*). Untuk perencanaan dimensi pada *box girder* samping seperti pada Gambar 4.35.



Gambar 4.37 Detail Penampang Box Girder

Dimensi *box girder* diberikan sebagai berikut:

H_1	= 1854 mm	B_2	= 1064 mm
H_2	= 1503 mm	tw	= 24 mm
B_1	= 800 mm		

Produk yang digunakan untuk desain pelat *box girder* ini adalah produk BlueScope dengan Grade 450L15 dengan spesifikasi mutu:

$$\begin{aligned} f_y &= 450 \text{ MPa} \\ f_u &= 520 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka diperoleh *section properties* dengan bantuan AutoCAD sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_g &= 124920 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 48191655672 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 18178757608 \text{ mm}^4 \\ r_x &= 621,112 \text{ mm} \\ r_y &= 381,475 \text{ mm} \\ Z_x &= 5653599 \text{ mm}^3 \\ Z_y &= 3674211 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

4.7.2 Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur *box girder* dilakukan dengan program bantu SAP2000. Dengan hasil analisa didapatkan gaya dalam maksimum dari semua kombinasi seperti pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Gaya Dalam Box Girder

Tekan Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
16583620	53394,4		34504,12	9968200
Tarik Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
19555572	11,48	4,44	5280	1440
Geser X Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
2569604	9007656	552700,4	6119320	94145200
Geser Y Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
2208726	243064,8	946211,2	33852800	132713960

Momen X Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
1646078	2484457	353180,1	251505480	130534000
Momen Y Maksimum				
Pu (N)	Vx (N)	Vy (N)	Mx (Nmm)	My (Nmm)
2630376	308576,4	656396,8	64381440	206032800

4.7.3 Kontrol Pengaku

Hal khusus yang dijumpai pada struktur pelat girder adalah adanya pengaku badan (*stiffner*) yang berfungsi untuk mencegah tekuk lokal. Pengaku badan yang digunakan adalah pengaku melintang. Untuk perencanaan pengaku seperti pada Gambar 4.36.

$$\begin{array}{ll}
 L & = 20000 \text{ mm} & a & = 5000 \text{ mm} \\
 bs & = 260 \text{ mm} & ts & = 15 \text{ mm}
 \end{array}$$

Pelat badan dengan pengaku vertikal disyaratkan memiliki ketebalan pelat badan seperti berikut:

Untuk,

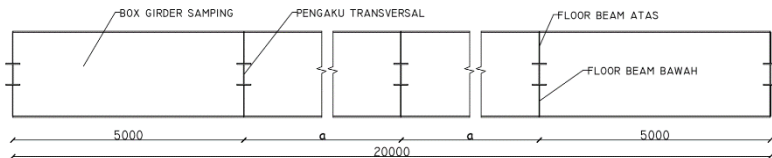
$$1,0 \leq \frac{a}{h} \leq 3,0$$

$$1,0 \leq 2,70 \leq 3,0$$

Maka,

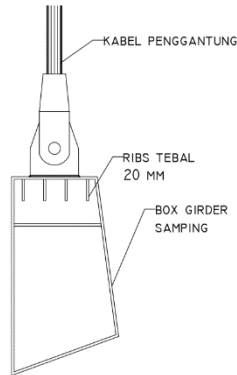
$$\frac{h}{tw} = \frac{1854}{24} = 77,25 \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 149,05$$

[Memenuhi]



Gambar 4.38 Pengaku Vertikal pada *Box Girder*

Pada *box girder* samping juga dibutuhkan pengaku di setiap 20 meter yaitu disetiap titik kabel penggantung. Pengaku berfungsi untuk membantu pelat sisi atas *box girder* dalam menahan beban tarik yang terjadi pada kabel penggantung. Sehingga pelat tidak mengalami tekuk. Perencanaan pengaku dapat dilihat pada Gambar 4.37



Gambar 4.39 Pengaku Vertikal pada *Box Girder*

4.7.4 Kontrol Kemampuan Penampang

4.7.4.1 Kontrol Kapasitas Tekan

1. Rasio Lebar Tebal

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{B2 - 2tw}{2tw} = \frac{1064 - 2 \cdot 24}{2 \cdot 24} = 21,167$$

$$\lambda_p = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 31,412$$

$\lambda < \lambda_p$, maka [**Penampang kompak**]

2. Kuat Tekan Elemen

Kapitas tekan dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter E7. Karena elemen termasuk elemen langsing maka perlu dilakukan reduksi terhadap kapasitas kuat tekan elemen.

$$K = 1 \quad [\text{SNI 1729:2015 Tabel C-A-7.1}]$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \cdot 20000}{621,112} = 32,20 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 99,296$$

Maka F_e ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(32,20)^2} = 1903,750 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{450}{1903,750} = 0,236 < 2,25$$

Sehingga F_{cr} dihitung sebagai berikut:

$$F_{cr} = \left[0,685 \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = [0,685^{0,236}] \cdot 450$$

$$F_{cr} = 407,610 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 407,610 \cdot 124920$$

$$P_n = 50918722,76 \text{ N}$$

$$P_n = 50918,723 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 50918,723$$

$$P_c = 45826,850 \text{ kN}$$

Gaya tekan terbesar yang terjadi pada *box girder* adalah:

$$P_r = 16583620 \text{ N}$$

$$P_r = 16583,620 \text{ kN} < P_c = 45826,850 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.7.4.2 Kontrol Kapasitas Lentur

1. Rasio Lebar Tebal

Pelat sayap,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{B2 - 2tw}{2tw} = 21,167$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 23,612$$

$\lambda < \lambda_p$, maka [**Penampang kompak**]

Pelat badan,

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{H1}{2 \cdot tw} = \frac{1854}{2 \cdot 24} = 38,625$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200000}{450}} = 51,018$$

$\lambda < \lambda_p$, maka [**Penampang kompak**]

2. Kapasitas Lentur

Karena pelat sayap kompak maka digunakan persamaan F7-1 SNI 1729:2015 Chapter F.

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 450 \cdot 5653599$$

$$M_n = 2544119550 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 2544,119 \text{ kNm}$$

$$M_c = \phi M_n = 0,9 \cdot 2544,119$$

$$M_c = 2289,708 \text{ kNm}$$

Momen terbesar yang terjadi pada *box girder* adalah:

$$M_r = 251505480 \text{ Nmm}$$

$$M_r = 251,506 \text{ kNm} < M_c = 2289,708 \text{ kNm}$$

[**Memenuhi**]

4.7.4.3 Kontrol Kapasitas Geser

Kapasitas geser dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter G2 dan G5.

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5,68$$

$$h = H1 = 1854 \text{ mm}$$

$$tw = 2 \cdot tw = 2 \cdot 24 = 48 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{1854}{48} = 38,625 < 1,1 \sqrt{\frac{Kv \cdot E}{Fy}} = 55,305$$

Maka $Cv = 1$

$$Aw = (H1 + H2) \cdot tw = 3341 \cdot 24 = 80184 \text{ mm}^2$$

$$Vn = 0,6 \cdot Fy \cdot Aw \cdot Cv$$

$$Vn = 0,6 \cdot 450 \cdot 80184 \cdot 1$$

$$Vn = 21649680 \text{ N}$$

$$Vn = 21649,68 \text{ kN}$$

$$Vc = \phi Vn = 0,9 \cdot 21649,68$$

$$Vc = 19484,712 \text{ kN}$$

Gaya geser terbesar yang terjadi pada *box girder* adalah:

$$Vr = 946211,2 \text{ N}$$

$$Vr = 946,211 \text{ kN} < Vc = 19484,712 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.7.4.4 Kontrol Kapasitas Torsi

Kapasitas torsi dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter H3.

$$h = H1 = 1854 \text{ mm}$$

$$tw = 2 \cdot tw = 2 \cdot 24 = 48 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{1854}{48} = 38,625 < 2,45 \sqrt{\frac{Kv \cdot E}{Fy}} = 51,65$$

Maka Fcr ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$F_{cr} = 0,6 Fy = 0,6 \cdot 450 = 270 \text{ MPa}$$

$$C = 2(B - t)(H - t)t - 4,5(4 - \pi)t^3$$

$$C = 2(1064 - 24)(1854 - 24)24 - 4,5(4 - \pi)24^3$$

$$C = 91300200,2 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} T_n &= F_{cr} \cdot C \\ T_n &= 270 \cdot 91300200,2 \\ T_n &= 24651054053 \text{ Nmm} \\ T_n &= 24651,054 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_c &= \phi V_n = 0,9 \cdot 25651,054 \\ T_c &= 22185,950 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya torsi terbesar diperoleh dari hasil analisa menggunakan MIDAS yang terjadi pada *box girder* adalah sebesar:

$$\begin{aligned} T_r &= 9335446124,60 \text{ Nmm} \\ T_r &= 9335,45 \text{ kNm} < T_c = 22185,950 \text{ kNm} \end{aligned}$$

[Memenuhi]

4.7.5 Sambungan Box Girder

Baut yang digunakan untuk perencanaan sambungan pada ribs adalah baut mutu tinggi dengan tipe Group B ASTM-A490 dengan spesifikasi:

Jenis structural baut	= tipe friksi
Tipe baut	= Group B ASTM-490
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

4.7.5.1 Kapasitas Satu Buah Baut

Perhitungan kapasitas satu buah baut untuk tipe baut friksi adalah sebagai berikut:

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

Dimana:

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)

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 408 \cdot 3 = 691,56 \text{ kN}$$

$$R_c = \phi R_n = 1 \cdot 691,56 = 691,56 \text{ kN}$$

Jumlah baut ditentukan berdasarkan kapasitas terhadap gaya aksial. Gaya aksial maksimum adalah:

$$R_r = F_y A_g$$

$$R_r = 450 \cdot 124920 = 56214000 \text{ N} = 56214 \text{ kN}$$

$$N = \frac{R_r}{R_c} = \frac{56214}{691,56} = 81,28 \approx 82 \text{ buah}$$

Baut dipasang pada keempat sisi box girder. Jumlah pada masing-masing sisi sebanyak:

$$N' = \frac{N}{4} = \frac{82}{4} = 20,5 \approx 21 \text{ buah}$$

Untuk mempertimbangkan aksial akibat momen maka direncanakan jumlah baut sebanyak 24 buah. Ketentuan spasi baut dihitung berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J3.3 sampai J3.5.

Ketentuan spasi antar baut:

$$3D \leq S \leq 24t_w$$

$$3 \cdot 30 \leq S \leq 24 \cdot 24$$

$$99 \leq S \leq 576$$

Direncanakan $S = 200 \text{ mm}$

Ketentuan spasi pada baut ujung dan bagian ujung pelat penyambung:

Spasi minimum = 38 mm [SNI 1729 2015 Tabel J3.4M]

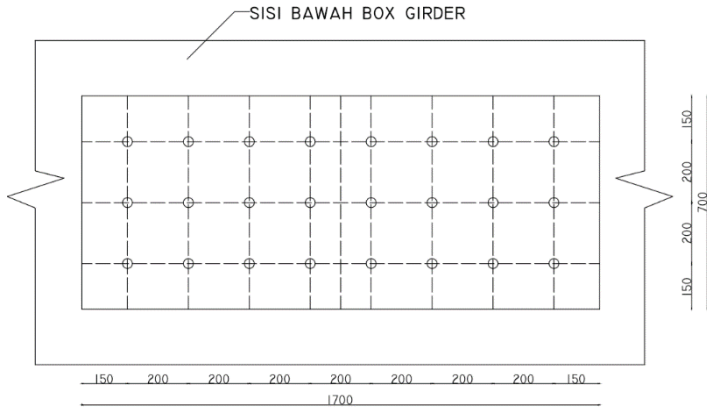
$$38 \leq S_1 \leq 12t_w$$

$$38 \leq S_1 \leq 12 \cdot 24$$

$$38 \leq S_1 \leq 288$$

Direncanakan $S_1 = 150 \text{ mm}$

Maka untuk penempatan sambungan baut dapat dilihat pada Gambar 4.38.



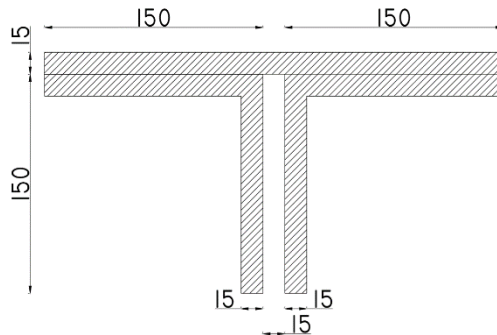
Gambar 4.40 Sambungan Baut pada Sisi Box Girder

4.8 Rangka Batang

Rangka batang pada lantai kendaraan jembatan gantung didesain menggunakan profil siku ganda yang disambung menggunakan pelat. Rangka batang memiliki fungsi sebagai diafragma. Pemilihan penggunaan rangka batang dibandingkan dengan pelat penuh didasarkan pada berat struktur yang lebih ringan. Kapasitas rangka batang dihitung dengan acuan SNI 1729 2015 seperti di bawah ini.

4.8.1 Data Perencanaan

Profil yang digunakan tersusun atas dua pelat siku dengan terdapat jarak antar kedua sisi untuk desain sambungan. Untuk perencanaan dimensi pada rangka batang samping seperti pada Gambar 4.39.



Gambar 4.41 Detail Penampang Rangka Batang

Dimensi rangka batang diberikan sebagai berikut:

- b = 150 mm
- tw = 15 mm
- tp = 150 mm
- L = 2527 mm (elemen rangka terpanjang)

Produk yang digunakan untuk desain pelat *box girder* ini adalah produk BlueScope dengan Grade 400L15 dengan spesifikasi mutu:

$$\begin{aligned} f_y &= 400 \text{ MPa} \\ f_u &= 480 \text{ MPa} \\ E &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka diperoleh *section properties* dengan bantuan AutoCAD sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_g &= 8325 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 17929573 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 34732969 \text{ mm}^4 \\ r_x &= 46,408 \text{ mm} \\ r_y &= 64,592 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.8.2 Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur rangka batang dilakukan dengan program bantu SAP2000. Karena elemen termasuk kedalam rangka batang maka perlu dilakukan *release element*. Dengan hasil analisa didapatkan gaya dalam maksimum dari semua kombinasi seperti berikut.

$$\begin{aligned} P_{tekan} &= 777616,1 \text{ N} \\ P_{tarik} &= 113294,1 \text{ N} \end{aligned}$$

4.8.3 Kontrol Kemampuan Penampang

4.8.3.1 Kontrol Kapasitas Tekan

Kapitas tekan dianalisa berdasarkan SNI 1729:2015 Chapter E.

1. Rasio Lebar Tebal

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{150}{15} = 10$$

$$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{400}} = 10,06$$

$$\lambda < 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka [non slender]}$$

2. Kapasitas Tekan

Kontrol kelangsingan

$$K = 0,65 \quad [\text{SNI 1729:2015 Tabel C-A-7.1}]$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \cdot 2527}{46,408} = 54,452 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 105,312$$

[Memenuhi]Maka F_e ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(54,452)^2} = 665,741 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{420}{665,741} = 0,6 < 2,25$$

Sehingga F_{cr} dihitung sebagai berikut:

$$F_{cr} = \left[0,685 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = [0,685^{0,6}] \cdot 400$$

$$F_{cr} = 318,667 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 318,667 \cdot 8325$$

$$P_n = 2652903 \text{ N}$$

$$P_n = 2652,903 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 2652,903$$

$$P_c = 2387,613 \text{ kN}$$

Gaya tekan terbesar yang terjadi pada *orthotropic deck* adalah:

$$P_r = 777616,1 \text{ N}$$

$$P_r = 777,616 \text{ kN} < P_c = 2387,613 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.8.3.2 Kontrol Kapasitas Tarik

Kapasitas tarik dihitung untuk mengetahui pelepasan pada penampang bruto berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter D.

$$P_n = F_y \cdot A_g = 400 \cdot 8325$$

$$P_n = 3330000 \text{ N}$$

$$P_n = 3330 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,9 \cdot 3330$$

$$P_c = 2997 \text{ kN}$$

Gaya tarik terbesar yang terjadi pada *orthotropic deck* adalah:

$$P_r = 113294,1 \text{ N}$$

$$P_r = 113,294 \text{ kN} < P_c = 2997 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.8.4 Sambungan Rangka Batang

Baut yang digunakan untuk perencanaan sambungan pada rangka batang dan pelat penyambung adalah baut tipe gesek kritis dengan tipe Group B ASTM-A490 dengan spesifikasi:

Tipe baut = Group B ASTM-490

Kuat tarik nominal, $F_{nt} = 780 \text{ MPa}$

Kuat geser nominal, $F_{nv} = 579 \text{ MPa}$

Diameter baut, $D_b = 24 \text{ mm (M24)}$

Diameter lubang, $D = 27 \text{ mm}$

Pratarik minimum, $T_b = 257 \text{ kN}$

4.8.4.1 Kapasitas Satu Buah Baut

Perhitungan kapasitas satu buah baut untuk tipe baut friksi adalah sebagai berikut:

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

Dimana:

$\mu = 0,5$ (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)

$n_s = 4$ (Jumlah bidang gesek – 2 antara pelat dengan kepala baut dan 2 antar pelat)

$$R_n = 0,5 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 257 \cdot 4 = 580,82 \text{ kN}$$

$$R_c = \phi R_n = 1 \cdot 580,82 = 580,82 \text{ kN}$$

Jumlah baut ditentukan berdasarkan kapasitas terhadap gaya aksial. Gaya aksial maksimum adalah:

$$R_r = 777,616 \text{ kN}$$

$$N = \frac{R_r}{R_c} = \frac{777,616}{580,82} = 1,33 \approx 2 \text{ buah}$$

Ketentuan spasi baut dihitung berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J3.3 sampai J3.5.

Ketentuan spasi antar baut:

$$3D \leq S \leq 24t_r$$

$$3 \cdot 27 \leq S \leq 24 \cdot 15$$

$$81 \leq S \leq 360$$

Direncanakan $S = 250 \text{ mm}$

Ketentuan spasi pada baut ujung dan bagian ujung pelat penyambung:

Spasi minimum = 30 mm [SNI 1729 2015 Tabel J3.4M]

$$30 \leq S_1 \leq 12t_r$$

$$30 \leq S_1 \leq 12 \cdot 15$$

$$30 \leq S_1 \leq 180$$

Direncanakan $S_1 = 50 \text{ mm}$

4.8.4.2 Kapasitas Geser Blok

Kapasitas geser blok pada penampang ribs dihitung berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J4.3.

Perhitungan kapasitas penampang kritis geser blok adalah sebagai berikut:

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (1)$$

$$R_n = 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (2)$$

Dimana:

$$U_{bs} = 1,0 \text{ (Untuk tegangan tarik merata)}$$

$$F_y = 400 \text{ MPa}$$

$$F_u = 480 \text{ MPa}$$

$$A_{nt} = (b - e - 0,5D) t_p = 2947,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (S_1 + S - 1,5D) t_p = 4642,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = (S_1 + S) t_p = 5250 \text{ mm}^2$$

Kapasitas penampang kritis geser blok akan dipilih nilai terkecil dari persamaan (1) dan (2).

$$(1) \quad 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

$$0,6 \cdot 480 \cdot 4642,5 + 1 \cdot 480 \cdot 2947,5 = 2751840 \text{ N}$$

$$(2) \quad 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

$$0,6 \cdot 400 \cdot 5250 + 1 \cdot 480 \cdot 2947,5 = 2674800 \text{ N}$$

$$R_n = 2674800 \text{ N} = 2674,8 \text{ kN}$$

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 2674,8$$

$$R_c = 2006,1 \text{ kN}$$

$$R_r = 777616,1 \text{ N}$$

$$R_r = 777,6161 \text{ kN} < R_c = 2006,1 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.8.4.3 Kapasitas Tarik Ruptur Penampang Netto

Kapasitas tarik *rupture* penampang netto dihitung berdasarkan posisi lubang baut sebagai berikut:

$$A_n = A_g - n t_r D$$

$$A_n = 8325 - 2 \cdot 15 \cdot 27$$

$$A_n = 7515 \text{ mm}^2 > 85\% A_g = 7076,25 \text{ mm}^2$$

$$x = t_p + e = 15 + 40 = 55 \text{ mm}$$

$$l = 250 \text{ mm}$$

$$U = 1 - \frac{x}{l} \leq 0,9$$

$$U = 1 - \frac{55}{250} \leq 0,9$$

$$U = 0,78 \leq 0,9$$

$$A_e = A_n U$$

$$A_e = 7515 \cdot 0,78 = 5861,7 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_u \cdot A_e$$

$$P_n = 480 \cdot 5861,7$$

$$P_n = 2813616 \text{ N} = 2813,616 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 0,75 \cdot 2813,616$$

$$P_c = 2110,212 \text{ kN}$$

$$P_r = 777616,1 \text{ N}$$

$$P_r = 777,616 \text{ kN} < P_c = 2110,212 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.9 Struktur Kabel

Struktur kabel yang terdiri dari kabel utama (*main cable*) dan kabel penggantung (*hanger*) merupakan struktur utama dari jembatan gantung. Kabel penggantung berfungsi menyokong lantai kendaraan dan menyalurkan beban-beban yang bekerja pada kabel utama yang kemudian akan disalurkan ke *pylon*. Beban tersebut meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa dan beban saat pelaksanaan.

Pada sub bab ini perencanaan struktur kabel akan dibagi menjadi dua, yaitu perencanaan kabel penggantung dan perencanaan kabel utama.

4.9.1 Kabel Penggantung (*Hanger*)

4.9.1.1 Data Perencanaan

Pada sub bab preliminary design telah dijelaskan bahwa desain kabel penggantung menggunakan *VSL 7-wire strand* dengan produk VSL SSI 2000. Spesifikasi material kabel yang digunakan adalah:

Produk	= VSL SSI 2000
Kuat tarik, Fu	= 1860 MPa (100% GUTS)
Kuat tarik ijin, Fijin	= 1116 MPa (60% GUTS)

Hanger yang direncanakan hanya memikul beban tarik yang timbul dari lantai kendaraan dan meneruskan beban tersebut ke kabel utama. Kabel penggantung dipasang dengan jarak 20 meter ke arah longitudinal dan 30 m ke arah transversal. Susunan kabel penggantung seperti pada Gambar 4.40. Sehingga dibutuhkan kurang lebih sebanyak 122 kabel penggantung dengan panjang yang bervariasi seperti pada Tabel 4.28.

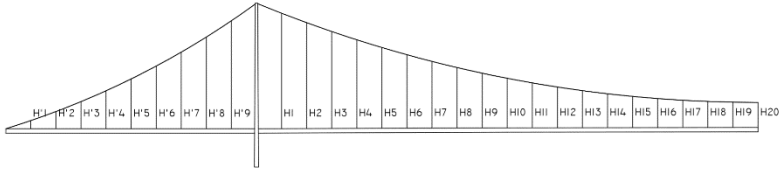
Dari hasil perhitungan secara manual menggunakan persamaan kabel *catenary* diperoleh persamaan lengkung kabel utama pada *mid span* adalah:

$$y = 1010 \cdot \cosh \frac{x}{1010}$$

Maka untuk, $x = 60$ m

$$y = 1010 \cdot \cosh \frac{60}{1010} = 1011,78 \text{ m}$$

Panjang kabel penggantung (L) = 11011,78 – 1010 + 20 = 21,8 m



Gambar 4.42 Tatanan Sistem Kabel Penggantung

Tabel 4.28 Panjang Kabel Penggantung setiap Segmen

Kabel	L (m)	Kabel	L (m)	Kabel	L (m)
H1	92,3	H11	36,1	H'1	7,5
H2	84,8	H12	32,7	H'2	14,4
H3	77,8	H13	29,7	H'3	22
H4	71,1	H14	27,1	H'4	30,4
H5	64,9	H15	25,0	H'5	39,6
H6	59,1	H16	23,2	H'6	49,7
H7	53,7	H17	21,8	H'7	60,8
H8	48,6	H18	20,8	H'8	72,8
H9	44,1	H19	20,2	H'9	85,8
H10	39,9	H20	20,0		

4.9.1.2 Kapasitas Penampang Kabel

Dimensi kabel diperoleh dari hasil *preliminary design*. Kemudian dimodelkan dengan program bantu MIDAS CIVIL. Namun diperoleh dimensi kabel yang melebihi besar dimensi hasil *preliminary design* karena adanya efek perlakuan dari struktur utama lainnya. Sehingga diperoleh dimensi sebagai berikut:

Luas 1 strand, As	= 140 mm ²
Jumlah strand, n	= 109
Luas kabel, Asc	= 15260 mm ²
Diamater kabel, D	= 139,4 mm

Gaya dalam maksimum kabel hasil permodelan adalah:

$$Pr = 2881,98 \quad \text{kN}$$

Kapasitas kabel dihitung sebagai berikut:

$$P_n = F_{ijin} \cdot A_{sc}$$

$$P_n = 1116 \cdot 15260$$

$$P_n = 17030160 \text{ N} = 17030,160 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n$$

$$P_c = 0,9 \cdot 17030,160$$

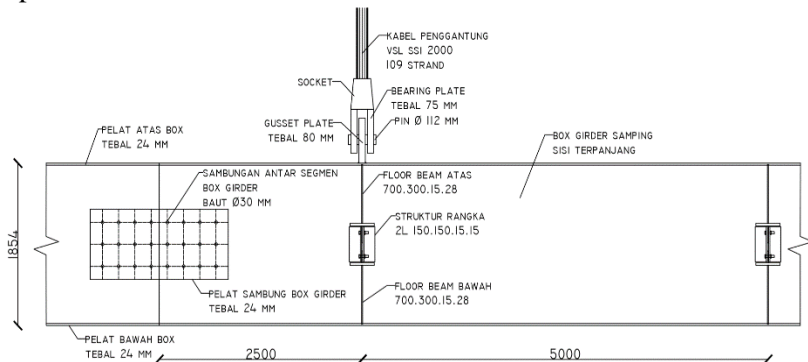
$$P_c = 15327,144 \text{ kN}$$

$$Pr = 2881,98 < P_c = 15327,144 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.9.1.3 Desain Sambungan

Sambungan di ujung kabel penggantung menggunakan jenis sambungan “*pin plate connection*” yaitu terdiri dari bagian *pin*, *plate* dan *socket*. Bentuk dan dimensi sambungan dapat dilihat pada Gambar 4.41.



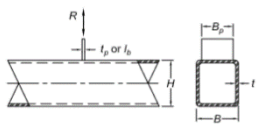
Gambar 4.43 Desain Sambungan pada Deck

Desain sambungan pada kabel penggantung terdiri dari:

1. Kapasitas Sambungan

Kemampuan pelat sambung dan *box girder* dalam menahan gaya tarik yang diberikan kabel diatur dalam SNI

1729 2015 Chapter K. Persamaan yang digunakan sesuai dengan bentuk sambungan yang direncanakan yang telah dijelaskan pada Tabel K1.2. Bentuk sambungan yang digunakan seperti pada Gambar 4.42.

Connection Type	Connection Available Strength
Transverse Plate T- and Cross-Connections, Under Plate Axial Load	Limit State: Local Yielding of Plate, For All β
	$R_n = \frac{10}{\beta t} F_y B_p \leq F_{yp} t_p B_p \quad (K1-7)$
where $\beta = \frac{B_p}{B}$	$\phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.58 \text{ (ASD)}$

Gambar 4.44 Persamaan Kapasitas *Gusset Plate* (SNI 1729 2015 Tabel K1.2)

Spesifikasi material baja yang digunakan adalah produk BlueScope Steel Grade 450L15 dengan spesifikasi mutu:

$F_{yp} = 450 \text{ MPa}$

$F_{up} = 520 \text{ MPa}$

Dimensi yang direncanakan seperti pada Gambar 4.43 diberikan sebagai berikut:

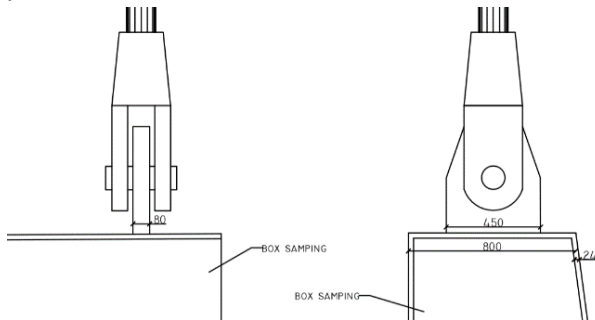
$B = 800 \text{ mm}$

$t_p = 80 \text{ mm}$

$B_p = 450 \text{ mm}$

$t = 24 \text{ mm}$

$\beta = 0,5625$



(a) Tampak samping

(b) Tampak depan

Gambar 4.45 Dimensi Sambungan Pelat pada *Box Girder*

Kapasitas leleh lokal pada pelat terhadap sambungan pelat dengan gaya aksial tarik dihitung sebagai berikut:

$$F_{yp \text{ tp } B_p} = 450 \cdot 80 \cdot 450 = 16200000 \text{ N}$$

$$\phi F_{yp \text{ tp } B_p} = 0,95 \cdot 16200000$$

$$\phi F_{yp \text{ tp } B_p} = 15390000 \text{ N}$$

$$\phi F_{yp \text{ tp } B_p} = 15390 \text{ kN} > P_r = 2881,98 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

$$R_n = \frac{10}{B/t} F_y t B_p = \frac{10}{800/24} 450 \cdot 24 \cdot 450$$

$$R_n = 1458000 \text{ N}$$

$$R_n = 1458,000 \text{ kN} < 15390 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

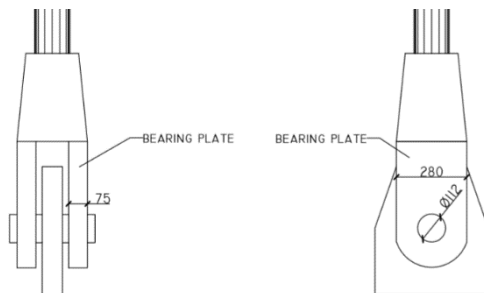
2. Kapasitas *Bearing Plate*

Spesifikasi material baja yang digunakan adalah produk BlueScope Steel Grade 450L15 dengan spesifikasi mutu:

$$F_{yp} = 450 \text{ MPa}$$

$$F_{up} = 520 \text{ MPa}$$

Tegangan pada bearing plate didasarkan pada dimensi kabel seperti pada Gambar 4.44.



(b) Tampak samping

(b) Tampak depan

Gambar 4.46 Dimensi Bearing Plate

$$\begin{aligned} B &= 280 \text{ mm} \\ D &= 115,2 \text{ mm} \\ t_p &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= t_p \cdot B = 75 \cdot 280 = 21000 \text{ mm}^2 \\ A_{p'} &= t_p \cdot (B - D) = 75 \cdot (280 - 111,5) = 12637 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan ijin pada pelat baja

$$\begin{aligned} F_{yp} &= 0,8 F_y \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p}} - 0,2 \\ F_{yp} &= 0,8 \cdot 450 \sqrt{\frac{12637}{21000}} - 0,2 \\ F_{yp} &= 242,454 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada pelat baja

$$\begin{aligned} P_r &= 2881,98 \text{ kN} = 2881980 \text{ N} \\ F_t &= \frac{P_r}{A_{p'}} = \frac{2881980}{12637} \\ F_t &= 228,05 \text{ MPa} < F_{yp} = 242,454 \text{ MPa} \end{aligned}$$

[Memenuhi]

3. Kapasitas *Pin*

Perhitungan kapasitas pin pada gusset plate didasarkan pada SNI 1729 2015 Chapter J3. Spesifikasi material baja yang digunakan adalah produk BlueScope Steel Grade 450L15 dengan spesifikasi mutu:

$$\begin{aligned} F_{yp} &= 450 \text{ MPa} \\ F_{up} &= 520 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dimensi yang direncanakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D_{pin} &= 111,5 \text{ mm} \\ A_b &= 9764,266 \text{ mm}^2 \\ t_p &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kapasitas pin diperoleh dari nilai terkecil antara tiga kontrol di bawah ini.

Kuat tarik

$$R_n = F_{nt} A_b = 0,75 F_u A_b$$

$$R_n = 0,75 \cdot 520 \cdot 9764,266$$

$$R_n = 7616127,7 \text{ N}$$

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 7616127,7$$

$$R_c = 5712095,8 \text{ N} = 5712,096 \text{ kN}$$

Kuat tumpu

$$R_n = 3 D_{pin} t_p F_u$$

$$R_n = 3 \cdot 111,5 \cdot 75 \cdot 520$$

$$R_n = 1304500 \text{ N}$$

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 13045500$$

$$R_c = 9784125 \text{ N} = 9784,125 \text{ kN}$$

Kuat geser

$$R_n = F_{nt} A_b = 0,563 F_u A_b$$

$$R_n = 0,563 \cdot 520 \cdot 9764,266$$

$$R_n = 5717173,2 \text{ N}$$

$$R_c = \phi R_n = 0,75 \cdot 5717173,2$$

$$R_c = 4287879,9 \text{ N} = 4287,880 \text{ kN (Menentukan)}$$

Gaya aksial tarik yang terjadi

$$P_r = 2881,98 \text{ kN} < 4287,880 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4. Sambungan Las

Perhitungan sambungan las pada lantai kendaraan berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

$$\text{Mutu} = E70_{xx}$$

$$F_{exx} = 490 \text{ MPa}$$

Ketebalan las minimum:

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$w = 0,707 \times 8 = 5,65 \text{ mm}$$

Faktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

$$l = 2 \times (80 + 450) = 1060 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{w} = \frac{1060}{5,65} = 187,385 > 100$$

Karena $l/w > 100$ maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w} \right) = 1,2 - 0,002 \cdot 187,385$$

$$\beta = 0,825 < 1$$

$$lw = \beta \cdot l = 0,825 \cdot 1060 = 874,744 \text{ mm}$$

Kapasitas las

$$R_c = 0,75 w lw F_{exx}$$

$$R_c = 0,75 \cdot 5,65 \cdot 874,744 \cdot 490$$

$$R_c = 1818481,7 \text{ N} = 1818,482 \text{ kN} < 2881,98 \text{ kN}$$

[Tidak memenuhi]

Maka perlu dilakukan perbesaran tebal las sebagai berikut:

$$w = \frac{R_c}{0,75 lw F_{exx}}$$

$$w = \frac{2881980}{0,75 \cdot 874,744 \cdot 490}$$

$$w = 8,965 \text{ mm}$$

$$tw = 0,707 w = 0,707 \cdot 8,965 = 12,68 \text{ mm}$$

direncanakan tebal las $tw = 14 \text{ mm}$.

4.9.2 Kabel Utama

4.9.2.1 Data Perencanaan

Perencanaan kabel utama menggunakan *VSL 7-wire strand* dengan produk VSL SSI 2000. Spesifikasi material kabel yang digunakan adalah:

Produk	= VSL SSI 2000
Kuat tarik, F_u	= 1860 MPa (100% GUTS)
Kuat tarik ijin, F_{ijin}	= 1116 MPa (60% GUTS)

Dari brosur produk VSL SSI 2000 diperoleh spesifikasi dimensi dari setiap strand seperti pada Gambar 4.45:



Gambar 4.47 Penampang Kabel VSL SSI 2000

Luas 1 strand, A_s	= 140 mm ²
Diameter 1 strand, D	= 13,34 mm
Maksimum strand, n	= 187
Luas 1 kabel, A	= 26180 mm ²

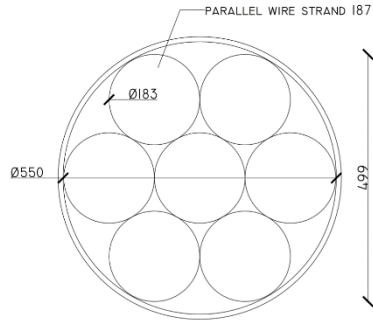
Pada konstruksi jembatan gantung perlu dilakukan pretension atau pemberian gaya pratarik untuk kabel sebelum menerima beban. Hal ini bertujuan untuk mengatur posisi deck jembatan agar sesuai dengan posisi akhir jembatan sebelum menerima beban hidup. Sehingga *deck* tidak akan melendut akibat beban sendiri dan beban mati tambahan.

Penentuan gaya pratarik dilakukan dengan cara coba-coba berdasarkan tegangan yang diterima oleh kabel akibat beban sendiri pada permodelan sederhana. Sehingga diperoleh gaya pratarik pada setiap kabel sebesar 12571,5 kN.

4.9.2.2 Kapasitas Penampang Kabel

Dimensi kabel ditentukan berdasarkan preliminary design dan dilakukan permodelan pada MIDAS CIVIL. Dimensi kabel dan jumlah kabel juga memperhatikan efek perilaku struktur utama lainnya. Sehingga diperoleh dimensi sebagai berikut dan susunan kabel dapat dilihat pada Gambar 4.46:

Jumlah kabel, n	= 7 kabel
Luas kabel, A_{sc}	= 183260 mm ²



Gambar 4.48 Susunan Kabel Utama

Gaya dalam maksimum kabel hasil permodelan adalah:

$$Pr = 147917,27 \quad \text{kN}$$

Kapasitas kabel dihitung sebagai berikut:

$$P_n = F_{ijin} \cdot A_{sc}$$

$$P_n = 1116 \cdot 183260$$

$$P_n = 204518160 \text{ N} = 204518,16 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n$$

$$P_c = 0,9 \cdot 204518,16$$

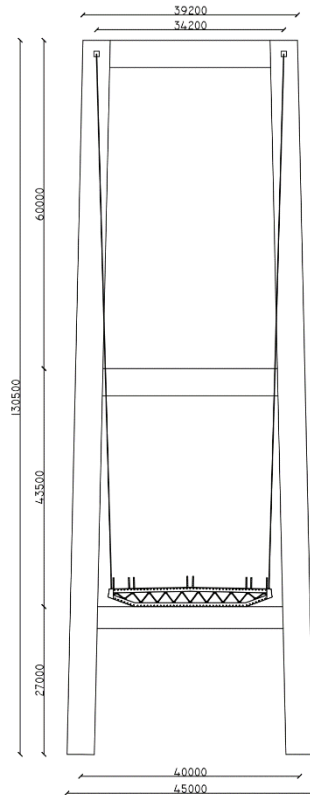
$$P_c = 184066,34 \text{ kN}$$

$$Pr = 147917,27 < P_c = 184066,34 \text{ kN}$$

[Memenuhi]

4.10 Struktur Pylon

Struktur *pylon* berfungsi untuk memikul beban pada lantai kendaraan yang disalurkan melalui kabel utama untuk selanjutnya disalurkan ke pondasi. Material yang digunakan adalah beton bertulang dengan mutu tinggi yang digunakan untuk memenuhi kapasitas *pylon* dalam memikul beban yang bekerja. Struktur *pylon* terdiri dari dua bagian yaitu kolom *pylon* dan *pylon* transversal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.47.



Gambar 4.49 Struktur *Pylon* Tampak Depan

4.10.1 Kolom *Pylon*

4.10.1.1 Data Perencanaan

Material beton bertulang yang digunakan memiliki spesifikasi mutu:

$$f_c' = 60 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{60} = 36406 \text{ MPa}$$

Materi baja tulangan yang digunakan adalah mutu tulangan U-48 dengan spesifikasi mutu:

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

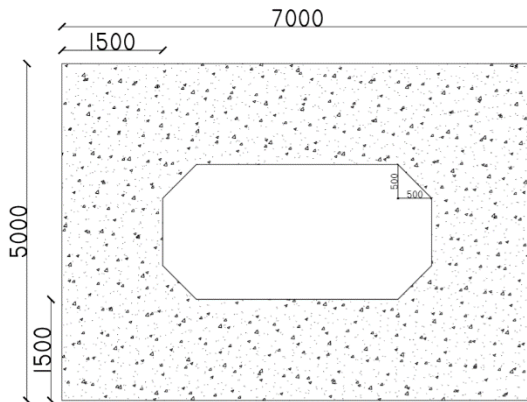
$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Dimensi kolom *pylon* sebagai berikut:

$$b = 7000 \text{ mm}$$

$$h = 5000 \text{ mm}$$

Detail penampang dapat dilihat pada Gambar 4.48



Gambar 4.50 Detail Penampang Kolom *Pylon*

4.10.1.2 Hasil Analisa Struktur

Gaya dalam pada *pylon* diperoleh dari hasil permodelan menggunakan program bantu MIDAS CIVIL. Kemudian gaya

tersebut akan dikoreksi dengan adanya perbesaran momen sekunder yang dianalisa berdasarkan kelangsingan struktur *pylon*.

Hasil analisa struktur pada *section 1* diperoleh dari kombinasi beban dinamis dan statis dengan gaya terbesar sebesar:

$$\begin{aligned} P_u &= 275516,43 \text{ kN} \\ V_x &= 76632,81 \text{ kN} \\ V_y &= 38579,06 \text{ kN} \\ T_u &= 274624,11 \text{ kNm} \\ M_x &= 370902,50 \text{ kNm} \\ M_y &= 872468,60 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.10.1.3 Analisa Kelangsingan dan Momen Sekunder

1. Kelangsingan *Pylon*

Faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan asumsi bahwa *pylon* merupakan struktur jepit-bebas.

$$\begin{aligned} K &= 2,2 \quad [\text{RSNI T-12-2004 Gambar 5.7-1}] \\ H &= 27000 \text{ mm} \quad (\text{tinggi } pylon \text{ section 1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= 27500000 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 70604200000000 \text{ mm}^4 \\ I_y &= 133938000000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Jari-jari girasi penampang

$$\begin{aligned} r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{70604200000000}{27500000}} = 1602,319 \text{ mm} \\ r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{133938000000000}{27500000}} = 2206,915 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kelangsingan sumbu X

Cek kelangsingan pada struktur tekan dengan pengaku

$$M_1 = 274095,01 \text{ kNm} \text{ (Momen ujung terfaktor terkecil)}$$

$$M_2 = 370902,50 \text{ kNm} \text{ (Momen ujung terfaktor terbesar)}$$

$$\frac{K \cdot H}{r_x} \leq 34 - 12 \left(\frac{274095,01}{370902,50} \right) \leq 40$$

$$\frac{2,2 \cdot 27000}{1602,319} \leq 34 - 12 \left(\frac{274095,01}{370902,50} \right) \leq 40$$

$$41,07 \geq 25,132 \geq 40$$

[Kolom langsing]

Kelangsingan sumbu Y

Cek kelangsingan pada struktur tekan tanpa pengaku

$$\frac{K \cdot H}{r_y} \leq 22$$

$$\frac{2,2 \cdot 27000}{2206,915} \leq 22$$

$$26,915 \geq 22$$

[Kolom langsing]

2. Perbesaran Momen Sumbu X

Pemeriksaan kolom bergoyang atau tak bergoyang.

$$P_u = 275516,43 \quad \text{kN}$$

$$V_x = 76632,81 \quad \text{kN}$$

$$\Delta_o = 88 \text{ mm}$$

$$l = 27000 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{P_u \cdot \Delta_o}{V_u \cdot l} = \frac{275516,43 \cdot 88}{76632,81 \cdot 27000} = 0,0117 < 0,05$$

[Tak bergoyang]

Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 10.10.6

$$P_D = 183222 \text{ kN}$$

(Beban mati terfaktor)

$$\beta_{\text{dns}} = \frac{P_D}{P_u} = \frac{183222}{275516,43} = 0,665$$

Nilai kekakuan EI dihitung berdasarkan SNI 2847 2013
Pasal 10.10.4.1

$$I_g = 0,7 I_x = 49422900000000 \text{ mm}^4$$

$$EI = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_{\text{dns}}} = \frac{0,4 \cdot 36406 \cdot 49422900000000}{1 + 0,665}$$

$$EI = 4322590000000000 \text{ Nmm}^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(KH)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 4322590000000000}{(1 \cdot 27000)^2}$$

$$P_c = 5852166134 \text{ N} = 5852166,134 \text{ kN}$$

Faktor perbesaran momen

$$C_m = 1 \quad [\text{SNI 2847 2013 Pasal 10.10.6.4}]$$

$$\delta_{\text{ns}} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} > 1$$

$$\delta_{\text{ns}} = \frac{1}{1 - \frac{275516,43}{0,75 \cdot 5852166,134}} > 1$$

$$\delta_{\text{ns}} = 1,067 > 1$$

Momen desain

$$M_c = \delta_{\text{ns}} \cdot M_{ux}$$

$$M_c = 1,067 \cdot 370902,50$$

$$M_c = 395744,373 \text{ kNm}$$

3. Perbesaran Momen Sumbu Y

Pemeriksaan kolom bergoyang atau tak bergoyang.

$$P_u = 275516,43 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_y &= 38579,06 \quad \text{kN} \\ \Delta_o &= 17 \text{ mm} \\ l &= 27000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{P_u \cdot \Delta_o}{V_u \cdot l} = \frac{275516,43 \cdot 17}{38579,06 \cdot 27000} = 0,0045 < 0,05$$

[Tak bergoyang]

Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 10.10.6

$$P_D = 183222 \text{ kN} \quad (\text{Beban mati terfaktor})$$

$$\beta_{\text{dns}} = \frac{P_D}{P_u} = \frac{183222}{275516,43} = 0,665$$

Nilai kekakuan EI dihitung berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 10.10.4.1

$$\begin{aligned} I_g &= 0,7 I_y = 93756600000000 \text{ mm}^4 \\ EI &= \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_{\text{dns}}} = \frac{0,4 \cdot 36406 \cdot 93756600000000}{1 + 0,665} \end{aligned}$$

$$EI = 82000700000000000 \text{ Nmm}^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(KH)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 82000700000000000}{(1 \cdot 130500)^2}$$

$$P_c = 11101711055 \text{ N} = 11101711,05 \text{ kN}$$

Faktor perbesaran momen

$$C_m = 1 \quad [\text{SNI 2847 2013 Pasal 10.10.6.4}]$$

$$\delta_{\text{ns}} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} > 1$$

$$\delta_{\text{ns}} = \frac{1}{1 - \frac{275516,43}{0,75 \cdot 11101711,05}} > 1$$

$$\delta_{ns} = 1,0834 > 1$$

Momen desain

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_{uy}$$

$$M_c = 1,034 \cdot 872468,60$$

$$M_c = 902326,555 \text{ kNm}$$

4.10.1.4 Perhitungan Tulangan Longitudinal

Penulangan longitudinal *pylon* dilakukan menggunakan program bantu SpColumn. Gaya yang dimasukkan dalam perhitungan Spcolumn adalah gaya yang telah dihitung berdasarkan perbesaran momen sesuai dengan perhitungan di atas.

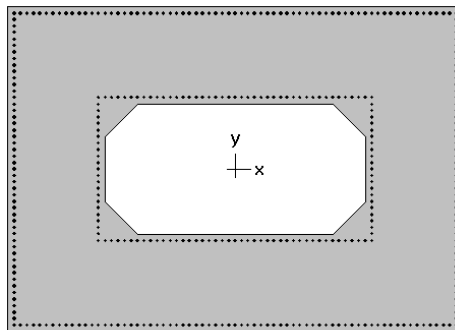
Rekapitulasi perbesaran momen sebagai berikut:

$$P_u = 275516,43 \text{ kN}$$

$$M_x = 370902,50 \text{ kNm}$$

$$M_y = 872468,60 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan longitudinal D57 dan tulangan transversal menggunakan D22. Desain tulangan longitudinal dapat dilihat pada Gambar 4.49.



7000 x 5000 mm
3.38% reinf.

Gambar 4.51 Desain Penampang dan Tulangan Longitudinal pada Program Bantu SpColumn

Hasil penulangan sebagai berikut:

MaterialConcrete

f_c'	= 60 MPa
E_c	= 36406 MPa
f_c	= 51 MPa
β_1	= 0,65

Reinforcement

f_y	= 420 MPa
E_s	= 200000 MPa
n	= 360
Rasio, ρ	= 3,38%
A_s	= 929160 mm ²

1. Kontrol jarak antar tulangan X

Jumlah tulangan, $n = 54$ (dalam satu layer)

Diameter sengkang, $D_s = 22$ mm

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - D_s - n \cdot D}{n - 1}$$

$$s = \frac{7000 - 2 \cdot 100 - 22 - 54 \cdot 57}{54 - 1}$$

$$s = 69,81 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

[Memenuhi]

2. Kontrol jarak antar tulangan Y

Jumlah tulangan, $n = 35$ (dalam satu layer)

Diameter sengkang, $D_s = 22$ mm

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - D_s - n \cdot D}{n - 1}$$

$$s = \frac{5000 - 2 \cdot 100 - 22 - 35 \cdot 57}{35 - 1}$$

$$s = 81,85 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

[Memenuhi]

3. Kontrol Rasio Tulangan

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.3 disyaratkan rasio tulangan longitudinal kolom antara 0,01 A_g dan 0,06 A_g

Rasio tulangan berdasarkan perhitungan, $\rho = 0,0338$

$$0,01 < \rho = 0,0338 < 0,06$$

[Memenuhi]

4. Panjang Penyaluran pada Struktur Tekan

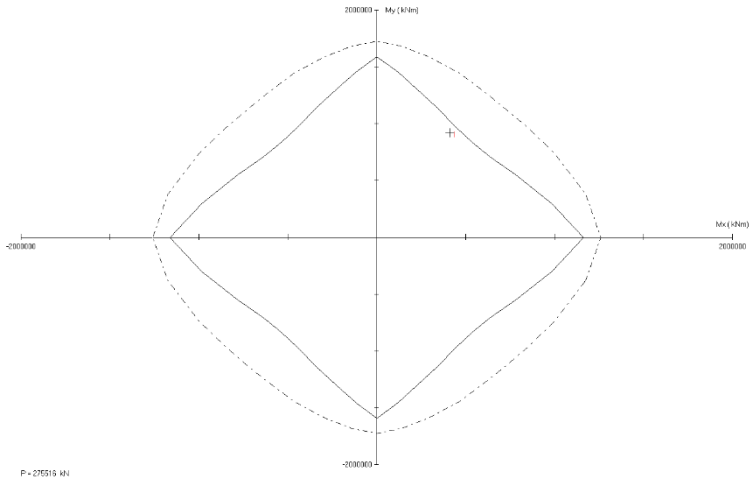
Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 12.3.2 disyaratkan l_{dc} diambil nilai terbesar antara

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) db = \left(\frac{0,24 \cdot 420}{1 \cdot \sqrt{60}} \right) 57 = 740 \text{ mm}$$

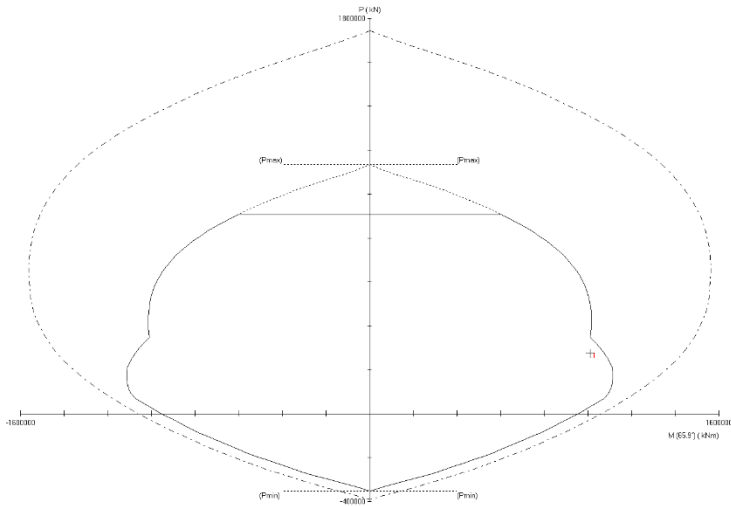
$$l_{dc} = (0,043 f_y) db = (0,043 \cdot 420) 57 = 1029 \text{ mm}$$

Maka direncanakan l_{dc} sebesar 1100 mm

Diagram interaksi yang diperoleh dari analisa menggunakan SpColumn dapat dilihat pada Gambar 4.50 – Gambar 4.51.



Gambar 4.52 Diagram Interaksi Mx-My Analisa SpColumn



Gambar 4.53 Diagram Interaksi P-M Analisa SpColumn

Dari kedua diagram di atas dapat dilihat bahwa gaya dalam maksimum yang bekerja pada *pylon* masih berada di dalam kapasitas penampang sehingga dapat disimpulkan desain tulangan longitudinal memenuhi persyaratan.

4.10.1.5 Perhitungan Tulangan Transversal

Gaya geser maksimum desain:

$$N_u = 275516,43 \text{ kN}$$

$$V_x = 76632,81 \text{ kN}$$

$$V_y = 38579,06 \text{ kN}$$

$$D_s = 22 \text{ mm}$$

1. Tinjauan Geser Arah X

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial mengacu pada SNI 2847 2013 Pasal 11.2.1.2.

$$A_g = 27500000 \text{ mm}^2$$

$$b = 7000 \text{ mm}$$

$$t = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 2 \cdot (t - \text{cover} - 0,5 D_s - 0,5 D)$$

$$d = 2 \cdot (1500 - 100 - 0,5 \cdot 22 - 0,5 \cdot 57) = 2721 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{275516,43}{14 \cdot 27500000} \right) 1 \cdot \sqrt{60} \cdot 7000 \cdot 2721$$

$$V_c = 25099311,59 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 25099311,59 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 21334414,85 \text{ N} < V_x = 76632805 \text{ N}$$

[Dibutuhkan tulangan geser]

Sendi Plastis

Sesuai dengan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.1, daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_o . Persyaratan l_o adalah sebagai berikut:

$$\text{Dimensi terbesar} = 7000 \text{ mm (Menentukan)}$$

$$1/6H = 4500 \text{ mm}$$

$$450 \text{ mm}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.3.

$$\frac{1}{4} \text{ bkolom} = 1750 \text{ mm}$$

$$6D = 342 \text{ mm}$$

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

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right) = 163,95 \text{ mm}$$

$$\text{Dimana } hx \text{ direncanakan } 160 \text{ mm} < 350 \text{ mm}$$

Maka direncanakan jarak tulangan sengkang di daerah sendi plastis 100 mm.

Persyaratan Ashmin sesuai SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar berdasarkan rumus di bawah ini.

$$b_{cx} = b - 2 \cdot \text{cover} = 7000 - 200 = 6800 \text{ mm}$$

$$h_{cx} = 2 \cdot (t - 2 \cdot \text{cover}) = 2 \cdot (1500 - 200)$$

$$h_{cx} = 2600 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = b_{cx} \cdot h_{cx} = 6800 \cdot 2600 = 17680000 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{s b_{cx} f_c'}{f_y} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 16186,81 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{s b_{cx} f_c'}{f_y} = 8742,86 \text{ mm}^2$$

Direncanakan 44D22-100, maka diperoleh

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 22^2 \cdot \left(\frac{6800}{160} + 1 \right) = 16725,839 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{sh1}$$

[Memenuhi]

Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 76632805 - 21334414,85 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{55298390,15}{0,85} = 65056929,58 \text{ N}$$

$$d = 2721 \text{ mm}$$

$$n = 44$$

$$A_s = n \cdot \frac{1}{4} \pi D_s^2$$

$$A_s = 44 \cdot \frac{1}{4} \pi 22^2 = 16725,839 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$s = \frac{16725,839 \cdot 420 \cdot 2721}{65056929,58} = 290,814 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan sengkang berdasarkan SNI 2847
2013 Pasal 21.3.4.2.

$$\begin{aligned}
 8D &= 456 \text{ mm} \\
 24D_s &= 528 \text{ mm} \\
 \frac{1}{2} h &= 1500 \text{ mm} \\
 &300 \text{ mm} \\
 s &= 290,814 \text{ mm} < 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan 44D22-250.

2. Tinjauan Geser Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial mengacu pada SNI 2847 2013 Pasal 11.2.1.2.

$$\begin{aligned}
 A_g &= 27500000 \text{ mm}^2 \\
 b &= 5000 \text{ mm} \\
 t &= 1500 \text{ mm} \\
 d &= 2 \cdot (t - \text{cover} - 0,5 D_s - 0,5 D) \\
 d &= 2 \cdot (1500 - 100 - 0,5 \cdot 22 - 0,5 \cdot 57) = 2721 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d \\
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{275516,43}{14 \cdot 27500000} \right) 1 \cdot \sqrt{60} \cdot 5000 \cdot 2721 \\
 V_c &= 17928079,71 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,85 \cdot 17928079,71 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 15238867,75 \text{ N} < V_x = 38579060 \text{ N} \\
 &\text{[Dibutuhkan tulangan geser]}
 \end{aligned}$$

Sendi Plastis

Sesuai dengan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.1, daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_o . Persyaratan l_o adalah sebahai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi terbesar} &= 7000 \text{ mm} \\
 1/6H &= 21750 \text{ mm (Menentukan)} \\
 &450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi Sengkang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.3.

$$\frac{1}{4} \text{ bkolom} = 1750 \text{ mm}$$

$$6D = 342 \text{ mm}$$

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

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right) = 166,67 \text{ mm}$$

Dimana hx direncanakan $150 \text{ mm} < 350 \text{ mm}$

Maka direncanakan jarak tulangan sengkang di daerah sendi plastis 100 mm.

Persyaratan Ashmin sesuai SNI 28147 2013 Pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar berdasarkan rumus di bawah ini.

$$b_{cx} = b - 2 \cdot \text{cover} = 5000 - 200 = 4800 \text{ mm}$$

$$h_{cx} = 2 \cdot (t - 2 \cdot \text{cover}) = 2 \cdot (1500 - 200)$$

$$h_{cx} = 2600 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = b_{cx} \cdot h_{cx} = 4800 \cdot 2600 = 12480000 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{s b_{cx} f_c'}{f_y} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 12379,12 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{s b_{cx} f_c'}{f_y} = 6171,428 \text{ mm}^2$$

Direncanakan 33D22-100, maka diperoleh

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 22^2 \cdot \left(\frac{4800}{150} + 1 \right) = 12544,379 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{sh1}$$

[Memenuhi]

Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 38579060 - 15238867,75 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{23340192,25}{0,85} = 27459049,7 \text{ N}$$

$$d = 2721 \text{ mm}$$

$$n = 33$$

$$A_s = n \cdot \frac{1}{4} \pi D_s^2$$

$$A_s = 33 \cdot \frac{1}{4} \pi 22^2 = 12544,379 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$s = \frac{12544,379 \cdot 420 \cdot 2721}{27459049,7} = 522,085 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan sengkang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.3.4.2.

$$8D = 456 \text{ mm}$$

$$24D_s = 528 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{2} h = 1500 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

$$s = 522,085 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

Direncanakan 33D22-250.

4.10.1.6 Perhitungan Tulangan Torsi

Cek kebutuhan tulangan torsi dengan persamaan di bawah ini berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$A_{cp} = 27500000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(7000 + 5000) = 24000 \text{ mm}$$

Maka,

$$T_u = 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{60} \left(\frac{27500000^2}{24000} \right)$$

$$T_u = 17219747908 \text{ Nmm} = 17219,75 \text{ kNm}$$

Kontrol

$$T_u = 17219,75 \text{ kNm} < T = 274624,11 \text{ kNm}$$

[Dibutuhkan tulangan torsi]

Perhitungan tulangan torsi berdasarkan SNI 2847 2013

Pasal 11.5.3.6.

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{274624,11}{0,85}$$

$$T_n = 323087,188 \text{ kNm}$$

$$A_{oh} = 6800 \cdot 4800 = 32640000 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 A_{oh} = 27744000 \text{ mm}^2$$

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

Maka,

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

$$\frac{A_t}{s} = \frac{323087188000}{2 \cdot 27744000 \cdot 420 \cdot \cot 45^\circ}$$

$$\frac{A_t}{s} = 13,863 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5.3.7.

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{y1}}{f_{yt}} \cot^2 \theta$$

$$P_h = 2 (6800 + 4800) = 23200 \text{ mm}$$

$$A_l = 13,863 \cdot 23200 \cdot \frac{420}{420} \cdot \cot^2 45^\circ$$

$$A_l = 321632,080 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan longitudinal torsi dengan D57.

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 57^2 = 2551,759 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_l}{A_s} = \frac{321632,080}{2551,759}$$

$$n = 127 \text{ buah}$$

Digunakan 127D57.

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5.3.7. Syarat spasi tulangan transversal torsi berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5.6.

$$P_h / 8 = 2900 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan transversal torsi dengan spasi 300 mm

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

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

$$A_t = 13,863 \cdot 300 = 4159,035 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan transversal torsi dengan D22.

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 22^2 = 380,132 \text{ mm}^2$$

$$n = 12 \text{ buah}$$

$$A_t = 12 \cdot \frac{1}{4} \pi 22^2 = 4561,59 \text{ mm}^2 > 4159,035 \text{ mm}^2$$

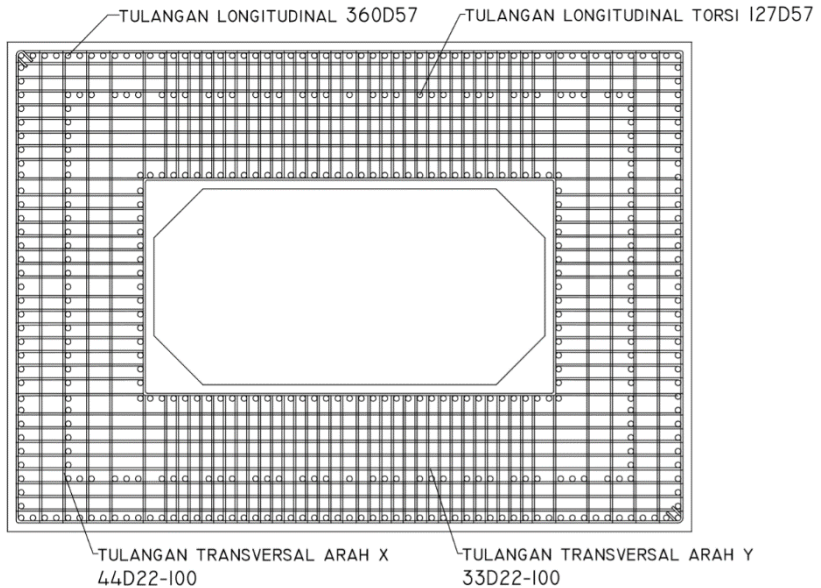
[Memenuhi]

Digunakan 12D22-300, termasuk dalam tulangan geser.

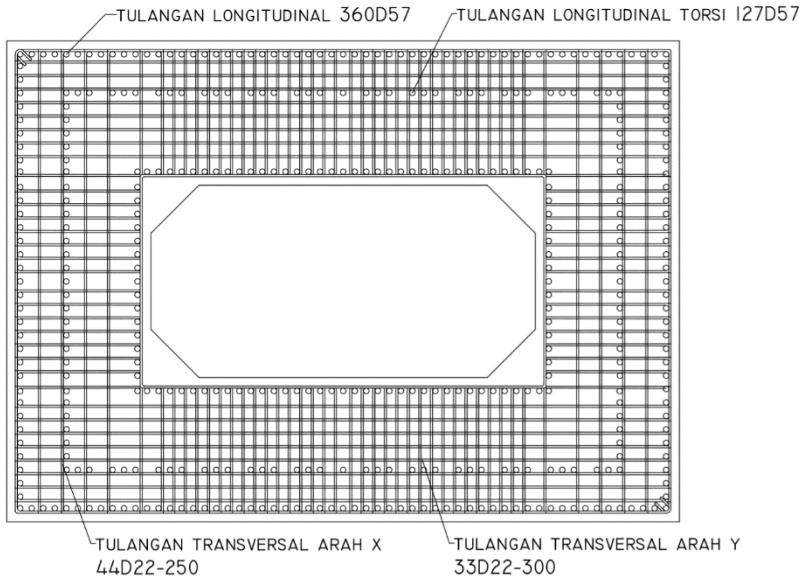
Maka diperoleh rekapitulasi tulangan seperti pada Tabel 4.29 dan detail penulangan pada Gambar 4.52 – Gambar 4.53 di bawah ini.

Tabel 4.29 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon *Section 1*

Tulangan Longitudinal	360D57
Tulangan Transversal X Sendi Plastis	44D22-100
Tulangan Transversal X Luar Sendi Plastis	44D22-250
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	33D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	33D22-250
Tulangan Torsi Longitudinal	127D57
Tulangan Torsi Transversal	12D22-300



Gambar 4.54 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Sendi Plastis



Gambar 4.55 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Luar Sendi Plastis

Perencanaan penulangan pylon juga direncanakan untuk *section 2* dan *section 3* dengan perhitungan yang sama dan diperoleh rekapitulasi hasil penulangan seperti pada Tabel 4.30 dan Tabel 4.31 dan detail penulangan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.30 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon *Section 2*

Tulangan Longitudinal	180D57
Tulangan Transversal X Sendi Plastis	44D22-100
Tulangan Transversal X Luar Sendi Plastis	5D22-300
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	26D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	8D22-300
Tulangan Torsi Longitudinal	36D57
Tulangan Torsi Transversal	5D22-300

Tabel 4.31 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon *Section 3*

Tulangan Longitudinal	122D57
Tulangan Transversal X Sendi Plastis	44D22-100
Tulangan Transversal X Luar Sendi Plastis	5D22-300
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	4D22-300
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	4D22-300
Tulangan Torsi Longitudinal	-
Tulangan Torsi Transversal	-

4.10.2 Balok Pylon

4.10.2.1 Data Perencanaan

Material beton bertulang yang digunakan memiliki spesifikasi mutu:

$$f_c' = 60 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{60} = 36406 \text{ MPa}$$

Materi baja tulangan yang digunakan adalah mutu tulangan U-48 dengan spesifikasi mutu:

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

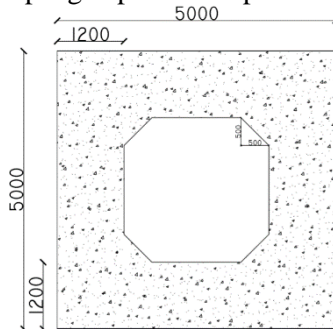
$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Dimensi balok *pylon* sebagai berikut:

$$b = 7000 \text{ mm}$$

$$h = 5000 \text{ mm}$$

Detail penampang dapat dilihat pada Gambar 4.54



Gambar 4.56 Detail Penampang Balok Pylon

4.10.2.2 Hasil Analisa Struktur

Gaya dalam pada balok *pylon* diperoleh dari hasil permodelan menggunakan program bantu MIDAS CIVIL. Hasil analisa struktur pada diperoleh dari kombinasi beban dinamis dan statis dengan gaya terbesar sebagai berikut:

Pu	= 25276,93	kN
Vx	= 48060,94	kN
Vy	= 51402,47	kN
Tu	= 103039,67	kNm
Mx	= 223274,41	kNm
My	= 308442,95	kNm

4.10.2.3 Analisa Kelangsingan

1. Kelangsingan Balok *Pylon*

Faktor panjang tekuk ditentukan berdasarkan asumsi bahwa balok *pylon* merupakan struktur jepit-jepit.

$$K = 0,7 \quad [\text{RSNI T-12-2004 Gambar 5.7-1}]$$

$$H = 34000 \text{ mm} \quad (\text{panjang balok } pylon)$$

$$A_g = 18740000 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 48924400000000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 48924400000000 \text{ mm}^4$$

Jari-jari girasi penampang

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{48924400000000}{18740000}} = 1615,764 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{48924400000000}{18740000}} = 1615,764 \text{ mm}$$

Kelangsingan sumbu X dan Y

Cek kelangsingan pada struktur tekan tanpa pengaku

$$\frac{K \cdot H}{r_y} \leq 22$$

$$\frac{0,7 \cdot 34000}{1615,764} \leq 22$$

$$14,730 < 22$$

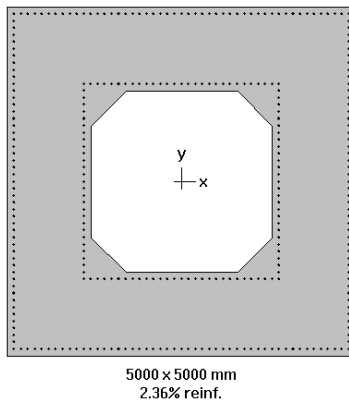
[Kolom tidak langsing]

4.10.2.4 Perhitungan Tulangan Longitudinal

Penulangan longitudinal balok *pylon* dilakukan menggunakan program bantu SpColumn. Gaya yang dimasukkan dalam perhitungan Spcolumn adalah gaya yang telah dihitung berdasarkan perbesaran momen sesuai dengan perhitungan di atas. Rekapitulasi perbesaran momen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_u &= 25276,93 & \text{kN} \\ M_x &= 223274,41 & \text{kNm} \\ M_y &= 308442,95 & \text{kNm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan longitudinal D43 dan tulangan transversal menggunakan D22. Desain tulangan longitudinal dapat dilihat pada Gambar 4.55.



Gambar 4.57 Desain Penampang dan Tulangan Longitudinal pada Program Bantu SpColumn

Hasil penulangan sebagai berikut:

Material

Concrete

f_c'	= 60 MPa
E_c	= 36406 MPa
f_c	= 51 MPa
β_1	= 0,65

Reinforcement

f_y	= 420 MPa
E_s	= 200000 MPa
n	= 304
Rasio, ρ	= 2,36%
A_s	= 441480 mm ²

1. Kontrol jarak antar tulangan X

Jumlah tulangan, $n = 48$ (dalam satu layer)

Diameter sengkang, $D_s = 22$ mm

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - D_s - n \cdot D}{n - 1}$$

$$s = \frac{5000 - 2 \cdot 100 - 22 - 48 \cdot 43}{48 - 1}$$

$$s = 57,74 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

[Memenuhi]

2. Kontrol jarak antar tulangan Y

Jumlah tulangan, $n = 48$ (dalam satu layer)

Diameter sengkang, $D_s = 22$ mm

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - D_s - n \cdot D}{n - 1}$$

$$s = \frac{5000 - 2 \cdot 100 - 22 - 48 \cdot 43}{48 - 1}$$

$$s = 57,74 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

[Memenuhi]

3. Kontrol Rasio Tulangan

Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.3 disyaratkan rasio tulangan longitudinal kolom antara $0,01 A_g$ dan $0,06 A_g$

Rasio tulangan berdasarkan perhitungan, $\rho = 0,0236$
 $0,01 < \rho = 0,0236 < 0,06$

[Memenuhi]

4. Panjang Penyaluran pada Struktur Tekan

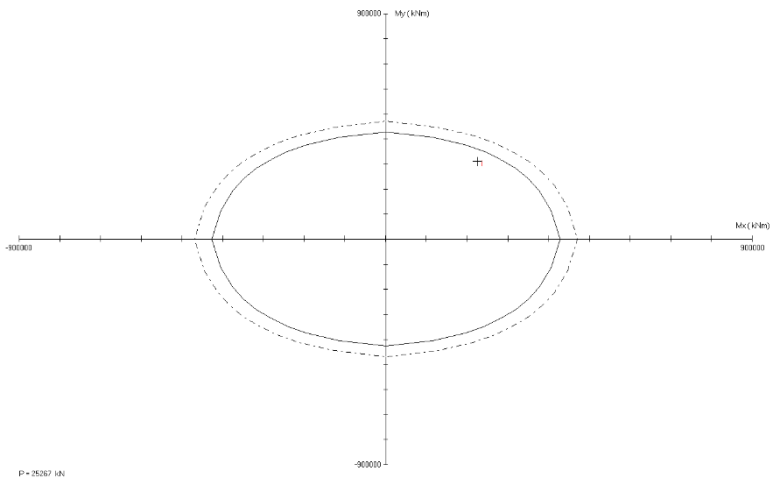
Berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 12.3.2 disyaratkan l_{dc} diambil nilai terbesar antara

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) db = \left(\frac{0,24 \cdot 420}{1 \cdot \sqrt{60}} \right) 43 = 559,6 \text{ mm}$$

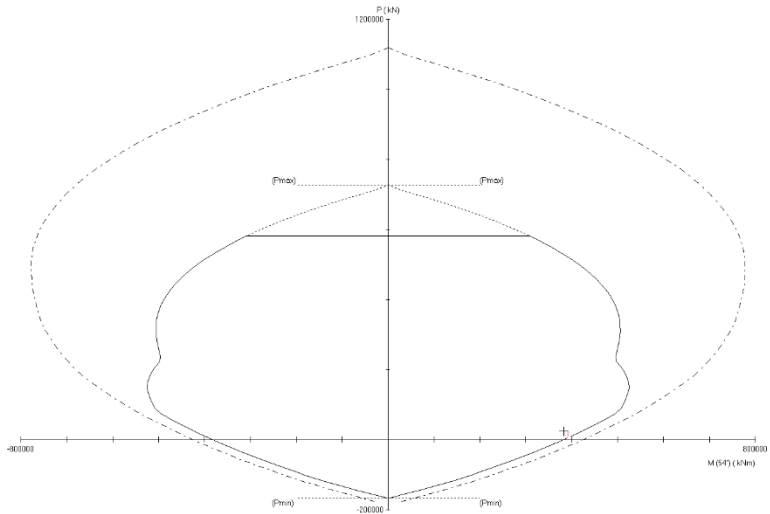
$$l_{dc} = (0,043 f_y) db = (0,043 \cdot 420) 43 = 776,58 \text{ mm}$$

Maka direncanakan l_{dc} sebesar 800 mm

Diagram interaksi yang diperoleh dari analisa menggunakan SpColumn dapat dilihat pada Gambar 4.56 – Gambar 4.57.



Gambar 4.58 Diagram Interaksi Mx-My Analisa SpColumn



Gambar 4.59 Diagram Interaksi P-M Analisa SpColumn

Dari kedua diagram di atas dapat dilihat bahwa gaya dalam maksimum yang bekerja pada balok *pylon* masih berada di dalam kapasitas penampang sehingga dapat disimpulkan desain tulangan longitudinal memenuhi persyaratan.

4.10.2.5 Perhitungan Tulangan Transversal

Gaya geser maksimum desain:

$$N_u = 25276,93 \text{ kN}$$

$$V_x = 48060,92 \text{ kN}$$

$$V_y = 51402,47 \text{ kN}$$

$$D_s = 22 \text{ mm}$$

1. Tinjauan Geser Arah X

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial mengacu pada SNI 2847 2013 Pasal 11.2.1.2.

$$A_g = 18740000 \text{ mm}^2$$

$$b = 5000 \text{ mm}$$

$$t = 1200 \text{ mm}$$

$$d = 2 \cdot (t - \text{cover} - 0,5 D_s - 0,5 D)$$

$$d = 2 \cdot (1200 - 100 - 0,5 \cdot 22 - 0,5 \cdot 43) = 2135 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{25276,93}{14 \cdot 18740000} \right) 1 \cdot \sqrt{60} \cdot 5000 \cdot 2135$$

$$V_c = 14058347,37 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 14058347,37 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 14058347,37 \text{ N} < V_x = 48060940 \text{ N}$$

[Dibutuhkan tulangan geser]

Sendi Plastis

Sesuai dengan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.1, daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_o . Persyaratan l_o adalah sebagai berikut:

$$\text{Dimensi terbesar} = 5000 \text{ mm}$$

$$1/6H = 5666,67 \text{ mm (Menentukan)}$$

$$450 \text{ mm}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.3.

$$\frac{1}{4} b_{kolom} = 1250 \text{ mm}$$

$$6D = 258 \text{ mm}$$

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

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 185,29 \text{ mm}$$

$$\text{Dimana } h_x \text{ direncanakan } 95 \text{ mm} < 350 \text{ mm}$$

Maka direncanakan jarak tulangan sengkang di daerah sendi plastis 100 mm.

Persyaratan Ashmin sesuai SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar berdasarkan rumus di bawah ini.

$$b_{cx} = b - 2 \cdot \text{cover} = 5000 - 200 = 4800 \text{ mm}$$

$$h_{cx} = 2 \cdot (t - 2 \cdot \text{cover}) = 2 \cdot (1200 - 200)$$

$$h_{cx} = 2000 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = b_{cx} \cdot h_{cx} = 15840000 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{s b_{cx} fc'}{fy} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 3766,234 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{s b_{cx} fc'}{fy} = 6171,429 \text{ mm}^2$$

Direncanakan 21D22-100, maka diperoleh

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 22^2 \cdot (20 + 1) = 7982,787 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{sh1}$$

[Memenuhi]

Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 48060940 - 11949595,26 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{36111344,74}{0,85} = 42483934,98 \text{ N}$$

$$d = 2135 \text{ mm}$$

$$n = 21$$

$$A_s = n \cdot \frac{1}{4} \pi D_s^2$$

$$A_s = 21 \cdot \frac{1}{4} \pi 22^2 = 7982,787 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_s \cdot fy \cdot d}{V_s}$$

$$s = \frac{7982,787 \cdot 420 \cdot 2135}{42483934,98} = 168,5 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan sengkang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.3.4.2.

$$\begin{aligned}
 8D &= 344 \text{ mm} \\
 24D_s &= 528 \text{ mm} \\
 \frac{1}{2} h &= 1500 \text{ mm} \\
 &300 \text{ mm} \\
 s &= 160,47 \text{ mm} < 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan 21D22-150.

2. Tinjauan Geser Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial mengacu pada SNI 2847 2013 Pasal 11.2.1.2.

$$A_g = 18740000 \text{ mm}^2$$

$$b = 5000 \text{ mm}$$

$$t = 1200 \text{ mm}$$

$$d = 2 \cdot (t - \text{cover} - 0,5 D_s - 0,5 D)$$

$$d = 2 \cdot (1200 - 100 - 0,5 \cdot 22 - 0,5 \cdot 43) = 2135 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{25276,93}{14 \cdot 18740000} \right) 1 \cdot \sqrt{60} \cdot 5000 \cdot 2135$$

$$V_c = 14058347,37 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 14058347,37 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 14058347,37 \text{ N} < V_y = 51402470 \text{ N}$$

[Dibutuhkan tulangan geser]

Sendi Plastis

Sesuai dengan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.1, daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_o . Persyaratan l_o adalah sebagai berikut:

$$\text{Dimensi terbesar} = 5000 \text{ mm}$$

$$1/6H = 5666,67 \text{ mm (Menentukan)}$$

$$450 \text{ mm}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.3.

$$\frac{1}{4} \text{ bkolom} = 1250 \text{ mm}$$

$$6D = 258 \text{ mm}$$

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

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right) = 185,29 \text{ mm}$$

Dimana hx direncanakan $95 \text{ mm} < 350 \text{ mm}$

Maka direncanakan jarak tulangan sengkang di daerah sendi plastis 100 mm.

Persyaratan Ashmin sesuai SNI 2847 2013 Pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar berdasarkan rumus di bawah ini.

$$b_{cx} = b - 2 \cdot \text{cover} = 5000 - 200 = 4800 \text{ mm}$$

$$h_{cx} = 2 \cdot (t - 2 \cdot \text{cover}) = 2 \cdot (1200 - 200)$$

$$h_{cx} = 2000 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = b_{cx} \cdot h_{cx} = 15840000 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0,3 \frac{s b_{cx} f_c'}{f_y} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 3766,234 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{s b_{cx} f_c'}{f_y} = 6171,429 \text{ mm}^2$$

Direncanakan 21D22-100, maka diperoleh

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 22^2 \cdot (20 + 1) = 7982,787 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{sh1}$$

[Memenuhi]

Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 51402470 - 11949595,26 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{39452871,4}{0,85} = 46415142,83 \text{ N}$$

$$d = 2135 \text{ mm}$$

$$n = 21$$

$$A_s = n \cdot \frac{1}{4} \pi D_s^2$$

$$A_s = 21 \cdot \frac{1}{4} \pi 22^2 = 7982,787 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$s = \frac{7982,787 \cdot 420 \cdot 2135}{46415142,83} = 154,22 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan sengkang berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.3.4.2.

$$8D = 344 \text{ mm}$$

$$24D_s = 528 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{2} h = 1500 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

$$s = 154,22 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

Direncanakan 21D22-150.

4.10.2.6 Perhitungan Tulangan Torsi

Cek kebutuhan tulangan torsi dengan persamaan di bawah ini berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5

$$T_u = \varphi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$A_{cp} = 18740000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(5000 + 5000) = 20000 \text{ mm}$$

Maka,

$$T_u = 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{60} \left(\frac{18740000^2}{20000} \right)$$

$$T_u = 9595813988 \text{ Nmm} = 9595,813 \text{ kNm}$$

Kontrol

$$T_u = 9595,813 \text{ kNm} < T = 103039,67 \text{ kNm}$$

[Dibutuhkan tulangan torsi]

Perhitungan tulangan torsi berdasarkan SNI 2847 2013
Pasal 11.5.3.6.

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{103039,67}{0,85}$$

$$T_n = 121223,141 \text{ kNm}$$

$$A_{oh} = 4800 \cdot 4800 = 23040000 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 A_{oh} = 19584000 \text{ mm}^2$$

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

Maka,

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

$$\frac{A_t}{s} = \frac{121223141000}{2 \cdot 19584000 \cdot 420 \cdot \cot 45^\circ}$$

$$\frac{A_t}{s} = 7,369 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir
berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5.3.7.

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cot^2 \theta$$

$$P_h = 2 (4800 + 4800) = 19200 \text{ mm}$$

$$A_l = 7,369 \cdot 19200 \cdot \frac{420}{420} \cdot \cot^2 45^\circ$$

$$A_l = 141483,592 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan longitudinal torsi dengan D43.

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 43^2 = 1452,201 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_l}{A_s} = \frac{141483,592}{1452,201}$$

$$n = 98 \text{ buah}$$

Digunakan 98D43.

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5.3.7. Syarat spasi tulangan transversal torsi berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 11.5.6.

$$P_h / 8 = 2900 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan transversal torsi dengan spasi 300 mm

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

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

$$A_t = 7,369 \cdot 300 = 2210,68 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan transversal torsi dengan D22.

$$A_s = \frac{1}{4} \pi 22^2 = 380,132 \text{ mm}^2$$

$$n = 6 \text{ buah}$$

$$A_t = 6 \cdot \frac{1}{4} \pi 22^2 = 2280,796 \text{ mm}^2 > 2210,68 \text{ mm}^2$$

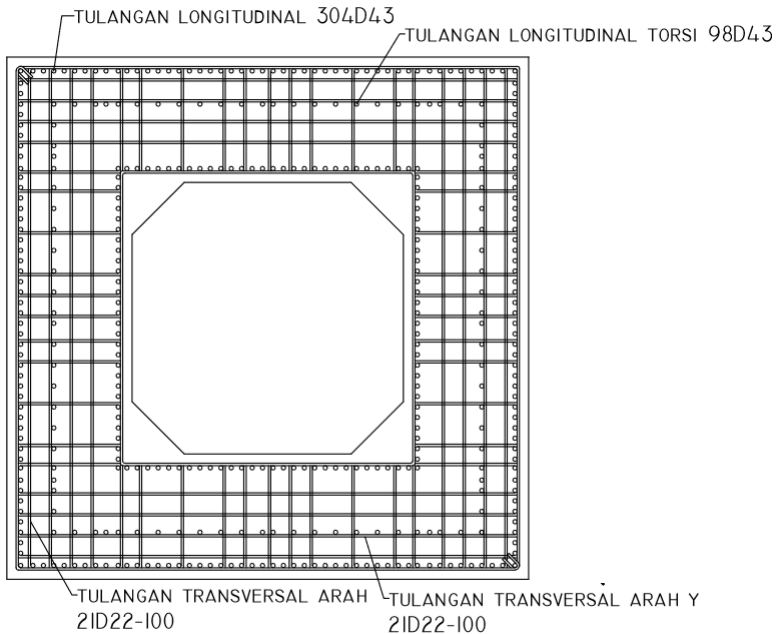
[Memenuhi]

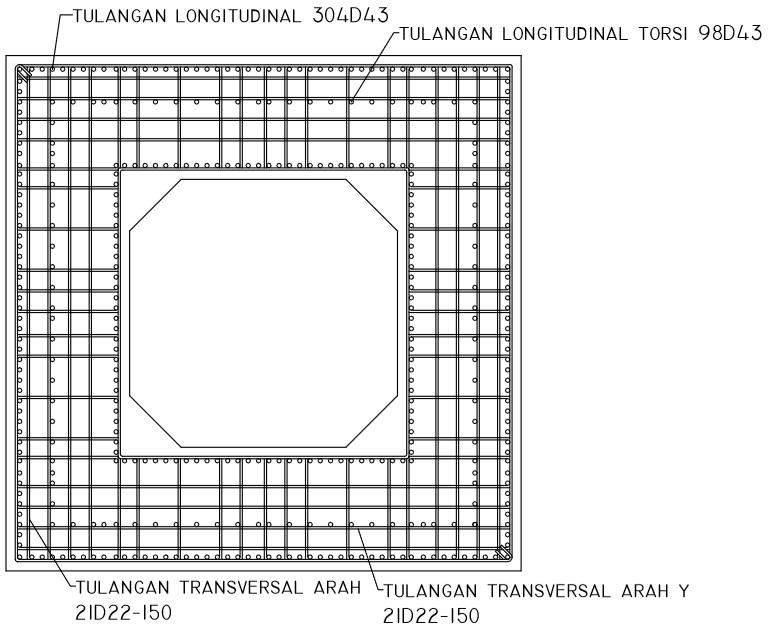
Digunakan 8D22-300, termasuk dalam tulangan geser.

Maka diperoleh rekapitulasi tulangan seperti pada Tabel 4.32 dan detail penulangan pada Gambar 4.58 – Gambar 4.59 di bawah ini.

Tabel 4.32 Rekapitulasi Hasil Penulangan Balok *Pylon*

Tulangan Longitudinal	304D43
Tulangan Transversal X Sendi Plastis	52D22-100
Tulangan Transversal X Luar Sendi Plastis	52D22-175
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	52D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	52D22-175
Tulangan Torsi Longitudinal	98D43
Tulangan Torsi Transversal	8D22-175

Gambar 4.60 Desain Penulangan Balok *Pylon* Daerah Sendi Plastis

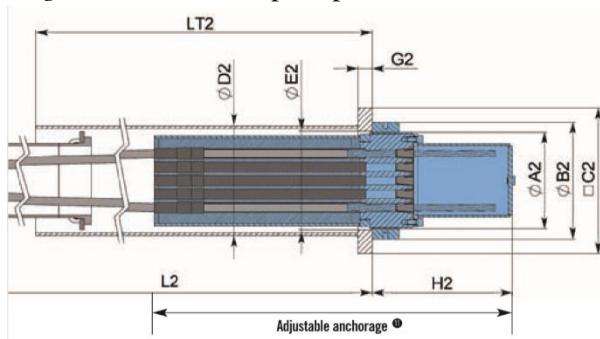


Gambar 4.61 Desain Penulangan Balok Pylon Daerah Luar Sendi Plastis

4.11 Desain Angkur

4.11.1 Desain Angkur pada Pylon

Desain angkur pada *pylon* terdiri dari *bearing plate* yang menahan tegangan akibat gaya tarik kabel dan kontrol tegangan beton akibat gaya tarik kabel. Desain angkur pada *pylon* seperti pada Gambar 4.60. Angkur pada *pylon* digunakan *adjustable anchorage* VSI SSI 2000 seperti pada Gambar 4.60.



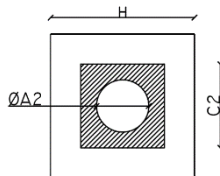
Gambar 4.62 Detail *Adjustable Anchorage* VSL SSI 2000

Untuk perencanaan dimensi yang tidak terdapat pada brosur karena melebihi dimensi yang tersedia maka dimensi akan tersedia berdasarkan permintaan. Spesifikasi dimensi angkur seperti Gambar 4.61 – Gambar 4.62:

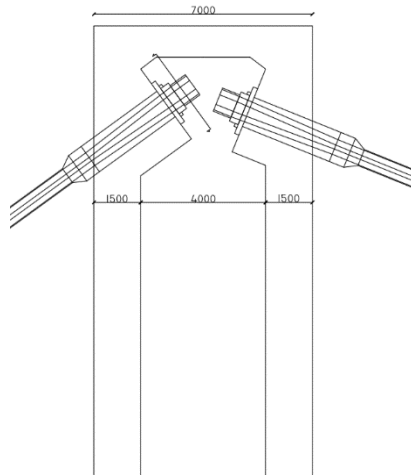
Lebar pelat angkur, [C2 = 1600 mm

Diameter angkur kabel, ØA2 = 1000 mm

Panjang pengangkur, LT2 = 3000 mm



Gambar 4.63 Dimensi Angkur



Gambar 4.64 Dimensi Angkur Daerah Angkur pada *Pylon*

4.11.1.1 Kontrol Tegangan Beton

Kontrol angkur berdasarkan dimensi angkur yang telah direncanakan.

$$A_p' = LT^2 = 3000^2 = 9000000 \text{ mm}^2$$

$$A_p = \square C^2 - 0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset A^2$$

$$A_p = 1600^2 - 0,25 \cdot \pi \cdot 1000^2 = 1774601,837 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan saat beton berusia 14 hari dengan kuat beton diperkirakan sebesar 85% f_c' .

$$f_c' = 60 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} = 85\% f_c' = 85\% \cdot 60 = 51 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_p'}{A_p} - 0,2}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot 51 \cdot \sqrt{\frac{9000000}{1774601,837} - 0,2} = 90,05 \text{ MPa}$$

Tegangan yang terjadi di bawah pelat angkur dihitung sebagai berikut:

Gaya tarik maksimum

$$Pr = 147917,27 \text{ kN}$$

$$Pr = 147917271,4 \text{ N}$$

Tegangan tarik

$$f_t = \frac{Pr}{A_p} = \frac{147917271,4}{1774601,837} = 83,35 \text{ MPa}$$

$$f_t = 83,35 \text{ MPa} < f_{cp} = 90,05 \text{ MPa}$$

[Memenuhi]

4.11.1.2 Perhitungan Tulangan Daerah Pengankuran

Perhitungan tulangan pada daerah pengankuran didasarkan pada SNI 2847 2013 Pasal 18.13.

1. Akibat Pancaran (*Bursting*)

$$T_{pencar} = 0,25 \cdot T$$

$$T_{pencar} = 0,25 \cdot Pr \cdot \left(1 - \frac{C^2}{LT^2}\right)$$

$$T_{pencar} = 0,25 \cdot 147917,27 \cdot \left(1 - \frac{1600}{3000}\right)$$

$$T_{pencar} = 17257,015 \text{ kN}$$

$$d_{pencar} = 3000 \text{ mm}$$

Digunakan Sengkang penutup D43 dengan

$$A_s = 0,25 \cdot \pi \cdot 43^2 = 1452,20 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{T_{pencar}}{f_y} = \frac{17257015}{420} = 41088,13 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s} = \frac{41088,13}{1452,20} = 28 \text{ buah tulangan}$$

$$s = \frac{d_{pencar}}{n} = \frac{3000}{28} = 106 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang 28D43-100

2. Akibat Pengelupasan (*Spalling*)

Untuk mencegah pengelupasan dipasang tulangan dengan kuat tarik 2% dari T.

$$2\% T = 2\% \cdot T$$

$$2\% T = 2\% \cdot 147917,27 = 2958,35 \text{ kN}$$

$$\text{Asperlu} = \frac{2\% T}{f_y} = \frac{2958350}{420} = 7043,68 \text{ mm}^2$$

Digunakan Senggang penutup D43 dengan

$$A_s = 0,25 \cdot \pi \cdot 43^2 = 1452,20 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{Asperlu}}{A_s} = \frac{7043,68}{1452,20} = 5 \text{ buah tulangan}$$

Maka dipasang tulangan 5D43

4.11.2 Desain Blok Angkur

Blok angkur berfungsi sebagai penahan gaya tarik kabel utama yang kemudian disalurkan pada pondasi. Terdapat beberapa jenis blok angkur yang dapat dipakai untuk pengikat kabel jembatan seperti angkur langsung pada batuan, angkur pada blok angkur dengan material beton atau angkur kombinasi yang juga didasarkan pada kuat geser blok angkur pada batuan.

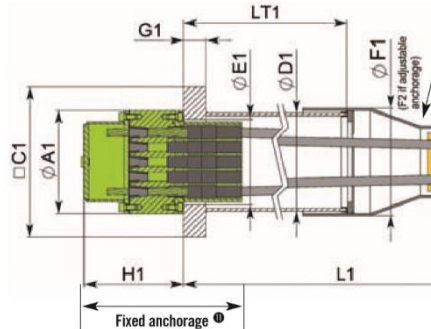
Secara umum gaya-gaya yang bekerja pada blok angkur antara lain:

- a. Berat sendiri blok angkur
- b. Gaya angkur akibat kabel utama
- c. Gaya tekan tanah aktif pasif
- d. Gaya geser pada alas dan dinding blok angkur
- e. Gaya-gaya lain dari jembatan

Namun untuk perhitungan blok angkur pada Jembatan Suramadu ini hanya memperhitungkan berat sendiri blok angkur dan gaya angkur akibat kabel utama. Hal ini dikarenakan blok angkur yang berada di atas air dan hanya ditopang oleh susunan tiang pancang.

4.11.2.1 Desain Angkur pada Blok Angkur

Desain angkur pada blok angkur seperti pada Gambar xx. Angkur pada blok angkur digunakan *fixed anchorage* VSI SSI 2000 seperti pada Gambar 4.63.



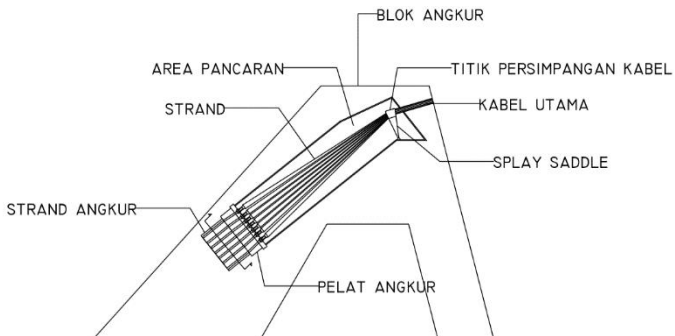
Gambar 4.65 Detail *Fixed Anchorage* VSL SSI 2000

Untuk perencanaan dimensi yang tidak terdapat pada brosur karena melebihi dimensi yang tersedia maka dimensi akan tersedia berdasarkan permintaan. Spesifikasi dimensi angkur seperti Gambar 4.64 – Gambar 4.65:

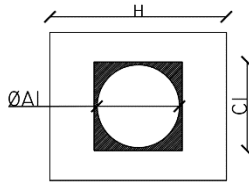
Lebar pelat angkur, [C1 = 6000 mm

Diameter angkur kabel, ØA1 = 5600 mm

Panjang pengankuran, LT1 = 8000 mm



Gambar 4.66 Daerah Angkur pada Blok Angkur



Gambar 4.67 Dimensi Angkur

Kontrol angkur berdasarkan dimensi angkur yang telah direncanakan.

$$A_{p'} = LT1^2 = 8000^2 = 64000000 \text{ mm}^2$$

$$A_p = [C]^2 - 0,25 \cdot \pi \cdot \varnothing A_2^2$$

$$A_p = 6000^2 - 0,25 \cdot \pi \cdot 5600^2 = 11369913,6 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan saat beton berusia 14 hari dengan kuat beton diperkirakan sebesar 85% f_c' .

$$f_c' = 60 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} = 85\% f_c' = 85\% \cdot 60 = 51 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p} - 0,2}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot 51 \cdot \sqrt{\frac{64000000}{11369913,6} - 0,2} = 95,064 \text{ MPa}$$

Tegangan yang terjadi di bawah pelat angkur dihitung sebagai berikut:

Gaya tarik maksimum

$$P_r = 140740,82 \text{ kN}$$

$$P_r = 140740820 \text{ N}$$

Tegangan tarik

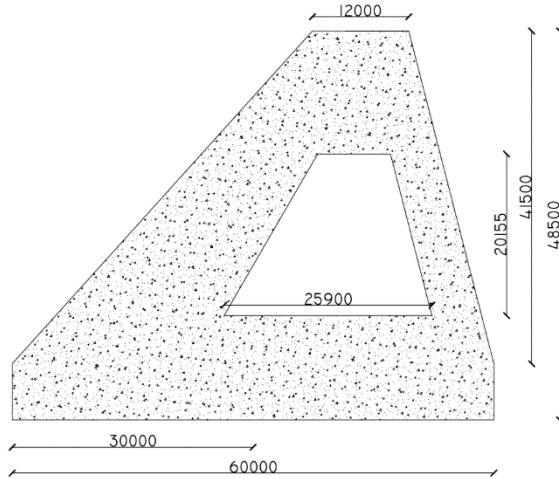
$$f_t = \frac{P_r}{A_p} = \frac{140740820}{11369913,6} = 12,38 \text{ MPa}$$

$$f_t = 12,38 \text{ MPa} < f_{cp} = 95,064 \text{ MPa}$$

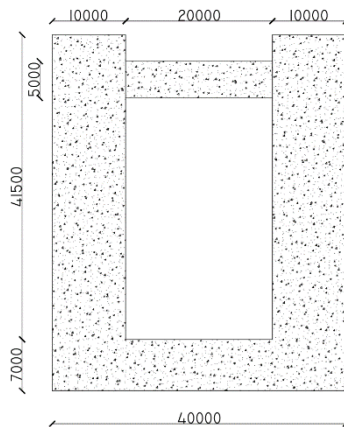
[Memenuhi]

4.11.2.2 Desain Blok Angkur

Blok angkur terbuat dari material beton bertulang yang berdiri di atas pondasi tiang pancang. Dimensi blok angkur didesain dengan dimensi seperti pada Gambar 4.66 – Gambar 4.67.



Gambar 4.68 Dimensi Blok Angkur Tampak Samping



Gambar 4.69 Dimensi Blok Angkur Tampak Depan

1. Gaya-gaya yang bekerja

a. Berat blok angkur

Blok Angkur 1

$$A1 = 1141439237 \text{ mm}^2$$

$$b1 = 10000 \text{ mm}$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,000024 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$$

$$W1 = A1 \cdot b1 \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

$$W1 = 1141439237 \cdot 10000 \cdot 0,000024$$

$$W1 = 273945416,9 \text{ N}$$

Blok Angkur 2

$$A2 = 420000000 \text{ mm}^2$$

$$b2 = 20000 \text{ mm}$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,000024 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$$

$$W2 = A2 \cdot b2 \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

$$W2 = 420000000 \cdot 20000 \cdot 0,000024$$

$$W2 = 201600000 \text{ N}$$

b. Gaya tarik kabel

Gaya tarik kabel maksimum diperoleh dari hasil analisa SAP2000. Kabel utama memiliki sudut kemiringan terhadap bidang horisontal blok angkur. Sehingga perlu dilakukan proyeksi terhadap gaya tarik kabel menjadi gaya horisontal dan gaya vertikal kabel.

$$\theta = 16^\circ$$

$$T = 140740,82 \text{ kN} = 140740820 \text{ N}$$

Gaya horisontal kabel

$$TH = T \cdot \cos \theta = 140740,82 \cdot \cos 16^\circ$$

$$TH = 135288,76 \text{ kN} = 135288760 \text{ N}$$

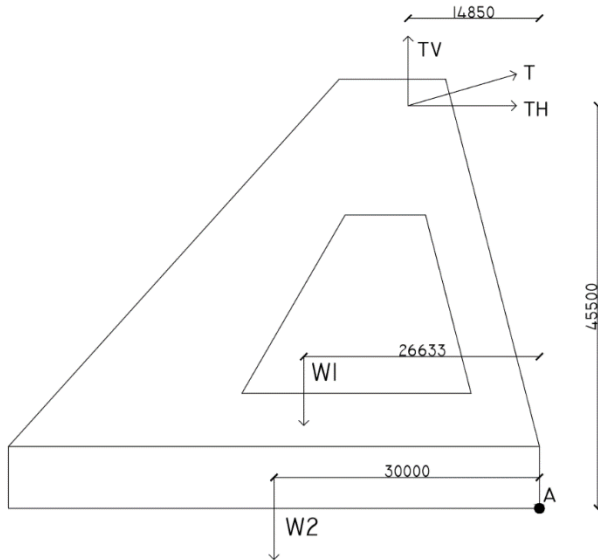
Gaya vertikal kabel

$$TV = T \cdot \sin \theta = 140740,82 \cdot \sin 16^\circ$$

$$TV = 38793,428 \text{ kN} = 38793428 \text{ N}$$

2. Kontrol Guling

Stabilitas guling berkaitan dengan momen yang bekerja pada blok angkut. Momen tersebut timbul karena adanya gaya tarik kabel. Momen *resisten* atau momen perlawanan timbul karena berat sendiri struktur terhadap titik guling. Gaya yang bekerja pada kontrol guling seperti pada Gambar 4.68.



Gambar 4.70 Gaya yang Bekerja pada Kontrol Guling

a. Mguling

Gaya kabel TH

$$Mg1 = TH \cdot y$$

$$Mg1 = 135288760 \cdot 45500$$

$$Mg1 = 6155640000000 \text{ Nmm}$$

Gaya kabel TV

$$Mg2 = TV \cdot x$$

$$Mg2 = 38793428 \cdot 14850$$

$$Mg2 = 576082000000 \text{ Nmm}$$

b. Mperlawanan

Gaya berat W1

$$Mp1 = W1 \cdot x$$

$$Mp1 = 273945416,9 \cdot 26632,95$$

$$Mp1 = 7295980000000 \text{ Nmm}$$

Gaya berat W2

$$Mp2 = W2 \cdot x$$

$$Mp2 = 201600000 \cdot 30000$$

$$Mp2 = 6048000000000 \text{ Nmm}$$

Maka diperoleh kontrol guling sebagai berikut

Mguling \leq Mperlawanan

$$Mg1 + Mg2 \leq Mp1 + Mp2$$

$$6731720000000 \text{ Nmm} \leq 13344000000000 \text{ Nmm}$$

[Memenuhi]

4.12 Desain Perletakan

Perletakan yang digunakan sebagai tumpuan deck jembatan adalah POT bearing tipe free. Produk POT Bearing yang digunakan adalah VSL CTT POT Bearings. Bearing tipe free mengijinkan perpindahan di kedua arah horisontal yaitu arah longitudinal dan transversal. Perletakan diletakkan pada kedua ujung *deck* jembatan. Material yang digunakan adalah susunan dari *top* dan *bottom plate*, *steel ring*, dan *elastomer pad* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.69.



Gambar 4.71 POT Bearing Type PL

Pada desain jembatan gantung ini perletakan dimodelkan pada MIDAS CIVIL dengan tahanan vertikal (D_z). Gaya dalam yang diterima oleh perletakan sebagai berikut:

$$H_x = 0 \text{ kN}$$

$$H_y = 0 \text{ kN}$$

$$V = 4530 \text{ kN}$$

$$V_s = 5826 \text{ kN}$$

Kapasitas POT Bearing seperti pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Kapasitas POT Bearing Type PL
Bearings according to Euronorm EN 1337

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PL 100/70 EN	977	29	700	21	350	34
PL 200/140 EN	1953	59	1400	42	700	51
PL 300/220 EN	3069	92	2200	66	1100	70
PL 390/280 EN	3906	117	2800	84	1400	86
PL 490/350 EN	4883	146	3500	105	1750	101
PL 630/450 EN	6278	188	4500	135	2250	126
PL 700/500 EN	6975	209	5000	150	2500	140
PL 840/600 EN	8370	251	6000	180	3000	176
PL 900/650 EN	9068	272	6500	195	3250	192
PL 1000/700 EN	9765	293	7000	210	3500	205

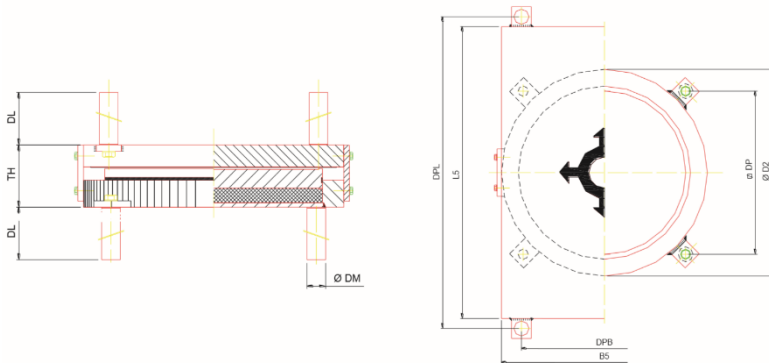
Berdasarkan tabel tersebut dinyatakan bawah untuk memenuhi persyaratan yang gaya dalam yang terjadi digunakan POT Bearing Type PL 840/600 EN. Spesifikasi dimensi seperti berikut:

Tabel 4.34 Dimensi Utama POT Bearing Type PL

BEARING TYPE	Pot \varnothing D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier \varnothing (mm)	DM \varnothing (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PL 100/70 EN	230	83	270 x 230	368	30	150	180	290	205
PL 200/140 EN	295	83	335 x 295	472	30	150	245	355	251
PL 300/220 EN	352	87	392 x 352	563	30	150	302	412	291
PL 390/280 EN	395	90	435 x 395	632	30	150	345	455	322
PL 490/350 EN	428	92	468 x 428	685	30	150	378	488	345
PL 630/450 EN	482	95	518 x 482	771	30	150	428	542	383
PL 700/500 EN	508	97	540 x 508	813	30	150	450	568	407
PL 840/600 EN	556	105	584 x 556	890	30	150	494	616	436
PL 900/650 EN	581	106	605 x 581	930	30	150	515	641	453
PL 1000/700 EN	600	107	620 x 600	960	30	150	530	660	467
PL 1100/800 EN	643	110	656 x 643	1.029	30	150	566	703	497
PL 1200/850 EN	674	111	683 x 674	1.078	30	150	593	734	519
PL 1320/950 EN	707	116	710 x 707	1.131	30	150	620	767	542
PL 1400/1000 EN	728	117	728 x 728	1.165	40	200	638	788	557
PL 1535/1100 EN	760	119	760 x 760	1.216	40	200	670	820	580
PL 1700/1200 EN	792	126	792 x 792	1.267	40	200	702	852	602
PL 1800/1300 EN	824	128	824 x 824	1.318	40	200	734	884	625
PL 2000/1400 EN	857	130	857 x 857	1.371	40	200	767	917	648
PL 2100/1500 EN	888	136	888 x 888	1.421	40	200	798	948	670
PL 2200/1600 EN	928	139	928 x 928	1.485	40	200	838	988	699
PL 2400/1700 EN	946	150	946 x 946	1.514	40	200	856	1006	711
PL 2500/1800 EN	971	151	971 x 971	1.554	40	200	881	1031	729
PL 2650/1900 EN	1.000	153	1000 x 1000	1.600	40	200	910	1060	750
PL 2800/2000 EN	1.036	155	1036 x 1036	1.658	60	300	926	1116	789
PL 3000/2200 EN	1.076	157	1076 x 1076	1.722	60	300	966	1156	817

Namun dari hasil analisa lendutan struktur pada sub bab 4.3.4 diperoleh hasil besar deformasi longitudinal pada lantai

kendaraan adalah sebesar 500 mm. Maka lebar *bearing* direncanakan sebesar dua kali panjang deformasi longitudinal lantai kendaraan. Sehingga digunakan *pot bearing* tipe PL 2650/1900 EN.



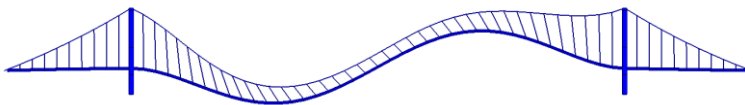
Gambar 4.72 Detail Dimensi POT Bearing Type PL

4.13 Perilaku Aerodinamis

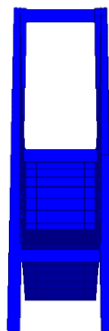
Dalam desain jembatan dengan struktur kabel baik struktur *suspension* maupun *cabl stayed* diperlukan analisa perilaku aerodinamis. Hal ini dikarena kegagalan akibat stabilitas aerodinamis rentan sekali terjadi. Dalam analisa perilaku aerodinamis, akan dihitung frekuensi alami struktur kemudian menghitung efek *vortex shedding* (tumpuhan pusaran angin) berdasarkan frekuensi alami dan dilakukan analisa *aerolastic flutter* (efek ayunan).

4.13.1 Frekuensi Alami

Frekuensi alami yang dihitung adalah frekuensi lentur (f_B) dan frekuensi torsi (f_T). Dari program bantu MIDAS CIVIL dapat diperoleh frekuensi alami lentur balok (f_B) dan frekuensi alami torsi (f_T) dengan menggunakan modal melalui tahapan mode pada menu *result vibration mode shapes*. Untuk bentuk dari struktur yang diakibatkan oleh frekuensi lentur dan frekuensi torsi dapat dilihat pada Gambar 4.71 – Gambar 4.78.

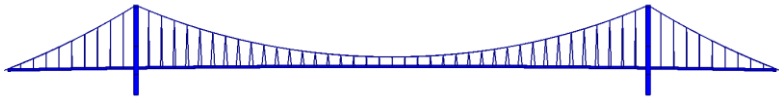


Tampak Samping



Tampak Depan

Gambar 4.73 Mode 1 Assymetrical Bending

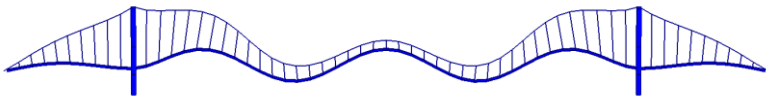


Tampak Samping

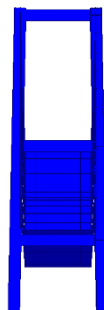


Tampak Depan

Gambar 4.74 Mode 5 *Symmetrical Torsion*

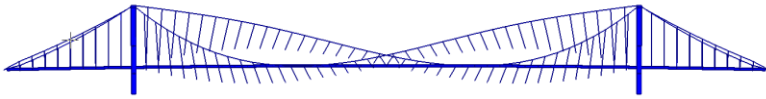


Tampak Samping



Tampak Depan

Gambar 4.75 Mode 10 *Symmetrical Bending*



Tampak Samping

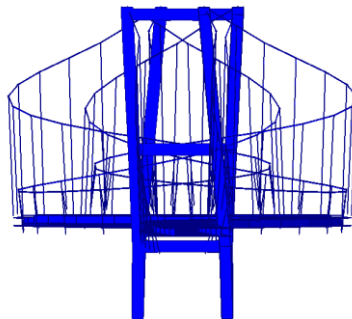


Tampak Depan

Gambar 4.76 Mode 18 *Symmetrical Bending*

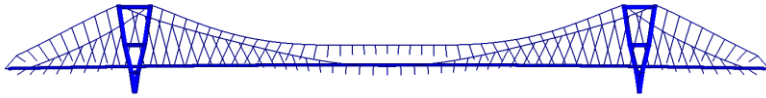


Tampak Depan

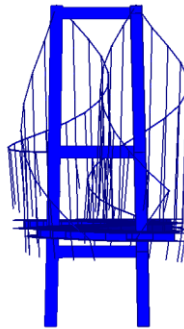


Tampak Depan

Gambar 4.77 Mode 27 *Symmetrical Bending*

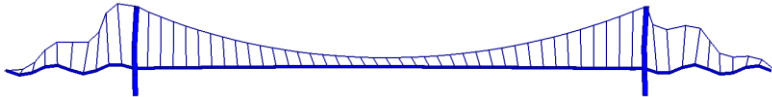


Tampak Samping

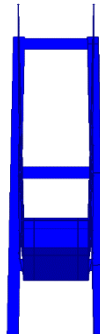


Tampak Depan

Gambar 4.78 Mode 32 Assymetrical Bending



Tampak Samping

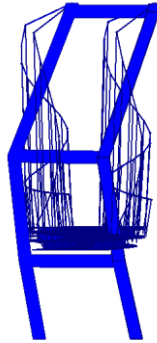


Tampak Depan

Gambar 4.79 Mode 54 Assymetrical Bending



Tampak Samping



Tampak Depan

Gambar 4.80 Mode 57 *Assymmetrical Bending*

Rekapitulasi nilai frekuensi lentur (f_B) dan frekuensi torsi (f_T) yang diperoleh dari hasil analisa menggunakan MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Tabel 4.35 – Tabel 4.36. Dari tabel tersebut diperoleh:

Frekuensi Lentur (f_B) = 0,10471 Hz

Frekuensi Torsi (f_T) = 0,33124 Hz

Tabel 4.35 Nilai f_B dan f_T

Mode No	Frequency	Frequency	Period	Mode
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	0,657934	0,10471	9,54988	Lentur X
2	1,01524	0,16158	6,18887	Lentur Y
3	1,23917	0,19722	5,07048	Lentur Z
4	1,63520	0,26025	3,84246	Lentur Z
5	2,0812	0,33124	3,01901	Torsi
6	2,5641	0,40810	2,45041	Torsi
7	2,7550	0,43847	2,28068	Lentur Z
8	3,0655	0,48788	2,04968	Lentur Z
9	3,0839	0,49082	2,03741	Lentur Z
10	3,1567	0,50240	1,99045	Lentur Z
11	3,3844	0,53864	1,85651	Lentur Z
12	4,2791	0,68104	1,46834	Lentur Z
13	5,6629	0,90127	1,10954	Lentur Z
14	6,1410	0,97737	1,02316	Lentur Z
15	6,4977	1,03414	0,96699	Lentur Z
16	6,6782	1,06287	0,94085	Lentur X
17	7,1999	1,14590	0,87268	Lentur X
18	7,6475	1,21713	0,82160	Lentur X
19	7,7582	1,23476	0,80987	Lentur X
20	7,8212	1,24478	0,80336	Lentur X
21	8,5185	1,35576	0,73760	Lentur X
22	8,5724	1,36434	0,73296	Lentur X
23	8,6052	1,36957	0,73016	Lentur X
24	8,9639	1,42665	0,70094	Lentur X
25	9,4850	1,50959	0,66243	Lentur X
26	9,5207	1,51526	0,65995	Lentur Y
27	10,5369	1,67699	0,59631	Lentur Y
28	10,7678	1,71375	0,58352	Lentur Y

Tabel 4.36 Nilai f_B dan f_T (Lanjutan)

Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Mode
29	11,8518	1,88628	0,53015	Lentur Y
30	12,7860	2,03496	0,49141	Lentur Y
31	13,3240	2,12058	0,47157	Lentur Y
32	14,2889	2,27415	0,43973	Lentur Y
33	14,5919	2,32237	0,43059	Lentur Y
34	15,0748	2,39922	0,41680	Lentur X
35	15,3860	2,44876	0,40837	Lentur X
36	15,3981	2,45068	0,40805	Lentur X
37	15,4989	2,46673	0,40540	Lentur X
38	15,7307	2,50362	0,39942	Lentur X
39	17,1245	2,72545	0,36691	Lentur X
40	17,5822	2,79829	0,35736	Lentur X
41	17,6849	2,81464	0,35529	Lentur X
42	18,7057	2,97710	0,33590	Lentur X
43	19,4079	3,08886	0,32374	Lentur X
44	19,4732	3,09926	0,32266	Lentur X
45	19,4850	3,10113	0,32246	Lentur X
46	20,3909	3,24531	0,30814	Lentur X
47	20,6874	3,29250	0,30372	Lentur X
48	20,9715	3,33772	0,29961	Lentur X
49	21,5273	3,42618	0,29187	Lentur X
50	21,8620	3,47944	0,28740	Lentur X
51	23,1733	3,68814	0,27114	Lentur X
52	23,4617	3,73404	0,26781	Lentur X
53	23,8645	3,79816	0,26329	Lentur X
54	24,0737	3,83145	0,26100	Lentur X
55	24,1967	3,85102	0,25967	Lentur X
56	24,2460	3,85886	0,25914	Lentur X
57	24,8566	3,95606	0,25278	Lentur Y

4.13.2 Efek Pusaran Angin (*Vortex Shedding*)

4.13.2.1 Kecepatan Angin

Kecepatan angin dihitung berdasarkan frekuensi lentur alami struktur sehingga kecepatan ini dianggap sebagai kecepatan pada kondisi resonansi yang menyebabkan timbulnya pusaran angin. Untuk mendapatkan kecepatan angin dapat dihitung dari angka *Strouhal* dari suatu lantai kendaraan:

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V}$$

Dimana:

$$f_B = 0,10471 \text{ Hz}$$

$$h = 3,5 \text{ m}$$

$$S = 0,20$$

- 0,20 untuk silinder dengan diameter h

- 0,10 – 0,20 untuk lantai kendaraan dengan tinggi h

- 0,10 jika udara mengalir pada satu sisi

Maka diperoleh,

$$V = \frac{f_B \cdot h}{S}$$

$$V = \frac{0,10471 \cdot 3,5}{0,20}$$

$$V = 1,832 \text{ m/s}$$

4.13.2.2 Angka Reynold

Kemudian dilakukan cek efek pusaran dengan angka *Reynold* (Re). untuk kontrol kestabilan struktur nilai angka *Reynold* harus berada di antara 10^5 sampai dengan 10^7 . Berikut perhitungan angka *Reynold*:

$$Re = \frac{V \cdot B}{\bar{\nu}}$$

Dimana:

$$V = 1,832 \text{ m/s}$$

$$B = 30 \text{ m}$$

$$\bar{\nu} = 0,15 \text{ cm}^2/\text{dtk}$$

Maka diperoleh,

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V \cdot B}{\bar{v}} \\ Re &= \frac{1,832 \cdot 30}{0,15 \cdot 10^{-4}} \\ Re &= 3664955 \\ 10^5 &< 3,665 \cdot 10^6 < 10^7 \\ &[\text{Memenuhi}] \end{aligned}$$

4.13.2.3 Amplitudo Akibat Osilasi

Pusaran angin menyebabkan gaya angkat F_o (*uplift*). Amplitudo akibat osilasi akan dihitung berdasarkan gaya angkat ini. Untuk perhitungan gaya angkat sebagai berikut:

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} C h$$

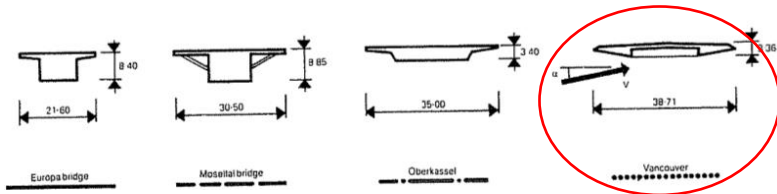
Dimana:

$$V = 1,832 \text{ m/s}$$

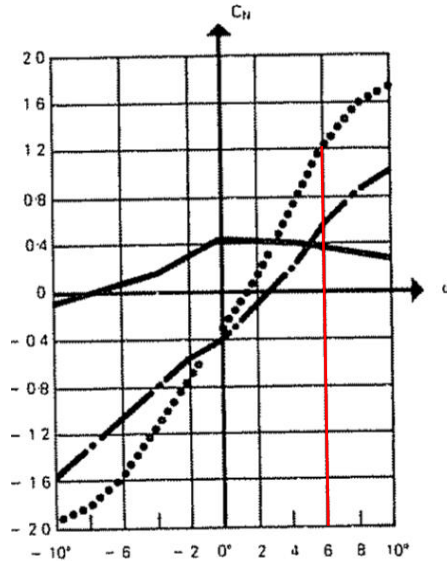
$$h = 3,5 \text{ m}$$

$$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$$

$$C = \text{koefisien gaya angkat diperoleh dari Gambar 4.79}$$



Macam Penampang *Deck*



Gambar 4.81 Koeffisien Gaya Angkat C (Walther, 1999)

Berdasarkan bentuk penampang *deck* pada desain jembatan ini maka digunakan bentuk penampang *deck* keempat yang diwakilkan oleh jembatan Vancouver. Dengan α diambil sebesar 6° maka didapat nilai koefisien C_N sebesar 1,2.

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} C h$$

$$F_o = 1,3 \frac{1,832^2}{2} 1,2 \cdot 3,5$$

$$F_o = 9,167 \text{ N/m}$$

Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\hat{v} = \frac{\pi F_o}{\delta m} v_{\max}$$

Dimana:

$$\delta = 0,02 \text{ [Tabel 11 SEM PU No. 08/SE/M/2015]}$$

$F_0 = 9,167 \text{ N/m}$
 $m = 136691,47 \text{ N/m}$
 $v_{\max} = 0,2109 \text{ m}$
 Maka diperoleh,

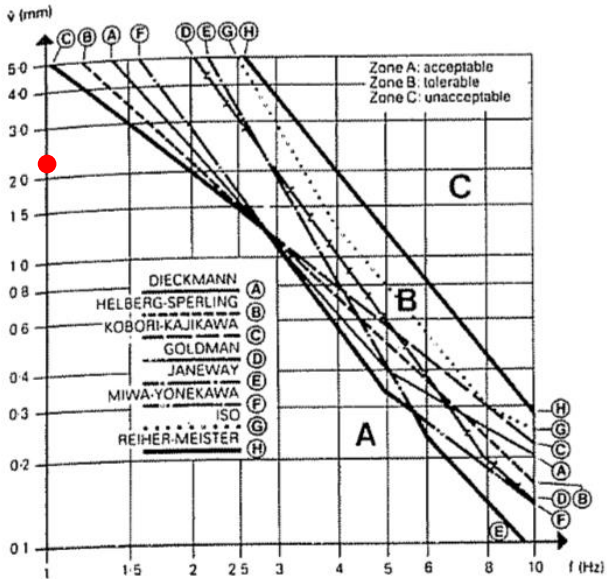
$$\hat{v} = \frac{\pi F_0}{\delta m} v_{\max}$$

$$\hat{v} = \frac{\pi \cdot 9,167}{0,02 \cdot 136691,47} \cdot 0,2109$$

$$\hat{v} = 0,0022 \text{ m} = 2,22 \text{ mm}$$

$$f_B = 0,10471 \text{ Hz}$$

Kontrol keamanan amplitudo struktur akibat osilasi ditentukan berdasarkan grafik Rene Walther 1999. Pada grafik ini mengkombinasikan nilai frekuensi lentur (f_B) dan nilai amplitudo akibat osilasi (\hat{v}) seperti pada Gambar 4.80.



Gambar 4.82 Kontrol Keamanan Amplitudo (Walther, 1999)

Dari gambar dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai hasil *plotting* antara frekuensi lentur dan amplitudo berada pada zona aman.

4.13.2.4 Percepatan akibat Osilasi

Percepatan akibat osilasi dihitung berdasarkan nilai amplitudo akibat osilasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{v} = 4\pi^2 f_B^2 \hat{v}$$

Dimana:

$$f_B = 0,10471 \text{ Hz}$$

$$\hat{v} = 2,22 \text{ mmm}$$

Maka diperoleh,

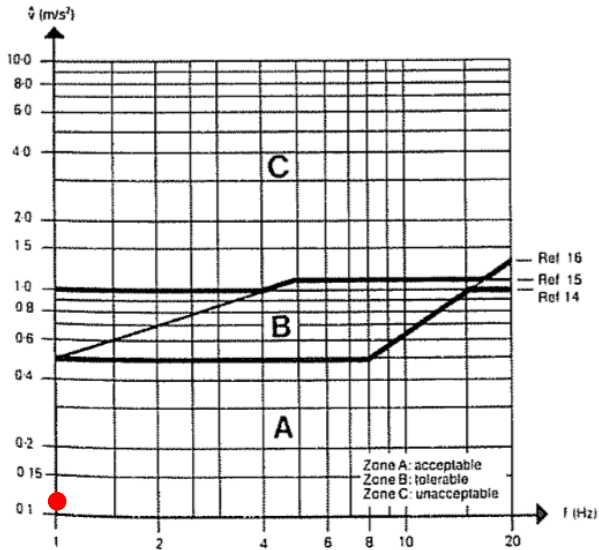
$$\hat{v} = 4\pi^2 f_B^2 \hat{v}$$

$$\hat{v} = 4\pi^2 \cdot 0,10471^2 \cdot 2,22 \cdot 10^{-3}$$

$$\hat{v} = 0,00048 \text{ m/s}^2$$

$$f_T = 0,33124 \text{ Hz}$$

Kontrol keamanan percepatan akibat osilasi ditentukan berdasarkan grafik Rene Walther 1999 dengan mengkombinasikan nilai frekuensi torsi (f_T) dan nilai percepatan akibat osilasi (\hat{v}) seperti pada Gambar 4.81 di bawah ini.

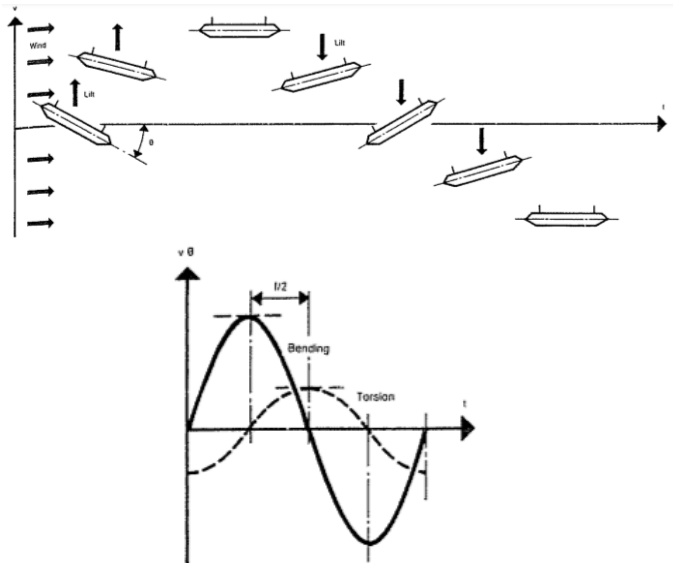


Gambar 4.83 Kontrol Keamanan Percepatan (Walther, 1999)

Dari gambar dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai hasil *plotting* antara frekuensi torsi dan percepatan akibat osilasi berada pada zona aman.

4.13.3 Efek Ayunan (*Flutter*)

Fenomena ini terjadi pada kecepatan kritis yang menimbulkan ayunan lentur (fB) dan ayunan torsi (fT). Untuk desain yang ideal nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya terjadi dalam fase yang berbeda yang berarti amplitudo akibat ayunan lentur dan akibat ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Hal ini dapat dijelaskan pada ilustrasi Gambar 4.82.



Gambar 4.84 Efek Flutter dengan Perbedaan Fase $\pi/2$

Hasil akhir perhitungan *flutter* adalah didapatkannya nilai kecepatan kritis aktual struktur ($V_{\text{critic actual}}$). Apabila nilai kritis actual struktur lebih besar dari kecepatan angin rencana maka struktur dinyatakan aman. Perhitungan *flutter* menggunakan metode *Kloppel* sebagai berikut:

$$\mu = \frac{m}{\pi \rho b^2}$$

Dimana,

$$m = 13669,15 \text{ kg/m}$$

$$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$$

$$b = 0,5B = 15 \text{ m}$$

Maka diperoleh,

$$\mu = \frac{m}{\pi \rho b^2}$$

$$\mu = \frac{13669,1}{\pi \cdot 1,3 \cdot 15^2}$$

$$\mu = 14,875$$

Menentukan jari-jari girasi penampang *deck* dengan cara sebagai berikut:

$$I_x = 3,609 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

$$A = 1664971 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{3,609 \cdot 10^{12}}{1664971}}$$

$$r = 1472,35 \text{ mm} = 1,472 \text{ m}$$

Maka diperoleh,

$$r/b = 1,472/15 = 0,098$$

Menentukan perbandingan antara frekuensi torsi (f_T) dan frekuensi lentur (f_B) dengan cara sebagai berikut:

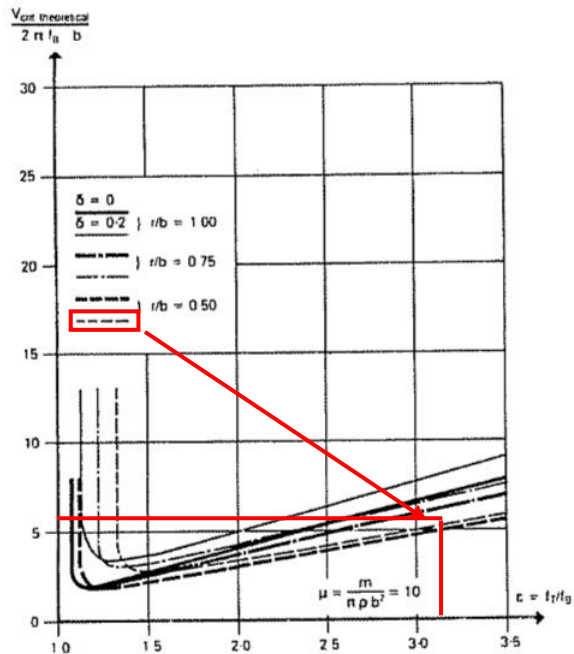
$$f_B = 0,10471 \text{ Hz}$$

$$f_T = 0,33124 \text{ Hz}$$

$$\varepsilon = \frac{f_T}{f_B} = \frac{0,33124}{0,10471}$$

$$\varepsilon = 3,16 \geq 2,5$$

Nilai kecepatan kritis aktual ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 4.83. Pada grafik tersebut dilakukan *plotting* nilai perbandingan frekuensi torsi dan frekuensi lentur terhadap persyaratan r/b .



Gambar 4.85 Grafik $V_{critic.actual}$ (Walther, 1999)

Dari grafik tersebut diperoleh

$$V_{critic\ theoretical} = 6$$

Sehingga diperoleh

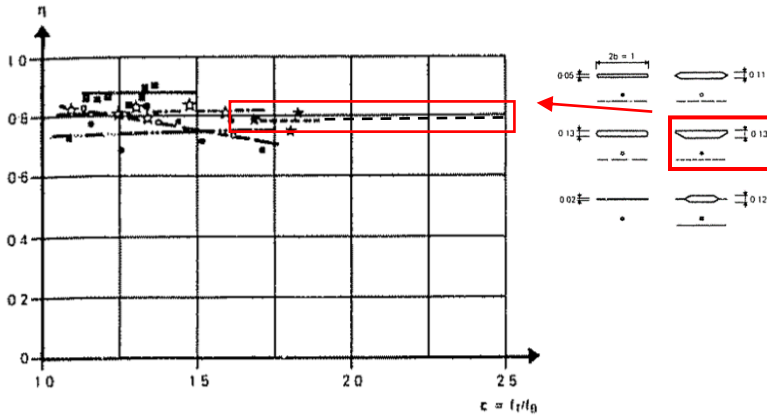
$$\frac{V_{critic\ theoretical}}{2\pi f_B b} = 6$$

$$V_{critic\ theoretical} = 6 (2\pi f_B b)$$

$$V_{critic\ theoretical} = 6 (2\pi \cdot 0,10471 \cdot 15)$$

$$V_{critic\ theoretical} = 59,214 \text{ m/s}$$

Besar kecepatan kritis teoritis harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis aktual menggunakan grafik seperti pada Gambar 4.84 di bawah ini.



Gambar 4.86 Faktor Koreksi $V_{\text{critic.actual}}$ (Walther, 1999)

Dengan menyesuaikan penampang *deck* pada grafik tersebut didapatkan nilai koreksi untuk sudut serang angin sebesar 0° sebagai berikut:

$$\eta(\alpha.\text{wind } 0) = 0,78$$

$$V_{\text{critic actual}}(0) = 0,78 \cdot 59,214 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{critic actual}}(0) = 46,187 \text{ m/s}$$

Pada kenyataannya angin tidak selalu menabrak lantai kendaraan pada posisi horisontal. Terkadang terdapat sudut α yang berkisar antara 3° sampai 9° yang kemudian diperoleh rata-rata menjadi 6° . Maka dari itu diperlukan koreksi kembali. Untuk *deck* dengan bentuk *streamlined* faktor koreksi harus dikalikan dengan $\frac{1}{2}$ sebagai berikut:

$$\eta(\alpha.\text{wind } 6) = 0,78 \cdot 0,5 = 0,39$$

$$V_{\text{critic actual}}(6) = 0,39 \cdot 59,214 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{critic actual}}(6) = 23,093 \text{ m/s}$$

Dari hasil ini dapat diketahui bahwa pada saat angin bertiup dengan kecepatan 23,093 m/s akan mulai terjadi efek

flutter. Sedangkan pada perencanaan digunakan kecepatan angin rencana sebesar 22,636 m/s atau sebesar 81,49 km/jam. Karena kecepatan angin rencana < kecepatan angin kritis aktual maka analisa efek *flutter* memenuhi. Namun karena hasil yang memiliki selisih kecil perlu dilakukan analisa pada *wind tunnel* dengan menggunakan model untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Analisa menggunakan *wind tunnel* juga berfungsi untuk mengetahui perilaku struktur saat mengalami torsi atau lentur dengan lebih akurat.

4.14 Staging Analysis dan Maintenance

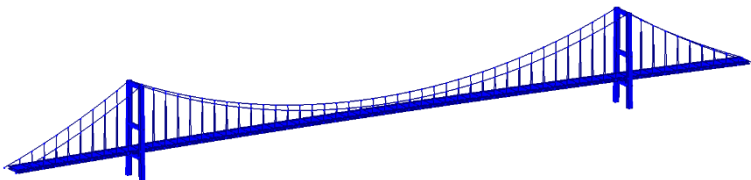
4.14.1 Staging Analysis

Staging analysis yang dibahas pada jembatan gantung ini digunakan untuk mengontrol lendutan kabel dan *deck* saat proses *erection*. Hal ini diperlukan untuk mengetahui tinggi *sag* atau dip sudah sesuai dengan tinggi yang direncanakan saat seluruh beban mati telah bekerja. Karena dip atau *sag* memiliki fungsi sebagai lengan momen dari kabel. Selain itu tegangan awal kabel juga harus disesuaikan dengan perencanaan agar lendutan sesuai dengan yang direncanakan. Direncanakan tinggi *sag* atau dip sebelum beban mati bekerja adalah 60 meter dan tegangan kabel awal sebesar 87000 kN.

Metode *staging* yang dilakukan adalah *Backward Contruction Stage Analysis*. Tahapan ini dimulai dengan *completed state* dimana jembatan telah pada tahap akhir. Kemudian tahapan selanjutnya adalah proses pelepasan beberapa segmen komponen hingga tahapan terakhir yaitu menyisakan kabel utama. Untuk ilustrasi lebih jelas dapat lihat pada Sub bab 3.9. Hasil akhir berupa grafik yang menunjukkan perubahan tinggi *sag* selama proses *erection*.

1. *Completed Stage* (CS0)

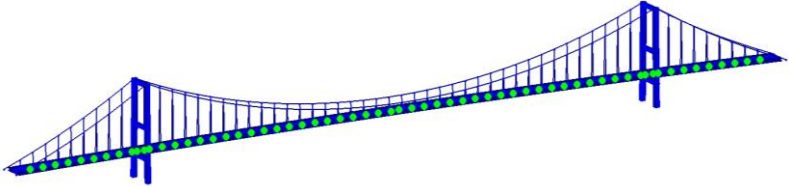
Tahap ini adalah tahap akhir dari proses konstruksi. Dimana struktur telah berdiri secara sempurna dan beban mati tambahan telah bekerja. Dan diperoleh lendutan di tengah bentang sebesar -0,08 m.



Gambar 4.87 *Completed Stage* (CS0)

2. *Stage 1 (CS1)*

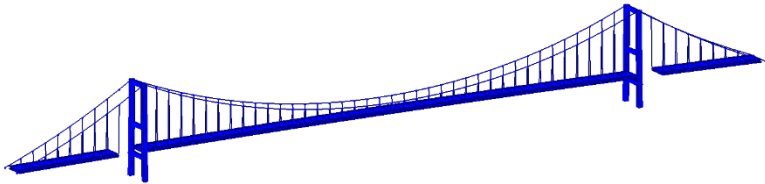
Pada *stage* ini dilakukan proses penyambungan dari *deck* secara keseluruhan. Pada analisis menggunakan MIDAS Civil digunakan istilah “*pin connection group*” untuk memodelkan tahapan ini. Pada tahapan ini diperoleh lendutan sebesar 1,6 m.



Gambar 4.88 *Stage 1 (CS1)*

3. *Stage 2 (CS2)*

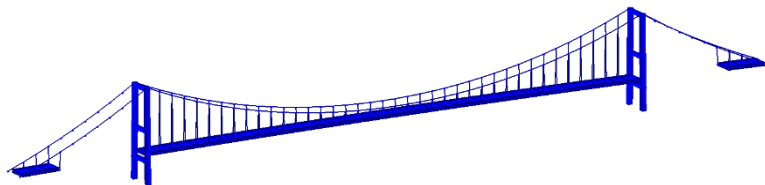
Stage ini adalah tahap sebelum 2 segmen *deck* di sisi samping *pylon* dipasang. Dengan lendutan yang diperoleh sebesar 1,35 m.



Gambar 4.89 *Stage 2 (CS2)*

4. *Stage 3 (CS3)*

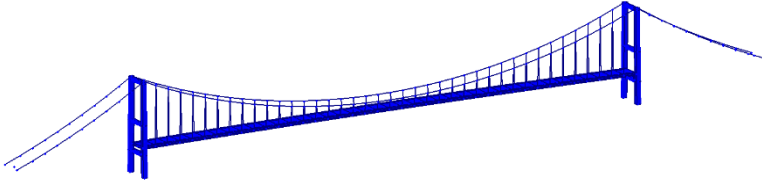
Stage ini adalah tahap sebelum 7 segmen *deck* di sisi samping *pylon* dipasang. Dengan lendutan yang diperoleh sebesar 0,41 m.



Gambar 4.90 *Stage 3 (CS3)*

5. *Stage 4 (CS4)*

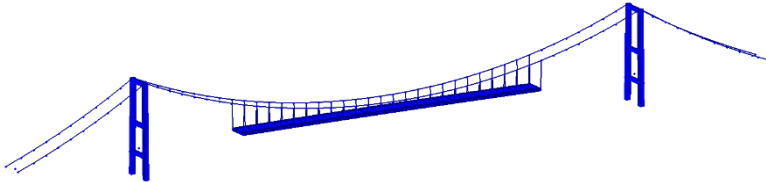
Stage ini adalah tahap sebelum 10 segmen *deck* di sisi samping *pylon* atau seluruh segmen pada bentang samping dipasang. Dengan lendutan yang diperoleh sebesar $-0,044$ m.



Gambar 4.91 *Stage 4 (CS4)*

6. *Stage 5 (CS5)*

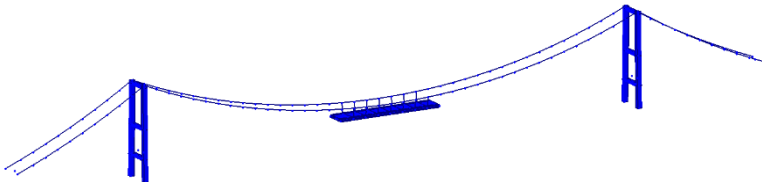
Stage ini adalah tahap sebelum 16 segmen *deck* di sisi samping *pylon* pada bentang tengah dipasang. Dengan lendutan yang diperoleh sebesar 9,1 m.



Gambar 4.92 *Stage 5 (CS5)*

7. *Stage 6 (CS6)*

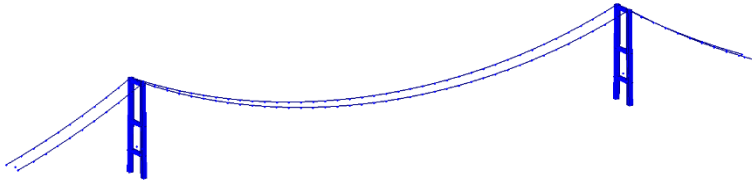
Stage ini adalah tahap sebelum 32 segmen *deck* pada bentang tengah dipasang. Dengan lendutan yang diperoleh sebesar 7,57 m.



Gambar 4.93 *Stage 6 (CS6)*

8. Stage 7 (CS 7)

Stage ini adalah tahap sebelum seluruh segmen *deck* dipasang. Namun kabel telah memperoleh tegangan awal sebesar 87000 kN. Maka lendutan yang diperoleh sebesar + 18,9 m.



Gambar 4.94 *Stage* 7 (CS7)

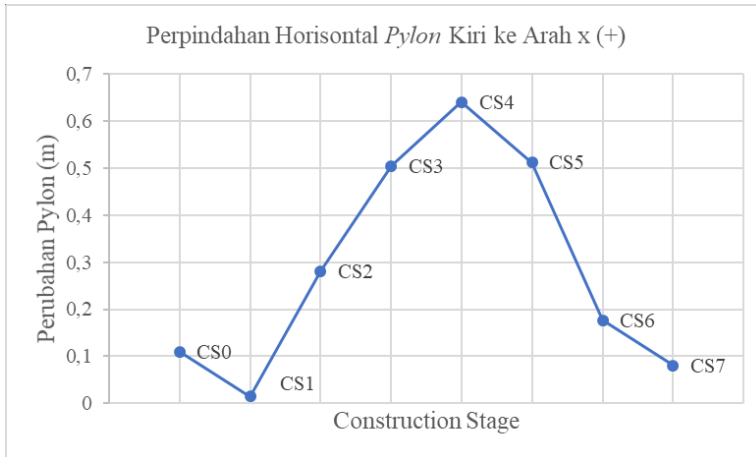
Dari analisa tersebut dapat diperoleh perubahan dip/*sag* pada bentang tengah jembatan yang akan dijadikan acuan dalam proses *erection* pada saat konstruksi. Grafik tersebut dapat lihat pada Gambar 4.94.



Gambar 4.95 Perubahan *Sag* selama Proses Konstruksi

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa lendutan yang terjadi pada lantai kendaraan ataupun pada kabel utama telah sesuai dengan perencanaan.

Pada proses konstruksi perilaku yang dialami *pylon* juga perlu diperhatikan. *Erection* dari setiap segmen rantai kendaraan yang tidak bersamaan akan memberikan *displacement* yang tidak seimbang pada kedua *pylon*. Sehingga perlu di analisa besar lendutan *pylon* pada saat konstruksi seperti pada Gambar 4.95 di bawah ini.



Gambar 4.96 Perubahan *Pylon* selama Proses Konstruksi

Gambar di atas menunjukkan grafik perubahan perubahan *pylon* terhadap sumbu x untuk *pylon* sisi kiri. Dari grafik tersebut dapat dilihat besar perpindahan pada setiap *construction stage*. Perpindahan dipengaruhi oleh jumlah rantai kendaraan yang telah terpasang pada kabel penggantung. Seperti halnya pada CS4 menunjukkan perpindahan yang besar dikarenakan *construction stage* berada di tahap dimana hanya rantai kendaraan di *mid span* yang memiliki jumlah lebih banyak di banding *side span* yang telah terpasang. Sebaliknya perpindahan akan mendekati 0 saat struktur semakin mendekati posisi seimbang atau berdiri secara keseluruhan.

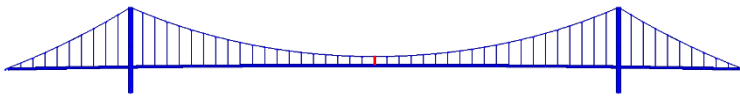
4.14.2 Maintenance

Pada masa perawatan dilakukan penggantian kabel pada satu sisi jembatan, maka struktur perlu ditinjau kapasitasnya terhadap kondisi satu kabel lepas. Kabel yang ditinjau dipilih berdasarkan gaya terbesar yang bekerja pada struktur. Dari hasil analisis *trial and error* didapatkan pengaruh terbesar saat satu kabel lepas dilakukan pada dekat *pylon* dan di tengah bentang.

Beban yang bekerja pada saat maintenance adalah berat sendiri struktur dan beban angin dengan asumsi bahwa lalu lintas kendaraan yang melewati jembatan ditiadakan.

4.14.2.1 Kabel Tengah Bentang

Berikut Gambar 4.96 adalah ilustrasi bentang tengah saat dilakukan proses *maintenance*.



Gambar 4.97 Kabel Putus Tengah Bentang

Berikut adalah hasil analisa struktur permodelan dengan analisa satu kabel dilepas untuk satu sisi jembatan dengan kapasitas struktur sebagaimana telah dihitung pada bab-bab sebelumnya.

1. Kabel Utama

Gaya yang bekerja pada kabel utama saat proses *maintenance* adalah:

$$Pr = 110568 \text{ kN (angin arah y)}$$

$$Pc = 184066,3 \text{ kN}$$

$$Pr < Pc$$

[Memenuhi]

2. Kabel Penggantung

Gaya yang bekerja pada kabel utama saat proses *maintenance* adalah:

$$Pr = 2600,745 \text{ kN (angin arah y)}$$

$$P_c = 15327,14 \text{ kN}$$

$$P_r < P_c$$

[Memenuhi]

3. Lantai Kendaraan (*Deck*)

Pada saat kontrol penampang lantai kendaraan setiap elemen lantai kendaraan dikontrol untuk pembebanan BGT dan BTR sepanjang satu segmen. Sehingga pada saat proses *maintenance* setiap elemen masih mampu menahan beban yang bekerja. Kontrol hanya dilakukan pada gaya torsi yang terjadi saat proses *maintenance*.

$$T_r = 12255,68 \text{ kNm (angin arah x)}$$

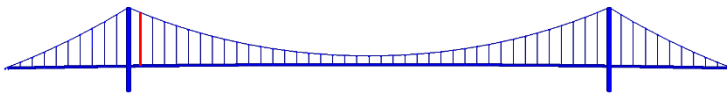
$$T_c = 22185,95 \text{ kN}$$

$$T_r < T_c$$

[Memenuhi]

4.14.2.2 Kabel Dekat *Pylon*

Berikut Gambar 4.97 adalah ilustrasi bentang tengah saat dilakukan proses *maintenance*.



Gambar 4.98 Kabel Putus Dekat *Pylon*

Berikut adalah hasil analisa struktur permodelan dengan analisa satu kabel dilepas untuk satu sisi jembatan dengan kapasitas struktur sebagaimana telah dihitung pada bab-bab sebelumnya.

1. Kabel Utama

Gaya yang bekerja pada kabel utama saat proses *maintenance* adalah:

$$P_r = 110594 \text{ kN (angin arah y)}$$

$$P_c = 184066,3 \text{ kN}$$

$$P_r < P_c$$

[Memenuhi]

2. Kabel Penggantung

Gaya yang bekerja pada kabel utama saat proses *maintenance* adalah:

$$Pr = 2724,896 \text{ kN (angin arah y)}$$

$$Pc = 15327,14 \text{ kN}$$

$$Pr < Pc$$

[Memenuhi]

3. Lantai Kendaraan (*Deck*)

Pada saat kontrol penampang lantai kendaraan setiap elemen lantai kendaraan dikontrol untuk pembebanan BGT dan BTR sepanjang satu segmen. Sehingga pada saat proses *maintenance* setiap elemen masih mampu menahan beban yang bekerja. Kontrol hanya dilakukan pada gaya torsi yang terjadi saat proses *maintenance*.

$$Tr = 14015,7 \text{ kNm (angin arah y)}$$

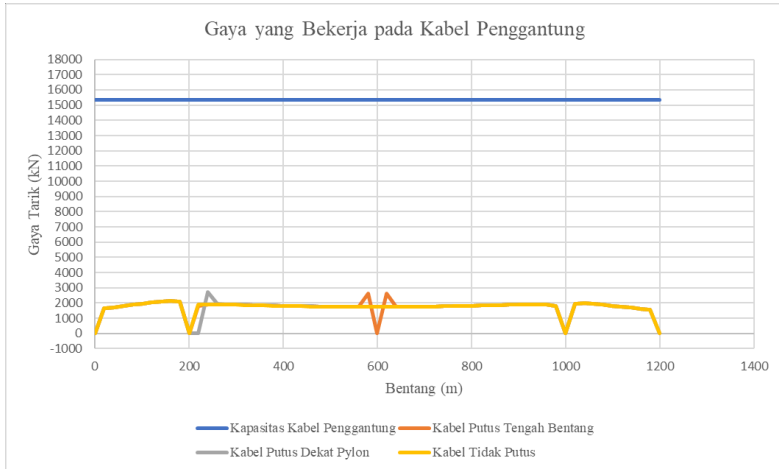
$$Tc = 22185,95 \text{ kN}$$

$$Tr < Tc$$

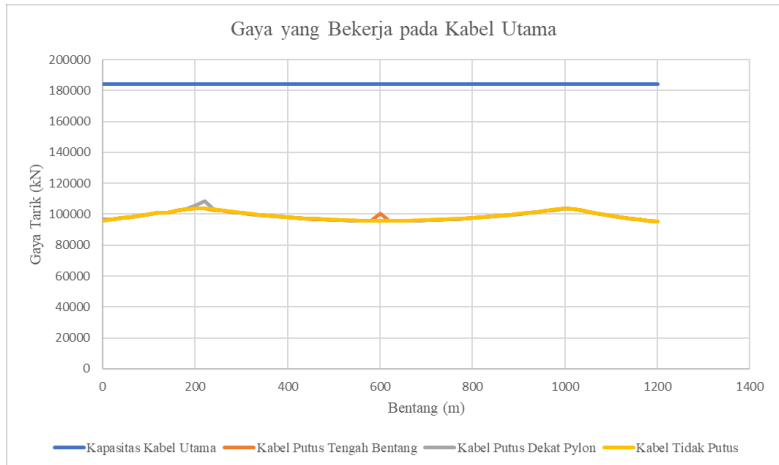
[Memenuhi]

4.14.2.3 Hasil Analisa

Dari hasil analisa di atas dapat dituangkan dalam grafik yang menunjukkan kapasitas tiap elemennya dan gaya yang terjadi saat kabel tidak putus dan saat kabel putus. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.99 – Gambar 4.102.



Gambar 4.99 Gaya yang Bekerja pada Kabel Penggantung



Gambar 4.100 Gaya yang Bekerja pada Kabel Utama



Gambar 4.101 Gaya Torsi yang Bekerja pada Lantai Kendaraan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa dan kontrol yang telah dilakukan untuk seluruh elemen desain struktur jembatan gantung Suramadu disajikan pada bab kesimpulan dengan rincian sebagai berikut:

1. Panjang total desain jembatan ini adalah 1200 m yang terdiri dari bentang tengah sepanjang 800 m dan bentang samping masing-masing 200 m. Lebar total *deck* jembatan adalah 30 m. Konfigurasi kabel penggantung dipasang dengan jarak 20 m dan persamaan kabel utama menggunakan persamaan *catenary*.
2. *Railing* didesain terhadap tumbukan kendaraan sesuai persyaratan pada AASHTO MASH 2009. *Railing* terdiri dari batang horisontal dengan profil *circular hollow* dimensi D3,5" dengan panjang 2 m dan batang vertikal dengan profil *rectangular hollow* dimensi 200.200.8.
3. Pelat lantai kendaraan berupa *orthotropic plate* dengan *closed ribs* yang terdiri dari pelat baja dengan ketebalan 16 mm dan rusuk (*ribs*) dengan bentuk *trapezoidal U* 300.250.150.8. Jarak bersih antara dinding terluar *ribs* 300 mm. Sambungan antara *ribs* dan *floor beam* berupa las dengan ketebalan 8 mm dan sambungan antar segmen *ribs* digunakan baut M24 sebanyak 8 buah. Pada sisi bawah *deck* jembatan digunakan *orthotropic plate* dan *ribs* dengan dimensi yang sama.
4. *Floor beam* (gelagar melintang) berupa profil T dimensi 700.300.15.28. Sambungan *floor beam* dengan *box girder* menggunakan las *fillet* dengan ketebalan 12 mm.
5. *Box girder* samping memiliki bentuk aerodinamis sehingga tidak menjadi simetris yang terdiri dari dinding *box* dan pengaku transversal di setiap 5 m. Ketebalan pelat dinding *box* sebesar 24 mm. Sambungan antar segmen dinding *box girder* digunakan baut M30 sebanyak 24 buah.

Pada setiap pengangkuran kabel penggantung terdapat pengaku dengan profil L.

6. Rangka batang berfungsi sebagai penahan geser dan pengaku pada lantai kendaraan. Rangka batang didesain menggunakan profil *double L* dimensi 150.150.15.15. Sambungan terdiri dari pelat sambung tebal 15 mm dan baut M24 paling banyak adalah 2 buah.
7. Struktur kabel yang digunakan adalah produk VSL SSI 2000 dengan tipe ASTM A-416 Grade 270. Pada kabel utama digunakan *strand* 187 sebanyak 7 kabel dengan diameter total 550 mm. Sedangkan pada kabel penggantung digunakan *strand* 109 dengan diameter 140 mm.
8. Struktur *pylon* terbuat dari material beton mutu tinggi dengan kuat tekan $f_c' = 60$ MPa. Dimensi kolom *pylon* secara menyuluruh digunakan ukuran 5000 x 7000 mm dengan tidak massif (berongga). Kolom *pylon* terbagi menjadi 3 *section* dengan penulangan sesuai gaya yang terjadi. Rekapitulasi penulangan seperti pada Tabel 4.29 – Tabel 4.31. Sedangkan balok *pylon* memiliki dimensi 5000 x 5000 mm dengan tidak massif (berongga). Rekapitulasi penulangan balok *pylon* seperti pada Tabel 4.32.
9. Blok angkur untuk tempat pengangkuran kabel utama didesain dengan kontrol guling akibat momen yang terjadi. Blok angkur memiliki dimensi lebar 10 m dan panjang 60 m di setiap sisinya. Sedangkan pengangkuran kabel pada *pylon* dilengkapi dengan desain penulangan *spalling* dan *bursting*. Penulangan *bursting* didesain dengan 28D43 dan penulangan *spalling* didesain dengan 5D43.
10. Stabilitas aerodinamis struktur jembatan dihitung menggunakan rumus empiris. Pengaruh *vortex shedding* menunjukkan bahwa tahanan aerodinamis penampang *deck* masih berada pada zona *acceptable*. Sedangkan pengaruh *flutter* juga aman, dengan kecepatan angin ijin untuk *flutter* sebesar 83 km/jam.

11. Analisa metode pelaksanaan atau *staging analysis* menggunakan metode *Backward Contruction Stage Analysis*. Dari *staging analysis* dapat diketahui bahwa lendutan yang terjadi telah sesuai dengan yang direncanakan dengan tegangan awal kabel sebesar 87000 kN. Pada saat proses *maintenance* ketika dilakukan penggantian satu kabel. Dari hasil analisis struktur dinyatakan aman.

5.2 Saran

Hasil pengerjaan laporan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan. Sehingga untuk hasil desain menjadi lebih baik, hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Dalam menentukan bentuk/persamaan kabel utama perlu dilakukan peninjauan yang lebih mendalam. Karena bentuk kabel utama juga mempengaruhi kemudahan saat pelaksanaan. Dan susunan kabel dilihat dari arah melintang dipasang dengan kemiringan tertentu hal ini juga perlu dilakukan peninjauan lebih mendalam untuk mengetahui pengaruh kemiringan pada kemampuan kabel utama maupun kabel penggantung.
2. Untuk keperluan desain jembatan gantung sesungguhnya perlu dilakukan analisa aerodinamis menggunakan uji terowongan angin (*wind tunnel*) disamping dihitung menggunakan formula empiris untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- AISC. 1963. *Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridge*. New York: American Institute of Steel Construction, Inc
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. RSNI T-12-2004*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. RSNI T-03-2005*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Beton. SNI 2847 2013*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. RSNI 2833-2016*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Standar Pembebanan untuk Jembatan. SNI 1725-2016*.
- Connor, R. 2012. *Manual for Design, Construction, and Maintenance of Orthotropic Steel Deck Bridge*. Pittsburgh: Federal Highway Administration
- Gerard Parke and Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering*. USA: ASCE Press
- Gimsing, Neils J., dan Christos T. Georgakis. 2012. *Cable Supported Bridge Concept and Design Third Edition*. Denmark: John Wiley and Sons Ltd.
- Heins, C., P., Firmage, D., A. 1979. *Design of Modern Steel Highway Bridge*. Wiley.

- Kementrian Pekerjaan Umum. 2015. *Perencanaan Jembatan Beruji Kabel* (Peraturan Nomor 08/SE/M/2015).
- Midas. *Staged Construction Analysis for Suspension Bridge*.
<<https://www.midasoft.com/bridge/civil/edu/stagedanalysis/suspension>>
- Mustazir, dkk. 2002. *Kabel Sebagai Elemen Utama Jembatan: Konstruksi dan Perilaku*. Bandung: ITB
- Pasaribu, P. M. 1995. *Konstruksi Baja Jembatan Rangka Gantung*. Medan: Universitas HKBP Nommensen Press
- Pugsley, Sir A. 1968. *The Theory of Suspension Bridges – Second Edition*. London. Edward Arnold.
- Suleyman, A., Murat, G., Ahmet, C. A., Baris, S. (2012). *Construction Stage Analysis of Humber Suspension Bridge. Applied Mathematical Modelling*, 36, 5492-5505.
- Supriyadi, B., dan Muntohar. 2007. *Jembatan*. Yogyakarta
- Troitsky, M. S. 1994. *Planning and Design of Bridge*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Troitsky, M. S. 1977. *Cable Stayed Bridges: Theory and Design*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Walter, R. 1999. *Cable Stayed Bridges*. London: Thomas Telford

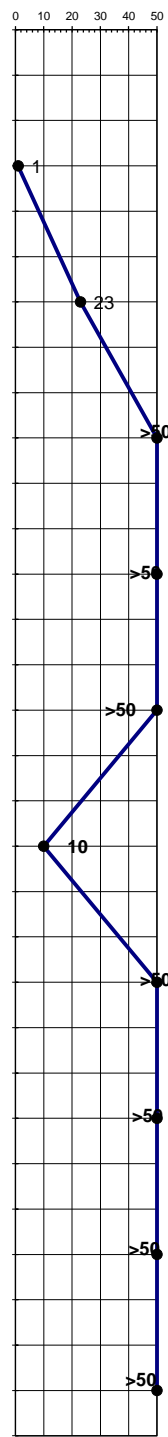
LAMPIRAN



DRILLING LOG

KLIEN = PT. TRI WAROKO UTAMA DOCKYARD	Type of Drilling = Rotary drilling machine	Remarks:
NAMA PROYEK = DOCKYARD	Date Start = 02 Desember 2002	UD = Undisturb Sample
TITIK BOR = BH-2	Date End = 04 Desember 2012	CS = Core Sample
MUKA AIR TANAH = -	Driller = OSIAS	SPT = SPT Test
LOKASI PROYEK = DESA SEMBILANGAN, KEC. BANGKALAN KAB. BANGKALAN		

Scale in m	Elevation (LWS) in m	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Colour	Relative Density or Consistency	Range of SPT value	UD / CS		SPT TEST		Standard Penetration Test			N - Value	
									Depth in m	Sample Code	Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm			
														15 cm	15 cm		15 cm
0.00	0.00				START OF BORING												
1.00	-1.00																
2.00	-2.00				LEMPUNG BERPASIR	ABU-ABU TERANG	VERY SOFT	SPT = 1									
3.00	-3.00										-3.00	SPT 1	1	0	0	1	1
4.00	-4.00										-3.50						
5.00	-5.00				LIMESTONE	COKLAT TERANG	VERY STIFF TO HARD	SPT 23 s/d 50	-5.00	UD 01							
6.00	-6.00										-6.00	SPT 2	23	6	9	14	23
7.00	-7.00										-6.50						
8.00	-8.00				BATU	PUTIH	HARD	SPT > 50			-9.00	SPT 3	>50	4	9	16/5	>50
9.00	-9.00										-9.50						
10.00	-10.00								-10.00	UD 02							
11.00	-11.00										-10.50						
12.00	-12.00										-12.00	SPT 4	>50	5	50	11/4	>50
13.00	-13.00										-12.50						
14.00	-14.00				BATU KARANG	PUTIH	HARD	SPT > 50			-15.00	SPT 5	>50	5	14	20/5	>50
15.00	-15.00								-15.00	UD 03	-15.00						
16.00	-16.00										-15.50						
17.00	-17.00										-18.00	SPT 6	10	2	2	8	10
18.00	-18.00										-18.50						
19.00	-19.00										-20.00	SPT 7	>50	5	10	28	>50
20.00	-20.00								-20.00	UD 04							
21.00	-21.00										-20.50						
22.00	-22.00										-21.00						
23.00	-23.00										-21.50						
24.00	-24.00				LIMESTONE	PUTIH	HARD	SPT 10 s/d 50			-24.00	SPT 8	>50	8	20/5		>50
25.00	-25.00								-25.00	UD 05	-24.50						
26.00	-26.00										-25.50						
27.00	-27.00										-27.00	SPT 9	>50	15/5			>50
28.00	-28.00										-27.50						
29.00	-29.00										-30.00	SPT 10	>50	23	35/5 cr	>50	>50
30.00	-30.00								-30.00	UD 6	-30.50						
									-30.50								





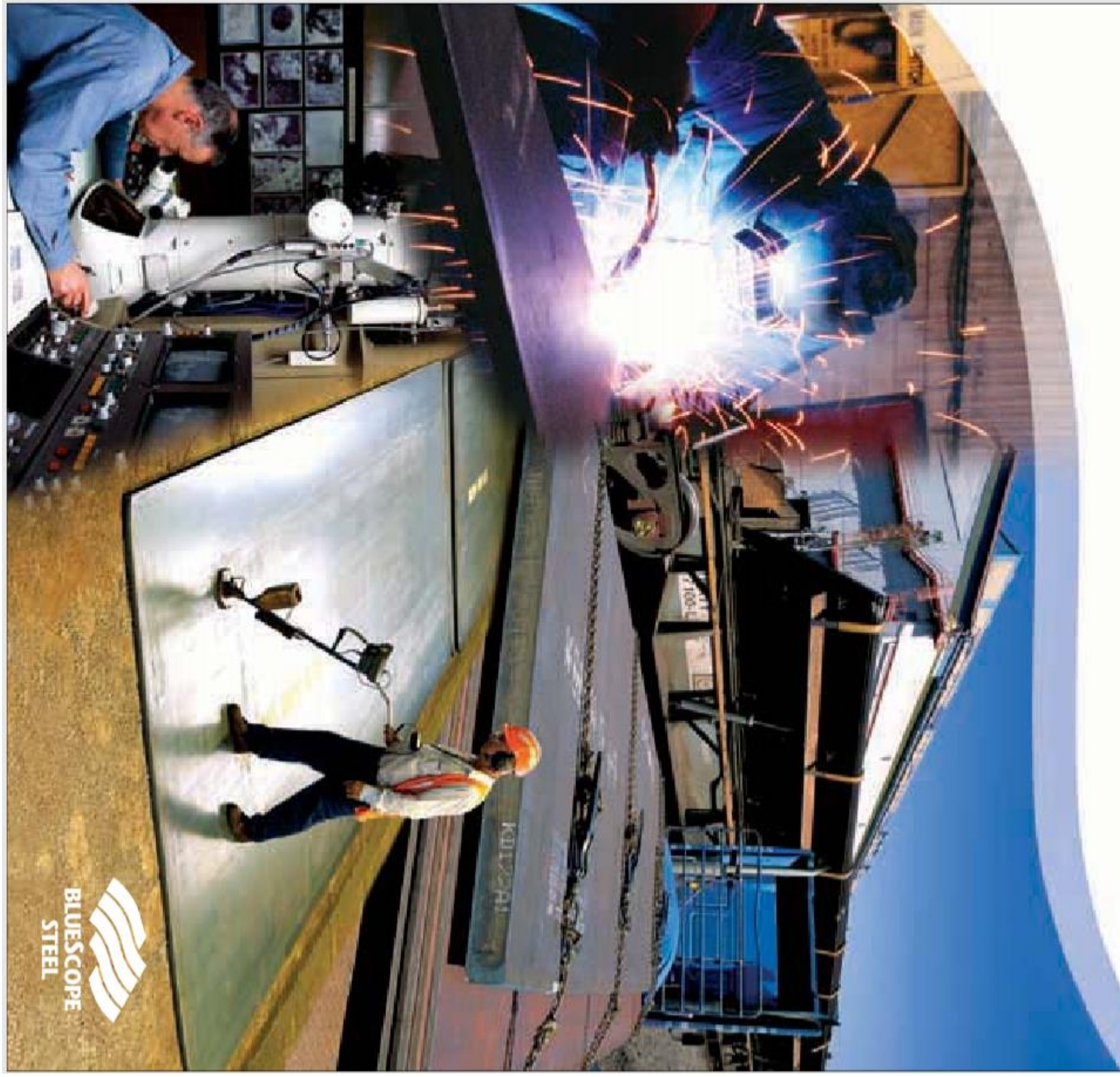
DRILLING LOG

KLIEN = PT. TRI WAROKO UTAMA DOCKYARD	Type of Drilling = Rotary drilling machine	Remarks: UD = Undisturb Sample CS = Core Sample SPT = SPT Test
NAMA PROYEK = DOCKYARD	Date Start = 26 Nopember 2002	
TITIK BOR = BH-1	Date End = 29 Nopember 2012	
MUKA AIR TANAH = -1.50 M	Driller = OSIAS	
LOKASI PROYEK = DESA SEMBILANGAN, KEC. BANGKALAN KAB. BANGKALAN		

Scale in m	Elevation (LWS) in m	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Colour	Relative Density or Consistency	Range of SPT value	UD / CS		SPT TEST		Standard Penetration Test			N - Value	
									Depth in m	Sample Code	Depth in m	Sample Code	N-Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm			
														15 cm	15 cm		15 cm
0.00	0.00				START OF BORING												
1.00	-1.00				TIMBUNAN LIMESTONE	PUTIH											
2.00	-2.00																
3.00	-3.00										-3.00	SPT 1	27	7	12	15	27
4.00	-4.00										-3.50						
5.00	-5.00										-5.00	UD 01					
6.00	-6.00										-5.50						
7.00	-7.00										-6.00	SPT 2	>50	5	10	17/5	>50
8.00	-8.00										-6.50						
9.00	-9.00										-9.00	SPT 3	>50	4	9	16/5	>50
10.00	-10.00										-9.50						
11.00	-11.00										-10.00	UD 02					
12.00	-12.00										-10.50						
13.00	-13.00										-12.00	SPT 4	>50	5	50	11/4	>50
14.00	-14.00										-12.50						
15.00	-15.00										-15.00	UD 03					
16.00	-16.00										-15.50						
17.00	-17.00				LIMESTONE	PUTIH	HARD	SPT > 50			-15.00	SPT 5	>50	5	14	20/5	>50
18.00	-18.00										-15.50						
19.00	-19.00										-18.00	SPT 6	31	9	14	17	31
20.00	-20.00										-18.50						
21.00	-21.00										-20.00	UD 04					
22.00	-22.00										-20.50						
23.00	-23.00										-21.00	SPT 7	>50	14	12/5	18	>50
24.00	-24.00										-21.50						
25.00	-25.00										-24.00	SPT 8	>50	8	14	29/10	>50
26.00	-26.00										-24.50						
27.00	-27.00										-25.00	UD 05					
28.00	-28.00										-25.50						
29.00	-29.00										-27.00	SPT 9	>50	17	26	27	>50
30.00	-30.00										-27.50						
											-30.00	UD 6					
											-30.50						
											-30.00	SPT 10	>50	20	25/8	>50	>50
											-30.50						

X|erplate®
X|ercoil®

PRODUCT INFORMATION



International Standards Comparison

STRUCTURAL STEEL PLATE

Based on Tensile Strength

Tensile Strength MPa	European EN10025	British BS4360	German DIN17100	Japanese JIS	American ASTM	International ISO630	Australian AS3678
290			S133				
300							200
310					A283A	Fe310-D	
330				G3101-SS330			
360	S235JR	40A,B, C,D	S137-2 S137-3		A283B	Fe360 A,B,C,D	
380					A283C		
400				G3101-SS400 G3101-SM400 A,B,C	A36 A573-400		
410	S275JR S275J0 S275J2G3 S275J2G4		S44-2 S44-3		A283D A2834C A529 A572-290D		250 250L15
430		43A,B,C,D			A633A	Fe430 A,B,C,D	300 300L15
450					A573-450 A572-345		350 350L15
480					A573-485		400 400L15
490	S355JR S355J0 S355J2G3 S355J2G4	50,A,B,C,D	S152-3	G3101-SS490 G3108-SM490 A,B,C G3108-SM490 YA,YB		Fe510 B,C,D	
520				G3108-SM520 B,C	A572-415	Fe510 B,C,D	450 450L15
540				G3101-SS540			

- This table indicates the approximate relationship between international grades and their Australian equivalents. For more detailed comparisons contact BlueScope Steel technical staff or BlueScope Steel Direct on 1800 800 789.
- For grades with **BOLD** suffix letters **C, D** on British, European and International Standards, **B, C** on Japanese Standards and suffix numbers **2** and **3** on German Standards, the appropriate Australian alternative is the nearest **L15** grade of the equivalent strength level (i.e. High or Medium).
- Grades most readily available from BlueScope Steel are 250, 250L15, 350, 350L15.
- This table is designed to allow customers to determine the nearest available Australian grade to an international specification. It should not be used in reverse.

BOILER AND PRESSURE VESSEL PLATE

Tensile Strength MPa	Japanese JIS	European EN10028	American ASTM	International ISO6328.2	Australian AS1548
310			A285A		
340			A285B		
360		2-P235GH		P235	
380			A285C A518-55		
380		3-P275N#			
400	G3115-SPV235 G3126-SLA235		A662-A		
410	G3103-SB410	2P265GH G3118-SGV410		P265	
415			A518-60 A518-60#		
430					7-430
440	G3126-SLA325				
450	G3108-SB450 G3118-SGC450		A518-65 A518-65		
460		2-P295GH#	A662-B*	P290	7-460
480	G3103-SB480 G3118-SGV480				
480	G3115-SGV315		A518-70 A518-70# A662-C*	P315	7-480
480	G3126-SLA360	3-P355N#	A637-C11 A737-B A841	P315	5-480
510		2-P355GH#		P355	
520	G3115-SPV355		A299 A738-A		

- This table indicates the approximate relationship between international grades and their Australian equivalent. For more detailed comparisons contact BlueScope Steel technical staff or BlueScope Steel Direct on 1800 800 789.
- Grades are shown in their increasing tensile strength order. AS1548-5-480 and equivalent grades have a higher minimum yield strength requirement than the corresponding AS1548-7-480 and equivalent grades.
- Grade equivalence shown is based on room temperature tensile properties only.
- Grades readily available from BlueScope Steel are shown in bold type.
- *ASTM A662 Grade B & C are dual certified with AS1548-7-460 & 7-480 respectively, in thickness 8-40mm
- #These overseas grades may be available subject to enquiry.
- It may be possible to substitute readily available BlueScope Steel grades for international grades outside the designated strength band shown, provided relevant design factors are considered. Refer to BlueScope Steel Direct - 1800 800 789 within Australia.
- This table is designed to allow customers to determine the nearest available Australian grade to an international specification. It should not be used in reverse.

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	CE (Note 2)
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Min	Max	Max	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	0.180	0.030	0.35	1.05	0.55	0.15	0.50	0.10	0.100	0.040	(Note 4)				-

*By enquiry only

NOTES:

- Except for grades 450, 450L15, WR350, Cr + Ni + Cu + Mo = 1.00% maximum apply
- Carbon equivalent (CE) is calculated from the following equation based on actual cast analysis:

$$CE = C + \frac{Mn}{8} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

- Niobium plus vanadium : 0.030% maximum.
- Vanadium: 0.10% maximum, Nb + V + Ti: 0.15% maximum.

AS/NZS 3678 CHEMICAL COMPOSITION - ANALYSIS GRADES

Grade	Cast analysis %								
	C		Si	Mn		P	S	Al	Ti
	Min	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max
A1008	–	0.08	0.03	–	0.40	0.040	0.030	0.100	0.040
K1042	0.39	0.47	0.50	0.60	0.90	0.040	0.040	0.100	0.040

AS/NZS 3678 TENSILE TEST REQUIREMENTS FOR PLATE AND FLOOR PLATE

Grade	Minimum yield stress, MPa								Minimum tensile strength MPa	Minimum elongation on a gauge length of 5.65×S, %	
	Thickness, mm										
	≤8	>8 ≤12	>12 ≤20	>20 ≤32	>32 ≤50	>50 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150			
250								230	230		
250L15	280	260	250	250	250	240	240	240	240	410	22**
*300											
300L15	320	310	300	280	280	270	–	–	–	430	21
350											
350L15	380	360	350	340	340	340	*330	–	–	450	20
*400											
400L15	400	400	380	380	380	380	–	–	–	480	18
*450											
450L15	450	450	450		420	400	–	–	–	520	16
										500	18
*WR350	340	340	340	–	–	–	–	–	–	450	20

* By enquiry only

** Elongation on testing not required for floorplate.

AS/NZS 3678 CHARPY V-NOTCH IMPACT TEST REQUIREMENTS*

Grade	Test temperature °C	Minimum absorbed energy, J					
		Size of test piece					
		10mm x 10mm		10mm x 7.5mm		10mm x 5mm	
		Average of 3 tests	Individual test	Average of 3 tests	Individual test	Average of 3 tests	Individual test
250L15 350L15 *300L15 *400L15 *450L15	-15	27	20	22	16	18	13

* By enquiry only

* Test Direction Longitudinal

AS/NZS 1594 CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR FORMABILITY, STRUCTURAL AND WEATHER-RESISTANT GRADES

Grade	Chemical composition (cast or product analysis) %																	
	C		Si	Mn		P		S	Cr (Note 1)		Ni (Note 1)		Cu (Note 1)		Al	Ti	Micro-Alloying elements	IIV Carbon equivalent
	Max	Min	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Min	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	Max	Min	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Min	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
HA1	0.13	–	0.03	0.50	–	0.040	0.030	–	0.15	0.15	–	0.15	0.100	0.040	(Note 2)	–		
HA200	0.15	–	0.35	0.60	–	0.030	0.030	–	0.15	0.15	–	0.15	0.100	0.040	(Note 3)	0.29		
HA250																		
HU250	0.20	–	0.35	1.20	–	0.040	0.030	–	0.25	0.25	–	0.25	0.100	0.040	(Note 3)	0.39		
HA300																		
HU300	0.20	–	0.35	1.60	–	0.040	0.030	–	0.25	0.25	–	0.25	0.100	0.040	(Note 3)	0.39		
HA350	0.20	–	0.35	1.60	–	0.040	0.030	–	0.25	0.25	–	0.25	0.100	–	(Note 4)	0.44		
HW350	0.15	0.15	0.75	1.60	0.055	0.160	0.030	0.35	1.05	0.55	0.15	0.50	0.100	–	(Note 4)	0.54		

NOTES:

1. For all grades other than HW350 - Molybdenum 0.05% maximum. Copper + nickel + molybdenum - 0.6% maximum.

2. Niobium - 0.010% maximum. Niobium + vanadium - 0.030% maximum. Boron (total) - 0.015% maximum.

3. Niobium + vanadium - 0.030% maximum.

4. Vanadium - 0.10% maximum. Niobium + vanadium + titanium - 0.15% maximum.

AS/NZS 1594 - 2002 CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR ANALYSIS GRADES

Grade	Cast analysis %									
	C		Si	Mn		P	S	Al	Ti	IIV Carbon equivalent
	Min	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	
HA 1008	–	0.08	0.03	–	0.40	0.040	0.030	0.100	0.040	0.29
HA 1010	0.08	0.13	0.03	0.30	0.60	0.040	0.03	0.100	0.040	0.29
HA 1016	0.12	0.18	0.03	0.60	0.90	0.040	0.030	0.100	0.040	0.39
HK 1042	0.39	0.47	0.50	0.60	0.90	0.040	0.030	0.100	0.040	–
HXX15B30#	0.25	0.33	0.50	–	1.50	0.030	0.020	0.100	0.060	0.64

For Grade HXX15B30, the following elements may be present to the limits stated:

Copper - 0.35% maximum; Nickel - 0.5% maximum; Chromium - 1.2% maximum; Molybdenum - 0.5% maximum; acid-soluble boron 0.0005% minimum or total boron 0.0008% minimum and titanium 0.060% maximum.

VSL SSI 2000 STAY CABLE SYSTEM



DESIGN
ENGINEERING
SUPPLY
INSTALLATION
MONITORING

VSL - LEADING IN STAY CABLE TECHNOLOGY



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).

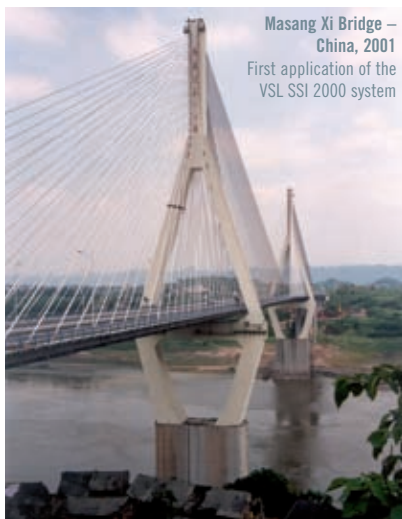
Uddevalla Bridge – Sweden, 1998
First VSL Friction damper



La Unidad Bridge – Mexico, 2003
Full scope of bridge construction.



Masang Xi Bridge – China, 2001
First application of the VSL SSI 2000 system



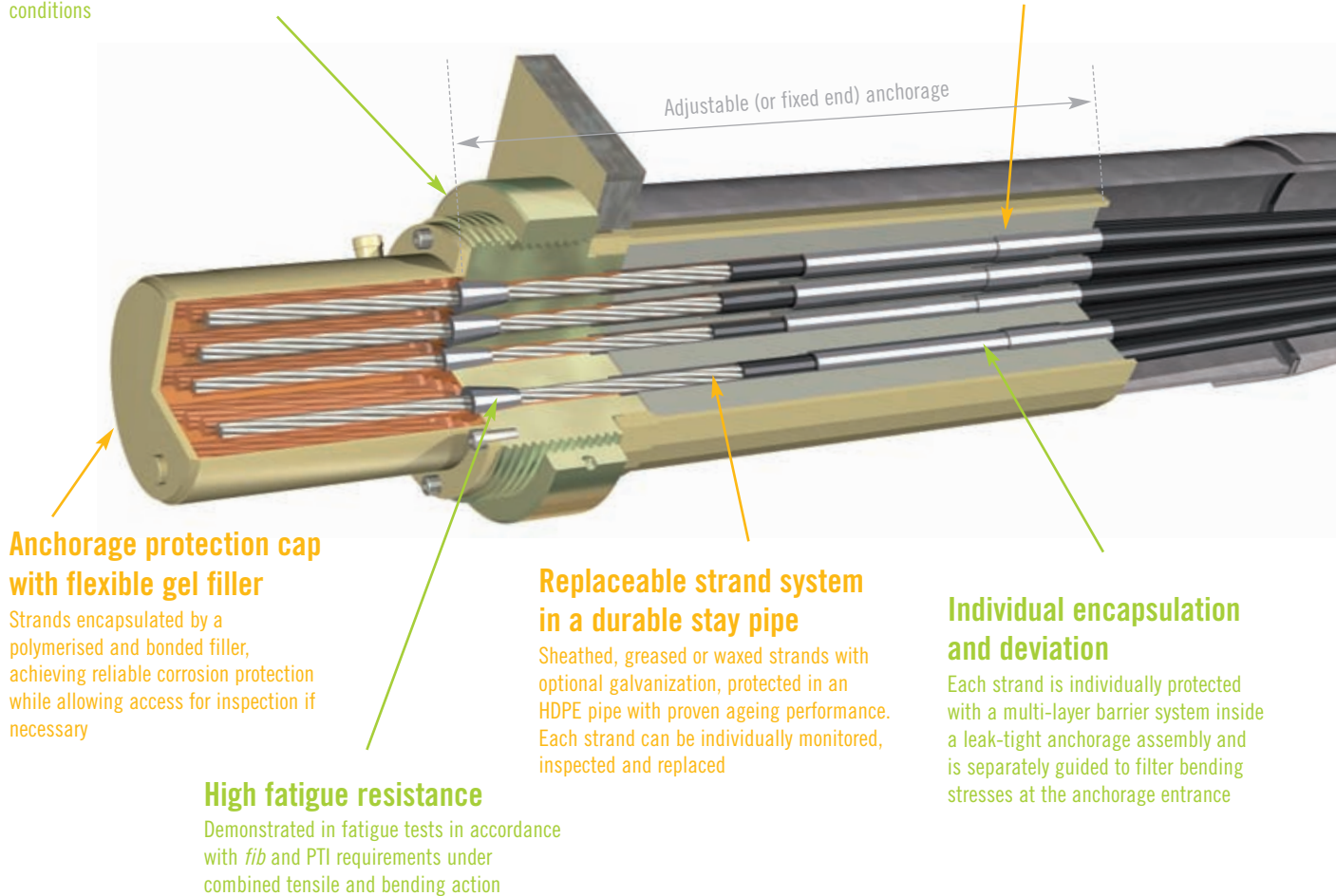
SSI 2000: VSL STAY CABLE TECHNOLOGY

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

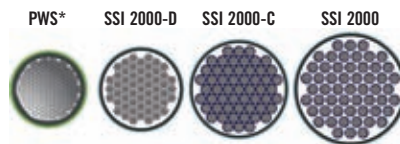
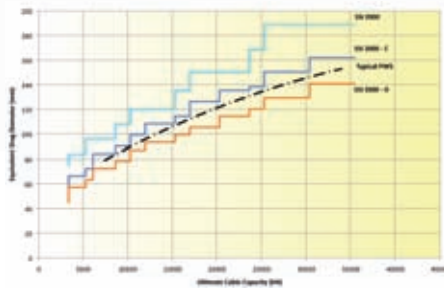
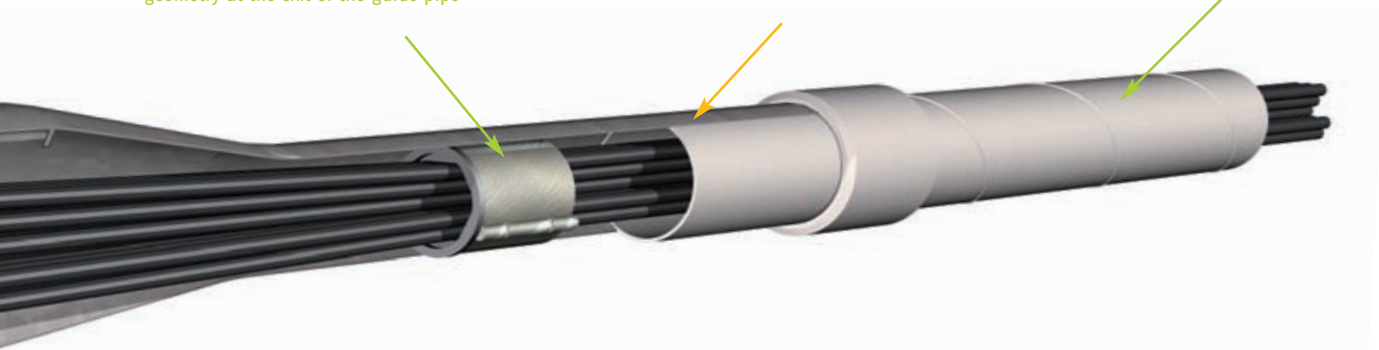
Located inside the stay pipe. Can be replaced by a guide deviator, depending on the geometry at the exit of the guide pipe

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

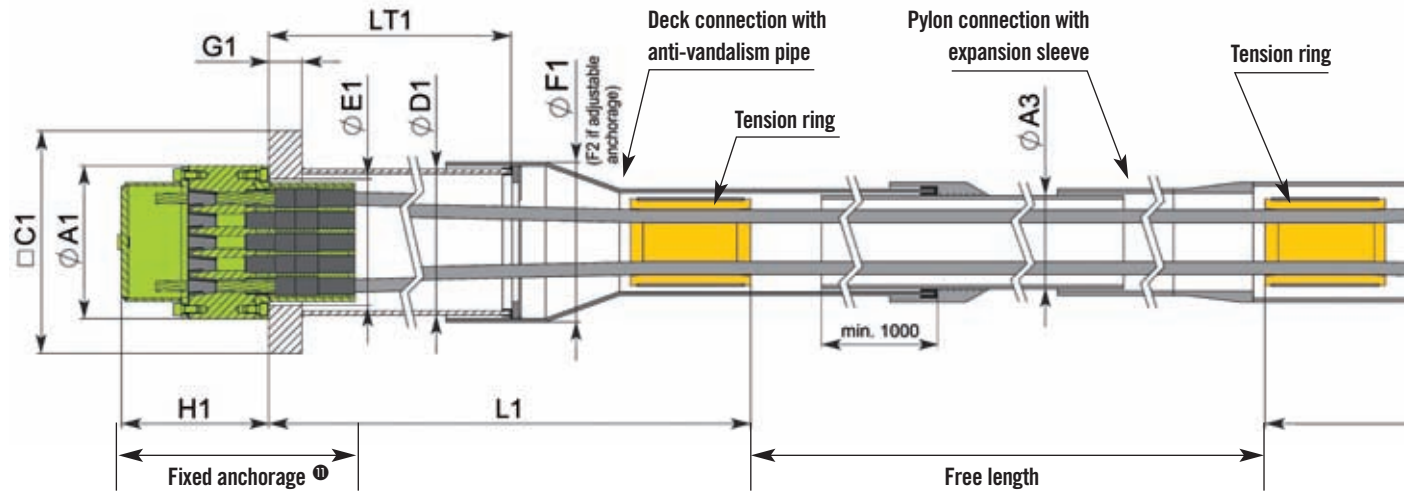
The stay cable can be designed with two types of dampers, the VSL Friction damper or the VSL Gensui damper, or provision can be made for later installation.

SSI Saddle with fully replaceable strands

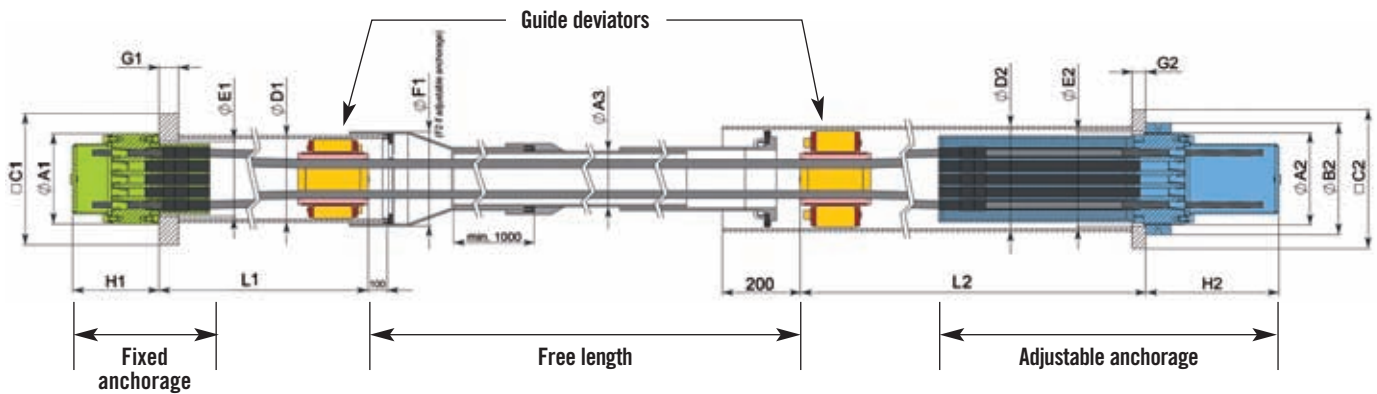
For extradosed bridges and cable-stayed bridges with compact pylon arrangements, VSL offers a patented saddle solution compatible with the SSI 2000 system. The compact saddle design allows for strand-by-strand installation and replacement and achieves a safe and reliable anchorage for unbalanced cable 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



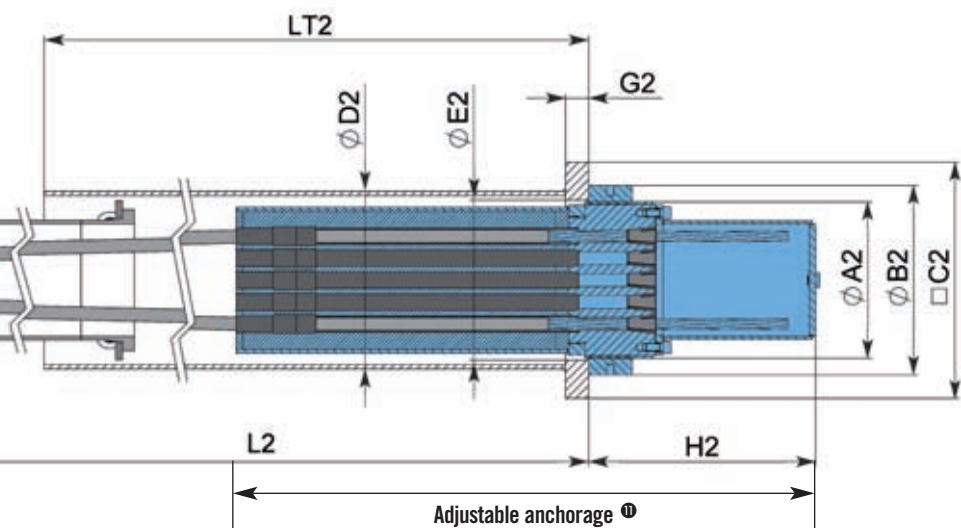
ALTERNATIVE ARRANGEMENT WITH GUIDE DEVIATOR



CABLE UNIT	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 ③	SSI 2000 mm ④	SSI 2000-C ØA3/thk mm ④	SSI 2000-D mm ④
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*	187	52,173	26,087	31,304	400/12.3	-	-

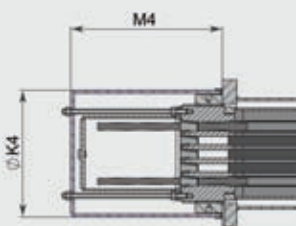
FIXED ANCHORAGE						
ØA1	C1	ØD1/thk	ØE1	ØF1	G1	H1 mini
185	260	177.8/4.5	150	190	35	205
230	335	219.1/6.3	190	233	50	220
250	355	219.1/6.3	205	233	50	220
280	415	244.5/6.3	230	260	60	245
300	455	273/6.3	255	286	70	270
340	505	323.9/7.1	285	337	75	275
380	550	323.9/7.1	310	337	75	295
380	585	355.6/8	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

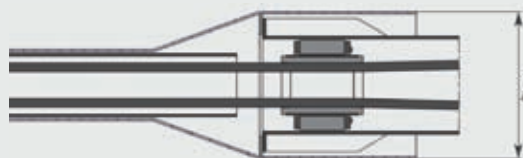


Adjustable anchorage ①

OPTIONAL ITEMS



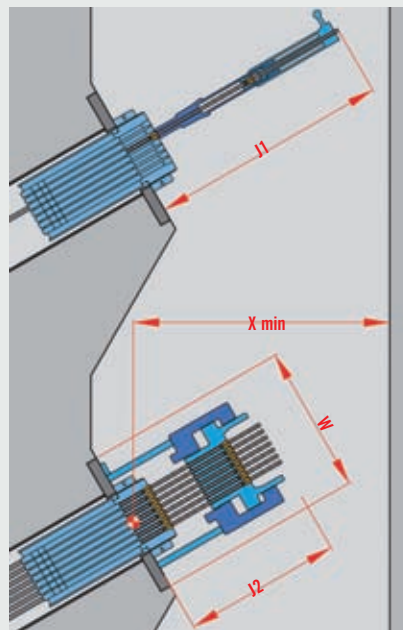
Optional anchorage cap for adjustable anchorage in severe environments class C5-M and -I as per ISO 12944



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	- ④	1,250	- ④	2,000

ADJUSTABLE ANCHORAGE						
ØA2	B2	C2	ØD2/thk	E2	G2	H2 mini
mm	mm	mm ⑤	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			
LT1 DECK	LT1 PYLON	LT2 DECK	LT2 PYLON
mm ⑦	mm	mm ⑦	mm
500	500	1,000	1,000
500	500	1,000	1,000
500	500	1,000	1,000
500	900	1,000	1,200
500	900	1,000	1,200
500	900	1,000	1,200
500	1,100	1,000	1,400
500	1,100	1,000	1,400
500	1,100	1,000	1,400
500	1,300	1,000	1,600
500	1,300	1,000	1,600
500	1,300	1,000	1,600
500	2,000	1,000	2,000
500	2,000	1,000	2,000
500	2,000	1,000	2,000
500	2,200	1,000	2,500
500	2,200	1,000	2,500

ALTERNAT.
HORIZONTAL FORCE ON GUIDE DEVIATOR kN ⑩
50
80
92
130
155
180
230
255
306
356
381
456
531
582
632
707
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
- ⑧	- ⑧	- ⑧
- ⑧	- ⑧	- ⑧
- ⑧	- ⑧	- ⑧
- ⑧	- ⑧	- ⑧

⑤ Galvanized strand in accordance with NFA 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

④ Dimensions available on request

⑩ SLS Level

① Fixed or adjustable anchorages are interchangeable between pylon and deck, see dimensions L1 and L2

VSL CTT POT BEARINGS



DESIGN
ENGINEERING

TECHNICAL
SUPPORT

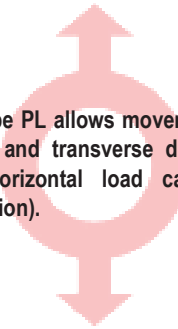
BEARING
FABRICATION

CE

VSL – CTT POT BEARINGS

Type PL

Bearings type PL allows movements in both longitudinal and transverse directions and have no horizontal load capacity (only nominal friction).



Bearings according to Euronorm EN 1337

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PL 100/70 EN	977	29	700	21	350	34
PL 200/140 EN	1953	59	1400	42	700	51
PL 300/220 EN	3069	92	2200	66	1100	70
PL 390/280 EN	3906	117	2800	84	1400	86
PL 490/350 EN	4883	146	3500	105	1750	101
PL 630/450 EN	6278	188	4500	135	2250	126
PL 700/500 EN	6975	209	5000	150	2500	140
PL 840/600 EN	8370	251	6000	180	3000	176
PL 900/650 EN	9068	272	6500	195	3250	192
PL 1000/700 EN	9765	293	7000	210	3500	205
PL 1100/800 EN	11160	335	8000	240	4000	236
PL 1200/850 EN	11858	356	8500	255	4250	259
PL 1320/950 EN	13253	398	9500	285	4750	296
PL 1400/1000 EN	13950	419	10000	300	5000	323
PL 1535/1100 EN	15345	460	11000	330	5500	354
PL 1700/1200 EN	16740	502	12000	360	6000	402
PL 1800/1300 EN	18135	544	13000	390	6500	438
PL 2000/1400 EN	19530	586	14000	420	7000	476
PL 2100/1500 EN	20925	628	15000	450	7500	538
PL 2200/1600 EN	22320	670	16000	480	8000	591
PL 2400/1700 EN	23715	711	17000	510	8500	662
PL 2500/1800 EN	25110	753	18000	540	9000	699
PL 2650/1900 EN	26505	795	19000	570	9500	745
PL 2800/2000 EN	27900	837	20000	600	10000	841
PL 3000/2200 EN	30690	921	22000	660	11000	911

Bearings have been designed with the following parameters :

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

Movements $\pm 50/ \pm 20$ mm

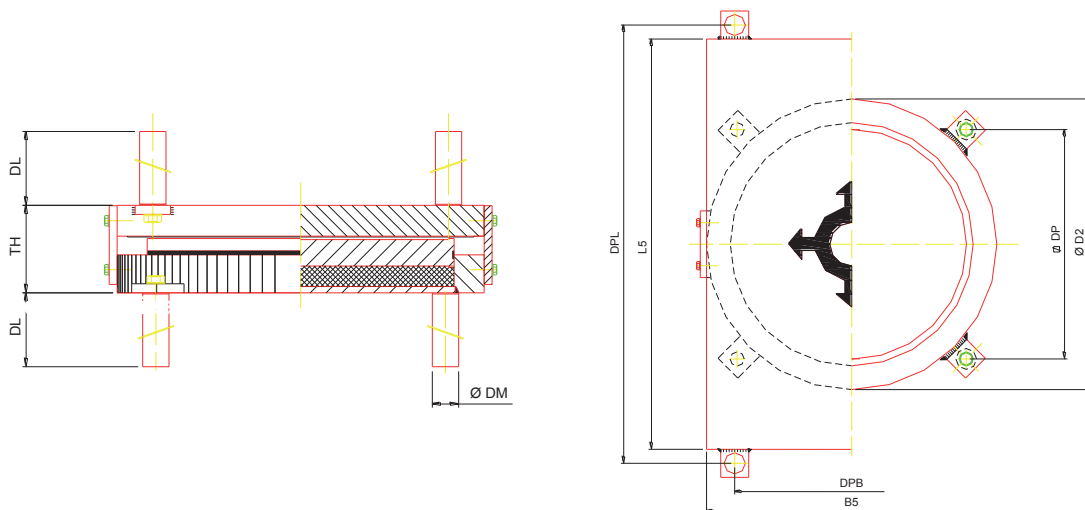
Rotation 0,01 rad

Other models are available under request



Main Dimensions

BEARING TYPE	Pot \varnothing D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier \varnothing (mm)	DM \varnothing (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PL 100/70 EN	230	83	270 x 230	368	30	150	180	290	205
PL 200/140 EN	295	83	335 x 295	472	30	150	245	355	251
PL 300/220 EN	352	87	392 x 352	563	30	150	302	412	291
PL 390/280 EN	395	90	435 x 395	632	30	150	345	455	322
PL 490/350 EN	428	92	468 x 428	685	30	150	378	488	345
PL 630/450 EN	482	95	518 x 482	771	30	150	428	542	383
PL 700/500 EN	508	97	540 x 508	813	30	150	450	568	402
PL 840/600 EN	556	105	584 x 556	890	30	150	494	616	436
PL 900/650 EN	581	106	605 x 581	930	30	150	515	641	453
PL 1000/700 EN	600	107	620 x 600	960	30	150	530	660	467
PL 1100/800 EN	643	110	656 x 643	1.029	30	150	566	703	497
PL 1200/850 EN	674	111	683 x 674	1.078	30	150	593	734	519
PL 1320/950 EN	707	116	710 x 707	1.131	30	150	620	767	542
PL 1400/1000 EN	728	117	728 x 728	1.165	40	200	638	788	557
PL 1535/1100 EN	760	119	760 x 760	1.216	40	200	670	820	580
PL 1700/1200 EN	792	126	792 x 792	1.267	40	200	702	852	602
PL 1800/1300 EN	824	128	824 x 824	1.318	40	200	734	884	625
PL 2000/1400 EN	857	130	857 x 857	1.371	40	200	767	917	648
PL 2100/1500 EN	888	136	888 x 888	1.421	40	200	798	948	670
PL 2200/1600 EN	928	139	928 x 928	1.485	40	200	838	988	699
PL 2400/1700 EN	946	150	946 x 946	1.514	40	200	856	1006	711
PL 2500/1800 EN	971	151	971 x 971	1.554	40	200	881	1031	729
PL 2650/1900 EN	1.000	153	1000 x 1000	1.600	40	200	910	1060	750
PL 2800/2000 EN	1.036	155	1036 x 1036	1.658	60	300	926	1116	789
PL 3000/2200 EN	1.076	157	1076 x 1076	1.722	60	300	966	1156	817

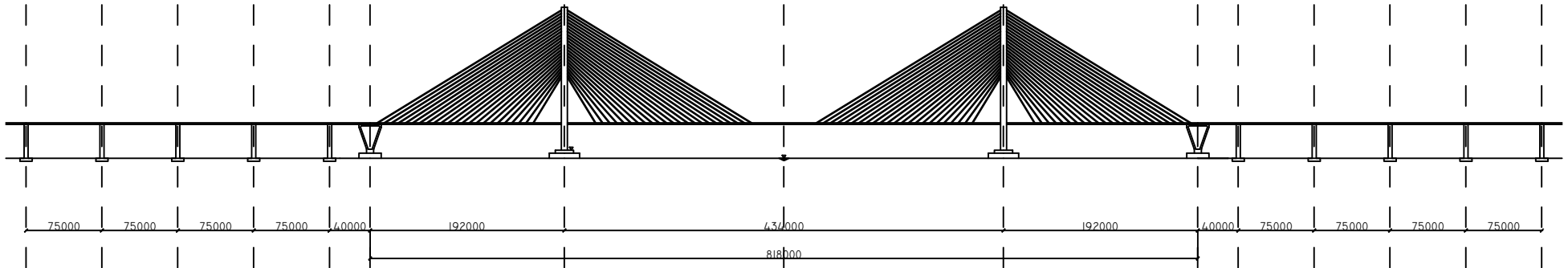


The dimensions given are indicative. Desings and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.

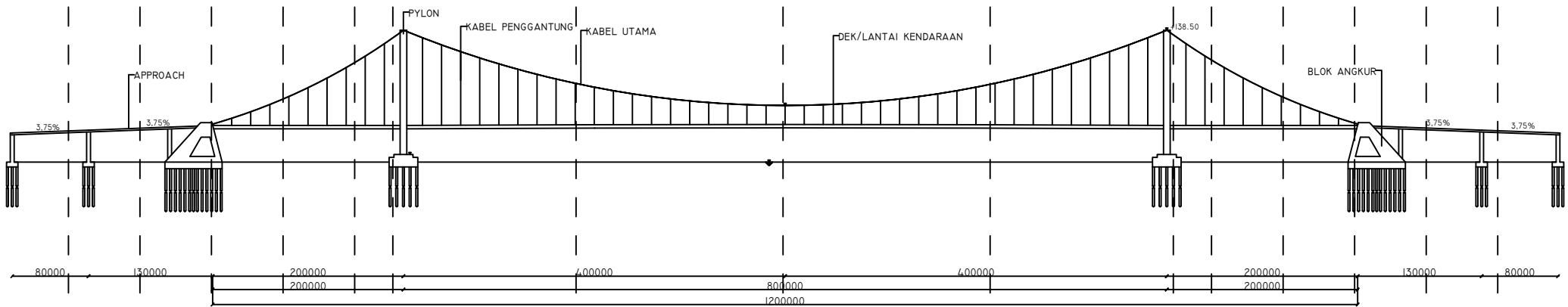


DAFTAR GAMBAR


NO.	NO. GAMBAR	JUDUL GAMBAR
1	1	TAMPAK SAMPING JEMBATAN EKSISTING DAN MODIFIKASI
2	2	DENAH DAN TAMPAK SAMPING JEMBATAN GANTUNG
3	3	POTONGAN MELINTANG DAN MEMANJANG JEMBATAN
4	4	DESAIN ANGKUR PADA PYLON
5	5	DESAIN BLOK ANGKUR
6	6	PENULANGAN PYLON
7	7	DETAIL PENULANGAN PYLON 1
8	8	DETAIL PENULANGAN PYLON 2
9	9	DETAIL PENULANGAN PYLON 3
10	10	DETAIL PENULANGAN PYLON 4
11	11	DETAIL PENULANGAN BALOK PYLON
12	12	POTONGAN MELINTANG PENAMPANG DECK
13	13	DETAIL LAPISAN PELAT LANTAI KENDARAAN
14	14	DETAIL SAMBUNGAN SEGMENTAL LANTAI KENDARAAN
15	15	DETAIL SAMBUNGAN FLOOR BEAM
16	16	DETAIL SAMBUNGAN CLOSED RIBS
17	17	DETAIL KABEL DAN SAMBUNGAN
18	18	DETAIL CLAMP
19	19	DETAIL RANGKA BATANG 1
20	20	DETAIL RANGKA BATANG 2
21	21	DETAIL RANGKA BATANG 3
22	22	DESAIN RAILING

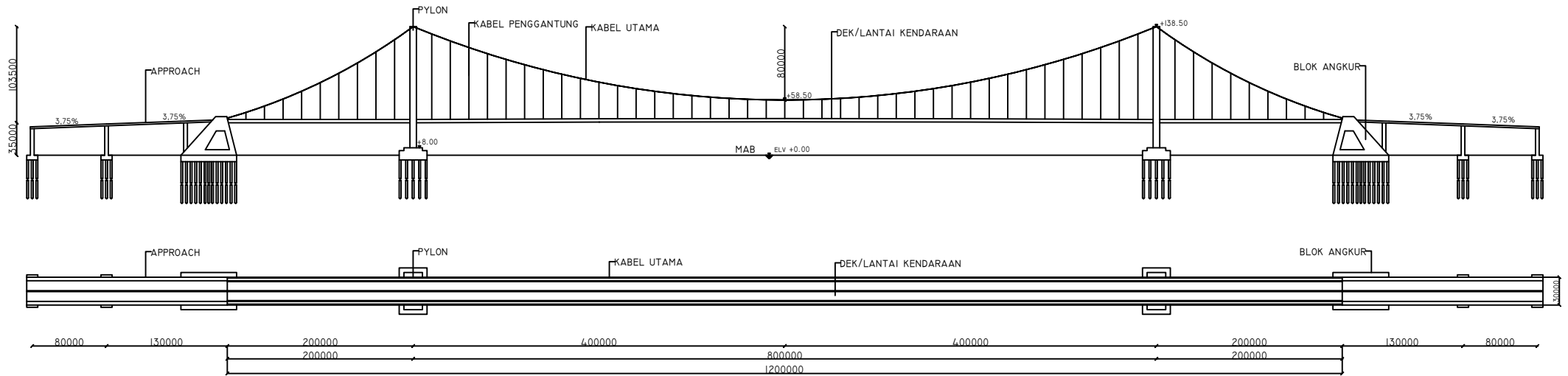


KONDISI EKSTING JEMBATAN SURAMADU
SKALA 1:6000



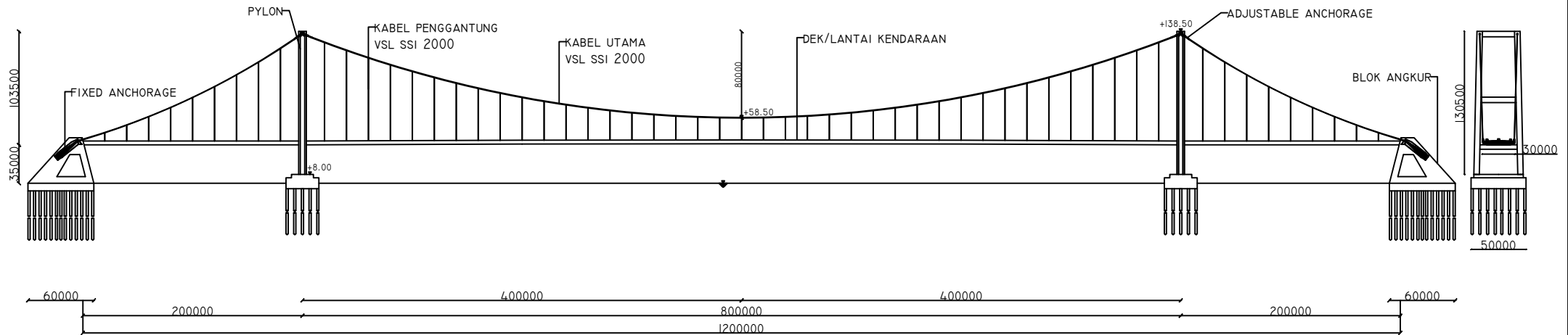
JEMBATAN GANTUNG SURAMADU
SKALA 1:6000

 <p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	TAMPAK SAMPIG JEMBATAN EKSTING DAN MODIFIKASI	1:6000	
					NO. GAMBAR	HALAMAN
					1	22



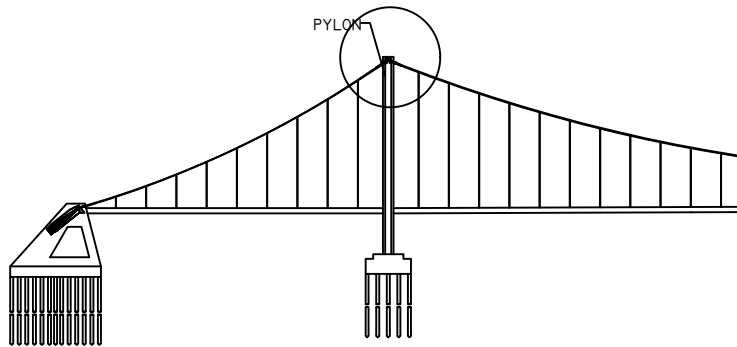
DENAH DAN TAMPAK SAMPING JEMBATAN GANTUNG
SKALA 1:6000

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
		MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DENAH DAN TAMPAK SAMPING JEMBATAN GANTUNG	1:6000	
						NO. GAMBAR	HALAMAN
		2	22				

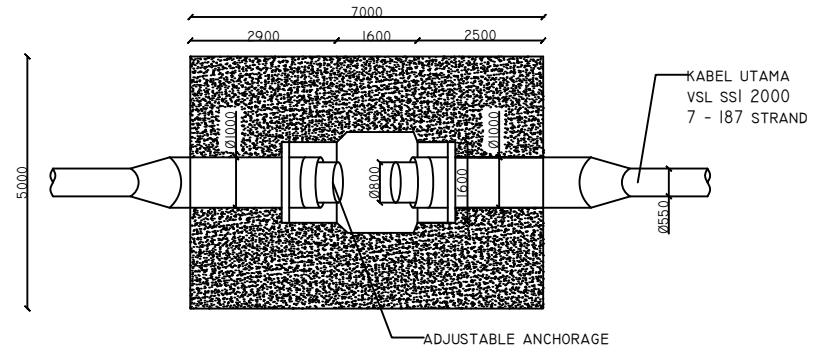


POTONGAN MELINTANG DAN MEMANJANG JEMBATAN
SKALA 1:5000

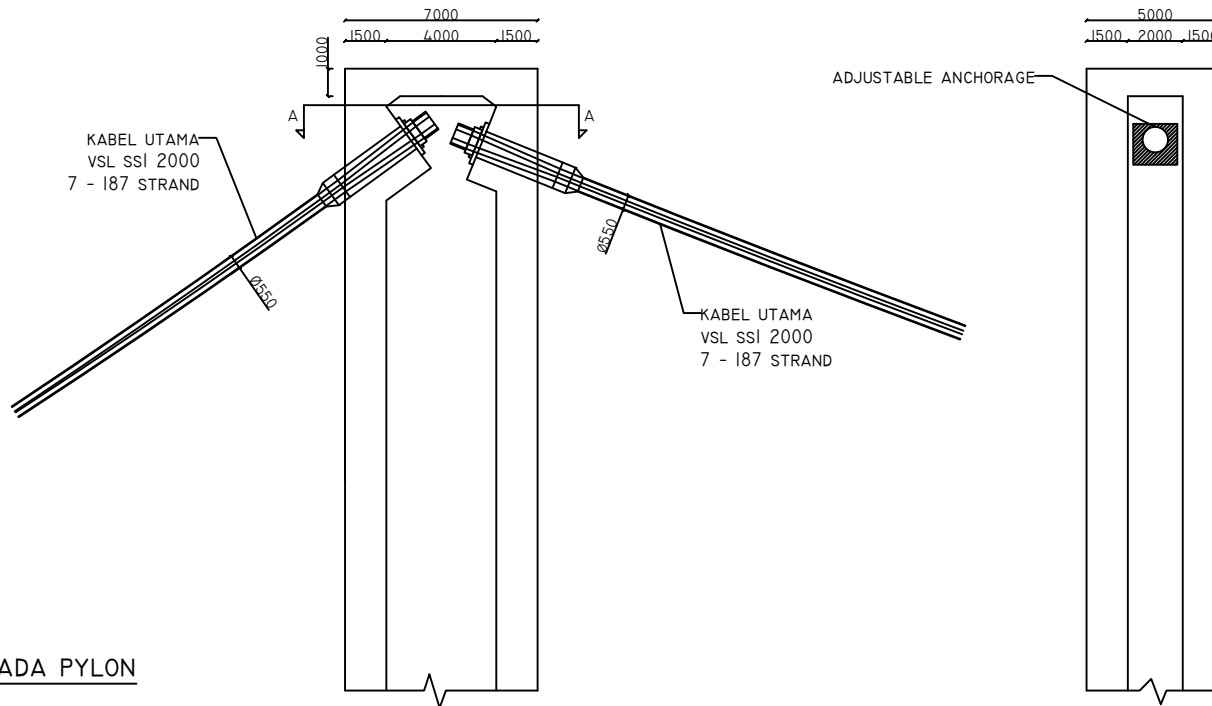
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	POTONGAN MELINTANG DAN MEMANJANG JEMBATAN	1:5000	
		NO. GAMBAR	HALAMAN			
		3	22			



KEYPLAN



POTONGAN A-A
SKALA 1:150



DETAIL ANGKUR PADA PYLON
SKALA 1:275



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBATAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DESAIN ANGKUR PADA PYLON

SKALA

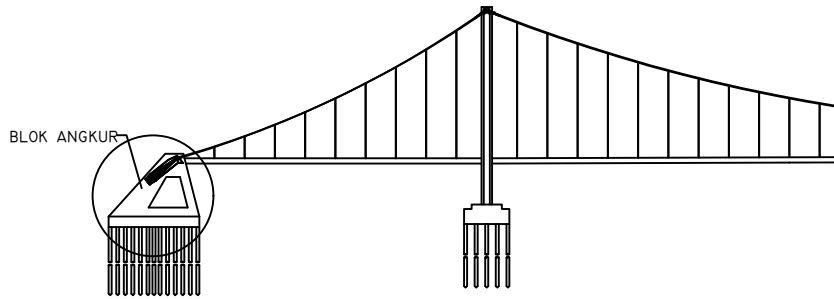
-

NO. GAMBAR

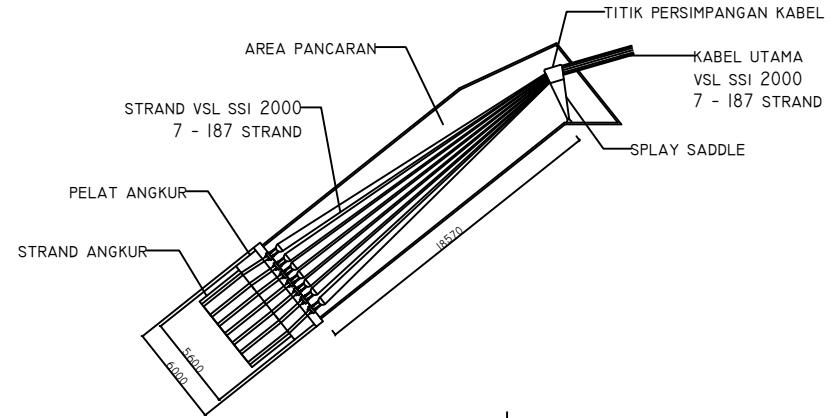
4

HALAMAN

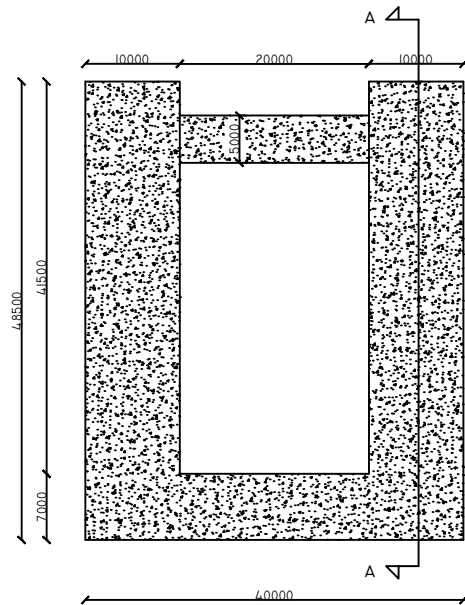
22



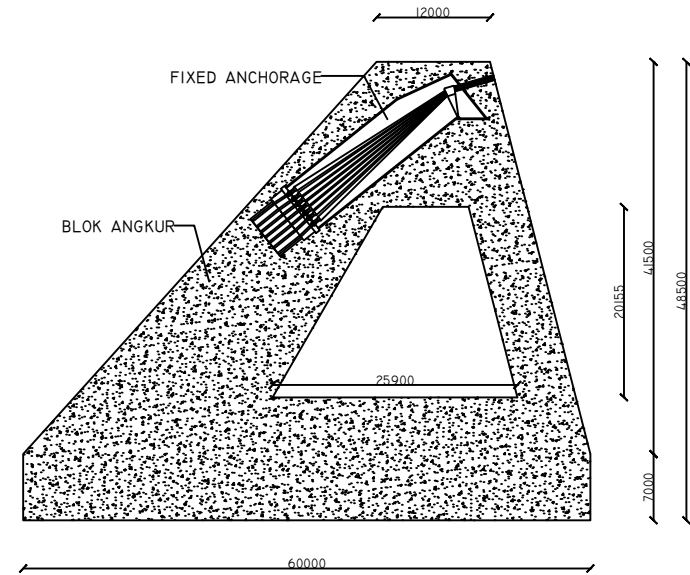
KEYPLAN



DETAIL FIXED ANCHORAGE
SKALA 1:450



TAMPAK DEPAN BLOK ANGKUR
SKALA 1:800



POTONGAN A-A
SKALA 1:800



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBATAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DESAIN BLOK ANGKUR

SKALA

-

NO. GAMBAR

5

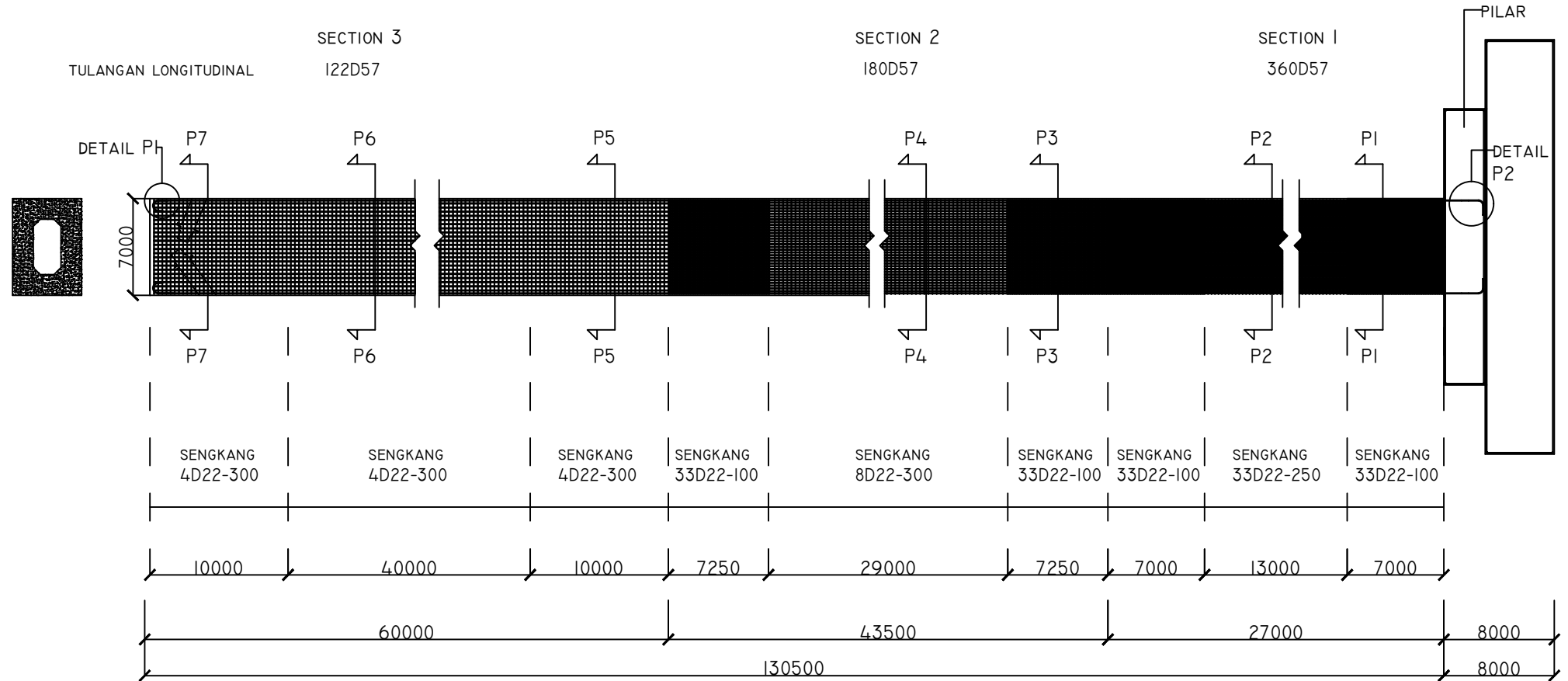
HALAMAN

22

PANJANG PENYALURAN (LD)

I22D57 - 1100 MM

I80D57 - 1100 MM

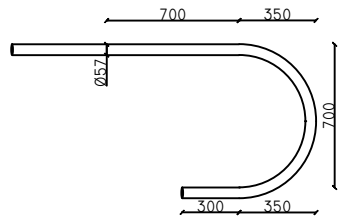


PENULANGAN PYLON - POTONGAN MEMANJANG
SKALA 1:425

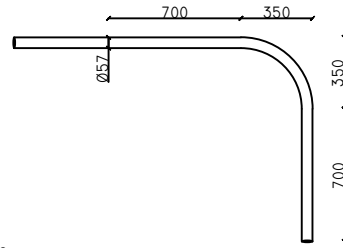


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

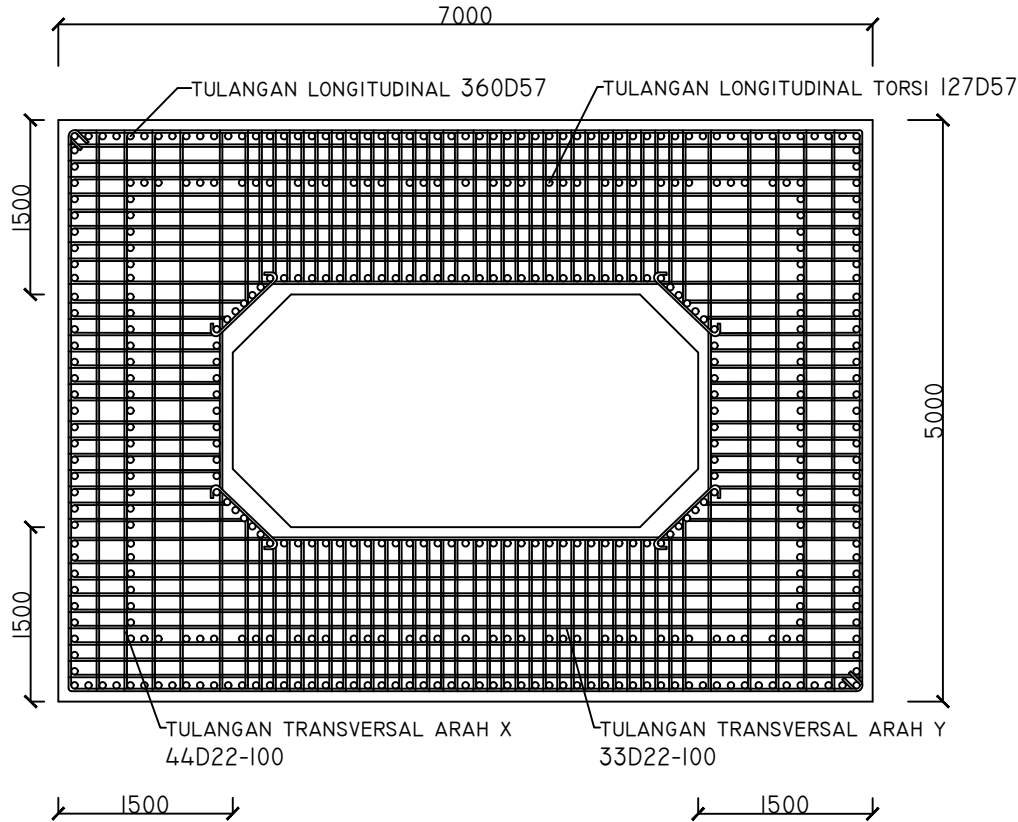
JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	PENULANGAN PYLON	1:425	
				NO. GAMBAR	HALAMAN
				6	22



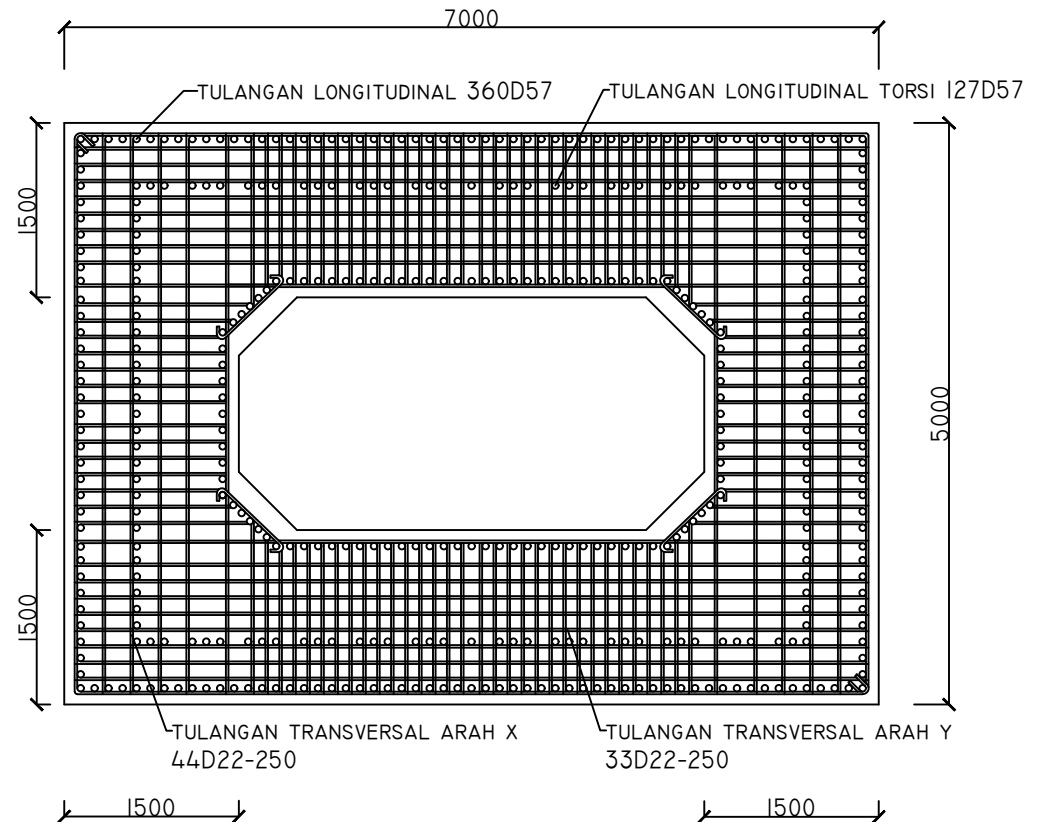
◆ DETAIL P1 - KAIT ANGKUR TULANGAN PYLON
SKALA 1:40



◆ DETAIL P2 - ANGKUR PILAR
SKALA 1:40



◆ POTONGAN P1 - SENDI PLASTIS SECTION I
SKALA 1:65



◆ POTONGAN P2 - LUAR SENDI PLASTIS SECTION I
SKALA 1:65



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBATAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
PYLON I

SKALA

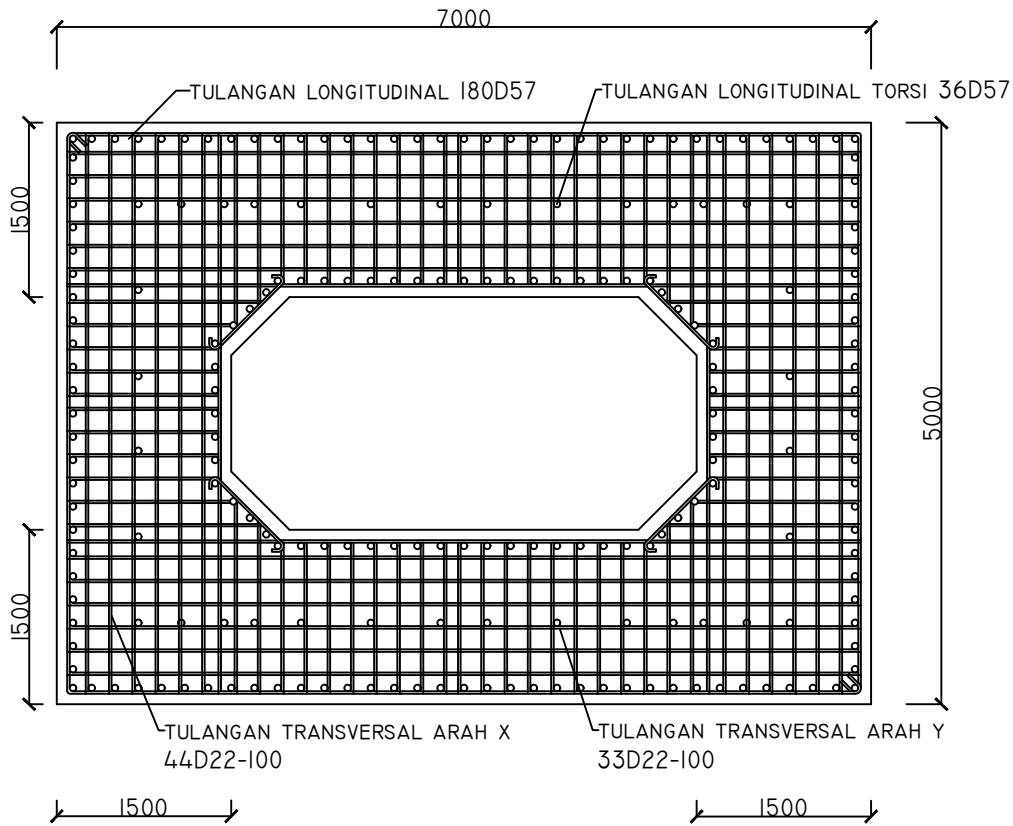
-

NO. GAMBAR

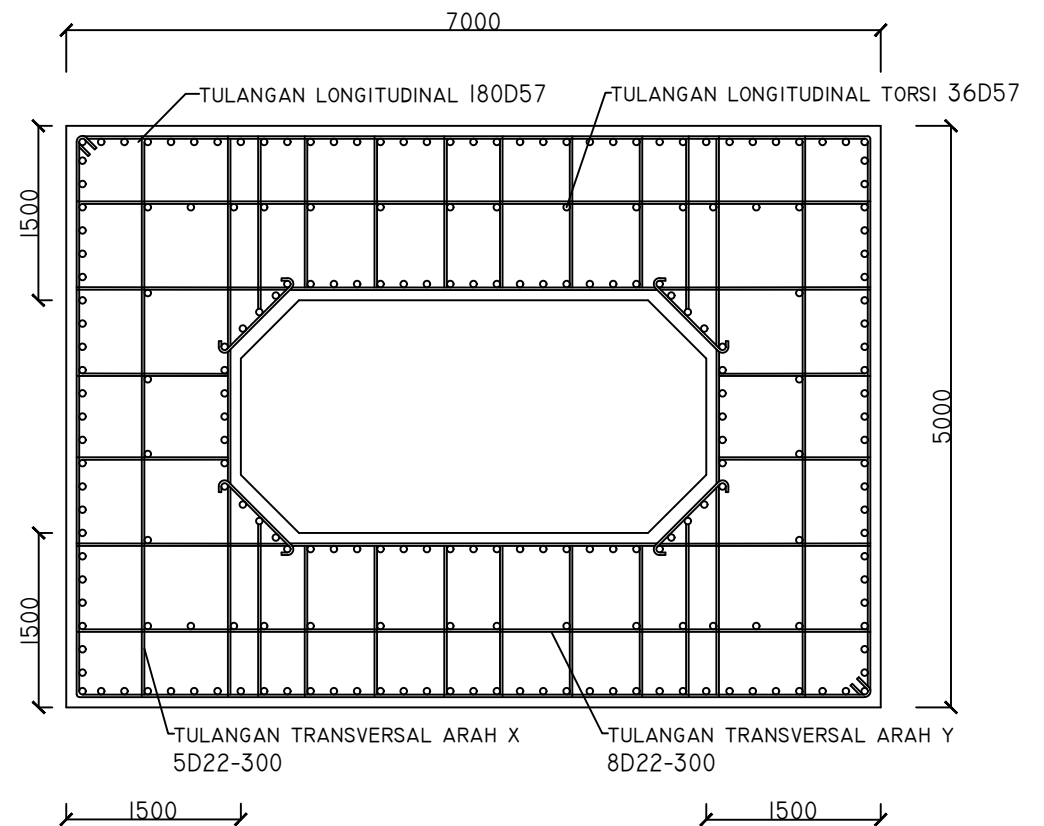
7

HALAMAN

22



POTONGAN P3 - SENDI PLASTIS SECTION 2
SKALA 1:65

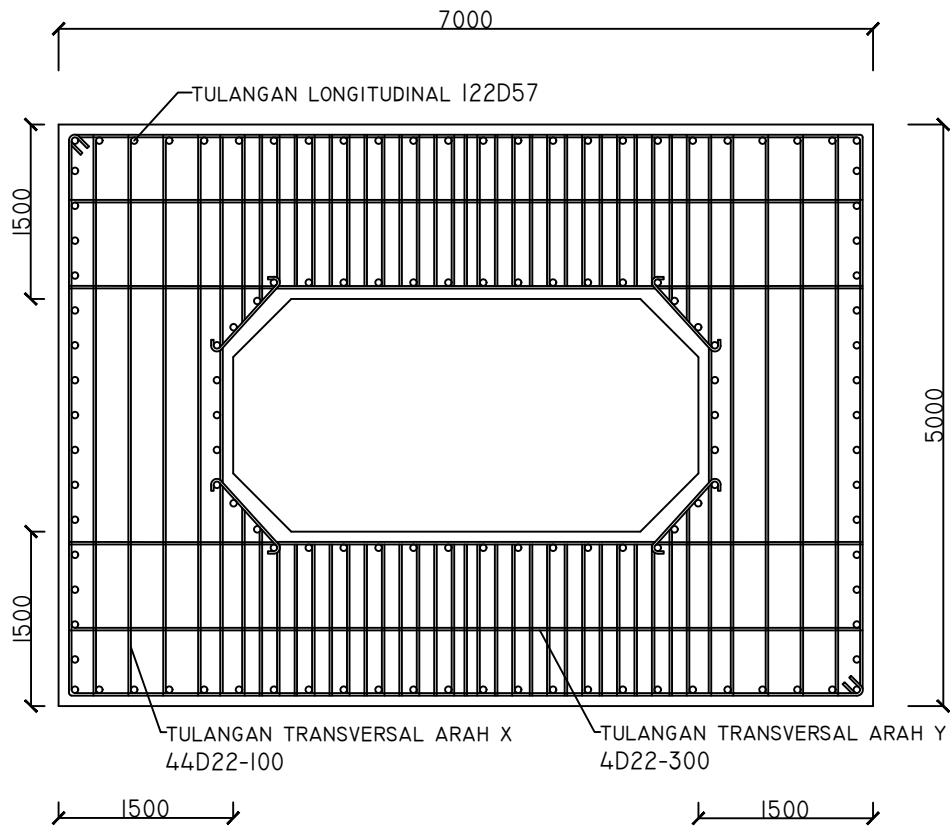


POTONGAN P4 - LUAR SENDI PLASTIS SECTION 2
SKALA 1:65

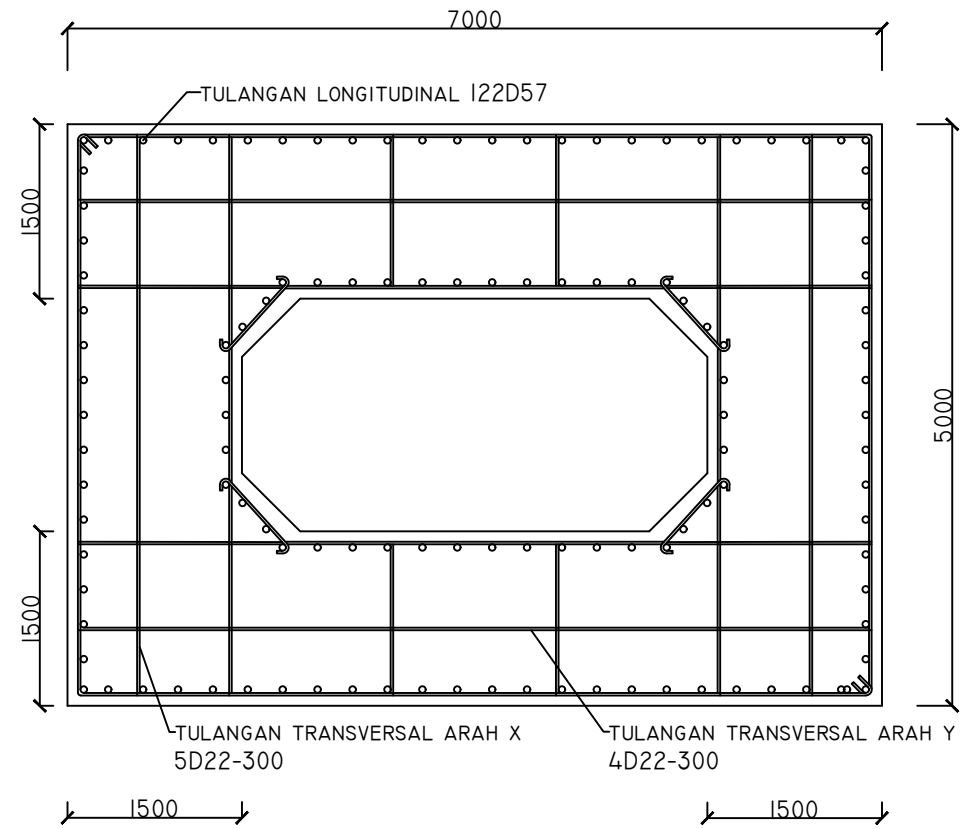


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER


JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBRAN SURAMADU MENGGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL PENULANGAN PYLON 2	1:65	
				NO. GAMBAR	HALAMAN
				8	22

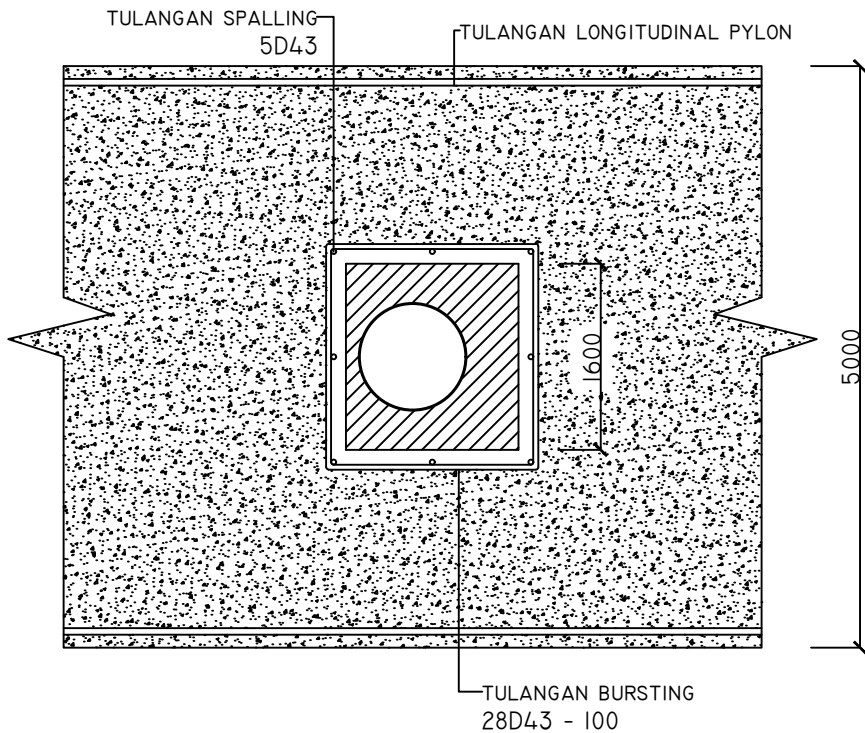


POTONGAN P5 - SENDI PLASTIS SECTION 3
SKALA 1:65

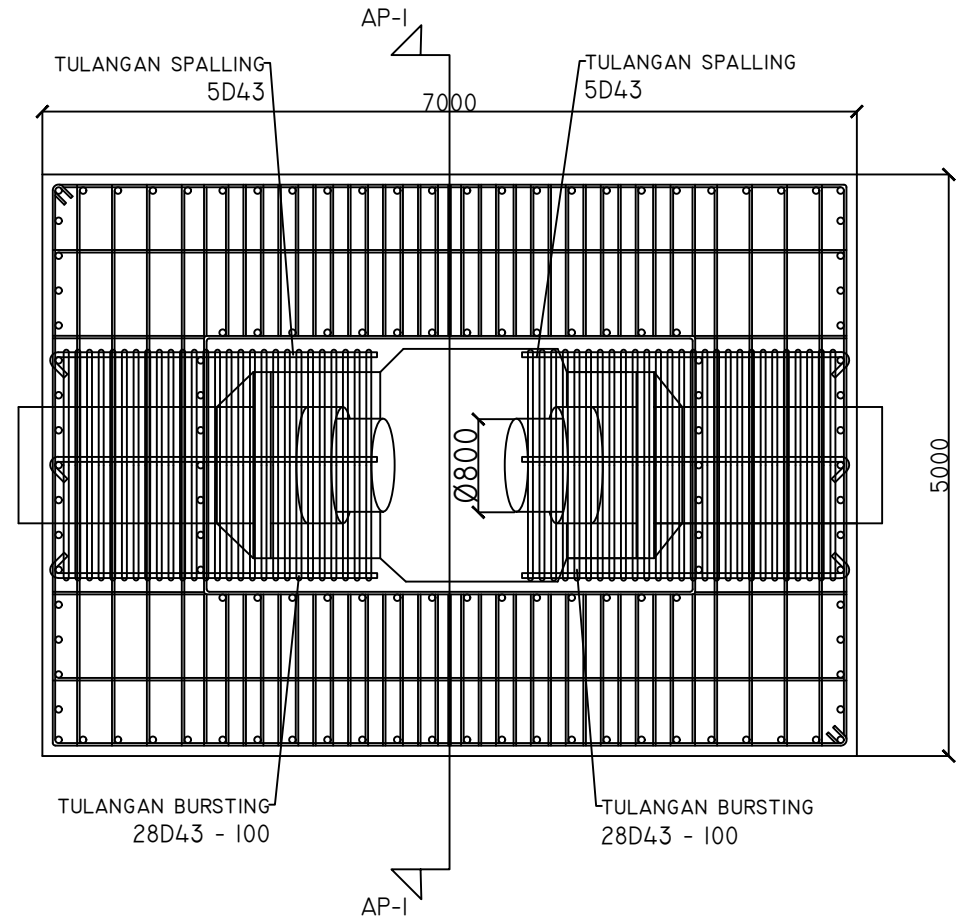


POTONGAN P6 - LUAR SENDI PLASTIS SECTION 3
SKALA 1:65

 <p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBRAN SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL PENULANGAN PYLON 3	1:65	
					NO. GAMBAR	HALAMAN
				9	22	



POTONGAN AP-I
SKALA 1:65



POTONGAN P7 - PENULANGAN ANGIKUR PADA PYLON
SKALA 1:65



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBATAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
PYLON 4

SKALA

1:65

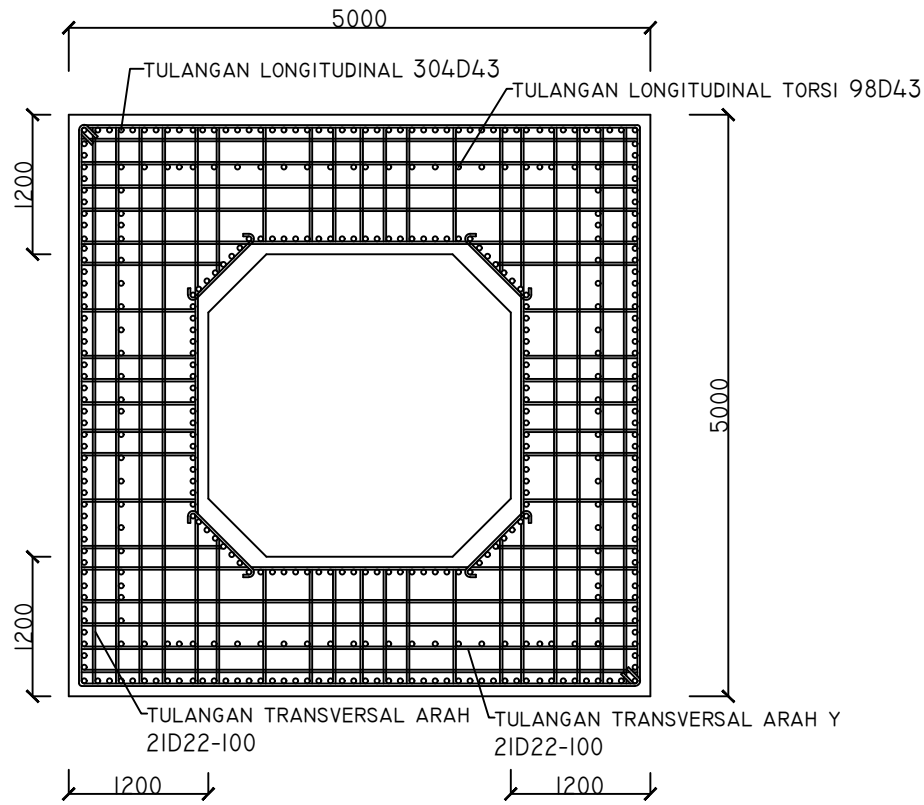
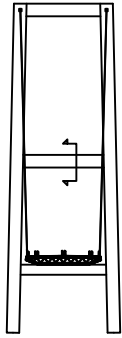
NO. GAMBAR

10

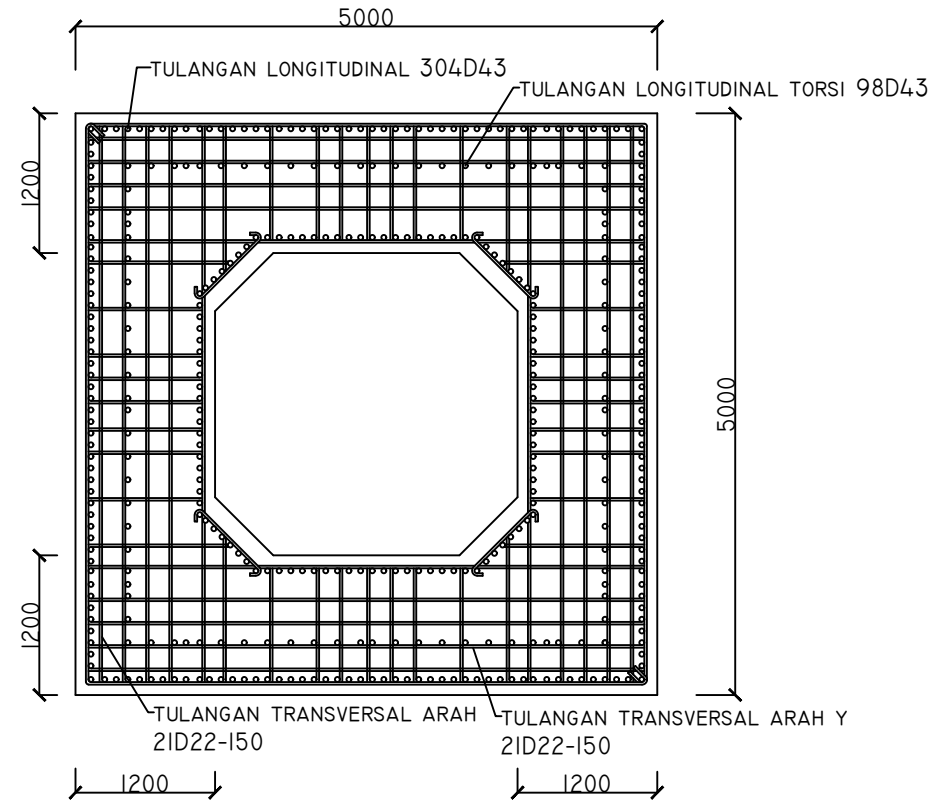
HALAMAN

22

KEYPLAN



POTONGAN SENDI PLASTIS BALOK PYLON
SKALA 1:65



POTONGAN LUAR SENDI PLASTIS BALOK PYLON
SKALA 1:65



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBATAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
BALOK PYLON

SKALA

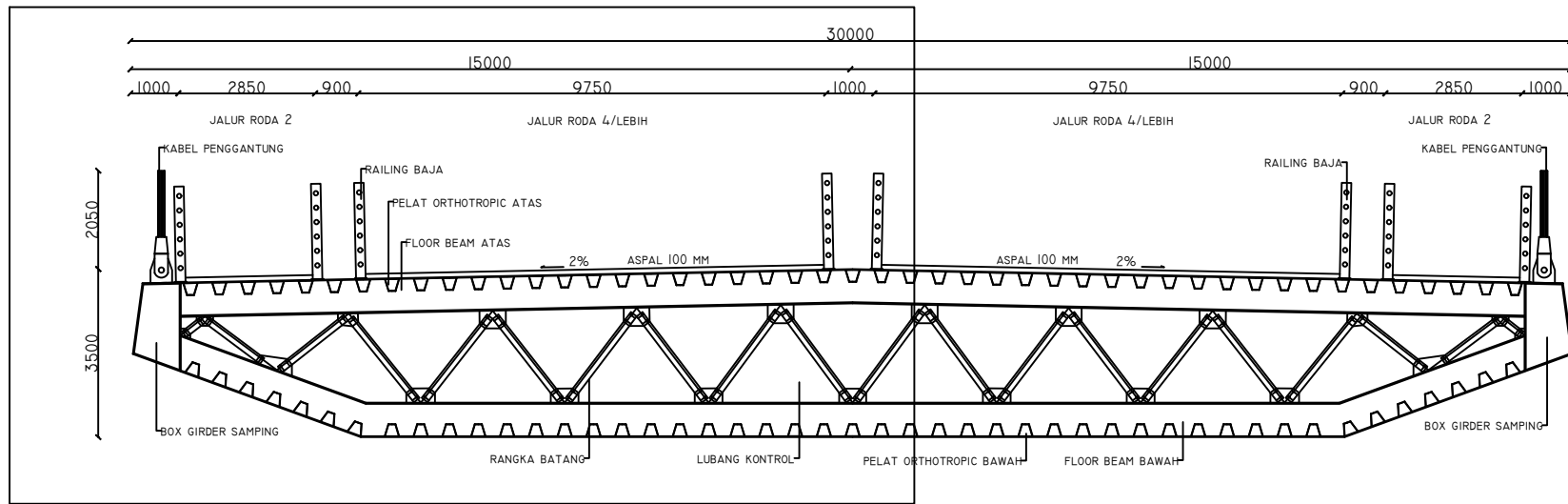
1:65

NO. GAMBAR

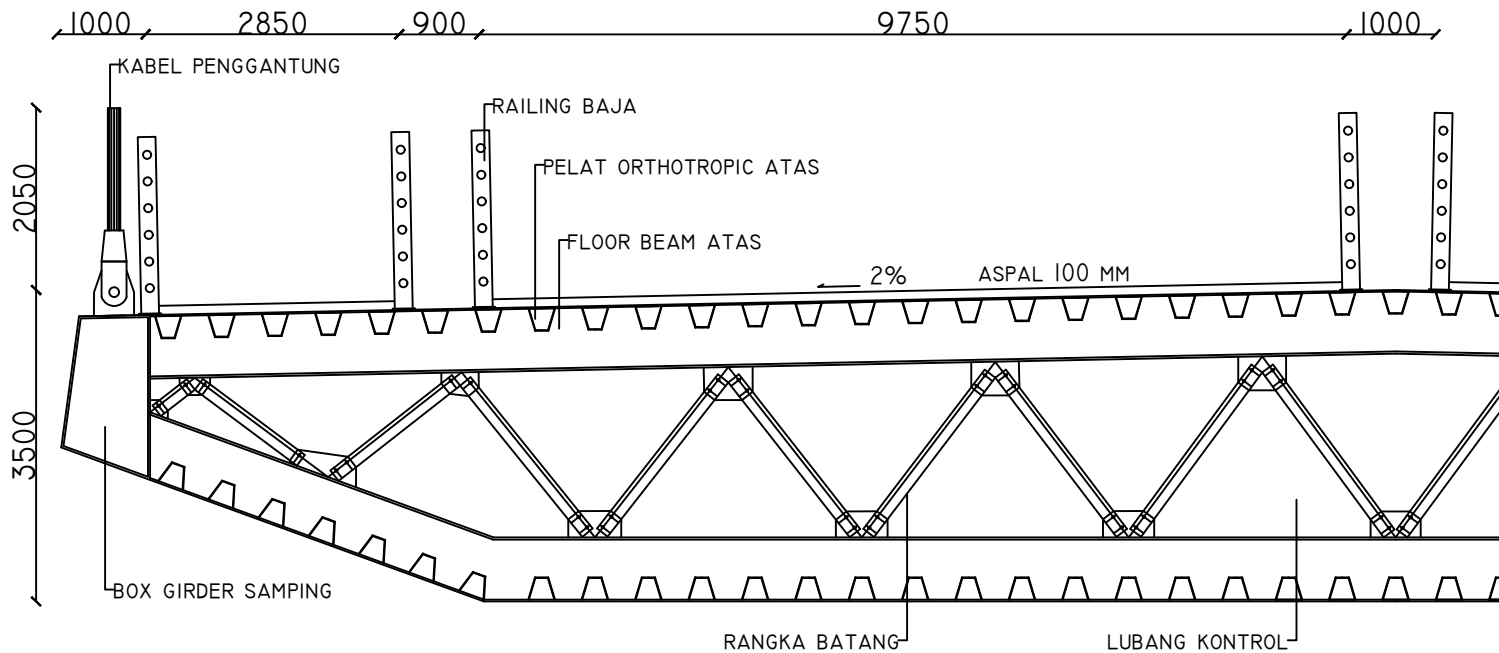
II

HALAMAN

22



POTONGAN MELINTANG PENAMPANG DECK
SKALA 1:150

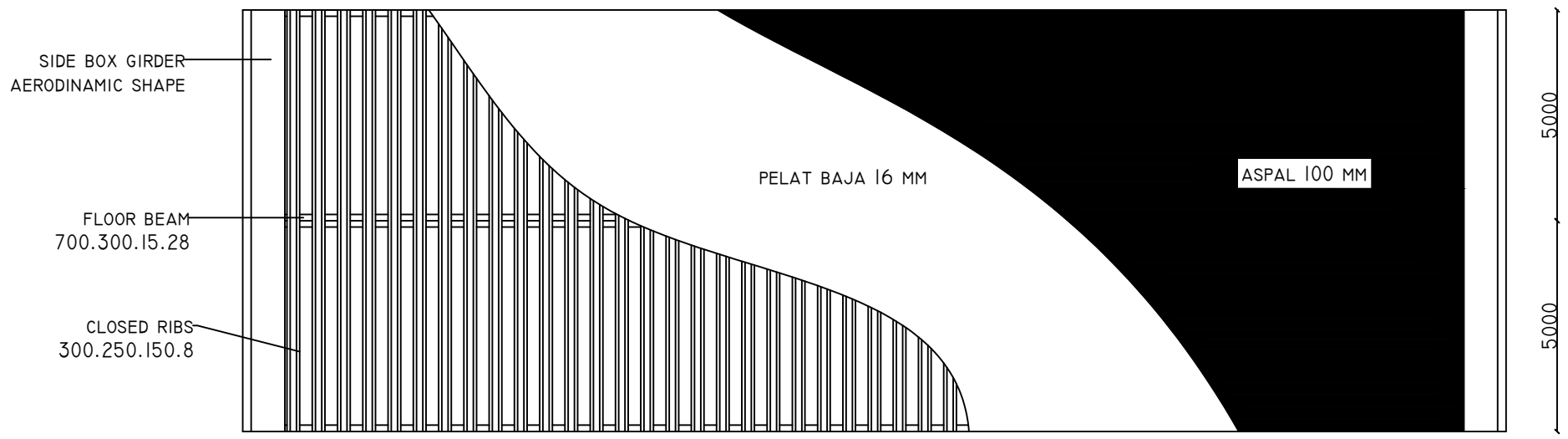
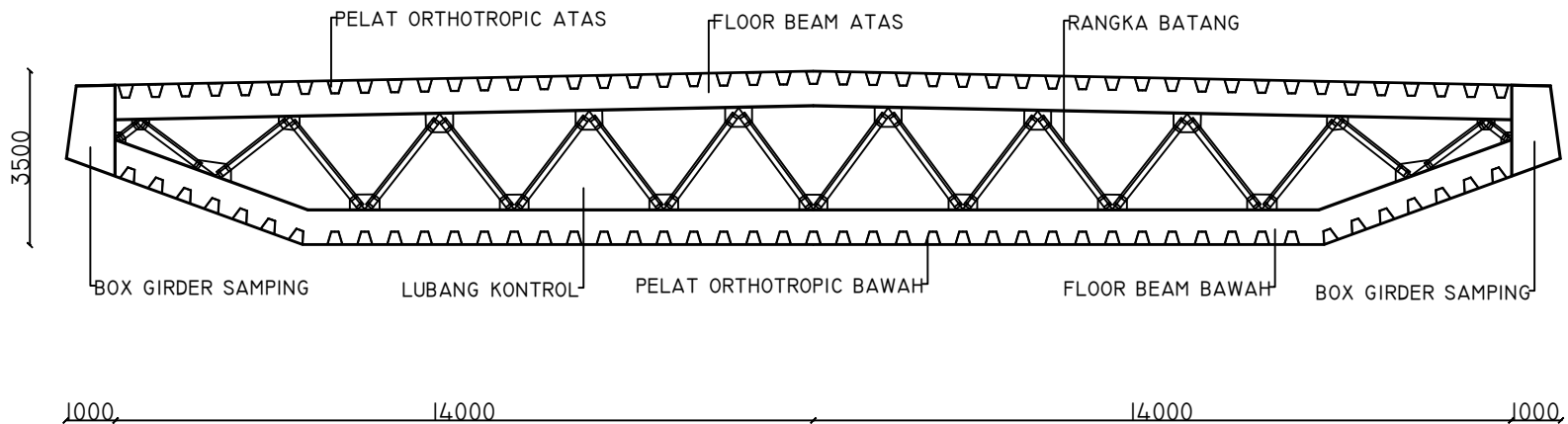


POTONGAN MELINTANG PENAMPANG DECK
SKALA 1:85



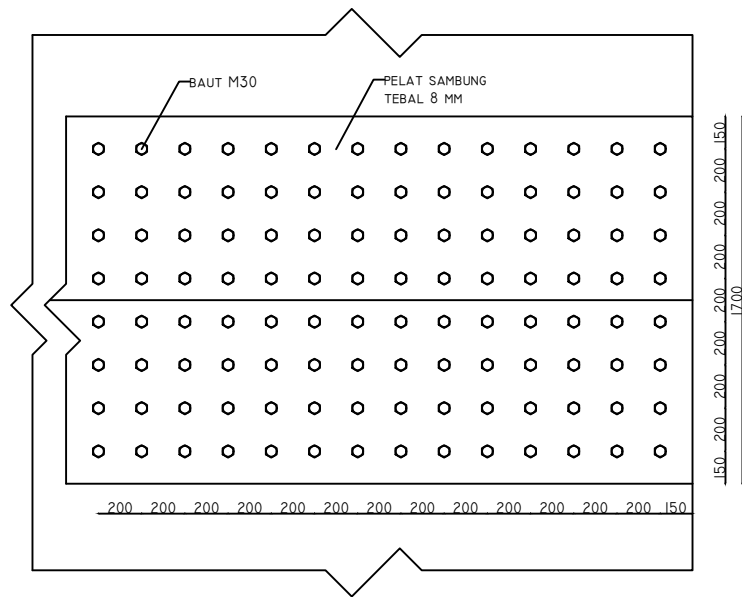
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	POTONGAN MELINTANG PENAMPANG DECK	-	
				NO. GAMBAR	HALAMAN
				12	22

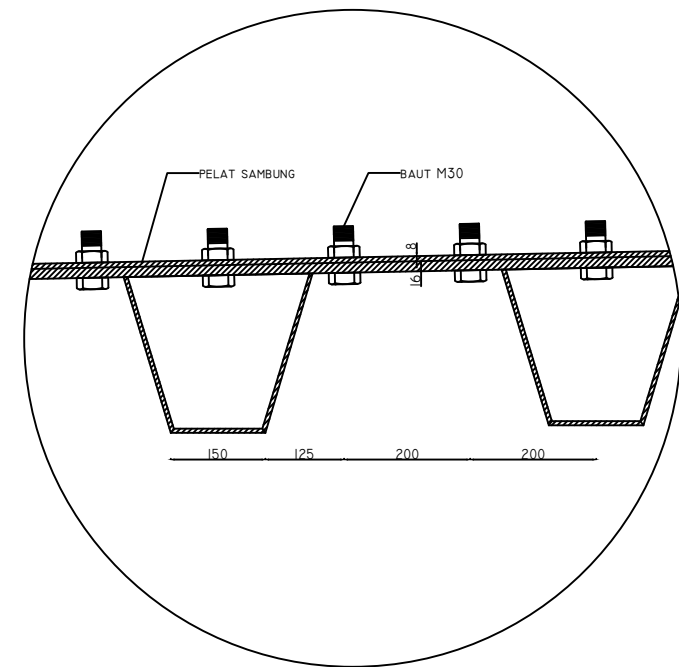


DETAIL LAPISAN PELAT LANTAI KENDARAAN
SKALA 1:150

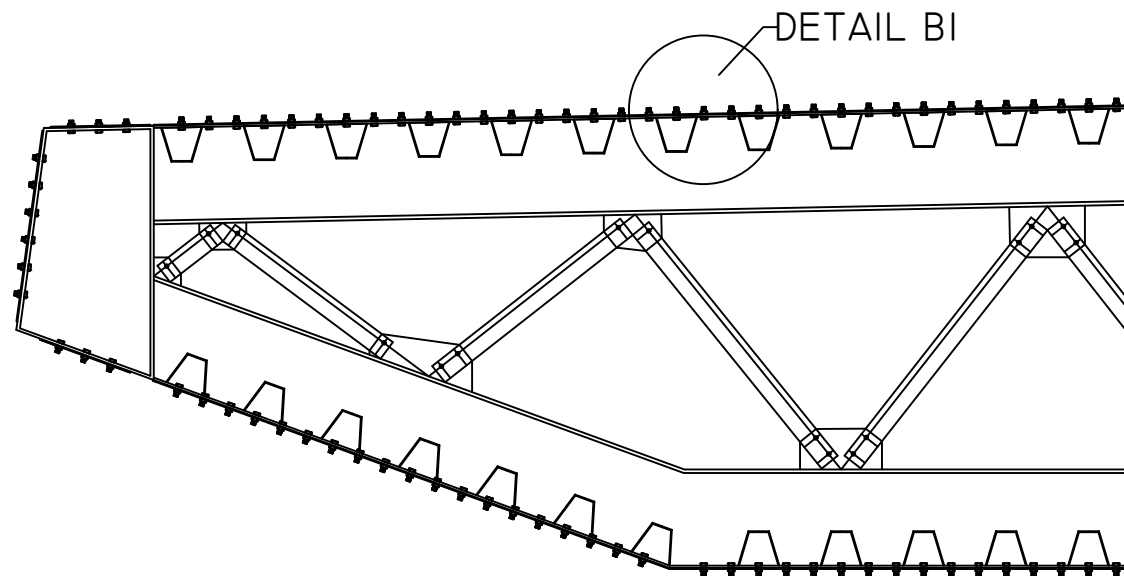
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL LAPISAN PELAT LANTAI KENDARAAN	1:150	
					NO. GAMBAR	HALAMAN
					13	22



TAMPAK ATAS SAMBUNGAN DECK
SKALA 1:75



DETAIL BI
SKALA 1:12



POTONGAN MELINTANG SAMBUNGAN DECK
SKALA 1:55



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBRAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN SEGMENTAL
LANTAI KENDARAAN

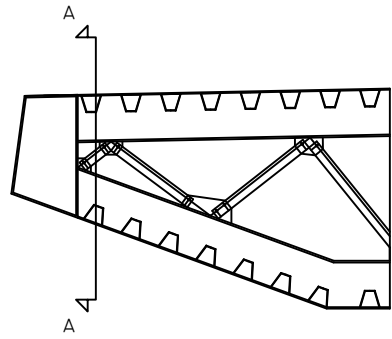
SKALA

NO. GAMBAR

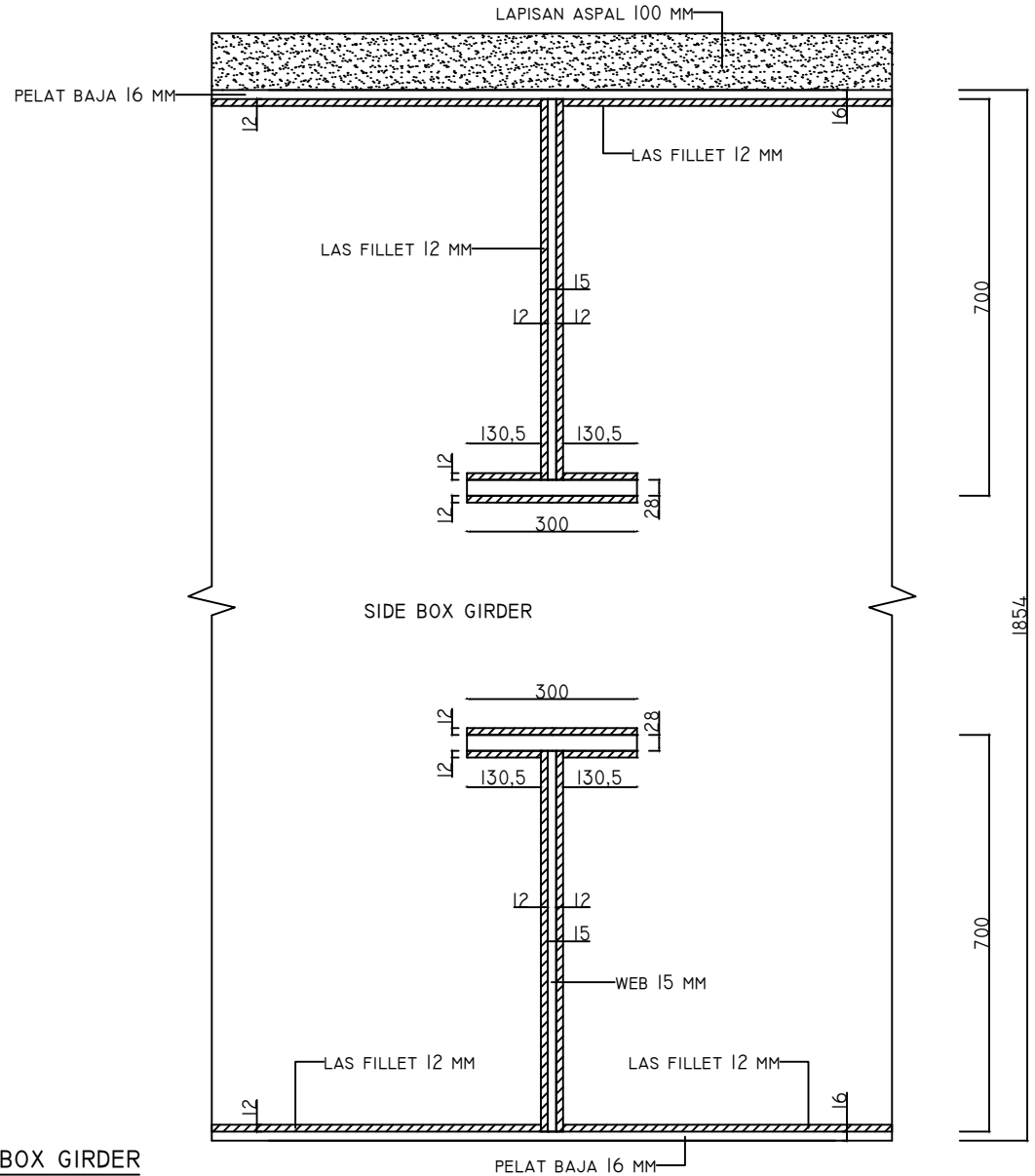
14

HALAMAN

22



KEYPLAN

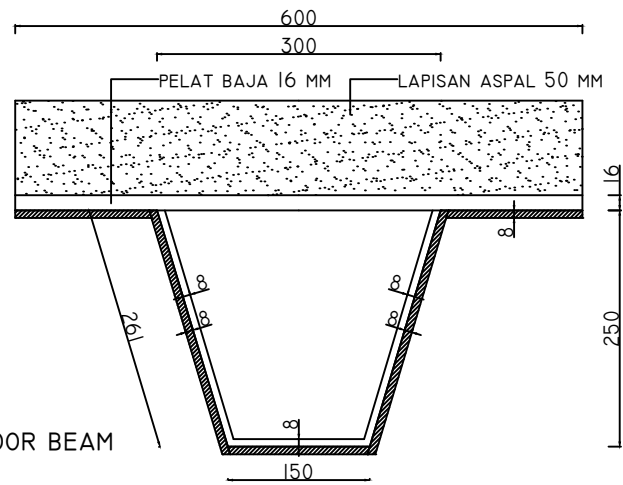


DETAIL SAMBUNGAN FLOOR BEAM PADA SIDE BOX GIRDER
SKALA 1:13

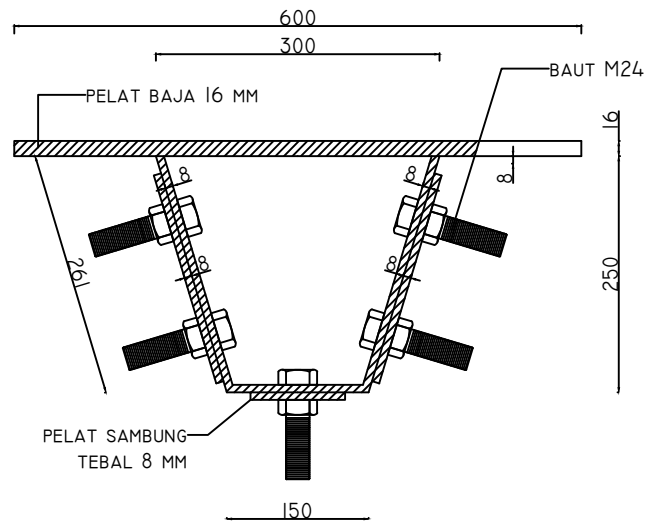


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

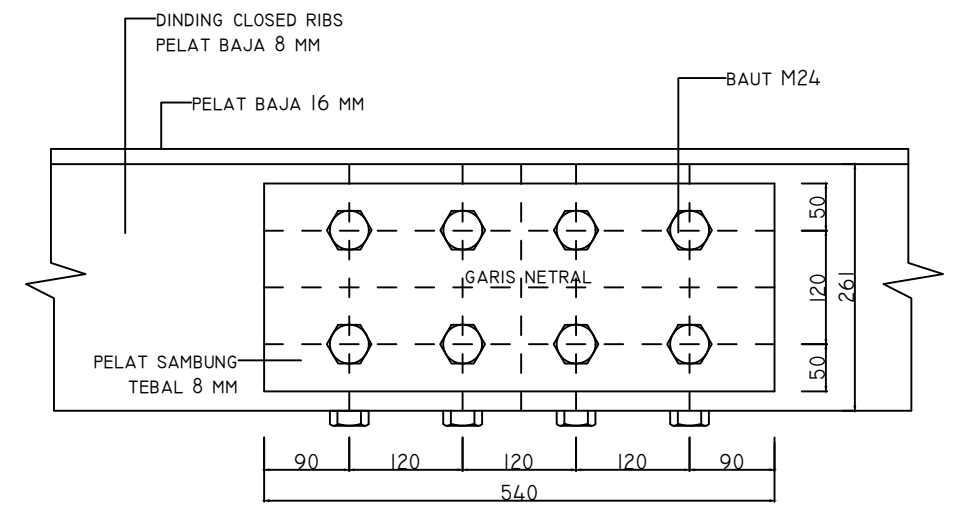
JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBRANA SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRANA GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL SAMBUNGAN FLOOR BEAM	1:13	
				NO. GAMBAR	HALAMAN
				15	22



DETAIL SAMBUNGAN LAS RIBS PADA FLOOR BEAM
SKALA 1:8

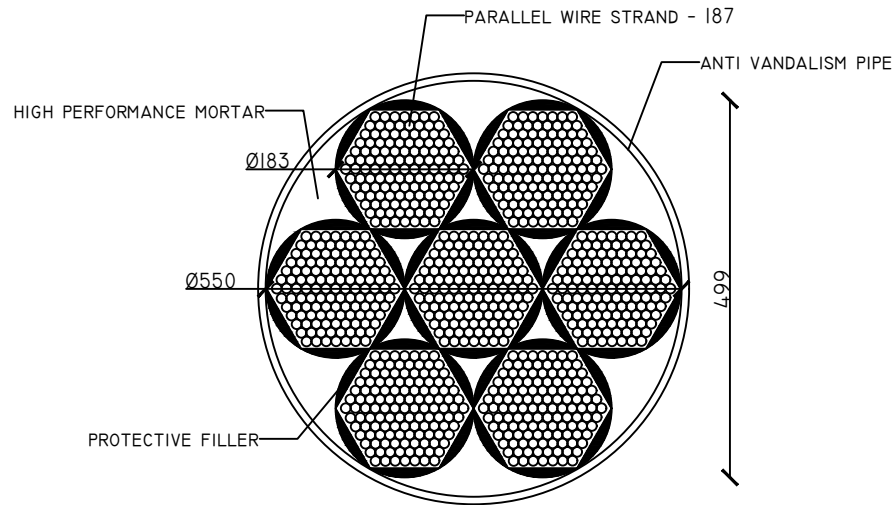


POTONGAN MELINTANG SAMBUNGAN SEGMENT RIBS
SKALA 1:8

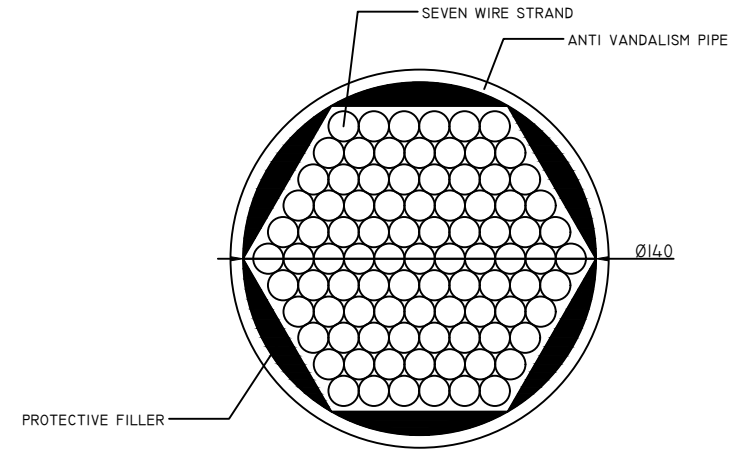


TAMPAK SAMPING SAMBUNGAN SEGMENT RIBS
SKALA 1:8

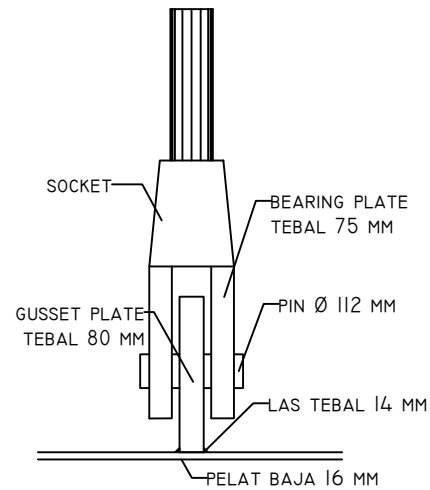
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL SAMBUNGAN CLOSED RIBS	-	
					NO. GAMBAR	HALAMAN
					16	22



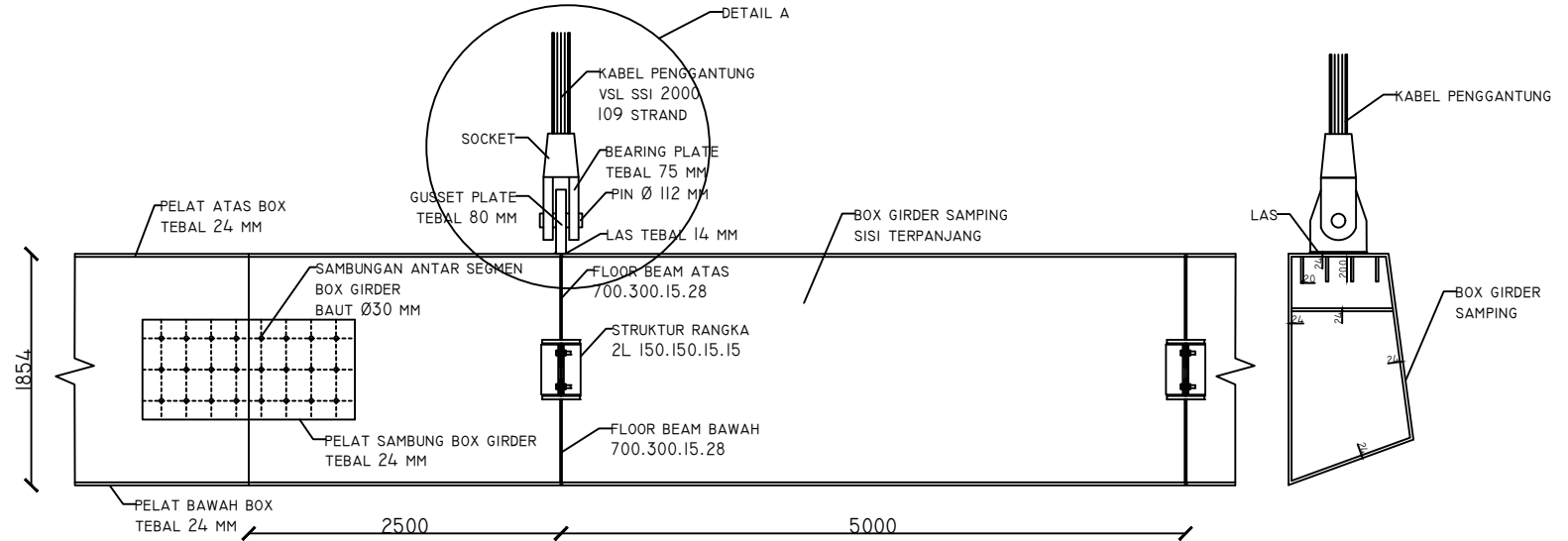
DETAIL KABEL UTAMA
SKALA 1:10



DETAIL KABEL PENGGANTUNG
SKALA 1:3



DETAIL A
SKALA 1:25



SAMBUNGAN KABEL PENGGANTUNG
SKALA 1:60



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBRAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DETAIL KABEL
DAN SAMBUNGAN

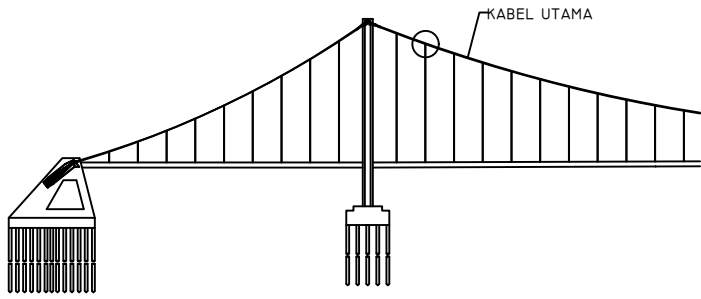
SKALA

NO. GAMBAR

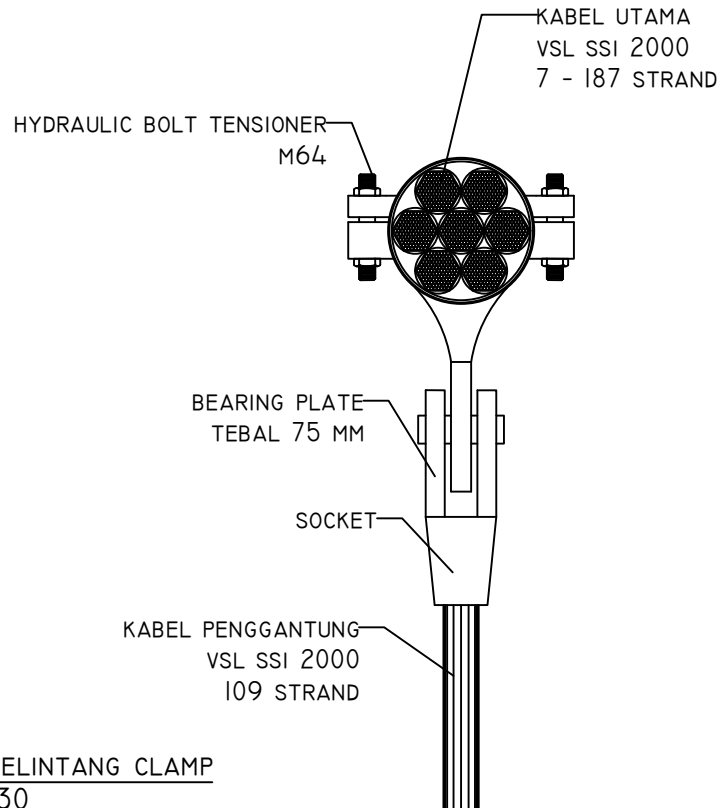
17

HALAMAN

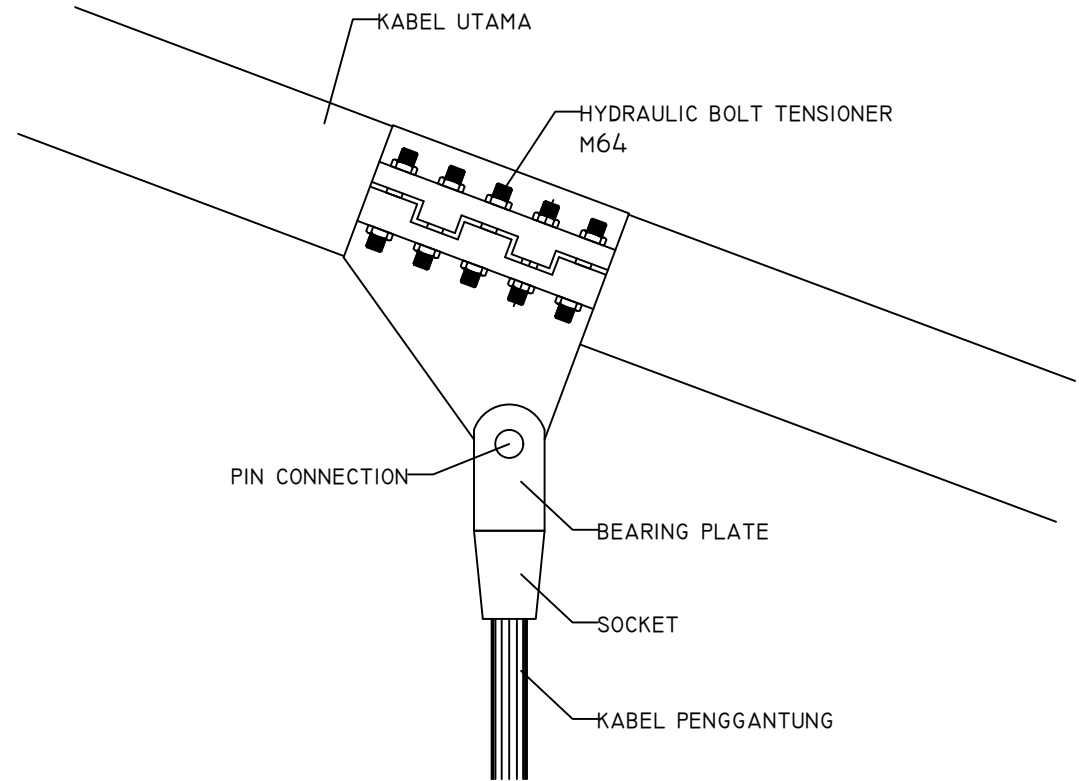
22



KEYPLAN



TAMPAK MELINTANG CLAMP
SKALA 1:30



DETAIL CLAMP PADA KABEL UTAMA
SKALA 1:30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR
ATAS JEMBRAN SURAMADU
MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRAN
GANTUNG DENGAN SIDE SPAN
SUSPENDED

MAHASISWA

DYAH SUKMA PUTRI ANDINI
0311154.0000107

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS
BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.

JUDUL GAMBAR

DETAIL CLAMP

SKALA

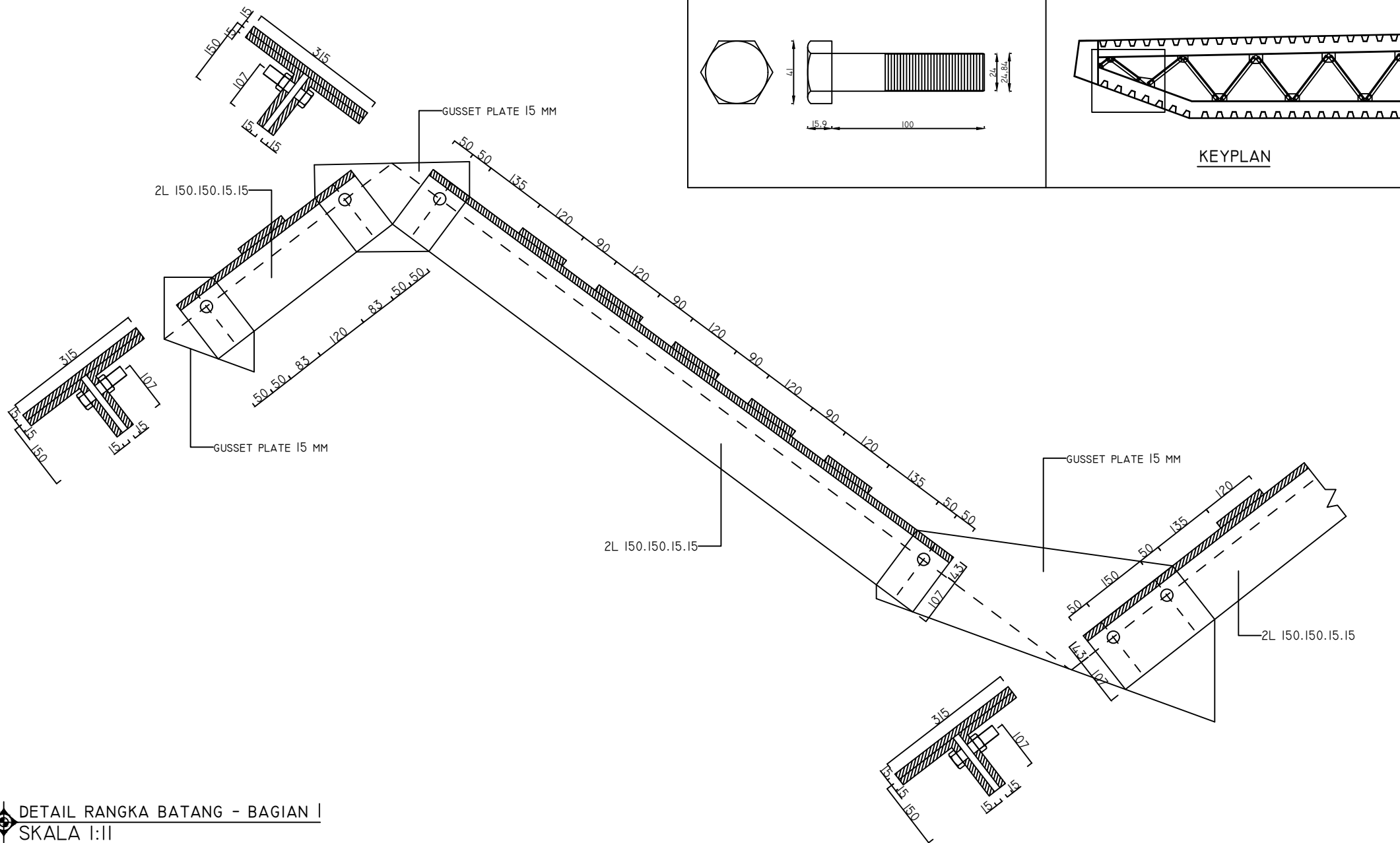
1 : 30

NO. GAMBAR

18

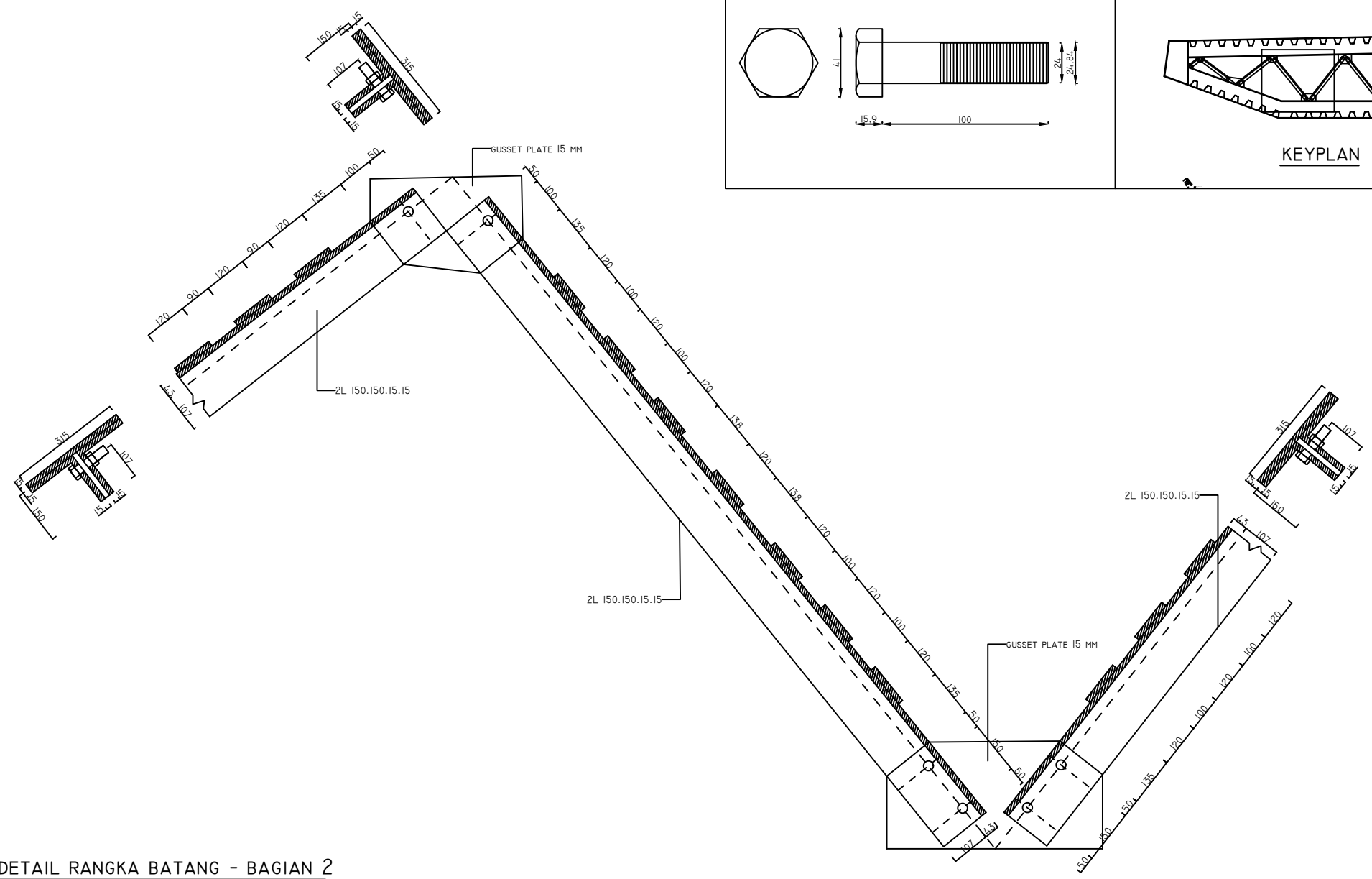
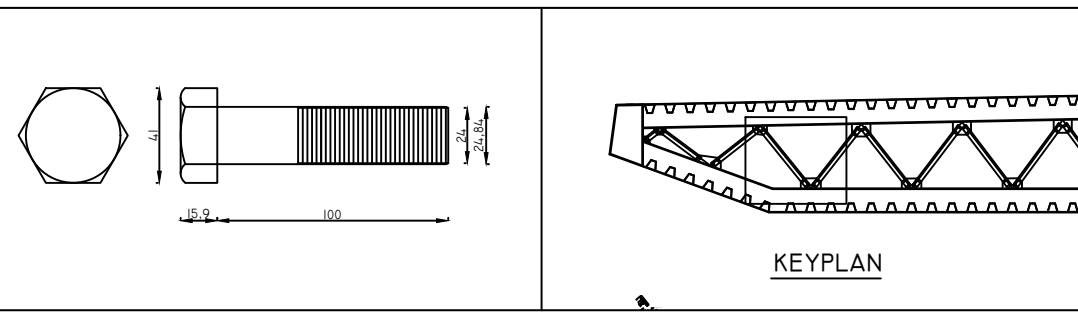
HALAMAN

22



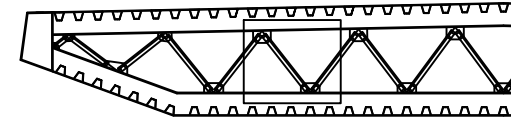
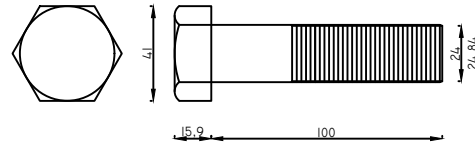
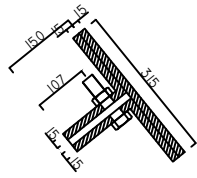
DETAIL RANGKA BATANG - BAGIAN I
SKALA 1:11

<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBRAN SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL RANGKA BATANG I	1:11	
					NO. GAMBAR	HALAMAN
				19	22	

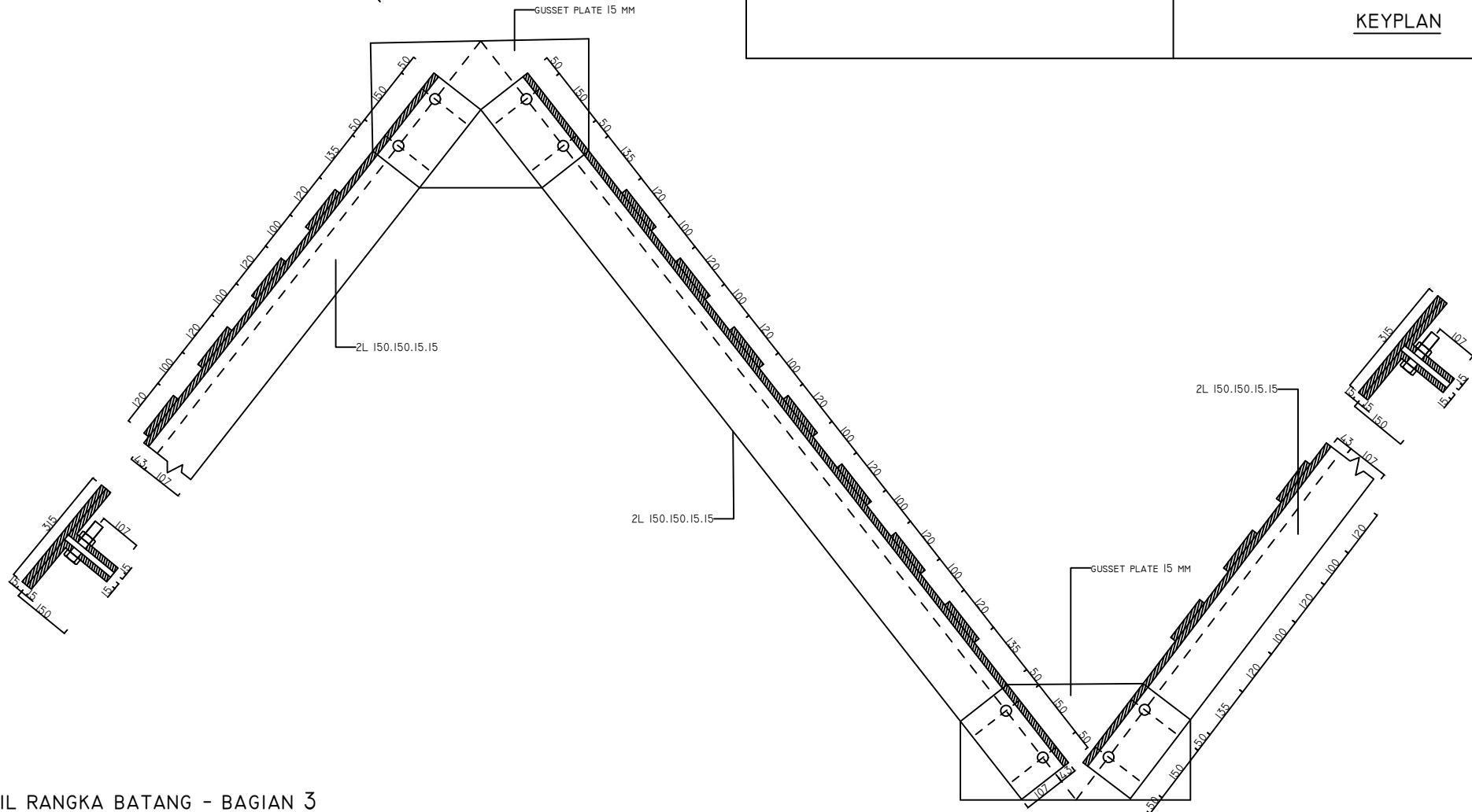


DETAIL RANGKA BATANG - BAGIAN 2
SKALA 1:15

<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDE	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL RANGKA BATANG 2	1:15	
					NO. GAMBAR	HALAMAN
					20	22



KEYPLAN

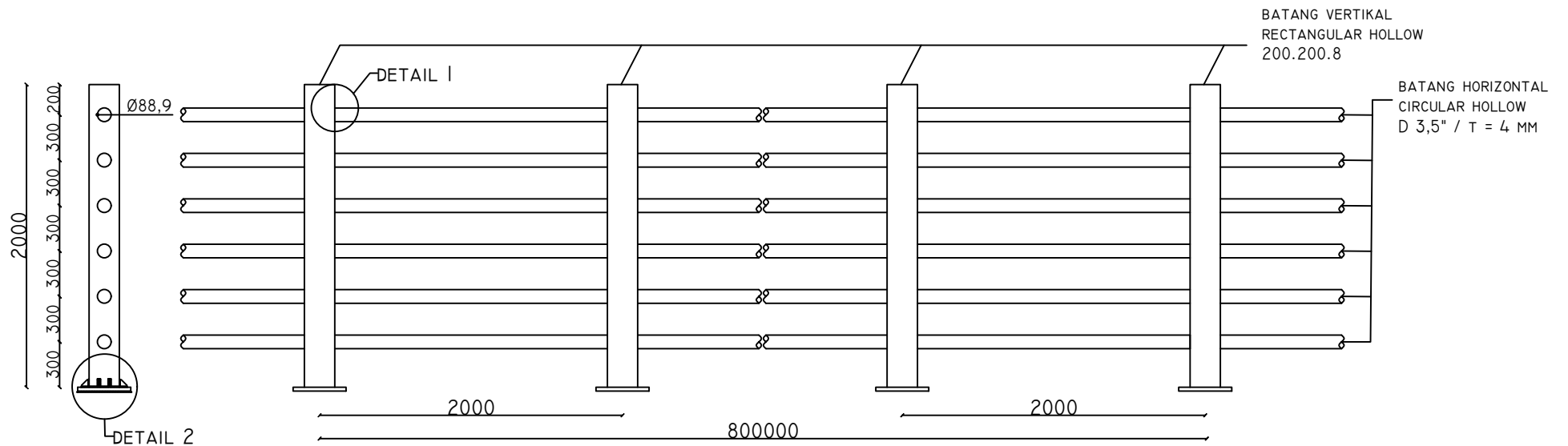


DETAIL RANGKA BATANG - BAGIAN 3
SKALA 1:15

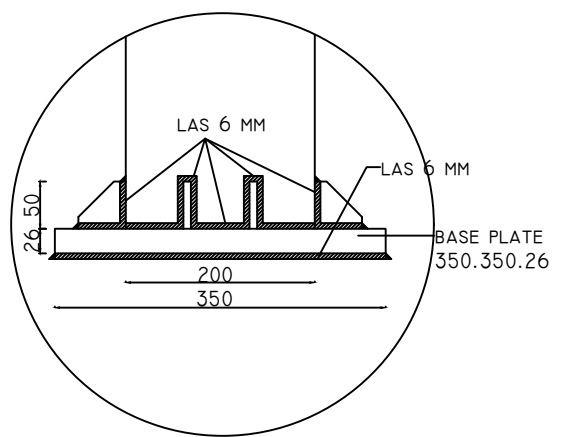


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

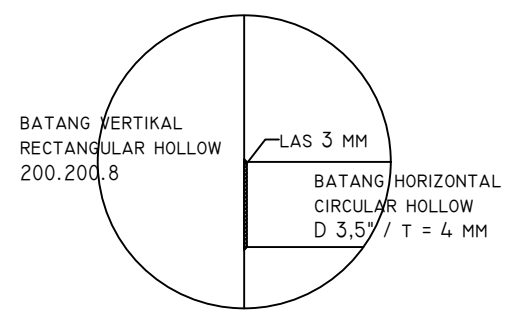
JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBRAN SURAMADU MENGGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBRAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DETAIL RANGKA BATANG 3	1:15	
				NO. GAMBAR	HALAMAN
				21	22



TAMPAK MEMANJANG DAN MELINTANG
SKALA 1:40



DETAIL 2
SKALA 1:8



DETAIL 1
SKALA 1:8

<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	JUDUL GAMBAR	SKALA	
	MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN SURAMADU MENGUNAKAN KONSTRUKSI JEMBATAN GANTUNG DENGAN SIDE SPAN SUSPENDED	DYAH SUKMA PUTRI ANDINI 0311154.0000107	DR. IR. HIDAYAT SOEGIHARDJO M., MS BAMBANG PISCESA, ST. MT. PHD.	DESAIN RAILING	-	
					NO. GAMBAR	HALAMAN
					22	22



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Hidayat Soeghardjo M. Ms.
NAMA MAHASISWA	: Dyah Sukma Putri Andini
NRP	: 0301540000107
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Struktur Atap Jembatan Sumradu Menggunakan Konstruksi Jembatan Gantung dengan Tipe Span Suspended
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	7/1/2019	Preliminary design - potongan memanjang dan melintang	- Revisi bentuk deck - referensi kabel - Revisi bentuk blok angkur	Jh
2.	18/1/2019	Struktur sekunder	- pemilihan mutu baja - Permodelan lantai keudaraan	Jh
3.	18/2/2019	Analisa pembebanan statis.	- Koreksi beban terfaktor - Beban angin arah longitudinal dan transversal	Jh
4.	21/3/2019		- Coba perletakan di deck - Dimensi pylon - Temperatur	Jh
5.	29/3/2019		- deformasi di setiap Penempatan beban hidup - Pendangan pylon 3 section - Celi kabel utama	Jh
6.	11/4/2019		- pengaku box girder pd-kumpat kanger	Jh
7.	30/4/2019		- Permodelan ribs - gambar di skala - cet dimensi blok angkur	Jh



Form AK/TA-04

rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir Hidayat Saegihardjo U. MS.
NAMA MAHASISWA	: Dyah Sutma Putri Andini
NRP	: 031520000107
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Struktur Atas Jembatan Suramadu Menggunakan Konstruksi Jembatan Gantung dengan Side Span Suspended.
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
8	10/5/2019		- Cek rotasi pada partisipasi massa.	



Form AK/TA-04
rev.01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Bambang Pisceca, ST. MT. PH D
NAMA MAHASISWA	: Dyah Sukma Putri Andini
NRP	: 031159000009
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Struktur Atas Jembatan Surabaya Menggantikan Konstruksi Jembatan Gantung dengan Sida Span Suspended
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	29/1/2019		<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan momen inersia orthotropik deck. - Permodelan dengan rigid link untuk deck. 	<i>Bambang</i>
2.	4/3/2019	Permodelan struktur utama	<ul style="list-style-type: none"> - Cet input material dan beban - Tambahkan rigid link - Permodelan tegangan awal kabel 	<i>Bambang</i>
3.	14/3/2019	Permodelan struktur utama		<i>Bambang</i>
4.	15/3/2019	Permodelan struktur utama		<i>Bambang</i>
5.	10/5/2019	Permodelan deck.		<i>Bambang</i>

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Dyah Sukma Putri Andini. Lahir di Kota Surabaya pada tanggal 26 September 1997. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Kedung Sumber Gresik, SDN Kedung Sumber Gresik, SMP Negeri 1 Balongpanggung Gresik, dan SMA Negeri 1 Gresik. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Gresik, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Sipil FTSLK - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015.

Di Departemen Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Struktur. Pada masa perkuliahan penulis aktif dalam berorganisasi di bidang kemahasiswaan dan perlombaan di bidang Teknik sipil. Penulis menjadi pengurus LE-HMS FTSP ITS sebagai staff Departemen Keprofesian dan Keilmuan, serta Sekretaris Departemen Keprofesian dan Keilmiah HMS FTSP ITS pada tahun ketiga. Lomba yang diikuti antara lain *International Roof Truss Design Competition* (IRTDC) UGM dan *International Bridge Design Competition* (IBDC) UNDIP. Penulis dapat dihubungi melalui email dyahsukmaa@gmail.com.