



TUGAS AKHIR-RC-18-4803

**PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI
KENDARAANDITENGAH**

NUGRAHA ALFANDA WILDAN
NRP. 0311154000070

Dosen Pembimbing :
1. Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

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



TUGAS AKHIR-RC-18-4803

**PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS *STAGING*
JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI
KENDARAAN DI TENGAH**

NUGRAHA ALFANDA WILDAN
NRP. 0311154000070

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT-RC-18-4803

**DETAILING DESIGN AND STAGING ANALYSIS OF
MAHAKAM BRIDGE USING A HALF THROUGH
STEEL TRUSS ARCH BRIDGE**

NUGRAHA ALFANDA WILDAN
NRP. 0311154000070

Supervisor
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS *STAGING*
JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI
KENDARAAN DI TENGAH**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

**NUGRAHA ALFANDA WILDAN
NRP. 0311154000070**

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir:



Dr. Ir. Djoko Irawan, MS. (Pembimbing 1)

SURABAYA

JULI, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

Nama Mahasiswa : Nugraha Alfanda Wildan
NRP : 03111540000070
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Djoko Irawan MS.

Abstrak

Jembatan Mahakam merupakan jembatan yang menghubungkan antara kota Samarinda dengan kecamatan Samarinda Seberang, Samarinda, Kalimantan Timur. Jembatan Mahakam memiliki panjang total 400 meter dan lebar jembatan 13 meter. Sungai Mahakam memiliki fungsi sebagai transportasi air bagi kapal-kapal tongkang dan logging kayu. Kondisi eksisting jembatan adalah jembatan rangka baja biasa (type Warren) dengan pembagian 5 bentang, dimana bentang terpanjang adalah 100 meter. Kondisi ini jelas membuat lebar efektif sungai menjadi kecil yang membuat transportasi air mengalami kendala karena adanya pilar-pilar jembatan. Desain jembatan rangka busur dinilai dapat mengatasi kendala tersebut. Perencanaan ulang menggunakan jembatan busur rangka baja lantai kendaraan di tengah (A Half-Through Arch). Jembatan ini terdiri dari tiga bentang, dengan panjang bentang utama 280 meter dan masing-masing pendekat (Approach) dengan bentang 60 meter, serta lebar jembatan 15 meter.

Dasar perencanaan jembatan mengacu pada peraturan SNI 1725:2016, SNI 1729:2015, SNI 2833-2016. Tahapan perencanaan jembatan dimulai dari perhitungan lantai kendaraan,

perhitungan gelagar memanjang dan melintang. Kemudian perhitungan struktur utama menggunakan bantuan software Midas Civil. Perencanaan bangunan bawah pada tugas akhir ini menghitung struktur abutment, pilar, dan pondasi tiang pancang. Abutment dan pilar menggunakan struktur beton bertulang sesuai dengan SNI 2847:2013.

Dari hasil perencanaan, didapat profil struktur busur utama yaitu menggunakan profil Double WF 700x600x40x45 dan batang tarik menggunakan profil Double WF 700x550x40x45, diameter kabel penggantung 72 mm, perletakan menggunakan Pot Bearing. Pondasi yang digunakan berupa pondasi tiang pancang. Metode pelaksanaan yang ditinjau menggunakan sistem Half Cantilever.

Kata Kunci : Jembatan busur rangka baja, half through arch, metode pelaksanaan.

DETAILING DESIGN AND STAGING ANALYSIS OF MAHAKAM BRIDGE USING A HALF THROUGH STEEL TRUSS ARCH BRIDGE

Student Name : Nugraha Alfanda Wildan
Student ID : 0311154000070
Department : Civil Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : Dr. Ir. Djoko Irawan MS.

Abstract

Mahakam Bridge is a bridge which connects between Samarinda City and Samarinda Seberang district, Samarinda, East Kalimantan. Mahakam Bridge has total span 400 me and width 13 m. One of Mahakam River function's is as water transportation for barge ship and wood logging ship. The existing condition of the bridge is a steel truss bridge using warren type which is divided to 5 spans. The longest span is 100 meters. This condition exactly makes the effective width of the river narrow. It makes water transportation hard to go through the bridge because of the bridge pillars. It is expected to fix those problems by redesigning the bridge using a half through steel truss arch bridge. The bridge consists of three spans with main span is 280 meters and each of side span is 60 meters, and the width is 15 meters.

The principles of bridge design are SNI 1725:2016, SNI 1729:2015, SNI 2833:2016. The steps are designing concrete slab for the vehicle, designing secondary and primary beam. Then, calculating the main structure using Midas Civil. In this final project the design of the substructure are abutment, pillar, and spun pile. Abutment and pillar using reinforcement concrete based on SNI 2847:2013.

Based on the structural analysis, the output from this final project are obtained: Double WF 700x600x40x45 for the main arch, Double WF 700x550x40x45 for the tie beam, diameter of the hanger is 72 mm, bearing structure using Pot Bearing, foundation using spun piles, implementation method using Half Cantilever System.

Keywords: Steel truss arch bridge, half through arch, Half Cantilever System

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Detail dan Analisis Staging Jembatan Mahakam Menggunakan Struktur Busur Rangka dengan Lantai Kendaraan di Tengah” ini dengan baik dan tepat waktu.

Adapun Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, diantara:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan penuh dan tidak pernah lelah memberi nasehat kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Djoko Irawan MS. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan dan ilmu yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka sebagai dosen wali yang selalu memberikan motivasi selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil ITS.
4. Bapak dan ibu dosen Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS Surabaya yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, atas kesabarannya memberikan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat.
5. Seluruh teman-teman KOPASSUS S-58, terutama teman-teman KDR dan Diananda Eska Pratiwi yang selalu memberikan semangat dalam perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan selanjutnya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi generasi berikutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Definisi Jembatan Rangka Busur	6
2.3 Bagian-Bagian Jembatan Rangka Busur (Konstruksi Bangunan Atas Jembatan)	8
2.3.1 Lantai Kendaraan pada Jembatan.....	8
2.3.2 Rangka Busur (Chen dan Duan, 2000).....	10
2.3.3 Perencanaan Ikatan Lateral	12
2.3.4 Penggantung Lantai Kendaraan (Chen dan Duan, 2000)	13
2.3.5 Sambungan.....	14
2.3.6 Perletakan (<i>Pot Bearing</i>).....	16
2.4 Pembebanan.....	18
2.4.1 Beban Tetap	19
2.4.2 Beban Lajur “D”	20
2.4.3 Beban Truck “T”	22
2.4.4 Faktor Beban Dinamis.....	23
2.4.5 Gaya Rem.....	24
2.4.6 Pembebanan Pejalan Kaki.....	25
2.4.7 Beban Tumbukan pada Penyangga Jembatan	25

2.4.8	Beban Aksi Lingkungan.....	25
2.4.9	Beban Pelaksanaan.....	28
2.5	Kontrol Material Struktur Utama (SNI 1729:2015).....	28
2.6	Struktur Bangunan Bawah Jembatan.....	30
2.7	Metode Pelaksanaan Jembatan Busur.....	31
2.7.1	Kantilever Sebagian.....	32
2.7.2	Kantilever Penuh.....	32
2.7.3	Analisis Konstruksi Pelaksanaan (Staging Analysis).....	33
2.7.4	Analisis Sistem Rangka Baja pada Konstruksi Jembatan Busur.....	33
BAB III	METODOLOGI.....	35
3.1	Diagram Alir Metodologi.....	35
3.2	Pengumpulan Data.....	36
3.3	Studi Literatur.....	38
3.4	Preliminary Design.....	38
3.4.1	Mendesain Lay Out Awal Jembatan.....	38
3.4.2	Menentukan Dimensi Jembatan Busur.....	38
3.5	Pembebanan.....	41
3.6	Permodelan dan Analisis Struktur.....	42
3.7	Perencanaan Struktur Atas Jembatan Busur.....	42
3.8	Kontrol Kekuatan Elemen.....	43
3.9	Perencanaan Sambungan.....	43
3.10	Perencanaan Perletakan Jembatan.....	43
3.11	Perencanaan Struktur Bawah Jembatan.....	43
3.12	Analisis Konstruksi Pelaksanaan (Staging Analysis).....	44
3.13	Pengecekan Pembebanan Tak Terduga (Accidental Load).....	45
3.14	Hasil dan Pembahasan.....	45
BAB IV	PRELIMINARY DESIGN.....	47
4.1	Geometri Busur.....	47
4.2	Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan.....	49
4.3	Perencanaan Kerb.....	50
4.4	Perencanaan Sandaran.....	50
4.5	Perencanaan Gelagar.....	50
4.6	Perencanaan Penggantung.....	50

4.7	Perencanaan Rangka Jembatan.....	51
4.8	Perencanaan Ikatan Jembatan.....	51
BAB V PERENCANAAN PELAT LANTAI, TROTOAR,		
DAN GELAGAR JEMBATAN.....		53
5.1	Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan	53
	5.1.1 Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan	54
	5.1.2 Perhitungan Momen Arah Melintang.....	55
	5.1.3 Perhitungan Penulangan Pelat.....	56
	5.1.4 Kontrol Geser Pons	58
5.2	Perencanaan Trotoar.....	60
	5.2.1 Perencanaan Sandaran.....	60
	5.2.2 Perencanaan Kolom Sandaran.....	62
	5.2.3 Perencanaan Kerb	64
5.3	Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan	67
	5.3.1 Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan.....	68
	5.3.2 Kontrol Profil Gelagar Memanjang	71
5.4	Perencanaan Gelagar Melintang Jembatan.....	74
	5.4.1 Pembebanan Gelagar Melintang Jembatan	75
	5.4.2 Kontrol Profil Gelagar Melintang	80
BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA		
JEMBATAN		91
6.1	Rencana Modifikasi Jembatan.....	91
6.2	Pembebanan Jembatan.....	91
6.3	Perencanaan Ikatan Angin Atas.....	99
6.4	Perencanaan Ikatan Angin Bawah.....	105
6.5	Perencanaan Ikatan Silang.....	109
6.6	Perencanaan Kabel Penggantung.....	112
	6.6.1 Pembebanan	113
	6.6.2 Kontrol Kekuatan Batang Penggantung.....	116
	6.6.3 Analisis Kabel Putus	116
6.7	Perencanaan Rangka Busur	120
	6.7.1 Pembebanan Beban Mati.....	120
	6.7.2 Pembagian Segmen Jembatan	121
	6.7.3 Gaya Aksial akibat Beban Mati	123
	6.7.4 Pembebanan Beban Hidup.....	124

6.7.5	Kombinasi Pembebanan	140
6.7.6	Perencanaan Profil Rangka Utama.....	143
6.8	Perencanaan Portal Akhir	147
6.8.1	Perencanaan Balok Portal Akhir	147
6.8.2	Perencanaan Kolom Portal Akhir.....	150
6.8.3	Perencanaan Ikatan Silang Portal Akhir.....	159
6.9	Kontrol Lendutan.....	162
6.10	Perencanaan Sambungan	163
6.10.1	Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang (Gambar 6.50)	164
6.10.2	Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang (Gambar 6.51)	166
6.10.3	Sambungan Gelagar Melintang ke Rangka Utama (Gambar 6.52)	168
6.10.4	Sambungan Ikatan Angin Atas (Gambar 6.53) ..	170
6.10.5	Sambungan Ikatan Silang (Gambar 6.54)	173
6.10.6	Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan (Gambar 6.55)	176
6.10.7	Sambungan Rangka Utama	178
6.10.8	Sambungan Portal Akhir	190
6.11	Perencanaan Perletakan	195
6.11.1	Pembebanan Horizontal akibat Gempa	196
6.12.2	Pembebanan Vertikal	205
6.12.3	Perencanaan POT <i>Bearing</i>	205
6.13	Perencanaan Abutment	208
6.13.1	Preliminary Design Abutment.....	208
6.13.2	Pembebanan Abutment.....	208
6.13.3	Kombinasi Pembebanan	227
6.13.4	Stabilitas	231
6.13.5	Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal.....	234
6.13.6	Kontrol Konfigurasi Tiang Kelompok	237
6.13.7	Penulangan Abutment	239
6.13.8	Penulangan Pile Cap.....	241
6.14	Perencanaan Pilar.....	245
6.14.1	Preliminary Design Pilar	245

6.14.2	Pembebanan Pilar	245
6.14.3	Kombinasi Pembebanan	257
6.14.4	Stabilitas	261
6.14.5	Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal	263
6.13.6	Kontrol Konfigurasi Tiang Kelompok	265
6.14.7	Penulangan Pilar	266
6.14.8	Penulangan Pile Cap	268
BAB VII	STAGING ANALYSIS	274
7.1	Metode Pelaksanaan	274
7.2	Data Perencanaan Kabel	283
7.3	Kontrol Segmen Kritis	285
BAB VIII	PENUTUP	288
8.1	Kesimpulan	288
8.2	Saran	290
DAFTAR PUSTAKA	292
LAMPIRAN		

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jembatan tipe “ <i>Deck Arch</i> ” (Syum, 2015).....	6
Gambar 2.2 Jembatan tipe “ <i>Through Arch</i> ” (Syum, 2015)	7
Gambar 2.3 Jembatan tipe “ <i>A Half-Through Arch</i> ” (Syum, 2015)7	
Gambar 2.4 Jenis Las Tumpul (Salmon, 1986).....	14
Gambar 2.5 Jenis Las Sudut (Salmon, 1986)	15
Gambar 2.6 Tipe-tipe <i>pot bearing</i> , (a) <i>Fixed</i> , (b) <i>Guided</i> , (c) <i>Free Sliding</i>	17
Gambar 2.7 Beban Lajur “D” (SNI 1725:2016).....	21
Gambar 2.8 Beban Truck “T” (SNI 1725:2016)	23
Gambar 2.9 Fakor beban dinamis untuk beban lajur “D” (SNI 1725:2016).....	24
Gambar 2.10 Sistem Kantilever Sebagian (Soegihardjo, 2016)..	32
Gambar 2.11 Sistem Kantilever Penuh (Soegihardjo, 2016).....	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan.....	35
Gambar 3.2 Peta Lokasi.....	37
Gambar 3.3 Tampak Memanjang Jembatan Eksisting Mahakam	37
Gambar 3.4 Potongan Melintang Jembatan Eksisting	37
Gambar 3.5 Tampak Memanjang Jembatan Modifikasi Mahakam	40
Gambar 3.6 Potongan Melintang Jembatan Modifikasi Mahakam	41
Gambar 3.7 Metode <i>Balance Cantilever</i> (Wong, 2012).....	44
Gambar 4.1 Arah Memanjang Jembatan	48
Gambar 4.2 Arah Melintang Jembatan	49
Gambar 5.1 Pelat Lantai Kendaraan.....	53
Gambar 5.2 Distribusi Momen Balok Menerus.....	55
Gambar 5.3 Gambar Penulangan Pelat.....	58
Gambar 5.4 Ilustrasi Geser <i>Pons</i> pada Lantai Kendaraan	59
Gambar 5.5 Pipa Sandaran <i>Railing</i>	61

Gambar 5.6	Permodelan Gelagar Memanjang	67
Gambar 5.7	Permodelan Beban Hidup BTR dan BGT	69
Gambar 5.8	Permodelan Beban Hidup Truk	70
Gambar 5.9	Penampang Gelagar Memanjang.....	71
Gambar 5.10	Permodelan Gelagar Melintang.....	75
Gambar 5.11	Pembebanan Setelah Komposit	76
Gambar 5.12	Pembebanan BTR dan BGT	78
Gambar 5.13	Pembebanan Truk Kondisi 1	78
Gambar 5.14	Pembebanan Truk Kondisi 2	79
Gambar 5.15	Perencanaan <i>Stiffener</i> pada Gelagar Melintang....	84
Gambar 5.16	<i>Stiffener</i> sebagai Kolom.....	84
Gambar 5.17	Transformasi Pelat Beton	86
Gambar 5.18	Lendutan pada Gelagar Melintang	86
Gambar 5.19	Permodelan Gelagar Komposit.....	87
Gambar 5.20	Pemasangan Shear Connector	90
Gambar 6.1	Pembebanan BTR dan BGT	93
Gambar 6.2	Penamaan Titik Simpul Jembatan	96
Gambar 6.3	Ikatan Angin Atas.....	99
Gambar 6.4	Ikatan Angin Bawah.....	105
Gambar 6.5	Ikatan Angin Silang.....	110
Gambar 6.6	Pembebanan BTR dan BGT	115
Gambar 6.7	Macalloy 520 (M76).....	116
Gambar 6.8	Ilustrasi Seluruh Kabel Bekerja.....	117
Gambar 6.9	Garis Pengaruh Kabel 3.....	117
Gambar 6.10	Ilustrasi Kabel 3 Putus.....	118
Gambar 6.11	Garis Pengaruh Kabel 2.....	118
Gambar 6.12	Ilustrasi Kabel 4 Putus.....	119
Gambar 6.13	Garis Pengaruh Kabel 3.....	119
Gambar 6.14	Penamaan Segmen Rangka Utama.....	122
Gambar 6.15	Beban qL	125
Gambar 6.16	Garis Pengaruh Batang BA1	126
Gambar 6.17	Garis Pengaruh Batang BB1.....	126
Gambar 6.18	Garis Pengaruh Batang BD1	127

Gambar 6.19	Garis Pengaruh Batang BV 1.....	127
Gambar 6.20	Garis Pengaruh Batang TB1.....	128
Gambar 6.21	Garis Pengaruh Batang BA2.....	128
Gambar 6.22	Garis Pengaruh Batang BB2.....	129
Gambar 6.23	Garis Pengaruh Batang BD2.....	129
Gambar 6.24	Garis Pengaruh Batang BV2.....	130
Gambar 6.25	Garis Pengaruh Batang TB2.....	130
Gambar 6.26	Garis Pengaruh Batang BA3.....	131
Gambar 6.27	Garis Pengaruh Batang BB3.....	131
Gambar 6.28	Garis Pengaruh Batang BD3.....	132
Gambar 6.29	Garis Pengaruh Batang BV3.....	132
Gambar 6.30	Garis Pengaruh Batang TB3.....	133
Gambar 6.31	Garis Pengaruh Batang BA4.....	133
Gambar 6.32	Garis Pengaruh Batang BB4.....	134
Gambar 6.33	Garis Pengaruh Batang BB4.....	134
Gambar 6.34	Garis Pengaruh Batang BV4.....	135
Gambar 6.35	Garis Pengaruh Batang TB4.....	135
Gambar 6.36	Garis Pengaruh Batang TB5.....	136
Gambar 6.37	Garis Pengaruh Batang BA5.....	136
Gambar 6.38	Garis Pengaruh Batang BD5.....	137
Gambar 6.39	Garis Pengaruh Batang BV5.....	137
Gambar 6.40	Garis Pengaruh Batang TB6.....	138
Gambar 6.41	Garis Pengaruh Batang BA6.....	138
Gambar 6.42	Garis Pengaruh Batang BD6.....	139
Gambar 6.43	Garis Pengaruh Batang BV6.....	139
Gambar 6.44	Garis Pengaruh Batang TB7.....	140
Gambar 6.45	Profil Double WF 700x600x40x45	143
Gambar 6.46	Portal Akhir	147
Gambar 6.47	Ilustrasi Momen pada Kolom Portal Akhir	152
Gambar 6.48	Ilustrasi Momen pada Kolom Portal Akhir	157
Gambar 6.49	Lendutan Jembatan akibat Beban Hidup.....	162
Gambar 6.50	Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang	166

Gambar 6.51 Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang.....	168
Gambar 6.52 Sambungan Gelagar Melintang ke Rangka Utama	170
Gambar 6.53 Sambungan Ikatan Angin Atas – Rangka Utama. (a) Tipe Tegak, (b) Tipe Diagonal.....	173
Gambar 6.54 Sambungan Ikatan Angin Atas – Rangka Utama	175
Gambar 6.55 Sambungan Ikatan Angin Atas – Rangka Utama	177
Gambar 6.56 Letak Titik Simpul 41 C	178
Gambar 6.57 Sambungan antar Tie Beam.....	181
Gambar 6.58 Sambungan Hanger.....	183
Gambar 6.59 Letak Titik 41 A.....	184
Gambar 6.60 Gaya Aksial yang Bekerja pada Titik 41 A	184
Gambar 6.61 Sambungan Titik Buhul 41A	187
Gambar 6.62 Sambungan Portal Akhir (Balok Melintang-Kolom)	190
Gambar 6.63 Sambungan Portal Akhir (Ikatan Angin Atas- Kolom)	192
Gambar 6.64 Penamaan Titik Perletakan	196
Gambar 6.65 Peta percepatan puncak di batuan dasar SB untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	198
Gambar 6.66 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.	198
Gambar 6.67 Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.	199
Gambar 6.68 Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah	201
Gambar 6.69 Respon Spektrum Rencana Kota Samarinda	202
Gambar 6.70 POT <i>Bearing</i> Penahan Gaya Horizontal-y.....	203
Gambar 6.71 POT <i>Bearing</i> Penahan Gaya Horizontal-x.....	204
Gambar 6.72 Pot <i>Bearing</i> Tipe <i>Fix</i>	207

Gambar 6.73 Pot <i>Bearing tipe free/multi directional</i>	207
Gambar 6.74 Pot <i>Bearing tipe guided/uni directional</i>	207
Gambar 6.75 Preliminary Design Abutment	208
Gambar 6.76 Sketsa Wingwall Abutment	210
Gambar 6.77 Sketsa Berat Sendiri Tanah.....	210
Gambar 6.78 Sketsa Tekanan Tanah Horizontal.....	213
Gambar 6.79 Konfigurasi Tiang Abutment.....	237
Gambar 6.80 Diagram Interaksi Abutment pada SpColumn....	240
Gambar 6.81 Rencana Pile Cap.....	242
Gambar 6.82 Distribusi Beban Vertikal ke Tiang Pancang.....	242
Gambar 6.83 Model Strat dan Pengikat	242
Gambar 6.84 Preliminary Design Pilar	245
Gambar 6.85 Sketsa Beban Air Pilar.....	247
Gambar 6.86 Konfigurasi Tiang Pilar	265
Gambar 6.87 Diagram Interaksi Pilar pada SpColumn	267
Gambar 6.88 Rencana Pile Cap.....	269
Gambar 6.89 Distribusi Beban Vertikal ke Tiang Pancang.....	269
Gambar 6.90 Model Strat dan Pengikat	269
Gambar 6.91 Model Strat dan Pengikat	270
Gambar 7.1 Penamaan Segmen Jembatan Mahakam.....	274
Gambar 7.2 <i>Stage 1</i>	275
Gambar 7.3 <i>Stage 2</i>	275
Gambar 7.4 <i>Stage 3</i>	276
Gambar 7.5 <i>Stage 4</i>	276
Gambar 7.6 <i>Stage 5</i>	277
Gambar 7.7 <i>Stage 6</i>	277
Gambar 7.8 <i>Stage 7</i>	278
Gambar 7.9 <i>Stage 8</i>	278
Gambar 7.10 <i>Stage 9</i>	279
Gambar 7.11 <i>Stage 10</i>	279
Gambar 7.12 <i>Stage 11</i>	280
Gambar 7.13 <i>Stage 12</i>	280
Gambar 7.14 <i>Stage 13</i>	281

Gambar 7.15 <i>Stage</i> 14	281
Gambar 7.16 <i>Stage</i> 15	282
Gambar 7.17 <i>Stage</i> 16	282
Gambar 7.18 <i>Stage</i> 17	283
Gambar 7.19 <i>Stage</i> 18	283
Gambar 7.20 <i>Stage</i> 19	283
Gambar 7.21 Segmen Terkritis saat Proses <i>Staging</i>	286

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Berat Isi untuk Beban Mati	19
Tabel 2.2	Berat Isi untuk Beban Mati	20
Tabel 2.3	Faktor Beban Mati Tambahan	20
Tabel 2.4	Faktor Beban Lajur “D”	22
Tabel 2.5	Faktor Beban Truk “T”	23
Tabel 2.6	Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	26
Tabel 2.7	Tekanan Angin Dasar (P_B)	27
Tabel 2.8	Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan	27
Tabel 4.1	Panjang Kabel Penggantung	51
Tabel 6.1	Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu	94
Tabel 6.2	Tekanan Angin Dasar	95
Tabel 6.3	Komponen Beban Angin pada Kendaraan	97
Tabel 6.4	Temperatur jembatan rata-rata nominal	98
Tabel 6.5	Kombinasi Beban dan Faktor Beban	99
Tabel 6.6	Beban Angin pada Ikatan Angin Atas	100
Tabel 6.7	Beban Angin pada Ikatan Angin Bawah	107
Tabel 6.8	Panjang Kabel Penggantung	113
Tabel 6.9	Faktor Beban Mati	120
Tabel 6.10	Gaya Batang akibat Beban Mati	123
Tabel 6.11	Gaya Batang akibat Beban Mati (Lanjutan)	123
Tabel 6.12	Gaya Batang akibat Beban	142
Tabel 6.13	Rekapitulasi Elemen-elemen pada Rangka Utama ..	146
Tabel 6.14	Pratarik Baut Minimum, kN*	163
Tabel 6.15	Jarak Tepi Minimum Sambungan	165
Tabel 6.16	Kebutuhan Baut Jembatan Mahakam	188
Tabel 6.17	Kebutuhan Baut Jembatan Mahakam (Lanjutan) ..	189
Tabel 6.18	Ukuran Minimum Las Sudut	194
Tabel 6.19	Reaksi Vertikal pada Perletakan	197
Tabel 6.20	Kelas Situs	200

Tabel 6.21 Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)	201
Tabel 6.22 Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)	201
Tabel 6.23 Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur	203
Tabel 6.24 Reaksi Vertikal pada Perletakkan (Ekstrim I)	205
Tabel 6.25 Rekapitulasi Reaksi Perletakkan Jembatan	206
Tabel 6.26 Pemilihan POT Bearing berdasarkan tipe dan kapasitas	206
Tabel 6.27 Beban Mati Struktur Atas	209
Tabel 6.28 Beban Mati Tambahan	209
Tabel 6.29 Berat Sendiri Bangunan Bawah	212
Tabel 6.30 Beban Lajur “D”	215
Tabel 6.31 Beban Angin	217
Tabel 6.32 Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur	219
Tabel 6.33 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-X	223
Tabel 6.34 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-Y	224
Tabel 6.35 Rekapitulasi Beban yang Bekerja	228
Tabel 6.36 Kombinasi 1	228
Tabel 6.37 Kombinasi 2	229
Tabel 6.38 Kombinasi 3	229
Tabel 6.39 Kombinasi 4	230
Tabel 6.40 Kombinasi 5	230
Tabel 6.41 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan	230
Tabel 6.42 Kontrol Guling Arah-X	231
Tabel 6.43 Kontrol Guling Arah-Y	231
Tabel 6.44 Kontrol Geser Arah-X	232
Tabel 6.45 Kontrol Geser Arah-Y	232
Tabel 6.46 Koefisien Daya Dukung Tanah Terzaghi	233
Tabel 6.47 Nilai N_{SPT} hasil koreksi (N_1)	235
Tabel 6.48 Nilai N_{SPT} Koreksi terhadap <i>Overburden Pressure</i> (N_2)	236

Tabel 6.49 Daya Dukung Tiang Pancang.....	237
Tabel 6.50 Kontrol P _{ijin} 1 Tiang dalam Grup.....	239
Tabel 6.51 Beban Mati Struktur Atas.....	246
Tabel 6.52 Beban Mati Tambahan	246
Tabel 6.53 Berat Sendiri Pilar	247
Tabel 6.54 Beban Lajur “D”.....	248
Tabel 6.55 Beban Angin.....	249
Tabel 6.56 Koefisien Seret (C_D) dan Angkat (C_L) untuk berbagai bentuk pilar.....	250
Tabel 6.57 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-X.....	256
Tabel 6.58 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-Y	256
Tabel 6.59 Rekapitulasi Beban yang Bekerja.....	257
Tabel 6.60 Kombinasi 1	258
Tabel 6.61 Kombinasi 2	258
Tabel 6.62 Kombinasi 3	259
Tabel 6.63 Kombinasi 4	259
Tabel 6.64 Kombinasi 5	260
Tabel 6.65 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan.....	260
Tabel 6.66 Kontrol Geser Arah-X.....	261
Tabel 6.67 Kontrol Geser Arah-Y	261
Tabel 6.68 Kontrol P _{ijin} 1 Tiang dalam Grup.....	266
Tabel 7.1 Perhitungan Kebutuhan Kabel.....	285
Tabel 7.2 Hasil Cek Profil Terkritis	286
Tabel 7.3 Kontrol Kapasitas Batang Saat Staging.....	287

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan Mahakam merupakan jembatan yang menghubungkan antara kota Samarinda dengan kecamatan Samarinda Seberang, Samarinda, Kalimantan Timur. Jembatan Mahakam memiliki panjang total 400 meter yang terbagi menjadi 5 bentang sepanjang 60 meter dan 1 bentang sepanjang 100 m dengan menggunakan struktur rangka baja dan memiliki lebar jembatan 13 meter.

Kondisi saat ini Sungai Mahakam merupakan prasarana bagi transportasi air dimana kapal-kapal tongkang yang membawa batu bara, sawit, kayu, dan lain-lain. Sehingga membutuhkan tinggi bebas (*Free Board*) yang besar dan lebar sungai (*Effective Linear Waterway*) yang besar. Dengan adanya pembagian bentang-bentang jembatan yang ada saat ini. Ruang gerak dari kapal-kapal tongkang tersebut malah menjadi kecil dikarenakan adanya pilar-pilar Jembatan Mahakam yang masuk kedalam sungai sehingga mengurangi lebar efektif dari sungai. Hal ini menyebabkan bagian pilar sering tertumbuk oleh kapal tongkang yang melintas, hal tersebut dapat mengurangi umur jembatan. Dengan lebar jembatan 13 meter, Jembatan Mahakam terlihat selalu dalam kondisi padat setiap harinya. Kemacetan yang terjadi di atas jembatan juga dapat mengakibatkan umur jembatan berkurang. Kondisi ini menyebabkan Jembatan Mahakam perlu direncanakan ulang sesuai dengan kebutuhan akan lalu lintas transportasi air dan transportasi darat.

Tahun 2016, Jembatan Kokok Tojang Desa Sekarteja, Lombok Timur ambruk. Jembatan tersebut ambruk dikarenakan terdapat kesalahan pada metode pelaksanaannya. Akibatnya, dua pekerja tewas dan enam lainnya tertimbun oleh reruntuhan jembatan. Untuk itu, diperlukan analisis lebih

lanjut dalam analisis *staging*, atau tahap pelaksanaan dari konstruksi jembatan untuk menghindari hal-hal tersebut.

Pada tugas akhir ini Jembatan Mahakam tersebut direncanakan ulang menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja dengan bentang 280 meter dan masing-masing pendekat (*Approach*) dengan bentang 60 meter. Karena jenis jembatan busur dapat digunakan pada bentang 60-600 meter sehingga lebih efektif dan dapat mengurangi penggunaan pilar-pilar jembatan yang berada di tengah sungai serta dapat memberi nilai estetika yang dapat menjadi ikon baru Kota Samarinda.

Jembatan busur memiliki nilai estetika, sehingga dapat menjadi ikon baru Kota Samarinda. Penggunaan bentuk busur itu sendiri dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien dibandingkan balok *parallel* (Victor, 1980). Sedangkan zaman dahulu, sebelum teknologi beton *prestressed* dikembangkan, jembatan busur (*arch bridges*) selalu dipilih untuk konstruksi jembatan bentang jembatan, dengan mengambil keuntungan timbulnya gaya tekan pada struktur lengkungnya (Asiyanto, 2005).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pokok ialah bagaimana merencanakan struktur Jembatan Mahakam dengan sistem rangka baja berbentuk busur. Adapun detail/rincian permasalahannya ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain jembatan busur yang sesuai dengan estetika dari kota Samarinda dan memenuhi persyaratan yang ditentukan?
2. Bagaimana prosedur dan perencanaan jembatan busur rangka baja?

3. Bagaimana permodelan dan Analisis struktur dalam perencanaan jembatan ini?
4. Bagaimana Analisis *staging* dalam perencanaan jembatan ini?
5. Bagaimana hasil akhir dari perencanaan ini?

1.3 Tujuan

Tujuan perencanaan struktur Jembatan Mahakam dengan sistem rangka baja berbentuk busur adalah dapat direncanakan struktur jembatan yang kuat menahan beban yang bekerja dan mengurangi penggunaan pilar pada jembatan dikarenakan adanya transportasi air. Sedangkan tujuan secara khusus ialah:

1. Dapat mendesain jembatan busur yang sesuai dengan estetika dari kota Samarinda dan memenuhi persyaratan yang ditentukan
2. Dapat mengetahui prosedur dan perencanaan jembatan busur rangka baja.
3. Dapat memodelkan dan menganalisis struktur perencanaan jembatan ini.
4. Dapat menganalisis *staging* dalam metode pelaksanaan jembatan ini.
5. Dapat mengetahui hasil akhir dari perencanaan ini.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup permasalahan dan pembahasan pada tugas akhir ini dibatasi oleh beberapa hal antara lain:

1. Tidak menghitung rencana anggaran biaya jembatan.
2. Tidak merencanakan perkerasan di atas lantai jembatan.

3. Perhitungan sambungan dibatasi pada bagian tertentu yang dianggap mewakili secara keseluruhan.
4. Tidak menghitung *scouring* pada bangunan bawah jembatan.
5. *Temporary Tower* dianggap kuat pada *Staging Analysis*

1.5 Manfaat

Umum:

1. Sebagai referensi dalam mendesain jembatan dengan menggunakan sistem jembatan busur rantai di tengah.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait.

Bagi Penulis:

1. Dapat menerapkan ilmu perencanaan jembatan, terutama untuk bentang panjang.
2. Sebagai evaluasi penugasan ilmu ketekniksipilan terkait desain jembatan selama kuliah.
3. Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada kondisi eksisting, jembatan Mahakam menggunakan jembatan rangka type warren yang terbagi menjadi 6 bentang dengan total bentang sungai 400 m. Karena jembatan tersebut memiliki lebar efektif sungai yang kecil bagi transportasi air maka dalam tugas akhir ini jembatan Mahakam didesain ulang dengan menggunakan rangka busur baja dengan bagian bentang utama 280 m lantai kendaran berada ditengah (*A Half-Through Arch*) dan bagian bentang pendekat (*approach*) 60 m menggunakan rangka atas baja yang dibuat menerus terhadap rangka busur.

Aspek yang dipertimbangkan dalam pemilihan bentuk dan jenis konstruksi rangka busur baja dipengaruhi oleh kondisi rintangan, biaya konstruksi, fungsi jembatan, kondisi tanah dasar, besarnya beban, panjang bentang maupun segi estetik.

Bahan baja dipilih, karena kekuatannya yang besar dalam menahan tarik dan tekan tanpa membutuhkan kuantitas yang banyak. Sehingga masih menjadi pilihan utama untuk jembatan dengan bentang yang panjang dikarenakan berbagai alasan terutama, yaitu setelah dapat diatasinya masalah karat pada baja. Dan keuntungan yang lain yaitu baja kuat dan ekonomis, mudah dipasang dan dapat diproduksi secara massal, dengan bentuk dan kualitas yang sama (Struyk, 1984).

Komponen rangka dibuat dari profil-profil yang dihubungkan dengan menggunakan pelat penyambung dan baut. Pekerjaan pemasangan harus dilaksanakan secara sistematis sesuai dengan sistem kerangka struktur jembatan serta sepenuhnya mengindahkan keamanan bagi para pekerja, lingkungan, dan jembatan itu sendiri. Pemasangan rangka

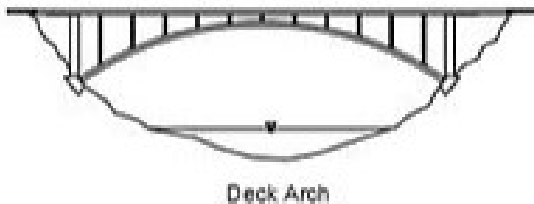
jembatan disesuaikan dengan kondisi di lapangan menggunakan sistem perancah atau sistem kantilever, sehingga penyediaan peralatan kelengkapan penyelenggaraan pekerjaan dapat disesuaikan.

2.2 Definisi Jembatan Rangka Busur

Jembatan rangka busur adalah suatu struktur jembatan yang rangkanya menyerupai bentuk busur yang dapat memberikan reaksi horizontal akibat beban vertikal dari bangunan atas yang bekerja. Berdasarkan posisi lantai kendaraannya, ada beberapa bentuk dari jembatan busur yang umum dipakai, diantaranya:

- Deck Arch

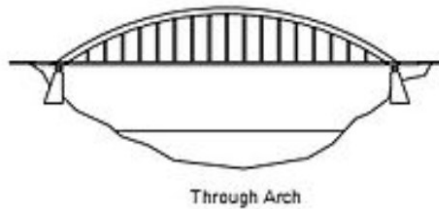
Salah satu jenis jembatan busur dimana letak lantainya menopang beban lalu-lintas secara langsung dan berada di bagian paling atas busur. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jembatan tipe “*Deck Arch*” (Syum, 2015)

- Through Arch

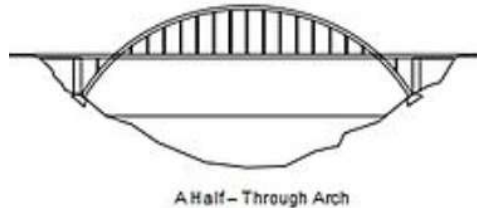
Merupakan jenis lainnya, dimana letak daripada lantai jembatan tepat di *springline* busurnya. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jembatan tipe “*Through Arch*” (Syum, 2015)

- A Half-Through Arch

Merupakan salah satu jenis lainnya, dimana lantai jembatan terletak di antara *springline* dan bagian paling atas busur atau di tengah-tengah. Pada umumnya, jembatan busur banyak yang menggunakan tipe *A Half-Through Arch* dan *Through Arch* untuk menghindari agar pangkal busurnya tidak terendam oleh air. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jembatan tipe “*A Half-Through Arch*” (Syum, 2015)

Untuk busur dengan batang tarik, bentuk busurnya disesuaikan dengan pembagian momen yang dilimpahkan ke batang tarik. Bila busurnya lebih kaku daripada batang tarik, maka busur akan lebih banyak menerima momen. Dan apabila busurnya lebih lemah batang tarik, maka akan lebih banyak menerima momen.

Ada beberapa pertimbangan dalam pemilihan jenis konstruksi busur dan bentuk busur, diantaranya adalah:

1. Kondisi Tanah Dasar

- Memilih tebing yang kuat.
 - Bila kaki busur terendam, bila menggunakan lantai kendaraan ditengah atau dibawah.
 - Bila tanah kurang kuat, bisa dipasang batang tarik.
2. Besarnya Beban
 - Bila bebannya berat, dapat menggunakan busur rangka.
 - Bila bebannya tidak terlalu berat dapat menggunakan busur dinding penuh atau *box*.
 3. Panjang Bentang
 - Bentang 60-250 m, digunakan dinding penuh atau rangka.
 - Bentang 250-600 m, digunakan rangka.
 4. Estetika
 - Busur dengan penampang tengah lebih kecil memberikan kesan langsing.
 - Penampang busur yang berupa dinding penuh memberikan kesan tenang.

2.3 Bagian-Bagian Jembatan Rangka Busur (Konstruksi Bangunan Atas Jembatan)

Merupakan bagian pembentuk konstruksi rangka jembatan yang melayani beban-beban yang bekerja. Berikut elemen-elemen pembentuk jembatan, yaitu:

2.3.1 Lantai Kendaraan pada Jembatan

Lantai jembatan termasuk ke dalam struktur bangunan atas (*Super Structure*). Bagian ini yang berfungsi langsung

untuk memikul beban lalu-lintas dan melindungi terhadap keausan. Berikut tahap-tahap perencanaan (BMS 1992):

- Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai spesifikasi sesuai peraturan. Pelat lantai yang direncanakan pada jembatan ini adalah pelat lantai komposit.

- Perencanaan Trotoar

Beban hidup pada kerb diperhitungkan sebesar 15 kN/m yang bekerja pada bagian atas kerb sepanjang jembatan dengan arah horizontal.

- Perencanaan Sandaran

Sandaran pada jembatan berguna sebagai pembatas atau pengaman pejalan kaki yang melintas diatas jembatan agar tidak jatuh ke sisi luar jembatan. Perencanaan sandaran disesuaikan dengan peraturan BMS, sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan yang bekerja secara bersamaan dalam arah

- Perencanaan Balok Lantai Kendaraan

Balok atau gelagar merupakan komponen struktur lentur yang tersusun dari beberapa elemen pelat. Penampang balok atau gelagar merupakan konsekuensi dari panjang bentang balok tersebut.

Dalam jembatan terdapat balok memanjang dan balok melintang. Balok memanjang menerima beban pelat lantai kendaraan. Sedangkan balok melintang meneruskan beban yang diterima balok memanjang ke struktur utama.

2.3.2 Rangka Busur (Chen dan Duan, 2000)

Merupakan bagian dari struktur yang penting sekali karena seluruh beban di sepanjang beban jembatan dipikul olehnya. Bagian struktur ini mengubah gaya-gaya yang bekerja karena seluruh beban di sepanjang beban jembatan dipikul olehnya. Bagian struktur ini mengubah gaya-gaya yang bekerja dari beban vertikal dirubah menjadi gaya horizontal tekan, sehingga menjadi keuntungan sendiri bagi jembatan tersebut. Dengan kelebihan utama dari jembatan busur yaitu adanya gaya tekan yang mendominasi gaya pada jembatan busur dan dengan adanya teknologi beton, baja, maupun komposit yang semakin maju, pada penggunaan material tersebut dapat mengurangi bobot jembatan dan meningkatkan panjang lantai jembatan.

Berdasarkan bentuk-bentuk busur dibedakan sebagai berikut:

- Penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal, umumnya untuk busur terjepit. Busur ini membagi beban antara busur dengan batang tarik dengan cara busur sangat kaku disbanding batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul busur.
- Tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur, umumnya busur dinding penuh termasuk bentuk box. Busur ini membagi beban antara busur dengan batang tarik dengan cara busur sangat lemah disbanding batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul batang tarik.
- Penampang puncak lebih besar dari penampang pangkal, umumnya untuk busur dua sendi.

Dalam perencanaan ini digunakan metode busur rangka baja. Selain harus memiliki kekuatan yang cukup, rangka batang juga harus memiliki tinggi lengkung busur yang cukup

ideal sehingga kekuatan busur dapat optimum. Tinggi lengkung busur tergantung pada panjang bentang jembatan.

Elemen tarik atau tekan yang dilengkungkan menjadi busur lingkaran boleh direncanakan sebagai system rangka batang biasa, dengan syarat:

- Deviasi, δ , dari garis lurus yang menghubungkan titik-titik pertemuan pada ujung elemen tidak boleh $\geq \frac{1}{12}$ panjang garis lurus tersebut.
- Penampang melintang adalah kompak
- Jarak dari tepi badan ke ujung sayap, jika ada harus memenuhi

$$\frac{b}{t} \leq \frac{R}{6b} \quad (2.1)$$

Dimana :

b = lebar bagian luar, diukur dari ujungnya terhadap:

- Baris pengencang terdekat yang menghubungkan dengan bagian pendukung dari unsur, atau
- Permukaan bagian pendukung demikian dalam hak konstruksi
- Akar dari penampang digiling

t = tebal rata-rata bagian luar, atau tebal total dimana dua atau lebih bagian dihubungkan

R = jari-jari lengkung (mm)

- Lebar sayap yang tidak disokong memenuhi:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{R}{6b} \quad (2.2)$$

Dimana:

b = lebar flens tidak terdukung antara baris pengencang yang menghubungkan plat dengan bagian pendukung unsur, atau antara permukaan bagian pendukung unsur, atau antara permukaan bagian pendukung demikian dalam hal konstruksi las, atau antara akar sudut dari penampang digiling. (mm)

t = tebal rata-rata bagian luar dari flens, atau tebal total dimana dua atau lebih bagian dihubungkan. (mm)

R = jari-jari lengkung. (mm)

- Beban melintang dengan intensitas merata dianggap bekerja dalam bidang lengkung sepanjang elemen, dan bekerja pada sisi cembung elemen tarik, atau sisi cekung elemen tekan, dan mempunyai nilai P^*/R dengan P^* adalah gaya aksial rencana dari elemen tersebut.

2.3.3 Perencanaan Ikatan Lateral

Ikatan yang kuat harus memiliki persyaratan menurut RSNI T-03-2005 pasal 9.6.1 yaitu:

1. Semua beban dan pengaruh beban yang dihitung dapat disalurkan pada struktur pendukung.
2. Sokongan tersedia pada semua titik buhul, konsisten dengan anggapan yang dipergunakan dalam penentuan panjang efektif batang tekan.
3. Sokongan tersedia pada setiap titik dimana gaya tekan bekerja pada batang diagonal dan/atau vertikal, akibat perubahan arah batang tepi (tanpa memperdulikan apakah batang tersebut batang tarik atau tekan).

Elemen ikatan dan sambungan batang tepi atas, atau dengan portal U yang menyokong batang tepi atas, harus direncanakan agar dapat menahan gaya-gaya lateral. Sokongan lateral harus disediakan untuk batang tekan sedemikian rupa agar gaya geser lateral dapat ditahan pada

semua potongan melintang dari jembatan adalah sebagai berikut:

1. $\sum Pc * /80$ apabila kombinasi beban mencakup gaya lateral (seperti beban angin)
2. $\sum Pc * /40$ apabila kombinasi beban tidak mencakup gaya lateral.

Dimana $\sum Pc *$ merupakan jumlah gaya aksial rencana terbesar yang terjadi bersama dalam setiap dua batang tepi pada potongan yang ditinjau.

2.3.4 Penggantung Lantai Kendaraan (Chen dan Duan, 2000)

Digunakan untuk menopang balok diantara dua tumpuan dan memindahkan beban tersebut ke rangka busur. Pemilihan tatanan batang tarik didasarkan atas berbagai hal karena akan memberikan pengaruh yang berlainann terhadap perilaku struktur terutama pada rangka busur dan tampang balok. Selain itu akan berpengaruh pula pada metode pelaksanaan, biaya dan arsitektur jembatan. Besarana gaya tarikan pada batang tarik disesuaikan dengan beban yang bekerja pada jembatan.

Karakteristik kabel kaitannya dengan struktur jembatan antara lain:

- Mempunyai penampang yang seragam/homogen pada seluruh bentang.
- Tidak dapat menahan momen dan gaya desak.
- Gaya-gaya dalam yang bekerja selalu merupakan gaya tarik aksial.
- Pada jembatan batang tarik berperan sebagai penggantung lantai kendaraan sehingga menderita beberapa beban titik sepanjang beban mendatar.

2.3.5 Sambungan

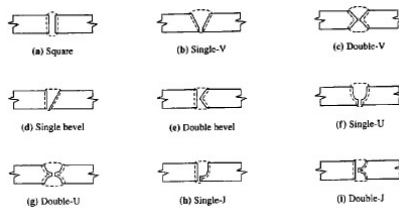
Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya di ujung batang) dengan beberapa cara. Salah satu cara yang digunakan adalah pengelasan, cara lain ialah menggunakan alat penyambung seperti paku keling dan baut (Salmon, 1986). Sambungan ini harus mampu menyalurkan gaya-gaya yang bekerja dari satu komponen ke komponen lainnya.

1. Sambungan Las

Proses pengelasan merupakan proses penyambungan dua potong logam dengan pemanasan sampai keadaan plastis atau cair, dengan atau tanpa tekanan. Pada perencanaan ini digunakan *terminology standard electrode* las E70XX dimana memiliki tegangan leleh $\leq 413-448$ MPa. Jenis E70XX merupakan elektroda yang paling banyak digunakan untuk las sudut dengan proses SMAW (*Shield Metal Arc Welding*).

- Las Tumpul

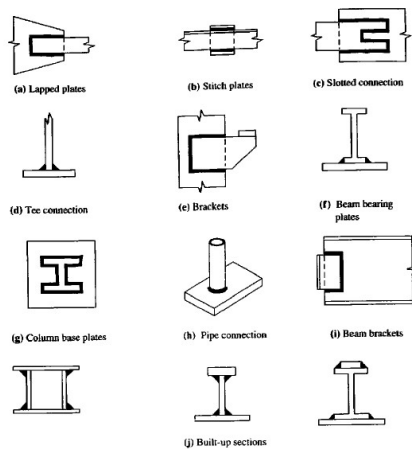
Las tumpul (*groove weld*) terutama dipakai untuk menyambung batang struktur yang bertemu dalam satu bidang. Karena las tumpul biasanya ditujukan untuk menyalurkan semua batang yang disambungnya. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Jenis Las Tumpul (Salmon, 1986)

- Las Sudut

Las sudut (*fillet weld*) bersifat ekonomis serta keseluruhan, mudah dibuat dan mampu beradaptasi. Las sudut terutama menguntungkan untuk pengelasan di lapangan, dan untuk menyesuaikan kembali batang atau sambungan yang difabrikasi dengan toleransi tertentu tetapi tidak cocok dengan yang dikehendaki. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Jenis Las Sudut (Salmon, 1986)

2. Sambungan Baut

Ada dua jenis baut yang biasa dipakai pada konstruksi baja. Yang pertama adalah baut biasa yang dipakai pada struktur ringan yang menahan beban statis atau untuk menyambung batang-batang sekunder. Jenis yang kedua adalah baut tegangan tinggi, pada waktu pemasangan dikencangkan sedemikian rupa sehingga menahan suatu tekanan yang besar dan bisa menjepit dengan keras bagian-bagian struktur yang disambung (Amon, 1988).

Berdasarkan gaya-gaya yang dipikul, terdapat jenis sambungan yang menggunakan baut sebagai alat penyambungannya, antara lain:

- Sambungan dengan gaya lintang tunggal, dalam hal ini baut memikul satu irisan.
- Sambungan dengan gaya lintang rangkap, baut memikul dua irisan. Kekuatan baut dua irisan dua kali daripada kekuatan baut satu irisan.
- Tampang T yang digunakan sebagai batang gantung yang menimbulkan tegangan tarik pada baut.

Pada perencanaan ini baut yang digunakan adalah baut mutu tinggi (HTB). Ada dua jenis baut mutu tinggi yang ditunjukkan oleh ASTM sebagai A325 dan A490. Baut ini memiliki kepala segi enam yang tebal dan digunakan dengan mur segi enam yang setengah halus dan tebal.

Sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi harus menggunakan perhitungan tipe friksi (*Friction*) yang dikencangkan untuk menimbulkan tarikan baut minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bidang-bidang kontak.

2.3.6 Perletakan (*Pot Bearing*)

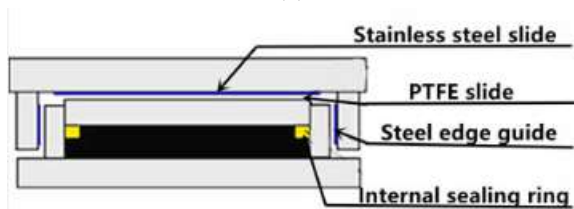
Pot bearing digunakan sebagai perletakan untuk konstruksi yang memiliki beban tinggi, pergeseran (*Deflection*) yang besar dan rotasi yang tinggi. Hal ini karena *pot bearing* dapat mengatasi beban vertikal yang cukup besar sementara yang membutuhkan sedikit ruang, terutama dalam hal ketebalan.

Pot bearing pada dasarnya terdiri dari elastomer tertahan dari pot logam. Pad ini kemudian ditekan oleh piston dengan

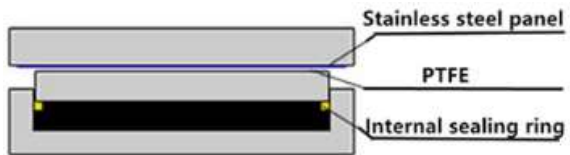
bantalan yang menahan geser atau rotasi, tergantung pada desain yang dibutuhkan. Kemampuan gerakan dari pot bearing dapat diberikan dalam satu atau dua arah. Pot bearing dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: *Fixed (TF)*, *Guided (TGe)*, dan *Free Sliding (TGa)*. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2.6.



(a)



(b)



(c)

Sumber: *Dacheng Rubber Pot Bearing Brochure*

Gambar 2.6 Tipe-tipe pot bearing, (a) *Fixed*, (b) *Guided*, (c) *Free Sliding*

1. *Fixed Pot Bearing*

Merupakan jenis *pot bearing* yang tidak dapat bebas bergerak ke segala arah. Saat dibebani, *pot bearing* ini berperilaku seperti cairan terjepit yang tidak dapat ditekan sehingga menjadi penghalang untuk berputar ke sumbu manapun.

2. *Guided Pot Bearing*

Dengan adanya *guide edge* hanya bisa bergerak searah. *Stainless Steel Slide* dan *PTFE Slide* mengurangi koefisien gesekan dan *pot bearing* ini biasa digunakan ketika gaya horizontal sebuah struktur relatif kecil (kurang dari 20% dari gaya vertikalnya).

3. *Free Sliding Pot Bearing*

Dapat bergerak bebas ke segala arah. Penambahan *PTFE* dan *Stainless Steel* sliding diantara piston dan pelat dasar, menciptakan sebuah bantalan yang mengizinkan pergerakan horizontal ke segala arah.

Keuntungan menggunakan *Pot Bearing*, yaitu:

- Daya tahan yang tinggi terhadap gaya horizontal yang besar dan mampu mendistribusikannya dengan aman.
- Daya tahan yang tinggi terhadap beban dinamis dan siklus “fatigue”.
- Mengakomodasi rotasi.
- Tersedia kapasitas bervariasi dari 50 ton s/d 10000 ton.

2.4 Pembebanan

Pembebanan pada jembatan dibutuhkan untuk menganalisis kebutuhan dimensi dari struktur jembatan. Dimana dalam menganalisis pembebanan dilakukan pada saat beban layan dan beban selama proses pembangunan

konstruksi. Besarnya pembebanan sesuai dengan peraturan SNI 1725:2016.

2.4.1 Beban Tetap

1. Berat Jenis Material

Tabel 2.1 berikut merupakan tabel berat isi untuk beban mati.

Tabel 2.1 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surface</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton $f'c < 35$ MPa	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber : SNI 1725:2016, tabel 2, pasal 7.1

2. Berat Sendiri

Merupakan berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap. Faktor beban berat sendiri diatur pada SNI 1725:2016 7.1. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati

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

3. Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

Merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Faktor beban mati tambahan diatur dalam SNI 1725:2016 7.2

Dalam perhitungan, beban mati tambahan harus dikalikan dengan faktor. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Faktor Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

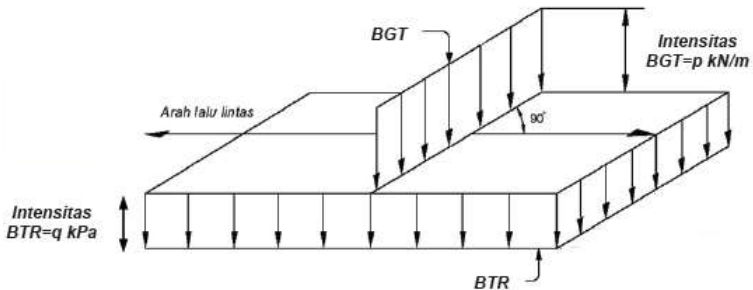
Catatan⁽¹⁾: Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Sumber: SNI 1725:2016, tabel 4, pasal 7.3

2.4.2 Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suhu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Secara umum beban “D” akan menentukan dalam perhitungan yang

mempunyai bentang mulai dari sedang sampai panjang. Sesuai dengan SNI 1725:2016 8.3 beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata //(BTR) dan beban garis (BGT). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Beban Lajur “D” (SNI 1725:2016)

Besarnya nilai BTR tergantung panjang bentangnya, sebagai berikut:

- $L \leq 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \text{ kPa}$ (2.3)
- $L > 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$ (2.4)

Dimana:

- q = beban terbagi merata sepanjang jembatan
- L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Besarnya nilai beban garis terpusat (BGT) yaitu:

$$p = 49,0 \text{ kN/m}$$

Beban garis harus ditempatkan tegak lurus dari arah melintang jembatan.

Dalam perhitungan, beban lajur “D” harus dikalikan dengan faktor beban. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel berikut:

Tabel 2.4 Faktor Beban Lajur “D”

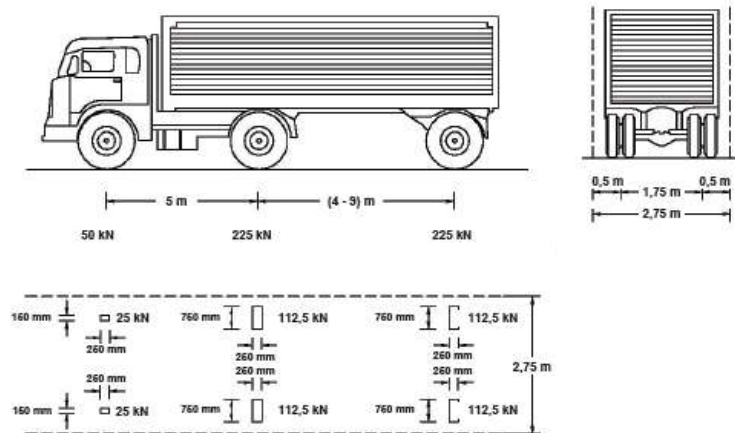
Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016, tabel 12, pasal 8.3

2.4.3 Beban Truck “T”

Beban truck “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu-lintas rencana. Tiap as terdiri dari 2 bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana. Beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

Berdasarkan SNI 1725:2016 8.4 pembebanan truk terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang memiliki susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar 2.8. Berat masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut antara 4 m sampai 9 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Kendaraan truck harus diasumsikan berada ditengah lajur lalu-lintas dari arah memanjang jembatan. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8 Beban Truck “T” (SNI 1725:2016)

Dalam perhitungan, beban truk “T” harus dikalikan dengan faktor beban. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Faktor Beban Truk “T”

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

Sumber: SNI 1725:2016, tabel 13, pasal 8.4

2.4.4 Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan suatu interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung dari frekuensi dasar dari suspense kendaraan, biasanya antara 2-5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen. Untuk pembebanan “D”: FBD merupakan fungsi dari panjang bentang ekuivalen, diambil sama dengan

panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang ekivalen L_E diberikan dengan rumus:

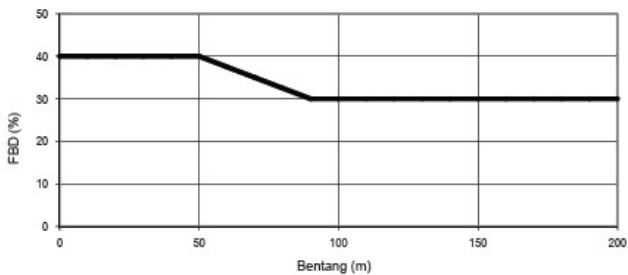
$$L_E = \sqrt{L_{ev} \times L_{max}} \quad (2.5)$$

Dimana:

L_{ev} = panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

L_{max} = panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

Untuk pembebanan truk "T": FBD diambil sebesar 0,3.



Gambar 2.9 Faktor beban dinamis untuk beban lajur "D" (SNI 1725:2016)

Nilai FBD untuk beban truk dinyatakan prosentase. Pada Gambar 2.9 merupakan grafik yang digunakan untuk mencari nilai FBD.

2.4.5 Gaya Rem

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 tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan bekerja horizontal diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

2.4.6 Pembebanan Pejalan Kaki

Sesuai dengan peraturan SNI 1725:2016 8.9 semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa.

2.4.7 Beban Tumbukan pada Penyangga Jembatan

Pilar yang mendukung jembatan yang melintas jalan raya, jalan kereta api, dan navigasi sungai harus direncanakan mampu menahan beban tumbukan ini diatur dalam SNI 1725:2016 8.10

2.4.8 Beban Aksi Lingkungan

- **Beban Angin**

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Dan apabila suatu kendaraan sedang melintasi jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai. Perencanaan jembatan rangka mengacu pada peraturan SNI 1725:2016 9.6. Tabel 2.6-Tabel 2.8 merupakan nilai-nilai yang telah ditetapkan dalam SNI 1725:2016.

Tekanan angin yang ditentukan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam sesuai SNI 1725:2016. Untuk jembatan atau bagian jembatan yang lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan air laut, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \cdot \left(\frac{V_{10}}{V_B}\right) \cdot \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad (2.6)$$

Dimana:

VDZ = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana,
Z (km/jam)

V10 = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm

VB = Kecepatan angin rencana 90 hingga 126 km/jam

Z = Elevasi Struktur

V0 = Kecepatan gesekan angin

Z0 = Panjang gesekan dihilu jembatan

V₀ dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
- Survey angin pada lokasi jembatan.

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

Tabel 2.6 Nilai V₀ dan Z₀ untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V ₀ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z ₀ (mm)	70	1000	2500

Sumber : SNI 1725:2016, tabel 28, pasal 9.6.1

- Beban Angin pada Struktur (EW_s)

$$P_D = P_B \cdot \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2 \quad (2.7)$$

Tabel 2.7 Tekanan Angin Dasar (P_B)

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

- Beban Angin pada Kendaraan (E_{W1})

Tabel 2.8 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber : SNI 1725:2016, tabel 31, pasal 9.6.1.2

- Pengaruh Gempa

Berdasarkan SNI 1725:2016, beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastic (C_{SM}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \left(\frac{C_{SM}}{R_d} \right) \cdot Wt \quad (2.8)$$

Dimana:

E_Q = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{SM} = Koefisien respons gempa elastis

R_D = Faktor modifikasi respons

W_t = Berat total struktur (kN)

2.4.9 Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri dari:

1. Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri
2. Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan

Perencana harus membuat toleransi untuk berat perancah atau mungkin akan dipikul oleh bangunan sebagai hasil dari metoda atau urutan pelaksanaan. Perencana harus memperhitungkan adanya gaya yang timbul selama pelaksanaan dan stabilitas serta daya tahan dari bagian-bagian komponen.

Selama waktu pelaksanaan jembatan, tiap aksi lingkungan dapat bersamaan dengan beban pelaksanaan. Ahli Teknik perencana harus menentukan tingkat kemungkinan kejadian demikian dan menggunakan faktor beban sesuai untuk aksi lingkungan yang bersangkutan.

2.5 Kontrol Material Struktur Utama (SNI 1729:2015)

Kontrol Kapasitas Tekan

Kontrol kelangsingan:

$$\lambda = \left(\frac{K_C L}{i} \right) \quad (2.9)$$

$$\lambda < 140$$

Menghitung parameter kelangsingan batang baja:

$$\lambda_C = \left(\frac{\lambda}{\pi} \right) \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned}\omega &= 1 && (\lambda c \leq 0,25) \\ \omega &= \frac{1,43}{1,6-0,67\lambda c} && (0,25 \leq \lambda c \leq 1,2) \\ \omega &= 1,25\lambda^2 && (\lambda c \geq 1,2)\end{aligned}$$

Kuat Nominal:

Untuk $\lambda c \leq 1,5$

$$Nn = 0,66\lambda c^2 \cdot Ag \cdot fu \quad (2.11)$$

Untuk $\lambda c > 1,5$

$$Nn = \frac{0,88 \cdot Ag \cdot fu}{\lambda c^2} \quad (2.12)$$

Syarat Kuat Rencana:

$$\phi Nn > Pu; \phi = 0,85$$

Kontrol Kapasitas Tarik

Kontrol Kelangsingan

$$\lambda_{max} = \frac{L}{iy} \quad (2.13)$$

Untuk Struktur Primer : $\lambda_{max} \leq 240$

Untuk Struktur Sekunder : $\lambda_{max} \leq 300$

Kuat Nominal

$$Pn = \phi \cdot Ag \cdot fy > Pu; \phi = 0,9 \quad (2.14)$$

Kontrol Tekuk Lokal

$$Sayap : \frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \quad (2.15)$$

$$Badan : \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \quad (2.16)$$

Kontrol Tekuk Lateral

L_B = Jarak penahan lateral

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \cdot \frac{E}{f_y} \quad (2.17)$$

$$L_r = i_y \cdot \left(\frac{x_1}{f_y - f} \right) \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} \quad (2.18)$$

Dimana:

$L_B < L_R$ (Bentang Pendek)

$L_P \leq L_B \leq L_R$ (Bentang Menengah)

$L_B > L_R$ (Bentang Panjang)

Kontrol Kapasitas Lentur

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{(2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C)} \leq 2,3 \quad (2.19)$$

Kuat nominal lentur penampang

Bentang Pendek : $M_n = M_p$ (2.20)

Bentang Menengah : $M_n = C_b \cdot [M_R + (M_r - M_R) \cdot \frac{L_R - L_B}{L_R - L_B}] \leq M_r$

Bentang Panjang : $M_n = M_{cr}$

Kontrol Kapasitas Geser

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \quad (2.21)$$

$$V_n = 0,9 \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_w > V_u \quad (2.22)$$

Cek Kapasitas

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8 \cdot \phi \cdot M_{ux}}{9 \cdot \phi \cdot M_{ux}} + \frac{8 \cdot \phi \cdot M_{uy}}{9 \cdot \phi \cdot M_{uy}} < 1 \quad (2.23)$$

2.6 Struktur Bangunan Bawah Jembatan

Struktur bangunan bawah jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang umumnya terletak di sebelah bawah bangunan atas dengan fungsi untuk menerima dan memikul

beban dari bangunan atas agar dapat disalurkan kepada pondasi. Bangunan bawah dibagi menjadi 2 (dua) bagian yaitu kepala jembatan (*abutment*) atau pilar (*pier*) dan pondasi untuk kepala jembatan atau pilar. Struktur bangunan bawah perlu didesain khusus sesuai dengan jenis kekuatan tanah dasar dan elevasi jembatan.

- **Kepala Jembatan (*Abutment*)**

Abutment terletak diujung dari sebuah jembatan. Selain meneruskan beban-beban dari struktur atas jembatan, abutment juga berfungsi sebagai penahan tanah. Umumnya, abutment dilengkapi dengan konstruksi dinding sayap (*wing wall*) yang berfungsi menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan.

- **Pilar Jembatan (*Pier*)**

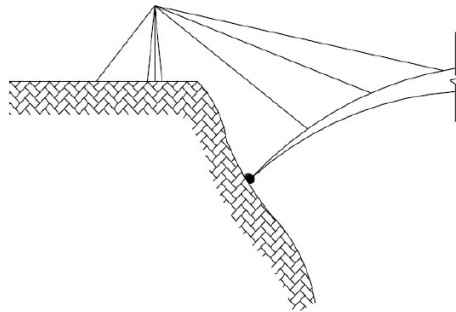
Berbeda dengan *abutment*, yang selalu ada di setiap jembatan, maka pilar belum tentu ada di suatu konstruksi jembatan. Pilar merupakan suatu struktur yang berfungsi untuk membagi bentang suatu jembatan dan meneruskan beban struktur atas kepada pondasi. Pada umumnya, pilar diletakkan ditengah bentang jembatan sehingga terkena pengaruh aliran sungai. Untuk menanggulangi masalah tersebut maka pada perencanaannya, direncanakan selain segi kekuatannya juga di lihat pula dari segi keamanannya.

2.7 Metode Pelaksanaan Jembatan Busur

Tahap pelaksanaan jembatan busur umumnya dapat dilakukan dengan metode kantilever. Terdapat 2 jenis metode kantilever yang digunakan yaitu kantilever sebagian dan kantilever penuh. (Soegihardjo, 2016)

2.7.1 Kantilever Sebagian

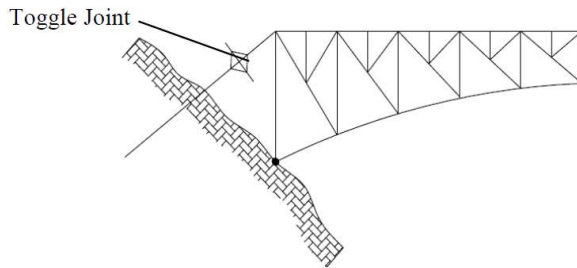
Prinsip dasar pelaksanaan sistem kantilever yaitu pembangunan separuh busur bersamaan (kedua sisi jembatan) dalam segmen pendek, sementara segmen-segmen busur tersebut ditahan oleh kabel penggantung, hingga segmen busur menyatu dibagian puncak (*closure*). Perintis metode kantilever ini ialah *Eugene Freyssinet* yang mendesain 3 jembatan di Venezuela pada tahun 1950-1953. Kelebihan metode kantilever yaitu dapat diterapkan pada kondisi sungai yang aliran arusnya cukup deras, serta tidak memperhatikan kedalaman sungai. Kekurangan sistem kantilever yaitu perlu ketelitian yang cukup tinggi saat pelaksanaan, karena sistem kantilever hamper menyerupai sistem jembatan *cable stayed*. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sistem Kantilever Sebagian (Soegihardjo, 2016)

2.7.2 Kantilever Penuh

Metode kantilever penuh yaitu struktur jembatan ditahan oleh 1 kabel yang diangkur pada bagian tebing sungai. Fungsi dari angkur yaitu sebagai penahan dari berat jembatan busur selama pelaksanaan. Kabel yang diangkur terlebih dahulu diberikan *toggle joint* yang berfungsi untuk memposisikan kabel agar jembatan tetap dalam elevasi yang telah ditentukan. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Sistem Kantilever Penuh (Soegihardjo, 2016)

2.7.3 Analisis Konstruksi Pelaksanaan (Staging Analysis)

Analisis konstruksi bertahap yang dikerjakan mengikuti pelaksanaan pembangunan jembatan. Model dianalisis secara segmental sesuai dengan kenyataan di lapangan. Pada pelaksanaan pembangunan pelengkung di lapangan, terdapat kabel-kabel pembantu yang digunakan untuk menunjang rangka pelengkung selama pelaksanaan pembangunan.

Analisis konstruksi bertahap merupakan bagian dari analisis statis nonlinier yang menganalisis struktur dalam beberapa fase tingkat/ tahap. Ide dasar dari analisis ini adalah pada tahap awal, kondisi awal struktur adalah nol, dalam artian elemen struktur memiliki gaya-gaya dalam dan lendutan sama dengan nol. Semua elemen belum terbebani dan belum terjadi lendutan. Untuk tahapan Analisis selanjutnya, merupakan kelanjutan dari analisis nonlinier pada tahapan sebelumnya. Maksud dari pernyataan ini yaitu gaya-gaya dalam dan deformasi pada tahap sebelumnya diikutsertakan pada analisis tahap berikutnya.

2.7.4 Analisis Sistem Rangka Baja pada Konstruksi Jembatan Busur

Rangka batang adalah susunan elemn-elemen yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga

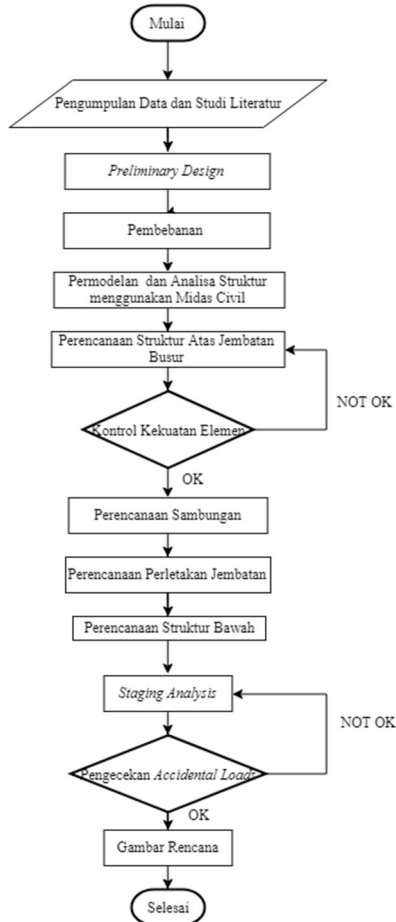
menjadi bentuk rangka yang tidak berubah bentuknya ketika diberi gaya-gaya dari luar. Pada struktur yang stabil, deformasi yang terjadi relative kecil, dan lentur tidak akan terjadi selama gaya-gaya liar berada pada titik simpul (Aristadi, 2006). System pada rangka batang adalah gaya-gaya yang ada dibatang merupakan gaya aksial, sehingga konstruksi ini memberikan dampak pada pengurangan berat sendiri struktur.

Bentuk konfigurasi dari busur dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan, sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien, dibandingkan dengan balok atau balok parallel (Soegihardjo, 2016).

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Metodologi

Prosedur pengerjaan untuk menyelesaikan perencanaan jembatan ini sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan

3.2 Pengumpulan Data

Data-data perencanaan secara keseluruhan mencakup data umum jembatan, data sungai, dan data tanah

- Data Sungai

Nama Sungai : Sungai Mahakam

Lebar Sungai : 395 meter

Elevasi Dasar Sungai : -28,50 m

Elevasi M.A. Banjir : -21,65 m

- Data Umum Jembatan (Eksisting)

Nama Jembatan : Jembatan Mahakam

Lokasi Jembatan : Sungai Mahakam, Kota Samarinda, Kalimantan Timur

Tipe Jembatan : Jembatan Rangka Baja (*Warren Truss*)

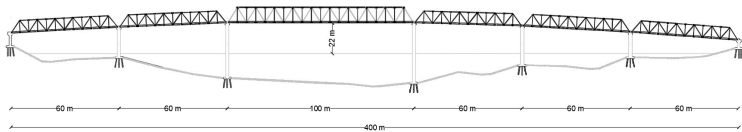
Panjang Jembatan : 400 meter

Lebar Jembatan : 13 meter

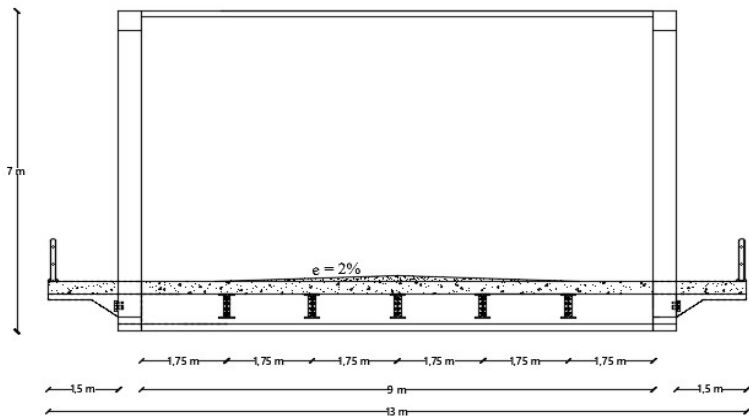
Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 3.2, Gambar 3.3, dan Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.2 Peta Lokasi



Gambar 3.3 Tampak Memanjang Jembatan Eksisting Mahakam



Gambar 3.4 Potongan Melintang Jembatan Eksisting

3.3 Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditinjau. Referensi tersebut berisikan tentang perencanaan jembatan busur rangka baja. Sumber literatur berupa jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, tesis, disertasi, majalah, dokumen pemerintah, dan media cetak maupun elektronik.

3.4 Preliminary Design

3.4.1 Mendesain Lay Out Awal Jembatan

Pola penetapan tata-letak (*Layout*) yang telah diaplikasikan sangat sesuai. Karena dalam menentukan *lay out* jembatan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Dipilih lintasan yang sempit dan stabil.
2. Aliran air yang lurus.
3. Tebing tepian yang cukup tinggi dan stabil.
4. Kondisi tanah dasar yang baik.
5. Sumbu sungai dan sumbu jembatan diusahakan tegak lurus.
6. Rintangan minimum pada *waterway*.
7. Dipilih lokasi yang tidak memerlukan perlindungan profil.
8. Diusahakan sesedikit mungkin pekerjaan di bawah air.
9. Dipilih free board yang cukup besar.
10. Approach yang lurus dan kuat.

3.4.2 Menentukan Dimensi Jembatan Busur

Pada perencanaan ulang jembatan ini terdiri dari 3 bentang yaitu 1 bentang dengan panjang 280 meter menggunakan rangka busur dan bagian pendekat jembatan sisi kiri dan kanan dengan bentang 60 meter. Tipe jembatan yang direncanakan adalah rangka busur tipe *A Half-Through Arch*.

Dalam penentuan dimensi Rangka Busur yang perlu diperhatikan adalah:

1. Tinggi Busur.

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \text{ didapatkan nilai "f"} \quad (3.1)$$

Dimana: f = Tinggi Busur
 L = Bentang Busur

2. Panjang Panel.

$$s < \frac{1}{15} L \quad (3.2)$$

Dimana: s = Panjang Panel
 L = Bentang Busur

3. Tinggi Tampang Busur untuk Rangka

Rangka batang dengan batang tarik tidak dipengaruhi kekakuan batang tarik

$$\frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \text{ didapatkan nilai "t"} \quad (3.3)$$

Dimana: t = Tinggi Tampang
 L = Bentang Busur

4. Lebar Jembatan

Lebar yang dimaksud adalah jarak perletakan kiri-kanan terhadap besar bentang:

$$\frac{b}{L} \geq \frac{1}{20} \text{ didapatkan nilai "b"} \quad (3.4)$$

Dimana: b = Lebar Jembatan
 L = Bentang Busur

Dimensi dari komponen struktur ditentukan berdasarkan ketentuan BMS maupun peraturan lain atau berdasarkan

peraturan umum. Berikut data modifikasi dan gambar perencanaan jembatan Mahakam (Gambar 3.5 dan 3.6) :

Tipe Jembatan : Jembatan Busur Rangka Baja

Panjang Jembatan : 400 meter (1x280 m Rangka Busur sebagai Jembatan Utama + 2x60 m Rangka Atas sebagai Pendekat).

Lebar Jembatan : 15 meter

Tinggi Tampang : 8 meter

Tinggi Bebas : 22 meter

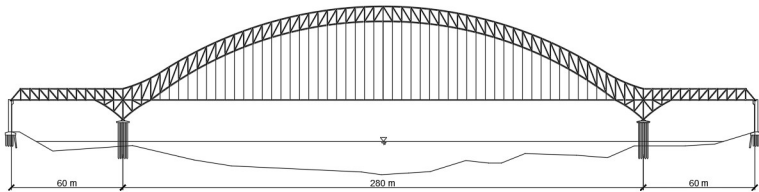
Struktur Utama

Mutu Baja : BJ 55

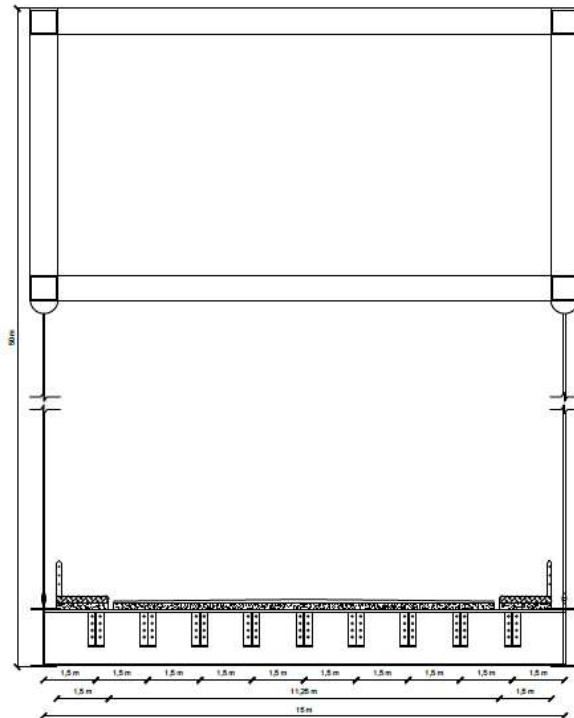
Kuat Leleh (f_y) : 410 MPa

Kuat Putus (f_u) : 550 MPa

Lebar Trotoar : 2 x 1,5 meter



Gambar 3.5 Tampak Memanjang Jembatan Modifikasi Mahakam



Gambar 3.6 Potongan Melintang Jembatan Modifikasi Mahakam

3.5 Pembebanan

Setiap elemen dari jembatan memiliki fungsinya masing-masing dimana elemen-elemen tersebut menahan beban-beban yang terjadi pada suatu konstruksi jembatan. Standar acuan yang dipakai dalam studi ini adalah SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. Jenis pembebanan yang perlu ditinjau antara lain:

- Beban mati
- Beban lajur BTR

- Beban hidup BGT
- Beban hidup truk T
- Koefisien Pembebanan
- Beban angin rangka
- Beban gempa

3.6 Permodelan dan Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan untuk mendapatkan gaya dalam yang kemudian digunakan untuk merancang elemen dan sambungan profil baja. Gaya dalam akibat beban gravitasi pada elemen struktur sekunder didapatkan melalui Analisis mekanika dan bahan sesuai standar yang ada. Sedangkan gaya dalam pada elemen struktur primer akibat kombinasi beban gravitasi dan gempa didapatkan dengan program bantu Midas Civil.

3.7 Perencanaan Struktur Atas Jembatan Busur

Bangunan atas merupakan bangunan yang melayani beban layan. Bangunan tersebut meliputi:

- Tiang Sandaran dan Trotoar
- Plat Lantai Kendaraan
- Gelagar Memanjang dan Gelagar Melintang
- Penggantung Lantai Kendaraan (Batang Tarik)
- Rangka Utama
- Ikatan Lateral

3.8 Kontrol Kekuatan Elemen

Setelah perhitungan gaya dalam dilakukan, dilanjutkan dengan perhitungan Kontrol kekuatan elemen sesuai peraturan. Kontrol yang digunakan antara lain:

- Kontrol kapasitas tekan
- Kontrol kapasitas tarik
- Kontrol tekuk lokal
- Kontrol tekuk lateral
- Kontrol kapasitas lentur
- Kontrol kapasitas geser
- Kontrol sambungan
- Perhitungan perletakan

3.9 Perencanaan Sambungan

Sambungan yang akan dipakai dalam perencanaan ini antara lain:

- Sambungan Las
- Sambungan Baut Mutu Tinggi

3.10 Perencanaan Perletakan Jembatan

Untuk perencanaan ini dipilih perletakan tipe *Pot Bearing*, yaitu struktur yang terdiri dari piston baja menumpu pada cakram elastomer yang “terkurung” dalam pot/ silinder baja.

3.11 Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

Merencanakan dimensi elemen struktur bawah jembatan yang mencakup *abutment* dan pondasi dengan data tanah

yang telah tersedia. Perencanaan yang harus didapatkan meliputi,

- Perhitungan daya dukung pondasi tiang tunggal
- Perhitungan daya dukung pondasi tiang grup
- Perhitungan jarak pondasi tiang pancang grup
- Perencanaan tebal poer

3.12 Analisis Konstruksi Pelaksanaan (Staging Analysis)

Metode pelaksanaan jembatan busur menggunakan sistem *cantilever* sebagian dengan bantuan *temporary tower* sebagai penahan rangka busur yang dihubungkan dengan kabel-kabel penahan.

Pemasangan rangka busur dilakukan per segmen yang dilakukan dari sisi tumpuan menuju puncak untuk melakukan penutupan batang (*closure*). Dimana pada saat penutupan batang harus memperhatikan temperatur agar susut atau muai yang terjadi sesuai dengan yang direncanakan.

Setelah semua rangka baja busur terbentuk, dilakukan pemasangan *hanger* dan gelagar melintang untuk menahan lantai kendaraan. Pekerjaan lantai kendaraan menggunakan alat berat *crane* dilakukan per segmen. Untuk lebih jelasnya pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Metode *Balance Cantilever* (Wong, 2012)

3.13 Pengecekan Pembebanan Tak Terduga (Accidental Load)

Accidental load merupakan beban tambahan yang tak terduga diperhitungkan saat jembatan mengalami kerusakan. Pada pengecekan ini accidental load yang ditinjau adalah putusnya kabel penggantung di bagian tengah bentang.

Tujuan dari pengecekan accidental load ini adalah untuk mengetahui kemampuan struktur bila terjadi komponen elemen yang mengalami kerusakan akibat beban yang tak terduga. Sehingga memberi waktu untuk melakukan perbaikan jembatan oleh pihak yang terkait.

3.14 Hasil dan Pembahasan

Dalam tahap ini *output* dari Analisis struktur yang menggunakan *software* Midas Civil akan dianalisis dan akan dilakukan pembahasan terhadap data dan hasil perhitungan.

Penggambaran merupakan *output* terakhir dari analisis struktur yang telah dilakukan. Gambar yang dihasilkan antara lain: Denah, Tampak, Potongan, Detail. Penggambaran hasil desain Jembatan Mahakam ini menggunakan program bantu AutoCAD.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PRELIMINARY DESIGN

Sebelum melakukan perhitungan struktur sekunder perlu dilakukan perkiraan dimensi awal berdasarkan referensi yang diperlukan dengan menyesuaikan pada data yang sudah ada. *Preliminary design* diperlukan untuk memperkirakan geometri busur, dimensi gelagar, dan kabel yang kemudian dimodelkan pada program analisis struktur. Jika ternyata di dalam analisis perkiraan desain tidak memenuhi syarat, maka perlu dilakukan perubahan dan optimalisasi.

4.1 Geometri Busur

- Tinggi Busur

Syarat:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad (4.1)$$

Dimana:

f : tinggi busur

L : bentang busur

Dicoba tinggi busur 50 meter, maka:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{50}{280} \leq \frac{1}{5} \rightarrow 0,167 \leq 0,178 \leq 0,200 \rightarrow (\text{OK})$$

- Panjang Segmen

Syarat:

$$S \leq \frac{L}{15}$$

Dicoba panjang segmen 5 meter, maka:

$$5 \leq \frac{280}{15} \rightarrow 5 \leq 18,67 \rightarrow (\text{OK})$$

- Tinggi Tampang Busur (Rangka Batang)

Syarat:

$$\frac{1}{40} \leq \frac{T}{L} \leq \frac{1}{25}$$

Dimana:

T : tinggi tampang busur

L : bentang busur

Dicoba tampang busur 8 meter, maka:

$$\frac{1}{40} \leq \frac{8}{280} \leq \frac{1}{25} \rightarrow 0,025 \leq 0,0285 \leq 0,04 \rightarrow (\text{OK})$$

- Lebar Jembatan

Lebar yang dimaksud adalah jarak perletakan kiri-kanan paling luar terhadap besar bentang.

Syarat:

$$\frac{B}{L} \geq \frac{1}{20}$$

Dimana:

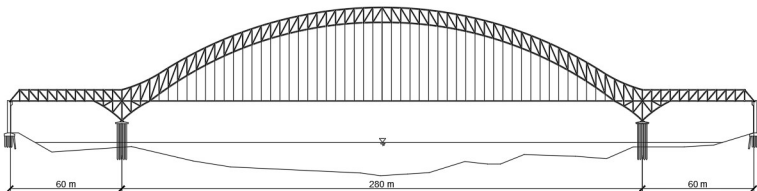
B : lebar jembatan

L : bentang busur

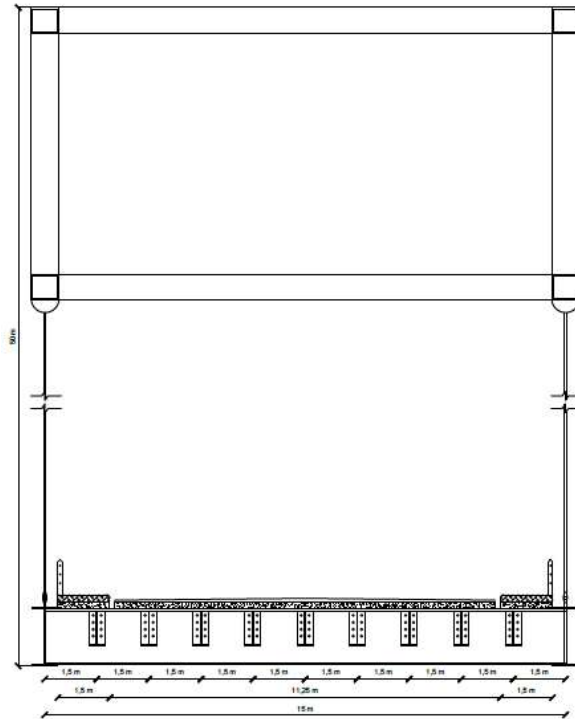
Dicoba lebar jembatan 15 meter, maka:

$$\frac{15}{280} \geq \frac{1}{20} \rightarrow 0,054 \geq 0,05 \rightarrow (\text{OK})$$

Berikut Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 ilustrasi jembatan arah memanjang dan arah melintang berdasarkan hasil persyaratan geometri busur.



Gambar 4.1 Arah Memanjang Jembatan



Gambar 4.2 Arah Melintang Jembatan

4.2 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Jarak antar gelagar memanjang adalah 1,5 m, maka:

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq 100 + 40 b_1$$

$$t_s \geq 100 + 40 (1,5)$$

$$t_s \geq 160 \text{ mm}$$

Digunakan plat beton dengan tebal 25 cm.

4.3 Perencanaan Kerb

Direncanakan, $h = 20$ cm dengan tulangan $\text{Ø}12-100$ dan tulangan susut $\text{Ø}8-100$.

4.4 Perencanaan Sandaran

Direncanakan, tebal plat kolom sandaran 3cm dan pipa sandaran 3Ø4 inchi.

4.5 Perencanaan Gelagar

Perencanaan gelagar jembatan ini menggunakan profil baja dengan mutu BJ 55, dengan ketentuan sebagai berikut:

- Tegangan leleh : $f_y = 410$ MPa
- Tegangan Ultimate : $f_u = 550$ MPa
- Modulus Elastisitas : $E = 200000$ MPa
- Jarak Gelagar Memanjang : 1,5 m
- Jarak Gelagar Melintang : 5 m
- Panjang Panel : 5 m

4.6 Perencanaan Penggantung

Panjang dari penggantung dicari dengan menggunakan pendekatan persamaan sumbu geometri busur.

$$Y_n = \frac{4.f.x.(L-x)}{L^2}$$

Pada Tabel 4.1 hasil panjang penggantung dengan tinjauan $\frac{1}{2}$ bentang. Penggantung menggunakan profil kabel Macalloy M76 ($\text{Ø} 72\text{mm}$).

Tabel 4.1 Panjang Kabel Penggantung

Titik	Panjang (m)	Titik	Panjang (m)
1	3.51	15	39.22
2	6.89	16	40.82
3	10.14	17	42.28
4	13.27	18	43.62
5	16.26	19	44.83
6	19.13	20	45.92
7	21.88	21	46.88
8	24.49	22	47.70
9	26.98	23	48.41
10	29.34	24	48.98
11	31.57	25	49.43
12	33.67	26	49.74
13	35.65	27	49.94
14	37.50	28	50.00

4.7 Perencanaan Rangka Jembatan

Untuk perencanaan ini harus dianalisis terlebih dahulu, sehingga kebutuhan profil sesuai dengan gaya aksial yang bekerja pada rangka busur jembatan.

4.8 Perencanaan Ikatan Jembatan

Perencanaan ini merupakan struktur untuk memperkuat dari struktur utama yang berfungsi untuk memberikan stabilitas terhadap jembatan.

Pada preliminary design digunakan:

- Ikatan Angin Busur Atas
WF 400x400x45x70
- Ikatan Angin Busur Bawah
WF 400x400x45x70
- Ikatan Angin Lantai Kendaraan
WF 350x350x7x11
- Ikatan Silang Rangka
WF 400x400x30x50

BAB V

PERENCANAAN PELAT LANTAI, TROTOAR, DAN GELAGAR JEMBATAN

5.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan panjang 5 m dan lebar 1,5 m. berdasarkan RSNI T-12-2004 persyaratan tebal pelat (d_3) dan tebal aspal (d_4) dapat dihitung dengan perumusan di bawah ini:

Ditentukan jarak antar balok memanjang (b_1) = 1,5 m

$$d_3 \geq 100 + 40 b_1 \text{ atau } d_3 \geq 200 \text{ mm}$$

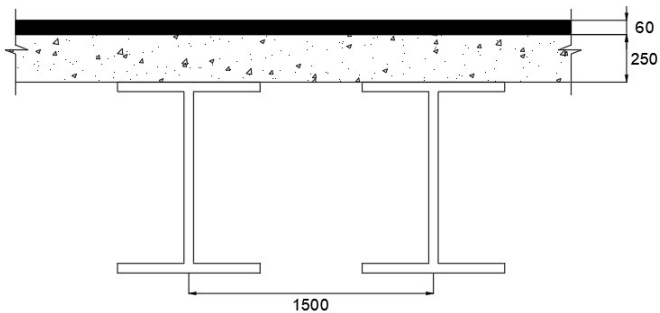
$$d_3 \geq 100 + 40 (1,5)$$

$$d_3 \geq 160 \text{ mm}$$

Dari syarat-syarat di atas maka diambil tebal pelat lantai kendaraan sebesar $d_3 = 250$ mm, sedangkan untuk perencanaan tebal aspal berdasarkan RSNI T-12-2004 dapat dilihat sebagai berikut:

$$d_4 \geq 5-8 \text{ cm}$$

Dari syarat di atas maka diambil tebal aspal sebesar 60 mm. Sketsa pelat lantai kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Pelat Lantai Kendaraan

5.1.1 Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Pembebanan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai dengan SNI 1725:2016.

- γ_{beton} = 24 kN/m³
= 2400 kg/m³
- γ_{aspal} = 22 kN/m³
= 2200 kg/m³
- w bondeks = 10,1 kg/m²
= 0,1 kN/m²
- Faktor beban γ_{MS}^U (beton cor ditempat) = 1,3
- Faktor beban γ_{MS}^U (baja) = 1,1
- Faktor beban truk γ_{TT}^U = 2

a. Perhitungan beban mati:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= d3 \times \gamma_{\text{beton}} \times \gamma_{MS}^U \\ &= 0,25\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 1,3 \\ &= 7,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri aspal} &= d4 \times \gamma_{\text{aspal}} \times \gamma_{MS}^U \\ &= 0,06\text{m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 1,3 \\ &= 1,72 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat bondeks} &= w \text{ bondeks} \times \gamma_{MS}^U \\ &= 0,1 \times 1,1 \\ &= 0,11 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

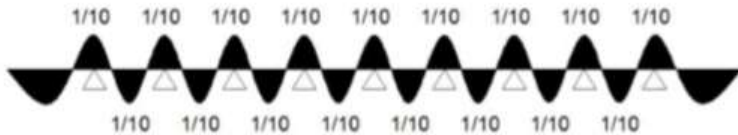
$$\begin{aligned} q_{\text{mati}} &= \text{pelat} + \text{aspal} + \text{bondeks} \\ &= 7,8 + 1,72 + 0,11 \\ &= 9,63 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan beban hidup:

$$\begin{aligned} \text{Beban roda truk} &= 112,5 \text{ kN} \\ \text{Faktor Beban Dinamis} &= 0,3 \text{ (pasal 8.6)} \\ T_{\text{FBD}} &= (1+0,3) \times 112,5 \\ &= 146,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{ult} &= \gamma_{TT}^U \times T_{FBD} \\
 &= 2 \times 146,25 \\
 &= 292,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.1.2 Perhitungan Momen Arah Melintang



Gambar 5.2 Distribusi Momen Balok Menerus

Perhitungan momen arah melintang akibat beban mati dan beban hidup berupa beban truk terdistribusi seperti Gambar 5.2, untuk perhitungan dapat dilihat sebagai berikut:

- Perhitungan momen akibat beban mati:

$$\begin{aligned}
 M_D &= 1/10 \times q_{\text{mati}} \times (b_1)^2 \\
 &= 1/10 \times 9,63 \times 1,5^2 \\
 &= 2,167 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban hidup:

$$\begin{aligned}
 M_L &= 0,8 \times \frac{s + 0,6}{10} \times T_{ult}, \text{ dimana } s = b_1 \\
 &= 0,8 \times \frac{1,5 + 0,6}{10} \times 292,5 \\
 &= 49,14 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Momen Total:

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_D + M_L \\
 &= 2,167 + 49,14 \\
 &= 51,307 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

5.1.3 Perhitungan Penulangan Pelat

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut adalah perencanaannya (SNI 2847:2013):

- Tipe Pelat

$$\frac{ly}{lx} = \frac{5}{1,5} = 3,33 > 2 \text{ (Pelat Satu Arah)}$$

- Data Perencanaan

Mutu Beton ($f'c$)	= 35 MPa
Mutu Baja (f_y)	= 390 MPa
Tebal Pelat (h)	= 250 mm
Selimut Beton (cover)	= 40 mm
Tulangan Lentur Arah x	= D16
Tulangan Lentur Arah y	= -
Tulangan Susut	= $\emptyset 10$

- Beban

$$\begin{aligned} Mu &= 51,307 \text{ kNm} \\ &= 51307000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Tulangan Melintang Tumpuan Arah x

Diasumsikan menggunakan tulangan D16 ($A_s = 201,06 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} d &= h - \text{cover} - \frac{1}{2}(db) \\ &= 250 - 40 - \frac{1}{2}(16) \\ &= 202 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

dimana $\phi = 0,8$ (RSNI T-12-2004 Pasal 4.5.2)

$$\begin{aligned} &= \frac{51307000}{0,8} \\ &= 64133750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{64133750}{1000 \cdot 202^2} \\
 &= 1,572 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f'c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 35}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,572}{0,85 \cdot 35}}\right) \\
 &= 0,0041 \\
 \rho_{\text{max}} &= 0,025 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.1)} \\
 \rho_{\text{min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} \\
 &= 0,00379 \\
 \rho_{\text{pakai}} &= 0,0041 \\
 A_{S\text{perlu}} &= \rho_{\text{bd}} \\
 &= 0,0041 \cdot 1000 \cdot 202 \\
 &= 808 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s1\text{ tul}}} \\
 &= \frac{808}{201,06} \\
 &= 4,02 \approx 5 \\
 S_{\text{pakai}} &= \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{5-1} = 250 \text{ mm} \\
 \text{Syarat:} \\
 S_{\text{min}} &= 3d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \\
 S_{\text{max}} &= 3h = 3 \cdot 250 = 750 \text{ mm} \\
 S_{\text{pasang}} &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan D16-250 mm, karena digunakan bondek maka tulangan lentur positif tidak perlu dipasang.

- Tulangan Memanjang Arah y

Karena lantai kendaraan merupakan pelat 1 arah, maka tulangan arah memanjang digunakan tulangan susut.

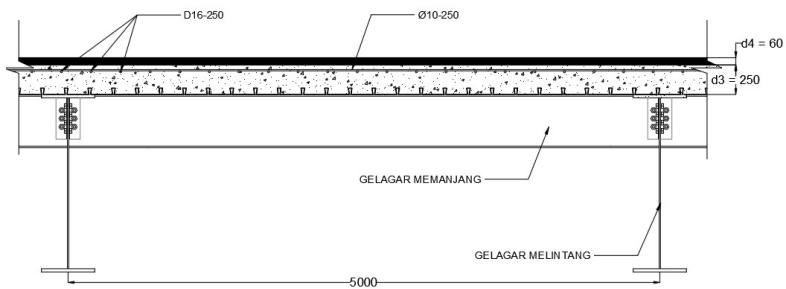
$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= 0,0018 \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 202 \\
 &= 363,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Diasumsikan menggunakan tulangan $\text{Ø}10$ ($A_s = 78,54 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ 1 tul}} \\
 &= \frac{363,6}{78,54} \\
 &= 4,63 \approx 5
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = \frac{1000}{n-1} = \frac{1000}{5-1} = 250 \text{ mm}$$

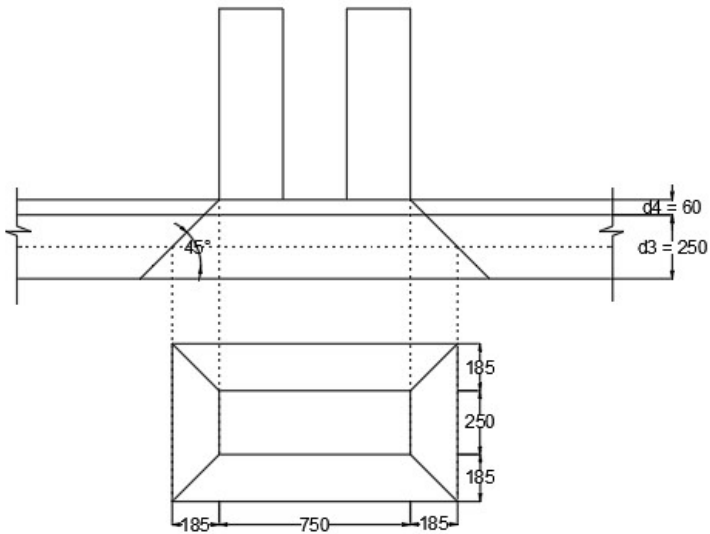
Maka digunakan tulangan $\text{Ø}10\text{-}250 \text{ mm}$. Sketsa penulangan dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Gambar Penulangan Pelat

5.1.4 Kontrol Geser Pons

Perhitungan penulangan geser (*pons*) untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan ukuran roda truk seperti pada Gambar 5.4, sedangkan untuk kemiringan sudut geser *pons* diambil sebesar 45° , d_3 adalah tebal pelat = 25 cm. Analisis penulangan geser pelat dihitung sebagai berikut:



Gambar 5.4 Ilustrasi Geser *Pons* pada Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 750 + 2(d_3/2) + 2(d_4) \\
 &= 750 + 2(250/2) + 2(60) \\
 &= 1120 \text{ mm} \\
 d_0 &= 250 + 2(d_3/2) + 2(d_4) \\
 &= 250 + 2(250/2) + 2(60) \\
 &= 620 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Keliling kritis (U),

$$\begin{aligned}
 U &= 2(b_0 + d_0) \\
 &= 2(1120 + 620) \\
 &= 3480 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kekuatan geser akibat truk,

$$\begin{aligned}
 V_u &= 112,5 \cdot \gamma_{TT}^U (1+FBD) \\
 &= 112,5 \cdot 2(1+0,3) \\
 &= 292,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kemampuan Geser,

$$V_n = U \cdot d (f_{cv} + 0,3f_{pe}) \text{ (RSNI T-12-2004 Pasal 5.6.2)}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} f_{cv} &= \frac{1}{6} + \left(1 + \frac{2}{\beta h}\right) \sqrt{f'c} \leq 0,34\sqrt{f'c} \\ &= \frac{1}{6} + \left(1 + \frac{2}{3}\right) \sqrt{35} \leq 0,34\sqrt{35} \\ &= 1,64 \leq 2,01 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$f_{pe} = 0 \text{ (Tidak prestress)}$$

$$\begin{aligned} V_n &= U \cdot d (f_{cv} + 0,3f_{pe}) \\ &= 3480 \cdot 250 (1,64 + 0) \\ &= 1426800 \text{ N} \\ &= 1426,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi = 0,8 \text{ (faktor reduksi kekuatan geser)}$$

$$(0,8) 1426,8 \geq 292,5$$

$$1141,44 \geq 292,5 \quad (\text{OK})$$

Dari hasil perhitungan, maka didapatkan bahwa besarnya adalah $\phi V_n \geq V_u$, maka pelat lantai kendaraan sudah cukup kuat untuk menerima beban roda truk terpusat pada tengah bentang lantai kendaraan.

5.2 Perencanaan Trotoar

5.2.1 Perencanaan Sandaran

Berikut adalah data perencanaan pipa sandaran *railing* seperti pada Gambar 5.5.

$$\phi \text{ Pipa Sandaran} = 3 \text{ inch} = 76,3 \text{ mm}$$

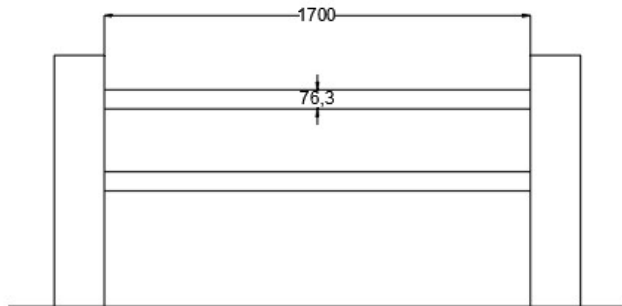
$$q \text{ pipa} = 7,13 \text{ kg/m}$$

$$I \text{ pipa} = 59,5 \text{ cm}^4$$

$$W \text{ pipa} = 15,6 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 8,58 \text{ cm}^3$$

$$\text{Beban Tiang Sandaran} = 0,75 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.5 Pipa Sandaran *Railing*

$$\begin{aligned}
 q \text{ sandaran} &= 0,75 \text{ kN/m} \\
 q \text{ vertikal} &= q \text{ pipa} + q \text{ sandaran} \\
 &= 0,071 \text{ kN/m} + 0,75 \text{ kN/m} \\
 &= 0,821 \text{ kN/m} \\
 q \text{ horizontal} &= q \text{ sandaran} \\
 &= 0,75 \text{ kN/m} \\
 M \text{ vertikal} &= 1/8 \cdot q \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 0,821 \cdot 1,7^2 \\
 &= 0,29 \text{ kNm} \\
 M \text{ horizontal} &= 1/8 \cdot q \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 0,75 \cdot 1,7^2 \\
 &= 0,27 \text{ kNm} \\
 \text{Kontrol kekuatan pipa:} \\
 Mn &= Zx \cdot fy \\
 &= 8,58 \cdot 3600 \\
 &= 30888 \text{ kgcm} \\
 &= 3,08 \text{ kNm} \\
 \text{\textcircled{O}}Mn &= 0,9 \cdot Mn \\
 &= 0,9 \cdot 3,08 \\
 &= 2,772 \text{ kNm} \\
 \text{Rasio momen:} \\
 \frac{Mv}{Mn} &= \frac{0,29}{2,772} = 0,1
 \end{aligned}$$

$$\frac{Mh}{Mn} = \frac{0,27}{2,772} = 0,09$$

$$0,1 + 0,09 = 0,19 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

Lendutan yang terjadi pada pipa:

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{300} = \frac{170}{300} = 0,56 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{vertikal}} &= \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{5 \cdot 0,82 \cdot 1,7^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 71,5} \\ &= 0,06 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{horizontal}} &= \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{5 \cdot 0,75 \cdot 1,7^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 71,5} \\ &= 0,05 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{resultan}} &= \sqrt{\Delta v^2 + \Delta h^2} \\ &= \sqrt{0,06^2 + 0,05^2} = 0,07 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{resultan}} < \Delta_{\text{ijin}}$$

$$0,07 \text{ cm} < 0,56 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

5.2.2 Perencanaan Kolom Sandaran

1. Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri kolom} &= b \cdot h \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton}} \\ &= 0,3 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 2400 \\ &= 216 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa sandaran} &= n \text{ pipa} \cdot q \text{ pipa} \cdot \text{jarak kolom} \\ &= 2 \cdot 7,13 \cdot 1,7 \\ &= 24,242 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_D &= \text{Berat sendiri kolom} + \text{Berat pipa sandaran} \\ &= 216 + 24,242 = 240,242 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_D &= P_D \cdot b/2 \\ &= 240,242 \cdot 0,3/2 \\ &= 36,03 \text{ kgm} \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

$$\begin{aligned}
 q_L &= 75 \text{ kg/m} \\
 P_L &= q_L \cdot L \\
 &= 75 \cdot 1,7 = 127,5 \text{ kg} \\
 M_L &= P_L \cdot \text{tinggi kolom} \\
 &= 127,5 \cdot 1 = 127,5 \text{ kgm} \\
 P_U &= 1,2 P_D + 1,6 P_L \\
 &= 1,2 (240,242) + 1,6 (127,5) \\
 &= 492,29 \text{ kg} = 4922,9 \text{ N} \\
 M_U &= 1,2 M_D + 1,6 M_L \\
 &= 1,2 (36,03) + 1,6 (127,5) \\
 &= 247,236 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

3. Penulangan Kolom

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_U}{\phi} \\
 &= \frac{247,236}{0,8} \\
 &= 309,04 \text{ kgm} = 309,04 \cdot 10^4 \text{ Nmm} \\
 \frac{M_n}{b \cdot h^2} &= \frac{306,04 \cdot 10^4}{300 \cdot 300 \cdot 300} = 0,11 \text{ N/mm}^2 \\
 \frac{P_u}{b \cdot h} &= \frac{4922,9}{300 \cdot 300} = 0,05 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Dari grafik interaksi didapatkan : $\rho = 0,01$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \rightarrow d = b - \text{decking} - \phi \text{ tulangan} \\
 &= 300 - 20 - 12 = 268 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= 0,01 \cdot 300 \cdot 268 \\
 &= 804 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tuangan (n)} &= \frac{A_s}{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2} = \frac{804}{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2} \\
 &= 7,1 \approx 8
 \end{aligned}$$

Dipasang 8Ø12 \rightarrow As pasang = 904,7 mm²

4. Perencanaan Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} \cdot P_u \cdot L \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 4922,9 \cdot 1,2 = 2953,74 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 268 = 79275,5 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c = 0,6 \cdot 79275,5 = 47565,3 \text{ N}$$

Karena $V_u \leq \emptyset V_c$ (Maka tidak perlu tulangan geser)

Walaupun secara teoritis tidak perlu Senggang tetapi untuk kestabilan struktur dan peraturan mensyaratkan dipasang tulangan minimum (spasi maksimum).

$$S_{\text{maks}} = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \cdot 268 = 134 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak Senggang:

$$S = \frac{A_v \cdot f_y}{\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b}$$

$$S = \frac{157,08 \cdot 360}{\frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \cdot 300} = 95,5 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10 - 90 \text{ mm}$

5.2.3 Perencanaan Kerb

$$\text{Beban pejalan kaki} = 5 \text{ kPa} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Lebar trotoar} = 1,5 \text{ m}$$

Data perencanaan kerb:

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

$$d = 180 \text{ mm}$$

$$t = 200 \text{ mm}$$

$$\gamma_{\text{TP}}^u = 1,8$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 360 \text{ MPa (tulangan lentur)}$$

$$f_y = 360 \text{ MPa (tulangan susut)}$$

$$\emptyset t_l = 13 \text{ mm (tulangan lentur)}$$

$$\emptyset t_s = 6 \text{ mm (tulangan susut)}$$

Beban yang bekerja:

1. Akibat Beban Mati:
 q_{D1} (Berat Trotoar/Kerb)

$$\begin{aligned}
 q_{D1} &= 0,2 \cdot 1 \cdot 2400 = 480 \text{ kg/m} \\
 q_{D2} \text{ (Berat Pelat Beton)} & \\
 q_{D2} &= 0,25 \cdot 1 \cdot 2400 = 600 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2. Akibat Beban Hidup:

$$\begin{aligned}
 H_1 \text{ (beban pejalan kaki + kendaraan ringan)} & \\
 H_1 &= 500 \text{ kg/m} \\
 H_2 \text{ (beban tumbukan pada trotoar)} & \\
 H_2 &= 500 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Akibat Momen yang terjadi di titik A:

$$\begin{aligned}
 MP_1 &= 480 \cdot 1,5 \cdot 0,45 &= 324 \text{ kgm} \\
 MP_2 &= 480 \cdot 1,5 \cdot 0,45 &= 324 \text{ kgm} \\
 MH_1 &= 500 \cdot 1,5 \cdot 0,45 &= 337,5 \text{ kgm} \\
 MH_2 &= 500 \cdot 0,4 &= \underline{200 \text{ kg}} + \\
 M_{\text{Total}} (M_u) & &= 1.185,5 \text{ kgm} \\
 & &= 11,85 \times 10^6 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan tulangan Kerb:

$f'c$ beton = 35 MPa
 Menurut SNI 2847:2013, nilai β_1 untuk beton mutu lebih dari 30 MPa adalah:

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 8 \left(\frac{f'c - 30}{1000} \right) \\
 &= 0,85 - 8 \left(\frac{35 - 30}{1000} \right) = 0,81
 \end{aligned}$$

$$f_y \text{ tul.} = 360 \text{ MPa}$$

$$\text{Decking beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{\textcircled{O}} \text{ tulangan} = \text{\textcircled{O}} 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - (0,5 \cdot \text{\textcircled{O}} \text{ tulangan}) - \text{decking} \\
 &= 200 - (0,5 \times 13) - 40 \\
 &= 153,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \beta \times \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,81 \times \frac{0,85 \cdot 35}{360} \times \frac{600}{600 + 360} = 0,042
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \times 0,042 = 0,032 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{360} = 0,004 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \\
 &= \frac{360}{0,85 \cdot 35} = 12,101 \\
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{674,5 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 153,5^2} = 0,357 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\} \\
 &= \frac{1}{12,101} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,101 \times 0,357}{360}} \right\} \\
 &= 0,0009 \\
 \rho_{\text{pakai}} &= \rho_{\min} \\
 &= 0,004 \\
 A_s \text{ perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0004 \times 1000 \times 153,5 = 614 \text{ mm}^2 \\
 &\text{Dipasang tulangan } \phi 13\text{-}200 \text{ (} A_s \text{ pakai} = 664 \text{ mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

Cek kekuatan:

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \cdot f_y \cdot d \\
 &= 664 \times 360 \times 153,5 \\
 &= 36.692.640 \text{ Nmm} = 36,67 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 36,67 \\
 &= 33 \text{ kNm} \geq M_u = 11,85 \text{ kNm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Tulangan susut dipakai $\phi 6$

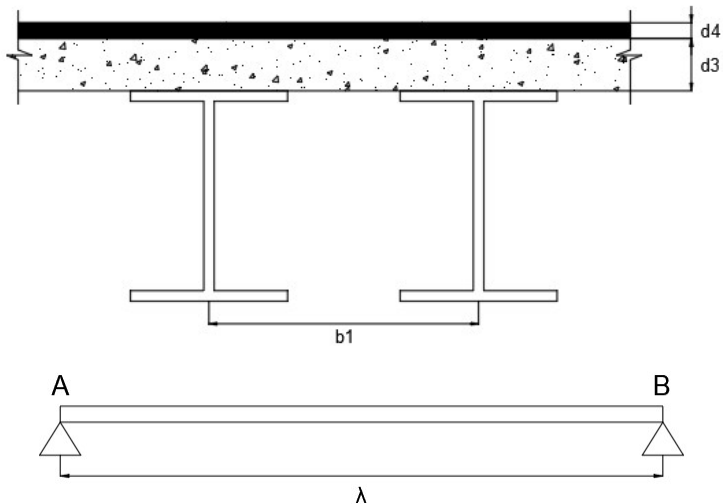
$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{tulangan}} - \phi_{\text{susut}}/2 \\
 &= 200 - 40 - 13 - 6/2 \\
 &= 144 \text{ mm} \\
 A_s \text{ perlu} &= 0,0018 \times b \times d \\
 &= 0,0018 \times 1000 \times 144
 \end{aligned}$$

$$= 259,2 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan $\text{Ø}6 - 100$ ($A_{s \text{ pakai}} = 283 \text{ mm}^2$)

5.3 Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan

Untuk perencanaan balok memanjang ini menggunakan baja mutu BJ 55, dengan ilustrasi seperti Gambar 5.6. Fungsi gelagar memanjang adalah untuk menyalurkan beban yang bekerja di atas lantai kendaraan menuju ke gelagar melintang dan selanjutnya ke pemikul yaitu rangka utama. Dalam proses perhitungan gelagar diasumsikan sebagai *simple beam* dengan tumpuan sendi-sendi.



Gambar 5.6 Permodelan Gelagar Memanjang

Direncanakan balok memanjang menggunakan profil WF 450x200x9x14 dengan data sebagai berikut:

$$W = 76 \text{ kg/m}$$

$$A = 96,76 \text{ cm}^2$$

$$b_f = 200 \text{ mm}$$

$$t_w = 9 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll}
 r = 18 \text{ mm} & I_x = 33500 \text{ cm}^4 \\
 h = 386 \text{ mm} & I_y = 1870 \text{ cm}^4 \\
 S_x = 1490 \text{ cm}^3 & i_x = 18,6 \text{ cm} \\
 S_y = 187 \text{ cm}^3 & i_y = 4,4 \text{ cm} \\
 Z_x = 1621 \text{ cm}^3 & L_p = 171,0363 \text{ cm} \\
 Z_y = 289 \text{ cm}^3 & L_r = 434,037 \text{ cm}
 \end{array}$$

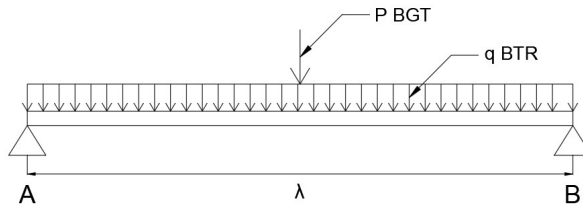
5.3.1 Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan

Pembebanan pada gelagar mengikuti SNI 1725:2016.

1. Beban Mati

$$\begin{array}{ll}
 \text{Pelat Beton} & = d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot b_1 \cdot \gamma_{MS}^U \\
 & = 0,25 \cdot 2400 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \\
 & = 1170 \text{ kg/m} \\
 \text{Aspal} & = d_4 \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot b_1 \cdot \gamma_{MS}^U \\
 & = 0,06 \cdot 2200 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \\
 & = 257,4 \text{ kg/m} \\
 \text{Bondeks} & = w_{\text{bondeks}} \cdot b_1 \cdot \gamma_{MS}^U \\
 & = 10,1 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \\
 & = 16,665 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat Sendiri} & = W_{\text{profil}} \cdot \gamma_{MS}^U \\
 & = 76 \cdot 1,1 \\
 & = 83,6 \text{ kg/m} \\
 q_D & = 1170 + 257,4 + 16,665 + 83,6 \\
 & = 1527,665 \text{ kg/m} \\
 M_D & = 1/8 \cdot q_D \cdot L^2 \\
 & = 1/8 \cdot 1527,665 \cdot 5^2 \\
 & = 4773,953 \text{ kgm}
 \end{array}$$

2. Beban Hidup



Gambar 5.7 Permodelan Beban Hidup BTR dan BGT

Beban hidup dibagi menjadi dua yaitu BTR (Beban Terbagi Rata) dan BGT (Beban Garis Terpusat) yang dimodelkan seperti pada Gambar 5.7.

- **Beban Terbagi Rata (BTR)**

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

Jika $L > 30 \text{ m}$: $q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$

$L = 280 \text{ m}$, maka nilai q :

$$q = 9,0 (0,5 + 15/280)$$

$$= 9,0 (0,554)$$

$$= 4,986 \text{ kPa}$$

$$= 4,986 \text{ kN/m}^2 = 498,6 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{BTR} = q \cdot b_l \cdot \gamma_{TD}^U$$

$$= 498,6 \cdot 1,5 \cdot 2$$

$$= 1495,8 \text{ kg/m}$$

- **Beban Garis Terpusat (BGT)**

Beban garis terpusat sebesar $P = 49 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m}$ ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan. Faktor Beban Dinamik (FBD) yang berlaku sesuai SNI 1725:2016 sebesar 30%.

$$P_{BGT} = P \cdot b_l \cdot (1 + \text{FBD}) \cdot \gamma_{TD}^U$$

$$= 4900 \cdot 1,5 \cdot (1 + 0,3) \cdot 2$$

$$= 19110 \text{ kg}$$

- **Momen Akibat Beban Hidup**

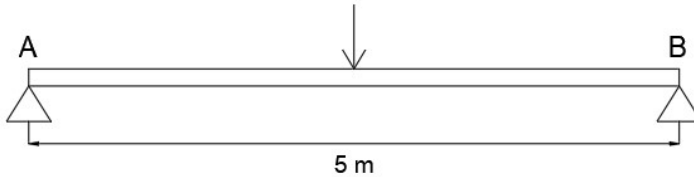
$$M_{L1} = (1/8 \cdot q_{BTR} \cdot \lambda^2) + (1/4 \cdot P_{BGT} \cdot \lambda)$$

$$= (1/8 \cdot 1495,8 \cdot 5^2) + (1/4 \cdot 19110 \cdot 5)$$

$$= 28561,875 \text{ kgm}$$

- Beban Truk “T”

Beban Truk “T” adalah sebesar $T = 112,5 \text{ kN} = 11250 \text{ kg}$ dengan Faktor Beban Dinamik (FBD) sebesar 30% sesuai dengan SNI 1725:2016 seperti pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Permodelan Beban Hidup Truk

$$\begin{aligned} M_{L2} &= T \cdot (1 + \text{FBD}) \cdot \frac{1}{4} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TT}^U \\ &= 11250 \cdot (1 + 0,3) \cdot \frac{1}{4} \cdot 5 \cdot 2 \\ &= 36562,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{L1} < M_{L2} \rightarrow M_L = M_{L2} = 36562,5 \text{ kgm}$$

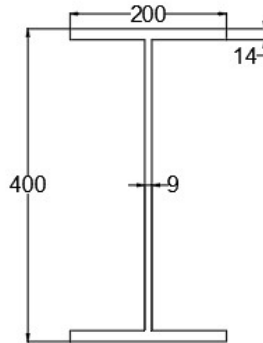
- Momen Total

Momen total adalah jumlah momen akibat beban mati dan beban hidup. Momen akibat beban hidup yang dipakai adalah momen yang memiliki nilai paling besar yaitu M_{L2} .

$$\begin{aligned} M_u &= M_D + M_{L2} \\ &= 4773,953 + 36562,5 \\ &= 41336,453 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5.3.2 Kontrol Profil Gelagar Memanjang

Dilakukan Analisis kekuatan terhadap profil seperti pada Gambar 5.9 yang telah ditentukan sesuai dengan SNI 1729:2015



Gambar 5.9 Penampang Gelagar Memanjang

1. Kontrol Momen Lentur

- Kontrol Tekuk Lokal

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{200}{2 \cdot 14} \leq \frac{170}{\sqrt{410}} \quad 7,14 \leq 8,39 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{386}{9} \leq \frac{1680}{\sqrt{410}} \quad 42,89 \leq 82,97 \text{ (OK)}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 1621 \cdot 4100 \\ &= 6646100 \text{ kgcm} = 66461 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 66461 \\ &= 59814,9 \text{ kgm} > M_u = 40605,2 \text{ kgm (OK)} \end{aligned}$$

- Kontrol Tekuk Lateral

$$\left. \begin{array}{l} L_b = 500 \text{ cm} \\ L_p = 171,0363 \text{ cm} \\ L_r = 434,0370 \text{ cm} \end{array} \right\} L_b > L_r, \text{ Bentang Panjang}$$

$$M_{cr} = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Dimana,

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} < 2,3$$

$$M_{max} = 40605,20 \text{ kgm}$$

$$M_a = 21272,85 \text{ kgm}$$

$$M_b = 40605,20 \text{ kgm}$$

$$M_c = 21272,85 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 (40605,20)}{2,5(40605,20) + 3(21272,85) + 4(40605,20) + 3(21272,85)} < 2,3$$

$$= 1,3 < 2,3 \text{ (OK)}$$

$$M_{cr} = 9626389,48 \text{ kgcm}$$

$$= 96263,89 \text{ kgm} > M_p = 66461 \text{ kgm}$$

Karena $M_{cr} > M_p$, maka digunakan $M_n = M_p$

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

$$= 0,9 \cdot 66461$$

$$= 59814,9 \text{ kgm} > M_u = 41336,453 \text{ kgm (OK)}$$

2. Kontrol Lendutan

- Lendutan Ijin

Syarat:

$$\Delta_{ijin} = \frac{1}{800} \lambda$$

$$= \frac{500}{800}$$

$$= 0,625 \text{ cm}$$

- Lendutan akibat BTR dan BGT

Untuk menghitung lendutan aktual, beban yang terjadi tanpa dikalikan dengan faktor beban.

$$q_{BTR} = q \cdot b1$$

$$= 498,6 \cdot 1,5$$

$$\begin{aligned}
 &= 747,9 \text{ kg/m} \\
 P_{\text{BGT}} &= P \cdot b1 \cdot (1+\text{FBD}) \\
 &= 4900 \cdot 1,5 \cdot (1+0,3) \\
 &= 9555 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_{(\text{BGT+BTR})} &= \frac{5}{384} \frac{q_{\text{BTR}} \cdot \lambda^4}{E \cdot I_x} + \frac{1}{48} \frac{P_{\text{BGT}} \cdot \lambda^3}{E \cdot I_x} \\
 &= \frac{5 \cdot 7,479 \cdot 500^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 33500} + \frac{1 \cdot 9555 \cdot 500^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 33500} \\
 &= 0,091 + 0,371 \\
 &= 0,462 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lentutan akibat Beban Truk “T”

Untuk menghitung lentutan aktual, beban yang terjadi tanpa dikalikan dengan faktor beban.

$$\begin{aligned}
 P &= T (1+\text{FBD}) \\
 &= 112,5 (1+0,3) \\
 &= 146,25 \text{ kN} = 14625 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_{(\text{T})} &= \frac{1}{48} \frac{P \cdot \lambda^3}{E \cdot I_x} \\
 &= \frac{1 \cdot 14625 \cdot 500^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 33500} \\
 &= 0,568 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Karena $\Delta_{(\text{BGT+BTR})} < \Delta_{(\text{T})}$, maka dipakai lentutan terbesar yaitu

$$\Delta = 0,568 \text{ cm}$$

$$\Delta \leq \Delta_{\text{ijin}}$$

$$0,568 \text{ cm} \leq 0,625 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

3. Kontrol Geser

- Beban BTR dan BGT

$$\begin{aligned}
 V_A &= (P_{\text{BGT}} \cdot 1) + (q_{\text{BTR}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \lambda) \\
 &= (19110 \cdot 1) + (1495,8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5) \\
 &= 22849,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban Truk

$$V_a = T (1+\text{FBD}) \gamma_{TT}^U$$

$$= 11250 (1,3)^2$$

$$= 29250 \text{ kg}$$

- Beban Mati

$$V_a = q_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

$$= 1527,665 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5$$

$$= 3819,2 \text{ kg}$$

- Akibat Beban BTR, BGT, dan Beban Mati

$$V_u = 22849,5 + 3819,2$$

$$= 26668,7 \text{ kg}$$

- Akibat Beban Truk “T” dan Beban Mati

$$V_u = 29250 + 3819,2$$

$$= 33069,2 \text{ kg (Menentukan!)}$$

Jadi nilai V_u yang digunakan adalah akibat beban Truk “T” dan Beban Mati sebesar 33069,2 kg.

- Kontrol Penampang

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{386}{9} \leq \frac{1100}{\sqrt{410}}$$

$$42,89 \leq 54,32 \quad (\text{OK})$$

Karena plastis maka, kuat geser nominal:

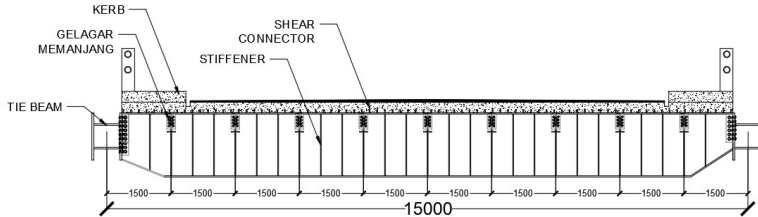
$$\phi V_n = 0,6 \cdot fy \cdot A_w$$

$$= 0,6 \cdot 4100 \cdot 38,6 \cdot 0,9$$

$$= 85460,4 \text{ kg} > V_u = 33069,2 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

5.4 Perencanaan Gelagar Melintang Jembatan

Untuk perencanaan balok melintang ini menggunakan baja mutu BJ 55, dengan ilustrasi seperti Gambar 5.10. Fungsi gelagar melintang adalah untuk menyalurkan beban dari gelagar memanjang menuju ke rangka utama. Dalam proses perhitungan gelagar diasumsikan sebagai *simple beam* dengan tumpuan sendi-sendi.



Gambar 5.10 Permodelan Gelagar Melintang

Direncanakan balok melintang menggunakan plate girder dengan spesifikasi seperti berikut:

$W = 311,174 \text{ kg/m}$	$S_y = 1890,5 \text{ cm}^3$
$bf = 450 \text{ mm}$	$Z_x = 23760 \text{ cm}^3$
$d = 1500 \text{ mm}$	$Z_y = 2871,1 \text{ cm}^3$
$A_s = 396,4 \text{ cm}^2$	$I_x = 1616149,9 \text{ cm}^4$
$tw = 10 \text{ mm}$	$I_y = 20020,367 \text{ cm}^4$
$tf = 28 \text{ mm}$	$i_x = 62,101 \text{ cm}$
$h = 1444 \text{ mm}$	$i_y = 7,669 \text{ cm}$
$S_x = 21548,6 \text{ cm}^3$	$a = 500 \text{ mm}$

5.4.1 Pembebanan Gelagar Melintang Jembatan

Pembebanan pada gelagar mengikuti SNI 1725:2016.

1. Sebelum Komposit

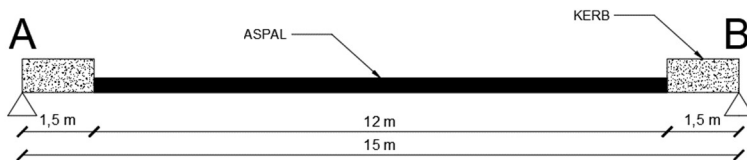
$$\begin{aligned} \text{Pelat Beton} &= d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\ &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \cdot 1,3 \\ &= 3900 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bondeks} &= w_{\text{bondeks}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\ &= 10,1 \cdot 5 \cdot 1,1 \\ &= 55,55 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gelagar} &= W \cdot \lambda/b_1 \cdot \gamma_{MS}^U \\ \text{Memanjang} &= 76 \cdot 5/1,5 \cdot 1,1 \\ &= 278,67 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Sendiri} &= W \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 311,174 \cdot 1,1 \\
 &= 342,29 \text{ kg/m} \\
 q_{D1} &= 3900 + 55,55 + 278,67 + 342,29 \\
 &= 4576,51 \text{ kg/m} \\
 M_{D1} &= 1/8 \cdot q_D \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 4576,51 \cdot 15^2 \\
 &= 128714,34 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Setelah Komposit



Gambar 5.11 Pembebanan Setelah Komposit

Beban mati yang bekerja setelah komposit adalah beban aspal dan kerb seperti pada Gambar 5.11. Beban hidup yang bekerja yaitu Beban Terbagi Rata (BTR), Beban Garis Terpusat (BGT), dan Beban Truk.

- Beban Mati

$$\begin{aligned}
 \text{Aspal} &= d_4 \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 0,06 \cdot 2200 \cdot 5 \cdot 1,3 \\
 &= 858 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kerb} &= t_{\text{kerb}} \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 0,2 \cdot 2400 \cdot 5 \cdot 1,3 \\
 &= 3120 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$\begin{aligned}
 R_A \cdot 15 &= (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 14,25) + (\text{Aspal} \cdot 12 \cdot 7,5) \\
 &\quad + (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 0,75)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_A \cdot 15 &= (3120 \cdot 1,5 \cdot 14,25) + (858 \cdot 12 \cdot 7,5) \\
 &\quad + (3120 \cdot 1,5 \cdot 0,75)
 \end{aligned}$$

$$R_A = 147420/15$$

$$R_A = 9828 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_{D2} &= (R_A \cdot 7,5) - (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 6,75) - (\text{Aspal} \cdot 6 \cdot 3) \\ &= (9828 \cdot 7,5) - (3120 \cdot 1,5 \cdot 6,75) - (858 \cdot 6 \cdot 3) \\ &= 26676 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- **Beban Hidup**

1. **Beban Terbagi Rata (BTR)**

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

Jika $L > 30 \text{ m}$: $q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$

$L = 280 \text{ m}$, maka nilai q :

$$\begin{aligned} q &= 9,0 (0,5 + 15/280) \\ &= 9,0 (0,554) \\ &= 4,986 \text{ kPa} \\ &= 4,986 \text{ kN/m}^2 = 498,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

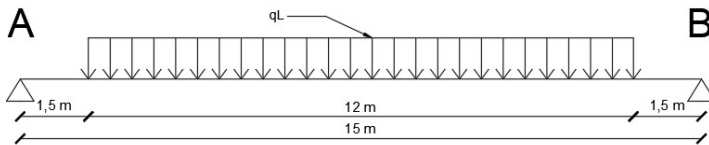
$$\begin{aligned} q_{\text{BTR}} &= q \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^U \\ &= 498,6 \cdot 5 \cdot 2 \\ &= 4986 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. **Beban Garis Terpusat (BGT)**

Beban garis terpusat sebesar $P = 49 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m}$ ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan. Faktor Beban Dinamik (FBD) yang berlaku sesuai SNI 1725:2016 sebesar 30%. Ilustrasi pembebanan BTR dan BGT dapat dilihat pada Gambar 5.12.

$$\begin{aligned} q_{\text{BGT}} &= P \cdot (1 + \text{FBD}) \cdot \gamma_{TD}^U \\ &= 4900 \cdot (1 + 0,3) \cdot 2 \\ &= 12740 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_L &= q_{\text{BTR}} + q_{\text{BGT}} \\ &= 4986 + 12740 \\ &= 17726 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 5.12 Pembebanan BTR dan BGT

3. Momen Akibat Beban Hidup

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \cdot 15 = q_L \cdot 12 \cdot 7,5$$

$$R_A = (17726 \cdot 12 \cdot 7,5) / 15$$

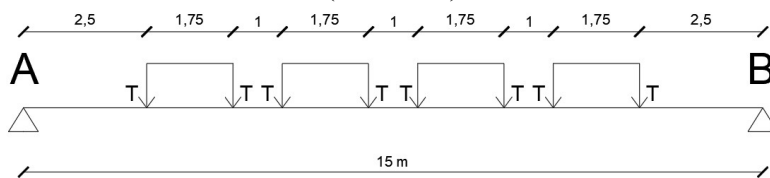
$$R_A = 106356 \text{ kg}$$

$$M_{L1} = (R_A \cdot 7,5) - (q_L \cdot 6 \cdot 3)$$

$$M_{L1} = (106356 \cdot 7,5) - (17726 \cdot 6 \cdot 3)$$

$$M_{L1} = 478602 \text{ kgm}$$

4. Beban Truk "T" (Kondisi 1)



Gambar 5.13 Pembebanan Truk Kondisi 1

Pembebanan kondisi 1 dimana tipe jembatan adalah Dua Arah, tanpa Median dan Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana adalah 4 lajur. Sehingga pembebanan menggunakan 4 truk sejajar alah melintang seperti pada Gambar 5.13.

$$T = 112,5 \text{ kN}$$

$$T_u = T(1 + \text{FBD}) \cdot \gamma_{TT}^U$$

$$= 112,5(1 + 0,3) \cdot 2$$

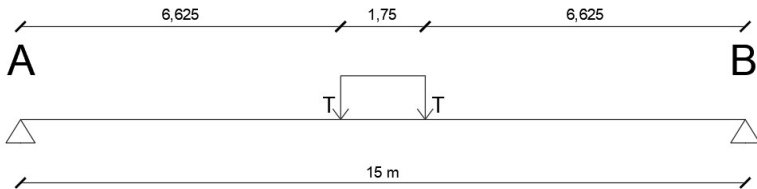
$$= 292,5 \text{ kN} = 29250 \text{ kg}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \cdot 15 = T_u (12,5 + 10,75 + 9,75 + 8 + 7 + 5,25 + 4,25 + 2,5)$$

$$R_A \cdot 15 = 29250(60)$$

$$\begin{aligned}
 R_A &= 117000 \text{ kg} \\
 M_{L2} &= (R_A \cdot 7) - 29250(4,5+2,75+1,75) \\
 &= (117000 \cdot 7) - 29250(9) \\
 &= 555750 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.14 Pembebanan Truk Kondisi 2

Pembebanan kondisi 2 dimana truk terletak tepat di tengah-tengah gelagar melintang. Sehingga pembebanan menggunakan 1 truk seperti pada Gambar 5.14

$$\begin{aligned}
 T &= 112,5 \text{ kN} \\
 T_u &= T(1+FBD) \cdot \gamma_{TT}^U \\
 &= 112,5(1+0,3) \cdot 2 \\
 &= 292,5 \text{ kN} = 29250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum M_B &= 0 \\
 R_A \cdot 15 &= T_u (8,375+6,625) \\
 R_A \cdot 15 &= 29250(15) \\
 R_A &= 29250 \text{ kg} \\
 M_{L3} &= (R_A \cdot 7,5) \\
 &= (29250 \cdot 7,5) \\
 &= 219375 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_{L2} < M_{L1} < M_{L3} \rightarrow M_L = M_{L2} = 555750 \text{ kgm}$$

5. Momen Total

Momen total adalah jumlah momen akibat beban mati dan beban hidup. Momen akibat beban hidup yang dipakai adalah momen yang memiliki nilai paling besar yaitu M_{L2} .

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_{D1} + M_{D2} + M_{L2} \\
 &= 128714,34 + 26676 + 555750 \\
 &= 711140,34 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

5.4.2 Kontrol Profil Gelagar Melintang

1. Ukuran Balok

- Tinggi Balok (d) dan Tebal Flange (tf)

$$d = \frac{L}{10} = \frac{15000}{10} = 1500 \text{ mm}$$

$$tf = 28 \text{ mm}$$

$$h = 1500 - 2(28) = 1444 \text{ mm}$$

- Tebal Web (tw)

Karena plate girder di desain menggunakan pengaku (a) dengan jarak 500 mm, maka:

$$\frac{a}{h} \leq 0,74$$

$$\frac{500}{1444} \leq 0,74 \rightarrow 0,346 \leq 0,74 \text{ (OK)}$$

Sehingga,

$$\frac{h}{tw} \leq 9,55 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1444}{tw} \leq 9,55 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$tw \geq 6,846 \rightarrow \text{Digunakan, } tw = 10 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$\frac{h}{tw} > (\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{fy}} = \frac{2550}{\sqrt{410}})$$

$$\frac{1444}{10} > 125,93 \rightarrow 144,4 > 125,93 \text{ (OK)}$$

- Ukuran Flange

$$Af = \frac{Mu}{fy \cdot h} = \frac{7111403400}{410 \cdot 1444} = 12011,69 \text{ mm}^2$$

Diambil ukuran pelat 28 x 450

$$Af_{\text{pakai}} \geq Af$$

$$28 \cdot 450 \geq 12011,69$$

$$12600 \geq 12011,69 \text{ (OK)}$$

2. Kontrol Kekuatan Lentur

- Tekuk Lokal

$$\lambda_G < \lambda_P$$

$$\frac{bf}{2t} < 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (\text{Tabel B4.1b})$$

$$\frac{450}{2(28)} < 0,38 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$8,03 < 8,39 \quad (\text{OK})$$

Penampang kompak, maka $f_{cr} = f_y = 410 \text{ MPa}$

- Tekuk Lateral

$$L = 1500 \text{ mm (jarak gelagar memanjang)}$$

$$A' = Af_{\text{pakai}} + \frac{1}{3} \cdot \frac{h}{2} \cdot tw$$

$$= 12600 + \frac{1444}{6} \cdot 10$$

$$= 15006,67 \text{ mm}^2$$

$$I_{y'y'} = \frac{1}{12} \cdot tf \cdot bf^3 + \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{h}{2} \cdot tw$$

$$= 212645055,6 \text{ mm}^4$$

$$r_t = \sqrt{\frac{I_{y'y'}}{A'}} = \sqrt{\frac{212645055,6}{15006,67}}$$

$$= 119,038 \text{ mm}$$

$$\lambda_G = \frac{L}{r_t} = \frac{1500}{119,038} = 12,601$$

$$\lambda_P = 1,76 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$= 1,76 \sqrt{\frac{200000}{410}} = 38,872$$

} $\lambda_G < \lambda_P$

Karena $\lambda_G < \lambda_P$, $\rightarrow f_{cr} = f_y = 410 \text{ MPa}$

- Momen Nominal

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 1444^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 450 \cdot 28^3 + 2 \cdot 28 \cdot 450 \cdot (0,5 \cdot 28 + 0,5 \cdot 1444)^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 16161499253 \text{ mm}^4 \\
 S_x &= \frac{I}{d/2} = \frac{16161499253}{1500/2} \\
 &= 21548665,67 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$R_{pg} = 1 - \left[\frac{a_w}{1200 + 300a_w} \right] \left[\frac{h}{tw} - 5,7 \sqrt{\frac{E}{fy}} \right],$$

$$\text{dimana ar} = \frac{h.tw}{bf.tf}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - \left[\frac{1,146}{1200 + 300(1,146)} \right] \left[\frac{1444}{10} - 5,7 \sqrt{\frac{200000}{410}} \right] \\
 &= 0,986
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= R_{pg} \cdot S_x \cdot fcr \\
 &= 0,986 \cdot 21548,66 \cdot 4100 \\
 &= 87138529,18 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varnothing Mn &= 0,9 \cdot 87138529,18 \\
 &= 78424676,3 \text{ kgcm} > Mu = 71114034 \text{ kgcm (OK)}
 \end{aligned}$$

3. Kontrol Kuat Geser

- Untuk beban mati setelah komposit.

$$\sum M_B = 0$$

$$\begin{aligned}
 V_{D2} \cdot 15 &= (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 14,25) + (\text{Aspal} \cdot 12 \cdot 7,5) \\
 &\quad + (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 0,75)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{D2} \cdot 15 &= (3120 \cdot 1,5 \cdot 14,25) + (858 \cdot 12 \cdot 7,5) \\
 &\quad + (3120 \cdot 1,5 \cdot 0,75)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{D2} &= 147420/15 \\
 &= 9828 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk beban hidup setelah komposit (Truk).

$$\sum M_B = 0$$

$$V_L \cdot 15 = Tu (12,5 + 10,75 + 9,75 + 8 + 7 + 5,25 + 4,25 + 2,5)$$

$$V_L \cdot 15 = 29250(60)$$

$$V_L = 117000 \text{ kg}$$

- Gaya Geser Total.

$$Vu = V_{D1} + V_{D2} + V_L$$

$$\begin{aligned}
 &= 34201,95 + 9828 + 117000 \\
 &= 161029,95 \text{ kg} = 1610299,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kuat Geser Nominal

$$a = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{1444}{10} = 144,4$$

$$\begin{aligned}
 k_v &= 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(500/1444)^2} \\
 &= 46,7
 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{fy}} \quad (\text{G2-3})$$

$$144,4 \leq 1,10 \sqrt{\frac{46,7 \cdot 200000}{46,7}}$$

$$144,4 \leq 166,03 \quad (\text{OK})$$

Sehingga,

$$V_n = 0,6 \cdot fy \cdot A_w \cdot C_v \quad (\text{G2-1})$$

Dimana, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \cdot 410 \cdot 10 \cdot 800 \\
 &= 1968000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \cdot 1968000 \\
 &= 1771200 \text{ N} > 1610299,5 \text{ N} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

4. Perencanaan Stiffener (Gambar 5.15)

Data Perencanaan:

$$R_n = 1610299,5 \text{ N}$$

$$d = 1,5 \text{ m} = 1500 \text{ mm}$$

$$h = 1,444 \text{ m} = 1444 \text{ mm}$$

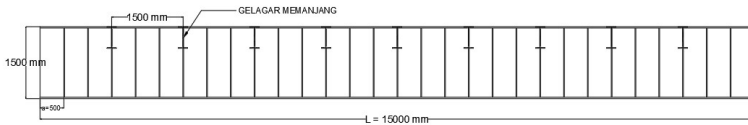
Digunakan tebal dan lebar *stiffener* sebagai berikut, ilustrasi *stiffener* gelagar melintang seperti pada Gambar 5.15.

$$t_s = 16 \text{ mm (tebal stiffener)}$$

$$b_s = 150 \text{ mm (lebar stiffener)}$$

Syarat,

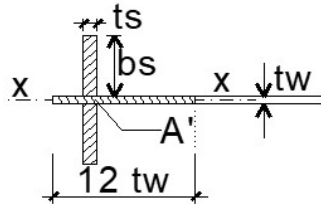
$$\begin{array}{rcl}
 ts & > \frac{tf}{2} & bs & > \frac{bf}{3} - \frac{tw}{2} \\
 16 & > \frac{28}{2} & 150 & > \frac{450}{3} - \frac{10}{2} \\
 16 & > 14 \text{ (OK)} & 150 & > 145 \text{ (OK)}
 \end{array}$$



Gambar 5.15 Perencanaan *Stiffener* pada Gelagar Melintang

Kontrol *Stiffener* sebagai Kolom (Gambar 5.16)

$$\begin{aligned}
 A' &= tw \cdot (12tw) + 2(ts \cdot bs) \\
 &= 10 \cdot (12 \cdot 10) + 2(16 \cdot 150) \\
 &= 6000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 5.16 *Stiffener* sebagai Kolom

$$\begin{aligned}
 I_{xx} &= \frac{1}{12} \cdot ts \cdot (2 \cdot bs + tw)^3 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 16 \cdot (2 \cdot 150 + 10)^3 \\
 &= 39721333,33 \text{ mm}^4 \\
 r_x &= \sqrt{\frac{I_{xx}}{A'}} = \sqrt{\frac{39721333,33}{6000}} = 81,36 \text{ mm} \\
 \lambda_c &= \frac{L_k}{\pi \cdot r_x} \sqrt{\frac{fy}{E}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,75 \cdot 1444}{\pi \cdot 81,36} \sqrt{\frac{410}{200000}}$$

$$= 0,192$$

Untuk $\lambda_c \leq 0,25 \rightarrow w = 1,0$

Syarat:

$$R_n \leq \phi \cdot A' \cdot \frac{f_y}{w}$$

$$1610299,5 \text{ N} \leq 0,85 \cdot 6000 \cdot 410/1$$

$$1610299,5 \text{ N} \leq 2091000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Dipasang Stiffener dengan tebal (t_s) = 16 mm, lebar (b_s) = 150 mm, dengan jarak (a) = 500 mm.

5. Kontrol Lendutan

- Lendutan Ijin

$$\Delta_{ijin} = \frac{1}{800} \lambda$$

$$= \frac{1500}{800}$$

$$= 1,875 \text{ cm}$$

- Lendutan akibat Beban Hidup (Truk)

Beton ditransformasikan ke baja

$$n = E_s/E_c \rightarrow E_c = 4700\sqrt{f'c}$$

$$= 200000/4700\sqrt{35}$$

$$= 7,55$$

$$b_{tr} = b_{eff}/n$$

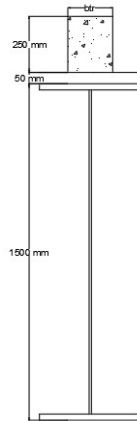
$$= 1500/7,55$$

$$= 198,67 \text{ mm}$$

$$A_{tr} = b_{tr} \cdot t_b$$

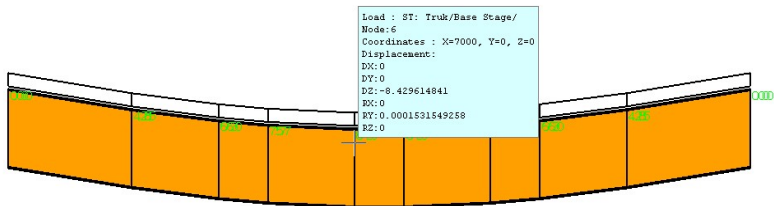
$$= 198,67 \cdot 250$$

$$= 49667,5 \text{ mm}^2$$



Gambar 5.17 Transformasi Pelat Beton

Dengan data diatas, dilakukan permodelan seperti pada Gambar 5.17, menggunakan program bantu untuk mengetahui lendutan akibat beban hidup yaitu truk pada kondisi 1. Didapatkan lendutan pada Gambar 5.18 seperti di bawah ini:



Gambar 5.18 Lendutan pada Gelagar Melintang

$$\Delta_T = 8,43 \text{ mm}$$

$$\Delta_T < \Delta_{ijin}$$

$$0,843 \text{ cm} < 1,875 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

6. Kontrol Momen Setelah Komposit

- Cek Kriteria Penampang

$$\frac{h}{tw} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1444}{10} \leq 3,76 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

144,4 > 82,97 → Penampang Tidak Kompak
Maka, kapasitas momen penampang harus dianalisis dengan distribusi tegangan elastis.

- Perhitungan Lebar Efektif Pelat (Gambar 5.19)

$$be_1 \leq S$$

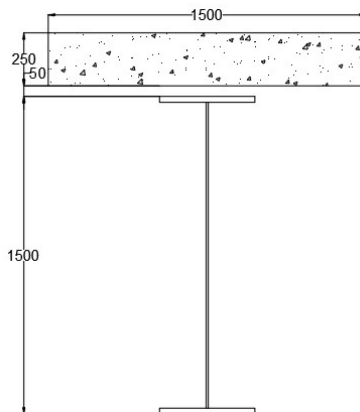
$$\leq 150 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq L/4$$

$$\leq 1500/4$$

$$\leq 375 \text{ cm}$$

$$be_{eff} = 150 \text{ cm}$$



Gambar 5.19 Permodelan Gelagar Komposit

- Letak Garis Netral

$$y_{na} = \frac{\frac{Atr \cdot tb}{2} + As \left(tb + \frac{h}{tw} \right)}{Atr + As}$$

$$= \frac{\frac{49667,5 \cdot 250}{2} + 396 \left(250 + \frac{1444}{10}\right)}{49667,5 + 39640}$$

$$= 244,576 \text{ mm}$$

- Momen Inersia Penampang Transformasi

$$I_{tr} = I_x + A_s \left[\left(\frac{D}{2} + tb \right) - y_{na} \right]^2 + \frac{b t r \cdot t b^3}{12} + A t r \left(y_{na} - \frac{t b}{2} \right)^2$$

$$= 16161499000 + 22621177240 + 258684895,5$$

$$+ 710166764,2$$

$$= 39751527900 \text{ mm}^4$$

- Modulus Penampang Transformasi

$$y_c = y_{na} = 244,576 \text{ mm}$$

$$y_t = D + t b - y_{na}$$

$$= 1500 + 250 - 244,576$$

$$= 1505,424 \text{ mm}$$

$$S_{trc} = \frac{I_{tr}}{y_c} = \frac{39751527900}{244,576} = 162532414,9 \text{ mm}^3$$

$$S_{trt} = \frac{I_{tr}}{y_t} = \frac{39751527900}{1505,424} = 26405536,18 \text{ mm}^3$$

- Momen Positif Penampang

Kapasitas momen positif penampang adalah nilai terkecil dari:

$$M_{nx1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot n \cdot S_{trc}$$

$$= 0,85 \cdot 35 \cdot 7,55 \cdot 162532414,9$$

$$= 3,65 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$M_{nx2} = f_y \cdot S_{trt}$$

$$= 410 \cdot 26405536,18$$

$$= 1,08 \cdot 10^{10} \text{ Nmm} \quad (\text{Menentukan!})$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \cdot 1,08 \cdot 10^{10} \\
 &= 9720000000 \text{ Nmm} \\
 &= 972000 \text{ kgm} > M_u = 711140,34 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Shear Connector

- Data Shear Connector

Tipe Stud Ø19 :

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 \\
 &= 283,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi Stud} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Melintang Antar Stud} = 130 \text{ mm}$$

$$f_u \text{ Stud} = 500 \text{ MPa}$$

- Kekuatan 1 Stud

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot (f'_c \cdot E_c)^{1/2} \cdot \pi_s < A_{sc} \cdot f_u$$

$$\rightarrow E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,5 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \pi_s = 1 \text{ untuk beton biasa}$$

$$Q_n = 0,5 \cdot 283,5 \cdot (35 \cdot 27805,5)^{1/2} \cdot 1 < 283,5 \cdot 500$$

$$Q_n = 139835 \text{ N} < 141629,5 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

- Jumlah dan Jarak *Shear Connector*

$$\text{Jumlah (n)} = V_u / Q_n$$

$$\rightarrow V_u = C \text{ komposit}$$

$$= 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$$

$$= 0,85 \cdot 350 \cdot 150 \cdot 25$$

$$= 1115625 \text{ kg}$$

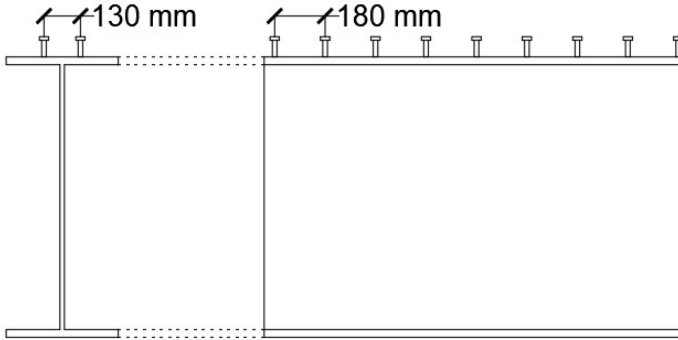
$$\text{Jumlah (n)} = 1115625 / 13983,5$$

$$= 79,78 \approx 80 \text{ buah}$$

80 buah *Shear Connector* dipasang pada setengah bentang gelagar melintang.

Shear Connector dipasang 2 baris pada penampang gelagar melintang seperti pada Gambar 5.20, maka sepanjang gelagar melintang terdapat 80 buah *Shear Connector*.

$$\begin{aligned}\text{Jarak} &= 1500/80 \\ &= 18,75 \text{ cm} \approx 18 \text{ cm}\end{aligned}$$



Gambar 5.20 Pemasangan Shear Connector

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA JEMBATAN

6.1 Rencana Modifikasi Jembatan

Perencanaan modifikasi jembatan Mahakam menggunakan konstruksi busur rangka baja dengan lantai kendaraan di tengah. Berikut merupakan data modifikasi jembatan Mahakam:

- Tinggi fokus busur = 50 meter
- Tinggi tampang busur = 8 meter
- Lebar jembatan = 15 meter
- Lebar jalan = 12 meter

6.2 Pembebanan Jembatan

1. Beban mati

- Pelat lantai kendaraan:

$$\begin{aligned}q_{D1} &= d3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\ &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \cdot 1,3 \\ &= 3900 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{D1} &= q_{D1} \cdot \text{lebar jalan} \cdot \frac{1}{2} \text{ lebar} \\ &= 3900 \cdot 12 \cdot \frac{1}{2} \\ &= 23400 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Bondeks:

$$\begin{aligned}q_{D2} &= w \text{ bondeks} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\ &= 10,1 \cdot 5 \cdot 1,1 \\ &= 55,55 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{D2} &= q_{D2} \cdot \text{lebar jembatan} \cdot \frac{1}{2} \text{ lebar} \\ &= 55,55 \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} \\ &= 416,625 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Aspal:

$$\begin{aligned}q_{D3} &= d4 \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\ &= 0,06 \cdot 2200 \cdot 5 \cdot 1,3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 858 \text{ kg/m} \\
 P_{D3} &= q_{D3} \cdot \text{lebar jalan} \cdot \frac{1}{2} \text{ lebar} \\
 &= 858 \cdot 12 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 5148 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Pelat Trotoar:

$$\begin{aligned}
 &= d3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \cdot 1,3 \\
 &= 3900 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Pedestrian:

$$\begin{aligned}
 &= 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \lambda \\
 &= 500 \cdot 5 \\
 &= 2500 \text{ kg/m} \\
 q_{D4} &= 3900 + 2500 \\
 &= 6400 \text{ kg/m} \\
 P_{D4} &= q_{D4} \cdot 1,5 \\
 &= 6400 \cdot 1,5 \\
 &= 9600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Gelagar Memanjang:

$$\begin{aligned}
 P_{D5} &= w \cdot n \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 76 \cdot 9 \cdot 5 \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 1881 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Gelagar Melintang:

$$\begin{aligned}
 P_{D6} &= w \cdot b \cdot \gamma_{MS}^U \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 311,74 \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 2571,855 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_D &= P_{D1} + P_{D2} + P_{D3} + P_{D4} + P_{D5} + P_{D6} \\
 &= 23400 + 416,625 + 5148 + 9600 + 1881 + 2571,855 \\
 &= 43017,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban Lain-lain:

Merupakan berat sambungan dan berat ikatan angin yang diasumsikan beratnya adalah 10% dari total beban mati.

$$P_{D7} = 25\% \cdot 43017,48$$

$$= 10754,37 \text{ kg}$$

2. Beban hidup (Gambar 6.1)

- BTR (Beban Terbagi Rata) $\rightarrow L = 280 \text{ m}$

$$L > 30 \text{ m}$$

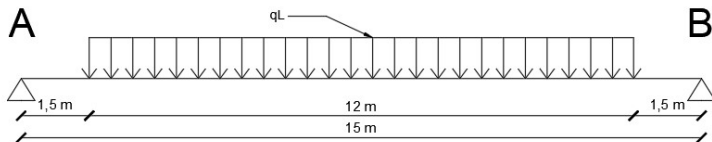
$$\begin{aligned} q &= 9 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\ &= 9 \cdot (0,5 + 15/280) \text{ kPa} \\ &= 4,986 \text{ kPa} = 498,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{BTR}} &= q \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^U \\ &= 498,6 \cdot 5 \cdot 2 \\ &= 4986 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- BGT (Beban Garis Terpusat) $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$,
FBD = 30%

$$\begin{aligned} q_{\text{BGT}} &= P \cdot (1 + \text{FBD}) \cdot \gamma_{TD}^U \\ &= 49 \cdot (1 + 0,3) \cdot 2 \\ &= 127,4 \text{ kN/m} = 12740 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_L &= q_{\text{BTR}} + q_{\text{BGT}} \\ &= 4986 + 12740 \\ &= 17726 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 6.1 Pembebanan BTR dan BGT

$$\begin{aligned} \sum M_B &= 0 \\ R_A \cdot 15 &= q_L \cdot 12 \cdot 7,5 \\ R_A &= (17726 \cdot 12 \cdot 7,5) / 15 \\ R_A &= 106356 \text{ kg} \\ R_A \text{ Total} &= P_D + P_{D7} + R_A \\ &= 43017,48 + 10754,37 + 106356 \\ &= 160127,85 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Beban angin

Perhitungan ini mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.6.1 tentang Tekanan Angin horizontal. Data-data yang digunakan sesuai dengan kondisi lapangan adalah sebagai berikut.

- V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana.
- $V_{10} = 75,9$ km/jam (kecepatan angin maksimum di lapangan) < 90 km/jam. Karena data di lapangan lebih kecil daripada nilai minimum yang ada pada peraturan maka,
 $V_{10} = 90$ km/jam
- $V_B = V_{10} = 90$ km/jam
- V_0 sesuai dengan Tabel 6.1 yaitu 17,6 karena berada pada Sub Urban.
- Z_0 sesuai dengan Tabel 6.1 yaitu 1000 mm karena berada pada Sub Urban.

Tabel 6.1 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

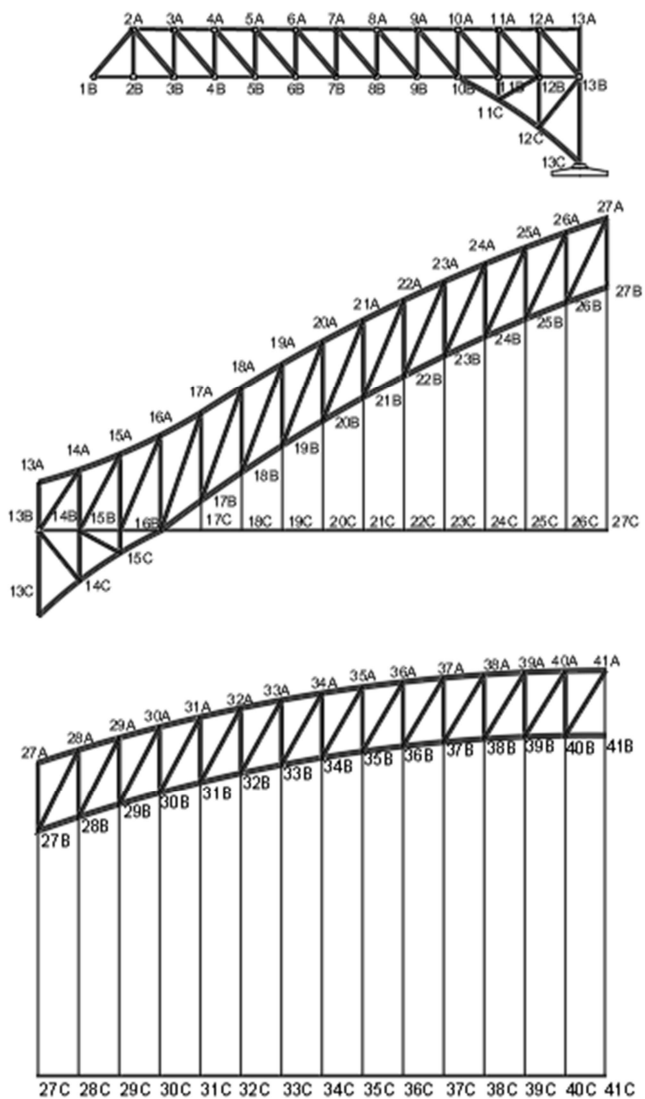
Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

- P_B sesuai dengan Tabel 6.2 yaitu angin tekan sebesar 0,0024 MPa dan angin hisap sebesar 0,0012 dengan komponen rangka, kolom, dan pelengkung.

Tabel 6.2 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

- Contoh perhitungan gaya angin yang bekerja pada satu titik simpul sebagai berikut. Untuk penamaan titik simpul jembatan seperti pada Gambar 6.2. Titik 2B memiliki ketinggian $Z = 22000 \text{ mm} > 10000 \text{ mm}$ dari atas permukaan dasar.



Gambar 6.2 Penamaan Titik Simpul Jembatan

- Beban Angin pada Struktur (E_{WS})

Beban angin (P_D) ditentukan berdasarkan elevasi titik buhul dimana beban angin bekerja.

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5 V_0 (V_{10}/V_B) \ln (Z/Z_0) \\ &= 2,5 \cdot 17,6 (90/90) \ln (22000/1000) \\ &= 136,01 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_D &= P_B (V_{DZ}/V_B)^2 \\ &= 0,0024 (136,01/90)^2 \\ &= 0,00548 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{WS} &= P_D \cdot h \cdot 30\% \\ &= 0,00548 \cdot 8000 \cdot 30\% \\ &= 13,152 \text{ N/mm} \\ &= 13,152 \text{ kN/m} > 13,152 \text{ kN/m (OK)} \end{aligned}$$

- Beban Angin pada Kendaraan

Untuk titik simpul pada lantai kendaraan harus ditambahkan gaya angin akibat kendaraan (EW_1). Gaya yang bekerja ditentukan berdasarkan Tabel 6.3 berikut.

Tabel 6.3 Komponen Beban Angin pada Kendaraan

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

$$EW_1 = 1,46 \text{ N/mm} = 1,46 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Beban} &= 0,5 E_{WS} + EW_1 \\ &= 0,5 (13,152) + 1,46 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8,036 \text{ kN/m} \\
 P &= \text{Total Beban} \cdot \lambda \\
 &= 8,036 \cdot 5 \\
 &= 40,18 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Beban Temperatur

Menurut SNI 1725-2016, besarnya temperatur untuk lantai beton diatas gelagar, boks, atau rangka baja seperti pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Temperatur jembatan rata-rata nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut		

5. Beban Gempa

Dalam input pembebanan pada software MIDAS Civil, pembebanan gempa menggunakan grafik respon spektrum yang didapat pada website puskim sesuai koordinat Kota Samarinda dikontrol menggunakan SNI 2833:2016.

6. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dalam permodelan merujuk pada SNI 1725-2016 Tabel 1, dimana kombinasi yang diinput

hanya beban yang diperhitungkan saja. Kombinasi yang digunakan seperti pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

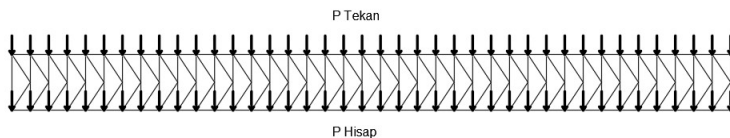
Keadaan Batas	Faktor Kombinasi Beban
Kuat I	$1 \text{ DL} + 1,8 \text{ LL}$
Kuat III	$1 \text{ DL} + 1,4 \text{ EW}_S$
Kuat V	$1 \text{ DL} + 0,4 \text{ EW}_S + 1 \text{ EW}_L$
Ekstrem I	$1 \text{ DL} + 0,3 \text{ LL} + 1 \text{ EQ}$
Daya Layan I	$1 \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 0,3 \text{ EW}_S + 1 \text{ EW}_L$

6.3 Perencanaan Ikatan Angin Atas

1. Hasil Analisis

Dalam perencanaan ikatan angin atas, digunakan bantuan software Midas Civil 2011. Hasil gaya batang maksimum didapatkan dari keadaan batas Kuat III.

2. Kontrol Penampang



Gambar 6.3 Ikatan Angin Atas

Pembebanan pada perencanaan ikatan angin didasarkan pada perhitungan beban angin sesuai dengan SNI 1725-2016 Pasal 9.6, tentang pembebanan angin. Untuk kontrol profil yang digunakan didasarkan pada SNI 1729-2015. Untuk perencanaan ikatan angin atas, beban angin yang diinput hanya beban angin atas saja seperti pada Tabel 6.6 dan ilustrasi ikatan angin atas seperti pada Gambar 6.3.

Tabel 6.6 Beban Angin pada Ikatan Angin Atas

Titik	P tekan (N)	P hisap (N)	Titik	P tekan (N)	P hisap (N)
2A-13A	38,216	19,108	28A	58,728	29,364
14A	39,454	19,727	29A	59,395	29,698
15A	40,936	20,468	30A	59,995	29,998
16A	42,652	21,326	31A	60,532	30,266
17A	44,595	22,297	32A	61,008	30,504
18A	46,658	23,329	33A	61,427	30,714
19A	48,496	24,248	34A	61,792	30,896
20A	50,142	25,071	35A	62,104	31,052
21A	51,624	25,812	36A	62,365	31,183
22A	52,962	26,481	37A	62,577	31,289
23A	54,173	27,086	38A	62,741	31,370
24A	55,271	27,635	39A	62,857	31,428
25A	56,266	28,133	40A	62,927	31,463
26A	57,169	28,585	41A	62,950	31,475
27A	57,987	28,994			

Dari program bantu Midas Civil 2011 dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan angin. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

Elemen 1350 = -539442 kg (Tekan)

Elemen 1349 = 518361 kg (Tarik)

Direncanakan profil WF 400x400x18x28 dengan spesifikasi seperti berikut:

W = 232 kg/m

A = 295,4 cm²

d = 414 mm

bf = 405 mm

tw = 18 mm

tf = 28 mm

r = 22 mm

I_x = 92800 cm⁴

$$\begin{array}{ll}
 I_y = 31000 \text{ cm}^4 & Z_x = 4954 \text{ cm}^3 \\
 i_x = 17,7 \text{ cm} & Z_y = 2325 \text{ cm}^3 \\
 i_y = 10,2 \text{ cm} & h = 314 \text{ mm} \\
 S_x = 4480 \text{ cm}^3 & f_y = 410 \text{ MPa} \\
 S_y = 1530 \text{ cm}^3 & f_u = 550 \text{ MPa}
 \end{array}$$

- Kontrol Tekan

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

$$\begin{array}{l}
 \text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 \frac{405}{2.28} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 7,23 \leq 12,37 \text{ (OK)}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 \frac{314}{18} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 17,4 \leq 32,91 \text{ (OK)}
 \end{array}$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $P_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 9014 \text{ mm (Elemen 1350)}$$

$$r = i_y = 10,2 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\begin{array}{l}
 \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 \frac{1.9014}{102} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\
 88,37 \leq 104,03 \quad \text{(OK)}
 \end{array}$$

$$\text{Schingga, } F_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e} \right] f_y$$

$$\begin{aligned}
 F_c &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.9014}{102}\right)^2} \\
 &= 252,75 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \left[0,658^{f_y}\right] f_y \\
 &= \left[0,658^{\frac{410}{252,75}}\right] 410 \\
 &= 207,93 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\
 &= 207,93 \cdot 29540 \\
 &= 6142298,64 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,9 \cdot 6142298,64 \\
 &= 5528068,77 \text{ N} \\
 &= 552806,9 \text{ kg} \geq P_u = 539442 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_y \cdot A_g \\
 &= 410 \cdot 29540 \\
 &= 12111400 \text{ N} \\
 \phi P_n &= 0,9 \cdot 12111400 \\
 &= 10900260 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_u \cdot A_e \\
 \text{Dimana, } A_e &= A_n = 0,85 A_g \\
 P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 29540 \\
 &= 13809950 \text{ N} \\
 \phi P_n &= 0,75 \cdot 13809950 \\
 &= 10357462,5 \text{ N (Menentukan!)}
 \end{aligned}$$

Dipakai,

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 10357462,5 \text{ N} \\
 &= 1035746,25 \text{ kg} \geq P_u = 518361 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

Untuk jembatan pendekat digunakan profil yang lebih optimal dan ekonomis daripada pada busur. Gaya aksial maksimum yang terjadi pada jembatan pendekat adalah sebagai berikut:

$$\text{Elemen 1166} = -90376 \quad \text{kg (Tekan)}$$

$$\text{Elemen 1167} = 90376 \quad \text{kg (Tarik)}$$

Direncanakan profil WF 300x300x9x14 dengan spesifikasi seperti berikut:

$W = 87 \text{ kg/m}$	$i_x = 13 \text{ cm}$
$A = 110,8 \text{ cm}^2$	$i_y = 7,51 \text{ cm}$
$d = 298 \text{ mm}$	$S_x = 1270 \text{ cm}^3$
$bf = 299 \text{ mm}$	$S_y = 417 \text{ cm}^3$
$tw = 9 \text{ mm}$	$Z_x = 1353 \text{ cm}^3$
$tf = 14 \text{ mm}$	$Z_y = 631 \text{ cm}^3$
$r = 18 \text{ mm}$	$h = 234 \text{ mm}$
$I_x = 18800 \text{ cm}^4$	$f_y = 410 \text{ MPa}$
$I_y = 6240 \text{ cm}^4$	$f_u = 550 \text{ MP}$

- Kontrol Tekan

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

$$\text{Sayap} \quad : \quad \frac{bf}{2t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{299}{2 \cdot 14} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 10,7 \leq 12,37 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan} \quad : \quad \frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{234}{9} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 26 \leq 32,91 \text{ (OK)}$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $P_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 9014 \text{ mm (Elemen 1166)}$$

$$r = iy = 7,51 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1.9014}{75,1} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$120,03 \leq 104,03 \quad (\text{NOT OK})$$

Sehingga, $F_{cr} = 0,877 \cdot F_c$

$$F_c = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.9014}{75,1}\right)^2}$$

$$= 137,017 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_c$$

$$= 0,877 \cdot 137,017$$

$$= 120,164 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$= 120,164 \cdot 11080$$

$$= 1331416 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 1331416$$

$$= 1198275 \text{ N}$$

$$= 119827,5 \text{ kg} \geq P_u = 90376 \text{ kg (OK)}$$

- Kontrol Tarik

Kuat Leleh:

$$P_n = fy \cdot A_g$$

$$= 410 \cdot 11080$$

$$= 4542800 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 4542800$$

$$= 4088520 \text{ N}$$

Kuat Putus:

$$P_n = fu \cdot A_e$$

Dimana, $A_e = A_n = 0,85 A_g$

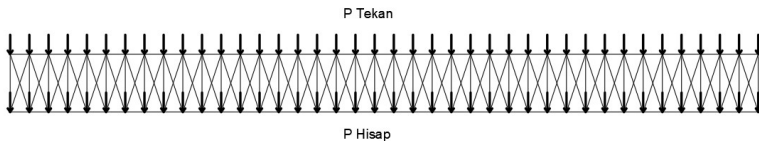
$$\begin{aligned}
 P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 11080 \\
 &= 5179900 \text{ N} \\
 \emptyset P_n &= 0,75 \cdot 5179900 \\
 &= 3884925 \text{ N (Menentukan!)} \\
 \text{Dipakai,} \\
 \emptyset P_n &= 3884925 \text{ N} \\
 &= 3884925 \text{ kg} \geq P_u = 90376 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

6.4 Perencanaan Ikatan Angin Bawah

1. Hasil Analisis

Dalam perencanaan ikatan angin bawah, digunakan bantuan software Midas Civil 2011. Hasil gaya batang maksimum didapatkan dari keadaan batas Kuat III.

2. Kontrol Penampang



Gambar 6.4 Ikatan Angin Bawah

Pembebanan pada perencanaan ikatan angin didasarkan pada perhitungan beban angin sesuai dengan SNI 1725-2016 Pasal 9.6, tentang pembebanan angin. Untuk kontrol profil yang digunakan didasarkan pada SNI 1729-2015. Untuk perencanaan ikatan angin bawah, beban angin yang diinput hanya beban angin pada lantai kendaraan saja seperti pada

Tabel 6.7 dan ilustrasi ikatan angin bawah seperti pada Gambar 6.4.

Tabel 6.7 Beban Angin pada Ikatan Angin Bawah

Titik Simpul	VDZ (km/jam)	EWS (kN/m)	EW1 (kN/m)	P _{tekan} (kN)	P _{hisap} (kN)
1B-16B	136,01	36,17	1,46	97,73	48,86
17C-41C	136,01	36,17	1,46	97,73	48,86

Dari program bantu Midas Civil 2011 dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan angin. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

$$\text{Elemen 1350} = -302601,3 \quad \text{kg (Tekan)}$$

$$\text{Elemen 1349} = 302601,3 \quad \text{kg (Tarik)}$$

Direncanakan profil WF 350x350x7x11 dengan spesifikasi seperti berikut:

$W = 159 \text{ kg/m}$	$i_x = 15,3 \text{ cm}$
$A = 202 \text{ cm}^2$	$i_y = 8,9 \text{ cm}$
$d = 356 \text{ mm}$	$S_x = 2670 \text{ cm}^3$
$bf = 352 \text{ mm}$	$S_y = 909 \text{ cm}^3$
$tw = 14 \text{ mm}$	$Z_x = 2927 \text{ cm}^3$
$tf = 22 \text{ mm}$	$Z_y = 1378 \text{ cm}^3$
$r = 20 \text{ mm}$	$h = 272 \text{ mm}$
$I_x = 47600 \text{ cm}^4$	$f_y = 410 \text{ MPa}$
$I_y = 16000 \text{ cm}^4$	$f_u = 550 \text{ MPa}$

- Kontrol Tekan

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{352}{2 \cdot 22} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 8 \leq 12,37 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &: \frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{272}{14} &\leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{410}} && 19,4 \leq 32,91 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $P_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 7905 \text{ mm (Elemen 1350)}$$

$$r = i_y = 8,9 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\begin{aligned} \frac{KL}{r} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{1.7905}{89} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 88,82 &\leq 104,03 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

Sehingga, $F_{cr} = 0,877 \cdot F_e$

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.7905}{89}\right)^2} \\ &= 250,21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,877 \cdot F_e \\ &= 0,877 \cdot 250,21 \\ &= 206,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\ &= 206,5 \cdot 20200 \\ &= 4171352 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \cdot 4171352 \\ &= 3754217 \text{ N} \\ &= 375421,7 \text{ kg} \geq P_u = 302601,3 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} P_n &= f_y \cdot A_g \\ &= 410 \cdot 20200 \\ &= 8282000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \cdot 8282000 \\ &= 7453800 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned} P_n &= f_u \cdot A_e \\ \text{Dimana, } A_e &= A_n = 0,85 A_g \\ P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 20200 \\ &= 9443500 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,75 \cdot 9443500 \\ &= 7082625 \text{ N (Menentukan!)} \end{aligned}$$

Dipakai,

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 7082625 \text{ N} \\ &= 708262,5 \text{ kg} \geq P_u = 302601,3 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

6.5 Perencanaan Ikatan Silang

1. Hasil Analisis

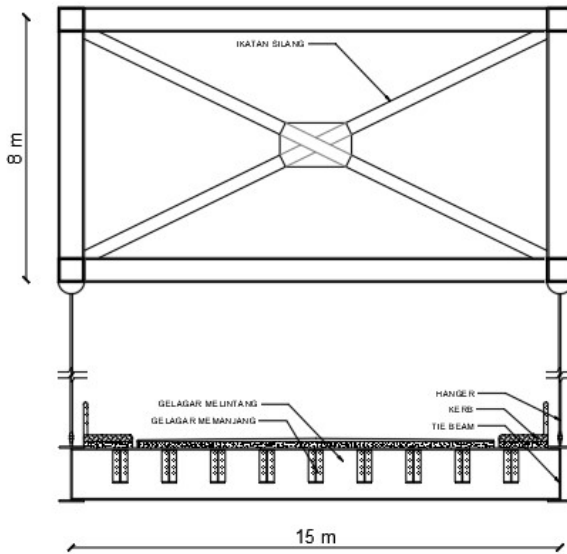
Dalam perencanaan ikatan silang, digunakan bantuan software Midas Civil 2011. Ikatan Silang dipasang setiap 15 meter pada segmen busur. Seperti Gambar 6.5.

2. Kontrol Penampang

Dari program bantu Midas Civil 2011 dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan silang. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

$$\text{Elemen 1350} = -999765 \text{ kg} \quad (\text{Tekan})$$

$$\text{Elemen 1349} = 4565 \text{ kg} \quad (\text{Tarik})$$



Gambar 6.5 Ikatan Angin Silang

Direncanakan profil WF 400x400x30x50 dengan spesifikasi seperti berikut:

$$W = 415 \text{ kg/m}$$

$$A = 528,6 \text{ cm}^2$$

$$d = 458 \text{ mm}$$

$$bf = 417 \text{ mm}$$

$$tw = 30 \text{ mm}$$

$$tf = 50 \text{ mm}$$

$$r = 22 \text{ mm}$$

$$I_x = 187000 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 60500 \text{ cm}^4$$

$$i_x = 18,8 \text{ cm}$$

$$i_y = 10,7 \text{ cm}$$

$$S_x = 8170 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 2900 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 9468 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 4428 \text{ cm}^3$$

$$h = 314 \text{ mm}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

- Kontrol Tekan

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

$$\begin{aligned} \text{Sayap} & : \frac{bf}{2tf} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ & \frac{417}{2.50} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 4,17 \leq 12,37 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} & : \frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ & \frac{314}{30} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 10,47 \leq 32,9 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $P_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 8500 \text{ mm}$$

$$r = i_y = 10,7 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\begin{aligned} \frac{KL}{r} & \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{1.8500}{107} & \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 79,44 & \leq 104,03 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga, } F_{cr} = \left[0,658 \sqrt{\frac{fy}{F_e}} \right] fy$$

$$\begin{aligned} F_e & = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ & = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.8500}{107}\right)^2} \\ & = 312,79 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} & = \left[0,658 \sqrt{\frac{fy}{F_e}} \right] fy \\ & = \left[0,658 \sqrt{\frac{410}{312,79}} \right] 410 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 236,87 \text{ MPa} \\
 P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\
 &= 236,87 \cdot 52860 \\
 &= 12521262 \text{ N} \\
 \emptyset P_n &= 0,9 \cdot 12521262 \\
 &= 11269140 \text{ N} \\
 &= 1126914 \text{ kg} \geq P_u = 999765 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Tarik

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_y \cdot A_g \\
 &= 410 \cdot 52860 \\
 &= 21672600 \text{ N} \\
 \emptyset P_n &= 0,9 \cdot 21672600 \\
 &= 19505340 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_u \cdot A_e \\
 \text{Dimana, } A_e &= A_n = 0,85 A_g \\
 P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 52860 \\
 &= 24712050 \text{ N} \\
 \emptyset P_n &= 0,75 \cdot 24712050 \\
 &= 18534038 \text{ N (Menentukan!)}
 \end{aligned}$$

Dipakai,

$$\begin{aligned}
 \emptyset P_n &= 18534038 \text{ N} \\
 &= 1853403,8 \text{ kg} \geq P_u = 4565 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

6.6 Perencanaan Kabel Penggantung

Panjang dari penggantung dicari dengan menggunakan pendekatan persamaan sumbu geometri busur.

$$Y_n = \frac{4 \cdot f \cdot x \cdot (L-x)}{L^2}$$

Pada

Tabel 6.8 dapat dilihat hasil panjang penggantung dengan tinjauan $\frac{1}{2}$ bentang. Penggantung menggunakan profil kabel Macalloy 520 (M76), *Carbon steel*.

Tabel 6.8 Panjang Kabel Penggantung

Titik	Panjang (m)	Panjang Hanger (m)	Titik	Panjang (m)	Panjang Hanger (m)
1	3.51	-	15	39.22	29,22
2	6.89	-	16	40.82	30,82
3	10.14	-	17	42.28	32,28
4	13.27	3,27	18	43.62	33,62
5	16.26	6,26	19	44.83	34,83
6	19.13	9,13	20	45.92	35,92
7	21.88	11,88	21	46.88	36,88
8	24.49	14,49	22	47.70	37,70
9	26.98	16,98	23	48.41	38,41
10	29.34	19,34	24	48.98	38,98
11	31.57	21,57	25	49.43	39,43
12	33.67	23,67	26	49.74	39,74
13	35.65	25,65	27	49.94	39,94
14	37.50	27,50	28	50.00	40,00

6.6.1 Pembebanan

1. Beban mati

- Pelat lantai kendaraan:

$$\begin{aligned}
 q_{D1} &= d3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \cdot 1,3 \\
 &= 3900 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{D1} &= q_{D1} \cdot \text{lebar jalan} \cdot \frac{1}{2} \text{ lebar} \\
 &= 3900 \cdot 12 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 23400 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Bondeks:

$$\begin{aligned}
 q_{D2} &= w \text{ bondeks} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 10,1 \cdot 5 \cdot 1,1 \\
 &= 55,55 \text{ kg/m} \\
 P_{D2} &= q_{D2} \cdot \text{lebar jembatan} \cdot \frac{1}{2} \text{ lebar} \\
 &= 55,55 \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 416,625 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Aspal:

$$\begin{aligned}
 q_{D3} &= d4 \cdot \gamma_{aspal} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 0,06 \cdot 2200 \cdot 5 \cdot 1,3 \\
 &= 858 \text{ kg/m} \\
 P_{D3} &= q_{D3} \cdot \text{lebar jalan} \cdot \frac{1}{2} \text{ lebar} \\
 &= 858 \cdot 12 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 5148 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Pelat Trotoar:

$$\begin{aligned}
 &= d3 \cdot \gamma_{beton} \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \cdot 1,3 \\
 &= 3900 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Pedestrian:

$$\begin{aligned}
 &= 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \lambda \\
 &= 500 \cdot 5 \\
 &= 2500 \text{ kg/m} \\
 q_{D4} &= 3900 + 2500 \\
 &= 6400 \text{ kg/m} \\
 P_{D4} &= q_{D4} \cdot 1,5 \\
 &= 6400 \cdot 1,5 \\
 &= 9600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Gelagar Memanjang:

$$\begin{aligned}
 P_{D5} &= w \cdot n \cdot \lambda \cdot \gamma_{MS}^U \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 76 \cdot 9 \cdot 5 \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 1881 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Gelagar Melintang:

$$\begin{aligned}
 P_{D6} &= w \cdot b \cdot \gamma_{MS}^U \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 311,74 \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2571,855 \text{ kg} \\
 P_{D7} &= P_{D1} + P_{D2} + P_{D3} + P_{D4} + P_{D5} + P_{D6} \\
 &= 23400 + 416,625 + 5148 + 9600 + 1881 + 2571,855 \\
 &= 43017,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- **Beban Lain-lain:**

Merupakan berat sambungan dan berat ikatan angin yang diasumsikan beratnya adalah 10% dari total beban mati.

$$\begin{aligned}
 P_{D7} &= 25\% \cdot 43017,48 \\
 &= 10754,37 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Beban hidup (Gambar 6.6)

- **BTR (Beban Terbagi Rata) → L = 280 m**

$$L > 30 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 q &= 9 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\
 &= 9 \cdot (0,5 + 15/280) \text{ kPa} \\
 &= 4,986 \text{ kPa} = 498,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

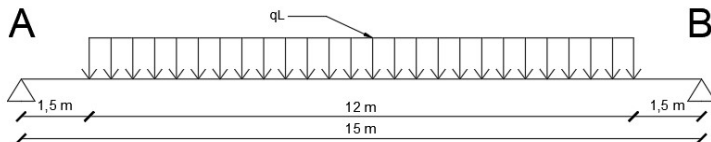
$$\begin{aligned}
 q_{BTR} &= q \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^U \\
 &= 498,6 \cdot 5 \cdot 2 \\
 &= 4986 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- **BGT (Beban Garis Terpusat) → P = 49 kN/m,**

$$FBD = 30\%$$

$$\begin{aligned}
 q_{BGT} &= P \cdot (1 + FBD) \cdot \gamma_{TD}^U \\
 &= 49 \cdot (1 + 0,3) \cdot 2 \\
 &= 127,4 \text{ kN/m} = 12740 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_L &= q_{BTR} + q_{BGT} \\
 &= 4986 + 12740 \\
 &= 17726 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 6.6 Pembebanan BTR dan BGT

$$\begin{aligned}
 \sum M_B &= 0 \\
 R_A \cdot 15 &= q_L \cdot 12 \cdot 7,5 \\
 R_A &= (17726 \cdot 12 \cdot 7,5)/15 \\
 R_A &= 106356 \text{ kg} \\
 R_A \text{ Total} &= P_D + P_{D7} + R_A \\
 &= 43017,48 + 10754,37 + 106356 \\
 &= 160127,85 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

6.6.2 Kontrol Kekuatan Batang Penggantung

Pada perencanaan ini digunakan hanger tipe tension rods, produksi Macalloy dengan jenis Macalloy 520 (M76), Carbon steel seperti pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7 Macalloy 520 (M76)

Data hanger:

$$\begin{aligned}
 \text{Ø batang} &= 72 \text{ mm} \\
 \text{W kabel} &= 32 \text{ kg/m} \\
 \text{Minimum Break Load} &= 2635 \text{ kN} = 263500 \text{ kg} \\
 \text{L maks Hanger} &= 40 \text{ m} \\
 \text{Berat Sendiri Hanger} &= w \cdot L \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 32 \cdot 14 \cdot 1,1 \\
 &= 1408 \text{ kg} \\
 \text{V total} &= R_A \text{ Total} + \text{Berat Sendiri Hanger} \\
 &= 160127,85 + 1408 \\
 &= 161535,85 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kekuatan *Hanger*:

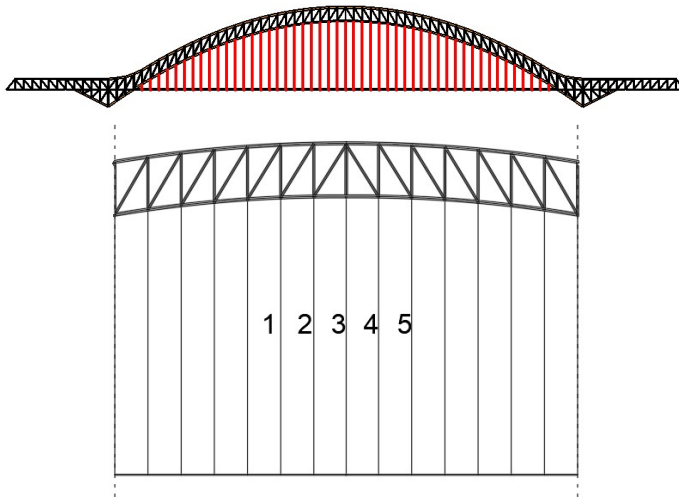
$$\begin{aligned}
 P_u &\leq \text{Minimum Break Load} \\
 161535,85 \text{ kg} &\leq 263500 \text{ kg} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

6.6.3 Analisis Kabel Putus

Perencanaan kabel penggantung menggunakan kombinasi Kuat I sesuai dengan SNI 1725:2016. Beban yang

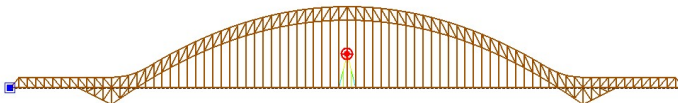
diperhitungkan adalah beban mati sendiri dan beban hidup kendaraan. Dalam perhitungan gaya kabel maksimum dilakukan beberapa tahap simulasi. Simulasi berupa kemungkinan terburuk jika salah satu kabel mengalami kegagalan (putus). Berikut adalah Analisis gaya kabel sesuai dengan simulasi yang diberikan.

- Kasus 1 (Seluruh Kabel Bekerja)



Gambar 6.8 Ilustrasi Seluruh Kabel Bekerja

Kabel yang ditinjau adalah kabel 3 yang berada tepat di tengah bentang seperti pada Gambar 6.8. Gaya aksial akibat beban mati kabel 3 adalah sebesar 8261 kg (tarik). Untuk nilai gaya aksial akibat beban hidup dihitung menggunakan analisis garis pengaruh, seperti pada Gambar 6.9.

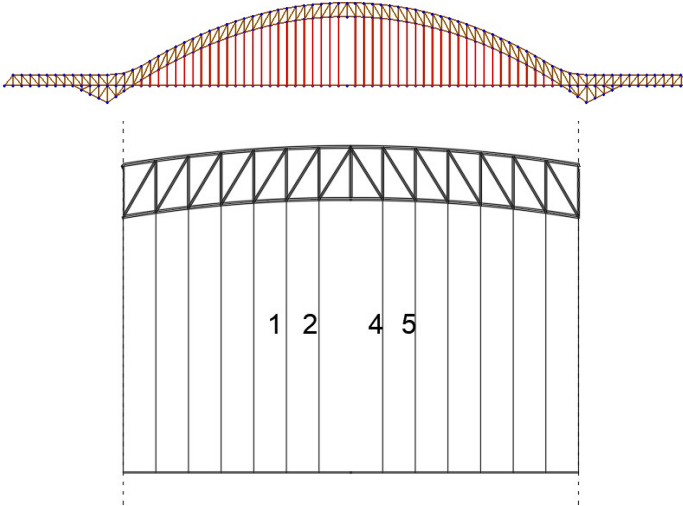


Gambar 6.9 Garis Pengaruh Kabel 3

$$F_{BA6(+)} = (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (Max_{(+)} \cdot V_{BGT})$$

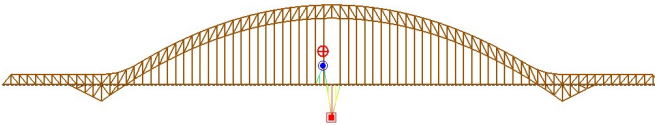
$$\begin{aligned}
 &= (1 \cdot 29916) + (1 \cdot 76440) \\
 &= 106356 \text{ kg} \\
 \text{Gaya aksial total yang terjadi pada kabel 3 kasus 1 adalah,} \\
 \text{Pu} &= 8261 + 106356 \\
 &= 114617 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Kasus 2 (Kabel 3 Putus)



Gambar 6.10 Ilustrasi Kabel 3 Putus

Kabel yang ditinjau adalah kabel 2 seperti pada Gambar 6.10. Gaya aksial akibat beban mati kabel 2 adalah sebesar 8261 kg (tarik). Untuk nilai gaya aksial akibat beban hidup dihitung menggunakan analisis garis pengaruh, seperti pada Gambar 6.11.



Gambar 6.11 Garis Pengaruh Kabel 2

$$F_{BA6(+)} = (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT})$$

$$= (1 \cdot 29916) + (1 \cdot 76440)$$

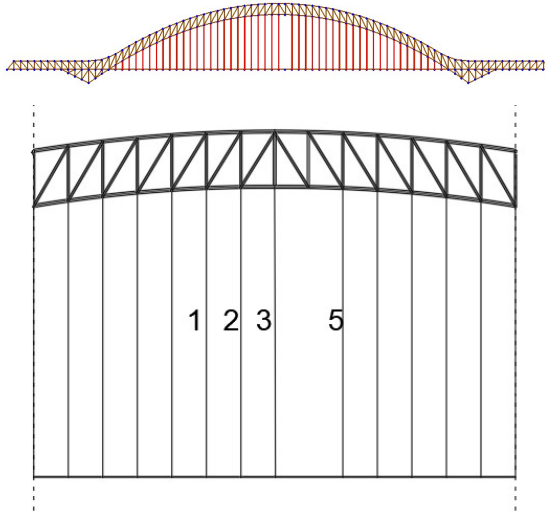
$$= 106356 \text{ kg}$$

Gaya aksial total yang terjadi pada kabel 2 kasus 2 adalah,

$$P_u = 4215 + 106356$$

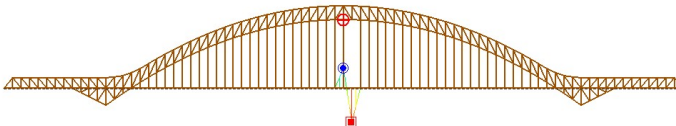
$$= 110571 \text{ kg}$$

- Kasus 3 (Kabel 4 Putus)



Gambar 6.12 Ilustrasi Kabel 4 Putus

Kabel yang ditinjau adalah kabel 3 seperti pada Gambar 6.12. Gaya aksial akibat beban mati kabel 3 adalah sebesar 4215 kg (tekan). Untuk nilai gaya aksial akibat beban hidup dihitung menggunakan analisis garis pengaruh, seperti pada Gambar 6.13:



Gambar 6.13 Garis Pengaruh Kabel 3

$$F_{BA6(+)} = (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT})$$

$$= (1 \cdot 29916) + (1 \cdot 76440)$$

$$= 106356 \text{ kg}$$

Gaya aksial total yang terjadi pada kabel 3 kasus 3 adalah,
 $P_u = -4215 + 106356$
 $= 102141 \text{ kg}$

Dari ketiga simulasi diatas didapatkan gaya aksial maksimum yaitu pada simulasi kasus 1.

$$P_u = 8261 + 106356$$

$$= 114617 \text{ kg}$$

6.7 Perencanaan Rangka Busur

6.7.1 Pembebanan Beban Mati

Pembebanan beban mati mengacu pada SNI 1725:2016 dengan faktor-faktor pengali yang telah dijelaskan pada pasal 7.2. Seperti pada Beban mati yang dihitung meliputi:

1. Beban sendiri seluruh profil baja jembatan dengan faktor pengali 1,1.
2. Beban plat beton lantai kendaraan dengan berat jenis 24 kN/m³ dan faktor pengali 1,3.
3. Beban perkerasan aspal lantai kendaraan dengan berat jenis 22 kN/m³ dan faktor pengali 1,3.
4. Beban trotoar dan bahu jalan dengan berat jenis 24 kN/m³ dan faktor pengali 1,3.

Tabel 6.9.

Beban mati yang dihitung meliputi:

5. Beban sendiri seluruh profil baja jembatan dengan faktor pengali 1,1.
6. Beban plat beton lantai kendaraan dengan berat jenis 24 kN/m³ dan faktor pengali 1,3.

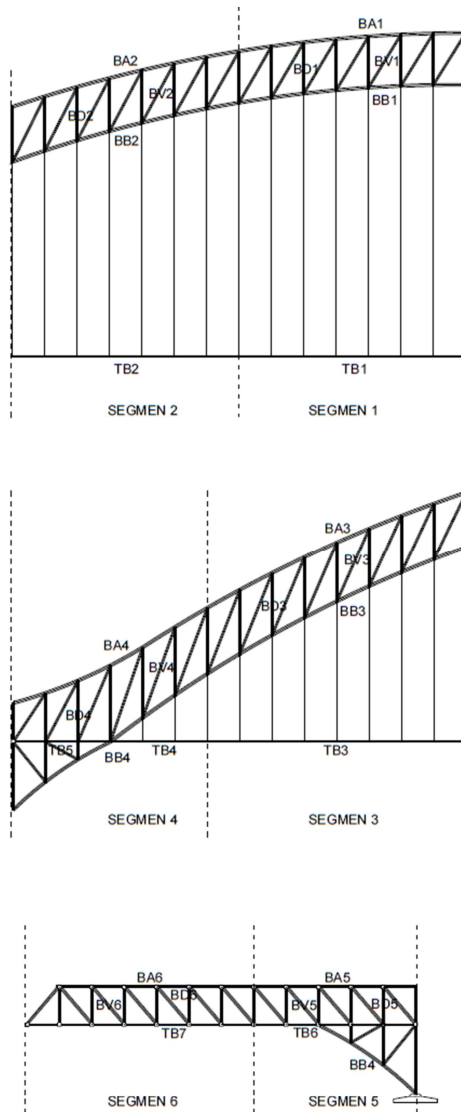
7. Beban perkerasan aspal lantai kendaraan dengan berat jenis 22 kN/m^3 dan faktor pengali 1,3.
8. Beban trotoar dan bahu jalan dengan berat jenis 24 kN/m^3 dan faktor pengali 1,3.

Tabel 6.9 Faktor Beban Mati

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	0,75

6.7.2 Pembagian Segmen Jembatan

Untuk mempermudah dan mengoptimalkan analisis kebutuhan profil, harus ditentukan batang batang yang ditinjau di setiap segmen. Bagian yang ditinjau antara lain adalah busur atas (BA), busur bawah (BB), batang diagonal (BD), batang vertikal (BV), dan *tie beam* (TB). Untuk setiap bagian pada segmen tertentu di dapat disamakan kebutuhan profilnya dengan mempertimbangkan bagian yang memiliki aksial maksimum. Berikut adalah pembagian segmen seperti pada Gambar 6.14.



Gambar 6.14 Penamaan Segmen Rangka Utama

6.7.3 Gaya Aksial akibat Beban Mati

Setelah input beban mati sudah dilakukan dan menggunakan *trial and error* saat memodelkan berat sendiri struktur, maka dengan program bantu Midas Civil dapat diketahui gaya aksial akibat beban mati yang bekerja pada setiap batang yang ditinjau seperti pada Tabel 6.10 dan Tabel 6.11.

Tabel 6.10 Gaya Batang akibat Beban Mati

Segmen	Nama Batang	Gaya Tekan (kg)	Gaya Tarik (kg)
Segmen 1	BA1	2255374	-
	BB1	356249	-
	BD1	39122	11065
	BV1	-	80850
	TB1	-	2576237
Segmen 2	BA2	2223416	-
	BB2	666502	-
	BD2	118221	-
	BV2	-	130378
	TB2	-	2576237
Segmen 3	BA3	1977615	-
	BB3	1395530	-
	BD3	231668	-
	BV3	-	183339
	TB3	-	2576237

Tabel 6.11 Gaya Batang akibat Beban Mati (Lanjutan)

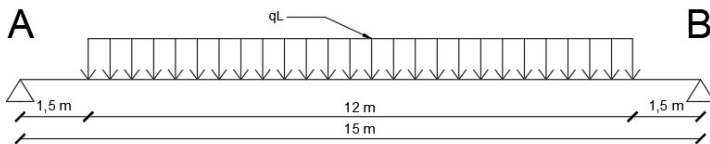
Segmen	Nama Batang	Gaya Tekan (kg)	Gaya Tarik (kg)
Segmen 4	BA4	1360294	801834
	BB4	1871329	
	BD4	678133	592091
	BV4	923477	189547
	TB4	-	786899
	TB5	-	1602338
Segmen 5	BA5	-	1034681
	BB4	1871329	-
	BD5	468852	302695
	BV5	-	355823
	TB6	-	433075
Segmen 6	BA6	733875	-
	BD6	389111	-
	BV6	-	355823
	TB7	484158	-

6.7.4 Pembebanan Beban Hidup

Pada tugas akhir ini, untuk mendapatkan gaya batang maksimum akibat beban hidup digunakan cara pembagian rangka busur per segmen dalam perhitungannya dan dicari garis pengaruh dari batang yang ditinjau. Kemudian kombinasi beban BTR dan BGT diposisikan sesuai dengan besarnya garis pengaruh positif dan negatifnya (tarik dan tekan). Besarnya beban BTR dan BGT yang dimasukkan untuk mencari gaya aksial batang maksimum yaitu kombinasi

beban BTR dan BGT yang bekerja pada seluruh bentang (SNI 1725:2016 pasal 8.3.3). Untuk perhitungan beban hidup telah dipaparkan pada sub bab 6.2 tentang Pembebanan Jembatan.

- Beban Hidup BGT + BTR
 - $q_{BTR} = 4986 \text{ kg/m}$
 - $q_{BGT} = 12740 \text{ kg/m}$
- Nilai V_{BGT} dan V_{BTR} (Gambar 6.15)



Gambar 6.15 Beban qL

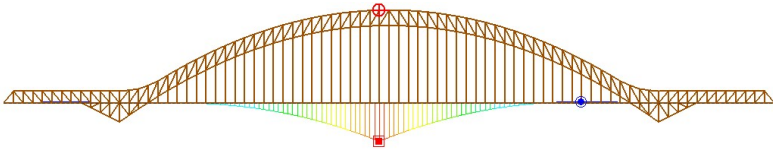
$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ V_{BGT} \cdot 15 &= q_{BGT} \cdot 12 \cdot 7,5 \\ V_{BGT} &= (12740 \cdot 12 \cdot 7,5)/15 \\ V_{BGT} &= 76440 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ V_{BTR} \cdot 15 &= q_{BTR} \cdot 12 \cdot 7,5 \\ V_{BTR} &= (4986 \cdot 12 \cdot 7,5)/15 \\ V_{BTR} &= 29916 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Analisis Garis Pengaruh

Analisis garis pengaruh ini menggunakan program bantu Midas Civil 2011. Garis pengaruh yang terbentuk adalah akibat beban berjalan sebesar 1 satuan. Kemudian hasil kumulatif adalah nilai pengali untuk beban BTR dan hasil maksimum adalah nilai pengali untuk beban BGT. Gambar 6.16 sampai Gambar 6.44 merupakan hasil garis pengaruh untuk elemen-elemen yang ditinjau.

- Analisis Batang BA1

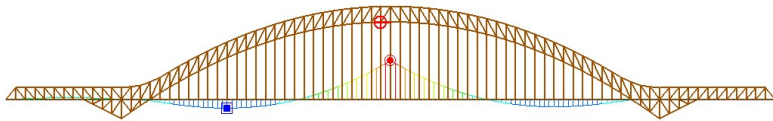


Gambar 6.16 Garis Pengaruh Batang BA1

$$\begin{aligned}
 F_{BA1(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (41,73 \cdot 29916) + (3,1 \cdot 76440) \\
 &= 1485501 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA1(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (1,01 \cdot 29916) + (0,1 \cdot 76440) \\
 &= 37634,06 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BB1

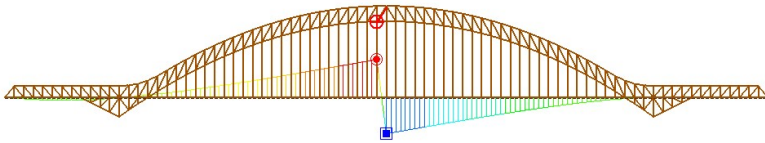


Gambar 6.17 Garis Pengaruh Batang BB1

$$\begin{aligned}
 F_{BB1(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (13,75 \cdot 29916) + (0,88 \cdot 76440) \\
 &= 478651 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BB1(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (22,38 \cdot 29916) + (2,3 \cdot 76440) \\
 &= 845321,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BD1

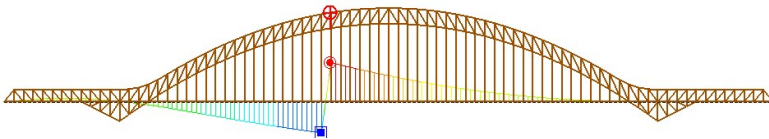


Gambar 6.18 Garis Pengaruh Batang BD1

$$\begin{aligned}
 F_{BD1(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,8 \cdot 29916) + (0,59 \cdot 76440) \\
 &= 278458 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BD1(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,56 \cdot 29916) + (0,59 \cdot 76440) \\
 &= 271854,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BV1

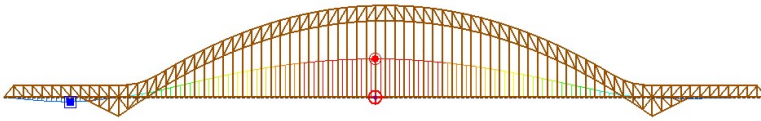


Gambar 6.19 Garis Pengaruh Batang BV 1

$$\begin{aligned}
 F_{BV1(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (4,75 \cdot 29916) + (0,44 \cdot 76440) \\
 &= 175447 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BV1(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (6,59 \cdot 29916) + (0,54 \cdot 76440) \\
 &= 239012,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang TB1

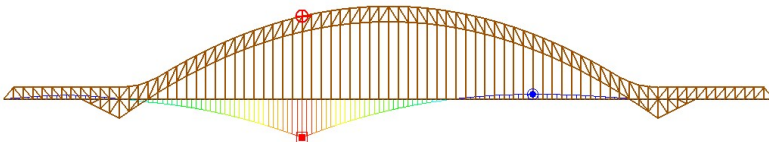


Gambar 6.20 Garis Pengaruh Batang TB1

$$\begin{aligned}
 F_{TB1(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (1,14 \cdot 29916) + (0,12 \cdot 76440) \\
 &= 43122,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB1(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (32,61 \cdot 29916) + (0,99 \cdot 76440) \\
 &= 1050924 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BA2

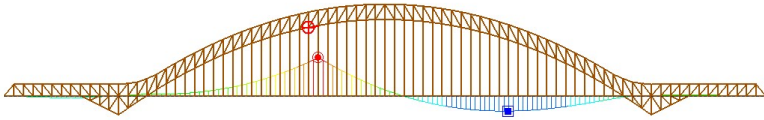


Gambar 6.21 Garis Pengaruh Batang BA2

$$\begin{aligned}
 F_{BA2(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (46,42 \cdot 29916) + (3,36 \cdot 76440) \\
 &= 1645376 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA2(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (11,23 \cdot 29916) + (0,68 \cdot 76440) \\
 &= 388273 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BB2

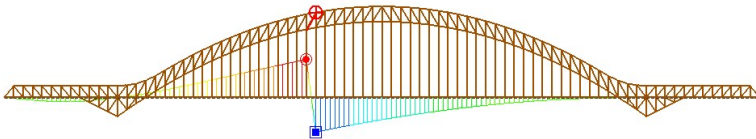


Gambar 6.22 Garis Pengaruh Batang BB2

$$\begin{aligned}
 F_{BB2(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (28,38 \cdot 29916) + (1,24 \cdot 76440) \\
 &= 943642 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BB2(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (27,78 \cdot 29916) + (2,73 \cdot 76440) \\
 &= 1039693 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BD2

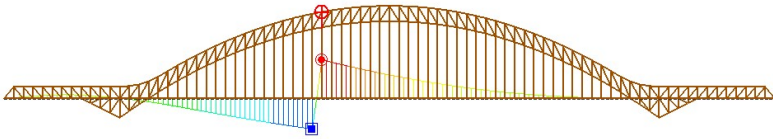


Gambar 6.23 Garis Pengaruh Batang BD2

$$\begin{aligned}
 F_{BD2(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,81 \cdot 29916) + (0,73 \cdot 76440) \\
 &= 289668 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BD2(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (6,49 \cdot 29916) + (0,65 \cdot 76440) \\
 &= 244153 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BV2

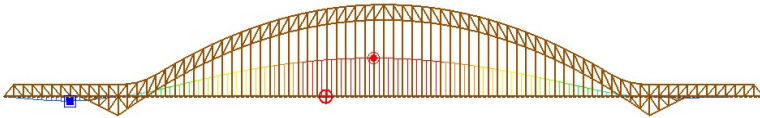


Gambar 6.24 Garis Pengaruh Batang BV2

$$\begin{aligned}
 F_{BV2(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (4,48 \cdot 29916) + (0,43 \cdot 76440) \\
 &= 167291 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BV2(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (6,51 \cdot 29916) + (0,55 \cdot 76440) \\
 &= 236726 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang TB2

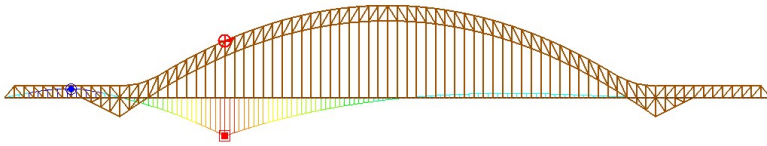


Gambar 6.25 Garis Pengaruh Batang TB2

$$\begin{aligned}
 F_{TB2(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (1,14 \cdot 29916) + (0,12 \cdot 76440) \\
 &= 43122,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB2(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (32,61 \cdot 29916) + (0,99 \cdot 76440) \\
 &= 1050924 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BA3

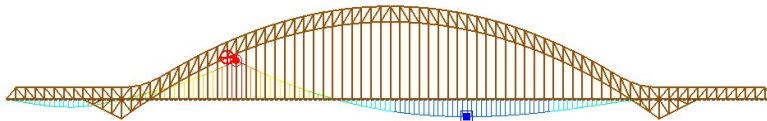


Gambar 6.26 Garis Pengaruh Batang BA3

$$\begin{aligned}
 F_{BA3(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (41,03 \cdot 29916) + (3,27 \cdot 76440) \\
 &= 1477126 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA3(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (11,15 \cdot 29916) + (0,75 \cdot 76440) \\
 &= 390912 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BB3

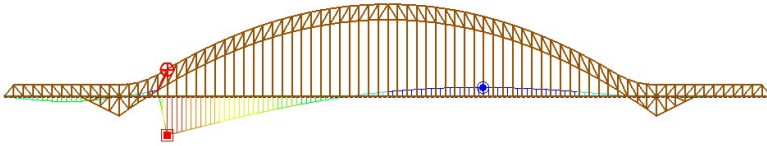


Gambar 6.27 Garis Pengaruh Batang BB3

$$\begin{aligned}
 F_{BB3(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (30,79 \cdot 29916) + (1,09 \cdot 76440) \\
 &= 1004607 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BB3(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (27,01 \cdot 29916) + (2,72 \cdot 76440) \\
 &= 1016286 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BD3

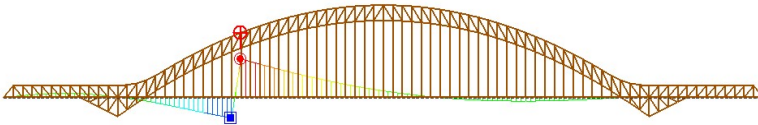


Gambar 6.28 Garis Pengaruh Batang BD3

$$\begin{aligned}
 F_{BD3(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (12,48 \cdot 29916) + (1,23 \cdot 76440) \\
 &= 467111 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BD3(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (6,17 \cdot 29916) + (0,29 \cdot 76440) \\
 &= 206984 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BV3



Gambar 6.29 Garis Pengaruh Batang BV3

$$\begin{aligned}
 F_{BV3(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (3,89 \cdot 29916) + (0,19 \cdot 76440) \\
 &= 131114 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BV3(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (8,44 \cdot 29916) + (0,86 \cdot 76440) \\
 &= 318069 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang TB3

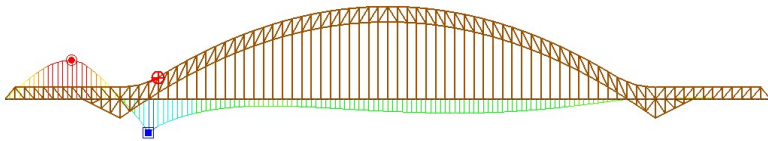


Gambar 6.30 Garis Pengaruh Batang TB3

$$\begin{aligned}
 F_{TB3(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (1,14 \cdot 29916) + (0,12 \cdot 76440) \\
 &= 43122,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB3(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (32,61 \cdot 29916) + (0,99 \cdot 76440) \\
 &= 1050924 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BA4

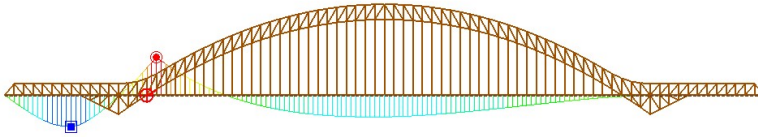


Gambar 6.31 Garis Pengaruh Batang BA4

$$\begin{aligned}
 F_{BA4(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (18,38 \cdot 29916) + (1,03 \cdot 76440) \\
 &= 628689 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA4(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (15,79 \cdot 29916) + (0,66 \cdot 76440) \\
 &= 523221 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BB4

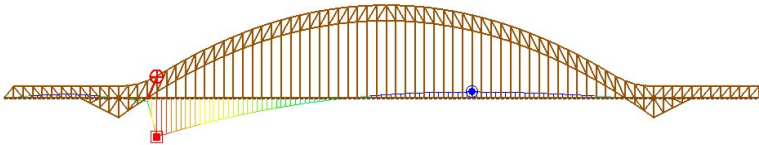


Gambar 6.32 Garis Pengaruh Batang BB4

$$\begin{aligned}
 F_{BB4(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (31,03 \cdot 29916) + (1,19 \cdot 76440) \\
 &= 1019788 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BB4(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,59 \cdot 29916) + (1,45 \cdot 76440) \\
 &= 338068 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BD4

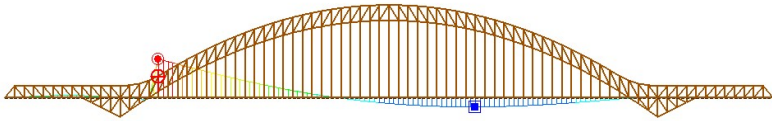


Gambar 6.33 Garis Pengaruh Batang BB4

$$\begin{aligned}
 F_{BD4(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (13,93 \cdot 29916) + (1,54 \cdot 76440) \\
 &= 534866 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BD4(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,74 \cdot 29916) + (0,53 \cdot 76440) \\
 &= 271866,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BV4



Gambar 6.34 Garis Pengaruh Batang BV4

$$\begin{aligned}
 F_{BV4(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (12,04 \cdot 29916) + (0,89 \cdot 76440) \\
 &= 428734 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BV4(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (8,69 \cdot 29916) + (0,93 \cdot 76440) \\
 &= 331033 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang TB4

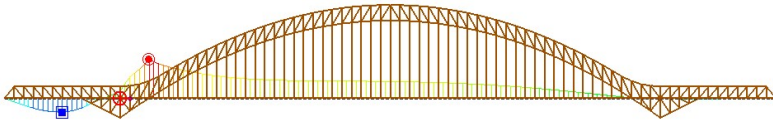


Gambar 6.35 Garis Pengaruh Batang TB4

$$\begin{aligned}
 F_{TB4(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (1,14 \cdot 29916) + (0,12 \cdot 76440) \\
 &= 43122,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB4(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (32,61 \cdot 29916) + (0,99 \cdot 76440) \\
 &= 1050924 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang TB5

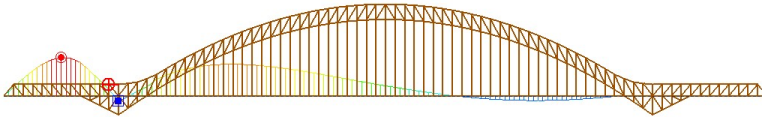


Gambar 6.36 Garis Pengaruh Batang TB5

$$\begin{aligned}
 F_{TB5(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (1,09 \cdot 29916) + (0,16 \cdot 76440) \\
 &= 44952,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB5(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (10,28 \cdot 29916) + (0,46 \cdot 76440) \\
 &= 342533,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BA5

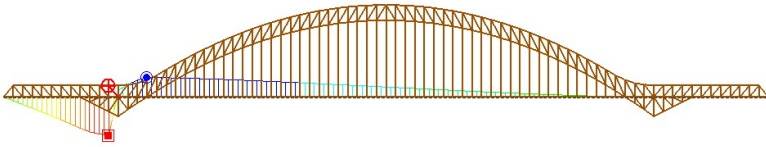


Gambar 6.37 Garis Pengaruh Batang BA5

$$\begin{aligned}
 F_{BA5(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,56 \cdot 29916) + (1,45 \cdot 76440) \\
 &= 336903 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA5(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (23,44 \cdot 29916) + (1,01 \cdot 76440) \\
 &= 778151 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BD5

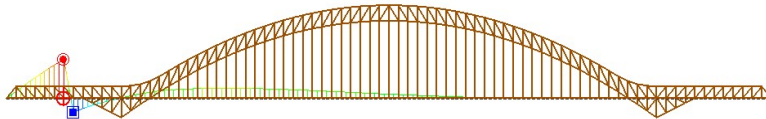


Gambar 6.38 Garis Pengaruh Batang BD5

$$\begin{aligned}
 F_{BA5(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (8,37 \cdot 29916) + (0,87 \cdot 76440) \\
 &= 316812 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA5(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,59 \cdot 29916) + (0,27 \cdot 76440) \\
 &= 247943 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BV5

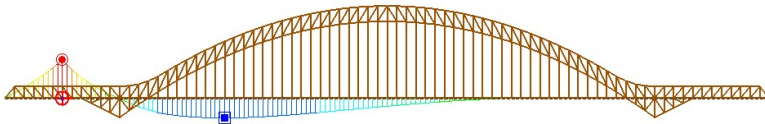


Gambar 6.39 Garis Pengaruh Batang BV5

$$\begin{aligned}
 F_{BV5(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (0,71 \cdot 29916) + (0,25 \cdot 76440) \\
 &= 40278,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BV5(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (6,43 \cdot 29916) + (0,66 \cdot 76440) \\
 &= 243381,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang TB6

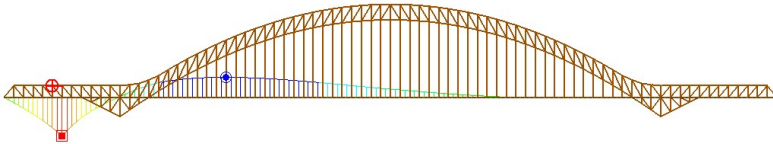


Gambar 6.40 Garis Pengaruh Batang TB6

$$\begin{aligned}
 F_{TB6(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (20,09 \cdot 29916) + (0,86 \cdot 76440) \\
 &= 666987 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB6(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (8,98 \cdot 29916) + (1,67 \cdot 76440) \\
 &= 396182 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BA6

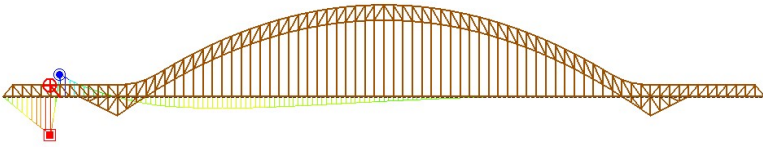


Gambar 6.41 Garis Pengaruh Batang BA6

$$\begin{aligned}
 F_{BA6(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (8,98 \cdot 29916) + (1,67 \cdot 76440) \\
 &= 396182 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA6(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (20,09 \cdot 29916) + (0,86 \cdot 76440) \\
 &= 666987 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BD6

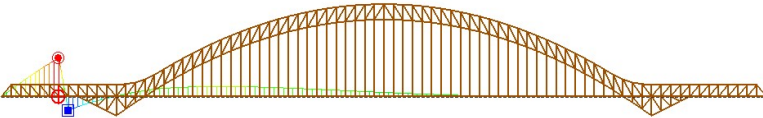


Gambar 6.42 Garis Pengaruh Batang BD6

$$\begin{aligned}
 F_{BA6(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (7,51 \cdot 29916) + (0,74 \cdot 76440) \\
 &= 281353 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BA6(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (5,23 \cdot 29916) + (0,22 \cdot 76440) \\
 &= 173644 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang BV6

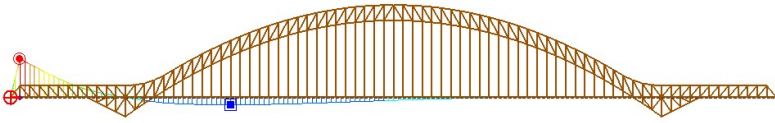


Gambar 6.43 Garis Pengaruh Batang BV6

$$\begin{aligned}
 F_{BV6(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (0,71 \cdot 29916) + (0,25 \cdot 76440) \\
 &= 40278,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BV6(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (6,43 \cdot 29916) + (0,66 \cdot 76440) \\
 &= 243381,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisis Batang TB7



Gambar 6.44 Garis Pengaruh Batang TB7

$$\begin{aligned}
 F_{TB7(-)} &= (\sum_{(-)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(-)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (3,35 \cdot 29916) + (0,14 \cdot 76440) \\
 &= 111165 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB7(+)} &= (\sum_{(+)} \cdot V_{BTR}) + (\text{Max}_{(+)} \cdot V_{BGT}) \\
 &= (3,58 \cdot 29916) + (0,73 \cdot 76440) \\
 &= 163134 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

6.7.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk mendapatkan gaya aksial akhir tiap batang yang ditinjau menggunakan kombinasi sesuai dengan SNI 1725:2016. Kombinasi dengan nilai terbesar menggunakan kombinasi Kuat I. Berikut adalah rekapitulasi hasil kombinasi Kuat I seperti pada

Tabel 6.12.

Tabel 6.12 Gaya Batang akibat Beban

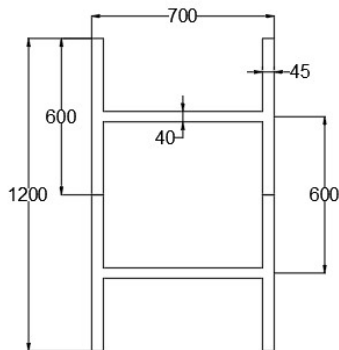
Nama Batang	Gaya Batang akibat Beban				
	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)		Kombinasi Kuat I (kg)	
		Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
BA1	-2255374	-1617544	196381	-5471258	2180105
BA2	-2223416	-1645376	388273	-5514168	1713912
BA3	-1977615	-1477125	399410	-4931866	1195790
BA4	-1360294	-628688	523221	-2617671	1848276
BA5	1034681	-38391	778151	-721283	2590983
BA6	733875	-396182	666986	-531386	2067848
BB1	-356249	-478650	845321	-1313550	1334394
BB2	-666502	-943642	1039693	-2553787	1412884
BB3	-1395530	-1004606	1016286	-3404743	1302026
BB4	-1871329	-1019788	338068	-3910905	1195192
BD1	-39122	-278458	271854	-596039	554774.2
BD2	-118221	-289667	244153	-697557	442614.8
BD3	-231668	-467110	206984	-1165890	220266.4
BD4	-678133	-534865	271866	-1456710	1135825
BD5	-468852	-316812	247943	-1102477	798581.2
BD6	-389111	-254824	173644	-898759	339306
BV1	80850	-175446	239012	-270043	558875.8
BV2	130378	-167291	236726	-246770	593418.6
BV3	183339	-131114	318069	-87801.2	819478
BV4	-923477	-428734	331033	-1780945	891773.3
BV5	355823	-40278	243381	-275266	842586.7
BV6	355823	-40278	243381	-275266	842586.7
TB1	2576237	-43122	1050923	-2489993	4678084
TB2	2576237	-43122	1050923	-2489993	4678084
TB3	2576237	-43122	1050923	-2489993	4678084
TB4	2576237	-43122	1050923	-2489993	4678084
TB5	1602338	-44952	342533	-1512432	2287404
TB6	433075	-666986	396182	-900898	1225440
TB7	-484158	-111164	163134	-706487	-157889

6.7.6 Perencanaan Profil Rangka Utama

Perencanaan profil rangka utama menggunakan material baja dengan kontrol sesuai SNI 1729-2015. Batang-batang yang dianalisis memiliki gaya aksial seperti pada subbab sebelumnya. Diperlukan profil yang mampu menahan gaya aksial tersebut. Profil yang digunakan adalah profil WF double dan WF.

- Batang BA1

Direncanakan BA1 menggunakan profil Double WF 700x550x40x45 seperti pada Gambar 6.45 dengan data sebagai berikut:



Gambar 6.45 Profil Double WF 700x600x40x45

$W = 1230,88 \text{ kg/m}$	$I_y = 1311510,7 \text{ cm}^4$
$A = 1568 \text{ cm}^2$	$i_x = 33,272 \text{ cm}$
$d = 700 \text{ mm}$	$i_y = 28,921 \text{ cm}$
$bf = 1200 \text{ mm}$	$f_y = 410 \text{ MPa}$
$tw = 40 \text{ mm}$	$f_u = 550 \text{ MPa}$
$tf = 45 \text{ mm}$	$E = 200000 \text{ MPa}$
$I_x = 1735850,7 \text{ cm}^4$	$h = 610 \text{ mm}$

1. Kontrol Tekan (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

Cek Kelangsingan:

$$\frac{b}{tf} \leq 1,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{600}{45} \leq 1,40 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$13,33 \leq 30,92 \quad (\text{OK})$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $P_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 9488 \text{ mm}$$

$$r = iy = 28,921 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1.9488}{289,21} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$17,29 \leq 104,03 \quad (\text{OK})$$

Sehingga, $F_{cr} = \left[0,658^{f_y} \right] fy$

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.9488}{289,21}\right)^2} \\ &= 6604,13 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left[0,658^{f_y} \right] fy \\ &= \left[0,658^{\frac{410}{6604,13}} \right] 410 \\ &= 399,48 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$\begin{aligned}
 &= 399,48 \cdot 156800 \\
 &= 62639019 \text{ N} \\
 \emptyset P_n &= 0,9 \cdot 62639019 \\
 &= 56375117 \text{ N} \\
 &= 5637511,7 \text{ kg} \geq P_u = 5471258 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

2. Kontrol Tarik

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_y \cdot A_g \\
 &= 410 \cdot 156800 \\
 &= 64288000 \text{ N} \\
 \emptyset P_n &= 0,9 \cdot 64288000 \\
 &= 57859200 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_u \cdot A_e \\
 \text{Dimana, } A_e &= A_n = 0,85 A_g \\
 P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 156800 \\
 &= 73304000 \text{ N} \\
 \emptyset P_n &= 0,75 \cdot 73304000 \\
 &= 54978000 \text{ N} \\
 &= 5497800 \text{ kg} \geq P_u = 2180106 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

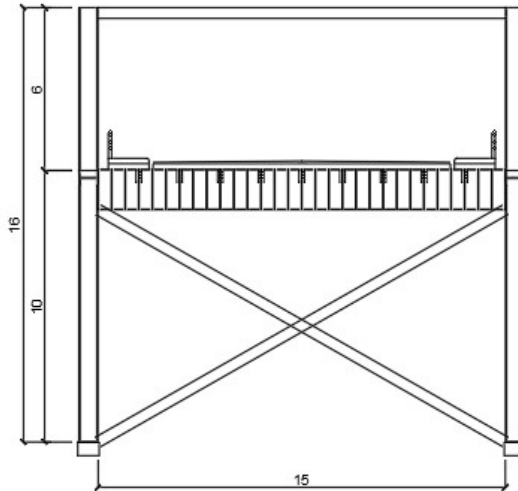
Untuk kontrol elemen-elemen lain meimiliki cara yang sama seperti contoh diatas. Berikut adalah rekapitulasi profil yang digunakan sesuai dengan Tabel 6.13.

Tabel 6.13 Rekapitulasi Elemen-elemen pada Rangka Utama

Segmen	Nama Batang	Jenis Profil
Segmen 1	BA1	Double WF 700x600x40x45
	BB1	Double WF 700x400x20x24
	BD1	WF 700x450x20x24
	BV1	WF 700x350x20x24
	TB1	Double WF 700x550x40x45
Segmen 2	BA2	Double WF 700x600x40x45
	BB2	Double WF 700x500x20x24
	BD2	WF 700x500x20x24
	BV2	WF 700x350x20x24
	TB2	Double WF 700x550x40x45
Segmen 3	BA3	Double WF 700x550x40x45
	BB3	Double WF 700x500x30x35
	BD3	WF 700x600x26x30
	BV3	WF 700x400x20x24
	TB3	Double WF 700x550x40x45
Segmen 4	BA4	Double WF 700x500x20x24
	BB4	Double WF 700x500x20x24
	BD4	WF 700x600x40x45
	BV4	WF 700x600x40x45
	TB4	Double WF 700x550x40x45
	TB5	WF 700x550x40x45
Segmen 5	BA5	WF 700x550x40x45
	BB4	Double WF 700x500x20x24
	BD5	WF 700x600x26x30
	BV5	WF 700x400x20x24
	TB6	WF 700x550x20x24
Segmen 6	BA6	WF 700x500x40x45
	BD6	WF 700x550x26x30
	BV6	WF 700x400x20x24
	TB7	WF 700x350x20x24

6.8 Perencanaan Portal Akhir

Portal akhir adalah konstruksi yang meneruskan gaya dari ikatan angin dan busur ke tumpuan (pondasi). Analisis konstruksi portal akhir dihitung sebagai hubungan balok kolom pada konstruksi baja seperti pada Gambar 6.46.



Gambar 6.46 Portal Akhir

6.8.1 Perencanaan Balok Portal Akhir

- Gelagar Melintang

Dari analisis software Midas Civil, didapat gaya batang maksimal pada balok portal akhir akibat kombinasi pembebanan Kuat I seperti berikut:

$$M_u = 169834 \text{ kgm}$$

$$V_u = 201640,45 \text{ kg}$$

Direncanakan balok portal akhir menggunakan plate girder dengan spesifikasi seperti berikut:

$$W = 311,174 \text{ kg/m}$$

$$A_s = 396,4 \text{ cm}^2$$

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

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$d = 1500 \text{ mm}$$

$$t_f = 28 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll}
 h = 1444 \text{ mm} & I_x = 1616149 \text{ cm}^4 \\
 S_x = 21548,6 \text{ cm}^3 & I_y = 20020 \text{ cm}^4 \\
 S_y = 1890,5 \text{ cm}^3 & i_x = 62,101 \text{ cm} \\
 Z_x = 23760 \text{ cm}^3 & i_y = 7,669 \text{ cm} \\
 Z_y = 2871,1 \text{ cm}^3 & a = 500 \text{ mm}
 \end{array}$$

Profil yang digunakan sama seperti gelagar melintang, sehingga analisis kapasitas profil dapat disamakan dengan balok melintang. Dari Analisis tersebut didapatkan kapasitas sebagai berikut:

$$M_n = 784246,763 \text{ kgm} > M_u = 169834 \text{ kgm (OK)}$$

$$V_n = 319701,6 \text{ kg} > V_u = 201640,45 \text{ kg (OK)}$$

- Ikatan Angin Atas

Dari analisis software Midas Civil, didapat gaya batang maksimal pada balok portal akhir akibat kombinasi pembebanan Kuat III seperti berikut:

$$M_u = 83614,30 \text{ kgm}$$

$$V_u = 11733,55 \text{ kg}$$

Direncanakan profil WF 400x400x45x70 dengan spesifikasi seperti berikut:

$$\begin{array}{ll}
 W = 605 \text{ kg/m} & i_x = 19,7 \text{ cm} \\
 A = 770,1 \text{ cm}^2 & i_y = 11,1 \text{ cm} \\
 d = 498 \text{ mm} & S_x = 12000 \text{ cm}^3 \\
 b_f = 432 \text{ mm} & S_y = 4370 \text{ cm}^3 \\
 t_w = 45 \text{ mm} & Z_x = 14385 \text{ cm}^3 \\
 t_f = 70 \text{ mm} & Z_y = 6713 \text{ cm}^3 \\
 r = 22 \text{ mm} & h = 314 \text{ mm} \\
 I_x = 298000 \text{ cm}^4 & f_y = 410 \text{ MPa} \\
 I_y = 94400 \text{ cm}^4 & f_u = 550 \text{ MPa}
 \end{array}$$

1. Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1b)

$$\text{Sayap} : \frac{b_f}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{432}{2.70} \leq 0,38 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 3,08 \leq 8,39 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan : } \frac{h}{tw} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{314}{45} \leq 3,76 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 13,56 \leq 83,1 \text{ (OK)}$$

Profil Kompak, maka:

Momen terhadap sumbu x

$$\begin{aligned} M_{px} &= Z_x \cdot f_y \\ &= 14385 \cdot 4100 = 58978500 \text{ kgcm} \\ &= 589785 \text{ kgm} \end{aligned}$$

2. Kontrol Tekuk Lateral

$$\left. \begin{aligned} L_b &= 750 \text{ cm} \\ L_p &= 431,48 \text{ cm} \\ L_r &= 8524,74 \text{ cm} \end{aligned} \right\} L_p < L_b < L_r, \text{ Bentang Menengah}$$

Bentang Menengah, maka:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L} \right) \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} < 2,3$$

$$M_{max} = 65656 \text{ kgm}$$

$$M_a = 48531 \text{ kgm}$$

$$M_b = 31706 \text{ kgm}$$

$$M_c = 15180 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5(65656)}{2,5(65656) + 3(48531) + 4(31706) + 3(15180)} < 2,3 \\ &= 1,7 < 2,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 1,7 \left[589785 - \left(589785 - \frac{0,7 \cdot 4100 \cdot 12000}{100} \right) \left(\frac{750 - 431,48}{8524,74 - 431,48} \right) \right] \\ &= 987582,7 \text{ kgm} > M_p = 589785 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$M_{nx} = M_{px} = 589785 \text{ kgm} > M_u = 83614,30 \text{ kgm (OK)}$$

3. Kontrol Geser

Kontrol Penampang

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{314}{45} \leq \frac{1100}{\sqrt{410}}$$

$$6,98 \leq 54,32 \text{ (OK)}$$

Karena plastis maka, kuat geser nominal:

$$\begin{aligned} \emptyset V_n &= 0,6 \cdot fy \cdot Aw \\ &= 0,6 \cdot 4100 \cdot 31,4 \cdot 4,5 \\ &= 347598 \text{ kg} > Vu = 11733,55 \text{ kg} \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

6.8.2 Perencanaan Kolom Portal Akhir

- Kolom Bawah

Dari analisis software Midas Civil, didapat gaya batang maksimal pada balok portal akhir akibat kombinasi pembebanan Kuat I dan Kuat III seperti berikut:

$$Nu = 1906646 \text{ kg}$$

Direncanakan profil *Double* WF 700x550x26x30 dengan spesifikasi seperti berikut:

W = 879,83 kg/m	iy = 28,31 cm
A = 1120,8 cm ²	Sx = 18445,05 cm ³
d = 700 mm	Sy = 25670,47 cm ³
bf = 1100 mm	Zx = 30822 cm ³
tw = 26 mm	Zy = 29482,8 cm ³
tf = 30 mm	h = 640 mm
r = 0 mm	Lp = 1100,58 cm
Ix = 1014478 cm ⁴	Lr = 8256,22 cm
Iy = 898466,4 cm ⁴	fy = 410 MPa
ix = 30,08 cm	fu = 550 MPa

1. Kontrol akibat Gaya Aksial

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1000}{2.30} \leq 1,12 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 18,3 \leq 24,74 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{640}{26} \leq 2,42 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 24,6 \leq 53,45 \text{ (OK)}$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $N_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 10000 \text{ mm}$$

$$r = iy = 28,31 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1.10000}{283,1} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$35,32 \leq 104,03 \quad \text{(OK)}$$

$$\text{Sehingga, } F_{cr} = \left[0,658 \frac{fy}{Fe} \right] fy$$

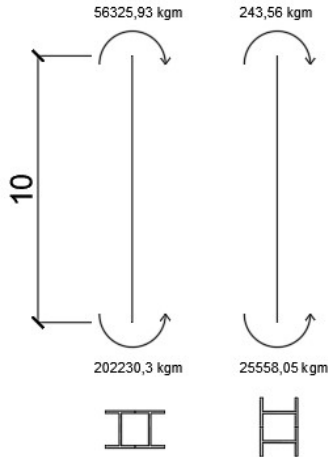
$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.10000}{283,1} \right)^2} \\ &= 1582,35 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left[0,658 \frac{fy}{Fe} \right] fy \\ &= \left[0,658 \frac{410}{1582,35} \right] 410 \\ &= 367,86 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$N_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$\begin{aligned}
 &= 367,86 \cdot 112080 \\
 &= 41229959 \text{ N} \\
 \varnothing N_n &= 0,9 \cdot 41229959 \\
 &= 37106963 \text{ N} \\
 &= 3710696,3 \text{ kg} \geq N_u = 1906646 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

2. Kontrol akibat Momen Lentur



Gambar 6.47 Ilustrasi Momen pada Kolom Portal Akhir
 Nilai momen lentur yang didapatkan dari program bantu Midas Civil seperti ilustrasi pada Gambar 6.47.

3. Kontrol Aksi Kolom

Sumbu x:

$$\begin{aligned}
 C_{mx} &= 0,6 - 0,4\beta \quad (\text{Lamp.8.2.1 SNI 1729:2015}) \\
 &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\
 &= 0,6 - 0,4 (56325,93/202230,3) \\
 &= 0,489
 \end{aligned}$$

$$\lambda_x = \frac{K.L}{i_x} = \frac{1.10000}{300,8} = 33,24$$

$$\begin{aligned}
 N_{erbx} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1120,8}{33,23^2} \\
 &= 20024987 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_{bx} &= \frac{C_{mx}}{1 - \left(\frac{Nu}{N_{crbx}} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{0,489}{1 - \left(\frac{1906646}{20024987} \right)} \geq 1 = 0,54 < 1\end{aligned}$$

Maka, $\delta_{bx} = 1$

$$\begin{aligned}M_{ux} &= \delta_{bx} \cdot M_{utx} \\ &= 1 \cdot 202230,3 = 202230,3 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Sumbu y:

$$\begin{aligned}C_{my} &= 0,6 - 0,4\beta \quad (\text{Lamp.8.2.1 SNI 1729:2015}) \\ &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\ &= 0,6 - 0,4 (243,56/25558,05) \\ &= 0,596\end{aligned}$$

$$\lambda_y = \frac{K.L}{i_y} = \frac{1.10000}{283,1} = 35,32$$

$$\begin{aligned}N_{crby} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1120,8}{35,32^2} \\ &= 17735016 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_{by} &= \frac{C_{my}}{1 - \left(\frac{Nu}{N_{crby}} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{0,596}{1 - \left(\frac{1906646}{17735016} \right)} \geq 1 = 0,668 < 1\end{aligned}$$

Maka, $\delta_{by} = 1$

$$\begin{aligned}M_{uy} &= \delta_{by} \cdot M_{uty} \\ &= 1 \cdot 25558,05 = 25558,05 \text{ kgm}\end{aligned}$$

4. Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1b)

$$\begin{aligned}\text{Sayap} : \frac{bf}{2t} &\leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{1000}{2 \cdot 30} &\leq 1,12 \sqrt{\frac{200000}{410}} && 18,3 \leq 24,74 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{640}{26} \leq 2,42 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 24,6 \leq 53,45 \text{ (OK)}$$

Profil Kompak, maka:

Momen terhadap sumbu x

$$\begin{aligned} M_{px} &= Z_x \cdot f_y \\ &= 30822 \cdot 4100 = 126370200 \text{ kgcm} \\ &= 1263702 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen terhadap sumbu y

$$\begin{aligned} M_{py} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 29482,8 \cdot 4100 = 120879480 \text{ kgcm} \\ &= 1208794,8 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5. Kontrol Tekuk Lateral

$$\left. \begin{aligned} L_b &= 1000 \text{ cm} \\ L_p &= 1100,58 \text{ cm} \\ L_r &= 8256,22 \text{ cm} \end{aligned} \right\} L_b < L_p, \text{ Bentang Pendek}$$

Bentang Pendek, maka:

$$M_n = M_p$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} M_{nx} &= M_{px} \\ &= Z_x \cdot f_y = 1263702 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= M_{py} \\ &= Z_y \cdot f_y = 1046477,13 \text{ kgm} \end{aligned}$$

6. Kontrol Interaksi Kolom

$$\frac{N_u}{\phi_b N_n} = \frac{1906646}{0,85 \cdot 4122995,8} = 0,54 \geq 0,2$$

Maka persamaan yang dipakai:

$$\frac{N_u}{\phi_b N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$0,54 + \frac{8}{9} \left(\frac{202230,3}{0,9 \cdot 1263702} + \frac{25558,05}{0,9 \cdot 1046477,13} \right) < 1,0$$

$$0,723 < 1,0 \quad \text{(OK)}$$

- Kolom Atas

Dari analisis software Midas Civil, didapat gaya batang maksimal pada balok portal akhir akibat kombinasi pembebanan Kuat I dan Kuat III seperti berikut:

$$N_u = 112295,95 \text{ kg}$$

Direncanakan profil *Double WF 700x550x26x30* dengan spesifikasi seperti berikut:

$W = 879,83 \text{ kg/m}$	$i_y = 28,31 \text{ cm}$
$A = 1120,8 \text{ cm}^2$	$S_x = 18445,05 \text{ cm}^3$
$d = 700 \text{ mm}$	$S_y = 25670,47 \text{ cm}^3$
$bf = 1100 \text{ mm}$	$Z_x = 30822 \text{ cm}^3$
$tw = 26 \text{ mm}$	$Z_y = 29482,8 \text{ cm}^3$
$tf = 30 \text{ mm}$	$h = 640 \text{ mm}$
$r = 0 \text{ mm}$	$L_p = 1100,58 \text{ cm}$
$I_x = 1014478 \text{ cm}^4$	$L_r = 8256,22 \text{ cm}$
$I_y = 898466,4 \text{ cm}^4$	$f_y = 410 \text{ MPa}$
$i_x = 30,08 \text{ cm}$	$f_u = 550 \text{ MPa}$

1. Kontrol akibat Gaya Aksial

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{1000}{2 \cdot 30} \leq 1,12 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 18,3 \leq 24,74 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{640}{26} \leq 2,42 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 24,6 \leq 53,45 \text{ (OK)}$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $N_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 6000 \text{ mm}$$

$$r = i_y = 28,31 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\begin{aligned} \frac{KL}{r} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{1.6000}{283,1} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 21,19 &\leq 104,03 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Sehingga, $F_{cr} = \left[0,658 \frac{fy}{Fe} \right] fy$

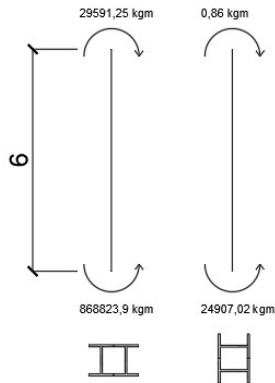
$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.6000}{283,1}\right)^2} \\ &= 4395,43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left[0,658 \frac{fy}{Fe} \right] fy \\ &= \left[0,658 \frac{410}{4395,43} \right] 410 \\ &= 394,3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_n &= F_{cr} \cdot A_g \\ &= 394,3 \cdot 112080 \\ &= 44193287,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,9 \cdot 44193287,6 \\ &= 39773958,84 \text{ N} \\ &= 39773958,84 \text{ kg} \geq N_u = 112295,95 \text{ kg} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

2. Kontrol akibat Momen Lentur



Gambar 6.48 Ilustrasi Momen pada Kolom Portal Akhir

Nilai momen lentur yang didapatkan dari program bantu Midas Civil seperti ilustrasi pada Gambar 6.48.

3. Kontrol Aksi Kolom

Sumbu x:

$$\begin{aligned} C_{mx} &= 0,6 - 0,4\beta \quad (\text{Lamp.8.2.1 SNI 1729:2015}) \\ &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\ &= 0,6 - 0,4 (29591,25/868823,9) \\ &= 0,586 \end{aligned}$$

$$\lambda_x = \frac{K.L}{i_x} = \frac{1.6000}{300,8} = 19,94$$

$$\begin{aligned} N_{crbx} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1120,8}{19,94^2} \\ &= 55624964,29 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{bx} &= \frac{C_{mx}}{1 - \left(\frac{Nu}{N_{crbx}} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{0,586}{1 - \left(\frac{112296,95}{55624964,29} \right)} \geq 1 = 0,59 < 1 \end{aligned}$$

Maka, $\delta_{bx} = 1$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_{bx} \cdot M_{utx} \\ &= 1 \cdot 868823,9 = 868823,9 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Sumbu y:

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0,6 - 0,4\beta \quad (\text{Lamp.8.2.1 SNI 1729:2015}) \\ &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\ &= 0,6 - 0,4 (0,86/24907,02) \\ &= 0,599 \end{aligned}$$

$$\lambda_y = \frac{K.L}{i_y} = \frac{1.6000}{283,1} = 21,19$$

$$\begin{aligned} N_{crby} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1120,8}{21,19^2} \\ &= 49263932,98 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{by} &= \frac{C_{my}}{1 - \left(\frac{Nu}{N_{crby}} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{0,599}{1 - \left(\frac{112296,95}{49263932,98} \right)} \geq 1 = 0,601 < 1 \end{aligned}$$

Maka, $\delta_{by} = 1$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_{by} \cdot M_{uty} \\ &= 1 \cdot 24907,02 = 24907,02 \text{ kgm} \end{aligned}$$

4. Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1b)

$$\begin{aligned} \text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} &\leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{1000}{2 \cdot 30} &\leq 1,12 \sqrt{\frac{200000}{410}} && 18,3 \leq 24,74 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} : \frac{h}{tw} &\leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{640}{26} &\leq 2,42 \sqrt{\frac{200000}{410}} && 24,6 \leq 53,45 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Profil Kompak, maka:

Momen terhadap sumbu x

$$\begin{aligned} M_{px} &= Z_x \cdot fy \\ &= 30822 \cdot 410 = 126370200 \text{ kgcm} \\ &= 1263702 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen terhadap sumbu y

$$\begin{aligned}
 M_{py} &= Z_y \cdot f_y \\
 &= 29482,8 \cdot 4100 = 120879480 \text{ kgcm} \\
 &= 1208794,8 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

5. Kontrol Tekuk Lateral

$$\left. \begin{aligned}
 L_b &= 1000 \text{ cm} \\
 L_p &= 1100,58 \text{ cm} \\
 L_r &= 8256,22 \text{ cm}
 \end{aligned} \right\} L_b < L_p, \text{ Bentang Pendek}$$

Bentang Pendek, maka:

$$M_n = M_p$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= M_{px} \\
 &= Z_x \cdot f_y = 1263702 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= M_{py} \\
 &= Z_y \cdot f_y = 1046477,13 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

6. Kontrol Interaksi Kolom

$$\frac{N_u}{\phi_b N_n} = \frac{112296}{0,85 \cdot 4419328,7} = 0,029 \leq 0,2$$

Maka persamaan yang dipakai:

$$\begin{aligned}
 \frac{N_u}{2\phi_b N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) &< 1,0 \\
 0,014 + \left(\frac{868823,9}{0,9 \cdot 1263702} + \frac{24907,02}{0,9 \cdot 1046477,13} \right) &< 1,0 \\
 0,802 &< 1,0 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

6.8.3 Perencanaan Ikatan Silang Portal Akhir

Dari program bantu Midas Civil 2011 dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan silang. Gaya aksial maksimum disebabkan kombinasi Kuat III adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Elemen 6074} &= 723743,46 \text{ kg} && (\text{Tarik}) \\
 \text{Elemen 6072} &= 703328,61 \text{ kg} && (\text{Tekan})
 \end{aligned}$$

Direncanakan profil WF 400x400x30x50 dengan spesifikasi seperti berikut:

$$W = 415 \text{ kg/m} \qquad A = 528,6 \text{ cm}^2$$

$d = 458 \text{ mm}$	$i_y = 10,7 \text{ cm}$
$bf = 417 \text{ mm}$	$S_x = 8170 \text{ cm}^3$
$tw = 30 \text{ mm}$	$S_y = 2900 \text{ cm}^3$
$tf = 50 \text{ mm}$	$Z_x = 9468 \text{ cm}^3$
$r = 22 \text{ mm}$	$Z_y = 4428 \text{ cm}^3$
$I_x = 187000 \text{ cm}^4$	$h = 314 \text{ mm}$
$I_y = 60500 \text{ cm}^4$	$f_y = 410 \text{ MPa}$
$i_x = 18,8 \text{ cm}$	$f_u = 550 \text{ MPa}$

1. Kontrol Tekan

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{417}{2 \cdot 50} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 4,17 \leq 12,37 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{314}{30} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{410}} \quad 10,47 \leq 32,9 \text{ (OK)}$$

Elemen Tidak Langsing, sehingga $P_n = F_{cr} \cdot A_g$

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 9014 \text{ mm}$$

$$r = i_y = 10,7 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1.9014}{107} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$84,24 \leq 104,03 \quad \text{(OK)}$$

Sehingga, $F_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{F_e} \right] f_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1,9014}{107} \right)^2}$$

$$= 278,14 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{F_e} \right] f_y$$

$$= \left[0,658 \frac{410}{278,14} \right] 410$$

$$= 221,22 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$= 221,22 \cdot 52860$$

$$= 11693945,41 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 11693945,41$$

$$= 10524550,87 \text{ N}$$

$$= 1052455,087 \text{ kg} \geq P_u = 703328,61 \text{ kg (OK)}$$

2. Kontrol Tarik

Kuat Leleh:

$$P_n = f_y \cdot A_g$$

$$= 410 \cdot 52860$$

$$= 21672600 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 21672600$$

$$= 19505340 \text{ N}$$

Kuat Putus:

$$P_n = f_u \cdot A_e$$

Dimana, $A_e = A_n = 0,85 A_g$

$$P_n = 550 \cdot 0,85 \cdot 52860$$

$$= 24712050 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot 24712050$$

$$= 18534038 \text{ N (Menentukan!)}$$

Dipakai,

$$\begin{aligned}\varnothing P_n &= 18534038 \text{ N} \\ &= 1853403,8 \text{ kg} \geq P_u = 723743,46 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

6.9 Kontrol Lendutan

Dalam perencanaan suatu jembatan, salah satu syarat utama yang harus dipenuhi adalah lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi lendutan ijin yang disyaratkan.

Main span $\lambda = 280 \text{ m}$

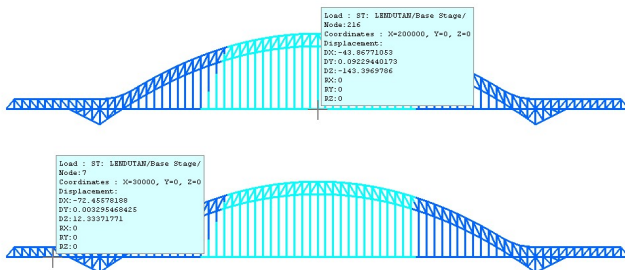
$$\begin{aligned}\Delta_{\text{ijin}} &= 1/800 \cdot \lambda \\ &= 1/800 \cdot 280 \\ &= 0,35 \text{ m} = 350 \text{ mm}\end{aligned}$$

Side Span $\lambda = 60 \text{ m}$

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{ijin}} &= 1/800 \cdot \lambda \\ &= 1/800 \cdot 60 \\ &= 0,075 \text{ m} = 75 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan lendutan yang terjadi pada jembatan dihitung menggunakan program bantu Midas Civil seperti pada Gambar 6.49. Input beban yang dimasukkan adalah nilai yang terbesar dari:

- Lendutan akibat beban satu truk
- Lendutan akibat BTR dan BGT



Gambar 6.49 Lendutan Jembatan akibat Beban Hidup

Main span ($\lambda = 280$ m)

$$\Delta_{\text{aktual}} = 144 \text{ mm} < \Delta_{\text{ijin}} = 350 \text{ mm (OK)}$$

Side Span ($\lambda = 60$ m)

$$\Delta_{\text{aktual}} = 13 \text{ mm} < \Delta_{\text{ijin}} = 75 \text{ mm (OK)}$$

6.10 Perencanaan Sambungan

Dalam mendesain sambungan pada jembatan ini mengacu pada peraturan sambungan baja SNI 1729-2015. Beberapa sistem sambungan yang digunakan terdiri dari sambungan baut dan las dengan bantuan pelat sambung. Sambungan baut menggunakan baut jenis mutu tinggi dengan diameter dan kekuatan seperti pada

Tabel 6.14 Pratarik Baut Minimum, kN*

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

*Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan mendekati kN seperti disyaratkan dalam spesifikasi untuk baut ASTM A325M dan A490M

6.10.1 Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang (Gambar 6.50)

Data perencanaan sambungan:

- Gelagar Memanjang:
 Profil = WF 450x200x9x14
 $V_u = 33069,2 \text{ kg}$
- Pelat siku penyambung:
 Profil = L 90x90x7
 $f_u = 550 \text{ MPa}$
 $f_y = 410 \text{ MPa}$
- Baut:
 $\varnothing \text{ Baut} = \text{M20}$
 Mutu = A490
 $T_b = 179 \text{ kN}$

1. Kuat Geser

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

dengan,

$$\mu = 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)}$$

$$D_u = 1,13$$

$$h_f = 1 \text{ (Faktor Pengisi)}$$

$$T_b = 179 \text{ kN}$$

$$n_s = 2 \text{ (Bidang Geser)}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 179 \cdot 2 \\ &= 121,362 \text{ kN} = 12136,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Jumlah Baut

$$n = \frac{V_u}{\varnothing V_n} = \frac{33062,2}{1.12136,2} = 2,72 \approx 3 \text{ buah}$$

3. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=20 \text{ mm}$)
 $3d \leq s \leq 14t_p$ atau 180 mm

$$60 \text{ mm} \leq 70 \text{ mm} \leq 98 \text{ mm}$$

- Jarak baut ke tepi sambungan
Persyaratan jarak tepi minimum dapat dilihat pada Tabel 6.15.

Tabel 6.15 Jarak Tepi Minimum Sambungan

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	40
Di atas 36	1,25d

$$26 \text{ mm} \leq s \leq 12t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$26 \text{ mm} \leq 70 \text{ mm} \leq 84 \text{ mm}$$

4. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (350 \cdot 7) \\ &= 602700 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 1 \cdot 602700 = 602700 \text{ N} \\ &= 60270 \text{ kg} \end{aligned}$$

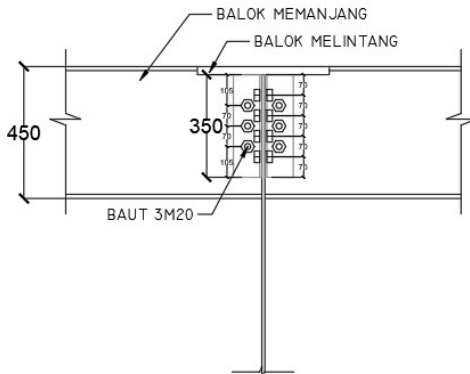
Kuat Putus:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (350 - (3 \cdot 20)) \cdot 7 \\ &= 669900 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 669900 = 502425 \text{ N} \\ &= 50242,5 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$2 \cdot \emptyset V_n = 2 \cdot 50242,5 \text{ kg} \\ = 100485 \text{ kg} > V_u = 33069,2 \text{ kg (OK)}$$



Gambar 6.50 Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang

6.10.2 Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang (Gambar 6.51)

Data perencanaan sambungan:

- Gelagar Memanjang:
 Profil = WF 450x200x9x14
 $V_u = 33069,2 \text{ kg}$
- Pelat siku penyambung:
 Profil = L 90x90x7
 $f_u = 550 \text{ MPa}$
 $f_y = 410 \text{ MPa}$
- Baut:
 $\emptyset \text{ Baut} = \text{M20}$
 Mutu = A490
 $T_b = 179 \text{ kN}$

1. Kuat Geser

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

dengan,

$$\mu = 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)}$$

$$D_u = 1,13$$

$$h_f = 1 \text{ (Faktor Pengisi)}$$

$$T_b = 179 \text{ kN}$$

$$n_s = 1 \text{ (Bidang Geser)}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 179 \cdot 1 \\ &= 60,681 \text{ kN} = 6068,1 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Jumlah Baut

$$n = \frac{Vu}{\phi V_n} = \frac{33062,2}{1.6068,1} = 5,45 \approx 8 \text{ buah}$$

3. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=20 \text{ mm}$)

$$3d \leq s \leq 14t_p \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 70 \text{ mm} \leq 98 \text{ mm}$$

- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.15)

$$26 \text{ mm} \leq s \leq 12t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$26 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm} \leq 84 \text{ mm}$$

4. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv}$$

$$= 0,6 \cdot 410 \cdot (350 \cdot 7)$$

$$= 602700 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1 \cdot 602700 = 602700 \text{ N}$$

$$= 60270 \text{ kg}$$

Kuat Putus:

$$V_n = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$$

$$= 0,6 \cdot 550 \cdot (350 - (4 \cdot 20)) \cdot 7$$

$$= 623700 \text{ N}$$

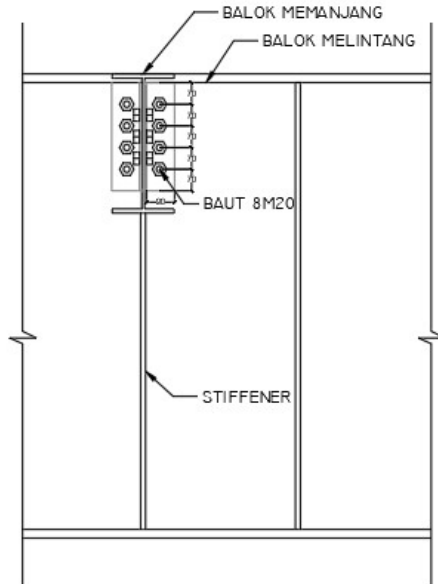
$$\phi V_n = 0,75 \cdot 623700 = 467775 \text{ N}$$

$$= 46777,5 \text{ kg (Menentukan)}$$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$2 \cdot \emptyset V_n = 2 \cdot 46777,5 \text{ kg}$$

$$= 93555 \text{ kg} > V_u = 33069,2 \text{ kg (OK)}$$



Gambar 6.51 Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang

6.10.3 Sambungan Gelagar Melintang ke Rangka Utama (Gambar 6.52)

Data perencanaan sambungan:

- Gelagar Melintang:
 Profil = WF 1500x450x10x28
 $V_u = 161030 \text{ kg}$
- Pelat siku penyambung:
 Profil = L 150x150x10
 $f_u = 550 \text{ MPa}$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

- Baut:
 \varnothing Baut = M30
 Mutu = A490
 $T_b = 408 \text{ kN}$

1. Kuat Geser

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

dengan,

$$\mu = 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)}$$

$$D_u = 1,13$$

$$h_f = 1 \text{ (Faktor Pengisi)}$$

$$T_b = 408 \text{ kN}$$

$$n_s = 2 \text{ (Bidang Geser)}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 2 \\ &= 276,624 \text{ kN} = 27662,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Jumlah Baut

$$n = \frac{Vu}{\varnothing V_n} = \frac{161030}{1.27662,4} = 5,82 \approx 6 \text{ buah}$$

3. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=30 \text{ mm}$)
 $3d \leq s \leq 14t_p$ atau 180 mm
 $90 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 140 \text{ mm}$
- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.15)
 $38 \text{ mm} \leq s \leq 12t_p$ atau 150 mm
 $38 \text{ mm} \leq 80 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$

4. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (660 \cdot 10) \end{aligned}$$

$$= 1623600 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{ØV}_n &= 1 \cdot 1623600 = 1623600 \text{ N} \\ &= 162360 \text{ kg} \end{aligned}$$

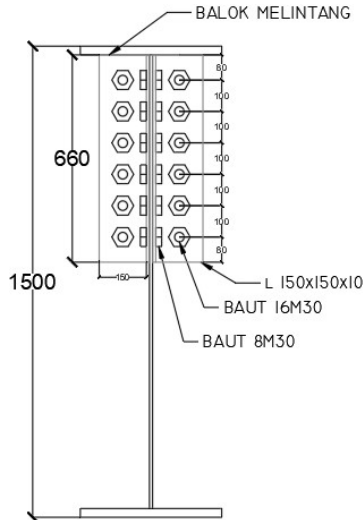
Kuat Putus:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (660 - (8 \cdot 30)) \cdot 10 \\ &= 1584000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ØV}_n &= 0,75 \cdot 1584000 = 1188000 \text{ N} \\ &= 118800 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$\begin{aligned} 2 \cdot \text{ØV}_n &= 2 \cdot 118800 \text{ kg} \\ &= 237600 \text{ kg} > V_u = 161030 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$



Gambar 6.52 Sambungan Gelagar Melintang ke Rangka Utama

6.10.4 Sambungan Ikatan Angin Atas (Gambar 6.53)

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Angin Atas:
 - Profil = WF 400x400x18x28
 - $V_u = 7125,15 \text{ kg}$

$$T_u = 518361 \text{ kg}$$

- Pelat penyambung:

$$\text{Tebal} = 10 \text{ mm}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

- Baut:

$$\text{Ø Baut} = \text{M30}$$

$$\text{Mutu} = \text{A490}$$

$$T_b = 408 \text{ kN}$$

1. Kuat Geser

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

dengan,

$$\mu = 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)}$$

$$D_u = 1,13$$

$$h_f = 1 \text{ (Faktor Pengisi)}$$

$$T_b = 408 \text{ kN}$$

$$n_s = 1 \text{ (Bidang Geser)}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 1 \\ &= 138,312 \text{ kN} = 13831,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Kombinasi Gaya Tarik dan Geser

$$V_{\text{nkombinasi}} = k_{sc} \cdot V_n$$

$$k_{sc} = \left(1 - \frac{T_u}{D_u \cdot T_b \cdot n_b}\right)$$

dengan,

$$T_u = \text{gaya tarik yang diperlukan (kN)}$$

n_b = jumlah baut yang menahan gaya tarik yang diterapkan

Dicoba $n_b = 12$ buah

Sehingga,

$$V_{\text{nkombinasi}} = \left(1 - \frac{T_u}{D_u \cdot T_b \cdot n_b}\right) \cdot V_n$$

$$= \left(1 - \frac{518361}{1,13.408.12}\right) \cdot 13831,2$$

$$= 0,063 \cdot 13831,2 = 872,175 \text{ kg}$$

3. Jumlah Baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_{nkombinasi}} = \frac{7125,15}{1.872,175} = 8,17 \leq 12 \text{ buah}$$

4. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=30 \text{ mm}$)
 $3d \leq s \leq 14t_p$ atau 180 mm
 $81 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 140 \text{ mm}$
- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.15)
 $34 \text{ mm} \leq s \leq 12t_p$ atau 150 mm
 $34 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$

5. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv}$$

$$= 0,6 \cdot 410 \cdot (300 \cdot 10)$$

$$= 738000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1 \cdot 738000 = 738000 \text{ N}$$

$$= 73800 \text{ kg}$$

Kuat Putus:

$$V_n = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$$

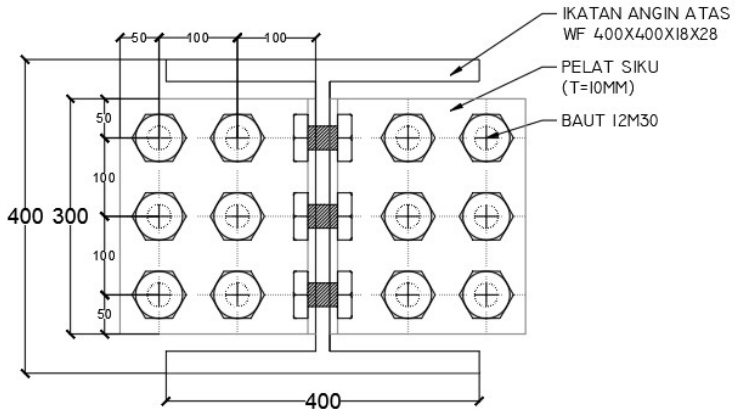
$$= 0,6 \cdot 550 \cdot (300 - (3 \cdot 30)) \cdot 10$$

$$= 693000 \text{ N}$$

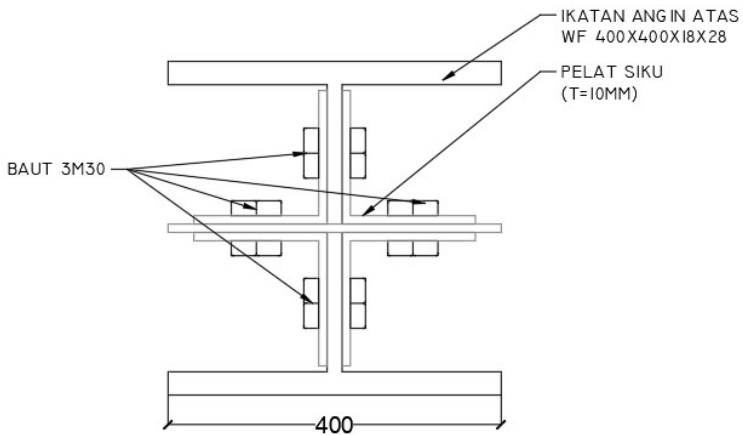
$$\phi V_n = 0,75 \cdot 693000 = 519750 \text{ N}$$

$$= 51975 \text{ kg (Menentukan)} > V_u = 7125,15 \text{ kg}$$

(OK)



(a)



(b)

Gambar 6.53 Sambungan Ikatan Angin Atas – Rangka Utama. (a) Tipe Tegak, (b) Tipe Diagonal

6.10.5 Sambungan Ikatan Silang (Gambar 6.54)

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Silang:
 Profil = WF 400x400x30x50
 $V_u = 723743,5 \text{ kg}$
- Pelat penyambung:
 Tebal = 10 mm
 $f_u = 550 \text{ MPa}$
 $f_y = 410 \text{ MPa}$
- Baut:
 \emptyset Baut = M30
 Mutu = A490
 $T_b = 408 \text{ kN}$

1. Kuat Geser

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

dengan,

$$\mu = 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)}$$

$$D_u = 1,13$$

$$h_f = 1 \text{ (Faktor Pengisi)}$$

$$T_b = 408 \text{ kN}$$

$$n_s = 2 \text{ (Bidang Geser)}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 2 \\ &= 276,624 \text{ kN} = 27662,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Jumlah Baut

$$n = \frac{V_u}{\emptyset V_n} = \frac{723743,5}{1.27662,4} = 26,16 \approx 28 \text{ buah}$$

3. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=30 \text{ mm}$)

$$3d \leq s \leq 14tp \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$90 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 140 \text{ mm}$$

- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.15)

$$38 \text{ mm} \leq s \leq 12tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$38 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$$

4. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (800 \cdot 10) \\ &= 1968000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 1 \cdot 1968000 = 1968000 \text{ N} \\ &= 196800 \text{ kg} \end{aligned}$$

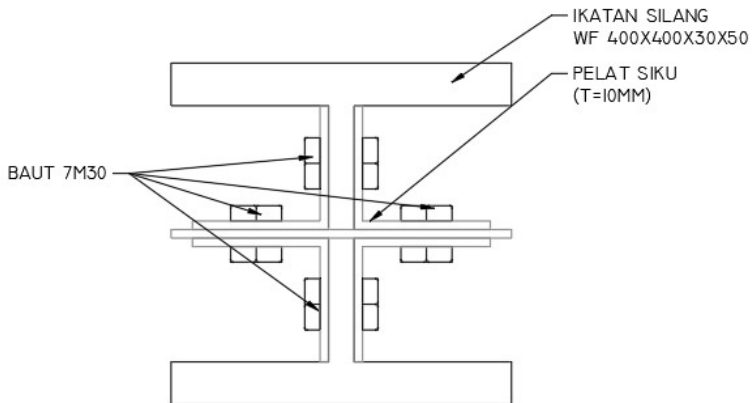
Kuat Putus:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (800 - (7 \cdot 30)) \cdot 10 \\ &= 1947000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 1947000 = 1460250 \text{ N} \\ &= 146025 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Karena terdapat 8 sambungan pelat maka,

$$\begin{aligned} \phi V_{n,n} &= 146025 \cdot 8 \\ &= 1168200 \text{ kg} > T_u = 723743,46 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$



Gambar 6.54 Sambungan Ikatan Angin Atas – Rangka Utama

6.10.6 Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan (Gambar 6.55)

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Angin Lantai Kendaraan:

Profil = WF 350x350x7x11

$V_u = 302601,3 \text{ kg}$

- Pelat penyambung:

Tebal = 10 mm

$f_u = 550 \text{ MPa}$

$f_y = 410 \text{ MPa}$

- Baut:

\emptyset Baut = M30

Mutu = A490

$T_b = 408 \text{ kN}$

1. Kuat Geser

$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$

dengan,

$\mu = 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)}$

$D_u = 1,13$

$h_f = 1 \text{ (Faktor Pengisi)}$

$T_b = 408 \text{ kN}$

$n_s = 2 \text{ (Bidang Geser)}$

Sehingga,

$V_n = 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 2$

$= 276,624 \text{ kN} = 27662,4 \text{ kg}$

2. Jumlah Baut

$n = \frac{V_u}{\emptyset V_n} = \frac{302601,3}{1.27662,4} = 10,9 \approx 12 \text{ buah}$

3. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=30 \text{ mm}$)

$3d \leq s \leq 14t_p \text{ atau } 180 \text{ mm}$

$$90 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 140 \text{ mm}$$

- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.15)

$$38 \text{ mm} \leq s \leq 12tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$38 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$$

4. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (400 \cdot 10) \\ &= 984000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset V_n &= 1 \cdot 984000 = 984000 \text{ N} \\ &= 98400 \text{ kg} \end{aligned}$$

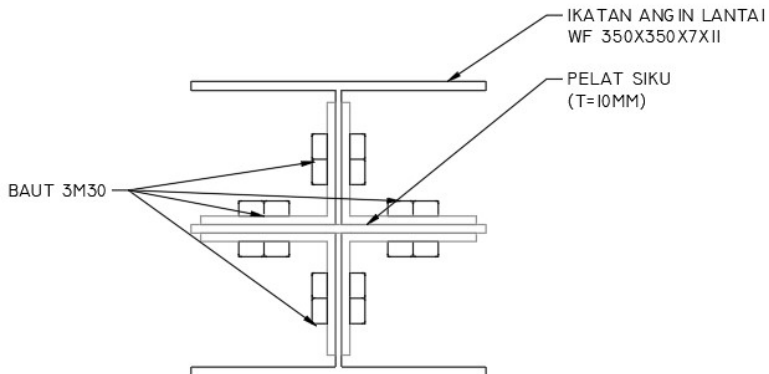
Kuat Putus:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (400 - (3 \cdot 30)) \cdot 10 \\ &= 1023000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset V_n &= 0,75 \cdot 1023000 = 767250 \text{ N} \\ &= 76725 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Karena terdapat 8 sambungan pelat maka,

$$\begin{aligned} \emptyset V_{n,n} &= 76725 \cdot 8 \\ &= 613800 \text{ kg} > V_u = 302601,3 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

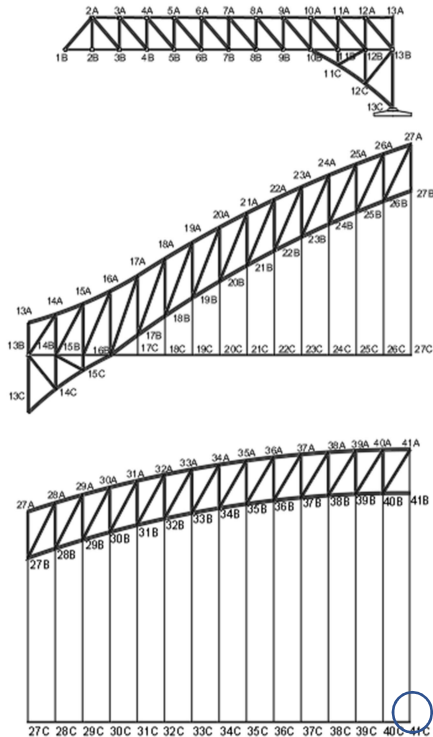


Gambar 6.55 Sambungan Ikatan Angin Atas – Rangka Utama

6.10.7 Sambungan Rangka Utama

- Titik Simpul 41 C

Letak titik simpul 41 C diperlihatkan pada Gambar 6.56.



Gambar 6.56 Letak Titik Simpul 41 C

- Sambungan antar *Tie Beam* (Gambar 6.57)

Data perencanaan sambungan:

- Tie Beam:
Profil = Double WF 700x550x40x45

$$V_u = 4678084 \text{ kg}$$

- Pelat penyambung:

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

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

- Baut:

$$\text{Ø Baut} = \text{M36}$$

$$\text{Mutu} = \text{A490}$$

$$T_b = 595 \text{ kN}$$

1. Kuat Geser

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

dengan,

$$\mu = 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)}$$

$$D_u = 1,13$$

$$h_f = 1 \text{ (Faktor Pengisi)}$$

$$T_b = 595 \text{ kN}$$

$$n_s = 1 \text{ (Bidang Geser)}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 595 \cdot 1 \\ &= 201,705 \text{ kN} = 20170,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Jumlah Baut

Badan:

$$\begin{aligned} \text{Rasio Badan } (\beta) &= \frac{H}{(B+H)} = \frac{1100}{(1100+700)} \\ &= 0,61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ badan} &= \beta \cdot V_u = 0,61 \cdot 4678084 \\ &= 2858829 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$n = \frac{V_u \text{ badan}}{\phi V_n} = \frac{2858829}{20170,5} = 141,73 \approx 144 \text{ buah}$$

dipasang 72 buah tiap sisi

Sayap:

$$\text{Rasio Sayap } (\alpha) = \frac{B}{(B+H)} = \frac{700}{(1100+700)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,39 \\
 V_u \text{ sayap} &= \alpha \cdot V_u = 0,39 \cdot 4678084 \\
 &= 1819255 \text{ kg} \\
 n &= \frac{V_u \text{ sayap}}{\emptyset V_n} = \frac{1819255}{20170,5} = 90,19 \approx 92 \text{ buah} \\
 &\text{dipasang 46 buah tiap sisi}
 \end{aligned}$$

3. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=30 \text{ mm}$)
 $3d \leq s \leq 14tp$ atau 180 mm
 $108 \text{ mm} \leq 110 \text{ mm} \leq 180 \text{ mm}$
- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.15)
 $40 \text{ mm} \leq s \leq 12tp$ atau 150 mm
 $40 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$

4. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

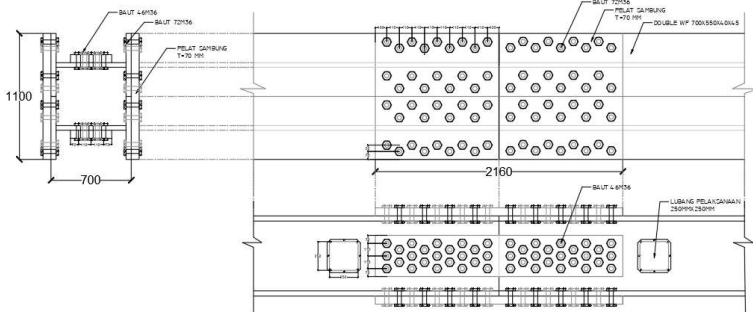
$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\
 &= 0,6 \cdot 410 \cdot (2160 \cdot 70) \\
 &= 37195200 \text{ N} \\
 \emptyset V_n &= 1 \cdot 37195200 = 37195200 \text{ N} \\
 &= 3719520 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\
 &= 0,6 \cdot 550 \cdot (2160 - (18 \cdot 36)) \cdot 70 \\
 &= 34927200 \text{ N} \\
 \emptyset V_n &= 0,75 \cdot 34927200 = 26195400 \text{ N} \\
 &= 2619540 \text{ kg (Menentukan)}
 \end{aligned}$$

Karena pelat dipasang di kedua sisi maka

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_n \cdot n &= 2619540 \cdot 2 \\
 &= 5239080 > V_u = 4678084 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$



Gambar 6.57 Sambungan antar Tie Beam

- **Sambungan Kabel Penggantung (Gambar 6.58)**

Data perencanaan sambungan:

- Kabel Penggantung:
 - Profil = Macalloy 520 (M72)
 - $V_u = 161535,85 \text{ kg}$
- Sambungan *Gusset Plate* dan *Pin*:
 - $f_{yb} = 520 \text{ MPa}$
 - $f_{ub} = 660 \text{ MPa}$
 - Tebal *gusset* = 153 mm
 - Tebal Pelat = 30 mm
 - $\emptyset \text{ pin} = 78,5 \text{ mm}$

1. Kuat Geser Pin

$$\begin{aligned}
 V_d &= \emptyset_f \cdot V_n \\
 &= 0,75 \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \cdot m \\
 &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 660 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 78,5^2) \cdot 2 \\
 &= 2395710,8 \text{ N} \\
 &= 235971,08 \text{ kg} \geq V_u = 161535,85 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Sambungan *Gusset* dan Pelat Buhul

2. Sambungan Baut

$\emptyset \text{ Baut} = \text{M24}$
 Mutu = A325

$$f_y = 585 \text{ MPa}$$

$$f_u = 825 \text{ MPa}$$

Mutu Pelat BJ55, sambungan dengan pelat

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

3. Kuat Geser Baut

$$\begin{aligned} V_d &= \phi_f \cdot 0,4 \cdot f_{ub} \cdot m \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 2,4^2) \\ &= 11196,5 \text{ kg (Menentukan!)} \end{aligned}$$

4. Kuat Tumpu Baut

$$\begin{aligned} R_d &= \phi_f \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{up} \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 2,4 \cdot 1,5 \cdot 5500 \\ &= 35640 \text{ kg} \end{aligned}$$

5. Jumlah Baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_d} = \frac{161535,85}{2.11196,5} = 7,21 \approx 8 \text{ buah}$$

6. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=36 \text{ mm}$)
 $3d \leq s \leq 14t_p$ atau 180 mm
 $72 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 180 \text{ mm}$
- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.154)
 $30 \text{ mm} \leq s \leq 12t_p$ atau 150 mm
 $30 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$

7. Kontrol Sambungan Las

Tipe Las yang dipakai adalah las sudut dengan mutu 70xx yang harus mampu menahan beban sebesar 7125,15 kg.

Syarat las:

$$a_{\text{Min}} = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Max}} = t_p - 2 = 15 - 2 = 13 \text{ mm}$$

$$t_e = 10 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot 10 \cdot 450 = 9000 \text{ mm}^2$$

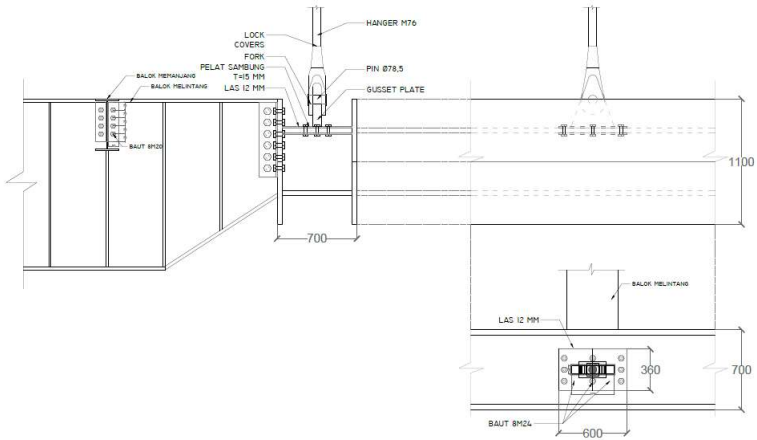
Akibat V_u ,

$$f_v = \frac{V_u}{A} = \frac{161535,85}{90} = 1794,84 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e \text{ perlu} \geq \frac{f_v}{\phi f_n} = \frac{1794,84}{0,75 \cdot 0,6 \cdot 70 \cdot 70,3} \geq 0,81 \text{ cm}$$

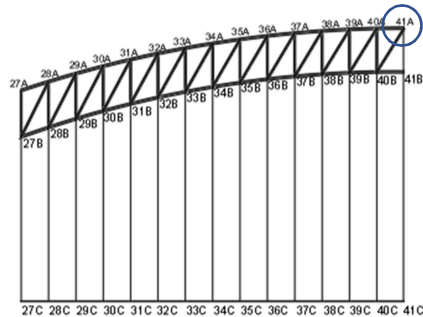
$$a \text{ perlu} \geq \frac{t_e}{0,707} \geq 1,14 \text{ cm} < a_{\text{Max}}$$

$$a \text{ pakai} = 12 \text{ mm}$$

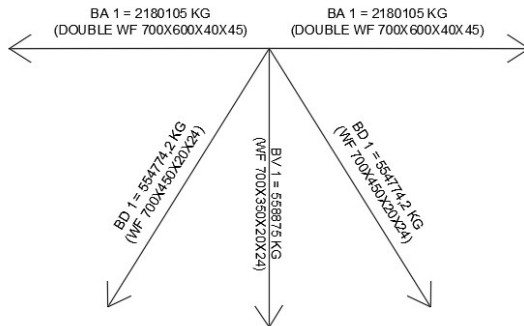


Gambar 6.58 Sambungan Hanger

- Titik Simpul 41 A
Letak titik simpul 41 A diperlihatkan pada Gambar 6.59



Gambar 6.59 Letak Titik 41 A



Gambar 6.60 Gaya Aksial yang Bekerja pada Titik 41 A

Pada Gambar 6.60 merupakan gaya aksial yang bekerja pada titik 41A. Pada perhitungan ini hanya diambil pada batang busur atas (BA1) dengan profil Double WF 700x600x40x45 dan selanjutnya pada Tabel 6.16 dan Tabel 6.17 merupakan hasil rekapitulasi gaya yang bekerja dan kebutuhan baut pada masing-masing batang. Berikut adalah perhitungan sambungan pada BA1:

- **Sambungan antar Busur Atas (BA1) (Gambar 6.61)**

Data perencanaan sambungan:

- Busur Atas:

$$\begin{aligned}\text{Profil} &= \text{Double WF } 700 \times 600 \times 40 \times 45 \\ V_u &= 2180105 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Pelat penyambung:

$$\begin{aligned}\text{Tebal} &= 70 \text{ mm} \\ f_u &= 550 \text{ MPa} \\ f_y &= 410 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Baut:

$$\begin{aligned}\text{Ø Baut} &= \text{M36} \\ \text{Mutu} &= \text{A490} \\ T_b &= 595 \text{ kN}\end{aligned}$$

1. Kuat Geser

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

dengan,

$$\begin{aligned}\mu &= 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)} \\ D_u &= 1,13 \\ h_f &= 1 \text{ (Faktor Pengisi)} \\ T_b &= 595 \text{ kN} \\ n_s &= 1 \text{ (Bidang Geser)}\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 595 \cdot 1 \\ &= 201,705 \text{ kN} = 20170,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

2. Jumlah Baut

Badan:

$$\begin{aligned}\text{Rasio Badan } (\beta) &= \frac{H}{(B+H)} = \frac{1200}{(1200+700)} \\ &= 0,63\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u \text{ badan} &= \beta \cdot V_u = 0,63 \cdot 2180105 \\ &= 1376908 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$n = \frac{V_u \text{ badan}}{\phi V_n} = \frac{1376908}{20170,5} = 68,26 \approx 72 \text{ buah}$$

dipasang 36 buah tiap sisi

Sayap:

$$\text{Rasio Sayap } (\alpha) = \frac{B}{(B+H)} = \frac{700}{(1200+700)}$$

$$= 0,37$$

$$V_u \text{ sayap} = \alpha \cdot V_u = 0,39 \cdot 2180105$$

$$= 803196,6 \text{ kg}$$

$$n = \frac{V_u \text{ sayap}}{\phi V_n} = \frac{803196,6}{20170,5} = 39,82 \approx 40 \text{ buah}$$

dipasang 20 buah tiap sisi

3. Jarak Baut

- Jarak antar baut ($d=30 \text{ mm}$)
 $3d \leq s \leq 14tp$ atau 180 mm
 $108 \text{ mm} \leq 110 \text{ mm} \leq 180 \text{ mm}$
- Jarak baut ke tepi sambungan (Tabel 6.154)
 $40 \text{ mm} \leq s \leq 12tp$ atau 150 mm
 $40 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$

4. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot Agv$$

$$= 0,6 \cdot 410 \cdot (2160 \cdot 70)$$

$$= 37195200 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1 \cdot 37195200 = 37195200 \text{ N}$$

$$= 3719520 \text{ kg}$$

Kuat Putus:

$$V_n = 0,6 \cdot f_u \cdot Anv$$

$$= 0,6 \cdot 550 \cdot (2160 - (18 \cdot 36)) \cdot 70$$

$$= 34927200 \text{ N}$$

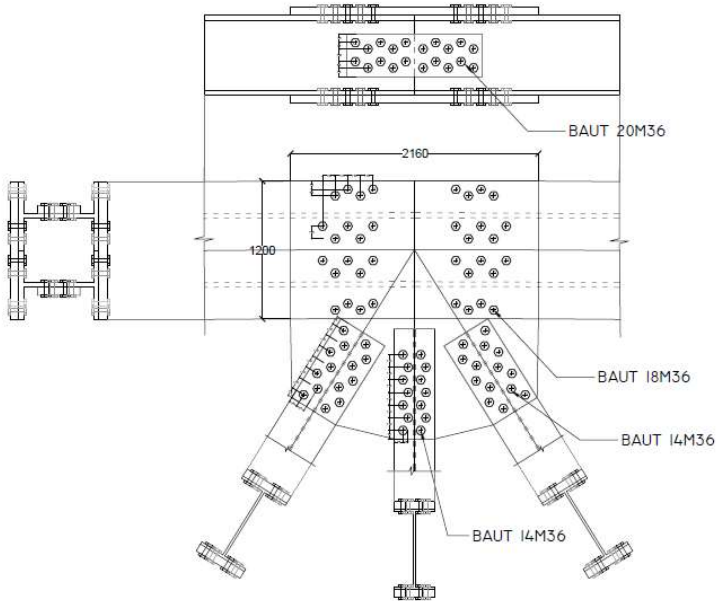
$$\phi V_n = 0,75 \cdot 34927200 = 26195400 \text{ N}$$

$$= 2619540 \text{ kg (Menentukan)}$$

Karena pelat dipasang di kedua sisi maka

$$\phi V_n \cdot n = 2619540 \cdot 2$$

$$= 5239080 > V_u = 4678084 \text{ kg (OK)}$$



Gambar 6.61 Sambungan Titik Buhul 41A

Tabel 6.16 Kebutuhan Baut Jembatan Mahakam

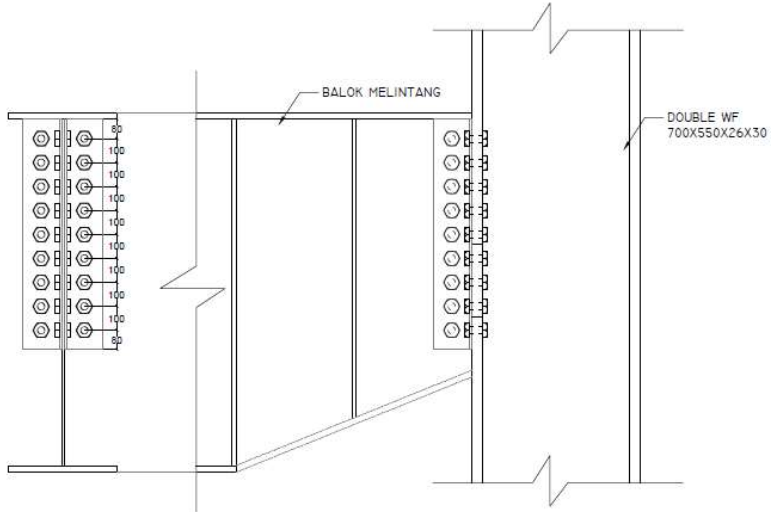
Batang		Rasio Badan	Rasio Sayap	Nu (kg)	Gaya Badan (kg)	Gaya Sayap (kg)	Ø Baut (mm)	V _a Baut (kg)	Baut Badan (buah)	Baut Sayap (buah)
Batang Busur Atas										
(BA1)	Double WF 700 x 600 x 40 x 45	0,63	0,37	2.180.105	1.376.908	803.197	36	20170,5	69	40
(BA2)	Double WF 700 x 600 x 40 x 45	0,63	0,37	1.713.912	1.082.471	631.441	36	20170,5	54	32
(BA3)	Double WF 700 x 550 x 20 x 24	0,61	0,39	1.195.790	730.761	465.029	36	20170,5	37	24
(BA4)	Double WF 700 x 500 x 20 x 24	0,59	0,41	1.848.276	1.087.221	761.055	36	20170,5	54	38
(BA5)	WF 700 x 550 x 40 x 45	0,00	1,00	2.590.983	0	2.590.983	36	20170,5	0	129
(BA6)	WF 700 x 500 x 40 x 45	0,00	1,00	2.067.848	0	2.067.848	36	20170,5	0	103
Batang Busur Bawah										
(BB1)	Double WF 700 x 400 x 20 x 24	0,53	0,47	1.334.394	711.677	622.717	36	20170,5	36	31
(BB2)	Double WF 700 x 500 x 20 x 24	0,59	0,41	1.412.884	831.108	581.776	36	20170,5	42	29
(BB3)	Double WF 700 x 500 x 30 x 35	0,59	0,41	1.302.026	765.898	536.128	36	20170,5	38	27
(BB4)	Double WF 700 x 500 x 20 x 24	0,59	0,41	1.195.192	703.054	492.138	36	20170,5	35	25
Batang Diagonal										
(BD1)	WF 700 x 450 x 20 x 24	0,00	1,00	554.774	0	554.774	36	20170,5	0	28
(BD2)	WF 700 x 500 x 20 x 24	0,00	1,00	442.615	0	442.615	36	20170,5	0	22
(BD3)	WF 700 x 600 x 26 x 30	0,00	1,00	220.266	0	220.266	36	20170,5	0	11
(BD4)	WF 700 x 600 x 40 x 45	0,00	1,00	1.135.825	0	1.135.825	36	20170,5	0	57
(BD5)	WF 700 x 600 x 26 x 30	0,00	1,00	798.581	0	798.581	36	20170,5	0	40
(BD6)	WF 700 x 550 x 26 x 30	0,00	1,00	339.306	0	339.306	36	20170,5	0	17

Tabel 6.17 Kebutuhan Baut Jembatan Mahakam (Lanjutan)

Batang		Rasio Badan	Rasio Sayap	Nu (kg)	Gaya Badan (kg)	Gaya Sayap (kg)	Ø Baut (mm)	V _n Baut (kg)	Baut Badan (buah)	Baut Sayap (buah)	
Batang Vertikal											
	(BV1)	WF 700 x 350 x 20 x 24	0,00	1,00	558.876	0	558.876	36	20170,5	0	28
	(BV2)	WF 700 x 350 x 20 x 24	0,00	1,00	593.419	0	593.419	36	20170,5	0	30
	(BV3)	WF 700 x 400 x 20 x 24	0,00	1,00	819.478	0	819.478	36	20170,5	0	41
	(BV4)	WF 700 x 600 x 40 x 45	0,00	1,00	891.773	0	891.773	36	20170,5	0	45
	(BV5)	WF 700 x 400 x 20 x 24	0,00	1,00	842.587	0	842.587	36	20170,5	0	42
	(BV6)	WF 700 x 400 x 20 x 24	0,00	1,00	842.587	0	842.587	36	20170,5	0	42
Tie Beam											
	(TB1)	Double WF 700 x 550 x 40 x 45	0,61	0,39	4.678.084	2.858.829	1.819.255	36	20170,5	142	91
	(TB2)	Double WF 700 x 550 x 40 x 45	0,61	0,39	4.678.084	2.858.829	1.819.255	36	20170,5	142	91
	(TB3)	Double WF 700 x 550 x 40 x 45	0,61	0,39	4.678.084	2.858.829	1.819.255	36	20170,5	142	91
	(TB4)	Double WF 700 x 550 x 40 x 45	0,61	0,39	4.678.084	2.858.829	1.819.255	36	20170,5	142	91
	(TB5)	Double WF 700 x 550 x 40 x 45	0,61	0,39	2.287.404	1.397.858	889.546	36	20170,5	70	45
	(TB6)	WF 700 x 550 x 20 x 24	0,00	1,00	1.225.440	0	1.225.440	36	20170,5	0	61
	(TB7)	WF 700 x 350 x 20 x 24	0,00	1,00	157.889	0	157.889	36	20170,5	0	8

6.10.8 Sambungan Portal Akhir

a. Balok Melintang – Kolom (Gambar 6.62)



Gambar 6.62 Sambungan Portal Akhir (Balok Melintang-Kolom)

Data perencanaan sambungan:

- Balok Melintang:
 - Profil = WF 1500x450x10x28
 - M_u = 169834 kgm
 - V_u = 201640,45 kg
- Pelat penyambung:
 - Tebal = 10 mm
 - f_u = 550 MPa
 - f_y = 410 MPa
- Baut:
 - \varnothing Baut = M30
 - Mutu = A490
 - F_{nt} = 780 MPa
 - F_{nv} = 579 MPa

1. Kekuatan masing-masing baut

$$V_{ul \text{ baut}} = \frac{V_u}{n} = \frac{201.640,45}{18} = 11.202,25 \text{ kg}$$

2. Kuat Geser

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times F_{nv} \times A_b \\ &= 0,75 \times 579 \times (1/4 \times \pi \times 30^2) \\ &= 306.953,23 \text{ N} \\ &= 30.695,32 \text{ kg} > V_{ul \text{ baut}} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

3. Kuat Tarik

$$\begin{aligned} \phi T_n &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 0,75 \times 780 \times (1/4 \times \pi \times 30^2) \\ &= 413.512,13 \text{ N} \\ &= 41.351,21 \text{ kg} \end{aligned}$$

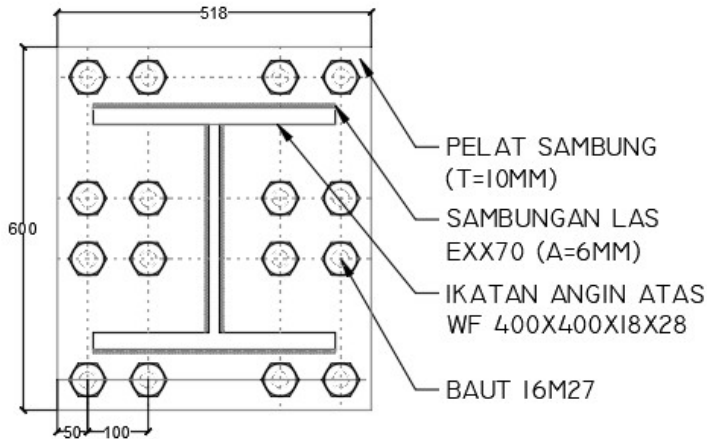
4. Beban Tarik Maksimum

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \frac{M_u \times d_{max}}{\sum d^2} \\ &= \frac{16983400 \times 80}{2(10^2 + 20^2 + 30^2 + 40^2 + 50^2 + 60^2 + 70^2 + 80^2)} \\ &= 33.300,78 \text{ kg} < \phi T_n \end{aligned}$$

5. Kontrol Interaksi Geser dan Tarik

$$\begin{aligned} \phi T_{comb} &= \phi \times F'_{nt} \times A_b \\ F'_{nt} &= 1,3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} \times \frac{V_{u1 \text{ baut}}}{A_b} \leq F_{nt} \\ &= 1,3(780) - \frac{780}{0,75 \cdot 579} \times \frac{112022,5}{1/4 \cdot \pi \cdot 30^2} \leq 780 \\ &= 729,34 \text{ MPa} \leq 780 \text{ MPa (OK)} \\ \phi T_{comb} &= 0,75 \times 729,34 \times (1/4 \times \pi \times 30^2) \\ &= 386.655,05 \text{ N} \\ &= 38.665,5 \text{ kg} > T_{u \text{ max}} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

b. Ikatan Angin Atas – Kolom (Gambar 6.63)



Gambar 6.63 Sambungan Portal Akhir (Ikatan Angin Atas-Kolom)

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Angin Atas:
 Profil = WF 400x400x45x70
 $M_u = 83614,30 \text{ kgm}$
 $V_u = 11733,55 \text{ kg}$
- Pelat penyambung:
 Tebal = 10 mm
 $f_u = 550 \text{ MPa}$
 $f_y = 410 \text{ MPa}$
- Baut:
 \varnothing Baut = M27
 Mutu = A490
 $F_{nt} = 780 \text{ MPa}$
 $F_{nv} = 579 \text{ MPa}$

1. Kekuatan masing-masing baut

$$V_{u1 \text{ baut}} = \frac{V_u}{n} = \frac{11.733,55}{16} = 733,35 \text{ kg}$$

2. Kuat Geser

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_n &= \emptyset \times F_{nv} \times A_b \\
 &= 0,75 \times 579 \times (1/4 \times \pi \times 27^2) \\
 &= 248.632,12 \text{ N} \\
 &= 24.863,2 \text{ kg} > V_{u1 \text{ baut}} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

3. Kuat Tarik

$$\begin{aligned}
 \emptyset T_n &= \emptyset \times F_{nt} \times A_b \\
 &= 0,75 \times 780 \times (1/4 \times \pi \times 27^2) \\
 &= 334.944,83 \text{ N} \\
 &= 33.494,49 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4. Beban Tarik Maksimum

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ max}} &= \frac{M_u \times d_{\text{max}}}{\sum d^2} \\
 &= \frac{8361430 \times 50}{4(20^2 + 30^2 + 50^2)} \\
 &= 27.504,7 \text{ kg} < \emptyset T_n
 \end{aligned}$$

5. Kontrol Interaksi Geser dan Tarik

$$\begin{aligned}
 \emptyset T_{\text{comb}} &= \emptyset \times F'_{nt} \times A_b \\
 F'_{nt} &= 1,3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\emptyset F_{nv}} \times \frac{V_{u1 \text{ baut}}}{A_b} \leq F_{nt} \\
 &= 1,3(780) - \frac{780}{0,75 \cdot 579} \times \frac{733,35}{1/4 \cdot \pi \cdot 27^2} \leq 780 \\
 &= 1011,69 \text{ MPa} > 780 \text{ MPa (NOT OK)} \\
 \emptyset T_{\text{comb}} &= \emptyset T_n \\
 &= 334.944,83 \text{ N} \\
 &= 33.494,49 \text{ kg} > T_{u \text{ max}} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

6. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\
 &= 0,6 \cdot 410 \cdot (600 \cdot 10) \\
 &= 1476000 \text{ N} \\
 \emptyset V_n &= 1 \cdot 1476000 = 1476000 \text{ N} \\
 &= 147600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (600 - (4 \cdot 27)) \cdot 10 \\ &= 1623600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 1623600 = 1217700 \text{ N} \\ &= 121770 \text{ kg (Menentukan)} > V_u = 7125,15 \text{ kg} \\ &\text{(OK)} \end{aligned}$$

7. Kontrol Sambungan Las

Tipe Las yang dipakai adalah las sudut dengan mutu 70xx yang harus mampu menahan beban sebesar 7125,15 kg.

Syarat Ukuran Las, dapat dilihat pada Tabel 6.18.

Tabel 6.18 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

Badan:

$$a_{\text{Min}} = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Max}} = tw - 2 = 18 - 2 = 16 \text{ mm}$$

Sayap:

$$a_{\text{Min}} = 8 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Max}} = tw - 2 = 28 - 2 = 26 \text{ mm}$$

Misal dipakai tebal las sama pada badan dan sayap.

$$t_e = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A &= (400 \cdot 2 \cdot 10) + (344 \cdot 2 \cdot 10) \\ &= 14880 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$I_p = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 344^3 \right) + 400 \cdot 10 \cdot (344/2)^2$$

$$= 304517973,3 \text{ mm}^4$$

$$S_x = \frac{I_p}{y_{max}} = \frac{304517973,3}{400/2}$$

$$= 1522589,87 \text{ mm}^3$$

Akibat V_u ,

$$f_v = \frac{V_u}{A} = \frac{7125,15}{148,8}$$

$$= 47,88 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e \text{ perlu} \geq \frac{f_v}{\phi f_n} = \frac{47,88}{0,75 \cdot 0,6 \cdot 70 \cdot 70,3}$$

$$\geq 0,0216 \text{ cm}$$

$$a \text{ perlu} \geq \frac{t_e}{0,707}$$

$$\geq 0,03 \text{ cm} < a_{\text{Min}} \text{ badan}$$

$$a \text{ pakai} = 6 \text{ mm}$$

6.11 Perencanaan Perletakan

Perletakan yang digunakan adalah jenis POT *Bearing* produk dari *Mageba*. Perletakan ini didesain untuk mampu menahan beban horizontal dan vertikal akibat beban yang bekerja pada jembatan. Pembebanan vertikal menggunakan kombinasi Ekstrim I sesuai SNI 1725:2016, sedangkan pembebanan horizontal menggunakan kombinasi Ekstrim I sesuai SNI 1725:2016.

Pada pembebanan horizontal sesuai dengan kombinasi Ekstrim I, beban yang bekerja adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Gaya horizontal yang terjadi akibat beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 2833:2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Untuk penamaan perletakan pada Jembatan Mahakam dapat dilihat pada Gambar 6.64.

6.11.1 Pembebanan Horizontal akibat Gempa

Pembebanan horizontal akibat gempa mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.7 dengan koefisien-koefisien sesuai dengan SNI 2833:2016. Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$$

Keterangan:

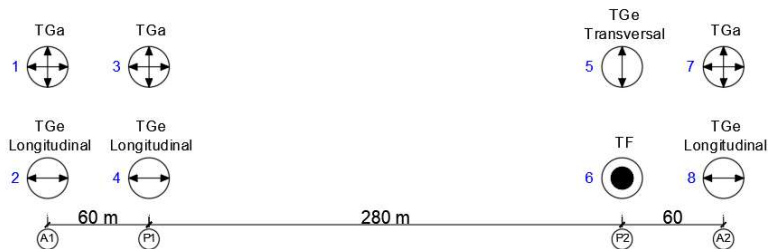
E_Q adalah gaya gempa horizontal statis

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis

R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur

- Mencari Nilai W_t
 Nilai W_t didapatkan dari program bantu MIDAS Civil dengan jenis bebannya adalah beban mati (berat sendiri) dapat dilihat pada Tabel 6.19.

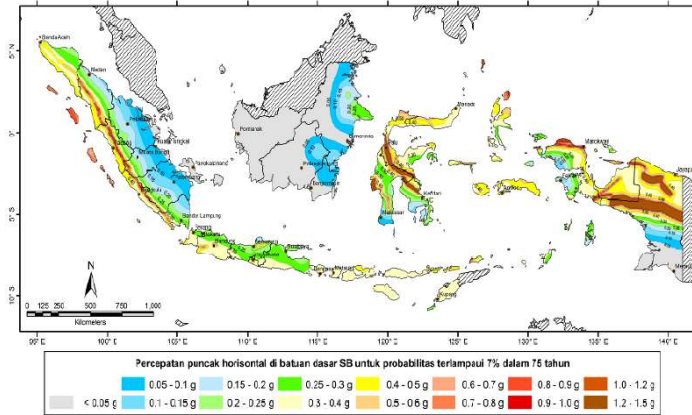


Gambar 6.64 Penamaan Titik Perletakan

Tabel 6.19 Reaksi Vertikal pada Perletakan

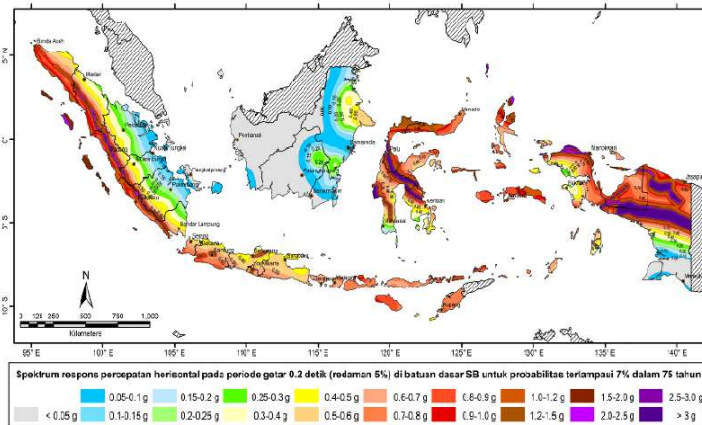
Titik	Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)
1	Ekstrim I	591,52
2	Ekstrim I	618,66
3	Ekstrim I	36.631,54
4	Ekstrim I	25.211,68
5	Ekstrim I	38.099,71
6	Ekstrim I	23.730,18
7	Ekstrim I	933,94
8	Ekstrim I	275,57
Jumlah		126.092,8
Sambungan 25%		31.523,2
Berat Total (Wt)		157.616

- Mencari Nilai C_{sm}
 Nilai koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) dihitung berdasarkan SNI 2833:2016.
 Diketahui:
 $T_{\text{output MIDAS}} = 3,15 \text{ s}$
 1. Mencari Nilai PGA



Gambar 6.65 Peta percepatan puncak di batuan dasar SB untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
Kabupaten Samarinda memiliki nilai PGA sebesar 0,05 berdasarkan Gambar 6.65.

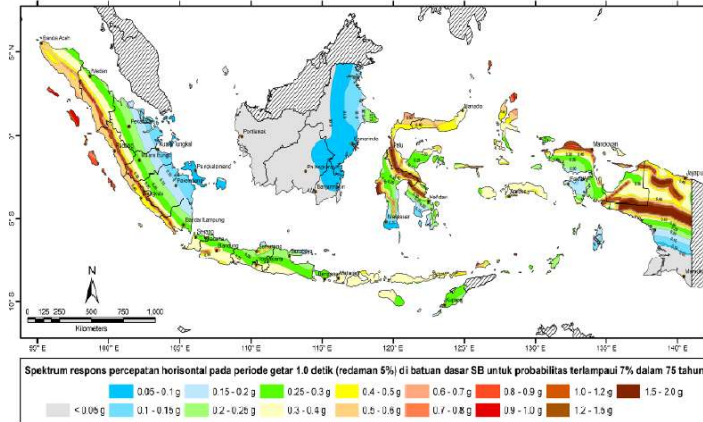
2. Mencari Nilai S_s



Gambar 6.66 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Kabupaten Samarinda memiliki nilai S_s sebesar 0,075 berdasarkan Gambar 6.66.

3. Mencari Nilai S_1



Gambar 6.67 Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Kabupaten Samarinda memiliki nilai S_1 sebesar 0,075 berdasarkan Gambar 6.67.

4. Kelas Situs

Menurut data tanah, rata-rata nilai N-SPT untuk tanah di sekitar Kota Samarinda hingga kedalaman 30m memiliki nilai $15 \leq N \leq 50$. Nilai ini dapat dikategorikan sebagai tanah sedang (SD) sesuai dengan Tabel 6.20.

Tabel 6.20 Kelas Situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u > 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 < \bar{S}_u < 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa 		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: <ul style="list-style-type: none"> Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m) Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$m dengan $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$m 		

5. Faktor Situs

Tabel 6.21 Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)

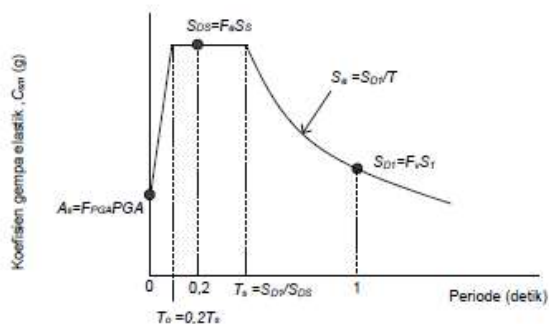
Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA > 0,5$
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 6.22 Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas Situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
	Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Berdasarkan Tabel 6.21 dan Tabel 6.22 dapat diperoleh nilai $F_{PGA} = 1,6$, $F_a = 1,6$, dan $F_v = 2,4$.

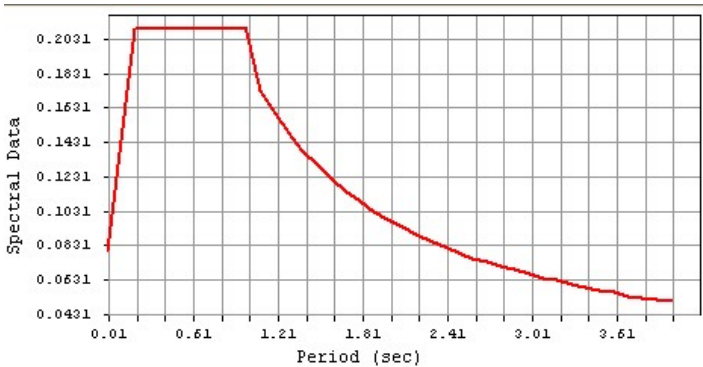
6. Respon Spektra Rencana



Gambar 6.68 Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah

$$\begin{aligned}
 A_s &= F_{PGA} \cdot PGA \\
 &= 1,6 \cdot 0,05 = 0,08 \\
 S_{DS} &= F_a \cdot S_s \\
 &= 1,6 \cdot 0,075 = 0,12 \\
 S_{D1} &= F_v \cdot S_1 \\
 &= 2,4 \cdot 0,075 = 0,18
 \end{aligned}$$

Dari data diatas dapat diperoleh Respon Spektrum Rencana seperti Gambar 6.69 yang memiliki bentuk tipikal seperti pada Gambar 6.68.



Gambar 6.69 Respon Spektrum Rencana Kota Samarinda

7. Koefisien Respon Gempa Elastik

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,18}{0,12} = 1,5 \text{ s}$$

$$T_0 = 0,2 T_s = 0,2 (1,5) = 0,3 \text{ s}$$

Karena $T_{\text{output MIDAS}} = 3,15 \text{ s} > T_s = 1,5 \text{ s}$

Maka,

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T_{\text{output MIDAS}}} = \frac{0,18}{3,15} = 0,057$$

- Mencari Nilai Modifikasi Respons R_d
 Faktor modifikasi respon untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah memiliki nilai faktor yang

berbeda dengan jenis strukturnya. Nilai modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.23.

Tabel 6.23 Faktor modifikasi respon (R) 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 fondasi	1,0

Untuk struktur penghubung berupa *abutment* memiliki nilai 0,8 sedangkan untuk pilar memiliki nilai 1,0.

- Gaya Horizontal arah-y
Gaya horizontal arah-y diterima oleh 4 buah POT *bearing*, dengan 3 tipe *guided* (PU) dan 1 tipe *fixed* (PF). Berikut adalah penempatan POT *bearing* yang menerima gaya horizontal arah-y seperti pada Gambar 6.70.



Gambar 6.70 POT *Bearing* Penahan Gaya Horizontal-y

1. Gaya pada POT *Bearing* (*Abutment*)

$$\begin{aligned}
 E_Q &= \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t \\
 E_Q &= \frac{0,057}{0,8} \cdot \frac{157.616}{4} \\
 &= 2.814,57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Gaya pada POT *Bearing* (Pilar)

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$$

$$E_Q = \frac{0,057}{1} \cdot \frac{157.616}{4}$$

$$= 2.251,66 \text{ kN}$$

- Kontrol Pengaruh Gempa arah-y
 Nilai Vdinamik akibat gempa arah-y merupakan total dari reaksi geser arah-y pada semua perletakan. Didapat nilai Vdinamik sebesar 13168 kN
 $0,85 V_{\text{statik-y}} < V_{\text{dinamik-y}}$
 $0,85 \cdot 2(2.814,57 + 2.251,66) < 13168$
 $8.612,58 \text{ kN} < 13168 \text{ kN (OK)}$
- Gaya Horizontal arah-x
 Gaya horizontal arah-y diterima oleh 2 buah POT *bearing*, dengan 1 tipe *guided* (PU) dan 1 tipe *fixed* (PF). Berikut adalah penempatan POT *bearing* yang menerima gaya horizontal arah-x seperti pada Gambar 6.71.



Gambar 6.71 POT *Bearing* Penahan Gaya Horizontal-x

- Gaya pada POT *Bearing* (Pilar)
 $E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$
 $E_Q = \frac{0,057}{1} \cdot \frac{157.616}{2}$
 $= 4.503,31 \text{ kN}$
- Kontrol Pengaruh Gempa arah-x
 Nilai Vdinamik akibat gempa arah-x merupakan total dari reaksi geser arah-x pada semua perletakan. Didapat nilai Vdinamik sebesar 10968 kN
 $0,85 V_{\text{statik-x}} < V_{\text{dinamik-x}}$
 $0,85 \cdot 2(4.503,31) < 10968$
 $3.827,81 \text{ kN} < 10968 \text{ kN (OK)}$

6.12.2 Pembebanan Vertikal

Pembebanan vertikal menggunakan kombinasi Ekstrim I sesuai dengan SNI 1725:2016. Untuk menghitung gaya vertikal yang terjadi pada perletakan digunakan program bantu Midas Civil. Gaya vertikal yang terjadi ditunjukkan pada Tabel 6.24.

Tabel 6.24 Reaksi Vertikal pada Perletakkan (Ekstrim I)

Titik	Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)
1	Ekstrim I	1.914
2	Ekstrim I	1.941
3	Ekstrim I	53.316
4	Ekstrim I	41.894
5	Ekstrim I	55.167
6	Ekstrim I	40.799
7	Ekstrim I	2.367
8	Ekstrim I	1.709

6.12.3 Perencanaan POT *Bearing*

Perencanaan POT *Bearing* digunakan sesuai brosur *Mageba* yang mengacu pada EN-1337. Hasil perhitungan gaya vertikal dan horizontal yang diterima perletakan harus disesuaikan dengan kekuatan POT *Bearing* sesuai dengan brosur *Mageba*. Berikut adalah hasil rekapitulasi jenis POT *Bearing* yang digunakan seperti pada

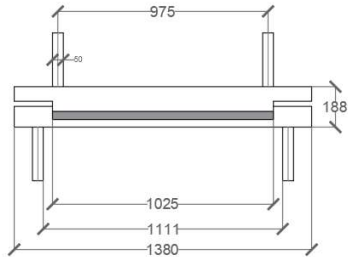
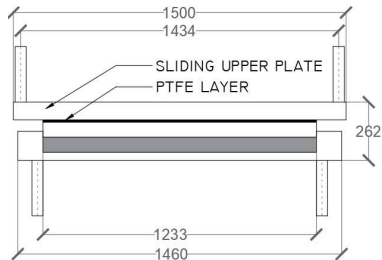
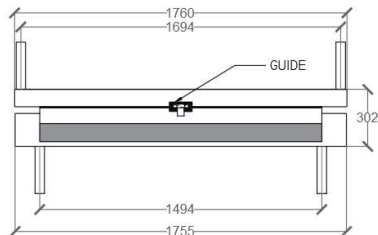
Tabel 6.25 dan Tabel 6.26.

Tabel 6.25 Rekapitulasi Reaksi Perletakkan Jembatan

No	Jenis	Gaya (kN)		
		Vert.	Horz. y	Horz. X
1	Free	1.914	-	-
2	Guided	1.941	2.814,57	-
3	Free	53.316	-	-
4	Guided	41.894	2.251,66	-
5	Guided	55.167	-	4.503,31
6	Fixed	40.799	2.251,66	4.503,31
7	Free	2.367	-	-
8	Guided	1.709	2.814,57	-

Tabel 6.26 Pemilihan POT Bearing berdasarkan tipe dan kapasitas

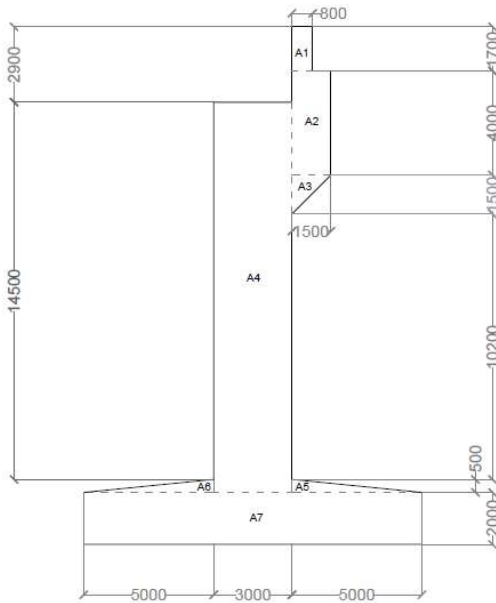
No	Jenis POT Bearing	Kapasitas Max (kN)		Gaya (kN)		Ket.
		Vert.	Horz.	Vert.	Horz.	
1	TA 3	2.913	-	1.914	-	OK
2	TE 15I	44.098	2.831	1.941	2.814,57	OK
3	TA 17	55.665	-	53.316	-	OK
4	TE 15I	44.098	2.831	41.894	2.251,66	OK
5	TE 20I	75.590	4.637	55.167	4.503,31	OK
6	TF 15	44.098	4.850	40.799	4.503,31	OK
7	TA 3	2.913	-	2.367	-	OK
8	TE 15I	44.098	2.831	1.709	2.814,57	OK

1. Pot *Bearing* tipe *fix* (Gambar 6.72)Sketsa Pot *Bearing* Tipe TF 15.Gambar 6.72 Pot *Bearing* Tipe *Fix*2. Pot *Bearing* tipe *free/multi directional* (Gambar 6.73)Sketsa Pot *Bearing* Tipe TA 17.Gambar 6.73 Pot *Bearing* tipe *free/multi directional*3. Pot *Bearing* tipe *guided/uni directional* (Gambar 6.74)Sketsa Pot *Bearing* Tipe TE 20I.Gambar 6.74 Pot *Bearing* tipe *guided/uni directional*

6.13 Perencanaan Abutment

6.13.1 Preliminary Design Abutment

Sebelum menghitung beban-beban yang akan diterima oleh abutment, maka harus ditentukan terlebih dahulu rencana dimensi abutment yang akan dibangun. Berikut adalah rencana design abutment yang dipakai seperti pada Gambar 6.75.



Gambar 6.75 Preliminary Design Abutment

6.13.2 Pembebanan Abutment

Abutment terletak pada kedua sisi ujung jembatan untuk menopang *side span* jembatan. Sementara, untuk menopang *main span* dibangun pilar. Perencanaan beban yang bekerja

pada struktur bangunan bawah jembatan adalah berdasarkan SNI 1725:2016.

- **Beban Mati Struktur Atas**

Beban mati struktur jembatan busur yang bekerja pada perletakan di abutment dapat dilihat pada Tabel 6.27. Nilai diambil dari perhitungan struktur atas dengan menggunakan program bantu Midas Civil.

Tabel 6.27 Beban Mati Struktur Atas

Titik Pot <i>Bearing</i>	Gaya Vertikal (kN)
1	571,86
2	602,29

- **Beban Mati Tambahan**

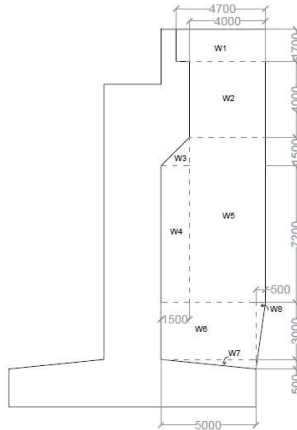
Beban mati tambahan antara lain adalah sebagai berikut seperti pada Tabel 6.28.

Tabel 6.28 Beban Mati Tambahan

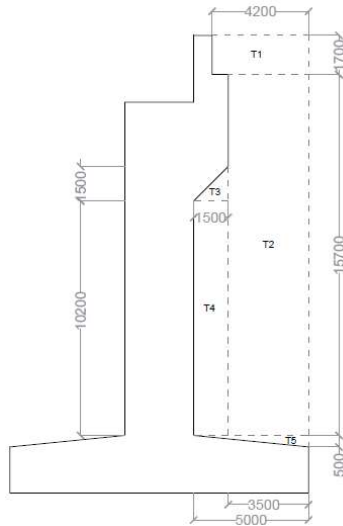
Beban	W	p (m)	l (m)	t (m)	n	Wtot (kg)
Railing	3,16 kg/m	30			4	379,2
Lampu	5 kg				12	60
Overlay Aspal	2,25 kg/m ³	30	12	0,05	1	40.410
Hujan	980 kg/m ³	30	15	0,05	1	22.050
Total						62.899,2
W total (kN)						628,99

- **Beban Mati Struktur Bawah**

Abutment yang akan direncanakan memiliki ukuran tinggi total 19,2 meter. Wing wall juga akan direncanakan dengan tebal 1 meter. Untuk gambar detail dapat dilihat pada Gambar 6.75 – Gambar 6.77.



Gambar 6.76 Sketsa Wingwall Abutment



Gambar 6.77 Sketsa Berat Sendiri Tanah

Dari gambar di atas, diketahui bahwa tinggi timbunan di belakang abutment adalah setinggi 17,2 meter. Data tanah

timbunan dan tanah dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

γ_{timbunan}	$= 1,9 \text{ t/m}^3$	γ_{tanah}	$= 1,69 \text{ t/m}^3$
$\gamma'_{\text{timbunan}}$	$= (1,9-1)$	γ'_{tanah}	$= (1,69-1)$
	$= 0,9 \text{ t/m}^3$		$= 0,69 \text{ t/m}^3$
ϕ_{timbunan}	$= 30^\circ$	ϕ_{tanah}	$= 0^\circ$
c_{timbunan}	$= 0$	c_{tanah}	$= 0,31$

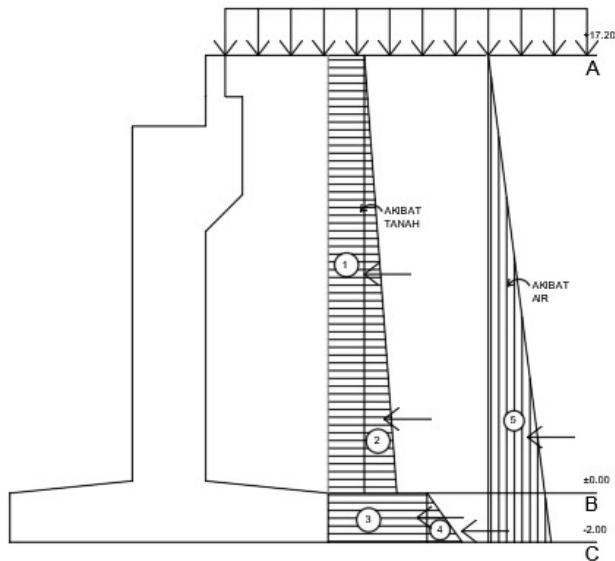
Setelah direncanakan dimensi abutment dan wing wall maka akan dihitung berat dan momen yang ditimbulkan oleh struktur itu sendiri. Perhitungan akibat berat sendiri struktur bawah akan diberikan pada Tabel 6.29.

Tabel 6.29 Berat Sendiri Bangunan Bawah

Nama	b	h	Bentuk	Luas	Volume	Berat	Lengan	Arah	Momen
	m	m		m ²	m ³	t	m		
Abutment									
A1	0,8	1,7	1,0	1,4	24,5	61,2	1,9	-1,0	-116,3
A2	1,5	4,0	1,0	6,0	108,0	270,0	2,3	-1,0	-607,5
A3	1,5	1,5	0,5	1,1	20,3	50,6	2,0	-1,0	-101,3
A4	3,0	14,5	1,0	43,5	783,0	1.957,5	0,0	0,0	0,0
A5	5,0	0,5	0,5	1,3	22,5	56,3	3,2	-1,0	-178,1
A6	5,0	0,5	0,5	1,3	22,5	56,3	3,2	1,0	178,1
A7	13,0	2,0	1,0	26,0	468,0	1.170,0	0,0	0,0	0,0
Total					1.448,7	3.621,8			-825,0
Wingwall									
W1	4,7	1,7	1,0	8,0	16,0	40,0	4,7	-1,0	-185,8
W2	4,0	4,0	1,0	16,0	32,0	80,0	5,0	-1,0	-400,0
W3	1,5	1,5	0,5	1,1	2,3	5,6	2,5	-1,0	-14,1
W4	1,5	7,2	1,0	10,8	21,6	54,0	2,3	-1,0	-121,5
W5	4,0	8,7	1,0	34,8	69,6	174,0	5,0	-1,0	-870,0
W6	5,0	3,0	1,0	15,0	30,0	75,0	4,0	-1,0	-300,0
W7	5,0	0,5	0,5	1,3	2,5	6,3	4,8	-1,0	-30,2
W8	0,5	3,0	0,5	0,8	1,5	3,8	6,7	-1,0	-25,0
Total					175,4	438,6			-1.946,5
Tanah									
T1	4,2	1,7	1,0	7,1	128,5	244,2	3,7	-1,0	-891,3
T2	3,5	15,7	1,0	55,0	989,1	1.879,3	4,8	-1,0	-8.926,6
T3	1,5	1,5	0,5	1,1	20,3	38,5	2,5	-1,0	-96,2
T4	1,5	10,2	1,0	15,3	275,4	523,3	2,3	-1,0	-1.177,3
T5	5,0	0,5	0,5	1,3	22,5	42,8	4,8	-1,0	-206,6
Total					1.435,8	2.728,0			-11.298,1
Total Overall Bangunan Bawah					3.059,9	6.788,4			-14.069,6

- Beban akibat Tekanan Tanah

Tekanan tanah horizontal diakibatkan oleh beban lalu lintas diatas oprit yang diekivalensikan dengan 0,6 x γ timbunan dan beban akibat kendaraan tersebut sama di sepanjang kedalaman *abutment*. Sementara tekanan tanah lateral dihitung berdasarkan perhitungan tekanan tanah aktif. Sketsa tekanan tanah horizontal ke arah abutment dapat dilihat pada Gambar 6.78.



Gambar 6.78 Sketsa Tekanan Tanah Horizontal

Berdasarkan Gambar 6.78, diketahui bahwa struktur berada pada dua jenis lapisan tanah sehingga perhitungan tekanan tanahnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_v'A &= 0,6 \times \gamma_{\text{timbunan}} \\ &= 0,6 \times 1,9 = 1,14 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_v'B &= \sigma_v'A + (\gamma'_{\text{timbunan}} \times h) \\ &= 1,14 + (0,9 \times 17,2) \\ &= 16,62 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_v'C &= \sigma_v'B + (\gamma'_{\text{tanah}} \times h) \\ &= 16,62 + (0,69 \times 2) \\ &= 18 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Tekanan Tanah Aktif:

Lapisan 1 (A-B)

$$\begin{aligned}K_a &= \tan^2 (45 - \phi/2) \\ &= \tan^2 (45 - 30/2) \\ &= 0,333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_h'A &= \sigma_v'A \times K_a - 2c_{\text{timb}}\sqrt{K_a} \\ &= 1,14 \times 0,333 - (0) \\ &= 0,3796 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_h'B &= \sigma_v'B \times K_a - 2c_{\text{timb}}\sqrt{K_a} \\ &= 16,62 \times 0,333 - (0) \\ &= 5,5345 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Lapisan 2 (B-C)

$$\begin{aligned}K_a &= \tan^2(45 - \phi/2) \\ &= \tan^2(45 - 0/2) \\ &= 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_h'B &= \sigma_v'B \times K_a - 2c_{\text{tanah}}\sqrt{K_a} \\ &= 16,62 \times 1 - (2 \times 0,31 \times 1) \\ &= 16 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_h'C &= \sigma_v'C \times K_a - 2c_{\text{tanah}}\sqrt{K_a} \\ &= 18 \times 1 - (2 \times 0,31 \times 1) \\ &= 17,38 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Tekanan Air

$$\begin{aligned}\sigma_w &= \gamma_w \times h \\ &= 1 \times 19,2 \\ &= 19,2 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Perhitungan Gaya Aktif:

$$\begin{aligned}Pa_1 &= 0,3796 \times 17,2 \times 18 \\ &= 117,52 \text{ t}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pa_2 &= \frac{1}{2} \times (5,5345 - 0,3796) \times 17,2 \times 18 \\ &= 797,98 \text{ t}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pa_3 &= 16 \times 2 \times 18 \\ &= 576 \text{ t}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pa_4 &= \frac{1}{2} \times (17,38 - 16) \times 2 \times 18 \\ &= 24,84 \text{ t}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pa_5 &= \frac{1}{2} \times 19,2 \times 19,2 \times 18 \\ &= 3.317,76 \text{ t}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{tot}} &= 117,52 + 797,98 + 576 + 24,84 + 3.317,76 \\ &= 4.834,1 \text{ t}\end{aligned}$$

Perhitungan Titik Tangkap:

$$Ya_1 = (\frac{1}{2} \times 17,2) + 2$$

$$\begin{aligned}
 &= 10,6 \text{ m} \\
 \text{Ya2} &= (1/3 \times 17,2) + 2 \\
 &= 7,73 \text{ m} \\
 \text{Ya3} &= \frac{1}{2} \times 2 \\
 &= 1 \text{ m} \\
 \text{Ya4} &= 1/3 \times 2 \\
 &= 0,67 \text{ m} \\
 \text{Ya5} &= 1/3 \times 19,2 \\
 &= 6,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen:

$$\begin{aligned}
 \text{Ma1} &= 117,52 \times 10,6 \\
 &= 1.245,71 \text{ tm} \\
 \text{Ma2} &= 797,98 \times 7,73 \\
 &= 6.168,38 \text{ tm} \\
 \text{Ma3} &= 576 \times 1 \\
 &= 576 \text{ tm} \\
 \text{Ma4} &= 24,84 \times 0,67 \\
 &= 16,64 \text{ tm} \\
 \text{Ma5} &= 3.317,76 \times 6,4 \\
 &= 21.233,66 \text{ tm} \\
 \text{Mtot} &= 1.245,71 + 6.168,38 + 576 + 16,64 + 21.233,66 \\
 &= 29.240,39 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

- Beban Lajur “D” (BTR+BGT)
Beban hidup struktur jembatan busur yang bekerja pada perletakan di abutment dapat dilihat pada Tabel 6.30. Nilai diambil dari perhitungan struktur atas dengan menggunakan program bantu Midas Civil.

Tabel 6.30 Beban Lajur “D”

Titik Pot <i>Bearing</i>	Gaya Vertikal (kN)
1	3.012,67
2	3.012,67

- Beban Pedestrian

Untuk menghitung beban dari pejalan kaki, hitung terlebih dahulu luas trotar yang ada pada jembatan.

$$\begin{aligned} A &= 2 \times 1,5 \times 400 \\ &= 1200 \text{ m}^2 > 100 \text{ m}^2 \Rightarrow q = 2 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP} &= A \times q \\ &= 1200 \times 2 = 2400 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga, untuk satu abutment $P_{TP} = 2400/2 = 1200 \text{ kN}$

- **Beban Rem**

Menurut SNI 1725:2016, gaya rem diambil yang terbesar dari:

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

dimana,

$$\text{a. } 25\% \times (500 \text{ kN}) \times 4 \text{ lajur} = 956,25 \text{ kN}$$

$$\text{b. } 5\% \times (500 \text{ kN} + 6025,34 \text{ kN}) = 326,27 \text{ kN}$$

Sehingga, gaya rem pakai adalah 956,25 kN bekerja langsung pada perletakan ke arah sumbu-x.

Gaya rem harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Sehingga perhitungan lengan terhadap titik putar rotasinya yaitu:

$$\begin{aligned} x &= \text{tinggi abutment} + 1800 \text{ mm} \\ &= 19,2 \text{ m} + 1,8 \text{ m} = 21 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen akibat rem} &= 956,25 \text{ kN} \times 21 \text{ m} \\ &= 20.081,25 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- **Beban Angin**

Beban angin yang bekerja pada struktur atas diterima oleh Pot *Bearing* yang nantinya akan diteruskan ke bangunan bawah dapat dilihat pada Tabel 6.31. Nilai beban angin

yang diterima didapatkan dengan program bantu Midas Civil.

Tabel 6.31 Beban Angin

Titik Pot Bearing	Fz (kN)	Fy (kN)
2	48,62	997,87

- **Beban Temperatur**

Berikut ini adalah perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan beban temperatur.

Temperatur maksimum rata-rata, $T_{max} = 37,9^{\circ}\text{C}$

Temperatur minimum rata-rata, $T_{min} = 22^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}\Delta T &= (T_{max} - T_{min})/2 \\ &= (37,9 - 22)/2 \\ &= 7,95^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Koefisien perpanjangan (baja), $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$

Bentang Jembatan, $L = 400 \text{ m}$

Jumlah tumpuan, $n = 2 \text{ buah}$

Gaya pada abutment akibat pengaruh temperatur:

$$\begin{aligned}T_{ET} &= \alpha \times \Delta T \times k \times L/2 \times n \\ &= 12 \times 10^{-6} \times 7,95 \times 1500 \times 400/2 \times 2 \\ &= 57,24 \text{ t} = 572,4 \text{ kN}\end{aligned}$$

Jarak Titik putar abutment ke perletakan = 17,5 m

$$\begin{aligned}M_{ET} &= T_{ET} \times y_0 \\ &= 572,4 \times 17,5 \\ &= 10.017 \text{ kNm}\end{aligned}$$

- **Beban akibat Gempa**

Pembebanan horizontal akibat gempa mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.7 dengan koefisien-koefisien sesuai dengan SNI 2833:2016. Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$$

Keterangan:

- E_Q adalah gaya gempa horizontal statis
 C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis
 R_d adalah faktor modifikasi respons
 W_t adalah berat total struktur

1. Mencari Nilai W_t

Nilai W_t didapatkan dari program bantu MIDAS Civil dengan kombinasi pembebanan beban hidup dan beban mati sesuai dengan kombinasi Ekstrim I.

W_t akibat struktur atas = 1.174,15 kN

W_t akibat berat sendiri = 40.604 kN

W_t total pada *abutment* = 41.778,15 kN

2. Mencari Nilai C_{sm}

Nilai koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) dihitung berdasarkan SNI 2833:2016.

Diketahui:

- Mencari Nilai PGA

Kabupaten Samarinda memiliki nilai PGA sebesar 0,05 berdasarkan Gambar 6.65.

- Mencari Nilai S_s

Kabupaten Samarinda memiliki nilai S_s sebesar 0,075 berdasarkan Gambar 6.66.

- Mencari Nilai S_1

Kabupaten Samarinda memiliki nilai S_1 sebesar 0,075 berdasarkan Gambar 6.67.

- Kelas Situs

Menurut data tanah, rata-rata nilai N-SPT untuk tanah di sekitar Kota Samarinda hingga kedalaman 30m memiliki nilai $15 \leq N \leq 50$. Nilai ini dapat dikategorikan sebagai tanah sedang (SD) sesuai dengan Tabel 6.20.

- Faktor Situs

Berdasarkan Tabel 6.21 dan Tabel 6.22, dapat diperoleh nilai $F_{PGA} = 1,6$, $F_a = 1,6$, dan $F_v = 2,4$.

- Respon Spektra Rencana

$$\begin{aligned} A_s &= F_{PGA} \cdot PGA \\ &= 1,6 \cdot 0,05 = 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= F_a \cdot S_s \\ &= 1,6 \cdot 0,075 = 0,12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= F_v \cdot S_1 \\ &= 2,4 \cdot 0,075 = 0,18 \end{aligned}$$

Dari data diatas dapat diperoleh Respon Spektrum Rencana seperti Gambar 6.69 yang memiliki bentuk tipikal seperti pada Gambar 6.68.

- Koefisien Respon Gempa Elastik

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,18}{0,12} = 1,5 \text{ s}$$

$$T_0 = 0,2 T_s = 0,2 (1,5) = 0,3 \text{ s}$$

- Mencari Nilai Modifikasi Respons R_d
Faktor modifikasi respon untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah memiliki nilai faktor yang berbeda dengan jenis strukturnya. Nilai modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.32.

Tabel 6.32 Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom 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

Menurut faktor kepentingannya, untuk bangunan pilar tipe dinding dengan kategori kepentingan (sangat penting), maka nilai $R_d = 1,5$

- Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah X)

Diketahui data sebagai berikut:

Tinggi Breast Wall, L_b	= 15 m
Penampang Breast Wall, B_y	= 18 m
Tebal Breast Wall, B_w	= 3 m
Inersia Breast Wall, I_c	= $1/12 \cdot B_y \cdot B_w^3$ = $40,5 \text{ m}^4$
Mutu Beton, f_c'	= 40 MPa
Modulus Elastisitas Beton, E_c	= $4.700 \sqrt{f_c'}$ = 29.725,41 MPa = 29.725.410 kPa
Nilai Kekakuan, K_p	= $3 \cdot E_c \cdot I_c / L_b^3$ = 1.070.114,76 kN/m
Percepatan Gravitasi, g	= $9,8 \text{ m/s}^2$
Wt akibat str. atas (W_{atas})	= 1.174,15 kN
Wt akibat str. bawah (W_{bawah})	= 40.604 kN

$$\begin{aligned} WTP &= W_{atas} + 0,5W_{bawah} \\ &= 21.476,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= 2 \times \pi \times \sqrt{[WTP / (g \times KP)]} \\ &= 0,284 \text{ detik} \end{aligned}$$

Karena $T < T_0$, maka

$$\begin{aligned} C_{sm} &= (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \\ &= (0,12 - 0,08) \frac{0,284}{0,3} + 0,08 \\ &= 0,118 \end{aligned}$$

$$E_{QX} = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$$

$$= \frac{0,118}{1,5} \cdot W_t$$

$$= 0,0787 W_t$$

- Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah Y)
Diketahui data sebagai berikut:

Tinggi Breast Wall, Lb	= 15 m
Penampang Breast Wall, By	= 18 m
Tebal Breast Wall, Bw	= 3 m
Inersia Breast Wall, Ic	= $1/12 \cdot Bw \cdot By^3$ = 1.458 m ⁴
Mutu Beton, fc'	= 40 MPa
Modulus Elastisitas Beton, Ec	= $4.700 \sqrt{fc'}$ = 29.725,41 MPa = 29.725.410 kPa
Nilai Kekakuan, Kp	= $3 \cdot Ec \cdot Ic / Lb^3$ = 38.524.131,36 kN/m
Percepatan Gravitasi, g	= 9,8 m/s ²
Wt akibat str. atas (W _{atas})	= 1.174,15 kN
Wt akibat str. bawah (W _{bawah})	= 40.604 kN

$$WTP = W_{atas} + 0,5W_{bawah}$$

$$= 21.476,15 \text{ kN}$$

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{[WTP / (g \times KP)]}$$

$$= 0,0474 \text{ detik}$$

Karena $T < T_0$, maka

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

$$= (0,12 - 0,08) \frac{0,0474}{0,3} + 0,08$$

$$= 0,0863$$

$$E_{QY} = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$$

$$= \frac{0,0863}{1,5} \cdot W_t$$

$$= 0,0575 W_t$$

- **Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah X)**
Dari perhitungan berat sendiri pada Tabel 6.29, kemudian dimasukkan distribusi gempanya sesuai dengan arahnya. Berikut ini adalah perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 6.33.
- **Beban Gempa Arah Melintang Jembatan (Arah Y)**
Dari perhitungan berat sendiri pada Tabel 6.29, kemudian dimasukkan distribusi gempanya sesuai dengan arahnya. Berikut ini adalah perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 6.34.

Tabel 6.33 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-X

Bidang	Berat	Teq	y	Arah	Meq (y-y)
	Wt (t)	(t)	(m)		(tm)
Abutment					
A1	61.2	4.82	19.05	1	91.75
A2	270	21.25	15.5	1	329.36
A3	50.63	3.98	13	1	51.79
A4	1958	154.06	8.8	1	1355.69
A5	56.25	4.43	1.63	1	7.23
A6	56.25	4.43	1.63	1	7.23
A7	1170	92.08	1	1	92.08
Wingwall					
W1	39.95	3.14	19.05	1	59.89
W2	80	6.30	15.5	1	97.59
W3	5.625	0.44	13.2	1	5.84
W4	54	4.25	9.1	1	38.67
W5	174	13.69	9.85	1	134.88
W6	75	5.90	4	1	23.61
W7	6.25	0.49	4.5	1	2.21
W8	3.75	0.30	2.33	1	0.69
Tanah					
T1	244.2	19.22	19.05	1	366.10
T2	1879	147.90	10.35	1	1530.77
T3	38.48	3.03	13.2	1	39.97
T4	523.3	41.18	7.6	1	312.97
T5	42.75	3.36	2.33	1	7.85
Total:	Teq	534,24		Meq	4.556,18

Tabel 6.34 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-Y

Bidang	Berat	Teq	y	Arah	Meq (x-x)
	Wt (t)	(t)	(m)		(tm)
Abutment					
A1	61.2	3.52	19.05	1	67.04
A2	270	15.53	15.5	1	240.64
A3	50.63	2.91	13	1	37.84
A4	1958	112.56	8.8	1	990.50
A5	56.25	3.23	1.63	1	5.28
A6	56.25	3.23	1.63	1	5.28
A7	1170	67.28	1	1	67.28
Wingwall					
W1	39.95	2.30	19.05	1	43.76
W2	80	4.60	15.5	1	71.30
W3	5.625	0.32	13.2	1	4.27
W4	54	3.11	9.1	1	28.26
W5	174	10.01	9.85	1	98.55
W6	75	4.31	4	1	17.25
W7	6.25	0.36	4.5	1	1.62
W8	3.75	0.22	2.33	1	0.50
Tanah					
T1	244.2	14.04	19.05	1	267.48
T2	1879	108.06	10.35	1	1118.41
T3	38.48	2.21	13.2	1	29.20
T4	523.3	30.09	7.6	1	228.66
T5	42.75	2.46	2.33	1	5.74
Total:	Teq	390,33		Meq	3.328,85

- **Beban Tanah Dinamis**

Tekanan tanah dinamis akibat Gaya gempa arah lateral dapat dihitung dengan menggunakan koefisien tekanan tanah dinamis (K_{AE}) sebagai berikut:

Untuk Lapisan 1 (Timbunan Pasir)

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times (1 - k_v) \times K_{AE}$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta (\delta + \theta + \beta)} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \theta + \beta) \cos(i - \beta)}} \right)^{-2}$$

dimana,

γ adalah berat jenis tanah (t/m^3)

H adalah tinggi tanah (m)

ϕ adalah sudut geser internal tanah ($^\circ$)

$\theta = \arctan(k_h / (1 - k_v))$ ($^\circ$)

δ adalah sudut geser diantara tanah dan kepala jembatan ($^\circ$)

K_h adalah koefisien percepatan horizontal^o

K_v adalah koefisien percepatan vertikal (umumnya diambil 0)

i adalah sudut kemiringan timbunan ($^\circ$)

β adalah kemiringan dinding kepala jembatan terhadap bidang vertikal

Diketahui:

Tinggi Timbunan, (H) = 17,2 m

Lebar Abutment, (B) = 18 m

Koefisien Gempa Lateral, ($K_h = 0,5.A_s$) = 0,04

Sudut Geser Tanah Timbunan, (ϕ) = 30°

Koefisien Tanah Aktif Timbunan, (K_a) = 0,333

Berat Volume Timbunan, (γ_{timbunan}) = 1,9 t/m^3

$\theta = \arctan(K_h / (1 - K_v))$ = $2,29^\circ$

β = 0°

$\delta = 2/3 \phi$ = 20°

i = 0°

Sehingga,

$$K_{AE1} = 0,847 \times 0,381$$

$$= 0,323$$

$$E_{AE1} = 90,78 \text{ t/m}$$

Untuk lapisan 2 (tanah asli):

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Timbunan, (H)} &= 2 \text{ m} \\ \text{Lebar Abutment, (B)} &= 18 \text{ m} \\ \text{Koefisien Gempa Lateral, (K}_h = 0,5.A_s) &= 0,04 \\ \text{Sudut Geser Tanah Asli, } (\phi) &= 0^\circ \\ \text{Koefisien Tanah Aktif, (K}_a) &= 1 \\ \text{Berat Volume Timbunan, } (\gamma_{\text{timbunan}}) &= 1,69 \text{ t/m}^3 \\ \theta = \arctan (K_h/(1-K_v)) &= 2,29^\circ \\ \beta &= 0^\circ \\ \delta = 2/3 \phi &= 0^\circ \\ i &= 0^\circ \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} K_{AE2} &= 1 \times 1 \\ &= 1 \\ E_{AE2} &= 3,38 \text{ t/m} \end{aligned}$$

Gaya Gempa Lateral Tanah Dinamis:

$$\begin{aligned} T_{EQ1} &= E_{AE1} \times B \\ &= 90,78 \times 18 \\ &= 1.634,04 \text{ ton} \\ T_{EQ2} &= E_{AE2} \times B \\ &= 3,38 \times 18 \\ &= 60,84 \text{ ton} \end{aligned}$$

Lengan Terhadap Pondasi:

$$\begin{aligned} Y_{EQ1} &= 13,47 \text{ m} \\ Y_{EQ2} &= 1,33 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen Gempa:

$$\begin{aligned} M_{EQ1} &= T_{EQ1} \times Y_{EQ1} \\ &= 1.634,04 \times 13,47 \\ &= 22.010,52 \text{ tm} \\ M_{EQ2} &= T_{EQ2} \times Y_{EQ2} \\ &= 60,84 \times 1,33 \end{aligned}$$

$$= 80,92 \text{ tm}$$

- Beban Gesekan

Diketahui:

Koefisien gesek pada tumpuan, μ	= 0,018
Beban Mati Struktur Atas, P_{MS}	= 1.174 kN
Beban Mati Tambahan, P_{MA}	= 629 kN
Lengan terhadap pondasi, Y_{FB}	= 17 m
Lengan terhadap breast wall, Y'_{FB}	= 14,5 m

Sehingga,

Reaksi aburment akibat beban tetap:

$$\begin{aligned} P_T &= P_{MS} + P_{MA} \\ &= 1.174 + 629 \\ &= 1.803 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{FB} &= \mu \times P_T \\ &= 0,018 \times 1.803 \\ &= 32,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{FB} &= T_{FB} \times Y_{FB} \\ &= 32,45 \times 17 \\ &= 551,65 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M'_{FB} &= T_{FB} \times Y'_{FB} \\ &= 32,45 \times 14,5 \\ &= 470,525 \text{ kNm} \end{aligned}$$

6.13.3 Kombinasi Pembebanan

Beban-beban yang telah didapatkan diatas selanjutnya perlu dikombinasikan untuk menghasilkan nilai-nilai beban yang sesuai dengan kondisi kenyataan. Rekapitulasi beban yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 6.35.

Tabel 6.35 Rekapitulasi Beban yang Bekerja

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	1.174				
2.	Beban Mati Tambahan	629				
3.	Beban Mati S. Bawah	67.883			140.696	
4.	Beban Tekanan Tanah		48.341		-292.404	
B.	Beban Lalu Lintas					
5.	Beban Lajur "D"	6.025				
6.	Beban Pedestrian	1.200				
7.	Beban Rem		956,25		20.081	
C.	Beban Aksi Lingkungan					
8.	Beban Angin	49		998		
9.	Beban Temperatur		572		10.017	
10.	Beban akibat Gempa		5.342	3.903	45.562	33.289
11.	Beban Tanah Dinamis		16.954		220.914	
12.	Beban Gesekan		32,45		551,65	

Untuk kombinasi beban-beban itu sendiri adalah sebagai berikut:

1. Kombinasi 1 (Tabel 6.36)
2. Kombinasi 2 (Tabel 6.37)
3. Kombinasi 3 (Tabel 6.38)
4. Kombinasi 4 (Tabel 6.39)
5. Kombinasi 5 (Tabel 6.40)

Tabel 6.36 Kombinasi 1

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	1.174	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	629	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	67.883	-	-	140.696	-
4.	Beban Tekanan Tanah		48.341	-	-292.404	-
B.	Beban Lalu Lintas					
5.	Beban Lajur "D"	6.025	-	-	-	-
6.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
Total		76.911	48.341	-	-151.708	-

Tabel 6.37 Kombinasi 2

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	1.174	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	629	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	67.883	-	-	140.696	-
4.	Beban Tekanan Tanah		48.341	-	-292.404	-
B.	Beban Lalu Lintas					
5.	Beban Lajur "D"	6.025	-	-	-	-
6.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
7.	Beban Rem		956	-	20.081	-
C.	Beban Aksi Lingkungan					
8.	Beban Angin	49	-	998	-	-
Total		76.960	49.297	998	-131.627	-

Tabel 6.38 Kombinasi 3

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	1.174	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	629	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	67.883	-	-	140.696	-
4.	Beban Tekanan Tanah		48.341	-	-292.404	-
B.	Beban Lalu Lintas					
5.	Beban Lajur "D"	6.025	-	-	-	-
6.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
7.	Beban Rem		956	-	20.081	-
C.	Beban Aksi Lingkungan					
8.	Beban Angin	49	-	998	-	-
9.	Beban Gesekan		32	-	552	-
Total		76.960	49.329	998	-131.075	-

Tabel 6.39 Kombinasi 4

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A. Aksi Tetap						
1.	Beban Mati S. Atas	1.174	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	629	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	67.883	-	-	140.696	-
4.	Beban Tekanan Tanah	-	48.341	-	-292.404	-
B. Beban Lalu Lintas						
5.	Beban Lajur "D"	6.025	-	-	-	-
6.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
7.	Beban Rem	-	956,25	-	20.081	-
C. Beban Aksi Lingkungan						
8.	Beban Angin	49	-	998	-	-
9.	Beban Temperatur	-	572	-	10.017	-
10.	Beban Gesekan	-	32,45	-	551,65	-
Total		76.960	49.901	998	-121.058	-

Tabel 6.40 Kombinasi 5

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A. Aksi Tetap						
1.	Beban Mati S. Atas	1.174	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	629	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	67.883	-	-	140.696	-
B. Beban Aksi Lingkungan						
4.	Beban akibat Gempa	-	5.342	3.903	45.562	33.289
5.	Beban Tanah Dinamis	-	16.954	-	-220.914	-
Total		69.686	22.296	3.903	-34.656	33.289

Rekapitulasi perhitungan kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 6.41

Tabel 6.41 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan

No.	Kombinasi Beban	P	Tx	Ty	Mx	My
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
1.	Kombinasi 1	76.911	48.341	-	-151.708	-
2.	Kombinasi 2	76.960	49.297	998	-131.627	-
3.	Kombinasi 3	76.960	49.329	998	-131.075	-
4.	Kombinasi 4	76.960	49.901	998	-121.058	-
5.	Kombinasi 5	69.686	22.296	3.903	-34.656	33.289

6.13.4 Stabilitas

Perhitungan stabilitas guling dan geser menggunakan SF (*Safety Factor*) minimal sebesar 2,2. Perhitungan kontrol guling dapat dilihat pada Tabel 6.42-Tabel 6.43 dan perhitungan kontrol geser pada Tabel 6.44-Tabel 6.45.

Kontrol Guling:

$$M_p = P \times B \times (1+k)$$

$$SF = M_p/M > 2,2$$

dimana,

B adalah jarak titik pusat terhadap titik guling

$$B_x = 6,5 \text{ m}; B_y = 9 \text{ m}$$

k adalah persen kelebihan beban yang diijinkan

Tabel 6.42 Kontrol Guling Arah-X

No.	Kombinasi Beban	k	P	M _x	M _{px}	SF	Ket.
			(kN)	(kNm)	(kN)		
1.	Kombinasi 1	0%	76.911	-151.708	499.850	3,3	OK
2.	Kombinasi 2	25%	76.960	-131.627	625.300	4,8	OK
3.	Kombinasi 3	40%	76.960	-131.075	700.336	5,3	OK
4.	Kombinasi 4	40%	76.960	-121.058	700.336	5,8	OK
5.	Kombinasi 5	50%	69.686	-34.656	679.438	1,7	OK

Tabel 6.43 Kontrol Guling Arah-Y

No.	Kombinasi Beban	k	P	M _y	M _{py}	SF	Ket.
			(kN)	(kNm)	(kN)		
1.	Kombinasi 1	0%	76.911	0	692.199	∞	OK
2.	Kombinasi 2	25%	76.960	0	865.800	∞	OK
3.	Kombinasi 3	40%	76.960	0	969.696	∞	OK
4.	Kombinasi 4	40%	76.960	0	969.696	∞	OK
5.	Kombinasi 5	50%	69.686	33.289	940.761	28	OK

Kontrol Geser:

$$H = (c \times B_x \times B_y + P \tan \phi) \times (1+k)$$

dimana,

$$c = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 0^\circ$$

$$B_x = 13 \text{ m}$$

$$B_y = 18 \text{ m}$$

Tabel 6.44 Kontrol Geser Arah-X

No.	Kombinasi Beban	k	P	T _x	H	SF	Ket.
			(kN)	(kN)	(kN)		
1.	Kombinasi 1	0%	76.911	48.341	72,54	0	NOT OK
2.	Kombinasi 2	25%	76.960	49.297	90,68	0	NOT OK
3.	Kombinasi 3	40%	76.960	49.329	101,56	0	NOT OK
4.	Kombinasi 4	40%	76.960	49.901	101,56	0	NOT OK
5.	Kombinasi 5	50%	69.686	22.296	108,81	0	NOT OK

Tabel 6.45 Kontrol Geser Arah-Y

No.	Kombinasi Beban	k	P	T _y	H	SF	Ket.
			(kN)	(kN)	(kN)		
1.	Kombinasi 1	0%	76.911	0	72,54	∞	OK
2.	Kombinasi 2	25%	76.960	998	90,68	0,1	NOT OK
3.	Kombinasi 3	40%	76.960	998	101,56	0,1	NOT OK
4.	Kombinasi 4	40%	76.960	998	101,56	0,1	NOT OK
5.	Kombinasi 5	50%	69.686	3.903	108,81	0	NOT OK

Setelah dicek terhadap stabilitas guling dan geser, maka perlu dicek terhadap stabilitas daya dukung, untuk memastikan tanah dasar mampu menahan beban yang ada. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$c \text{ tanah dasar} = 3,1 \text{ t/m}^2$$

$$\phi \text{ tanah dasar} = 0$$

Tabel 6.46 Koefisien Daya Dukung Tanah Terzaghi

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	35,0
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5

Berdasarkan Tabel 6.46 nilai koefisien daya dukung tanah adalah sebagai berikut:

$$N_c = 5,7$$

$$N_q = 1$$

$$N_\gamma = 0$$

$$D_f = 2 \text{ m}$$

$$\gamma' = 0,69 \text{ t/m}^3$$

$$B = 13 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= (c \times N_c) + (q \times N_q) + (0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma) \\ &= (3,1 \times 5,7) + (2 \times 0,69 \times 1) + (0,5 \times 0,69 \times 13 \times 0) \\ &= 19,05 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$P = 76.960 \text{ kN} = 7.696 \text{ t}$$

$$M_x = 407.172 \text{ kNm} = 40.717,2 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} W &= 1/6 \times L \times B^2 \\ &= 1/6 \times 18 \times 13^2 \\ &= 507 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 13 \times 18 \\ &= 234 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \frac{P}{A} + \frac{Mx}{W} \\ &= \frac{7.696}{234} + \frac{40.717,2}{507} = 113,19 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_{\min} &= \frac{P}{A} - \frac{Mx}{W} \\ &= \frac{7.696}{234} - \frac{40.717,2}{507} = -47,42 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}\text{SF} &< q_{\text{ult}} / \sigma_{\max} \\ 2,2 &< 19,05 / 113,19 \\ 2,2 &< 0,17 \text{ (NOT OK)}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kestabilan, abutment tidak aman terhadap bahaya guling, geser, dan amblas. Sehingga, dibutuhkan pemakaian pondasi dalam berupa tiang pancang di bawah abutment.

6.13.5 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dalam menghitung daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan data tanah hasil *Standard Penetration Test* (SPT) pada lokasi proyek. Berikut adalah langkah-langkah untuk mencari daya dukung tanah menggunakan data SPT:

Contoh Perhitungan:

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman} = 10 \text{ m}$$

- Koreksi terhadap Muka Air Tanah

Khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau dan pasir berlempung yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$:

$$\text{a. } N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N-15)$$

$$\text{b. } N_1 = 0,6 N$$

Dipilih harga N_1 yang terkecil dari a) dan b), untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar, dan bila $N \leq 15$, tidak ada koreksi. Untuk rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.47.

Tabel 6.47 Nilai N_{SPT} hasil koreksi (N_1)

Jenis Tanah		h (m)	Kedalaman (m)	N	N_1
lempung	berpasir berlanau	1	1	0	0
lempung	berpasir berlanau	1	2	6	6
lempung	berpasir berlanau	1	3	14,5	14,5
lempung	berpasir berlanau	1	4	23	23
lempung	berpasir berlanau	1	5	31,75	31,75
lempung	berpasir berlanau	1	6	40,5	40,5
lempung	berpasir berlanau	1	7	49,25	49,25
lempung	berpasir berlanau	1	8	58	58
lempung	keras	1	9	56,5	56,5
lempung	keras	1	10	55	55
lempung	keras	1	11	51,5	51,5
lempung	keras	1	12	48	48

- Koreksi terhadap *Overburden Pressure* dari Tanah

Hasil dari koreksi diatas (N_1) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan (P_o). Untuk rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.48.

$$a. N_2 = \frac{4 N_1}{1 + 0,4 P_o} \quad ; \text{ bila } P_o < 7,5 \text{ ton/m}^2$$

$$b. N_2 = \frac{4 N_1}{3,25 + 0,1 P_o} \quad ; \text{ bila } P_o > 7,5 \text{ ton/m}^2$$

Harga N_2 harus $< 2 N_1$, bila dari koreksi didapat $N_2 > 2 N_1 = 2N_1$.

Tabel 6.48 Nilai N_{SPT} Koreksi terhadap *Overburden Pressure* (N2)

Kedalaman m	N1	γ_{sat}	Po	N2	2 N1	N2 pakai
		ton/m ³	ton/m ²			
1	0	1,69	0,35	0,00	0	0
2	6	1,69	1,04	16,97	12	12
3	14,5	1,69	1,73	34,30	29	29
4	23	1,69	2,42	46,76	46	46
5	31,75	1,69	3,11	56,60	63,5	56,60
6	40,5	1,73	3,82	64,09	81	64,09
7	49,25	1,73	4,55	69,87	98,5	69,87
8	58	1,73	5,28	74,57	116	74,57
9	56,5	1,54	5,91	67,16	113	67,16
10	55	1,54	6,46	61,42	110	61,42
11	51,5	1,54	7,00	54,23	103	54,23
12	48	1,54	7,54	47,95	96	47,95

- Menghitung Daya Dukung

Hasil dari koreksi di atas (N2) harus dikoreksi ditengah-tengah segmen i. Setelah dikoreksi harga N dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tiang. Untuk rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.49.

$$P_{ult.} = 40 \bar{N} \times A_{ujung} + \sum Cli \times Asi$$

Dimana,

\bar{N} = harga rata-rata N2, 4D dibawah ujung s/d 8D diatas ujung tiang

Cli = N/2 untuk tanah lempung/lanau

= N/5 untuk tanah pasir

Asi = luas selimut tiang pada segmen i

$$P_{ijin} = \frac{P_{ult.}}{SF}$$

Dimana,

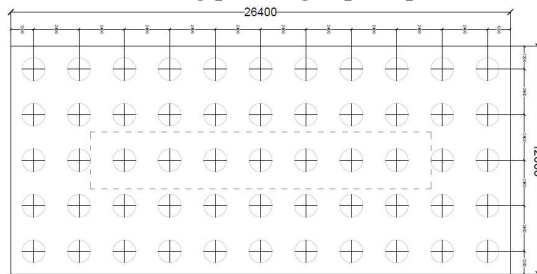
SF = 3, untuk tiang pancang

Tabel 6.49 Daya Dukung Tiang Pancang

Kedalaman m	Ni	Cli	\bar{N}	$40\bar{N}$	Cli.Asi	Σ Cli.Asi	Pult	Pijin
		ton/m ²				ton	ton	ton
1	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	6,00	3,00		0,00	11,31	11,31	11,31	3,77
3	20,50	10,25		0,00	38,64	49,95	49,95	16,65
4	37,50	18,75		0,00	70,69	120,64	120,64	40,21
5	51,30	25,65	39,65	1.586,06	96,70	217,34	2.011,13	670,38
6	60,34	30,17	50,30	2.012,20	113,75	331,08	2.606,83	868,94
7	66,98	33,49	58,18	2.327,39	126,25	457,34	3.089,55	1.029,85
8	72,22	36,11	62,82	2.512,63	136,14	593,47	3.435,20	1.145,07
9	70,87	35,43	63,99	2.559,65	133,58	727,05	3.621,95	1.207,32
10	64,29	32,14	62,76	2.510,24	121,18	848,23	3.687,25	1.229,08
11	57,82	28,91	60,22	2.408,75	108,99	957,23	3.681,46	1.227,15
12	51,09	25,55	56,63	2.265,15	96,30	1.053,53	3.615,36	1.205,12

6.13.6 Kontrol Konfigurasi Tiang Kelompok

Direncanakan formasi tiang pancang seperti pada Gambar 6.79.



Gambar 6.79 Konfigurasi Tiang Abutment

Semua kombinasi yang telah dihitung dijadikan beban terhadap konfigurasi tiang abutment diatas. Berikut adalah contoh perhitungan pada kombinasi 5. Untuk kombinasi yang lain dapat dilihat pada

Tabel 6.50.

Jumlah tiang (n)	= 55
y max	= 12 m
x max	= 4,8 m
$2 \sum y^2$	= 633,6 m ²
$2 \sum x^2$	= 57,6 m ²

$$P_v = \frac{\sum P}{n} + \frac{Mx \cdot y_{max}}{2 \sum y^2} + \frac{My \cdot x_{max}}{2 \sum x^2}$$

$$P_v = \frac{6.968,6}{55} + \frac{3.46.12}{633,6} + \frac{3.33.4,8}{57,6}$$

$$P_v = 469,747 \text{ ton}$$

Diperlukan koreksi terhadap efisiensi tiang dalam grup.

$$C_e = 1 - \frac{B}{L} \times \frac{1}{\pi x m x n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2(m-1)(n-1)}]$$

$$= 0,729$$

Sehingga,

P1 tiang single	= 3.687,25 ton
P1 tiang dalam grup	= 0,729 x 3.687,25
	= 2.688,2 ton
P _{ijin} 1 tiang dalam grup	= 2.688,2/3
	= 896,07 ton > P _v = 469,747 ton
	(OK)

Tabel 6.50 Kontrol P_{ijin} 1 Tiang dalam Grup

P_{ijin} (ton)	Kombinasi	P_v (ton)	Keterangan
650,16	Kombinasi 1	427,164	OK
	Kombinasi 2	389,221	OK
	Kombinasi 3	388,175	OK
	Kombinasi 4	369,204	OK
	Kombinasi 5	469,747	OK

6.13.7 Penulangan Abutment

Penulangan terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan transversal/geser. Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan syarat-syarat sesuai SNI 2847:2013.

- Penulangan Longitudinal

Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya-gaya kombinasi seperti pada Tabel 6.36-Tabel 6.40 dan dihasilkan diagram interaksi seperti pada Gambar 6.80 Diagram Interaksi Abutment pada SpColumn. Berikut ini adalah data perencanaan dari perencanaan penulangan abutment.

Desain abutment:

Panjang (p) = 18.000 mm

Lebar (l) = 3.000 mm

F'_c = 40 MPa

F_y = 410 MPa

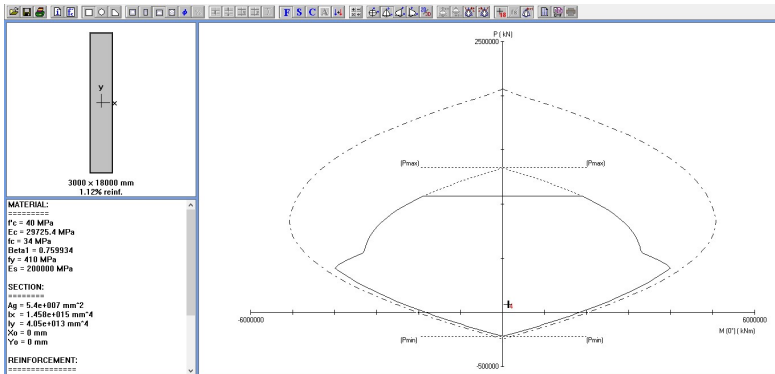
Cover = 100 mm

Jarak antar tul. = 100 mm

Tulangan Utama = 600 D36 dengan rasio 1,12 %

Syarat-syarat:

1. Jarak tulangan kolom dinding tidak lebih dari tiga kali tebal dinding, atau lebih dari 450 mm (pasal 14.3.5).
2. Luas tulangan longitudinal struktur tekan tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,08 A_g (pasal 10.9.1)



Gambar 6.80 Diagram Interaksi Abutment pada SpColumn

- Penulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2 perhitungan kuat geser beton bila ikut berkontribusi menahan geser yaitu,

$$V_u = 49.901 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{Nu}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{76.960}{14.54}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{40 \cdot 1000} \cdot 3 \cdot 17,891 \\ &= 187.595,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser akibat beton sudah mencukupi tetapi tetap harus dihitung tulangan geser yang akan dipasang. Direncanakan tulangan Senggang 2 D22-250

$$A_v = 759,88 \text{ mm}^2$$

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

$$\begin{aligned}
 d &= 2860,5 \text{ mm} \\
 V_s &= \left(\frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right) \\
 &= \left(\frac{759,88 \cdot 410 \cdot 2860,5}{250} \right) \\
 &= 3.564.764,25 \text{ N} = 3.564,76 \text{ kN} \\
 V_n &= \phi(V_c + V_s) \\
 &= 0,75(187.595,9 + 2.564,76) \\
 &= 142.620,495 \text{ kN} > V_u = 49.901 \text{ kN} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

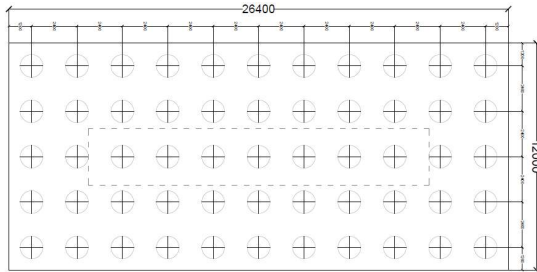
6.13.8 Penulangan Pile Cap

Pada perencanaan ini, tulangan pile cap akan dianalisis sebagai balok tinggi. Data perencanaan untuk menghitung tulangan pile cap dapat dilihat di bawah ini :

Data perencanaan:

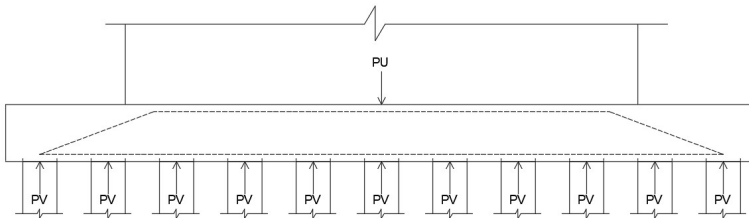
$$\begin{aligned}
 D_b &= 25 \text{ mm}, A_s \text{ tulangan} &= 490,87 \text{ mm}^2 \\
 \text{Selimut beton} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Panjang, p} &= 21600 \text{ mm} \\
 \text{Lebar, l} &= 12000 \text{ mm} \\
 \text{Tebal pilecap, t} &= 2000 \text{ mm} \\
 \text{d sisi panjang} &= 2000 - 100 - 0,5 \times 25 &= 1887,5 \text{ mm} \\
 \text{d sisi pendek} &= 2000 - 100 - 25 - 0,5 \times 25 &= 1862,5 \text{ mm} \\
 f'_c &= 40 \text{ MPa} \\
 f_y &= 410 \text{ MPa} \\
 \text{b abutmen} &= 18000 \text{ mm} \\
 \text{h abutmen} &= 3000 \text{ mm} \\
 P_v &= 7554,66 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Lentur Arah y

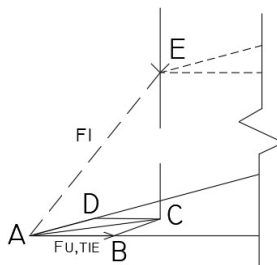


Gambar 6.81 Rencana Pile Cap

Beban vertikal dari abutmen didistribusikan ke 55 buah tiang pancang (Gambar 6.82), berdasarkan hasil perhitungan beban maksimum yang diterima 1 tiang, P_v , diperoleh $P_v = 4697,47$ kN. Setiap beban P_v dihubungkan pada tiap as tiang melalui garis strat seperti pada Gambar 6.83,



Gambar 6.82 Distribusi Beban Vertikal ke Tiang Pancang



Gambar 6.83 Model Strat dan Pengikat

Diasumsikan, jarak as pengikat bawah ke serat bawah beton adalah 150mm, dan ketebalan strat horizontal atas adalah 300mm. Maka jarak antara pengikat bawah dengan strat atas, EC :

$$\begin{aligned}
 EC &= 2000 - 150 - 300/2 = 1700 \text{ mm} \\
 AB &= 1630 \text{ mm} \\
 AC &= 1400 \text{ mm} \\
 \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{EC}{AC} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1700}{1630} \right) = 38,35^\circ
 \end{aligned}$$

Gaya yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{P_v}{\sin \theta} = \frac{4697,47 \times 10^3}{\sin 38,35} = 7.570.902,92 \text{ N} \\
 F_{u, AC} &= F_1 \cos \theta \\
 &= 7.570.902,92 \times \cos 38,35^\circ \\
 &= 5.937.368,66 \text{ N} \\
 \alpha &= 41^\circ (\text{Sudut BAC}) \\
 F_{u, tie} &= F_{AC} \cos \alpha \\
 &= 5.937.368,66 \times \cos 41^\circ \\
 &= 4.480.989 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tulangan pengikat :

$$\begin{aligned}
 F_{u, tie} &= \varphi \cdot A_s \cdot f_y \\
 4.480.989 &= 0,75 \cdot A_s \cdot 410 \\
 A_s &= 14.572,32 \text{ mm}^2 \\
 A_{s, \min} &= 1,4 b_w d / f_y \\
 &= 1,4 \cdot 7200 \cdot 1887,5 / 410 = 46.404,878 \text{ mm}^2 \\
 A_s &< A_{s, \min}, \text{ maka } A_s \text{ terpasang digunakan } A_{s, \min}. \\
 D_b &= 25 \text{ mm } (A_s \text{ tul} = 490,87 \text{ mm}^2) \\
 n_{tul} &= A_s / A_s \text{ tul} = 46404,878 / 490,87 \\
 &= 57,69 \approx 58 \text{ buah} \\
 \text{Jarak } s &= 12000 / 58 = 200 \text{ mm (arah y)}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur arah y D25-200mm.

- Penulangan Vertikal dan Horizontal

Untuk perhitungan tulangan geser, digunakan nilai V_u dan M_u . Kemudian cek V_u terhadap kuat geser maksimum untuk struktur balok tinggi tidak boleh diambil lebih dari persamaan berikut:

$$V_u = 108810 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 108810 &\leq \phi V_n \\
 108810 &\leq \phi \cdot 0,83 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\
 108810 &\leq 0,65 \cdot 0,83 \sqrt{40} \cdot 7200 \cdot 1887,5 \\
 108810 &\leq 46370406,32 \text{ N (Ok)}
 \end{aligned}$$

Penampang mencukupi.

Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Jika $V_u < \phi V_c$ maka tidak memerlukan tulangan geser. Dimana nilai V_c dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$V_c = \left(0,16 \lambda \sqrt{f'_c} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 A_s &= 46404,87 \text{ mm}^2 \\
 \rho_w &= A_s / (b \cdot d) = 46404,87 / (7200 \times 1887,5) = 0,0034 \\
 V_c &= \left(0,16 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} + 17 \cdot 0,0034 \cdot \frac{108810 \times 1887,5}{15170800000} \right) 7200 \cdot 1887,5 \\
 &= 13753181,06 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 13753181,06 \text{ N} = 10314885,795 \text{ N} > V_u$$

Maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_{s, \min} = b_w \cdot d / 3 = 7200 \cdot 1887,5 / 3 = 4530000 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser dua kaki dengan $D_s = 22 \text{ mm}$ ($A_v = 760,265 \text{ mm}^2$). Tulangan geser D22 diletakkan di kedua sisi pile cap pada posisi horizontal dan vertikal, maka $A_v = A_{vh}$ dan direncanakan $s_v = s_h = s$. Besarnya jarak s dapat diperoleh dari perumusan berikut :

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left(\frac{A_v}{s_v} \left(\frac{1 + L_n/d}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_h} \left(\frac{11 - L_n/d}{12} \right) \right) f_y \cdot d \\
 4530000 &= \left(\frac{760,265}{s} \left(\frac{1 + 21600/1887,5}{12} \right) + \left(\frac{11 - 21600/1887,5}{12} \right) \right) 410 \cdot 1887,5
 \end{aligned}$$

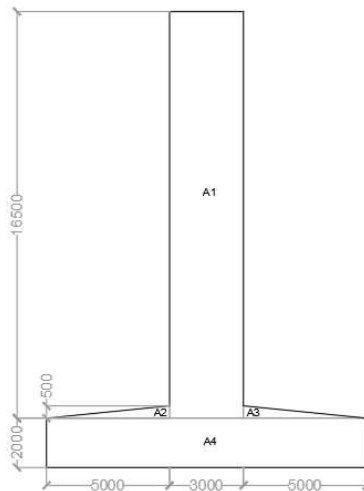
$$s = 129,87 \text{ mm}$$

Syarat $s < d/5 = 377,5 \text{ mm}$ dan kurang dari 300 mm, maka digunakan 2D22-120mm.

6.14 Perencanaan Pilar

6.14.1 Preliminary Design Pilar

Sebelum menghitung beban-beban yang akan diterima oleh pilar, maka harus ditentukan terlebih dahulu rencana dimensi pilar yang akan dibangun. Berikut adalah rencana design pilar yang dipakai seperti pada Gambar 6.844.



Gambar 6.84 Preliminary Design Pilar

6.14.2 Pembebanan Pilar

Pilar terletak pada kedua sisi *main span* jembatan. Perencanaan beban yang bekerja pada struktur bangunan bawah jembatan adalah berdasarkan SNI 1725:2016.

- **Beban Mati Struktur Atas**
Beban mati struktur jembatan busur yang bekerja pada perletakan di abutment dapat dilihat pada

Tabel 6.51. Nilai diambil dari perhitungan struktur atas dengan menggunakan program bantu Midas Civil.

Tabel 6.51 Beban Mati Struktur Atas

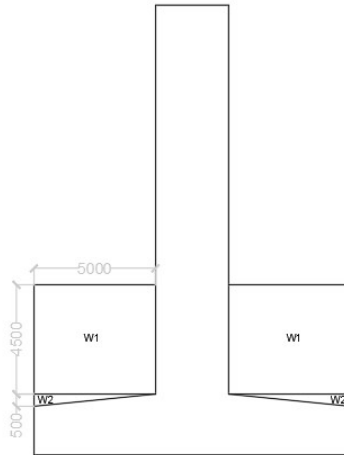
Titik Pot <i>Bearing</i>	Gaya Vertikal (kN)
3	40.393
4	24.586

- **Beban Mati Tambahan**
Beban mati tambahan antara lain adalah sebagai berikut seperti pada Tabel 6.52.

Tabel 6.52 Beban Mati Tambahan

Beban	W	p (m)	l (m)	t (m)	n	Wtot (kg)
Railing	3,16 kg/m	140			4	1769,6
Lampu	5 kg				28	140
Overlay Aspal	2.245 kg/m ³	140	12	0,05	1	188.580
Hujan	980 kg/m ³	140	15	0,05	1	102.900
Total						293.389,60
W total (kN)						2.933,90

- **Beban Mati Struktur Bawah**
Pilar yang akan direncanakan memiliki ukuran tinggi total 18,5 meter. Untuk gambar detail dapat dilihat pada Gambar 6.844 - Gambar 6.855.



Gambar 6.85 Sketsa Beban Air Pilar

Setelah direncanakan dimensi pilar maka akan dihitung berat yang ditimbulkan oleh struktur itu sendiri. Perhitungan akibat berat sendiri struktur bawah akan diberikan pada Tabel 6.53.

Tabel 6.53 Berat Sendiri Pilar

Nama	b	h	Bentuk	Luas	Volume	Berat
	m	m		m ²	m ³	t
Pilar						
A1	3,0	16,5	1,0	49,5	891,0	2.227,5
A2	5,0	0,5	0,5	1,3	22,5	56,3
A3	5,0	0,5	0,5	1,3	22,5	56,3
A4	13,0	2,0	1,0	26,0	468,0	1.170,0
Total					0,0	3.510,0
Air						
W1	5,0	4,5	1,0	22,5	405,0	769,5
W2	5,0	4,5	1,0	22,5	405,0	769,5
W3	5,0	0,5	0,5	1,3	22,5	42,8
W4	5,0	0,5	0,5	1,3	22,5	42,8
Total					810,0	1.539,0
Total Overall Bangunan					810,0	5.049,0

- Beban Lajur “D” (BTR+BGT)
Beban hidup struktur jembatan busur yang bekerja pada perletakan di abutment dapat dilihat pada Tabel 6.54. Nilai diambil dari perhitungan struktur atas dengan menggunakan program bantu Midas Civil.

Tabel 6.54 Beban Lajur “D”

Titik Pot <i>Bearing</i>	Gaya Vertikal (kN)
3	14.940
4	14.940

- Beban Pedestrian
Untuk menghitung beban dari pejalan kaki, hitung terlebih dahulu luas trotar yang ada pada jembatan.

$$A = 2 \times 1,5 \times 400$$

$$= 1200 \text{ m}^2 > 100 \text{ m}^2 \Rightarrow q = 2 \text{ kPa}$$

$$P_{TP} = A \times q$$

$$= 1200 \times 2 = 2400 \text{ kN}$$

Sehingga, untuk satu abutment $P_{TP} = 2400/2 = 1200 \text{ kN}$

- Beban Rem
Menurut SNI 1725:2016, gaya rem diambil yang terbesar dari:

a. 25% dari berat gandar truk desain

b. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

dimana,

$$a. 25\% \times (500 \text{ kN}) \times 4 \text{ lajur} = 956,25 \text{ kN}$$

$$b. 5\% \times (500 \text{ kN} + 6025,34 \text{ kN}) = 326,27 \text{ kN}$$

Sehingga, gaya rem pakai adalah 956,25 kN bekerja langsung pada perletakan ke arah sumbu-x.

Gaya rem harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan

pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Sehingga perhitungan lengan terhadap titik putar rotasinya yaitu:

$$\begin{aligned}
 x &= \text{tinggi pilar} + 1800 \text{ mm} \\
 &= 18,5 \text{ m} + 1,8 \text{ m} = 20,3 \text{ m} \\
 \text{Momen akibat rem} &= 956,25 \text{ kN} \times 20,3 \text{ m} \\
 &= 19.411,88 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- **Beban Angin**

Beban angin yang bekerja pada struktur atas diterima oleh Pot *Bearing* yang nantinya akan diteruskan ke bangunan bawah dapat dilihat pada Tabel 6.55. Nilai beban angin yang diterima didapatkan dengan program bantu Midas Civil.

Tabel 6.55 Beban Angin

Titik Pot Bearing	Fz (kN)	Fy (kN)
4	15.460	8.346

- **Beban Temperatur**

Berikut ini adalah perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan beban temperatur.

$$\text{Temperatur maksimum rata-rata, } T_{\max} = 37,9^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatur minimum rata-rata, } T_{\min} = 22^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = (T_{\max} - T_{\min}) / 2$$

$$= (37,9 - 22) / 2$$

$$= 7,95^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Koefisien perpanjangan (baja), } \alpha = 12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Bentang Jembatan, } L = 400 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah tumpuan, } n = 2 \text{ buah}$$

Gaya pada pilar akibat pengaruh temperatur:

$$T_{\text{ET}} = \alpha \times \Delta T \times k \times L / 2 \times n$$

$$= 12 \times 10^{-6} \times 7,95 \times 1500 \times 400 / 2 \times 2$$

$$= 57,24 \text{ t} = 572,4 \text{ kN}$$

Jarak Titik putar pilar ke perletakan = 18,5 m

$$\begin{aligned}
 M_{ET} &= T_{ET} \times y_0 \\
 &= 572,4 \times 17,5 \\
 &= 10.017 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Beban Aliran Air dan Tumbukan

1. Beban Aliran Air

Gaya seret pada pilar akibat aliran air tergantung pada kecepatan air rata-rata. Faktor beban untuk perhitungan gaya akibat aliran air dapat dilihat pada Tabel 6.56.

$$T_{EF} = 0,5 \times C_D \times V_s^2 \times A_d$$

dimana,

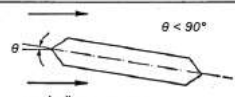




T_{EF} adalah gaya seret (kN)

V_s adalah kecepatan air rata-rata berdasarkan pengukuran di lapangan (m/s)
 = 1,98 m/s

C_D adalah koefisien seret (Tabel 6.52)

A_d adalah luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran dengan tinggi sama dengan kedalaman aliran (m²)

Tabel 6.56 Koefisien Seret (C_D) dan Angkat (C_L) untuk berbagai bentuk pilar

Bentuk pilar	Koefisien seret (C_D)	Koefisien angkat (C_L)												
 $\theta < 90^\circ$ arah aliran	0,8	<table border="1"> <tr> <th>θ</th> <th>C_L</th> </tr> <tr> <td>0°</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5°</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>10°</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>$\geq 30^\circ$</td> <td>1,0</td> </tr> </table>	θ	C_L	0°	0	5°	0,5	10°	0,9	20°	0,9	$\geq 30^\circ$	1,0
θ	C_L													
0°	0													
5°	0,5													
10°	0,9													
20°	0,9													
$\geq 30^\circ$	1,0													
 θ	1,4													
 θ	0,7													
	0,7	Tidak dapat digunakan												
	0,7	Tidak bisa dipakai												

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 T_{EF} &= 0,5 \times C_D \times V_s^2 \times A_d \\
 &= 0,5 \times 0,7 \times 1,98 \times (4,5 \times 3) \\
 &= 9,35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Karena pilar jembatan tegak lurus sungai dengan $\theta = 0^\circ$, maka tidak ada gaya angkat kepada pilar akibat aliran sungai.

2. Beban Tumbukan

Gaya akibat tumbukan dengan batang kayu dihitung dengan menganggap bahwa batang dengan massa minimum sebesar 2 ton hanyut pada kecepatan aliran rencan harus bisa ditahan dengan gaya maksimum berdasarkan lendutan elastis ekuivalen dari pilar dengan rumus sebagai berikut:

$$T_{EF} = \frac{M (V_a)^2}{d}$$

dimana,

M adalah massa batang kayu sebesar ± 2 ton

V_a adalah kecepatan air permukaan, V_a bisa diambil 1,4 kali kecepatan rata-rata V_s
 $= 1,4 V_s = 2,77 \text{ m/s}$

d adalah lendutan elastis ekuivalen
 $= 0,075 \text{ m}$ (Pilar beton massif)

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 T_{EF} &= \frac{2 (2,77)^2}{0,075} \\
 &= 204,61 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Beban akibat Gempa

Pembebanan horizontal akibat gempa mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.7 dengan koefisien-koefisien sesuai dengan SNI 2833:2016. Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$$

Keterangan:

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis

R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur

1. Mencari Nilai W_t

Nilai W_t didapatkan dari program bantu MIDAS Civil dengan kombinasi pembebanan beban hidup dan beban mati sesuai dengan kombinasi Ekstrim I.

W_t akibat struktur atas = 64.979 kN

W_t akibat berat sendiri = 50.490 kN

W_t total pada pilar = 115.469 kN

2. Mencari Nilai C_{sm}

Nilai koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) dihitung berdasarkan SNI 2833:2016.

Diketahui:

- Mencari Nilai PGA

Kabupaten Samarinda memiliki nilai PGA sebesar 0,05 berdasarkan Gambar 6.65.

- Mencari Nilai S_s

Kabupaten Samarinda memiliki nilai S_s sebesar 0,075 berdasarkan Gambar 6.66.

- Mencari Nilai S_1

Kabupaten Samarinda memiliki nilai S_1 sebesar 0,075 berdasarkan Gambar 6.67.

- Kelas Situs

Menurut data tanah, rata-rata nilai N-SPT untuk tanah di sekitar Kota Samarinda hingga kedalaman 30m memiliki nilai $15 \leq N \leq 50$. Nilai ini dapat dikategorikan sebagai tanah sedang (SD) sesuai dengan Tabel 6.20.

- Faktor Situs

Berdasarkan Tabel 6.21 dan Tabel 6.22, dapat diperoleh nilai $F_{PGA} = 1,6$, $F_a = 1,6$, dan $F_v = 2,4$.

- Respon Spektra Rencana

$$\begin{aligned} A_s &= F_{PGA} \cdot PGA \\ &= 1,6 \cdot 0,05 = 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= F_a \cdot S_s \\ &= 1,6 \cdot 0,075 = 0,12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= F_v \cdot S_1 \\ &= 2,4 \cdot 0,075 = 0,18 \end{aligned}$$

Dari data diatas dapat diperoleh Respon Spektrum Rencana seperti Gambar 6.69 yang memiliki bentuk tipikal seperti pada Gambar 6.68.

- Koefisien Respon Gempa Elastik

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,18}{0,12} = 1,5 \text{ s}$$

$$T_0 = 0,2 T_s = 0,2 (1,5) = 0,3 \text{ s}$$

- Mencari Nilai Modifikasi Respons R_d
 Faktor modifikasi respon untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah memiliki nilai faktor yang berbeda dengan jenis strukturnya. Nilai modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.32.
 Menurut faktor kepentingannya, untuk bangunan pilar tipe dinding dengan kategori kepentingan (sangat penting), maka nilai $R_d = 1,5$
- Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah X)
 Diketahui data sebagai berikut:

Tinggi Breast Wall, L_b	= 16,5 m
Penampang Breast Wall, B_y	= 18 m
Tebal Breast Wall, B_w	= 3 m
Inersia Breast Wall, I_c	= $1/12 \cdot B_y \cdot B_w^3$
	= 40,5 m ⁴
Mutu Beton, f_c'	= 40 MPa
Modulus Elastisitas Beton, E_c	= $4.700 \sqrt{f_c'}$
	= 29.725,41 MPa

$$\begin{aligned}
 &= 29.725.410 \text{ kPa} \\
 \text{Nilai Kekakuan, } K_p &= 3.Ec.Ic / Lb^3 \\
 &= 803.993 \text{ kN/m} \\
 \text{Percepatan Gravitasi, } g &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Wt akibat str. atas (} W_{\text{atas}} \text{)} &= 64.979 \text{ kN} \\
 \text{Wt akibat str. bawah (} W_{\text{bawah}} \text{)} &= 50.490 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{WTP} &= W_{\text{atas}} + 0,5W_{\text{bawah}} \\
 &= 90.224 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= 2 \times \pi \times \sqrt{[WTP / (g \times K_p)]} \\
 &= 0,672 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Karena $T_0 < T < T_s$, maka

$$\begin{aligned}
 C_{sm} &= S_{DS} \\
 &= 0,12
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{QX} &= \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t \\
 &= \frac{0,12}{1,5} \cdot W_t \\
 &= 0,08 W_t
 \end{aligned}$$

- Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah Y)

Diketahui data sebagai berikut:

$$\text{Tinggi Breast Wall, } L_b = 16,5 \text{ m}$$

$$\text{Penampang Breast Wall, } B_y = 18 \text{ m}$$

$$\text{Tebal Breast Wall, } B_w = 3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Inersia Breast Wall, } I_c &= 1/12.B_w.B_y^3 \\
 &= 1.458 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\text{Mutu Beton, } f_c' = 40 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Elastisitas Beton, } E_c &= 4.700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 29.725,41 \text{ MPa} \\
 &= 29.725.410 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Kekakuan, } K_p &= 3.Ec.Ic / Lb^3 \\
 &= 28.943.750,08 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Percepatan Gravitasi, } g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Wt akibat str. atas (} W_{\text{atas}} \text{)} = 64.979 \text{ kN}$$

$$W_t \text{ akibat str. bawah } (W_{\text{bawah}}) = 50.490 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} WTP &= W_{\text{atas}} + 0,5W_{\text{bawah}} \\ &= 90.224 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= 2 \times \pi \times \sqrt{[WTP / (g \times KP)]} \\ &= 0,112 \text{ detik} \end{aligned}$$

Karena $T < T_0$, maka

$$\begin{aligned} C_{sm} &= (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \\ &= (0,12 - 0,08) \frac{0,112}{0,3} + 0,08 \\ &= 0,095 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{QY} &= \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t \\ &= \frac{0,095}{1,5} \cdot W_t \\ &= 0,063 W_t \end{aligned}$$

- **Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah X)**
Dari perhitungan berat sendiri pada Tabel 6.53, kemudian dimasukkan distribusi gempanya sesuai dengan arahnya. Berikut ini adalah perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 6.57.
- **Beban Gempa Arah Melintang Jembatan (Arah Y)**
Dari perhitungan berat sendiri pada Tabel 6.53, kemudian dimasukkan distribusi gempanya sesuai dengan arahnya. Berikut ini adalah perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 6.58.

Tabel 6.57 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-X

Bidang	Berat	Teq	y	Arah	Meq (y-y)
	Wt (t)	(t)	(m)		(tm)
Abutment					
A1	2.227,5	178,2	10,25	1	1.826,55
A2	56,3	4,5	2,17	1	9,76
A3	56,3	4,5	2,17	1	9,76
A4	1.170,0	93,6	1	1	93,60
Total:	Teq	280,8		Meq	1.939,67

Tabel 6.58 Rekapitulasi Beban Gempa Arah-Y

Bidang	Berat	Teq	y	Arah	Meq (x-x)
	Wt (t)	(t)	(m)		(tm)
Abutment					
A1	2.227,5	140,3	10,25	1	1.438,08
A2	56,3	3,5	2,17	1	7,59
A3	56,3	3,5	2,17	1	7,59
A4	1.170,0	73,7	1	1	73,7
Total:	Teq	221		Meq	1.526,96

- Beban Gesekan

Diketahui:

- Koefisien gesek pada tumpuan, μ = 0,018
- Beban Mati Struktur Atas, P_{MS} = 64.979 kN
- Beban Mati Tambahan, P_{MA} = 2.933,9 kN
- Lengan terhadap pondasi, Y_{FB} = 18,5 m
- Lengan terhadap breast wall, Y'_{FB} = 16,5 m

Sehingga,

Reaksi aburment akibat beban tetap:

$$\begin{aligned}
 P_T &= P_{MS} + P_{MA} \\
 &= 64.979 + 2.933,9 \\
 &= 67.912,9 \text{ kN} \\
 T_{FB} &= \mu \times P_T \\
 &= 0,018 \times 67.912,9 \\
 &= 1.222,4 \text{ kN} \\
 M_{FB} &= T_{FB} \times Y_{FB} \\
 &= 1.222,4 \times 18,5 \\
 &= 22.614,9 \text{ kNm} \\
 M'_{FB} &= T_{FB} \times Y'_{FB} \\
 &= 1.222,4 \times 16,5 \\
 &= 20.169,6 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.14.3 Kombinasi Pembebanan

Beban-beban yang telah didapatkan diatas selanjutnya perlu dikombinasikan untuk menghasilkan nilai-nilai beban yang sesuai dengan kondisi kenyataan. Rekapitulasi beban yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 6.59.

Tabel 6.59 Rekapitulasi Beban yang Bekerja

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	64.979	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	2.934	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	50.490	-	-	-	-
B.	Beban Lalu Lintas					
4.	Beban Lajur "D"	29.880	-	-	-	-
5.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
6.	Beban Rem		956	-	19.412	-
C.	Beban Aksi Lingkungan					
7.	Beban Aliran Air & Tumbukan	-	-	214	-	-
8.	Beban Angin	15.460	-	8.346	-	-
9.	Beban Temperatur	-	572	-	10.017	-
10.	Beban akibat Gempa	-	2.810	2.210	19.397	15.270
11.	Beban Gesekan	-	1.222	-	22.615	-

Untuk kombinasi beban-beban itu sendiri adalah sebagai berikut:

1. Kombinasi 1 (Tabel 6.60)
2. Kombinasi 2 (Tabel 6.61)
3. Kombinasi 3 (

Tabel 6.62)

4. Kombinasi 4 (Tabel 6.63)
5. Kombinasi 5 (Tabel 6.64)

Tabel 6.60 Kombinasi 1

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	64.979	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	2.934	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	50.490	-	-	-	-
B.	Beban Lalu Lintas					
4.	Beban Lajur "D"	29.880	-	-	-	-
5.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
	Total	149.483	-	-	-	-

Tabel 6.61 Kombinasi 2

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	64.979	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	2.934	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	50.490	-	-	-	-
B.	Beban Lalu Lintas					
4.	Beban Lajur "D"	29.880	-	-	-	-
5.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
6.	Beban Rem		956	-	19.412	-
C.	Beban Aksi Lingkungan					
7.	Beban Aliran Air & Tumbukan	-	-	214	-	-
8.	Beban Angin	15.460	-	8.346	-	-
Total		164.943	956	8.560	19.412	-

Tabel 6.62 Kombinasi 3

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	64.979	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	2.934	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	50.490	-	-	-	-
B.	Beban Lalu Lintas					
4.	Beban Lajur "D"	29.880	-	-	-	-
5.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
6.	Beban Rem		956	-	19.412	-
C.	Beban Aksi Lingkungan					
7.	Beban Aliran Air & Tumbukan	-	-	214	-	-
8.	Beban Angin	15.460	-	8.346	-	-
9.	Beban Gesekan	-	1.222	-	22.615	-
Total		164.943	2.179	8.560	42.027	-

Tabel 6.63 Kombinasi 4

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	64.979	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	2.934	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	50.490	-	-	-	-
B.	Beban Lalu Lintas					
4.	Beban Lajur "D"	29.880	-	-	-	-
5.	Beban Pedestrian	1.200	-	-	-	-
6.	Beban Rem		956	-	19.412	-
C.	Beban Aksi Lingkungan					
7.	Beban Aliran Air & Tumbukan	-	-	214	-	-
8.	Beban Angin	15.460	-	8.346	-	-
9.	Beban Temperatur	-	572	-	10.017	-
10.	Beban Gesekan	-	1.222	-	22.615	-
	Total	164.943	2.751	8.560	52.044	-

Tabel 6.64 Kombinasi 5

No.	Aksi/Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	Aksi Tetap					
1.	Beban Mati S. Atas	64.979	-	-	-	-
2.	Beban Mati Tambahan	2.934	-	-	-	-
3.	Beban Mati S. Bawah	50.490	-	-	-	-
B.	Beban Aksi Lingkungan					
4.	Beban akibat Gempa	0	2.810	2.210	19.397	15.270
	Total	118.403	2.810	2.210	19.397	15.270

Rekapitulasi perhitungan kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 6.65

Tabel 6.65 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan

No.	Kombinasi Beban	P	T _x	T _y	M _x	M _y
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
1.	Kombinasi 1	149.483	-	-	-	-
2.	Kombinasi 2	164.943	956	8.560	19.412	-
3.	Kombinasi 3	164.943	2.179	8.560	42.027	-
4.	Kombinasi 4	164.943	2.751	8.560	52.044	-
5.	Kombinasi 5	118.403	2.810	2.210	19.397	15.270

6.14.4 Stabilitas

Perhitungan stabilitas geser menggunakan SF (*Safety Factor*) minimal sebesar 2,2. Perhitungan kontrol geser pada

Tabel 6.66 dan Tabel 6.67.

Kontrol Geser:

$$H = (c \times B_x \times B_y + P \tan \phi) \times (1+k)$$

dimana,

$$c = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 0^\circ$$

$$B_x = 13 \text{ m}$$

$$B_y = 18 \text{ m}$$

Tabel 6.66 Kontrol Geser Arah-X

No.	Kombinasi Beban	k	P	T _x	H	SF	Ket
			(kN)	(kN)	(kN)		
1.	Kombinasi 1	0%	149.483	0	72,54	∞	OK
2.	Kombinasi 2	25%	164.943	956	90,675	0,095	NOT OK
3.	Kombinasi 3	40%	164.943	2.179	101,556	0,047	NOT OK
4.	Kombinasi 4	40%	164.943	2.751	101,556	0,037	NOT OK
5.	Kombinasi 5	50%	118.403	2.810	108,81	0,039	NOT OK

Tabel 6.67 Kontrol Geser Arah-Y

No.	Kombinasi Beban	k	P	T _x	H	SF	Ket
			(kN)	(kN)	(kN)		
1.	Kombinasi 1	0%	149.483	-	72,54	∞	OK
2.	Kombinasi 2	25%	164.943	8560	90,675	0,011	NOT OK
3.	Kombinasi 3	40%	164.943	8.560	101,556	0,012	NOT OK
4.	Kombinasi 4	40%	164.943	8.560	101,556	0,012	NOT OK
5.	Kombinasi 5	50%	118.403	2.210	108,81	0,049	NOT OK

Setelah dicek terhadap stabilitas geser, maka perlu dicek terhadap stabilitas daya dukung, untuk memastikan tanah dasar mampu menahan beban yang ada. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$c \text{ tanah dasar} = 3,1 \text{ t/m}^2$$

$$\phi \text{ tanah dasar} = 0$$

Berdasarkan Tabel 6.46 nilai koefisien daya dukung tanah adalah sebagai berikut:

$$N_c = 5,7$$

$$N_q = 1$$

$$N_\gamma = 0$$

$$D_f = 2 \text{ m}$$

$$\gamma' = 0,69 \text{ t/m}^3$$

$$B = 13 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= (c \times N_c) + (q \times N_q) + (0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma) \\ &= (3,1 \times 5,7) + (2 \times 0,69 \times 1) + (0,5 \times 0,69 \times 13 \times 0) \\ &= 19,05 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$P = 164.943 \text{ kN} = 16.494,3 \text{ t}$$

$$M_x = 52.044 \text{ kNm} = 5.204,4 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} W &= 1/6 \times L \times B^2 \\ &= 1/6 \times 18 \times 13^2 \\ &= 507 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 13 \times 18 \\ &= 234 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M_x}{W}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{16.494,3}{234} + \frac{5.204,4}{507} = 80,75 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_{\min} &= \frac{P}{A} - \frac{Mx}{W} \\ &= \frac{16.494,3}{234} - \frac{5.204,4}{507} = 60,22 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} \text{SF} &< q_{\text{ult}} / \sigma_{\max} \\ 2,2 &< 19,05 / 80,75 \\ 2,2 &< 0,24 \quad (\text{NOT OK}) \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kestabilan, pilar tidak aman terhadap bahaya geser dan amblas. Sehingga, dibutuhkan pemakaian pondasi dalam berupa tiang pancang di bawah pilar.

6.14.5 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dalam menghitung daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan data tanah hasil *Standard Penetration Test* (SPT) pada lokasi proyek. Berikut adalah langkah-langkah untuk mencari daya dukung tanah menggunakan data SPT:

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned} D &= 1,2 \text{ m} \\ \text{Kedalaman} &= 12 \text{ m} \end{aligned}$$

- Koreksi terhadap Muka Air Tanah

Khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau dan pasir berlempung yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$:

- $N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N-15)$
- $N_1 = 0,6 N$

Dipilih harga N_1 yang terkecil dari a) dan b), untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar, dan bila $N \leq 15$, tidak

ada koreksi. Untuk rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.47.

- Koreksi terhadap *Overburden Pressure* dari Tanah

Hasil dari koreksi diatas (N1) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan (Po). Untuk rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.48.

$$a. N2 = \frac{4 N1}{1 + 0,4 P0} \quad ; \text{ bila } P0 < 7,5 \text{ ton/m}^2$$

$$b. N2 = \frac{4 N1}{3,25 + 0,1 P0} \quad ; \text{ bila } P0 > 7,5 \text{ ton/m}^2$$

Harga N2 harus $< 2 N1$, bila dari koreksi didapat $N2 > 2 N1 = 2N1$.

- Menghitung Daya Dukung

Hasil dari koreksi di atas (N2) harus dikoreksi ditengah-tengah segmen i. Setelah dikoreksi harga N dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tiang. Untuk rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.49.

$$P_{ult.} = 40 \bar{N} \times A_{ujung} + \sum Cli \times Asi$$

Dimana,

\bar{N} = harga rata-rata N2, 4D dibawah ujung s/d 8D diatas ujung tiang

Cli = N/2 untuk tanah lempung/lanau
= N/5 untuk tanah pasir

Asi = luas selimut tiang pada segmen i

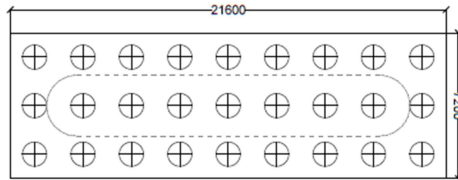
$$P_{ijin} = \frac{P_{ult.}}{SF}$$

Dimana,

SF = 3, untuk tiang pancang

6.13.6 Kontrol Konfigurasi Tiang Kelompok

Direncanakan formasi tiang pancang seperti pada Gambar 6.86.



Gambar 6.86 Konfigurasi Tiang Pilar

Semua kombinasi yang telah dihitung dijadikan beban terhadap konfigurasi tiang abutment diatas. Berikut adalah contoh perhitungan pada kombinasi 1. Untuk kombinasi yang lain dapat dilihat pada Tabel 6.71.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tiang (n)} &= 27 \\
 y \text{ max} &= 9,6 \text{ m} \\
 x \text{ max} &= 2,4 \text{ m} \\
 2 \sum y^2 &= 345,6 \text{ m}^2 \\
 2 \sum x^2 &= 11,52 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_v &= \frac{\sum P}{n} + \frac{M_x \cdot y_{max}}{2 \sum y^2} + \frac{M_y \cdot x_{max}}{2 \sum x^2} \\
 P_v &= \frac{149.483}{27} + \frac{0}{345,6} + \frac{0}{11,52} \\
 P_v &= 553,64 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Diperlukan koreksi terhadap efisiensi tiang dalam grup.

$$\begin{aligned}
 C_e &= 1 - \frac{B}{L} \times \frac{1}{\pi \times m \times n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2(m-1)(n-1)}] \\
 &= 0,813
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 P_1 \text{ tiang single} &= 3.687,25 \text{ ton} \\
 P_1 \text{ tiang dalam grup} &= 0,813 \times 3.687,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ijin} \text{ 1 tiang dalam grup} &= 2.996,35 \text{ ton} \\
 &= 2.996,35/3 \\
 &= 998,78 \text{ ton} > P_v = 553,64 \text{ ton} \\
 &\text{(OK)}
 \end{aligned}$$

Tabel 6.68 Kontrol P_{ijin} 1 Tiang dalam Grup

P_{ijin} (ton)	Kombinasi	P_v (ton)	Keterangan
998,78	Kombinasi 1	553,641	OK
	Kombinasi 2	664,822	OK
	Kombinasi 3	727,641	OK
	Kombinasi 4	755,466	OK
	Kombinasi 5	619,656	OK

6.14.7 Penulangan Pilar

Penulangan terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan transversal/geser. Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan syarat-syarat sesuai SNI 2847:2013.

- Penulangan Longitudinal

Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya-gaya kombinasi seperti pada Tabel Tabel 6.60-Tabel 6.64 dan dihasilkan diagram interaksi seperti pada Gambar 6.877. Berikut ini adalah data perencanaan dari perencanaan penulangan pilar.

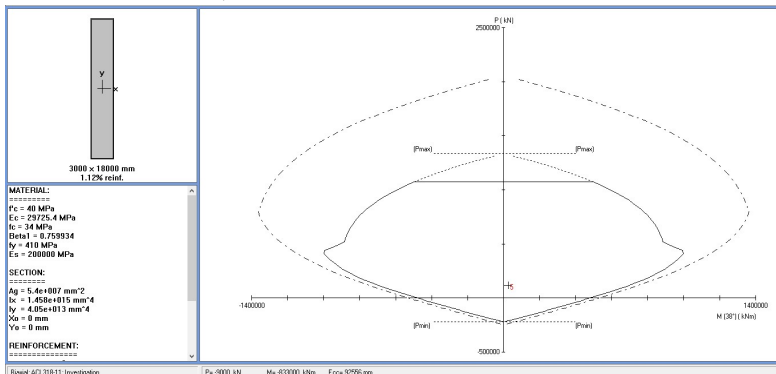
Desain abutment:

Panjang (p)	= 18.000 mm
Lebar (l)	= 3.000 mm
F_c	= 40 MPa
F_y	= 410 MPa
Cover	= 100 mm
Jarak antar tul.	= 100 mm

Tulangan Utama = 600 D36 dengan rasio 1,12 %

Syarat-syarat:

1. Jarak tulangan kolom dinding tidak lebih dari tiga kali tebal dinding, atau lebih dari 450 mm (pasal 14.3.5).
2. Luas tulangan longitudinal struktur tekan tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,08 A_g (pasal 10.9.1)



Gambar 6.87 Diagram Interaksi Pilar pada SpColumn

- Penulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2 perhitungan kuat geser beton bila ikut berkontribusi menahan geser yaitu,

$$V_u = 2.810 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{118.403}{14 \cdot 54}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{40 \cdot 1000} \cdot 3 \cdot 17.891 \\ &= 287.633 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser akibat beton sudah mencukupi tetapi tetap harus dihitung tulangan geser yang akan dipasang. Direncanakan tulangan Senggang 2 D22-250

$$A_v = 759,88 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 s &= 250 \text{ mm} \\
 d &= 2860,5 \text{ mm} \\
 V_s &= \left(\frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right) \\
 &= \left(\frac{759,88 \cdot 410 \cdot 2860,5}{250} \right) \\
 &= 3.564.764,25 \text{ N} = 3.564,76 \text{ kN} \\
 V_n &= \phi(V_c + V_s) \\
 &= 0,75(287.633 + 2.564,76) \\
 &= 217.648,32 \text{ kN} > V_u = 2.810 \text{ kN} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

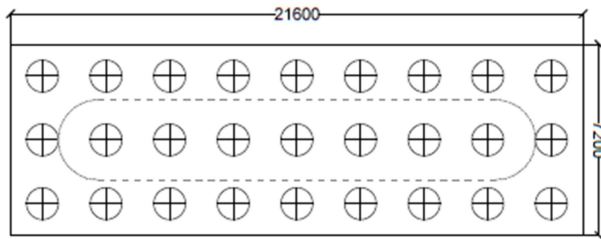
6.14.8 Penulangan Pile Cap

Pada perencanaan ini, tulangan pile cap akan dianalisis sebagai balok tinggi. Data perencanaan untuk menghitung tulangan pile cap dapat dilihat di bawah ini :

Data perencanaan:

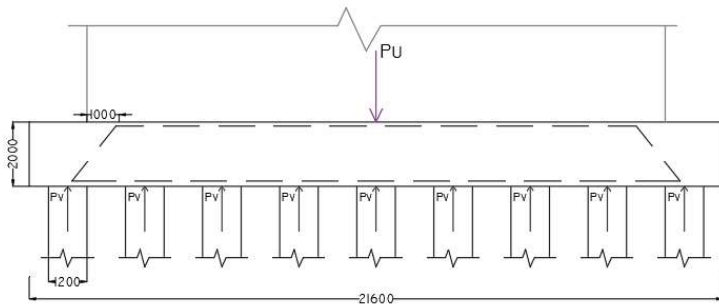
$$\begin{aligned}
 D_b &= 25 \text{ mm}, A_s \text{ tulangan} &= 490,87 \text{ mm}^2 \\
 \text{Selimut beton} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Panjang, } p &= 21600 \text{ mm} \\
 \text{Lebar, } l &= 7200 \text{ mm} \\
 \text{Tebal pilecap, } t &= 2000 \text{ mm} \\
 d \text{ sisi panjang} &= 2000 - 100 - 0,5 \times 25 &= 1887,5 \text{ mm} \\
 d \text{ sisi pendek} &= 2000 - 100 - 25 - 0,5 \times 25 &= 1862,5 \text{ mm} \\
 f'_c &= 40 \text{ MPa} \\
 f_y &= 410 \text{ MPa} \\
 b \text{ pilar} &= 18000 \text{ mm} \\
 h \text{ pilar} &= 3000 \text{ mm} \\
 P_v &= 7554,66 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Lentur Arah y

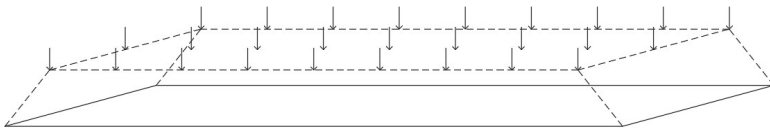


Gambar 6.88 Rencana Pile Cap

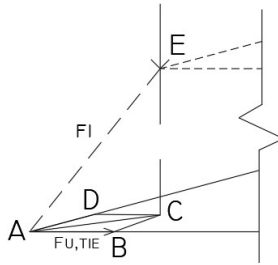
Beban vertikal dari abutmen didistribusikan ke 27 buah tiang pancang (Gambar 6.88), berdasarkan hasil perhitungan beban maksimum yang diterima 1 tiang, P_v , diperoleh $P_v = 7554,66$ kN. Setiap beban P_v dihubungkan pada tiap as tiang melalui garis strat seperti pada Gambar 6.89,



Gambar 6.89 Distribusi Beban Vertikal ke Tiang Pancang



Gambar 6.90 Model Strat dan Pengikat



Gambar 6.91 Model Strat dan Pengikat

Diasumsikan, jarak as pengikat bawah ke serat bawah beton adalah 150mm, dan ketebalan strat horizontal atas adalah 300mm. Maka jarak antara pengikat bawah dengan strat atas, EC :

$$EC = 2000 - 150 - 300/2 = 1700 \text{ mm}$$

$$AB = 1630 \text{ mm}$$

$$AC = 1400 \text{ mm}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{EC}{AC} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1700}{1400} \right) = 38,35^\circ$$

Gaya yang terjadi:

$$F_1 = \frac{P_v}{\sin \theta} = \frac{7554,66 \times 10^3}{\sin 38,35} = 12.175.766,69 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} F_{u, AC} &= F_1 \cos \theta \\ &= 12.175.766,69 \times \cos 38,35^\circ \\ &= 9.548.634 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\alpha = 41^\circ \text{ (Sudut BAC)}$$

$$\begin{aligned} F_{u, tie} &= F_{AC} \cos \alpha \\ &= 9.548.634 \times \cos 41^\circ \\ &= 7.206.445 \text{ N} \end{aligned}$$

Tulangan pengikat:

$$\begin{aligned} F_{u, tie} &= \varphi \cdot A_s \cdot f_y \\ 7.206.445 &= 0,75 \cdot A_s \cdot 410 \\ A_s &= 23435,59 \text{ mm}^2 \\ A_{s, \min} &= 1,4 b_w d / f_y \\ &= 1,4 \cdot 7200 \cdot 1887,5 / 410 = 46404,878 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s < A_{s, \min}$, maka A_s terpasang digunakan $A_{s, \min}$.

$$D_b = 25 \text{ mm } (A_{s \text{ tul}} = 490,87 \text{ mm}^2)$$

$$n_{\text{tul}} = A_s / A_{s \text{ tul}} = 46404,878 / 490,87$$

$$= 57,69 \approx 58 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak } s = 7200 / 58 = 124 \text{ mm (arah } y)$$

Sehingga digunakan tulangan lentur arah y D25-100mm.

- Penulangan Vertikal dan Horizontal

Untuk perhitungan tulangan geser, digunakan nilai V_u dan M_u .

Kemudian cek V_u terhadap kuat geser maksimum untuk struktur balok tinggi tidak boleh diambil lebih dari persamaan berikut:

$$V_u = 108810 \text{ N}$$

$$108810 \leq \phi V_n$$

$$108810 \leq \phi \cdot 0,83 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$108810 \leq 0,65 \cdot 0,83 \sqrt{40} \cdot 7200 \cdot 1887,5$$

$$108810 \leq 46370406,32 \text{ N (Ok)}$$

Penampang mencukupi.

Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Jika $V_u < \phi V_c$ maka tidak memerlukan tulangan geser. Dimana nilai V_c dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$V_c = \left(0,16 \lambda \sqrt{f'_c} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d$$

Dimana,

$$A_s = 46404,87 \text{ mm}^2$$

$$\rho_w = A_s / (b \cdot d) = 46404,87 / (7200 \times 1887,5) = 0,0034$$

$$V_c = \left(0,16 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} + 17 \cdot 0,0034 \cdot \frac{108810 \times 1887,5}{15170800000} \right) 7200 \cdot 1887,5$$

$$= 13753181,06 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 13753181,06 \text{ N} = 10314885,795 \text{ N} > V_u$$

Maka disediakan tulangan geser minimum.

$$V_{s, \min} = b_w \cdot d / 3 = 7200 \cdot 1887,5 / 3 = 4530000 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser dua kaki dengan $D_s = 22 \text{ mm}$ ($A_v = 760,265 \text{ mm}^2$). Tulangan geser D22 diletakkan di kedua sisi pile

cap pada posisi horizontal dan vertikal, maka $A_v = A_{vh}$ dan direncanakan $s_v = s_h = s$. Besarnya jarak s dapat diperoleh dari perumusan berikut :

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left(\frac{A_v}{S_v} \left(\frac{1+L_n/d}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{S_h} \left(\frac{11-L_n/d}{12} \right) \right) f_y \cdot d \\
 4530000 &= \left(\frac{760,265}{s} \left(\frac{1+21600/1887,5}{12} \right) + \left(\frac{11-21600/1887,5}{12} \right) \right) 410.1887,5 \\
 s &= 129,87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat $s < d/5 = 377,5$ mm dan kurang dari 300 mm, maka digunakan 2D22-120mm.

Halaman ini sengaja dikosongkan

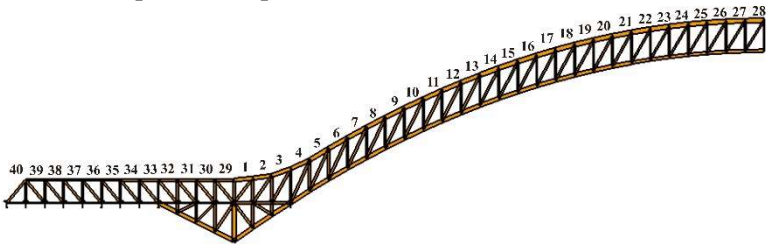
BAB VII

STAGING ANALYSIS

7.1 Metode Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan jembatan Mahakam ini menggunakan metode Kantilever Sebagian, dimana berat jembatan selama pelaksanaan ditopang oleh kabel yang dibantu oleh *temporary tower* untuk menahan lendutan akibat berat sendiri. Pemasangan segmen jembatan dibantu oleh *Crane Traveller* dan *Crane Ponton*.

Proses pelaksanaan jembatan dimulai dari portal akhir sampai segmen penutup (*closure*) pada puncak busur dan pemasangan batang penggantung hingga rantai jembatan. Penamaan segmen jembatan dapat dilihat pada Gambar 7.1.

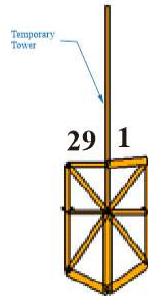


Gambar 7.1 Penamaan Segmen Jembatan Mahakam

1. Stage 1

Pembangunan dimulai dari pekerjaan *substructure* (Pondasi, *Abutment*, Pilar, dan Perletakan) lalu dilanjutkan pekerjaan pendirian portal akhir yang menumpu pada perletakan seperti pada Gambar 7.2. Pekerjaan ini dilakukan bersamaan pada kedua sisi jembatan.

Pada tahap ini, *temporary tower* sudah berdiri untuk memberikan kabel pada *stage* selanjutnya.



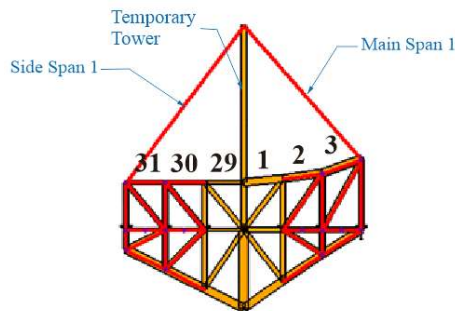
Gambar 7.2 Stage 1

2. Stage 2

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *side span* sepanjang $2.\lambda = 10$ m. Pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2.\lambda = 10$ m untuk memberikan keseimbangan menggunakan metode *balance cantilever* seperti pada Gambar 7.3.

Kabel 1 *side span* diberi gaya *tension* sebesar 200 kN

Kabel 1 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 150 kN



Gambar 7.3 Stage 2

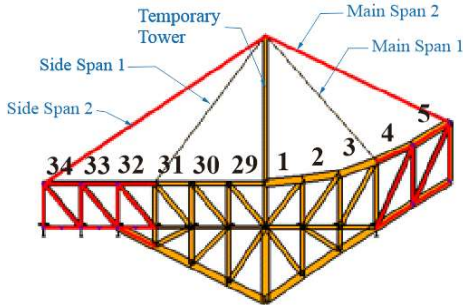
3. Stage 3

Dilanjutkan pemasangan terhadap *frame* rangka untuk *side span* jika terjadi kantilever sepanjang $3.\lambda = 15$ m. Pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2.\lambda = 10$ m untuk

memberikan keseimbangan menggunakan metode *balance cantilever* seperti pada Gambar 7.4.

Kabel 2 *side span* diberi gaya *tension* sebesar 350 kN

Kabel 2 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 350 kN



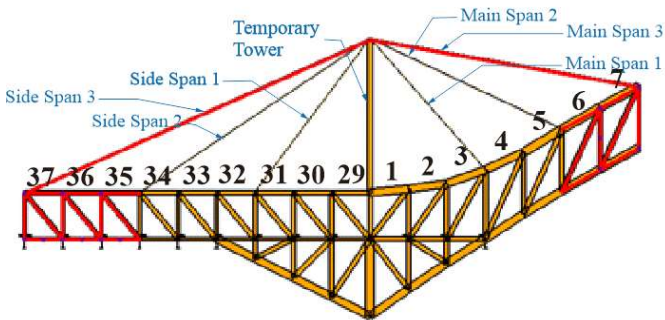
Gambar 7.4 Stage 3

4. Stage 4

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *side span* sepanjang $3\lambda = 15$ m. Pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m untuk memberikan keseimbangan menggunakan metode *balance cantilever* seperti pada Gambar 7.5.

Kabel 3 *side span* diberi gaya *tension* sebesar 350 kN

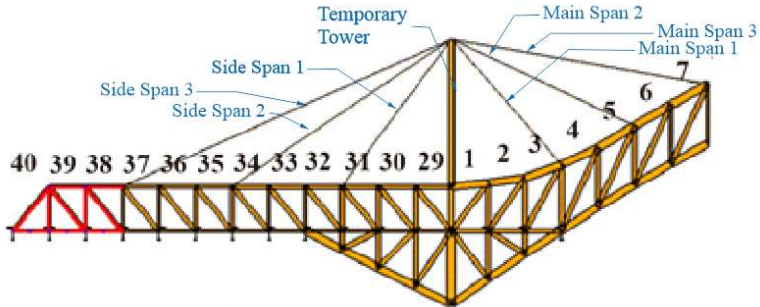
Kabel 3 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 350 kN



Gambar 7.5 Stage 4

5. Stage 5

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *side span* sepanjang $3.\lambda = 15$ m. *Side span* langsung ditempatkan di atas *abutment* jembatan. Sehingga tidak diperlukan kabel untuk pelaksanaannya seperti pada Gambar 7.6.



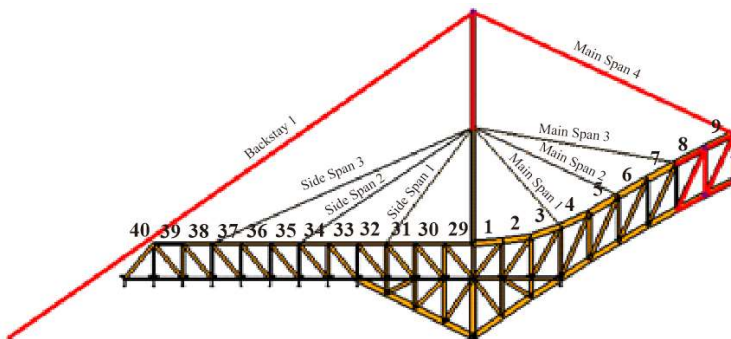
Gambar 7.6 Stage 5

6. Stage 6

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2.\lambda = 10$ m untuk, memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.7.

Kabel *backstay* diberi gaya *tension* sebesar 400 kN

Kabel 4 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 400 kN

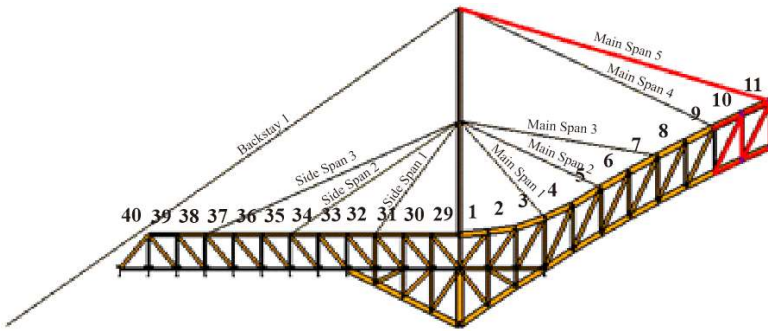


Gambar 7.7 Stage 6

7. Stage 7

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2.\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.8.

Kabel *backstay* diberi gaya *tension* tambahan hingga 750 kN
Kabel 5 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 500 kN

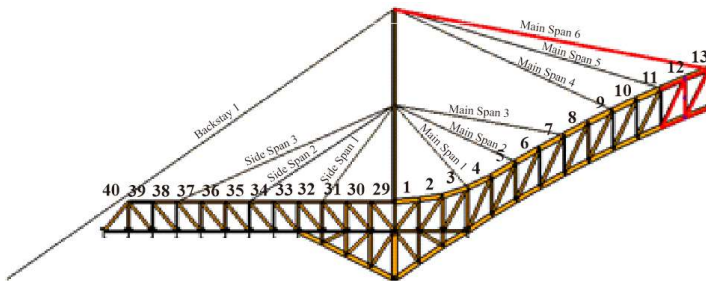


Gambar 7.8 Stage 7

8. Stage 8

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2.\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.9.

Kabel *backstay* diberi gaya *tension* tambahan hingga 1500 kN
Kabel 6 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 500 kN

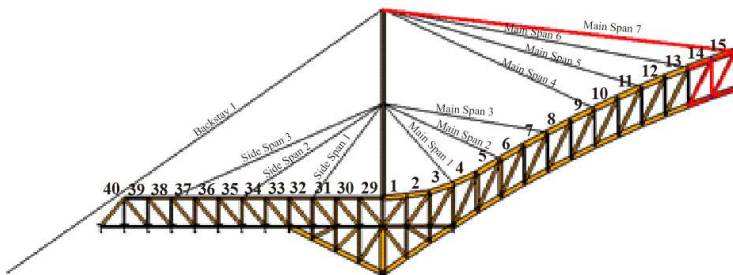


Gambar 7.9 Stage 8

9. Stage 9

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.10.

Kabel *backstay* diberi gaya *tension* tambahan hingga 2100 kN
Kabel 7 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 500 kN

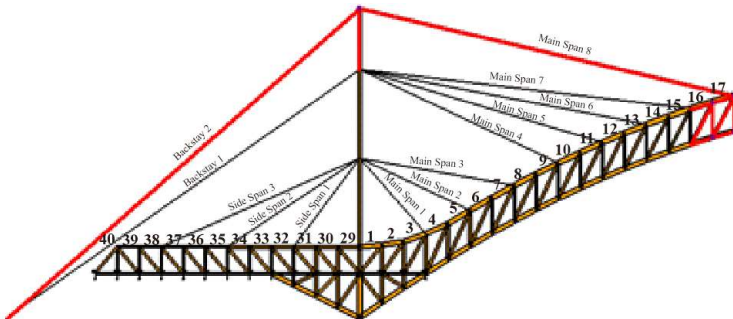


Gambar 7.10 Stage 9

10. Stage 10

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* 2 yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.11.

Kabel *backstay* 2 diberi gaya *tension* sebesar 800 kN
Kabel 8 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 800 kN



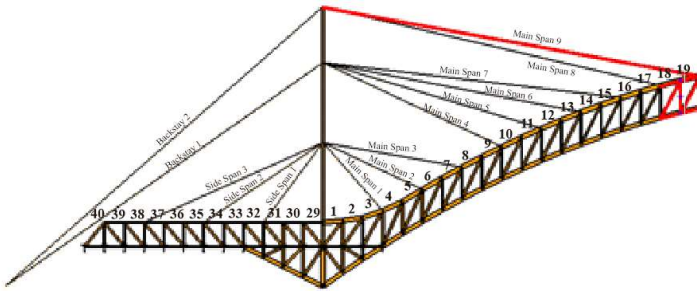
Gambar 7.11 Stage 10

11. Stage 11

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* 2 yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.12.

Kabel *backstay* 2 diberi gaya *tension* tambahan hingga 1500 kN

Kabel 9 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 750 kN



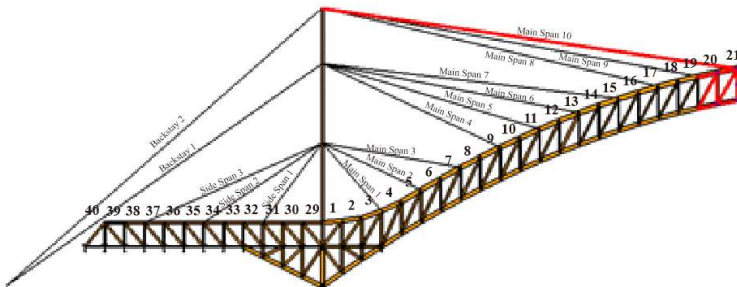
Gambar 7.12 Stage 11

12. Stage 12

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* 2 yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.13

Kabel *backstay* 2 diberi gaya *tension* sebesar 2200 kN

Kabel 10 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 700 kN



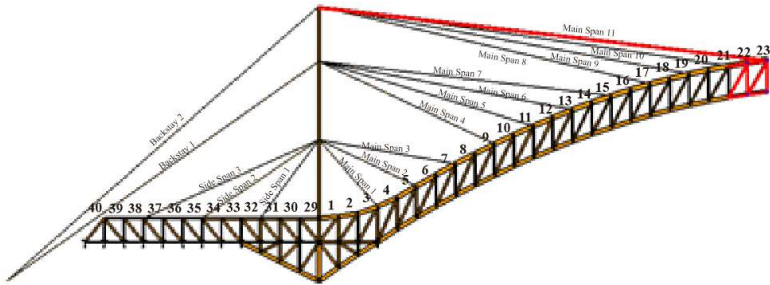
Gambar 7.13 Stage 12

13. Stage 13

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* 2 yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.14.

Kabel *backstay* 2 diberi gaya *tension* tambahan hingga 2850 kN

Kabel 11 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 650 kN



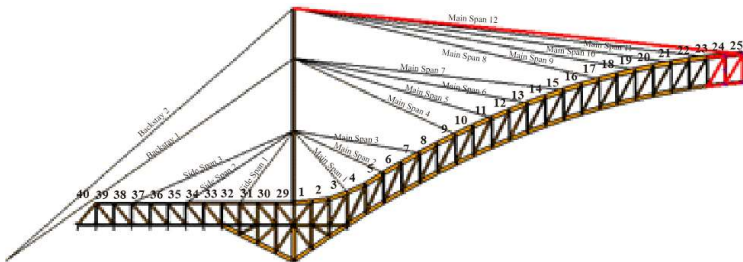
Gambar 7.14 Stage 13

14. Stage 14

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m, untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* 2 yang diangkurkan di dekat *abutment* seperti pada Gambar 7.14.

Kabel *backstay* 2 diberi gaya *tension* tambahan hingga 3100 kN

Kabel 12 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 800 kN



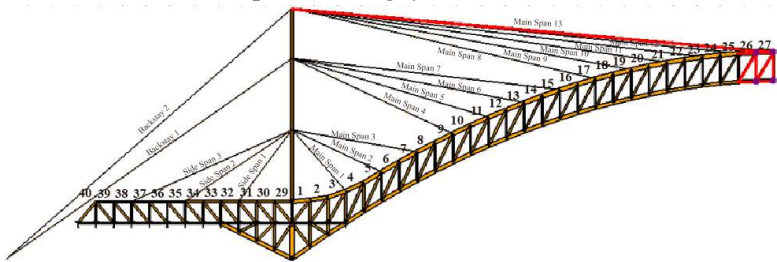
Gambar 7.15 Stage 14

15. Stage 15

Dilanjutkan pemasangan *frame* rangka untuk *main span* sepanjang $2\lambda = 10$ m untuk memberikan keseimbangan digunakan kabel *backstay* 2 yang diangkurkan di dekat abutment seperti pada Gambar 7.16.

Kabel *backstay* 2 diberi gaya *tension* tambahan hingga 3500kN

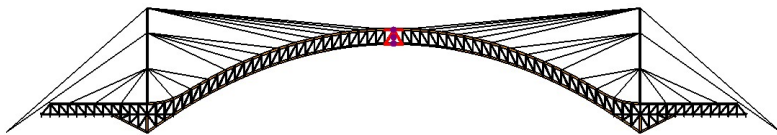
Kabel 13 *main span* diberi gaya *tension* sebesar 750 kN



Gambar 7.16 Stage 15

16. Stage 16

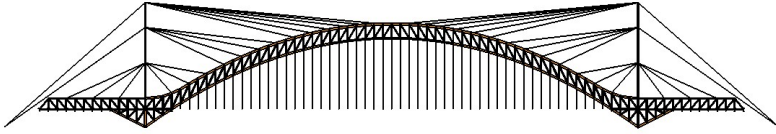
Dilanjutkan pemasangan *closure* dengan memperhitungkan suhu yang tepat agar pemasangan batang sesuai pada perencanaan. Pada tahap ini, busur sudah terbentuk namun masih belum stabil karena belum terdapat batang tarik yang menahan gaya horizontal yang dihasilkan dari geometri busur seperti pada Gambar 7.17.



Gambar 7.17 Stage 16

17. Stage 17

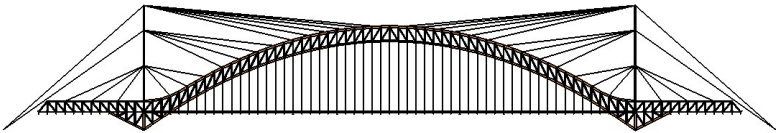
Pemasangan kabel penggantung (*hanger*) pada semua titik buhul seperti pada Gambar 7.18.



Gambar 7.18 Stage 17

18. Stage 18

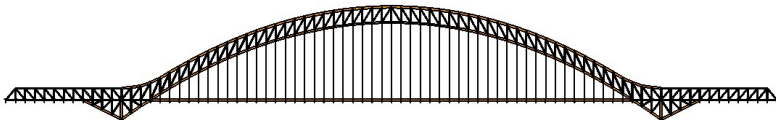
Pemasangan batang tarik (*tie beam*) yang dilanjutkan pekerjaan gelagar melintang, gelagar memanjang, lantai kendaraan dan pekerjaan *finishing* jembatan seperti pada Gambar 7.19.



Gambar 7.19 Stage 18

19. Stage 19

Pembongkaran *temporary tower* dan kabel pembantu dilakukan secara bertahap. Yang dimulai dari kabel pembantu *main span* bagian tengah hingga bagian tepi seperti pada Gambar 7.20.



Gambar 7.20 Stage 19

7.2 Data Perencanaan Kabel

Perencanaan kabel penahan yaitu berdasarkan gaya tarik yang bekerja pada masing-masing kabel saat segmen dalam proses erection.

Kabel yang digunakan yaitu DRI *wirerope sling* dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$f_u = 1.960 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{ijin} &= 0,7 f_u \\ &= 1.372 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan kabel penahan direncanakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= 2.028 \text{ kN (Backstay 1)} \\ A_{\text{spertu}} &= \frac{P}{f_{ijin}} = \frac{2.028}{1,372} = 1478,13 \text{ mm}^2 \\ d_{\text{sling}} &= \sqrt{\frac{A_{\text{spertu}}}{\frac{1}{4} \cdot \pi}} \\ &= \sqrt{\frac{1478,13}{\frac{1}{4} \cdot \pi}} = 43,38 \approx 44 \text{ mm} \\ P_n &= f_{ijin} \times A_{\text{saktual}} \\ &= 1,372 \times (1/4 \times \pi \times 44^2) \\ &= 2.086,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka:

$$P_u \leq P_n$$

$$2.028 \text{ kN} \leq 2.086,17 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Dengan perhitungan yang sama, didapat diameter sling yang dibutuhkan dan kekuatan nominal masing-masing kabel seperti pada Tabel 7.1.

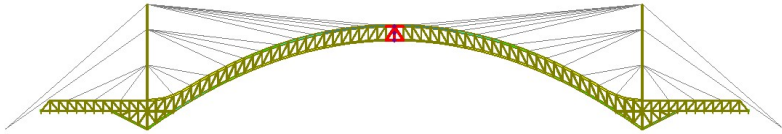
Tabel 7.1 Perhitungan Kebutuhan Kabel

Kabel	Pu	$A_{S_{perlu}}$	d_{sling}	$A_{S_{aktual}}$	Pn	Ket
	(kN)	(mm ²)	(mm)	(mm ²)	(kN)	
Backstay 1	2.028	1.478,13	44	1.520,53	2.086,17	OK
Backstay 2	3.373	2.458,45	56	2.463,01	3.379,25	OK
Main Span 1	128	93,29	12	113,10	155,17	OK
Main Span 2	311	226,68	18	254,47	349,13	OK
Main Span 3	340	247,81	18	254,47	349,13	OK
Main Span 4	380	276,97	19	283,53	389,00	OK
Main Span 5	462	336,73	22	380,13	521,54	OK
Main Span 6	484	352,77	22	380,13	521,54	OK
Main Span 7	458	333,82	22	380,13	521,54	OK
Main Span 8	762	555,39	28	615,75	844,81	OK
Main Span 9	717	522,59	26	530,93	728,43	OK
Main Span 10	651	474,49	26	530,93	728,43	OK
Main Span 11	649	473,03	26	530,93	728,43	OK
Main Span 12	753	548,83	28	615,75	844,81	OK
Main Span 13	735	535,71	28	615,75	844,81	OK
Side Span 1	170	123,91	13	132,73	182,11	OK
Side Span 2	305	222,30	18	254,47	349,13	OK
Side Span 3	318	231,78	18	254,47	349,13	OK

7.3 Kontrol Segmen Kritis

Kontrol ini diperlukan untuk mengetahui penampang kritis saat proses erection berlangsung. Pada perencanaan ini, segmen paling kritis yaitu saat proses erection mencapai tahap penutupan segmen puncak busur, dimana busur mengalami gaya tekan namun belum terdapat batang tarik (tie beam) untuk menahan gaya tarik dari busur seperti pada Gambar 7.20.

Kombinasi beban yang digunakan yaitu berat sendiri struktur tersebut, Segmen yang ditinjau yaitu segmen terkritis yaitu pada busur atas Double WF 700x550x40x45. Maka dilakukan perbandingan pembebanan pada saat kondisi pelaksanaan dengan kondisi beban layan seperti pada Tabel 7.2. Untuk detail kontrol batang lainnya dapat dilihat pada Tabel 7.3.



Gambar 7.21 Segmen Terkritis saat Proses *Staging*

Tabel 7.2 Hasil Cek Profil Terkritis

Kondisi	Pu	Luas Penampang	σ	σ ijin	Stress Ratio	Kontrol
	(kg)	(cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)		
Staging	3637495	1568	2319,83	4100	0,566	OK
Service	5471258	1568	3489,32	4100	0,851	OK

BAB VIII PENUTUP

8.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam Perencanaan Detail dan Analisis *Staging* Jembatan Mahakam Menggunakan Struktur Busur Rangka dengan Lantai Kendaraan di Tengah ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut:

1. Dimensi melintang jembatan yaitu terdiri dari 12 meter lantai kendaraan dan 2 x 1,5 meter sebagai trotoar. Jumlah lajur kendaraan yaitu 4 lajur 2 arah (4/2 UD).
2. Perencanaan pelat lantai kendaraan merupakan pelat beton 35 MPa dengan ketebalan 25 cm dan dilapisi aspal dengan ketebalan 6 cm.
3. Hasil perencanaan gelagar dan ikatan angin adalah sebagai berikut:
 - Gelagar Memanjang : WF 450.200.9.14
 - Gelagar Melintang : Plate Girder WF 1500.450.10.28
 - Ikatan Angin Atas : WF 400.400.18.28
 - Ikatan Angin Bawah : WF 350.350.7.11
 - Ikatan Angin Silang : WF 400.400.30.50
4. Kabel penggantung yang dipakai adalah Macalloy 520 (M76) dengan diameter 72 mm dan *Minimum Break Load* adalah 2.635 kN.
5. Hasil perencanaan profil rangka utama adalah sebagai berikut:
 - Segmen 1
 - Busur Atas (BA1) : Double WF 700.600.40.45
 - Busur Bawah (BB1): Double WF 700.400.20.24
 - Diagonal (BD1) : WF 700.450.20.24
 - Vertikal (BV1) : WF 700.350.20.24
 - *Tie Beam* (TB1) : Double WF 700.550.40.45
 - Segmen 2

- Busur Atas (BA2) : Double WF 700.600.40.45
 - Busur Bawah (BB2): Double WF 700.500.20.24
 - Diagonal (BD2) : WF 700.550.20.24
 - Vertikal (BV2) : WF 700.350.20.24
 - *Tie Beam* (TB2) : Double WF 700.550.40.45
 - Segmen 3
 - Busur Atas (BA3) : Double WF 700.550.40.45
 - Busur Bawah (BB3): Double WF 700.500.30.35
 - Diagonal (BD3) : WF 700.600.26.30
 - Vertikal (BV3) : WF 700.400.20.24
 - *Tie Beam* (TB3) : Double WF 700.550.40.45
 - Segmen 4
 - Busur Atas (BA4) : Double WF 700.500.20.24
 - Busur Bawah (BB4): Double WF 700.500.20.24
 - Diagonal (BD4) : WF 700.600.40.45
 - Vertikal (BV4) : WF 700.600.40.45
 - *Tie Beam* (TB4) : Double WF 700.550.40.45
 - *Tie Beam* (TB5) : WF 700.550.40.45
 - Segmen 5
 - Busur Atas (BA5) : WF 700.550.40.45
 - Busur Bawah (BB4): Double WF 700.500.20.24
 - Diagonal (BD5) : WF 700.600.26.30
 - Vertikal (BV5) : WF 700.400.20.24
 - *Tie Beam* (TB6) : WF 700.550.20.24
 - Segmen 6
 - Busur Atas (BA6) : WF 700.500.40.45
 - Diagonal (BD6) : WF 700.550.26.30
 - Vertikal (BV6) : WF 700.400.20.24
 - *Tie Beam* (TB7) : WF 700.350.20.24
6. Perletakan yang digunakan adalah produk dari Mageba dengan spesifikasi sebagai berikut:
- Perletakan 1 : TA 3 (*free type*)
 - Perletakan 2 : TE 15I (*guided type*)
 - Perletakan 3 : TA 17 (*free type*)
 - Perletakan 4 : TE 15I (*guided type*)

- Perletakan 5 : TE 20I (*guided type*)
 - Perletakan 6 : TF 15 (*fixed type*)
 - Perletakan 7 : TA 3 (*free type*)
 - Perletakan 8 : TE 15I (*guided type*)
7. Desain *abutment* dengan tinggi 19,9 m, lebar 18 m, dan tebal 3 m dengan 55 tiang diameter 1,2 m sedalam 10 m.
 8. Desain Pilar dengan tinggi 18,5 m, lebar 18 m, dan tebal 3 m dengan 27 tiang diameter 1,2 m sedalam 10 m.
 9. Profil yang diperhitungkan masih memenuhi syarat dari kontrol segmen kritis dari *Staging Analysis*.

8.2 Saran

Dalam laporan Tugas Akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dalam pengerjaannya. Banyak hal yang belum ditinjau dalam perencanaan ini seperti *scouring*, perencanaan *temporary tower*, dan lain sebagainya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Amon, R. 1988. **Baja-Konstruksi**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Aristadi, D. 2006. **Analisa Sistem Rangka Baja Pada Struktur Jembatan Busur Rangka Baja**.
- Asiyanto. 2005. **Metode Konstruksi Jembatan Baja**. Jakarta: UI-Press.
- Badan Standardisasi Nasional. 1992. **Bridge Management System (BMS) Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan**. Jakarta. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. **Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03:2005)**. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. **Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016)**. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. **Standar Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2015)**. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. **Standar Perencanaan Gempa Untuk Jembatan (SNI 2833:2016)**. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- British Standards. 2005. **Structural Bearings – Part 5: Pot Bearings (BS EN 1337-5:2005)**. London. European Committee For Standardization.

- Chen, Wei-Fah, dan Duan, Lian. 2000. *Bridge Engineering Handbook*. London: CRC Press.
- Salmon, C.G. 1986, **Struktur Baja: Desain dan Perilaku Jilid 1**. Jakarta: Erlangga.
- Soegihardjo, Hidayat. 2016. **Diktat Kuliah Bentang Panjang**. Teknik Sipil ITS.
- Struyk, H.J. 1984. **Jembatan**, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Victor, D. 1980. *Essentials of Bridge Engineering*. New Delhi: Oxford & IBH Publishing CO, Third Edition.
- Wong, Raymond. 2012. *Construction of Bridges*. City University of Hong Kong

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Nugraha Alfanda Wildan ini dilahirkan di Bojonegoro, 12 November 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kepatihan Bojonegoro, SMPN 1 Bojonegoro, dan SMAN 1 Bojonegoro. Setelah lulus dari SMAN 1 Bojonegoro, penulis melanjutkan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2015. Penulis memilih bidang struktur untuk Tugas Akhir yang dikerjakan. Selama pendidikan penulis pernah meraih beberapa prestasi tingkat nasional seperti Finalis Kompetisi Jembatan Indonesia 2018 kategori Jembatan Busur, serta prestasi international yaitu sebagai *1st Winner* pada *International Bridge Design Competition* di Universitas Diponegoro. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil dan beberapa kepanitiaan seperti Koordinator *Dynamic Load Bridge Competition Civil Expo ITS* tahun 2018. Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2019. Jika pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: nurahalfanda@gmail.com

PERTAMINA 16" PIPELINE PT. KJM (KALIM JAYA MINERAL)

LOCATION OF BORING X = 0447248 Y = 9839515	JOB NO.	CLIENT PT. KJM	LOCATION PERTAMINA PIPELINE 16"
DRILLING METHOD: WASH BORE & SAMPLING		BORING NO. 04.01	
SAMPLING METHOD: UNDISTURBED AND DISTURBED TOUCH CORE		SHEET 1 to 2 OF	
WATER LEVEL 0.5		DRILLING START TIME: FINISH TIME:	
DATE		DATE: DATE:	
DATUM ELEVATION 31. EPS		CASING DEPTH 19 m	

SAMPLER TYPE	CM. DRIVEN CM. RECOVERED	DEPTH OF CASING	SAMPLE NO SAMPLE DEPTH	BLOWS/10 CM SAMPLER	TOTAL BLOWS/FT.	DEPTH IN METERS	SOIL GRAPH	SURFACE CONDITIONS:
						0		
		2.24	15/15		6/30	2	4.05 - 2.00 m	Peat, organic matter, Sandy clay Yellowish brown, soft
		8.10	13/15		23/30	4	4.05 - 6.00 m	Fine sand light yellow. Medium dense
		16.23	30/15		58/30	6	4.05 - 6.00 m	Sandy clay Yellowish brown, Silty clay, grey light grey, to stiff clay
		16.23	30/15		58/30	8	7.05 - 6.5 m	coal 20cm
		11.27	28/15		55/30	10		Brown coal
		18.23	25/15		40/30	12		stiff clay, Grey to dark grey
		18.23	25/15		40/30	12		stiff stiff clay, Dark grey
		17.23	23/15		46/30	14	0.5	stiff clay, Dark grey
		18.24	27/15		51/30	16	14.00 - 14.50	Fine sand, light grey, non plastics
		16.23	27/15		50/30	18		Medium sand, very dense
		17.25	27/15		52/30	20		Fine sand, grey, non plastics

BY _____
 DATE _____ CHECKED BY _____

LOCATION OF BORING

X = 0447248
Y = 9839515

JOB NO.

CLIENT

PT. KJM

LOCATION

PERTAMINA
PIPE CING 16

DRILLING METHOD :

WASH BORING AND SAMPLING

BORING NO.

BLT-01

SHEET

2 of 2
OF

SAMPLING METHOD :

UNDISTURBED AND
DISTURBED, TOUCH CORE

DRILLING

WATER LEVEL

0.5

START

FINISH

TIME

TIME

TIME

DATE

DATE

DATE

CASING DEPTH

19 m

16

17

DATUM

ELEVATION

31.6PS

SAMPLER TYPE	CM. DRIVEN CM. RECOVERED	DEPTH OF CASING	SAMPLE NO SAMPLE DEPTH	BLOWS/10 CM SAMPLER	TOTAL BLOWS/FT.	DEPTH IN METERS	SOIL GRAPH	SURFACE CONDITIONS:
						20		
			24 24 24 15 15 15		48 30	22		Fine Sand, Grey Non Plastics.
			19 25 29 15 15 15		54 30	24		Fine Sand, Grey, Very Dense
			17 25 26 15 15 15		51 30	26		Fine Sand, Grey, Very Dense
			16 24 28 15 15 15		49 30	28		
			18 24 27 15 15 15		51 30	30		Fine Sand, Grey, Very Dense. Boring terminated at 30.0m Depth, on March 17, 2017.

BY _____

DATE _____ CHECKED BY _____



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - ITS

Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya
Telp. 031 5994251 - 55 Psw. 1140,
Telp/Fax: 031 5928601, e-mail: tanah.its@gmail.com

REKAP HASIL PENGUJIAN DI LABORATORIUM

CLIENT : PT. KALTIM JAYA MINERAL
PROJECT : PERTAMINA PIPELINE
LOCATIOI : PERTAMINA PIPELINE 16"

Titik/Bor	Kode sample	DEPTH (Meter)	VOLUMETRI + GRAVIMETRY								SIEVE ANALYSIS			ATTERBERG LIMITS			STRENGTH		
			Gs	e	Sr	Wc	n	γ_t	γ_d	γ_{sat}	G	S	S+Cl	LL	PL	IP	ϕ	C	Cu
BH-1	UD	-2.00	2.628	1.357	100.000	51.64	57.57	1.691	1.115	1.691	0.00	85.73	14.27	65.28	29.35	35.93	0.00	*	0.31
	DS	-6.00	2.634	1.242	100.000	47.15	55.40	1.729	1.175	1.729	0.00	26.11	73.89	60.34	30.18	30.16	0.00	*	1.23
	DS	-8.50	2.316	1.429	100.000	61.70	58.83	1.542	0.953	1.542	4.56	38.45	56.99	66.77	29.56	37.21	0.00	*	2.49
	DS	-14.50	2.677	0.928	100.000	34.67	48.13	1.870	1.388	1.870	0.00	4.52	95.48	63.45	32.17	31.28	0.00	*	2.31
BH-2	UDS	-1.40	2.681	0.814	100.000	30.36	44.87	1.927	1.478	1.927	0.00	71.77	28.23	66.25	28.46	37.79	0.00	*	0.37
	UDS	-4.00	2.554	1.243	100.000	48.67	55.42	1.693	1.139	1.693	0.00	10.38	89.62	68.39	30.79	37.6	0.00	*	0.75
	DS	-11.00	2.616	0.935	100.000	35.74	48.32	1.835	1.352	1.835	0.00	4.58	95.42	62.84	30.69	32.15	0.00	*	2.46

REMARK

G	= Gravel (%)	LL	= Liquid Limit (%)	ϕ	= Angle of internal friction (de	Pp	= Preconsolidation Pressure (kg/cm ²)
S	= Sand (%)	PL	= Plastic Limit (%)	C	= Cohesion (kg/cm ²)	Cc	= Compression Index
S + Cl	= Silt + Clay (%)	IP	= Plastic Index (%)	Cu	= Cohesion Undrained (kg/crr	Cv	= Compression of Consolidation (cm ² /kg)
						*	= Not test
Gs	= Specific Gravity	W _c	= Water content (%)	γ_{sat}	= Saturated density (gr/cc)		
e	= Void ratio	n	= Porosity (%)	γ_d	= Dry density (gr/cc)		
Sr	= Degree of saturation (%)	γ_t	= Wet density (gr/cc)				

Untuk sample DS sample yang diuji dibuat disesuaikan dengan harga N-SPT
Untuk sample UDS sample yang diuji sesuai dengan kondisi aslinya.

Macalloy



TENSION STRUCTURES.

TENSION RODS | COMPRESSION STRUTS | STAINLESS CABLES
CONNECTION SOLUTIONS | SITE SERVICE



Welcome

With innovation at the heart of our company ethos, Macalloy has been developing new systems and technologies in Tensile Structures since the early 1980's.

Macalloy is a proven market leader in the design, manufacture and supply of threaded bar systems. Macalloy has experience in liaising with world renowned specifiers and contractors for the development of some truly unique and pioneering structures.

Macalloy's Tension Structures range is approved with European Technical Approval – ETA 07/0215, providing the CE certification, alongside other globally recognised certifications.





Contents

Tension Rods	4
Adjustable Compression Struts	8
Macalloy Fixed End Compression Struts	9
Stainless Cables	10
Connection Solutions	12
Component Dimensions	13
Gusset Plates	14
Fork Alignment & Site Services	15

Tension Rods

Material Properties

Product Name	Material	Min. Yield Stress N/mm ²	Min. Breaking Stress N/mm ²	Min. Elongation %	Min. Charpy Impact Value J@ -20°C	Young Modulus kN/mm ²
Macalloy 460	Carbon Steel	460	610	19	27	205
Macalloy S460	Stainless Steel	460	610	15	27	205
Macalloy 520	Carbon Steel	520	690	19	27	205
Macalloy S520	Stainless Steel	520	690	15	27	205

Tendon Capacities for Carbon and Stainless Macalloy 460

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172	3520
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206	4667
Design Resistance to EC3 $N_{R,d}$	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677	2138	2418	3029	3360
Nominal Bar Weight	kg/m	0.5	0.75	1.4	2.2	3.0	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

Tendon Capacities for Carbon and Stainless Macalloy 520

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	28	41	78	122	176	284	412	567	746	1031	1361	1986	2563	2863	3586	3979
Min. Break Load	kN	38	55	103	162	234	374	546	752	990	1368	1806	2635	3401	3799	4758	5279
Design Resistance to EC3 $N_{R,d}$	kN	27	39	74	117	168	269	393	541	713	985	1300	1897	2449	2735	3426	3801
Nominal Bar Weight	kg/m	0.5	0.75	1.4	2.2	3	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

M85 to M100 in stainless and M105 in both systems are not covered by ETA but are available by special request

Maximum Length of Individual Bars

Diameter	Stainless Steel	Carbon	Galvanised
M10 - M16	6.0m	11.95m	6.0m
M20 - M30	6.0m	11.95m	8.0m
M36 - M105	6.0m	11.95m	11.95m

Longer lengths can be supplied as made to order if required.

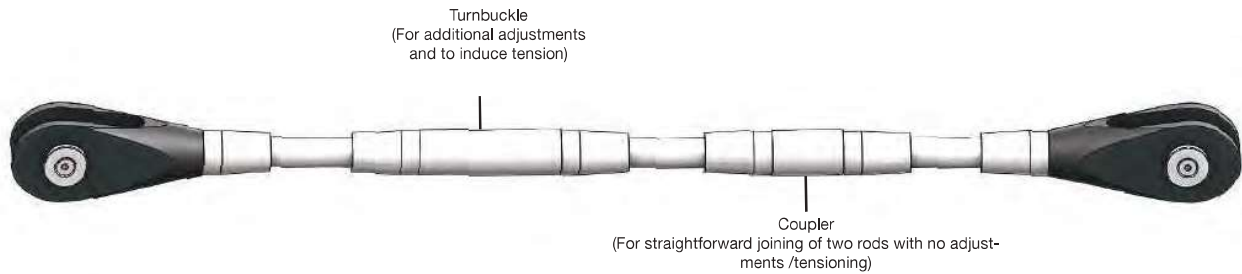
Corrosion Protection

Carbon steel tension bars can be supplied primed and ready for an appropriate paint covering or galvanised. Galvanising can be applied prior to, or after, bar threading as required. Please note that all standard carbon Macalloy fittings (forks, pins and Lock Covers) are provided with a hot dipped galvanised coating in accordance with BS EN 1461: 2009

Fatigue

Threads are rolled on to the bar and are therefore more resistant to fatigue. Testing a range of diameters has been carried out over 2 million cycles, the results of which are available from the macalloy technical department.

Final Assembly Example



Fork Adjustment and Set Up Points

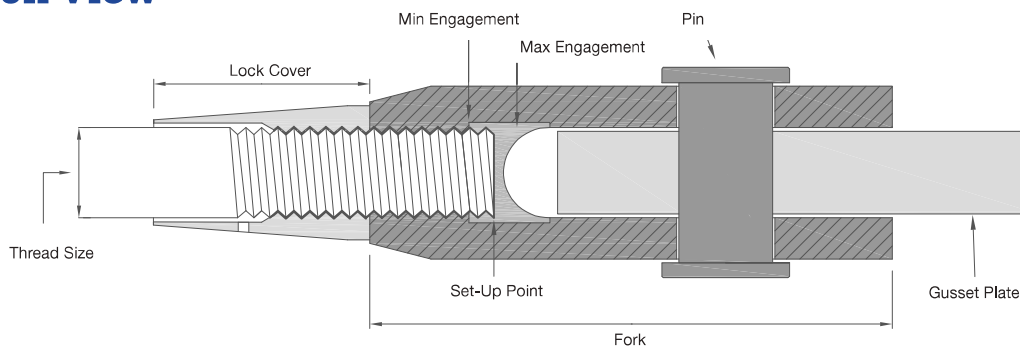
Fork Adjustment – M10 to M56: +/- ½ thread diameter in each fork end.

Fork Adjustment – M64 to M100: +/- 25 mm in each fork end.

Set-Up Point – M10 to M56: 1 ½ x thread diameter in each fork end.

Set-Up Point – M64 to M100: 1 x thread diameter plus 25mm in each fork end.

Section View



Turnbuckle Adjustment and Set Up Points

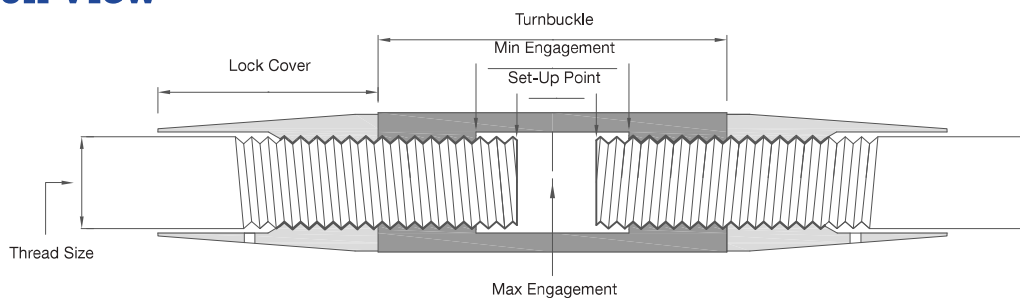
Turnbuckle Adjustment – M10 to M24: +/- 25mm.

Turnbuckle Adjustment – M30 to M100: +/- 50mm.

Set-Up Point – M10 to M24: 1 x thread diameter +12.5mm in each end of the turnbuckle.

Set-Up Point – M30 to M100: 1 x thread diameter + 25mm in each end of the turnbuckle.

Section View



Tension Rods

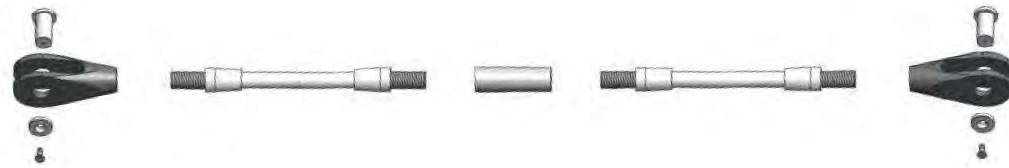
Assembly and Installation

For both pre-assembled and non-assembled tendons please follow the assembly and installation instructions to ensure correct set up points and thread engagement.

- 1 Note the thread direction of each bar end.



- 2 Screw tapered Lock Covers on to the bar as far as thread allows with taper pointing away from fork, coupler or turnbuckle.



- 3 Screw forks, turnbuckles and couplers on to bars noting set up points on page 5. Couplers should be fully engaged.

- 4 Position bar in place and secure with pins.



- 5 Where no turnbuckle is used, turn the bar to induce the load/adjustment required.

- 6 Where a turnbuckle is used turn the turnbuckle to induce the required load/adjustment

- 7 Screw Lock Covers back against forks/couplers and turnbuckles.



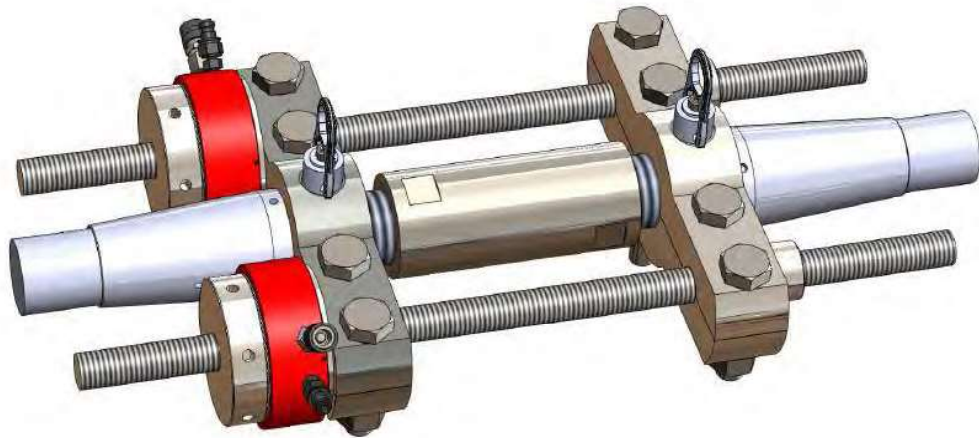
- 8 Seal as per fork and lock cover diagram on page 7.

- 9 Assembly and installation is complete.

- To ensure full strength of threaded joints a minimum of 1 x thread diameter should be engaged in fork/turnbuckle joints.
- Where large loads need to be induced in a tension bar the Macalloy TechnoTensioner can be used. See page 7 for more information.
- Spanner flats available on request on bars and turnbuckles, please specify at time of order.

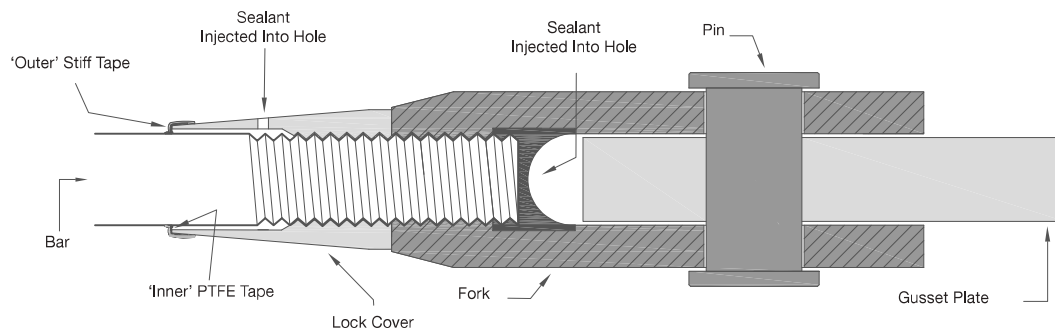
TechnoTensioner

The Macalloy TechnoTensioner is hydraulic acting equipment which allows you to induce an accurate load into Macalloy tendons where a turnbuckle is used. The Macalloy TechnoTensioner works by gripping the tension bars on either side of the turnbuckle and pulling the bars together into tension thus loosening the turnbuckle. The turnbuckle can then be tightened with a strap, chain or stilson wrench.



Fork and Lock Cover Sealing

Recommended for use with all finishes to protect against vibration and corrosion. All lock covers should be sealed whether used with a fork, coupler or turnbuckle.



Fork and Lock Cover sealing method statements are available on our website and on request. If no lock cover is used, an alternative sealing method should be introduced as described in the method statement.

Adjustable Compression Struts

Capacity and Lengths of Architectural and Standard Compression Struts

System Ref		M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Maximum Compressive Capacity to EN1993	kN	14.0	28.1	44.7	69.3	121.6	189.6	274.0	369.7	530.0	728.7	1063.9	1395.3	1588.6	2031.3
Maximum Pin to Pin Length on EN1993 Standard*	mm	2369	2663	2671	3105	3357	3367	4498	6397	7097	7420	8188	9323	10291	11679
Carbon CHS OD	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
Carbon CHS Wall Thickness	mm	4	5	5	5	5	5	6.3	10	10	10	12.5	16	16	16
Stainless CHS OD	mm	33.40	42.16	48.30	60.33	73.03	Contact Macalloy for details								
Stainless CHS Wall Thickness	mm	4.50	4.85	5.08	5.08	5.16									

*Maximum lengths are based on carbon steel strut taking the maximum compressive capacity. For lower compressive loads longer lengths can be used. Alternative wall thicknesses are available. Contact Macalloy for details regarding maximum length of stainless steel struts.

Compression Strut Examples

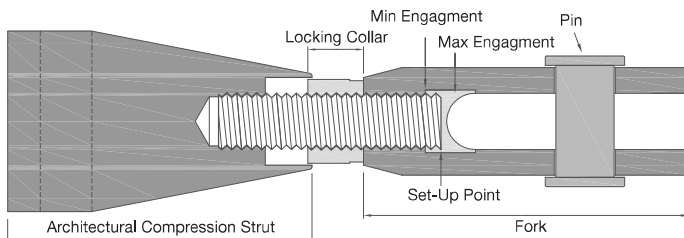


Architectural Compression Strut



Standard Compression Strut

Fork Adjustment and Set Up



Adjustment with each fork:

M12 to M56: +/- 1/2 thread diameter

M64 to M100: +/- 25mm

Set-Up Point in each fork

M12 to M56: 1 1/2 x thread diameter

M64 to M100: 1 x thread diameter + 25mm

Corrosion Protection

Compression Struts can be supplied galvanised, or in stainless steel.

Assembly and Installation

- 1 Remove pins using an allen key, position the strut in place and secure with pins, tightening using an allen key.



- 2 Screw the locking collar in to the strut so only a small part of the locking collar is left visible, then turn the strut to the required position.



- 3 Screw the locking collar back against the fork. All the thread should be covered. The forks should be sealed as per the diagram on page 7.



Capacity of Macalloy Fixed End Compression Struts

Macalloy Product Ref	Units	CSF 33.7	CSF 42.4	CSF 48.3	CSF 60.3	CSF 76.1	CSF 88.9	CSF 114.3	CSF 139.7	CSF 168.3	CSF 193.7	CSF 219.1	CSF 244.5	CSF 273.0	CSF 323.9	
Equivalent Macalloy Fork Size		M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	
CHS Size to fit	Outer Diameter	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
	Wall Thickness	mm	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.3	10.0	10.0	10.0	12.5	16.0	16.0	16.0
Compressive Capacity to EN 1993	kn	52	99	122	174	272	374	534	735	1048	1437	2127	2723	3110	3686	
Gusset Plate Thickness	mm	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85	
Weight	kg	0.25	0.51	1.0	1.4	2.4	3.7	6.2	10.8	15.8	20.5	40.3	59.3	74.0	100.0	

Macalloy CHS Fork End



Corrosion Protection

Can be galvanised and or painted and supplied in stainless steel to special order.

Assembly and Installation

- 1 Insert Macalloy CHS Fork End into CHS / tube, ensuring it is fully inserted and that the forks are parallel to each other.



- 2 Weld directly to CHS with full penetration butt weld and clean weld as required (ensuring forks are parallel to each other)

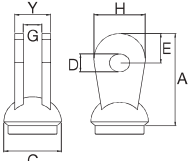


- 3 Position complete strut in place and secure using pins.



Architectural pins can be supplied by Macalloy. Please refer to table number 12 on page 13 for further information.




Macalloy CHS Fork End Dimensions

System Ref	Product Ref.	Units	CSF 33.7	CSF 42.4	CSF 48.3	CSF 60.3	CSF 76.1	CSF 88.9	CSF 114.3	CSF 139.7	CSF 168.3	CSF 193.7	CSF 219.1	CSF 244.5	CSF 273.0	CSF 323.9
Fixed End Compression Strut Fork 	A	mm	75	95	109	130	161	185	218	255	303	340	398	462	495	574
	G (min.)	mm	13	16	20	25	30	35	40	45	49.5	59.5	76	76	86	91
	C Dia.	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
	D Dia.	mm	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
	E	mm	22	29	34	42	52	61	70	81	97	111	132	153	162	189
	Y	mm	22	28	37	44	53	64	75	87	97.5	115.5	146	153	169	174
	H	mm	34	45	53	64	81	93	109	123	147	169	201	236	248	289

Stainless Cables SC460

Minimum Break Loads for Stainless Cables

Cable Dia.	mm	4	6	8	10	12	14	16	19	22	26	28
Macalloy Fork Size		M10	M10	M12	M16	M20	M24	M24	M30	M30	M36	M36
7 x 19 Strand	kN	8.9	20.0	35.6	55.6	80.0	109.0	143.1	-	-	-	-
1x 19 Strand	kN	12.6	28.2	45.5	71.1	102.0	139.0	182.0*	212.0*	285.0*	398.0*	-
Compact Strand	kN	17.4	34.8	60.3	95.0	141.2	189.2	251.0	-	-	-	510

7 x 19 Strand		Most Flexible	Lowest Break Load	Highest Stretch Characteristics
1x 19 Strand		Rigid Cable	High Break Load	Low Stretch Characteristics
Compact Strand		Most Rigid	Highest Break Load	Lowest Stretch Characteristics

Stainless steel cable will begin to distort at around 50% of its breaking load. For this reason it is recommended to apply a factor of safety of 2 and not to load the cables to more than 50% of their breaking loads. *1 x 37 or 1 x 61 may also be offered.

Cable Systems - Swaged Adjustable Fork



Cable Systems - Swaged Fork / Tensioner Assembly and Installation

- 1 Remove pins using supplied allen key and screw Lock Covers away from tensioners as far as the thread will allow.



- 2 Position cable in place and secure with pins, tightening with supplied allen key. For Swaged fork tensioning use open ended spanner on each adjuster and simultaneously turn each one to induce load / adjustment.



- 3 Swaged Tensioner and Inline Tensioner Adjustment – Turn tensioner using open ended spanner until correct level of adjustment tension is achieved. Then screw Lock Covers back against the tensioners.



Where large loads need to be induced in a cable, a version of the Macalloy TechnoTensioner can be used. Refer to page 7 for further information.

Cable Stretch

Cables undergo an initial, permanent stretch (construction stretch). This can be between 0.10% and 0.75% dependant on the loading and type of cable. Further elastic stretch will then be proportional to the load applied and cable used. Elastic stretch can be calculated using the following formula:

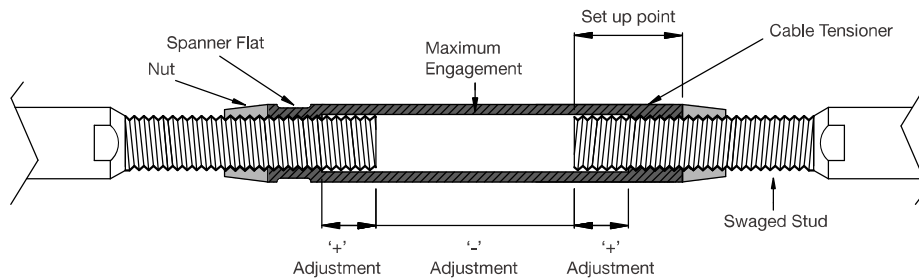
$$d = \frac{\text{Load (kN)} \times \text{Length (mm)}}{E \text{ (kN/mm}^2\text{)} \times \text{Cross Section Area (mm}^2\text{)}}$$

Cable Type	kN/mm ²
7 x 19 Strand	85
1 x 19 Strand	107
Compact Strand	133

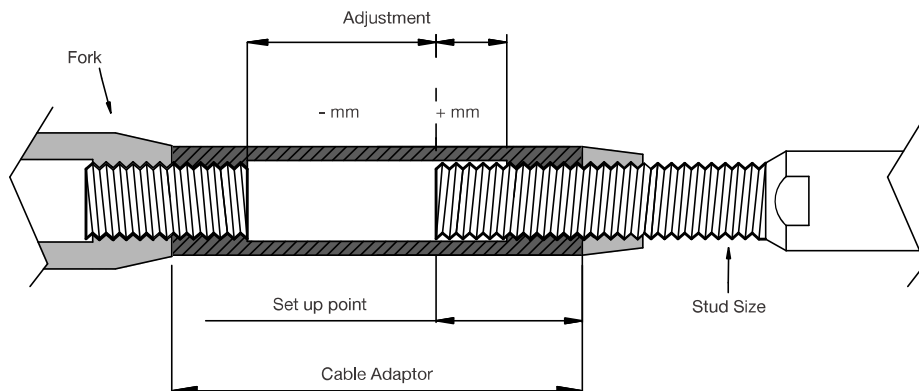
All cables are supplied non pre-stretched, if pre-stretched cables are required please request at time of the enquiry or order.

Fork Adjustments

Fork-Cable Adaptor Adjustment												
Cable Dia.	Units	4	6	8	10	12	14	16	19	22	26	28
Fork Adjustment '+'	mm	9	14	17	22	25	31	31	38	38	45	45
Fork Adjustment '-'	mm	19	28	33	44	49	61	61	76	76	91	91
Set-up Point	mm	15	24	29	38	45	55	55	68	68	81	81



Swaged Tensioner and Inline Tensioner Adjustment												
Cable Dia.	Units	4	6	8	10	12	14	16	19	22	26	28
Tensioner Adjustment '+'	mm	23	23	27	35	39	61	61	81	81	77	77
Tensioner Adjustment '-'	mm	47	47	53	69	79	121	121	161	161	153	153
Set-Up Point	mm	22	22	26	34	40	55	55	71	71	75	75



Connection Solutions



Disc Connection



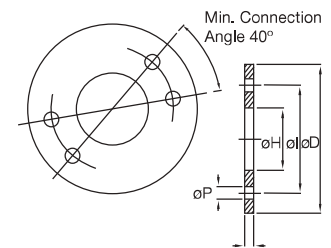
Cross Coupler



Turnbuckle with Fin Plate

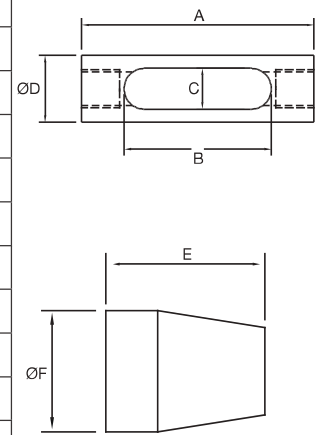
Disc Connection

Connection Disc	D/10	D/12	D/16	D/20	D/24	D/30	D/36	D/42	D/48	D/56
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
ØD	130	164	218	248	294.8	386	444	502	572	694
ØI	96	120	160	180	210	280	320	360	410	500
T	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45
ØP	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5
ØH (optional)	50	70	90	105	115	160	185	205	235	290



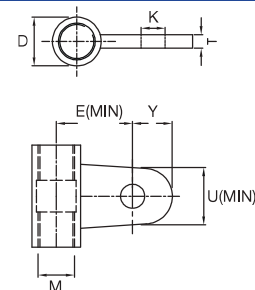
Cross Coupler

Cross-Coupler	CC10	CC12	CC16	CC28	CC24	CC30	CC36	CC42	CC48	CC56	CC64
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
A	73	82	105	128	148	183	21	249	283	328	376
B	47	52	67	82	94	117	139	159	181	210	242
C	12	14	18	22	26	32	38	44	50	58	66
ØD	19	25	29	35	43	52	62	72	82	96	110
Lock Cover	LCC10	LCC12	LCC16	LCC20	LCC24	LCC30	LCC36	LCC42	LCC48	LCC56	LCC64
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
E	29	31	37	43	74	105	111	117	123	136	144
ØF	18.5	24	28	34	42	51	61	71	81	95	109



Turnbuckle with Fin Plate

Connection Disc	D/10	D/12	D/16	D/20	D/24	D/30	D/36	D/42	D/48	D/56
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
ØD	130	164	218	248	294.8	386	444	502	572	694
ØI	96	120	160	180	210	280	320	360	410	500
T	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45
ØP	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5
ØH (optional)	50	70	90	105	115	160	185	205	235	290

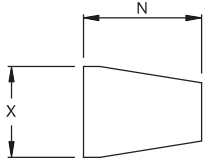
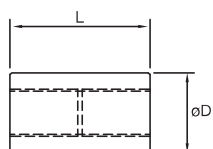
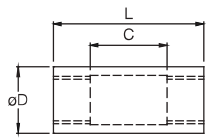
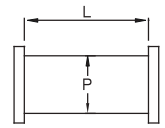
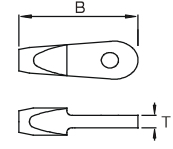
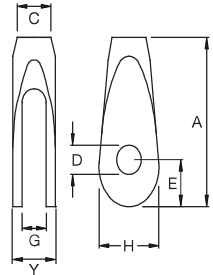


Bespoke connection

Bespoke connection pieces including personalisation are also available. Please contact Macalloy for further details.

Component Dimensions

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Fork Ref.		FA/10	FA/12	FA/16	FA/20	FA/24	FA/30	FA/36	FA/42	FA/48	FA/56	FA/64	FA/76	FA/85	FA/90	FA/100
A	mm	63.0	75.0	99.0	122.0	148.0	178.0	204.0	232.0	266.0	314.0	348.0	410.0	459.0	489.0	555.0
G	mm	11.0	12.0	15.0	19.0	24.0	26.0	34.0	39.0	44.0	49.0	56.0	76.0	78.0	86.0	91.0
C	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	44.0	52.0	60.0	69.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0
D	mm	11.5	13.0	17.0	21.4	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18.0	22.0	29.0	34.0	42.0	53.0	61.0	70.0	81.0	97.0	111.0	132.0	153.0	162.0	188.0
Y	mm	20.0	22.0	28.0	37.0	44.0	50.0	64.0	75.0	87.0	97.0	115.0	146.0	154.0	169.0	174.0
H	mm	30.0	34.0	45.0	53.0	64.0	81.0	93.0	109.0	123.0	147.0	169.0	201.0	236.0	248.0	289.0
Spade ref.		SA/10	SA/12	SA/16	SA/20	SA/24	SA/30	SA/36	SA/42	SA/48	SA/56	SA/64	SA/76	SA/85	SA/90	SA/100
B	mm	78.0	92.0	118.0	147.0	174.0	213.0	249.0	284.0	321.0	364.0	408.0	471.0	524.0	555.0	625.0
T	mm	8.0	9.0	12.0	15.0	20.0	22.0	30.0	35.0	40.0	45.0	55.0	70.0	72.0	80.0	85.0
Architectural Pin Ref.		PA/10	PA/12	PA/16	PA/20	PA/24	PA/30	PA/36	PA/42	PA/48	PA/56	PA/64	PA/76	PA/85	PA/90	PA/100
P Dia.	mm	10.5	12.0	16.0	20.0	24.0	29.0	35.0	41.0	47.0	55.0	63.0	76.0	90.0	93.0	108.0
L	mm	22.0	24.0	30.0	39.0	46.0	52.0	66.0	78.0	91.0	100.0	120.0	151.0	155.0	175.0	180.0
Turnbuckle Ref.		TA/10	TA/12	TA/16	TA/20	TA/24	TA/30	TA/36	TA/42	TA/48	TA/56	TA/64	TA/76	TA/85	TA/90	TA/100
ØD	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	43.0	52.0	60.0	58.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0
C	mm	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
L	mm	74.0	78.0	86.0	90.0	98.0	160.0	172.0	184.0	196.0	212.0	228.0	252.0	270.0	280.0	300.0
Coupler Ref.		CA/10	CA/12	CA/16	CA/20	CA/24	CA/30	CA/36	CA/42	CA/48	CA/56	CA/64	CA/76	CA/85	CA/90	CA/100
ØD	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	43.0	52.0	60.0	68.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0
L	mm	25.0	29.0	37.0	45.0	53.0	65.0	77.0	89.0	101.0	117.0	133.0	157.0	175.0	185.0	205.0
Lock Covers		LTC/10	LTC/12	LTC/16	LTC/20	LTC/24	LTC/30	LTC/36	LTC/42	LTC/48	LTC/56	LTC/64	LTC/76	LTC/85	LTC/90	LTC/100
X Dia.	mm	16.5	18.5	24.0	28.0	34.0	42.0	51.0	59.0	67.0	79.0	90.0	107.0	120.0	128.0	142.0
N	mm	44.0	44.0	46.0	48.0	92.0	126.0	134.0	145.0	153.0	169.0	179.0	191.0	200.0	205.0	215.0



Parliament Library

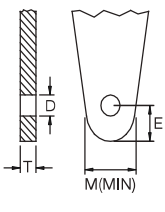
New Delhi, India
 Architect: Raj Rewal Associates
 Client: Parliament of India

Fork Alignment & Site Services

Gusset plates should be manufactured from material with a minimum strength of S355 to BS EN 10025 with the critical dimensions around the pin hole as per the tables below, noting the use of isolation when carbon gusset plates are used with stainless tendons.

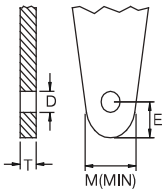
Macalloy Standard Gusset Plate Dimensions

		M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
T (Thickness)	mm	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
D	mm	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18	22	30	37	43	56	64	74	84	101	112	132	160	166	194
H (min.)	mm	28	34	48	60	68	90	103	118	135	163	180	211	259	266	317



Macalloy Gusset Plate Dimensions when used with isolation

		M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
T (Thickness)	mm	8	9	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70
D	mm	15.5	17.0	21.0	25.5	30.0	36.0	42.0	48.0	55.5	63.5	72.5	85.5
E	mm	21	24	31	37	45	56	64	74	85	100	115	136
H (min.)	mm	34	38	49	58	69	89	108	117	136	160	179	210



The above dimensions should be used when connecting stainless forks to a carbon steel connection plate. This then allows space for isolation sleeves and washers. If connecting to a stainless connection plate where no isolation is required, please use dimensions in table 13.

Isolation Dimensions for Macalloy S460

		M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
Isolation Sleeve		IS10	IS12	IS16	IS20	IS24	IS30	IS36	IS42	IS48	IS56	IS64	IS71
Length	mm	9	10	13	16	21	23	31	36	41	46	55	71
ID	mm	11.5	13.0	17.0	21.0	25.0	31.0	37.0	43.0	39.0	57.0	64.5	77.5
OD	mm	14.5	16.0	20.0	24.5	29.0	35.0	41.0	47.0	54.0	62.0	71.0	84.0
Isolation Washer		IW10	IW12	IW16	IW20	IW24	IW30	IW36	IW42	IW48	IW56	IW64	IW76
D	mm	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
OD	mm	26	30	41	46	57	74	83	98	110	135	155	190




Whitelee Wind Farm,

Eaglesham Moor, UK

Architect: Hypostyle

Contractor: Morrison Construction

Fork / Gusset Plate Misalignment



Forks should be kept in plane and parallel to each other on all Macalloy Tension Structure Systems.



Use of horizontal gusset plates should be avoided to prevent loads in gusset plates due to bar weight.

The standard Macalloy fork allows for misalignment between gusset plates of up to 0.5°. Where greater adjustment is required or there is potential movement exceeding 0.5°, larger forks can be put on the bar or strut and a spherical bearing can be inserted providing up to 5.9° of misalignment / movement.



Standard Arrangement



Additional misalignment with spherical bearing

Macalloy Site Services

Site support – Macalloy site services personnel can provide on site support in the form of undertaking stressing, training local personnel and providing supervision.

Equipment Hire – Macalloy Site services can provide a range of equipment to assist with the installation of tension bars including hydraulic jacks, Macalloy TechnoTensioner, strap and chain wrenches and strain gauges.

Bespoke Systems

Macalloy can supply a range of special items, including but not limited to:

- Higher strength tension bar – up to 690 N/mm² minimum yield strength
- Larger diameter tension bars
- Bespoke cast and fabricated connection pieces
- Spade Connections
- Oversized forks or spades on smaller diameter bars, cables or struts

Engineering Support

Macalloy engineering team can provide support and advice on a range of issues including fire protection, thermal expansion, installation/stressing and managing misalignment and movement.

University of Minnesota

USA

Architects: HGA, KPF



Troja Bridge

Czech Republic

Steel Work Designer - Excon Steel

Main Contractor - Metrostav

Dubai Airport

UAE

Engineer: Dar Al-Handasah

Client: Josef Gartner



Mbombela Stadium

Nelspruit South Africa

Client - Mbombela Local Municipality

Structural Engineer - Mott MacDonald

Macalloy

Macalloy, Caxton Way, Dinnington, Sheffield, S25 3QE, U.K.

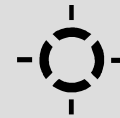
T: +44 (0)1909 519200 | W: www.macalloy.com | E: sales@macalloy.com



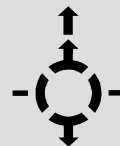
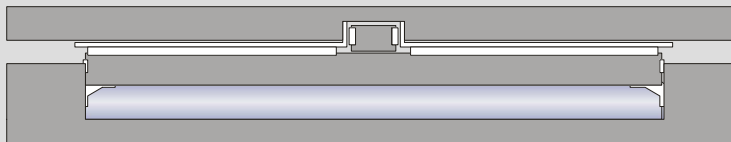
RESTON®POT

The pot bearing with POM-Sealing, developed to satisfy the highest quality requirements and certified in accordance with the new European standard EN 1337-5.

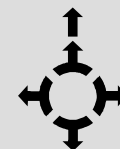
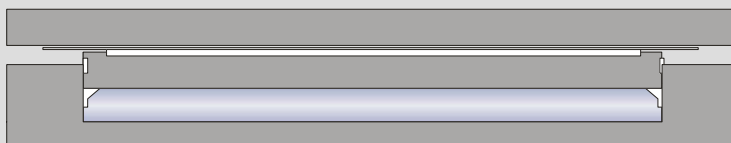
TF



TE



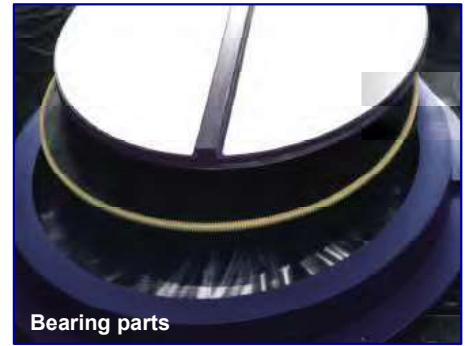
TA



0672-BPR-001
EN 1337-5

- Certified with CE-label.
- Design in accordance
with EN 1337-5.

Contents	Page
Introduction	2
Construction, design and layout	3
Product characteristics	4
Labels and pre-settings	5
TF Series - Fixed	6
TE Series – Guided sliding	8
TA Series – Free sliding	10
Fixing types	12
Special structures	13
Assembly and installation	14
Quotations and orders	15
Products and references	16



Principle

A natural rubber pad is placed in a steel pot, and a steel plate (piston) is placed on top. Under high pressure the pad loses its stiffness: its elasticity enables tilting movements of the piston about any horizontal axis.

Depending on whether it is a fixed, guided sliding or free sliding bearing, it can accommodate horizontal forces and movements (longitudinal or transverse) as well as vertical loads.

Quality

mageba pot bearings have been used successfully more than 50,000 times over a period of over four decades throughout the world.

Quality and durability of bearings are ensured by:

- Qualified and experienced personnel
- Cleverly designed and reliable components (e.g. POM-sealing)
- High-quality materials (PTFE-disc with a minimum thickness of 5 mm, DU-strips with bronze pieces, well controlled silicone oil, etc.)
- High quality standard (certified to ISO9001:2000 & EN729-2)
- External supervision by a recognised building supervision institute (MPA Stuttgart, Germany)
- Licences and QA certified working and manufacturing practice

RESTON®POT bearings are manufactured in accordance with European Standard EN1337-5. They are marked with the CE label, which confirms that they fulfil every requirement of this standard.

The quality and conformity is regularly inspected by the independent inspection institute MPA Stuttgart in Germany.

TF (fixed)

The fixed bearing is immovable and can accommodate horizontal forces from any direction.

TE (guided sliding)

The guided sliding bearing is movable in one direction and can accommodate horizontal forces perpendicular to this direction.

TA (free sliding)

The free sliding bearing is movable in all directions and therefore can not accommodate any horizontal forces.

Design according to Eurocode 1

The load combinations on pages 6, 8 and 10 conform to the „new design concept“ according to Eurocode 1 (EN 1991-2:2003. Actions on structures. Traffic loads on bridges). Should the input loads not conform to the Eurocode, the design proof is to be carried out in accordance with the appropriate standard (DIN, AASHTO, BS, SIA, etc). The constructive details according to EN 1337-5 will not be affected by this.

Special requirements of EN 1337-5/2

mageba pot bearings satisfy all requirements of the European bearing standard EN 1337-5/2. This standard places special demands on bearing suppliers, such as:

(1) Requirement of EN 1337: “Provision against contamination of the sliding surface shall be made by suitable devices. Such protection devices shall be easily removable for the purpose of inspection.“: mageba satisfies this by providing rubber skirts around the bearing to keep dust out. These skirts are connected by velcro-type fasteners, allowing them to be easily removed without tools for inspections etc.

(2) Requirement of EN 1337: “In order to ensure bearing alignment in accordance with EN 1337-11 a reference surface or other suitable device shall be installed on the sliding element. The deviation from parallel of the reference surface with respect to the plane sliding surface shall not exceed 1 ‰“. mageba pot bearings are therefore fitted with two spirit levels per bearing (one each in the x- and y-directions, accuracy of reading 0.6 ‰). These permanent spirit levels can be used to check levelness both during bearing installation, and when in service.



Additional options:

mageba bearings according to EN 1337 can additionally be provided with the following components (acc. to German Approval):

- Three-point measuring level for a more accurate levelling of the bearing
- Folding sheet for dust protection of the sliding plate

Coefficient of friction:

$$\mu = \frac{1,2}{\delta_{PTFE} + 10} \text{ where } 0,03 \leq \mu \leq 0,08$$

δ_{PTFE} = average PTFE-stress

Horizontal friction force:

TA-bearing: $V_{xSd} = N_{Sd} \cdot \mu$

TE-bearing: $V_{xSd} = N_{Sd} \cdot \mu + V_y \cdot 0,2$

V_{xSd} : Horizontal friction force

N_{Sd} : Vertical force on bearing

V_y : Transverse force on bearing

Design criteria

Movements: The dimension sheets on pages 9 and 11 give the main dimensions of the bearings. They apply the following movements :

TE **longitudinal:** 100 mm total **transverse:** -

TA **longitudinal:** 100 mm total **transverse:** 40 mm total

Larger longitudinal and transverse movements are also possible. In such cases, the top anchoring and the dimensions of the sliding plate are to be adapted.

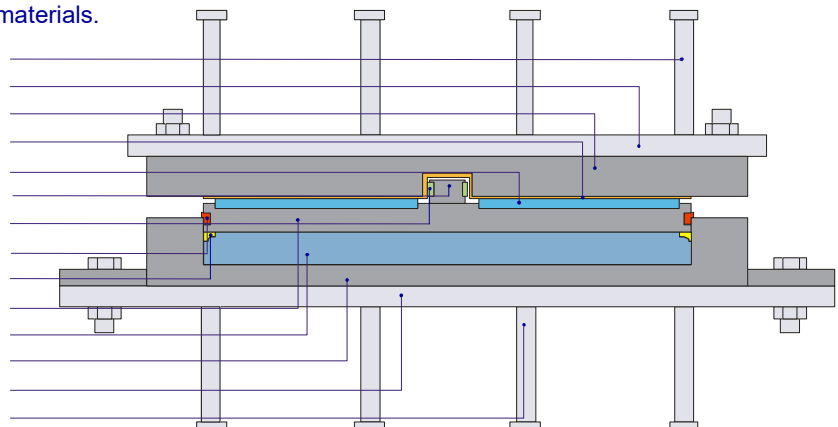
Rotations: The standard rotation about any axis is 0,013 radians. For bigger rotations, we adapt the bearings individually.

Friction: Sliding resistance is calculated on the basis of the PTFE-stress with relevant loading as well as horizontal load (see adjacent).

Pot bearing cross section

The design of the bearing may vary slightly, depending on the bearing type. However, mageba pot bearings are made exclusively from high-quality materials.

- Upper shear bolt– optional
- Top anchor plate– optional
- Sliding plate (S355 J2G3)
- Stainless steel sliding plate (X5CrNiMo 17 12 2)
- Sliding partner (PTFE, bordered)
- Guide bar (S355 J2G3)
- Sliding elements DUB (PTFE, bronze, lead)
- Dust seal (silicone rubber)
- Seal (POM Seal chain)
- Cover (S355 J2G3)
- Elastomeric pad (natural rubber)
- Pot (S355 J2G3)
- Bottom anchor plate – optional
- Bottom shear bolt - optional





Clever seal design (POM sealing)

A key element of the pot bearing is the elastomeric pressure pad which acts like a viscous fluid under pressure, permitting the bearing's piston to rotate. There must be a reliable seal between the pot and the cover to permit and ensure the correct functioning of this pressure pad. mageba has developed a POM seal to fulfil this purpose. It has the following advantages:

- Secure anchoring in the pressure pad
- Especially abrasion-proof hard plastic (POM)
- Numerous individual components that adapt easily to all deformations
- No noise emissions during sudden tilts

Experts worldwide consider mageba's POM seal to be the best in terms of durability, long service life and reliability. Upon request we can provide test certificates proving the outstanding performance of the POM Seal.



Sliding plates

For sliding bearings, mageba uses exclusively PTFE-plates which are quality controlled for use in bridge bearings. The thickness varies in accordance with the bearing size, however, the minimum thickness is 5 mm. The sliding surfaces are provided with lubrication pockets for lubricant storage. Quality-controlled silicone oil is used as a lubricant; it maintains its consistency for a very long time and remains effective even at -35°C.

The side guides consist of DUB composite material. The DUB material has a thickness of 2.5 mm and is connected to the guide bar of the bearing so that shear forces can be accommodated.

For the sliding partner, quality controlled stainless steel sheeting (X2CrNiMo 17-12-2, material No. 1.4404) with a minimum thickness of 1.5 mm is used.

Corrosion protection

Steel components exposed to the elements are corrosion protected. mageba adjusts the corrosion protection to suit exposure conditions or customer requirements.

Standard corrosion protection is as follows:

- Sandblasting SA3
- Zinc metal spray galvanizing
- Two top coatings with 2-part micaceous iron ore paint

Guaranteed quality

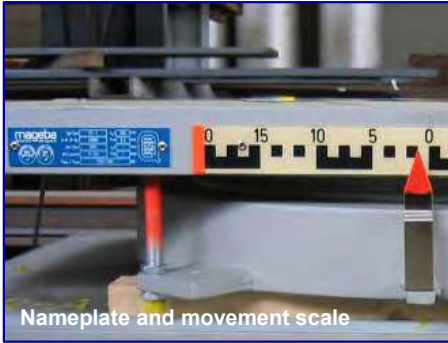
Many thousands of mageba pot bearings have been functioning reliably under heavy traffic conditions for more than 40 years and continue to do so. Quality and durability are guaranteed by the following factors:

- Qualified staff with many years of experience
- Process-orientated Quality Assurance (ISO 9001 / EN 29001)
- Welding certificate according to EN 729-2
- Professional installation on the bridge

External quality control

In addition to internal supervision, mageba has its production facilities regularly controlled by the recognised independent building supervision institute, MPA Stuttgart. This institute controls mageba's internal supervision and adherence to norms and approvals. This external quality control corresponds to the provisions of European norm (pr) EN 1337, and is another guarantee of the consistently high quality of mageba products.





Nameplate and movement scale



Label for identification and tracking of the item.

Comprehensive labelling

All bearings are provided with a label which supports professional installation of the bearing.

The typeface on the cover or sliding plate gives information on the type, size and number of a bearing. Moreover, arrows indicate the movement axis and the presetting direction as follows:

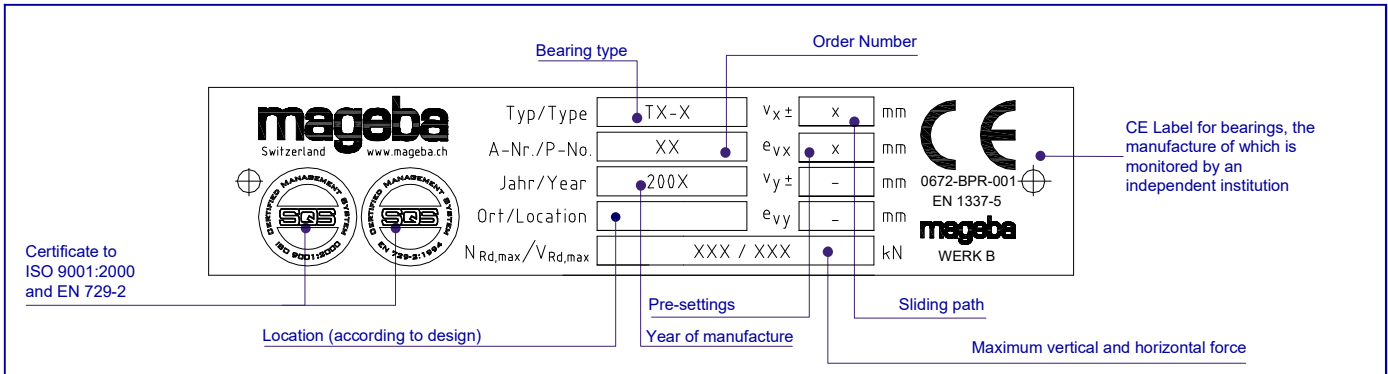
- **Arrows**
Arrows indicate the main movement directions of movable bearings
- **Double Arrows**
Double arrows on the sliding bearings indicate the presetting direction
- **Note**
Temporary fixings are specially marked. They should be checked carefully in accordance with the bearing layout plan.

CE Conformity

All mageba RESTON®POT bearings, which are manufactured in accordance with European Standard EN 1337-5, are clearly marked with the CE label. This label confirms that the pot bearing satisfies all requirements of the new European standard, without exception.

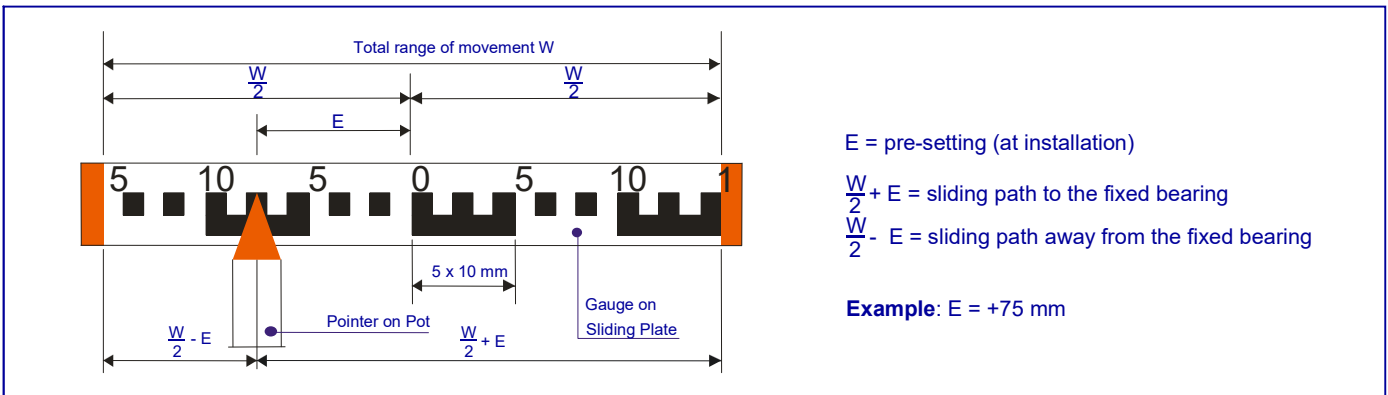
Information label

All the important bearing information is presented on the nameplate:



Movement gauge

The movement gauge indicates horizontal movement and pre-settings of the bearing:





Function

The TF bearings are immovable and can accommodate horizontal forces from any direction.

Movement in any direction is practically zero with fixed bearings. However, in practice there is 1mm clearance between pot and cover.

Load combination

All standard bearings are designed to withstand maximum concurrent vertical and horizontal loads.

Maximum horizontal loads are based on a concurrent minimum vertical load of about 0.4 times the maximum vertical load (friction impact). The following table shows these minimum loads.

Concrete stress

Concrete stress is calculated in accordance with European Standard EC 2 (partial area stress). Structural requirements are normally satisfied when concrete of grade C30/37 or greater is used and the spread area is about 1.6 times the pot diameter at the column and superstructure.

Loads

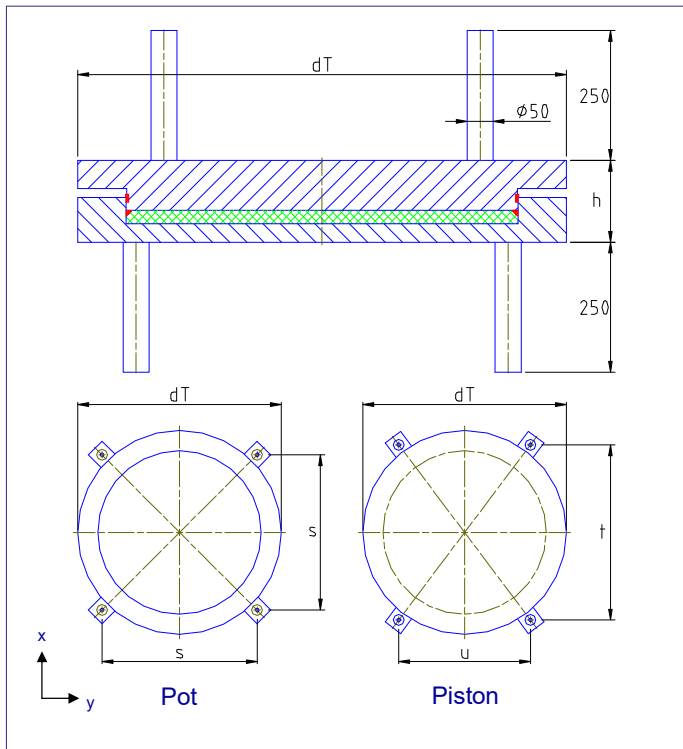
Type & Size	Bearing with anchor bolts			Bearings with anchor plates		
	Loads [kN]			Loads [kN]		
	Vertical		Horizontal	Vertical		Horizontal
	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{xyRd,max}$	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{xyRd,max}$
TF 1	852	323	280	852	315	280
TF 2	1'706	683	460	1'706	672	460
TF 3	2'935	976	705	2'935	630	705
TF 4	4'496	1'634	1'034	4'496	1'310	1'034
TF 5	6'388	2'060	1'247	6'388	1'711	1'247
TF 6	8'647	2'678	1'556	8'647	2'232	1'556
TF 7	11'207	3'376	1'905	11'207	3'012	1'905
TF 8	14'143	3'878	2'263	14'143	3'775	2'263
TF9	17'422	4'404	2'526	17'422	4'172	2'526
TF 10	20'986	5'228	2'938	20'986	4'996	2'938
TF 11	24'942	6'086	3'367	24'942	5'854	3'367
TF 12	29'239	6'952	3'800	29'239	6'720	3'800
TF 13	33'807	8'142	4'395	33'807	7'910	4'395
TF 14	38'782	8'660	4'654	38'782	8'612	4'654
TF 15	44'098	9'052	4'850	44'098	8'820	4'850
TF 16	49'671	9'286	4'967	49'671	9'054	4'967
TF 17	55'665	9'372	5'010	55'665	9'140	5'010
TF 18	62'000	9'892	5'270	62'000	9'660	5'270
TF 19	68'577	10'324	5'486	68'577	10'092	5'486
TF 20	75'590	10'692	5'670	75'590	10'460	5'670

$N_{Rd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under compression force

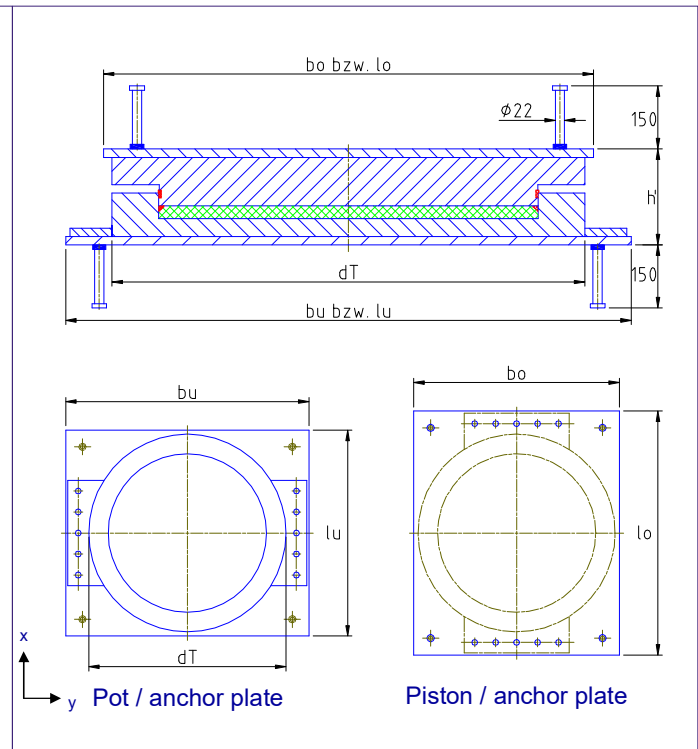
$N_{Rd,min}$: Minimum bearing capacity of the bearing under compression force with simultaneous shear force $V_{xyRd,max}$

$V_{xyRd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under shear force

Bearing with anchor bolts



Bearing with anchor plates



Dimensions

Type & size	Bearing with anchor bolts						Bearing with anchor plates						
	Dimensions					Weight [kg]	Dimensions					Weight [kg]	
	[mm]						[mm]						
dT	s	t	u	h		dT	lu	bu	lo	bo	h'		
TF 1	200	177	217	125	76	30	200	220	310	310	220	112	45
TF 2	280	233	286	165	79	50	280	300	390	390	300	112	75
TF 3	365	301	348	244	87	90	365	390	510	510	390	119	130
TF 4	455	364	422	295	95	130	455	480	600	600	480	128	200
TF 5	540	424	491	344	100	180	540	560	700	700	560	136	290
TF 6	625	484	561	393	111	250	625	650	790	790	650	149	410
TF 7	710	544	631	442	122	345	710	730	910	910	730	160	555
TF 8	795	612	709	496	126	445	795	820	960	960	620	164	680
TF 9	875	668	774	542	136	570	875	900	1'080	1'080	900	174	865
TF 10	975	739	801	672	151	775	975	1'000	1'180	1'180	1'000	193	1'180
TF 11	1'060	799	866	726	151	890	1'060	1'080	1'280	1'280	1'080	193	1'375
TF 12	1'145	859	931	781	159	1'080	1'145	1'170	1'370	1'370	1'170	201	1'650
TF 13	1'225	916	992	832	174	1'345	1'225	1'250	1'510	1'510	1'250	222	2'120
TF 14	1'300	969	1'049	881	188	1'625	1'300	1'320	1'580	1'580	1'320	236	2'475
TF 15	1'380	1'025	1'111	932	188	1'800	1'380	1'400	1'660	1'660	1'400	237	2'770
TF 16	1'455	1'078	1'168	980	202	2'140	1'455	1'480	1'740	1'740	1'480	250	3'205
TF 17	1'530	1'131	1'226	1'028	216	2'525	1'530	1'550	1'810	1'810	1'550	262	3'715
TF 18	1'600	1'181	1'279	1'073	222	2'800	1'600	1'620	1'880	1'880	1'620	272	4'090
TF 19	1'680	1'237	1'341	1'125	223	3'055	1'680	1'700	1'960	1'960	1'700	273	4'460
TF 20	1'760	1'294	1'402	1'176	242	3'660	1'760	1'780	2'040	2'040	1'780	292	5'190

Note: Due to production tolerances the bearing height h or h' may be greater than indicated in the table above by up to 10 mm.

Position of the guide:

Small TE bearings (up to type 4) are fitted with an external guide for static reasons.

Medium TE bearings (type 5 to 8) are fitted with an external or central guide depending on the size of the horizontal force relative to the vertical force.

Large TE bearings (starting from type 9) are usually fitted with a central guide.



TE Bearing in factory

Function

TE bearings allow movement in one direction and can accommodate horizontal forces perpendicular to this direction.

TE bearings can be fitted with either one central guide (indicated by “i” in bearing type) or two external guides (indicated by “a”).

Movement perpendicular to the guides is theoretically zero. In practice, there is up to 2 mm clearance. A DUB / stainless steel sliding system ensures smooth sliding in the guide.

Load combination

All standard bearings are designed so that they can accommodate maximum horizontal and vertical forces simultaneously.

Maximum allowed horizontal forces are based on a concurrent minimum vertical load of 0.4 times the maximum load. The following table indicates these loads.

Concrete stress

Concrete stress is calculated according to European Standard EC 2 (partial area stress). Structural requirements are normally satisfied when concrete of grade C30/37 or greater is used and the spread area is about 1.6 times the pot diameter at the column and superstructure.

Loads

Type & size	Bearing with anchor bolts			Bearing with anchor plates		
	Vertical		Horizontal	Vertical		Horizontal
	Loads [kN]		Loads [kN]	Loads [kN]		Loads [kN]
	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{vRd,max}$	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{vRd,max}$
TE 1a	620	356	192	620	356	192
TE 2a	1'486	488	329	1'486	488	329
TE 3a	2'772	887	542	2'772	881	542
TE 4a	4'395	1'425	897	4'395	1'034	897
TE 5a	6'388	1'792	1'071	6'388	1'341	1'071
TE 6a	8'647	2'166	1'248	8'647	1'714	1'248
TE 7a	11'207	2'536	1'422	11'207	2'083	1'422
TE 8a	14'143	2'695	1'599	14'143	2'458	1'599
TE 5i	4'780	1'785	1'071	4'780	1'425	1'071
TE 6i	7'011	2'158	1'248	7'011	1'708	1'248
TE 7i	9'627	2'527	1'422	9'627	2'076	1'422
TE 8i	12'678	2'687	1'599	12'678	2'451	1'599
TE 9i	16'128	3'062	1'775	16'128	2'825	1'775
TE 10i	19'917	3'435	1'950	19'917	3'199	1'950
TE 11i	24'169	3'812	2'126	24'169	3'575	2'126
TE 12i	28'820	4'192	2'303	28'820	3'954	2'303
TE 13i	33'771	4'566	2'477	33'771	4'335	2'477
TE 14i	38'782	4'947	2'654	38'782	4'708	2'654
TE 15i	44'098	5'329	2'831	44'098	5'090	2'831
TE 16i	49'671	5'711	3'008	49'671	5'472	3'008
TE 17i	55'665	6'093	3'185	55'665	5'854	3'185
TE 18i	62'000	6'475	3'362	62'000	6'236	3'362
TE 19i	68'577	6'857	3'539	68'577	6'618	3'539
TE 20i	75'590	7'239	3'716	75'590	6'999	3'716

$V_{xyRd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under shear force

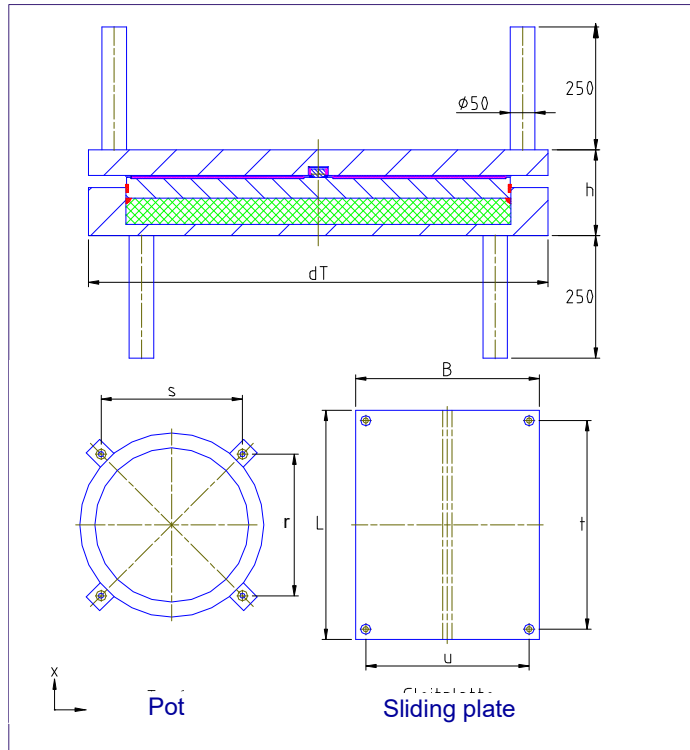
$N_{Rd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under compressive force

$N_{Rd,min}$: Minimum bearing capacity of the bearing under compressive force with a simultaneous shear force $V_{xyRd,max}$

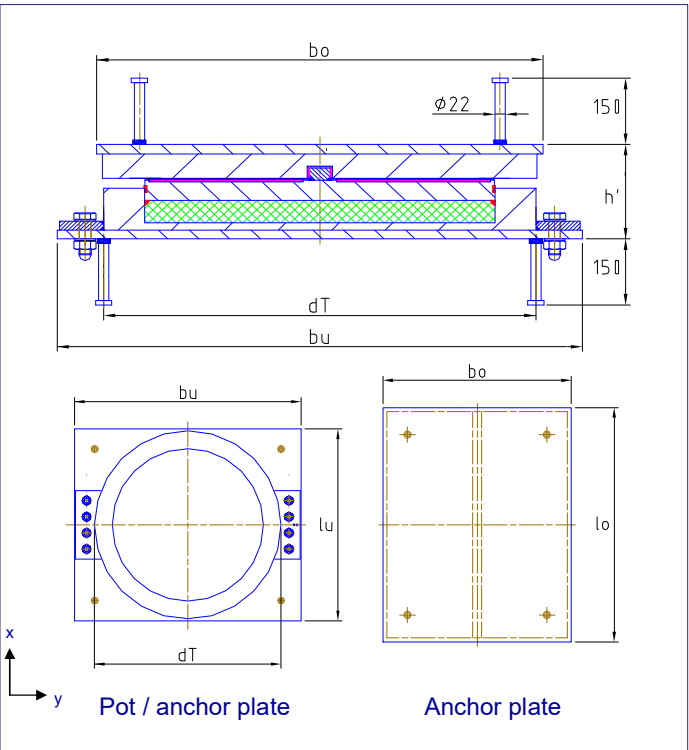
a: External guides

i: Central (or internal) guides

Bearing with anchor bolts



Bearing with anchor plates



Dimensions

Type & size	Bearing with anchor bolts									Bearing with anchor plates						
	Bearing dimensions								Weight	Bearing dimensions					Weight	
	[mm]									[mm]						
dT	B	L	r	s	t	u	h	[kg]	dT	bu	lu	bo	lo	h'	[kg]	
TE 1a	200	270	390	144	204	346	214	92	50	200	330	220	290	410	125	70
TE 2a	270	330	450	184	262	406	274	102	80	270	420	290	350	470	135	115
TE 3a	360	420	520	236	335	476	364	114	135	360	510	380	440	540	148	195
TE 4a	450	510	590	285	423	536	430	140	245	450	600	470	530	610	172	320
TE 5a	535	580	660	341	487	606	480	144	320	535	700	560	600	700	182	445
TE 6a	620	650	730	390	557	676	560	158	440	620	790	640	670	760	195	595
TE 7a	690	710	810	430	614	754	614	165	545	690	860	710	730	840	202	730
TE 8a	780	780	880	500	688	814	690	174	715	780	950	800	800	900	212	935
TE 5i	525	530	630	336	479	576	450	144	290	525	700	550	550	670	181	395
TE 6i	610	615	710	384	548	654	526	154	390	610	780	630	640	740	191	530
TE 7i	685	690	790	428	610	734	620	160	500	685	860	710	710	810	197	675
TE 8i	770	775	870	482	688	804	684	164	645	770	940	790	800	890	201	840
TE 9i	850	855	950	528	754	884	764	168	780	850	1050	870	880	970	205	1'030
TE 10i	930	935	1'030	573	819	964	869	175	950	930	1130	950	960	1'050	214	1'260
TE 11i	1'025	1'030	1'130	628	897	1'064	964	188	1'230	1'025	1'230	1'050	1'050	1'150	228	1'620
TE 12i	1'105	1'110	1'210	674	963	1'144	1'044	202	1'520	1'105	1'310	1'130	1'130	1'230	242	1'970
TE 13i	1'175	1'180	1'280	714	1'019	1'214	1'114	216	1'830	1'175	1'380	1'200	1'200	1'300	262	2'410
TE 14i	1'255	1'260	1'360	760	1'085	1'294	1'194	225	2'140	1'255	1'460	1'280	1'280	1'380	271	2810
TE 15i	1'340	1'345	1'440	809	1'155	1'374	1'279	238	2'570	1'340	1'540	1'360	1'370	1'460	285	3'340
TE 16i	1'450	1'455	1'550	872	1'245	1'484	1'389	250	3'180	1'450	1'670	1'470	1'480	1'570	302	4'180
TE 17i	1'525	1'530	1'630	915	1'307	1'564	1'464	266	3'730	1'525	1'750	1'550	1'550	1'650	318	4'780
TE 18i	1'600	1'605	1'700	958	1'368	1'634	1'539	280	4'300	1'600	1'890	1'620	1'630	1'720	335	5'620
TE 19i	1'680	1'685	1'780	1'003	1'433	1'714	1'619	294	4'980	1'680	1'970	1'700	1'710	1'800	349	6'420
TE 20i	1'755	1'760	1'860	1'046	1'494	1'794	1'694	302	5'540	1'755	2'050	1'780	1'780	1'880	357	7'120

The catalogue dimensions L, t, and lo are designed for a total longitudinal movement (W) of 100 mm. For greater movements, the dimensions have to be adapted respectively (e.g. for W= 350 mm: L, t and lo must be increased by 250 mm).

Note: Due to production tolerances, the bearing height h or h' may be greater than indicated in the table above, by up to 10 mm.



TA Bearing in front of factory

Function

The TA bearing allows movement in all directions and therefore does not accommodate any horizontal forces.

Lateral displacement of TA Bearings is normally limited to +/- 20 mm. Bearings which allow larger lateral displacement can be designed on request.

Concrete stress

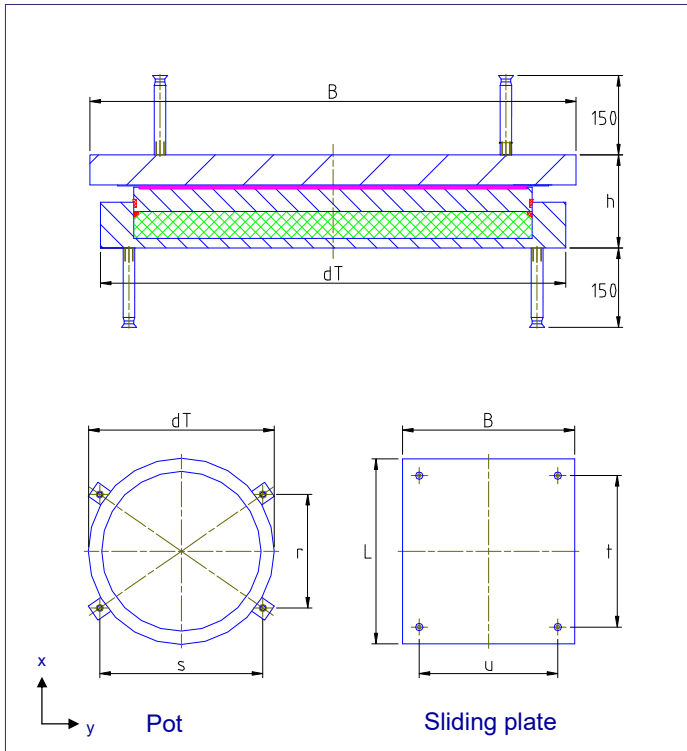
Concrete stress is calculated according to European Standard EC 2 (partial area stress). Structural requirements are normally satisfied when concrete of grade C30/37 or greater is used and the spread area is about 1.6 times the pot diameter at the column and superstructure.

Loads

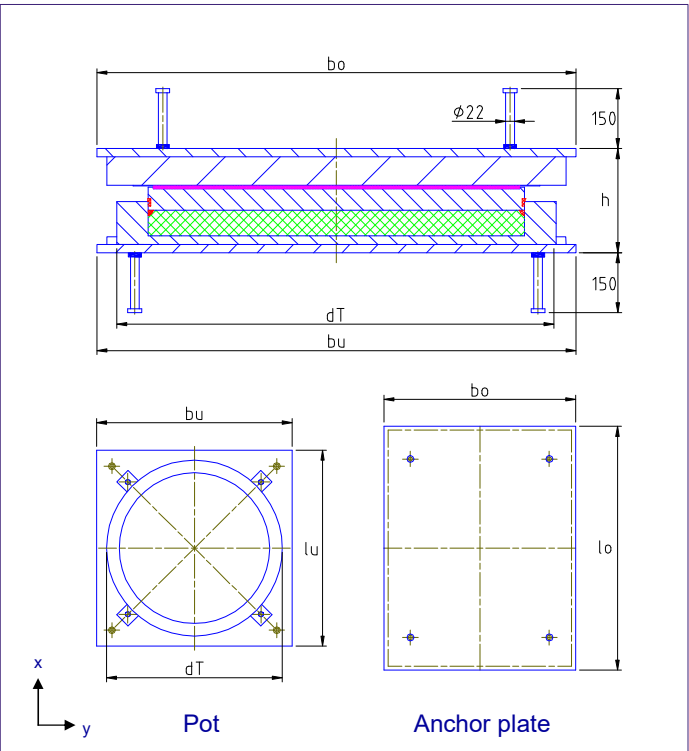
Type & Size	Loads [kN]
	Vertical
	$N_{Rd,max}$
TA 1	714
TA 2	1'595
TA 3	2'913
TA 4	4'496
TA 5	6'388
TA 6	8'647
TA 7	11'207
TA 8	14'143
TA 9	17'422
TA 10	20'986
TA 11	24'942
TA 12	29'239
TA 13	33'807
TA 14	38'782
TA 15	44'098
TA 16	49'671
TA 17	55'665
TA 18	62'000
TA 19	68'577
TA 20	75'590

$N_{Rd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under compressive force

Bearing with threaded sleeve anchorages



Bearing with anchor plates



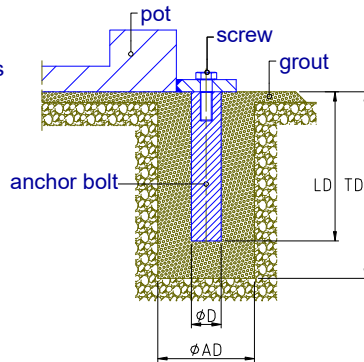
Dimensions

Type & Size	Bearing without anchor plate									Bearing with anchor plates						
	Dimensions								Weight [kg]	Dimensions						Weight [kg]
	[mm]									[mm]						
	dT	B	L	r	s	t	u	h		dT	bu	lu	bo	lo	h'	
TA 1	200	250	300	171	182	272	208	86	30	200	270	270	270	320	120	55
TA 2	270	310	370	209	243	328	268	86	45	270	320	320	330	390	120	80
TA 3	350	390	450	257	306	408	348	95	80	350	380	380	410	470	128	130
TA 4	420	460	520	279	378	478	418	105	125	420	450	450	480	540	138	190
TA 5	500	540	600	319	448	558	498	119	195	500	520	520	560	620	155	290
TA 6	570	610	670	382	501	616	556	123	255	570	600	600	630	690	161	380
TA 7	650	690	750	421	571	696	636	137	360	650	670	670	710	770	175	515
TA 8	720	760	820	451	637	766	706	147	470	720	740	740	780	840	184	650
TA 9	800	840	900	490	707	846	786	162	630	800	820	820	860	920	199	855
TA 10	880	920	980	536	772	926	866	176	820	880	900	900	940	1'000	215	1'105
TA 11	960	1'000	1'060	576	842	1'006	946	183	1'010	960	980	980	1'020	1'080	223	1'355
TA 12	1'040	1'080	1'140	660	892	1'074	1'014	192	1'235	1'040	1'060	1'060	1'100	1'160	233	1'645
TA 13	1'130	1'170	1'230	717	962	1'164	1'104	211	1'595	1'130	1'150	1'150	1'190	1'250	257	2'130
TA 14	1'210	1'250	1'310	763	1'028	1'244	1'184	226	1'950	1'210	1'230	1'230	1'270	1'330	272	2'560
TA 15	1'300	1'340	1'400	821	1'097	1'334	1'274	235	2'325	1'300	1'320	1'320	1'360	1'420	281	3'025
TA 16	1'380	1'420	1'480	867	1'163	1'414	1'354	249	2'775	1'380	1'400	1'400	1'440	1'500	300	3'650
TA 17	1'460	1'500	1'560	906	1'233	1'494	1'434	262	3'270	1'460	1'480	1'480	1'520	1'580	314	4'260
TA 18	1'540	1'580	1'640	946	1'303	1'574	1'514	271	3'730	1'540	1'560	1'560	1'600	1'660	326	4'885
TA 19	1'620	1'660	1'720	993	1'367	1'654	1'594	281	4'245	1'620	1'640	1'640	1'680	1'740	336	5'520
TA 20	1'710	1'750	1'810	1'049	1'438	1'744	1'684	300	5'105	1'710	1'730	1'730	1'770	1'830	355	6'520

The catalogue dimensions B, L, u, t, bo and lo are designed for total longitudinal movement (W) of 100 mm and lateral movement (W') of 40 mm. For greater movements, the dimensions must be adapted respectively (e.g. for W=350 mm and W'=100 mm: L, t, and lo must be increased by 250 and B, u, and bo by 60 mm).

Anchor bolts

- Suitable for TE & TF bearings without anchor plate
- For resistance of horizontal forces
- Can be omitted if sufficient vertical force acts



Pot bearing with anchor bolts

Note:

If there is sufficient friction between the bearing and the sub- or superstructure to accommodate horizontal forces the anchor bolts or threaded sleeve anchors can be omitted.

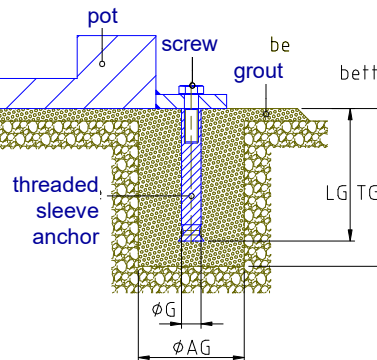
Recess:

Static requirements determine the anchor size. Suitable recesses ($\varnothing A$, T) are presented in the adjacent tables.

Screw	Anchor bolt		Recess	
	$\varnothing D$	LD	$\varnothing AD$	TD
M 12	30	180	150	250
M 16	40	200	150	250
M 20	50	250	150	300
M 24	60	300	150	350
M 27	70	300	150	350

Threaded sleeve anchors

- Suitable for TA Bearings without anchor plate
- Structural connection to the bearing socket
- Can be left out if necessary

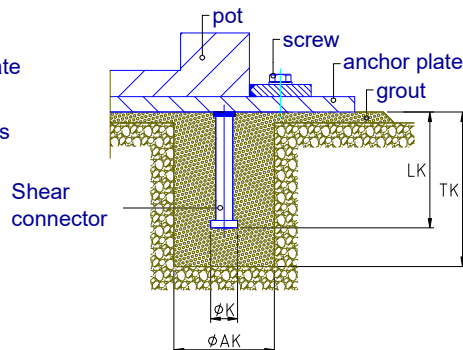


Pot bearing with threaded sleeve anchor

Screw	Threaded sleeve anchors		Recess	
	$\varnothing G$	LG	$\varnothing AG$	TG
M 12	17	100	150	150
M 16	22	150	150	200
M 20	26	150	150	200

Anchor plates

- Anchoring of the anchor plate with shear connectors
- Number of shear connectors depends on the static circumstances



Pot bearing with anchor plates

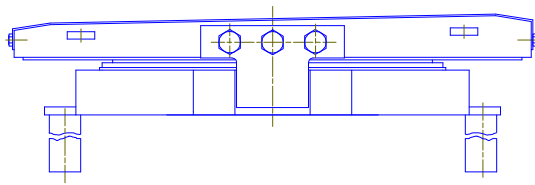
\varnothing	Shear connector		Recess	
	$\varnothing K$	LK	$\varnothing AK$	TK
22	35	150	150	200



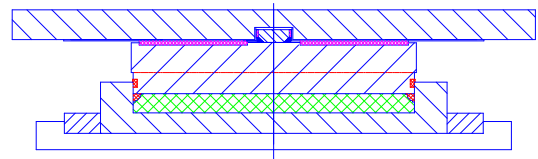
RESTON®POT ILM Incremental launching bearing
The same bearing can be used for both the installation of the bridge and as a permanent bearing.



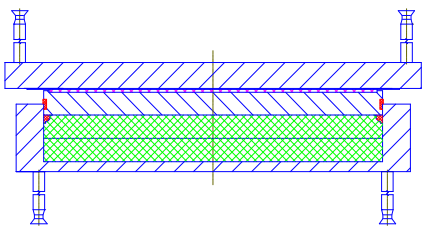
RESTON®POT CONTROL Lift & measurement bearings
The loads acting on the bearing can be constantly electronically monitored. This bearing can also be used to lift the bridge.



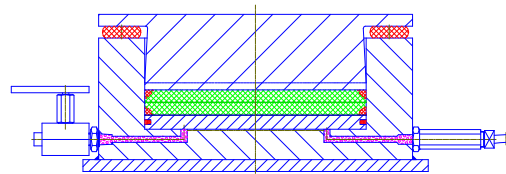
ILM - bearing



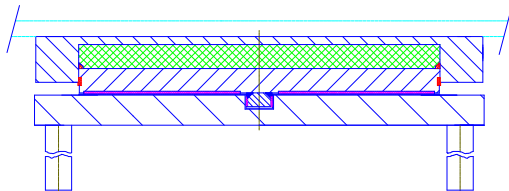
Lateral catch with block



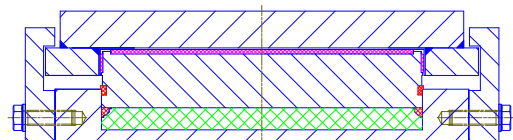
Pot bearing for large tilts



Measuring and lifting bearing



Bearing installed reversed for steel superstructure



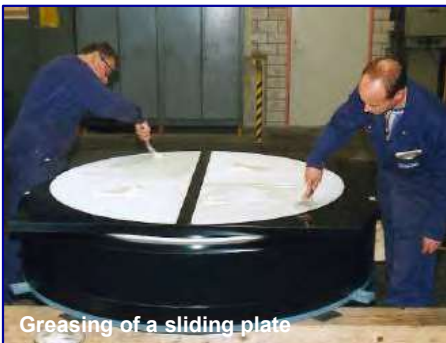
TE- bearing with uplift protection



Formation of a steel ring



Lid of the pot bearing



Greasing of a sliding plate



Bringing together of pot and lid



Positioning of a pot bearing

General

mageba pot bearings are high quality engineering components which must be handled with care during transport, assembly and installation.

Sliding surfaces, seals, movement scales and corrosion protection are sensitive to damage and require particular protection.

Assembly

We assemble the bearings in the factory. Pot and piston, or sliding plate, are clamped together with four bolts for safe transportation.

Presetting

If the presetting of bearings is required, please submit the exact presetting value *E* before start of the manufacturing. Presetting is always done in the factory and only trained employees may adjust the presetting value later.

Calibration

The bearing location plan is essential for a correct installation of the bearing. Pay particular attention to all markings and indications.

The structural axes are indicated with notches in the lower section of the pot ring to enable the bearing to be positioned in precisely the correct location.

The height and the horizontal position are adjusted by setscrews. The reference point for installation height is the centre of the top plate or sliding plate.

The reference plane for the horizontal position is the upper edge of the pot ring or the sliding surface for sliding bearings. The margin of error for the inclination must not exceed 3‰.

Placing

After positioning and before placing the grout layer, the recess spaces at the anchor bolts (if any) are concreted. Local shrinkage is thus avoided in this area. The mortar bed should not be thicker than 50mm. Most recognised fluid mortars or grouts that are poured into surrounding raised formwork are suitable for the mortar bed.

Sliding plates which project beyond the pot bearing must be rigidly supported at their corners before concreting the superstructure.

Commissioning

The pot bearing should be capable of moving freely as soon as the substructure and superstructure have been connected. To permit this, the four transportation bolts between the pot and the top plate or sliding plate must be cut through and removed.

Inspection and maintenance

The condition and position of the pot bearing should be inspected at regular intervals.

Your enquiry

When requesting a quotation, please provide the design criteria if possible, to enable us to give you the best quotation.

We process quotes immediately and make them available as soon as possible.

Our quotation

We can send you an indicative offer on the basis of classification and number of bearings. For a binding offer we need the following information:

- Maximum, minimum and permanent vertical loads
- Longitudinal and transverse forces
- Most unsuitable load combination with the maximum horizontal force and the minimum vertical load
- Movements in longitudinal and transverse directions of the bridge
- Rotations in longitudinal and transverse directions of the bridge
- Concrete strength
- General data on the structure (concrete or steel bridge, fixing details of the bridge bearings, etc.)

A more detailed list of the necessary information has been defined in European norm EN 1337, part 1, pages 26 – 27 (this can be downloaded from www.mageba.ch).



Staff of our technical department

Placing of orders

In addition to the information already supplied, the following documents are also necessary when placing an order:

- Layout drawing of the structure
- Details of all movements to be facilitated
- Pre-setting values

Work begins once the customer has approved and returned the documents, with pre-setting values indicated.

Delivery time is kept to a minimum thanks to an efficient order processing system and modern manufacturing methods.

The most important features of the mageba pot bearing to EN 1337

- mageba has been producing pot bearings since 1963
- Pot Bearings are approved in many countries, including Germany, Austria, Sweden and Finland
- Quality control in accordance with ISO 9001:2000 and certified in accordance with EN 729-2
- External quality control conducted by an independent building supervision institute
- Certificate for welding works in accordance with DIN 18800-7
- Design according to EC 3, BS 5400, DIN 18800, SIA 161 etc.
- Construction strictly according to EN 1337

Øresund Bridge, Denmark - Sweden
Equipped with mageba pot bearings
for vertical loads up to 90'000 kN and
horizontal loads up to 40'000 kN.



Bridge Bearings

- Pot Bearings
- Elastomeric Bearings
- Earthquake Bearings
- Spherical Bearings
- Incremental Launch Bearings
- Special Bearings
- Rocker Bearings



Expansion Joints

- Single Gap Joints
- Modular Expansion Joints
- Sliding Finger Joints
- Cantilever Finger Joints
- Matt Joints
- Railway Joints
- Architectural Joints



Shock Absorbers

- Hydraulic Shock Absorbers
- Spring Dampers



Services

- Inspections
- Tests
- Installations
- Refurbishments
- Cleaning
- Remote monitoring



More information on mageba and its products can be found on www.mageba.ch.

Worldwide references



Version 2008.02



mageba sa
Solistrasse 68
8180 Bülach
Switzerland
Tel.: +41-44-872 40 50
Fax: +41-44-872 40 59
info@mageba.ch

mageba gmbh
Fussach, Austria
Tel.: +43-5578-75593
Fax: +43-5578-73348
oesterreich@mageba.ch

mageba sa
Cugy VD, Switzerland
Tel.: +41-21-731-0710
Fax: +41-21-731-0711
suisse@mageba.ch

mageba gmbh
Uslar, Germany
Tel.: +49-5571-9256-0
Fax: +49-5571-9256-56
uslar@mageba.ch

mageba gmbh
Esslingen a.N., Germany
Tel.: +49-711-758844-0
Fax: +49-711-758844-56
stuttgart@mageba.ch

mageba Bridge Products (Pvt.) Ltd.
Kolkata, India
Tel.: +91-33-22900250 to -253
Fax: +91-33-22900254
info@mageba.in

mageba Bridge Products Pvt. Ltd.
Shanghai, China
Tel.: +86-21-5740 7635
Fax: +86-21-5740 7636
info@mageba.cn

PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

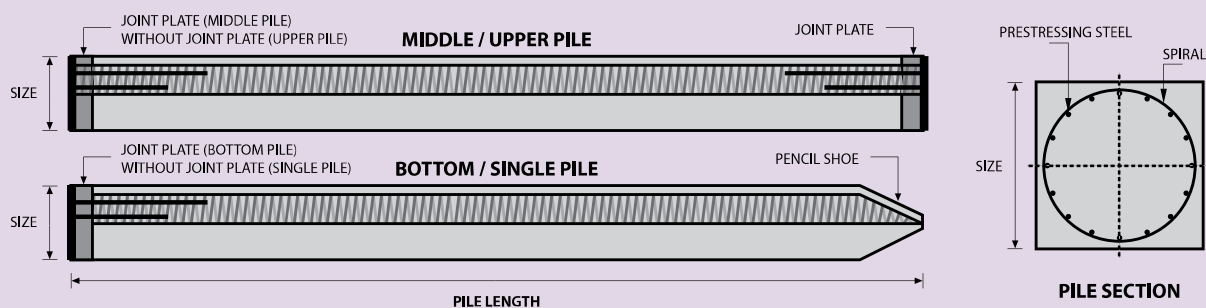
Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)

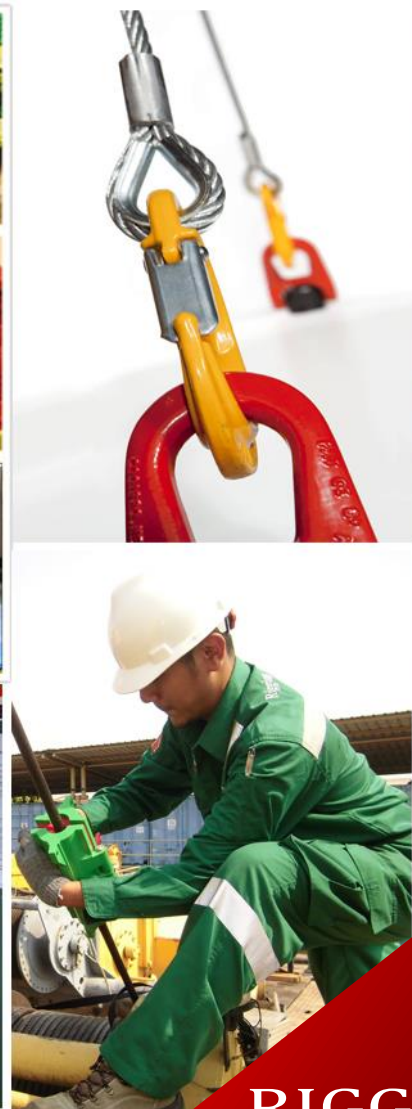
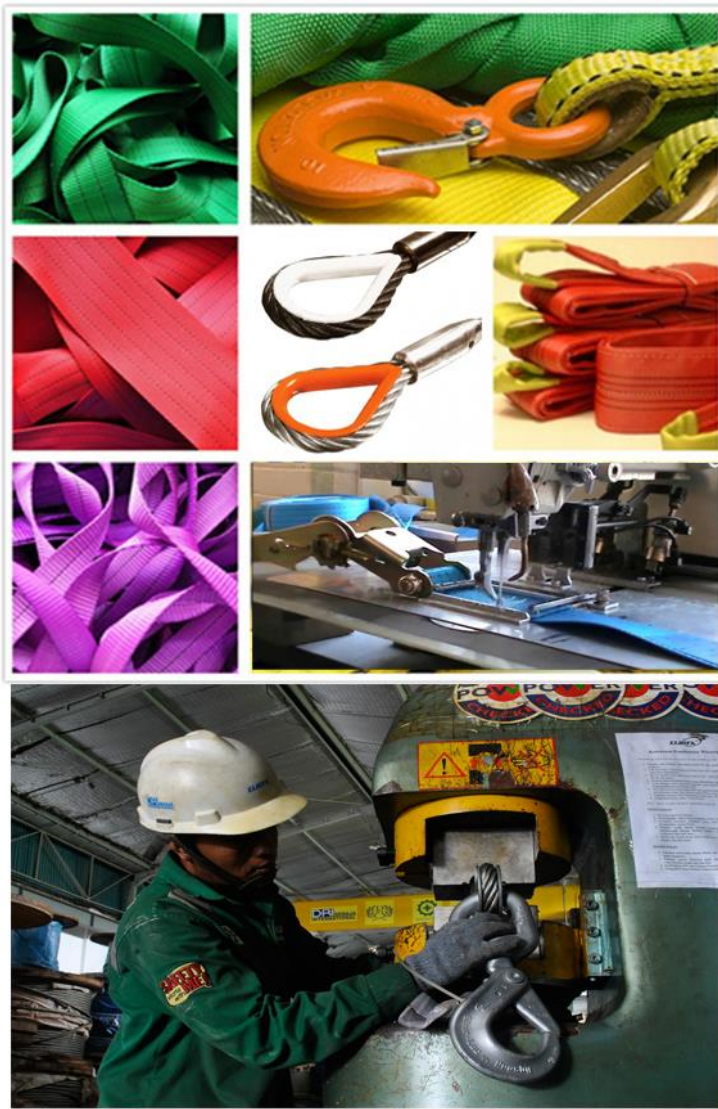
Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

**) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

***) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SQUARE PILES





**RIGGING
&
LIFTING
SPECIALISTS**

GENERAL LIFTING CATALOG

DRI WIREROPE Sling
Cat 211





REAL-WORLD SOLUTIONS INSPIRED BY YOUR VISION

"**Keunggulan Teknis:** Kami memiliki keyakinan bahwa proyek dan tantangan rekayasa yang terkait didalamnya ditangani secara tepat sejak awal. Percayakan kebutuhan Rigging, Lifting dan alat angkat Anda pada kemampuan dan keahlian kami"

- Analisa Rekayasa dan pengembangan yang handal
- Fasilitas testing mekanik yang baik
- Fokus sebagai Solution Provider
- Pelatihan dan pengembangan kompetensi yang berkesinambungan

Elhifa spesialisasi dalam perancangan, pembuatan, distribusi, pengujian, sertifikasi dan pemeriksaan peralatan angkat dan produk terkait. Dalam Sektor bisnis ini, kami terus berusaha untuk menerapkan "Keunggulan Teknis" di segala sesuatu yang kami lakukan.

Kami terus fokus dan tanpa kompromi demi pemenuhan keselamatan. Ini merupakan bagian integral dari bisnis kami, yang ditunjukkan oleh manajemen dan personel dalam proses memastikan terlaksananya system K3L dalam sektor bisnis yang kami miliki.

INOVASI dan PENGEMBANGAN

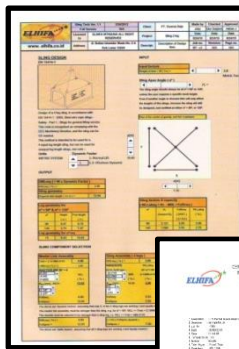


Hubungi Kami: **+62-21-7294788** sales@elhifa.co.id



Fabrication Capabilities

- Kami percaya dengan kualitas material yang prima, proses produksi yang berstandar tinggi, peralatan produksi yang terjaga dan pekerja yang terlatih baik maka kami yakin bahwa produk fabrikasi sling yang kami produksi dapat dipercaya dan berstandar tinggi.
- Dalam mendukung produksi peralatan angkat dan perangkat pendukungnya (Rigging Products), Kami memiliki peralatan QC yang terbaik saat ini di Indonesia dengan system pengujian beban komputerisasi.



Wire rope SLING

Setiap sling mengikuti pengujian kualitas yang ketat

Sling DRI menggunakan tali kawat baja sesuai SNI 0076:2008 dan EN12385

Produk Sling memiliki Certificate of Conformity

Sling DRI sesuai standar EN 13414 dan ASME B.30.9

Pengetesan ketat dengan Uji Putus Beban sesuai ketentuan EN

Sling di inspeksi secara individual dan melewati uji kelayakan

Panjang Produk dapat di sesuaikan dengan kebutuhan pelanggan

Terminasi Sling tali kawat baja mengacu pada standar EN 13411

Memenuhi ketentuan Normalisasi Eropa (CE)

WARNING:

Never exceed Working Load Limit

SLING TALI KAWAT BAJA

Kami spesialisasi dalam memmanufaktur sling tali kawat baja dalam berbagai macam konstruksi dan untuk berbagai macam aplikasi. Kami memiliki peralatan untuk pengepresan tali kawat baja sampai diameter 60 mm. Seluruh sling diproduksi sesuai peraturan umum manufaktur yang berpedoman pada BS EN 12385 dan mengacu pada SNI 0076:2008. Kapasitas angkat beban atau Working load limit (WLL) berpedoman pada BS-EN 13414-1:2008.

Steel Core (Inti Besi) Class 6x19, Class 6x36 Kawat baja Kelas 1960								
Ukuran Nominal Diameter mm	6 x 19	6 x 36	1960	SINGLE LEG (WLL Te)	2 Kaki		3 & 4 Kaki	
	Kira kira Berat kg/100m	Kira kira Berat kg/100m	Grade MBL Te		Sudut Kaki		Sudut Kaki	
					0 - 45	45 - 60	0 - 45	45 - 60
					WLL Te	WLL Te	WLL Te	WLL Te
8	25.6	26.2	4.56	0.82	1.15	0.82	1.72	1.23
9	32.4	33.1	5.76	1.04	1.45	1.04	2.18	1.56
10	40	40.9	7.12	1.28	1.79	1.28	2.69	1.92
(11)	48.4	49.5	8.61	1.55	2.17	1.55	3.25	2.32
12	57.6	58.9	10.2	1.84	2.57	1.84	3.86	2.75
13	67.6	69.1	12	2.16	3.02	2.16	4.54	3.24
(14)	78.4	80.2	14	2.52	3.53	2.52	5.29	3.78
16	102	105	18.3	3.29	4.61	3.29	6.92	4.94
18	130	133	23.1	4.16	5.82	4.16	8.73	6.24
19	144	148	25.7	4.63	6.48	4.63	9.71	6.94
20	160	164	28.5	5.13	7.18	5.13	10.77	7.70
(21)	176	----	31.4	5.65	7.91	5.65	11.87	8.48
22	194	198	34.5	6.21	8.69	6.21	13.04	9.32
24	230	236	41	7.38	10.33	7.38	15.50	11.07
26	270	276	48.1	8.66	12.12	8.66	18.18	12.99
28	314	321	55.8	10.04	14.06	10.04	21.09	15.07
(29)	336	----	59.9	10.78	15.09	10.78	22.64	16.17
32	410	419	72.9	13.12	18.37	13.12	27.56	19.68
(35)	490	501	87.2	15.70	21.97	15.70	32.96	23.54
36	518	530	92.2	16.60	23.23	16.60	34.85	24.89
38	578	591	103	18.54	25.96	18.54	38.93	27.81
(40)	640	654	114	20.52	28.73	20.52	43.09	30.78
44	774	792	138	24.84	34.78	24.84	52.16	37.26
48	922	942	164	29.52	41.33	29.52	61.99	44.28
52	1080	1110	193	34.74	48.64	34.74	72.95	52.11
54	1170	1190	207	37.26	52.16	37.26	78.25	55.89
56	1250	1280	223	40.14	56.20	40.14	84.29	60.21
60	1440	1470	256	46.08	64.51	46.08	96.77	69.12

Working load limits (WLL) dari sling menggunakan inti baja dari kelas tai baja 6x19, 6x36 dan 8x36, dan memiliki terminasi ferule yang di press.

Marking (Label)

Setiap sling yang difabrikasi harus distempel atau memiliki label identifikasi dengan mencantumkan informasi seperti dibawah ini:

- Identifikasi dar manufaktur atau supplier
- WLL dari sling satu kaki atau multi kaki yang sesuai
- Tanggal dan kode produk

Catatan atas table diatas

- Tabel sling dengan system pengepressan ferrul dan WLL termasuk faktor reduksi sebesar 0.9.
- Tabel diatas dapat digunakan untuk pemakaian sling general dan disesuaikan dengan faktor rancangan 5:1.
- Apabila sling digunakan penggunaan pengangkatan dinamis yang tidak umum maka kapasitas angkat sling haruslah dikurangi.
- Tali kawat baja harus terlindungi dari benda tajam.
- Terminasi tidak boleh tertekuk dibagian ujungnya atau mengenai sudut siku.
- Untuk sling dengan tipe terminasi lainnya, harus disesuaikan dengan faktor reduksi yang tepat.

Tipe pengangkatan dengan Sling tali baja

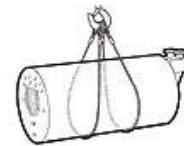
Cradle Slings

Contoh: Pengangkatan coils, strip besi, dll.
Basket Hitch SWL = 1.4 x WLL dari sling
Proteksi tali baja dari sudut yang tajam.



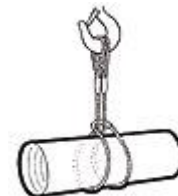
Cradle Slings (Double Basket)

Contoh: Angkat boilers dan barang yg dibungkus dll.
Double Basket Hitch SWL = 2.1 x WLL dari sling.



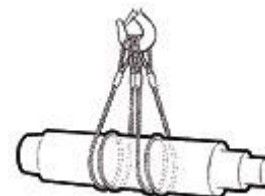
Halshing Slings

Metode pengangkatan ini menggunakan sling satu kaki dan di lingkarkan ke barang tersebut menyerupai endless sling.
Double dan Choked. SWL = 1.6 x WLL of sling.



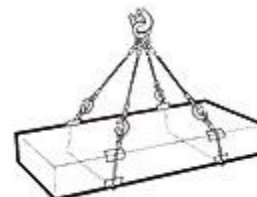
Double Wrap Slings

Pengangkatan ini melingkari barang di tiap kaki berganda sehingga membantu pengangkatan aman sehingga tidak mudah untuk tergelincir.
Double Wrap Basket Hitch SWL = 2.1 x WLL of sling.



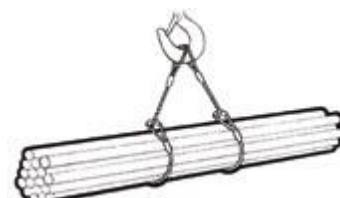
Sling Kombinasi

Contoh: Pengangkatan lembaran baja, kayu dan barang yang di pak, dll. Catatan: Sudut Maksimum antara kaki adalah 90°



Reeving Slings

Lifting tubes, bars and rods, etc.
Double Choke Hitch SWL = 1.1 x WLL of sling.



Alat bantu angkat

INSTRUKSI OPERASI UNTUK SLING TALI KAWAT BAJA



BAHAYA

- Hindari cedera atau kematian! Teliti sling sebelum penggunaan!
- Apabila sling sudah terkoyak, sling dalam kondisi BERBAHAYA !
JANGAN DIGUNAKAN! Keluarkan sling dari penggunaan SEGERA.



Hati Hati

- Produk ini harus digunakan hanya bagi personil yang terlatih.
- Baca dan mengerti Instruksi penggunaan sebelum menggunakan produk angkat.

Instruksi penggunaan dan peringatan

DRI DERAJA
INTERNATIONAL

Sling Tali Kawat Baja

Untuk mengetahui lebih lanjut harap menghubungi kami dan distributor kami agar dapat memberikan pengarahannya dan penggunaan lebih lanjut atas produk sling yang anda gunakan.

Inspeksi sebelum penggunaan

Sling tentunya akan menurun fungsinya disebabkan oleh abrasi, kawat putus, kehilangan pelumasan, karat, gesekan antar kawat. Kerusakan tidak selalu mudah untuk diidentifikasi. Kerusakan umum akan dibahas di bagian ini.

Inspeksi sebelum penggunaan sling harus dilakukan dan berpatokan terhadap bagian dibawah ini:

1. Periksa identifikasi atau label sling dan pastikan WLL dari sling tepat, terlihat dan sesuai.
2. Periksa mata sling dari kerusakan, kink, kawat putus, karat atau kelelahan yang berlebihan.
3. Periksa puntiran kawat se-efektif mungkin dari permukaan tali kawat baja.
4. Periksa fitting sling dan aksesorisnya dari korosi, deformasi, keletihan dan kerusakan lainnya.
5. Periksa Sling dari kemungkinan kerusakan panas. Biasanya Nampak dari perubahan warna dari kawat.

Tipe Kerusakan

- Tali kawat baja bisa rusak dan berbagai macam penyebabnya mulai dari kerusakan permukaan, abrasi, kawat putus, kerusakan internal, karat, terpuntir, mata yang gepeng karena tergecet dan kerusakan karena pemakaian lainnya.
- Pengangkatan beban yang berlebihan dari tali kawat baja bisa diidentifikasi dari getas nya kawat, stretching dan perubahan diameter dari tali kawat baja.
- Kerusakan permukaan bisa terjadi akibat dari penyeretan sling lewat permukaan yang kasar. Hal ini lebih mudah diketahui terutama dengan membandingkan penampakan permukaan dengan sling yang baru. Puntiran kawat dibagian luar akan terlihat terluka, gepeng dan terjadi kerusakan permukaan.
- Abrasi terlokalisir dapat disebabkan karena sling bersentuhan dengan siku tajam pada saat penggunaan. Hal ini dapat menyebabkan pengurangan kekuatan sling secara signifikan. Perlindungan sling dari terpotong, terluka dan benda menonjol sangat penting serta dapat memperpanjang nilai ekonomis dari sling.
- Korosi disebabkan oleh kelembapan dan terinduksi oleh asam alkali, kimia lainnya, debu, dan faktor lingkungan lainnya.
- Temperatur tinggi yang sering ditemukan pada industry peleburan, smelter, pengecoran besi dan fabricator besi lainnya dapat mengurangi kekuatan dan keamanan penggunaan sling.
- Perubahan bentuk dan deformasi dari fitting atau aksesoris lainnya terhitung berbahaya dan sling tidak boleh digunakan.

Slings yang tidak boleh digunakan kembali

- Keputusan untuk tidak menggunakan sling harus didasari oleh pengecekan kondisi sling tersebut. Apabila ada keraguan dari keamanan penggunaan sling hendaknya sling tersebut jangan digunakan.
- Kerusakan kecil pada kawat bagian luar dapat dihiraukan, namun apabila kerusakan pada strand atau bahkan lebih,, hendaknya sling jangan digunakan
- Sling yang dikejutkan, overload dalam kondisi terbelit harus dihancurkan dan jangan dipakai kembali.
- Apabila sling tali kawat baja terpuntir secara permanen, ini dapat berpotensi berbahaya dalam pengangkatan dan menyebabkan pengangkatan tidak stabil maka sling tersebut jangan digunakan.

Perawatan saat penggunaan

Sling tali kawat baja sangat lah mudah untuk kinking (Terpelintir), abrasi dan kerusakan mekanis sehingga penanganan yang benar diperlukan sehingga sling terproteksi dari kemungkinan kerusakan. Beberapa cara pengamanan dalam penggunaan sling tali kawat baja adalah sbb:

1. Jangan pernah melebihi WLL dari sling tali kawat baja. Pastikan bahwa anda mengetahui kapasitas angkat dari sling dengan memperhitungkan konfigurasi pemakaian yang anda ingin gunakan.
2. Pastikan tali kawat baja tidak bersentuhan dengan sudut yang tajam dari beban. Hal ini dapat dipastikan membuat sling menjadi kink dan mengarah pada tidak dapat digunakannya sling tersebut. Apabila obyek beban memiliki sudut tajam maka diperlukannya media proteksi yang dapat menghindari sling dari siku yang tajam.
3. Terminasi dari sling tidak boleh tertekuk disiku dari benda tajam.
4. Radius dari tekukan tali kawat baja (kecuali lekukan dari tumpuan choke hitches) tidak boleh lebih kecil dari 90 derajat atau 5 kali diameter dari tali kawat baja.
5. Penggunaan sling dengan mengetuk sling atau memaksa dengan palu dalam choke hitch sangat lah berbahaya. Biarkan kedudukan tali kawat baja menemukan sudutnya secara alami. Lebih baik menggunakan sling dari sintetis untuk aplikasi tersebut.
6. Jangan pernah mengangkat beban tepat diatas personil atau barang yang berbahaya.
7. Jangan gunakan sling yang disimpul atau terpelintir.
8. Sling tali kawat baja tidak boleh terekspos oleh pengelasan atau cutting torch.
9. Penempatan beban yang tidak tepat dapat merusak sling dan harus dihindari. Beban harus di sangga dengan baik.
10. Disaat menggunakan sling multi kaki, pastikan beban dalam kondisi seimbang sehingga beban ditiap kaki bisa merata.
11. Jangan memendekkan kaki sling dengan menyimpul. Jika titik beban tidak rata maka sling tali kawat baja harus dirancang khusus untuk aplikasi tersebut.



PERINGATAN

- Operator Pesawat angkat harus kompeten mengacu pada Peraturan menteri tenaga kerja dan transmigrasi No. 09/Men/VII/2010
- Efek pelemahan lebih berbahaya atas sling dengan diameter yang lebih kecil. Hal ini disebabkan rasio dari diameter kawat dan penampakan tali kawat baja.
- Inspeksi yang baik dapat mengisolasi penyebab kerusakan dan mendeteksi penyebabnya lebih dini. Hal ini dapat meningkatkan pengamanan dari segi penyimpanan, penanganan, aplikasi dan penggunaan
- Sling yang disimpan tetap harus diinspeksi secara reguler. Sling Apabila perlu dikeluarkan dari sistim apabila sudah terlihat perubahan fungsi
- Sling yang terekspos di lingkungan asam, alkali dan faktor kimia lainnya harus diperiksa secara reguler untuk mengetahui apakah lingkungan tersebut dapat merusak sling dan apabila diperlukan keluarkan sling dari area pemakaian.

QUALITY ASSURANCE

You can always rely on ELHIFA to deliver consistent quality with every order. That's because we have professionals committed to maintaining the most stringent standards in terms of product/services quality, consistency and safety.

We go to great lengths to ensure that our suppliers and our distribution warehouses maintain the highest standards, often above and beyond government regulations. Additionally, we routinely monitor product / service quality and safety systems to ensure compliance and customer satisfaction.

We follow strict rule for SNI, CEN, ASME & API and make sure our product surpass the requirements.



QUALITY CONTROL

We invested in tensile testing machine and electronic digital read out load cells to make sure our finished goods under strict code. We also provide professional services in testing bar, heavy lift sling, chain, lifting and towing gears to all major classification bureaus.

- 1000 KN Universal Tensile Machine
- Break Test , Cycle Test, Hold Test
- Real Time Computerized System
- Proof Load Testing
- Non Destructive Testing Equipment
- Dye Penetrant Test (PT)





Showroom : Jl Sultan Iskandar Muda no 2a Arteri Pondok Indah Jakarta Selatan
Head Office : Jl. Tanah Kusir III No.85 Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12240
Phone : +62.21-7294788, Fax : 7294770 Email : sales@elhifa.co.id

www.elhifa.co.id



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- DAFTAR GAMBAR

SKALA

SATUAN

MILIMETER

**NOMOR
GAMBAR**

**JUMLAH
GAMBAR**

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI

DAFTAR GAMBAR

NO.	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO.	JUDUL GAMBAR	SKALA
1	SITE PLAN	1:3000	16	SAMBUNGAN TITIK 4IC	1:30
2	TAMPAK	1:2000	17	SAMBUNGAN ANTAR TIE BEAM	1:30
3	POTONGAN	1:1800	18	POT BEARING	1:30
4	POTONGAN MELINTANG	1:500	19	TAMPAK ABUTMENT	1:200
5	KODE BATANG	1:900	20	PENULANGAN ABUTMENT	1:125
6	KODE TITIK BUHUL	1:900	21	PENULANGAN PILE CAP ABUTMENT	1:150
7	SAMBUNGAN TITIK 4IA	1:40	22	POTONGAN ABUTMENT	1:80
8	SAMBUNGAN TITIK 40A-35A	1:40	23	POTONGAN ABUTMENT	1:100
9	SAMBUNGAN TITIK 34A-28A	1:40	24	TAMPAK PILAR	1:125
10	SAMBUNGAN TITIK 27A-20A	1:40	25	PENULANGAN PILAR	1:125
11	SAMBUNGAN TITIK 19A-14A	1:40	26	PENULANGAN PILE CAP PILAR	1:150
12	SAMBUNGAN TITIK 4IB	1:40	27	POTONGAN PILAR	1:100
13	SAMBUNGAN TITIK 40B-35B	1:40	28	POTONGAN PILAR	1:100
14	SAMBUNGAN TITIK 34B-28B	1:40	29	PERSPEKTIF	-
15	SAMBUNGAN TITIK 27B-20B	1:40	30	PERSPEKTIF	-

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- SITE PLAN EKSISTING
- SITE PLAN MODIFIKASI

SKALA

1 : 3000

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
1	30

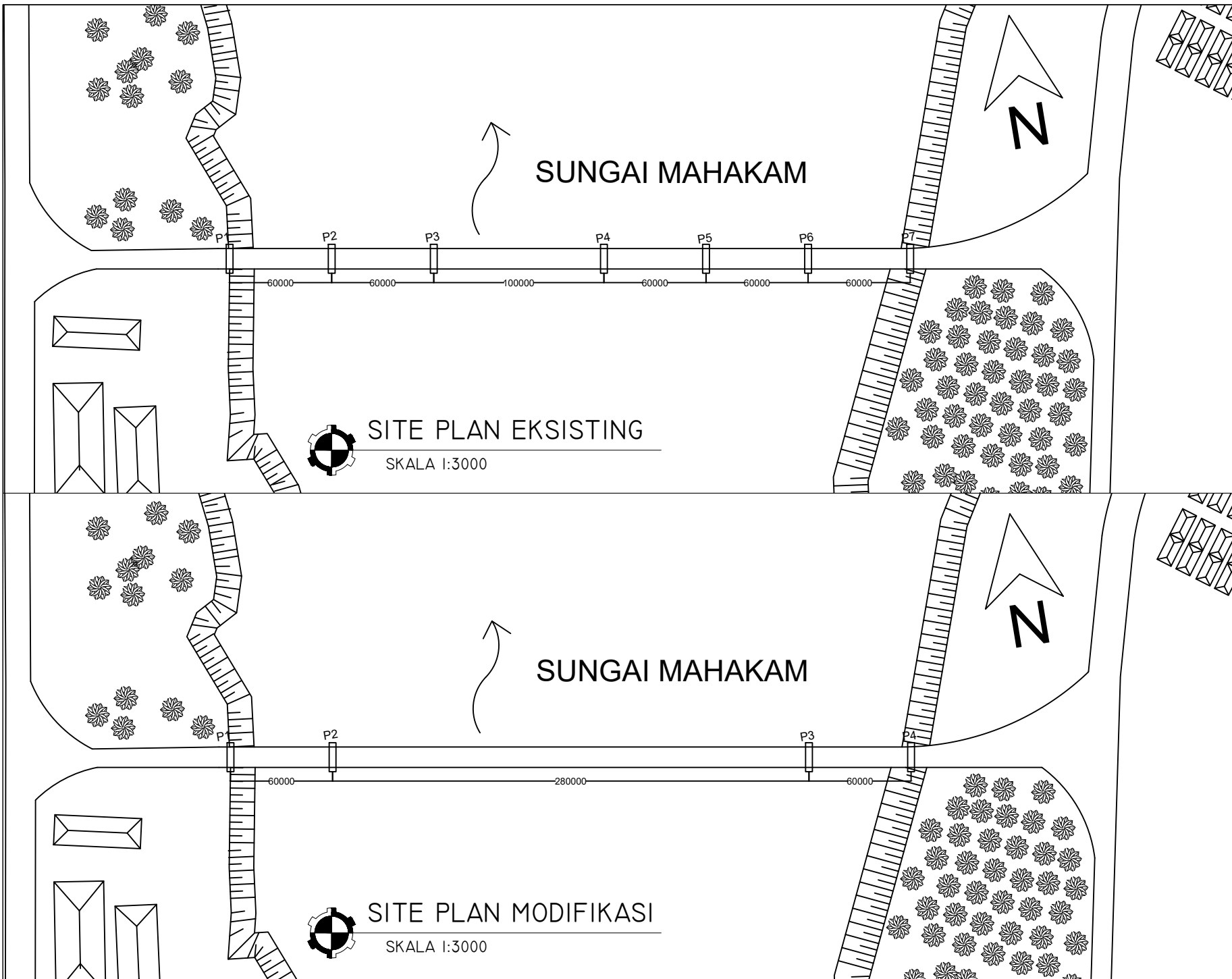
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- TAMPAK MEMANJANG EKSISTING
- TAMPAK MEMANJANG MODIFIKASI

SKALA

1 : 2000

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

2

30

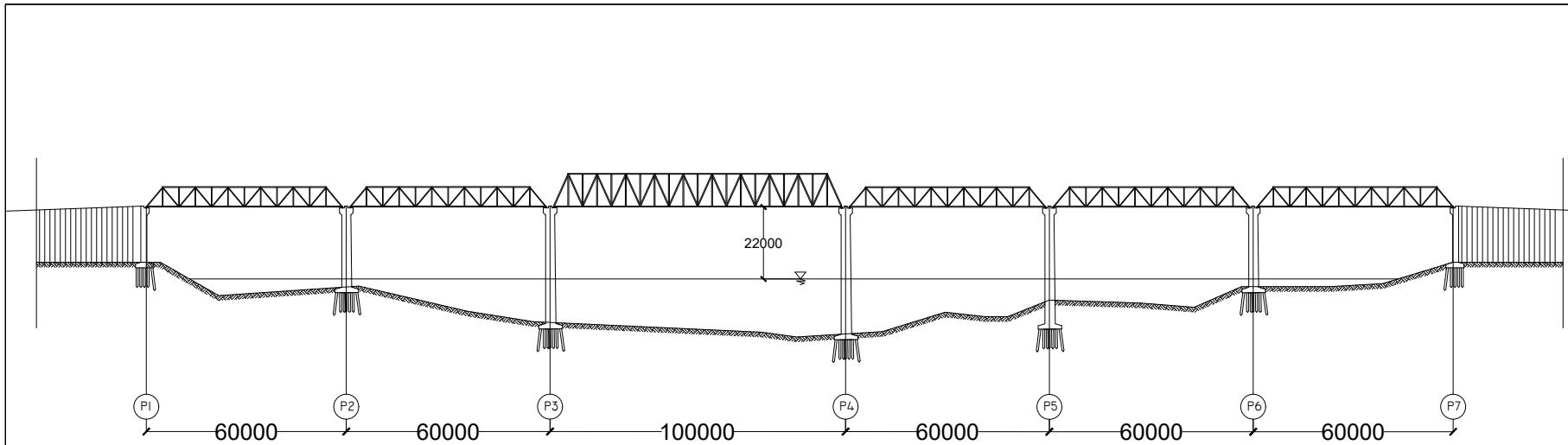
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

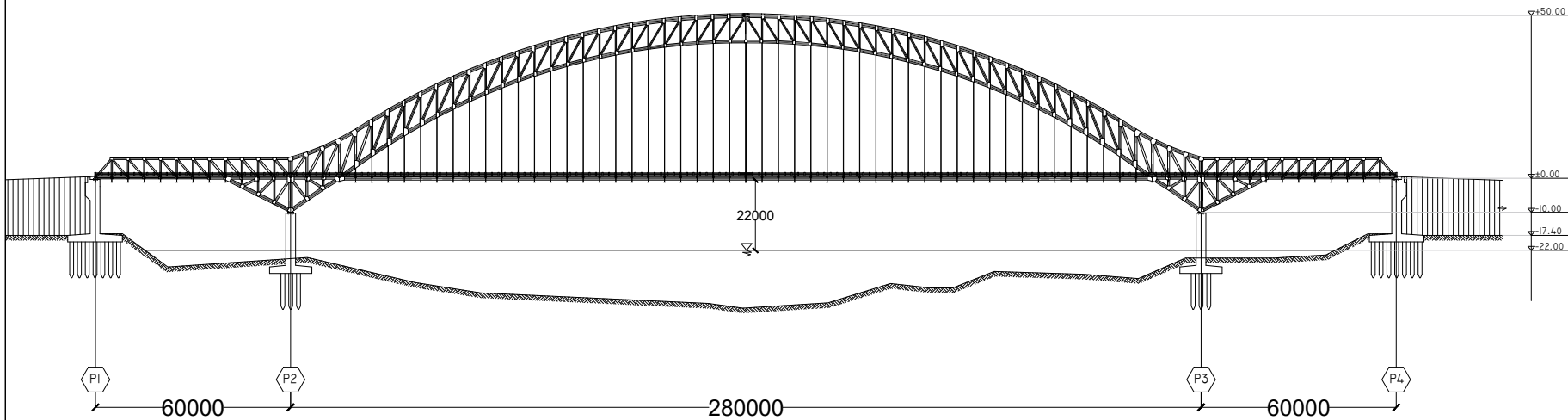
NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



TAMPAK MEMANJANG EKSISTING

SKALA 1:2000



TAMPAK MEMANJANG MODIFIKASI

SKALA 1:2000

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

NAMA GAMBAR

- POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN
- IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN
- IKATAN ANGIN BUSUR ATAS
- IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH

SKALA

1 : 1800

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
3	30

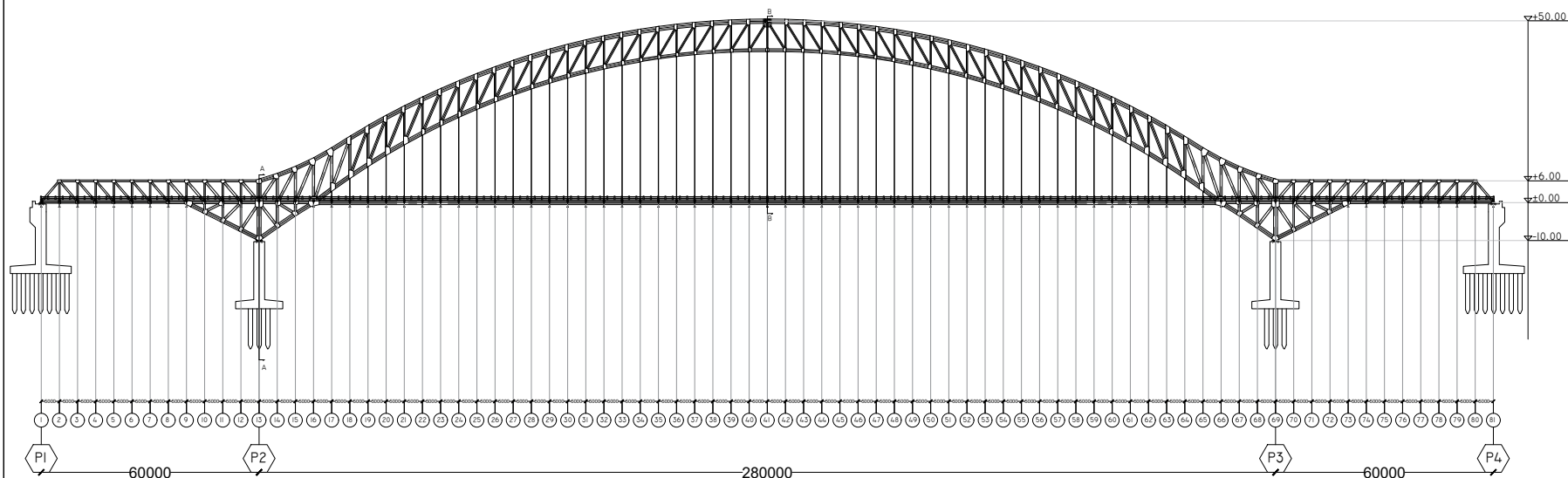
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

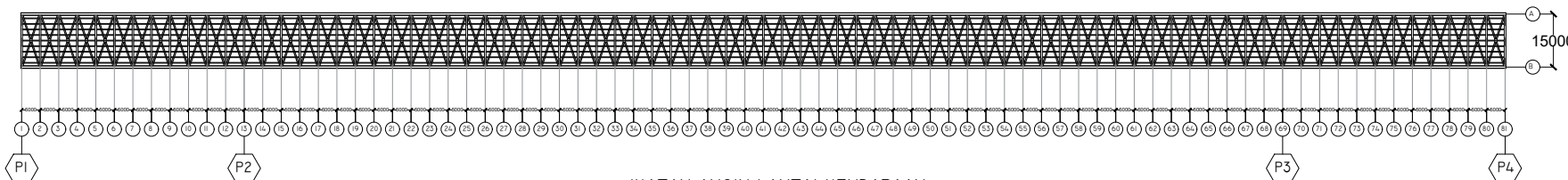
NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

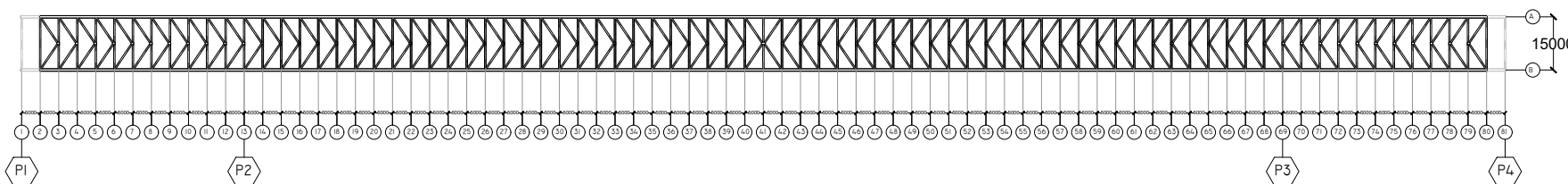
REVISI



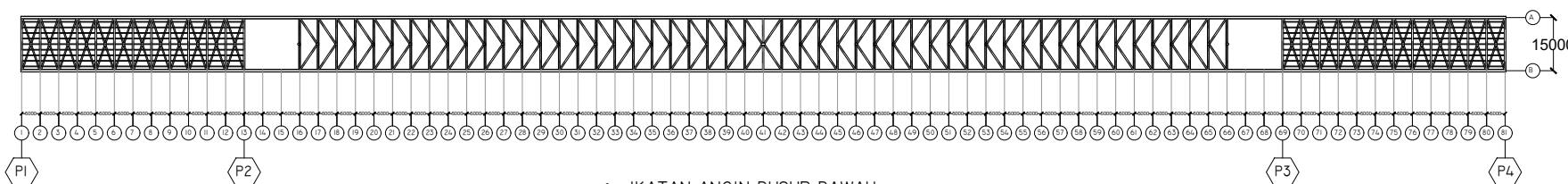
POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN
SKALA 1:1800



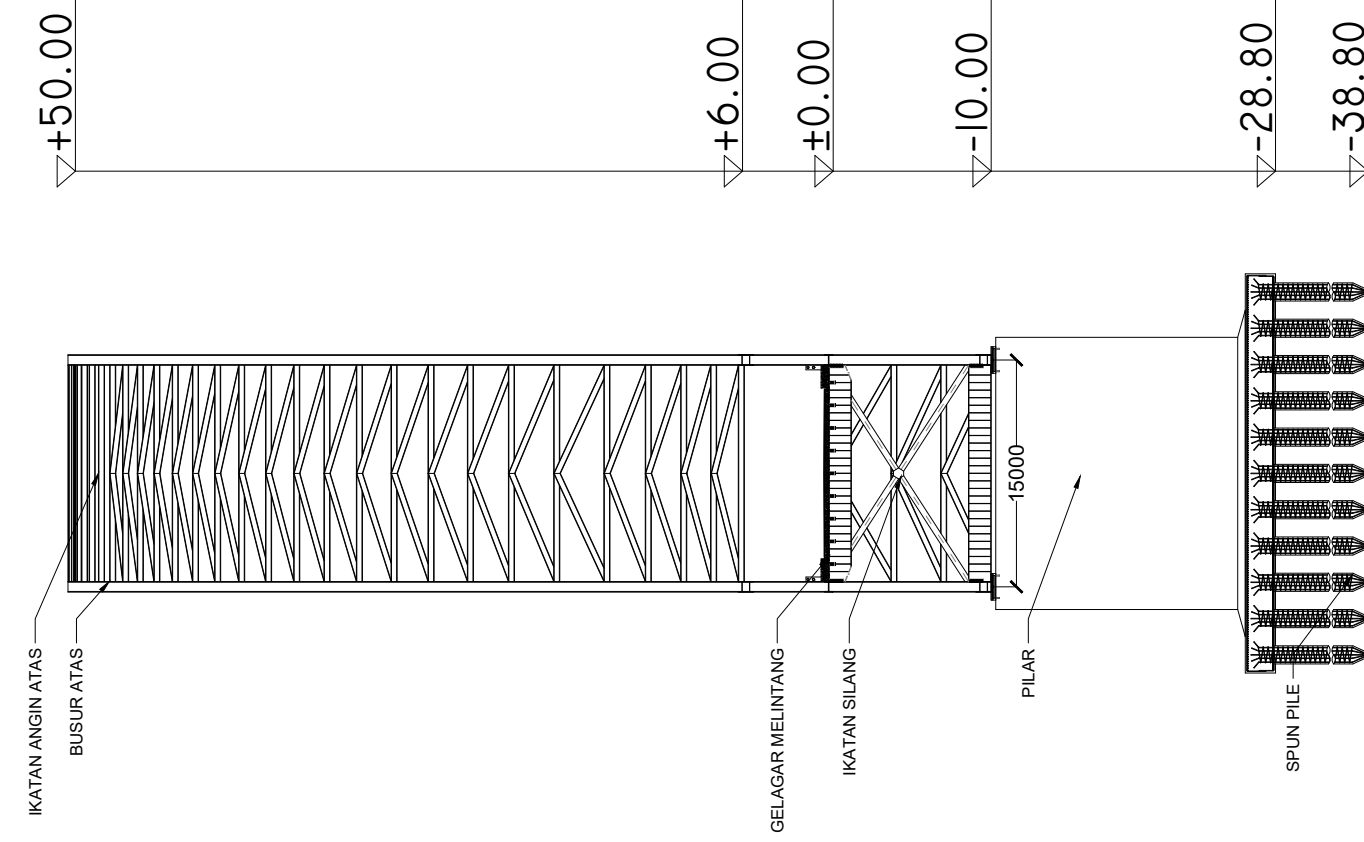
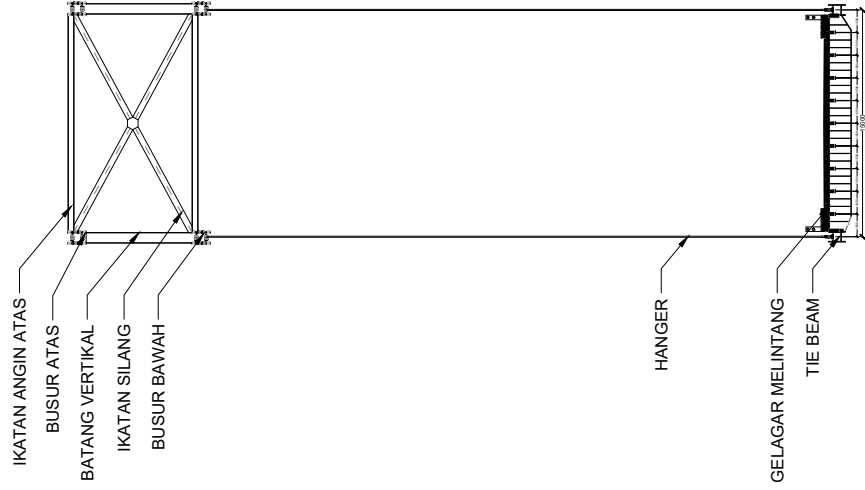
IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN
SKALA 1:1800



IKATAN ANGIN BUSUR ATAS
SKALA 1:1800

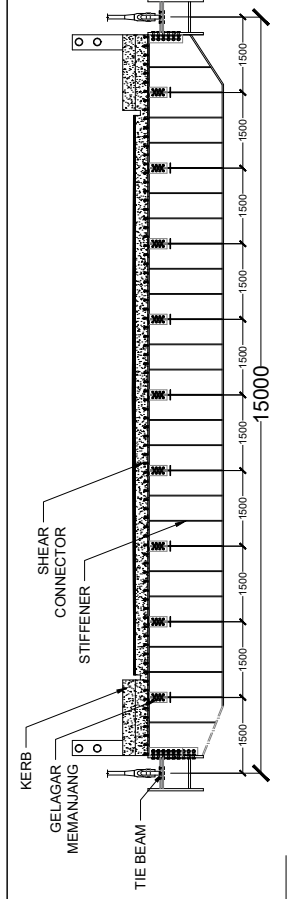


IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH
SKALA 1:1800



POTONGAN MELINTANG B-B
SKALA 1:500

POTONGAN MELINTANG A-A
SKALA 1:500



DETAIL LANTAI KENDARAAN
SKALA 1:500

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

NAMA GAMBAR

- POTONGAN MELINTANG A-A
- POTONGAN MELINTANG B-B

SKALA

1 : 500

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
4	30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA WILDAN
(03111540000070)

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- KODE BATANG RANGKA
UTAMA

SKALA

1 : 900

SATUAN

MILIMETER

**NOMOR
GAMBAR**

5

**JUMLAH
GAMBAR**

30

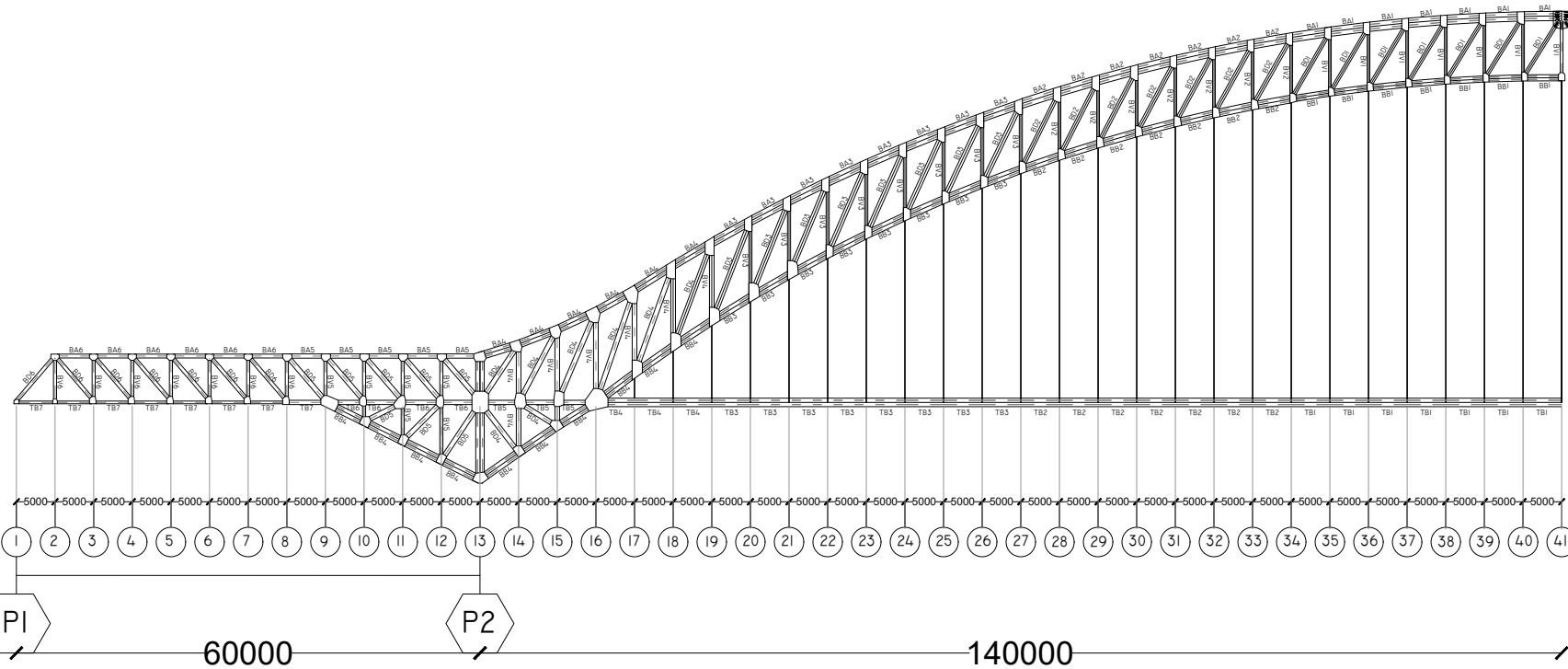
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



KODE BATANG RANGKA UTAMA

SKALA 1:900

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- KODE TITIK BUHUL

SKALA

1 : 900

SATUAN

MILIMETER

**NOMOR
GAMBAR**

6

**JUMLAH
GAMBAR**

30

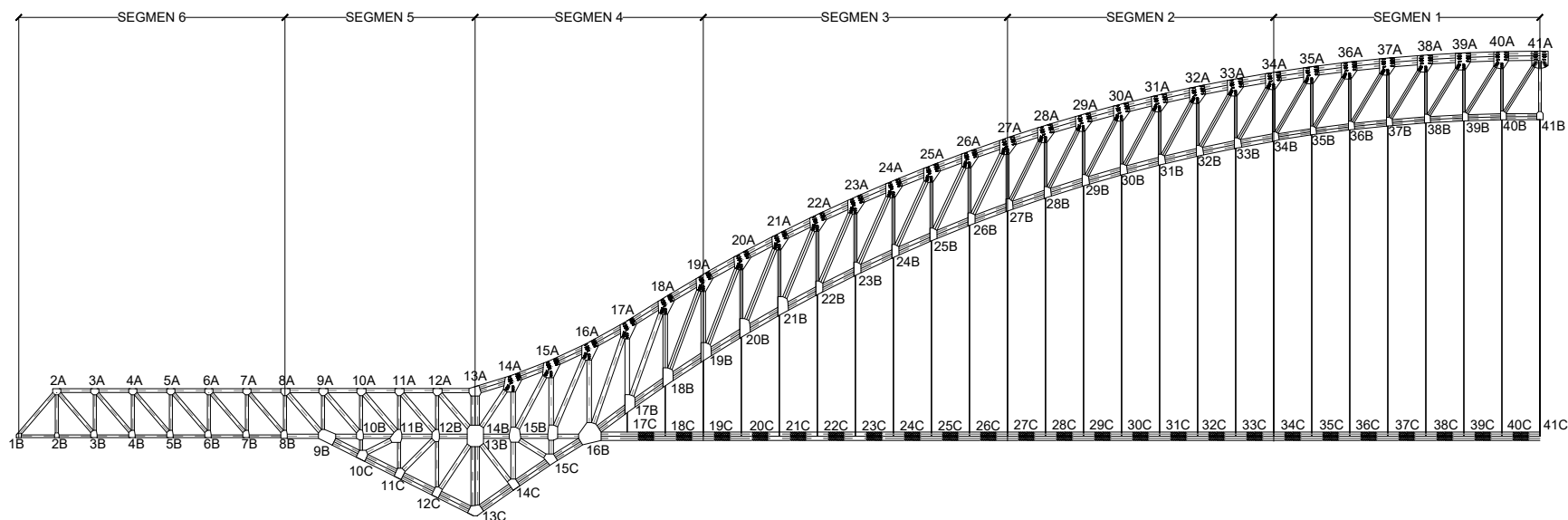
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

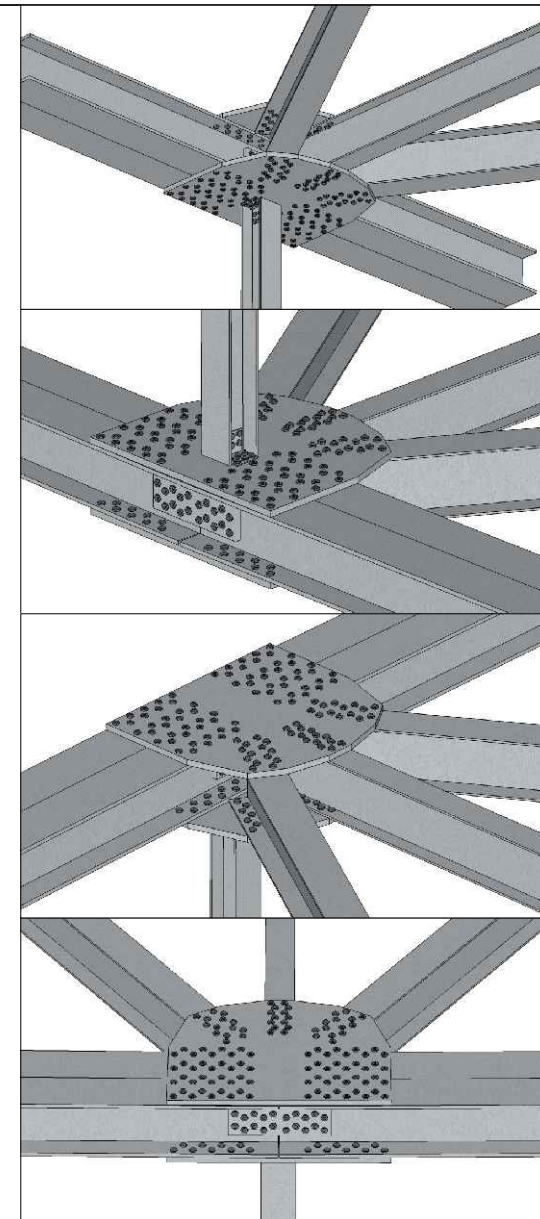
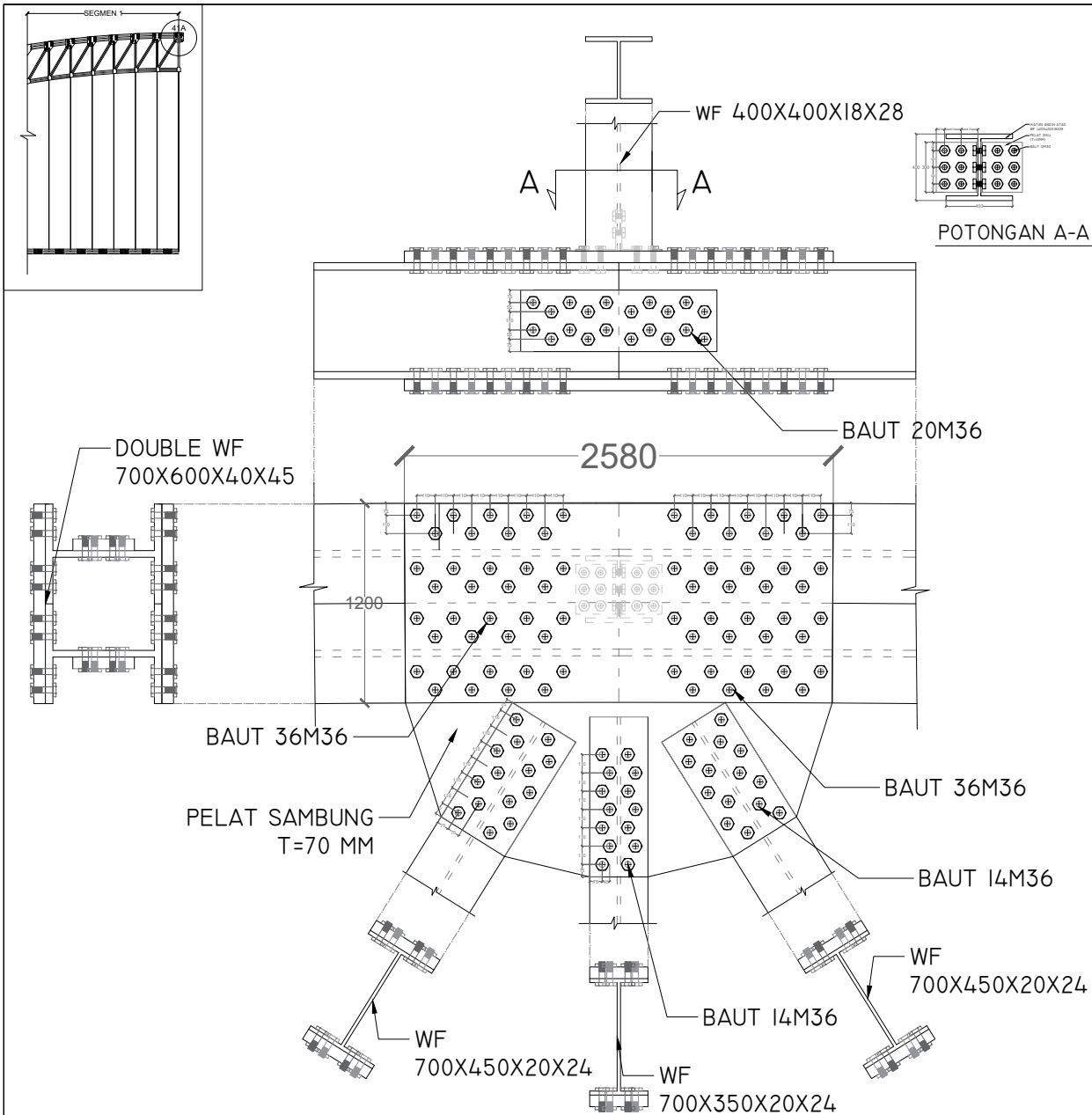
NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(03111540000070)

REVISI



KODE TITIK BUHUL

SKALA 1:900



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK
BUHUL 41A

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

7

30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI

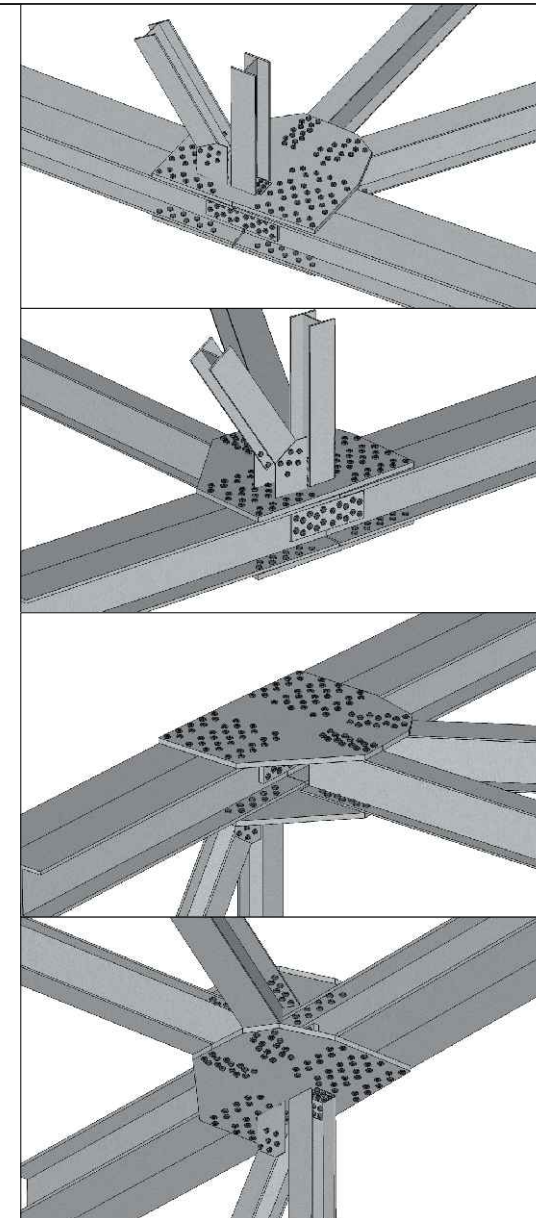
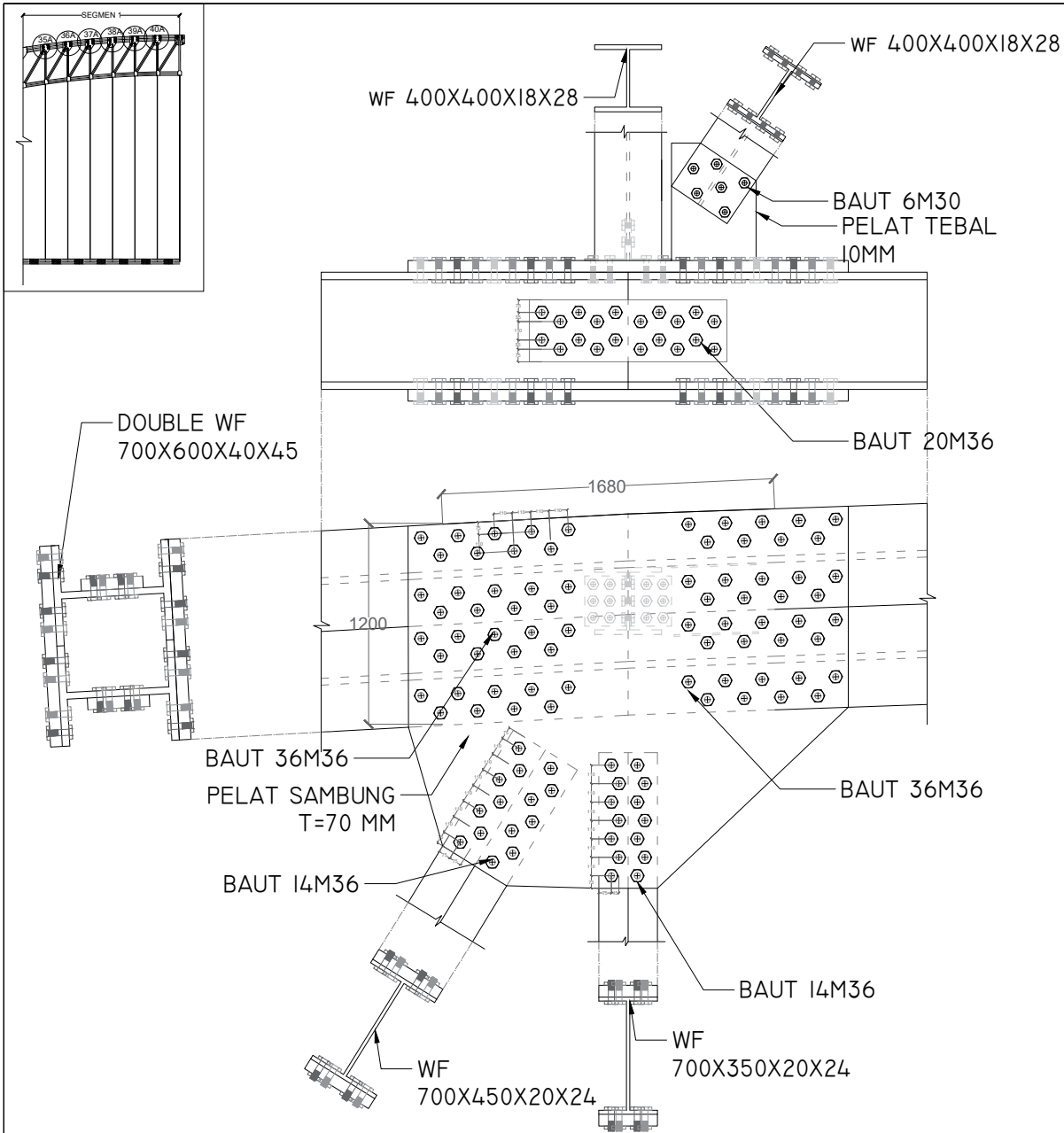


SAMBUNGAN TITIK BUHUL 41A

SKALA 1:40



PERSPEKTIF



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK
BUHUL 40A-35A

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
8	30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI

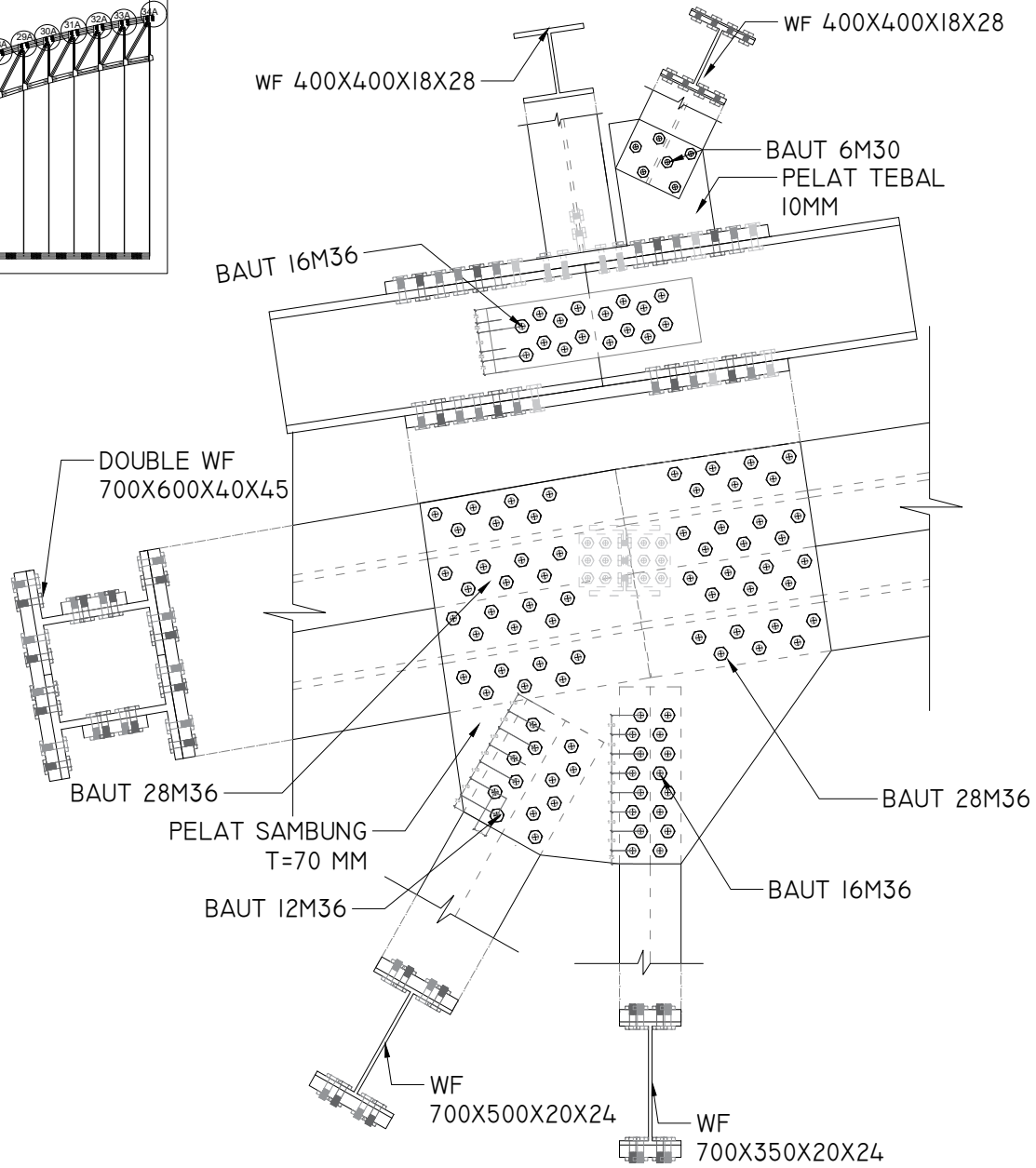
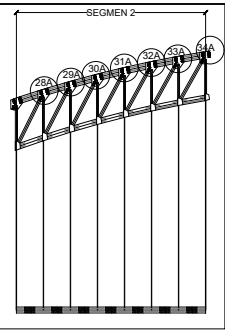


SAMBUNGAN TITIK BUHUL 40A-35A

SKALA 1:40

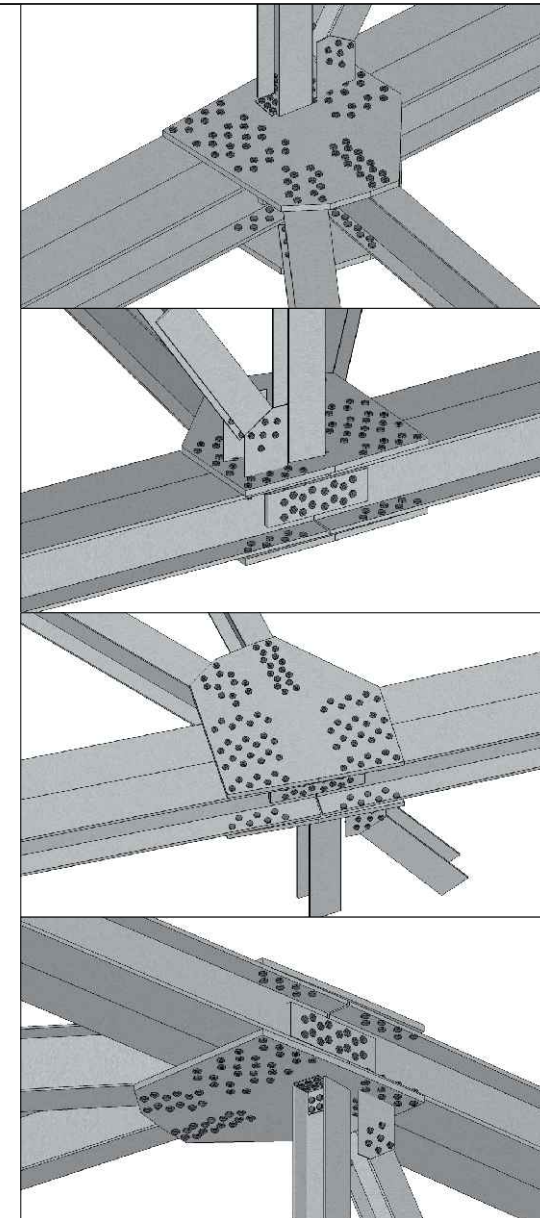


PERSPEKTIF



SAMBUNGAN TITIK BUHUL 34A-28A

SKALA 1:40



PERSPEKTIF



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK BUHUL 34A-28A

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
9	30

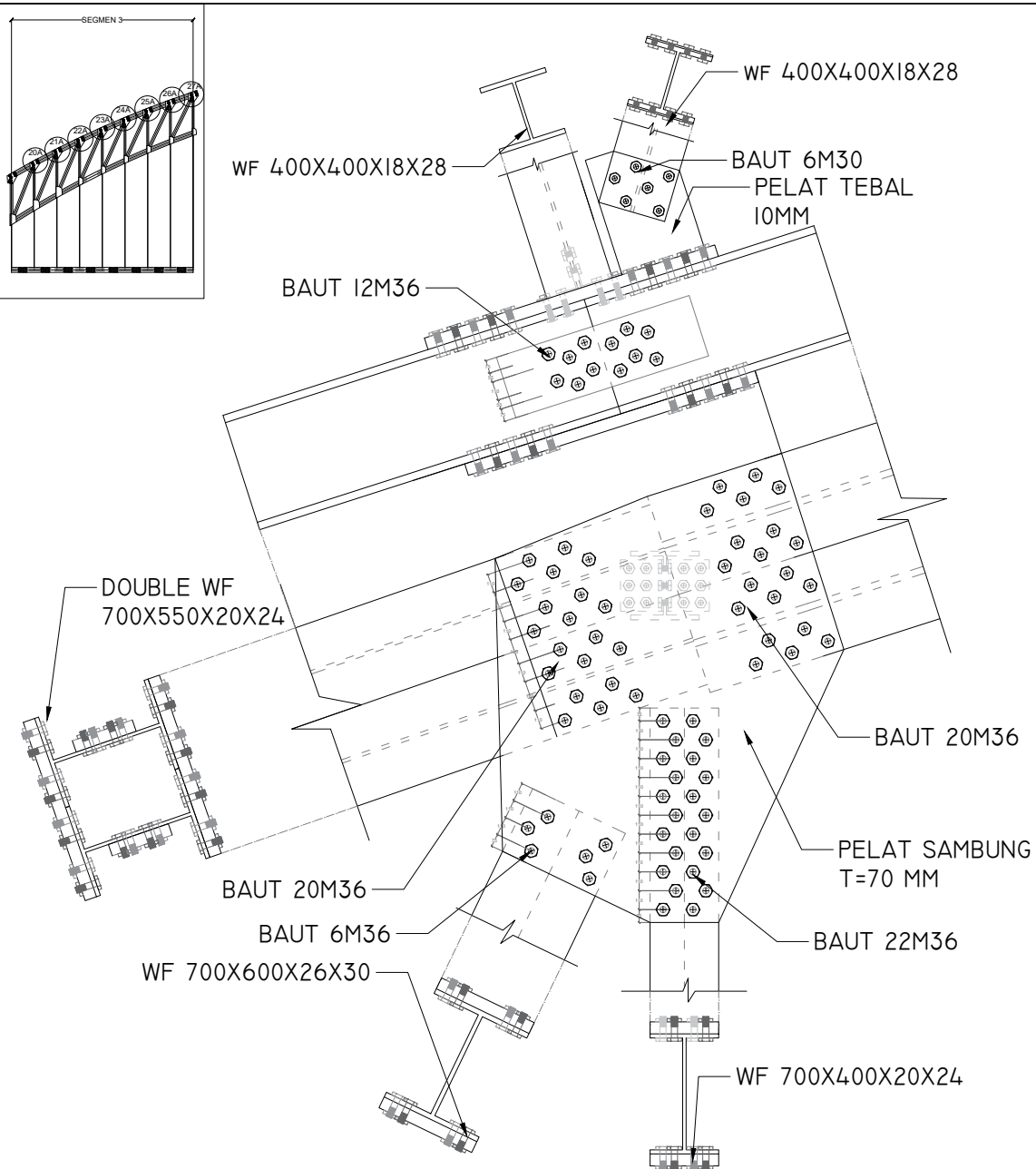
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

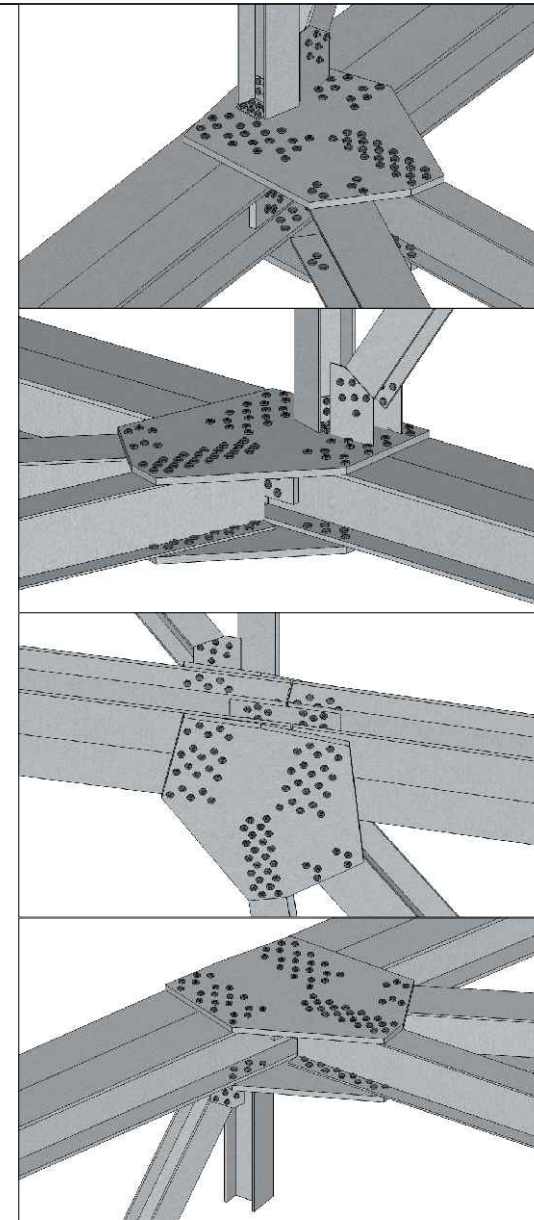
NUGRAHA ALFANDA WILDAN
(0311154000070)

REVISI



SAMBUNGAN TITIK BUHUL 27A-20A

SKALA 1:40



PERSPEKTIF



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK
BUHUL 27A-20A

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
10	30

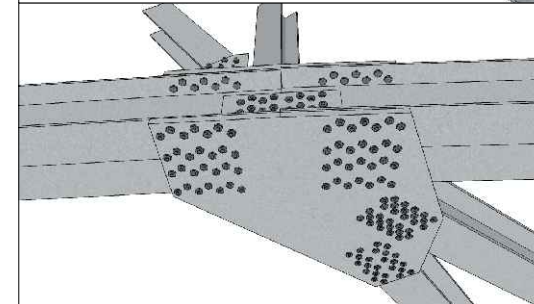
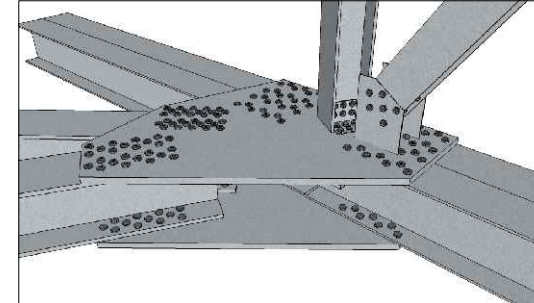
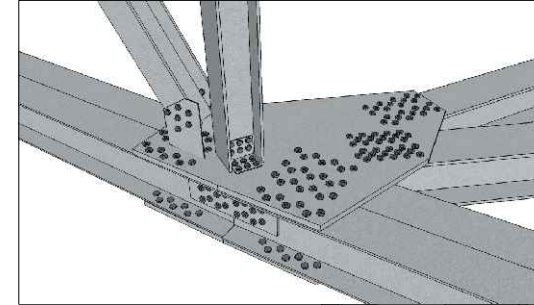
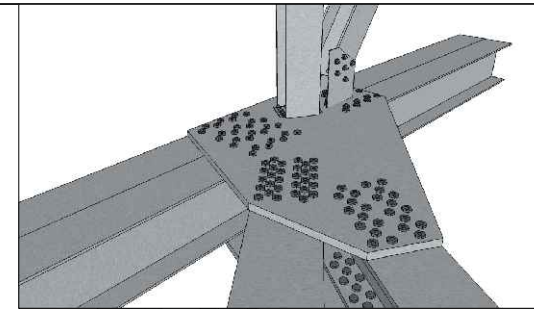
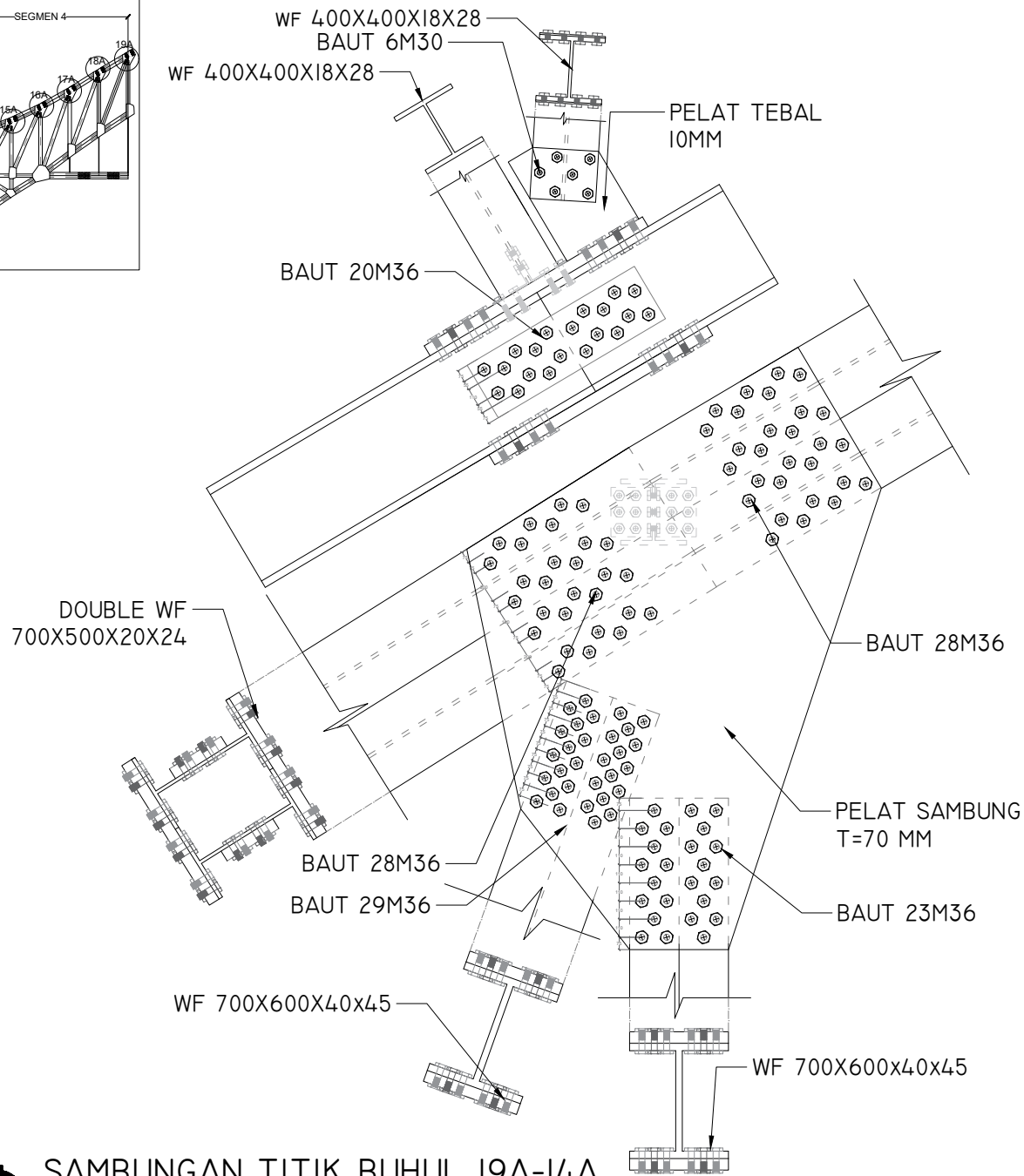
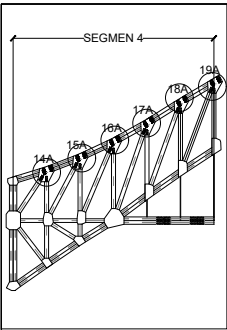
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(03111540000070)

REVISI

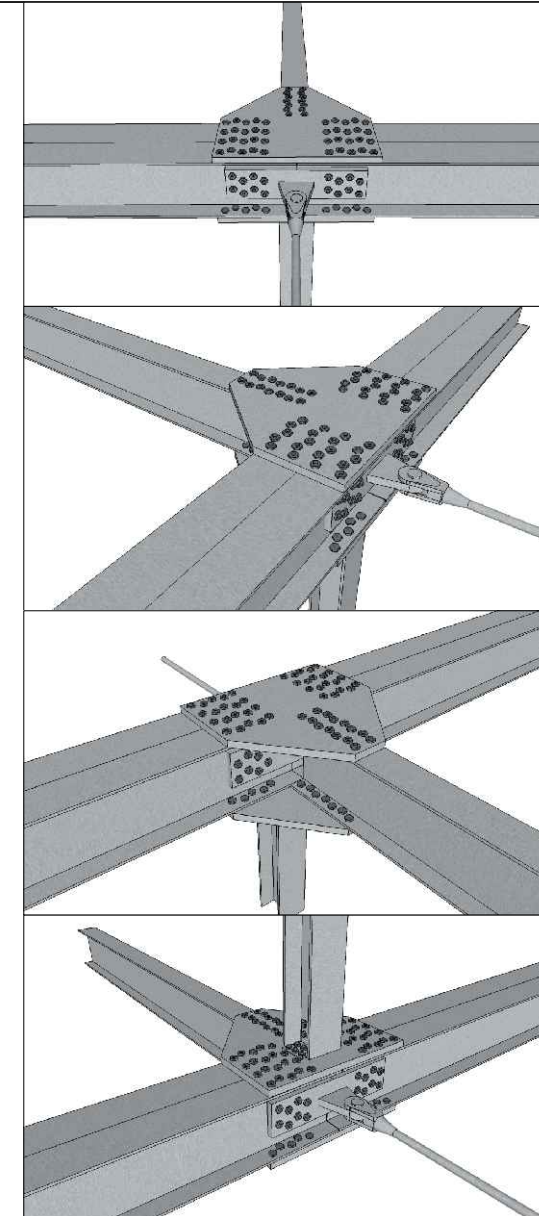
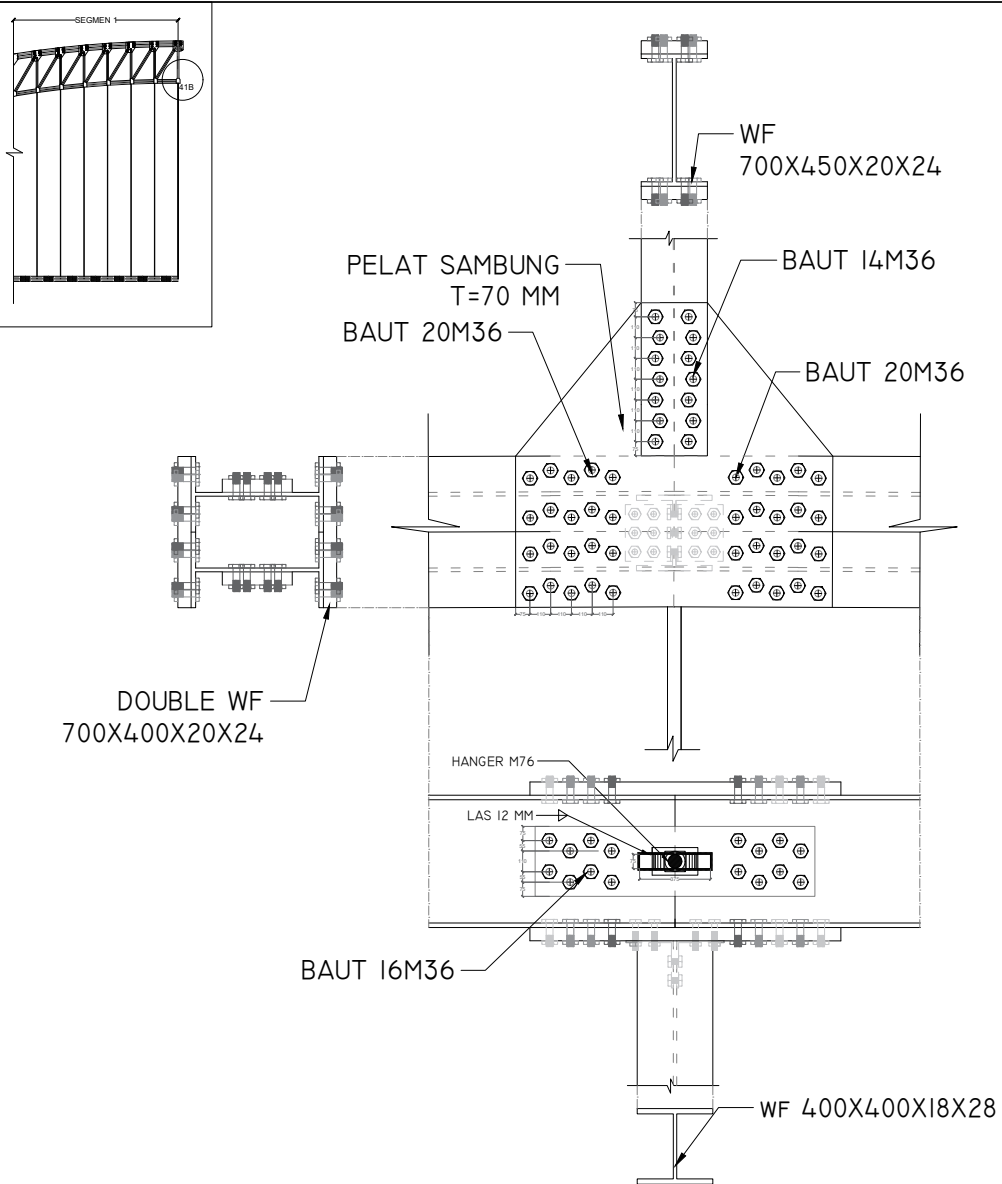


SAMBUNGAN TITIK BUHUL 19A-14A

SKALA 1:40



PERSPEKTIF



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK BUHUL 4IB

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR

12

JUMLAH GAMBAR

30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI

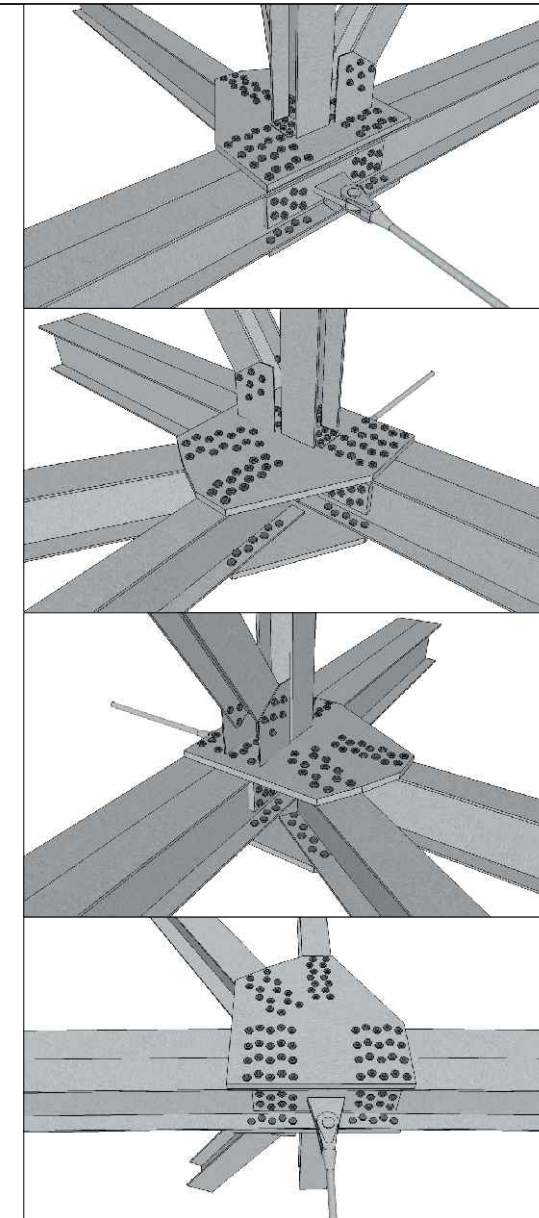
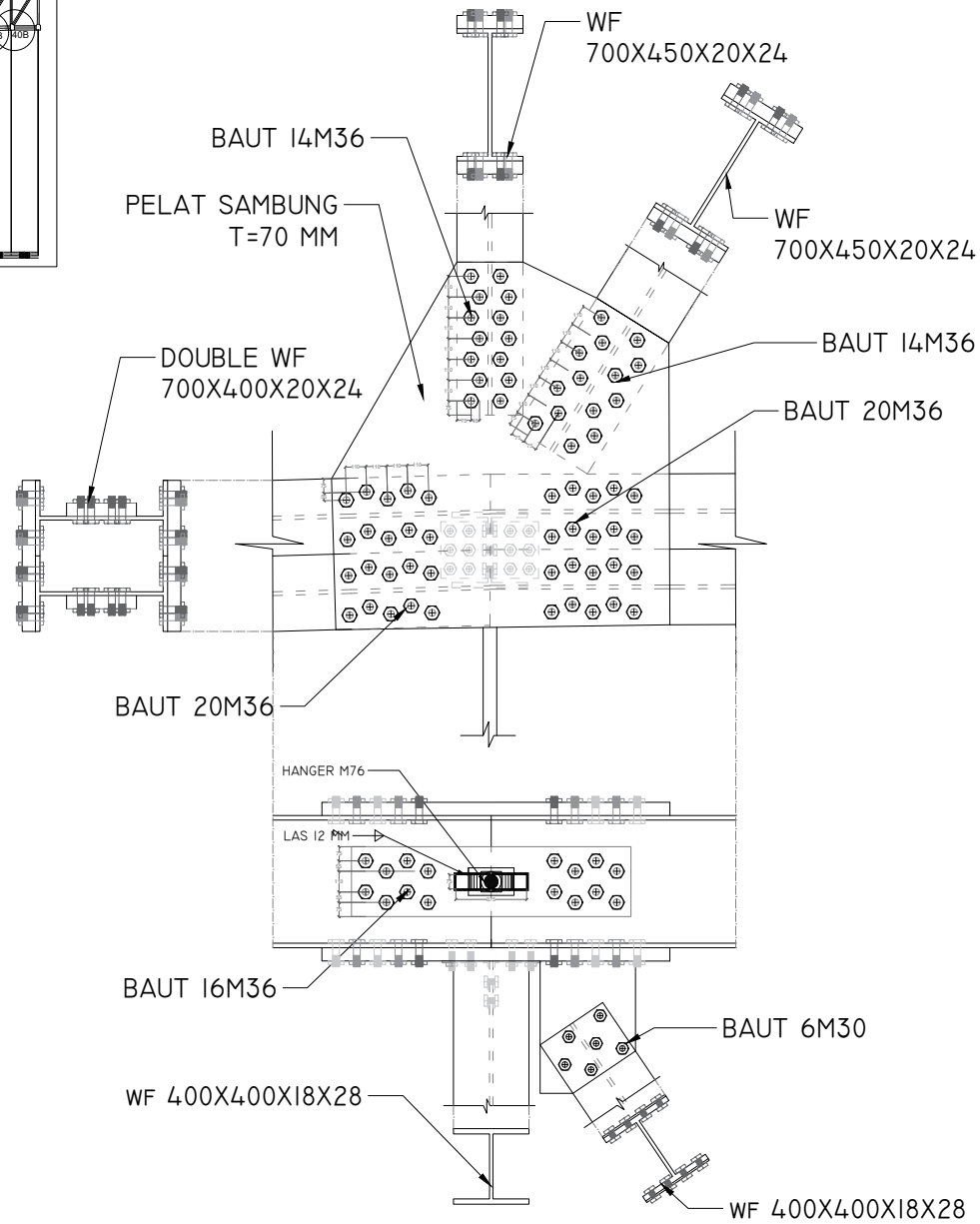
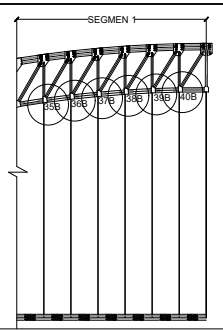


SAMBUNGAN TITIK BUHUL 4IB

SKALA 1:40



PERSPEKTIF



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK BUHUL 40B-35B

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

13

30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA WILDAN
(0311154000070)

REVISI

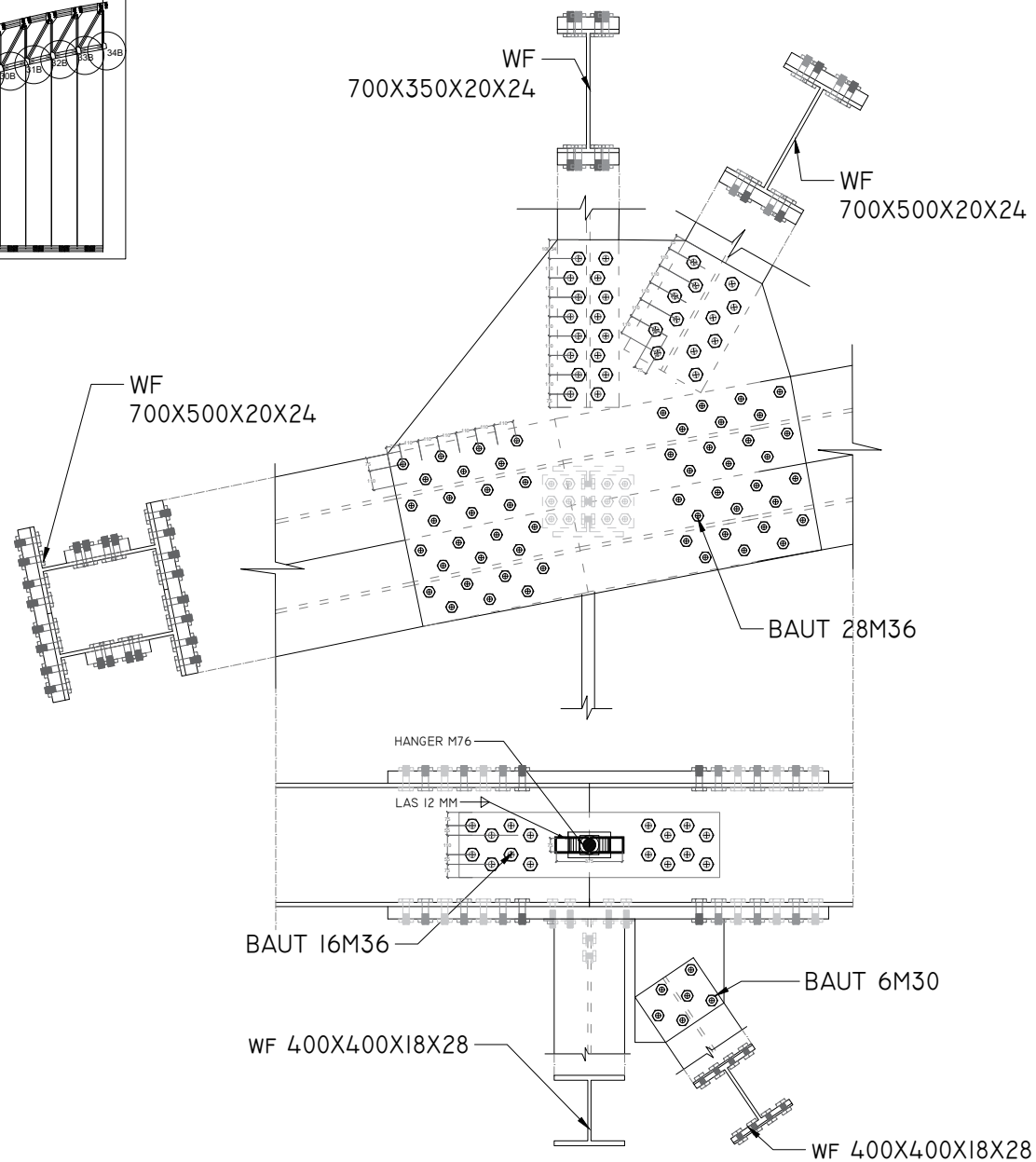
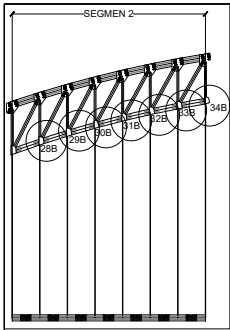


SAMBUNGAN TITIK BUHUL 40B-35B

SKALA 1:40

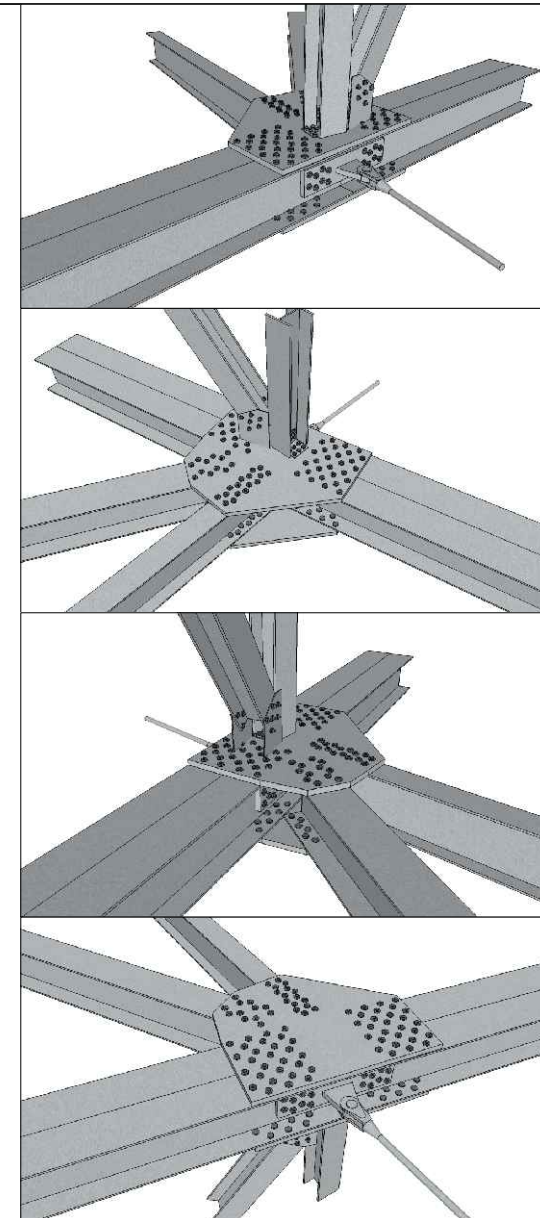


PERSPEKTIF



SAMBUNGAN TITIK BUHUL 34B-28B

SKALA 1:40



PERSPEKTIF



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK BUHUL 40B-35B

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
14	30

DOSEN PEMBIMBING

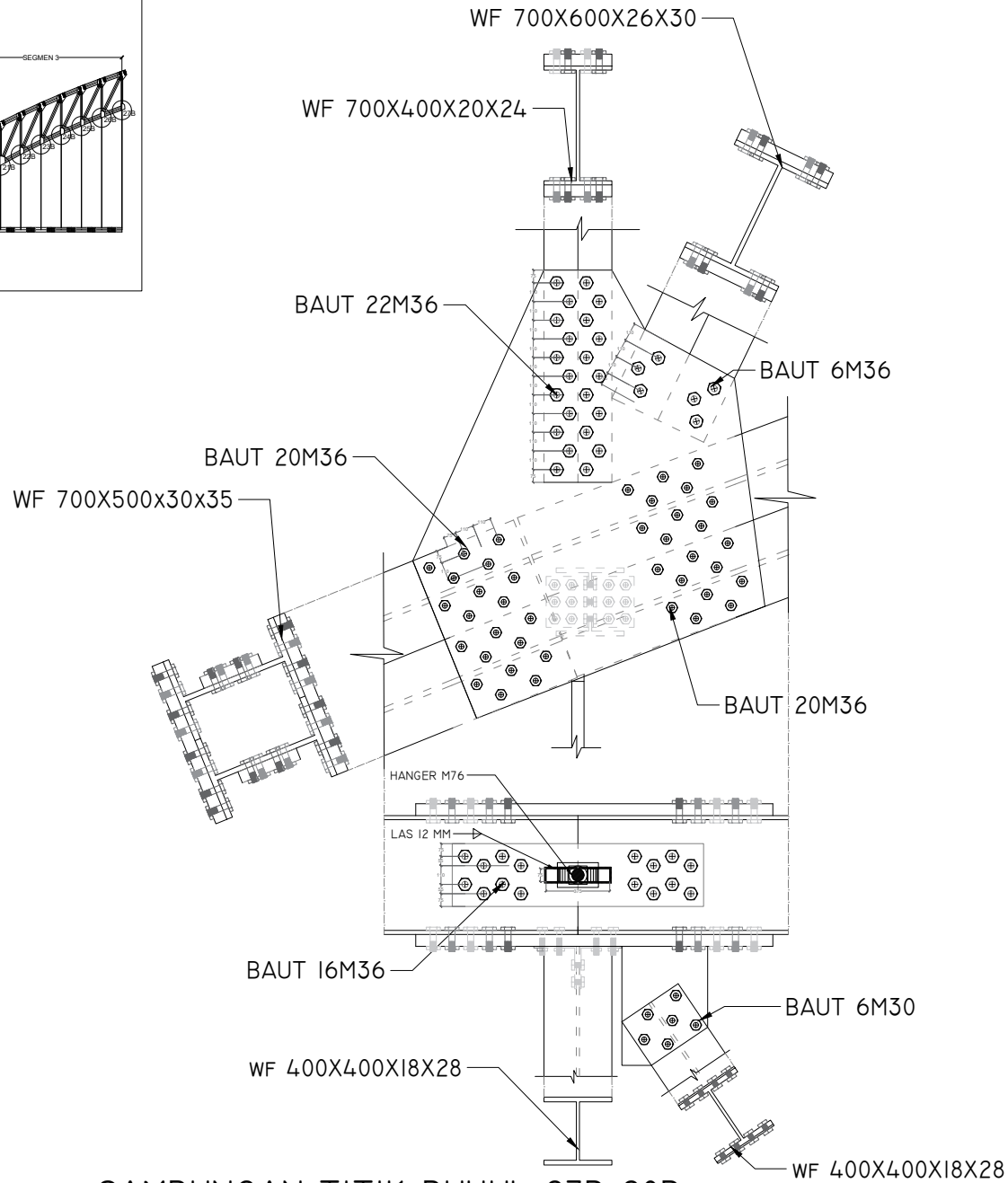
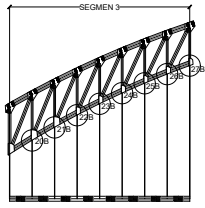
DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA WILDAN
(0311154000070)

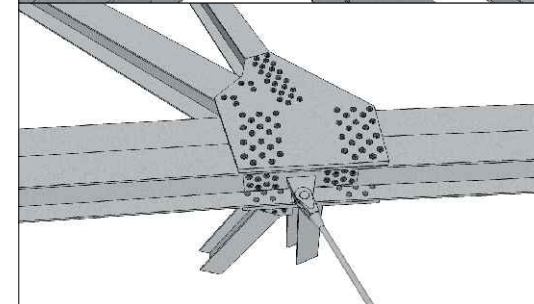
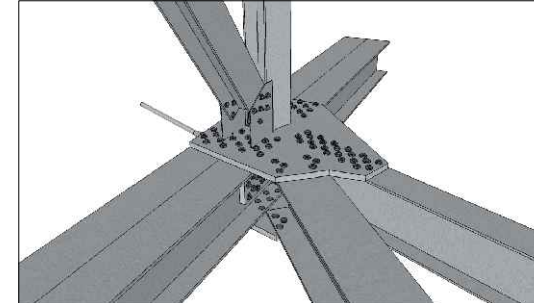
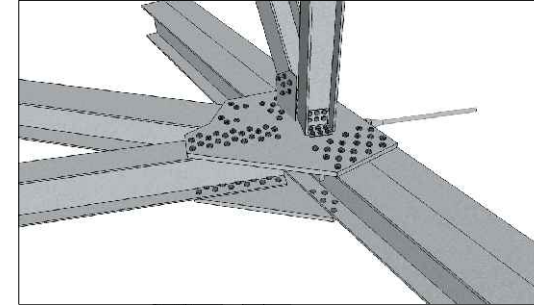
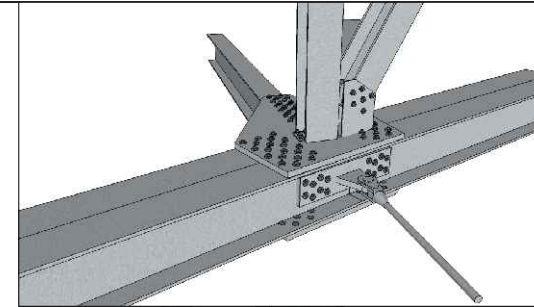
REVISI





SAMBUNGAN TITIK BUHUL 27B-20B

SKALA 1:40



PERSPEKTIF



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK
BUHUL 27B-20B

SKALA

1 : 40

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
15	30

15	30
----	----

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN TITIK
BUHUL 41C

SKALA

1 : 30

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

16

30

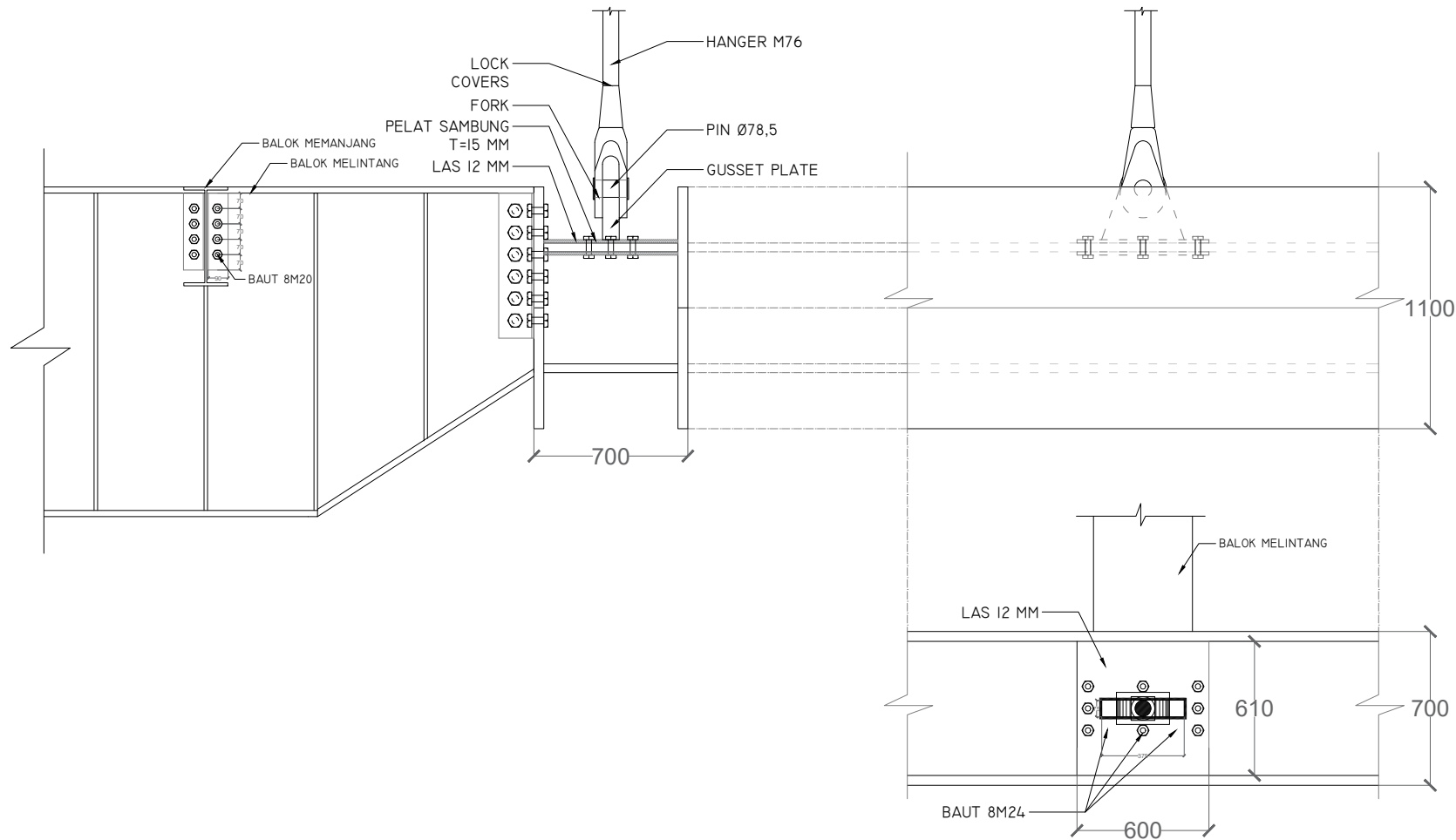
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



SAMBUNGAN TITIK BUHUL 41C

SKALA 1:30

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- SAMBUNGAN ANTAR TIE
BEAM

SKALA

1 : 30

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
-----------------	------------------

17

30

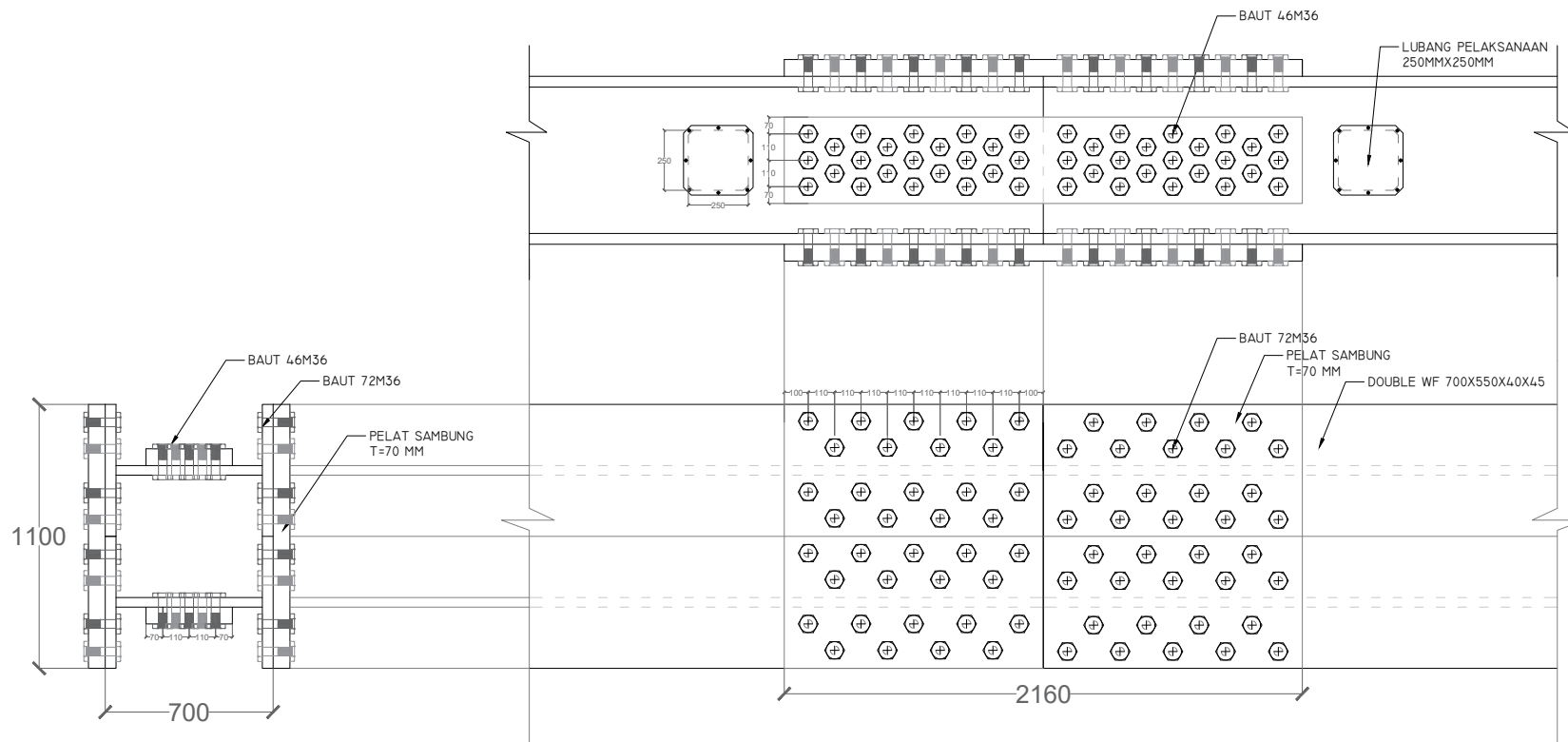
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(03111540000070)

REVISI



SAMBUNGAN ANTAR TIE BEAM

SKALA 1:30

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- POT BEARING

SKALA

1 : 30

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

18

30

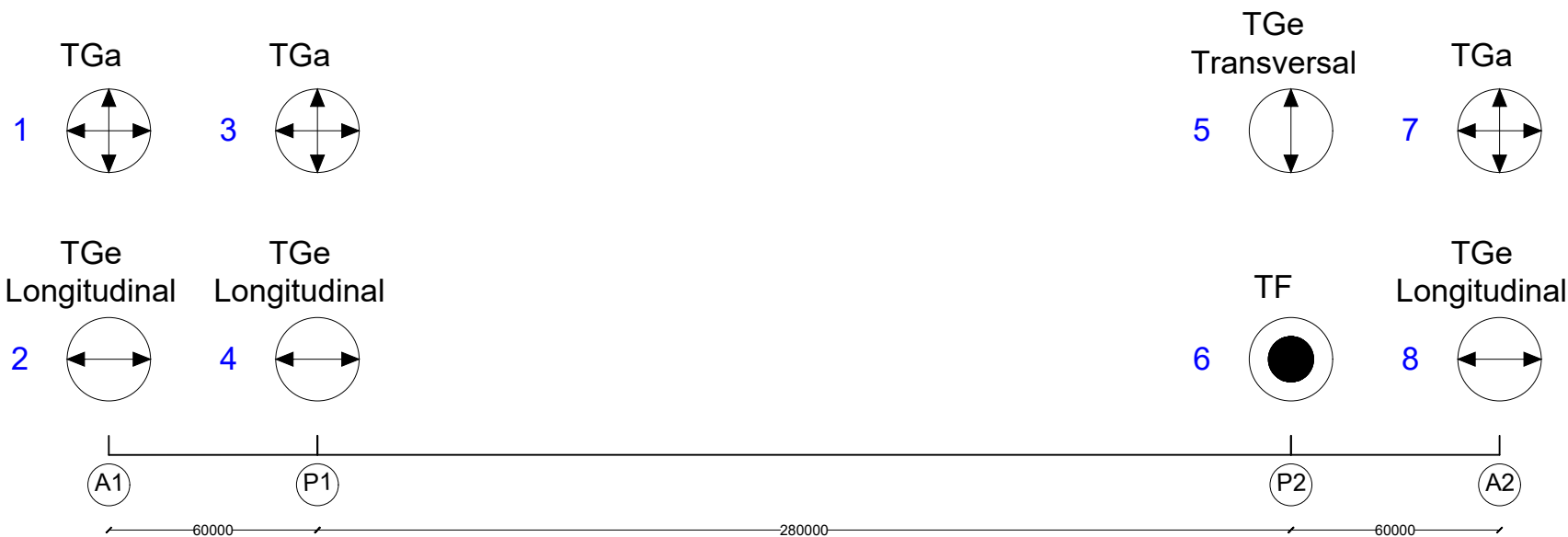
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

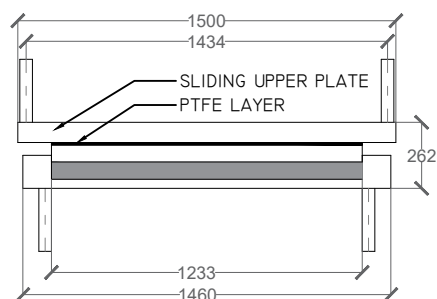
NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



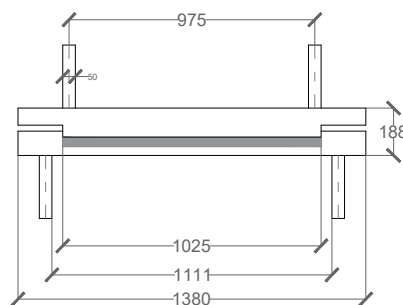
DENAH PERLETAKAN

SKALA 1:2000



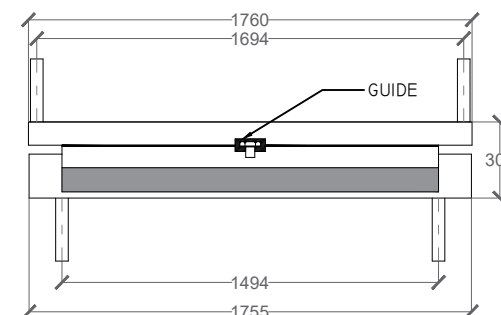
POT BEARING TAI7 (TYPE FREE)

SKALA 1:30



POT BEARING TF15 (TYPE FIX)

SKALA 1:30



POT BEARING TE20I (TYPE GUIDED)

SKALA 1:30

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- TAMPAK DEPAN ABUTMENT
- TAMPAK DEPAN ABUTMENT DENGAN WINGWALL

SKALA

1 : 200

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
19	30

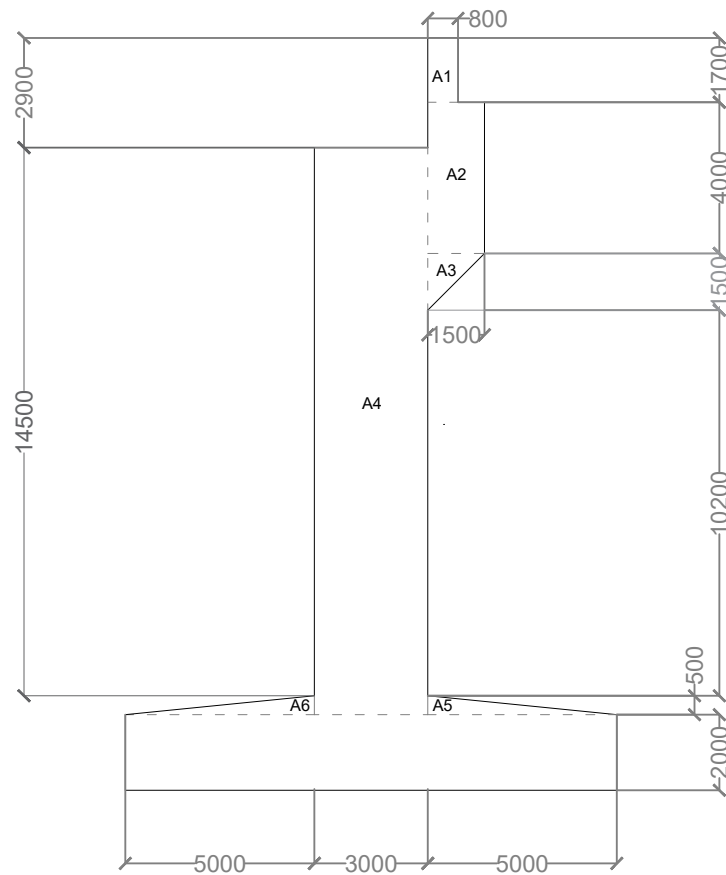
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

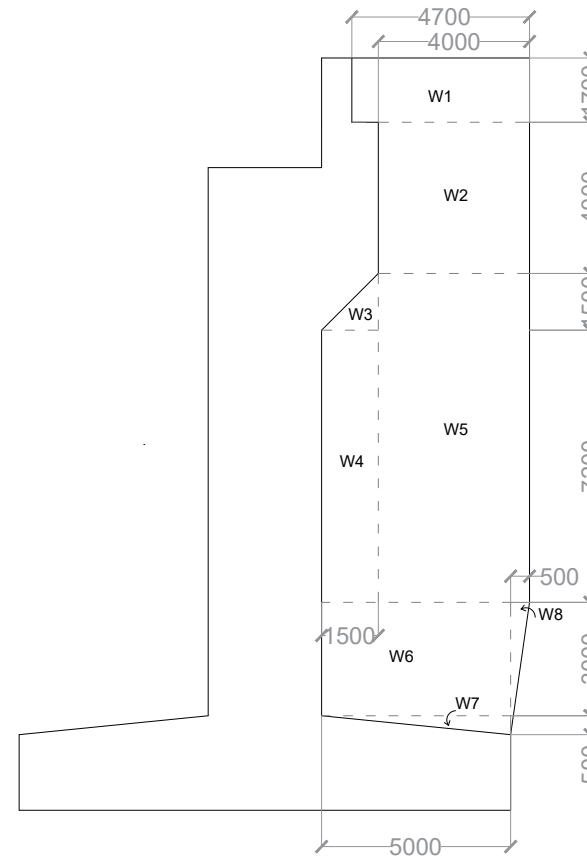
NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



TAMPAK DEPAN ABUTMENT

SKALA 1:200



TAMPAK DEPAN ABUTMENT DENGAN WINGWALL

SKALA 1:200

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- PENULANGAN
ABUTMENT

SKALA

1 : 125

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
20	30

--	--

DOSEN PEMBIMBING

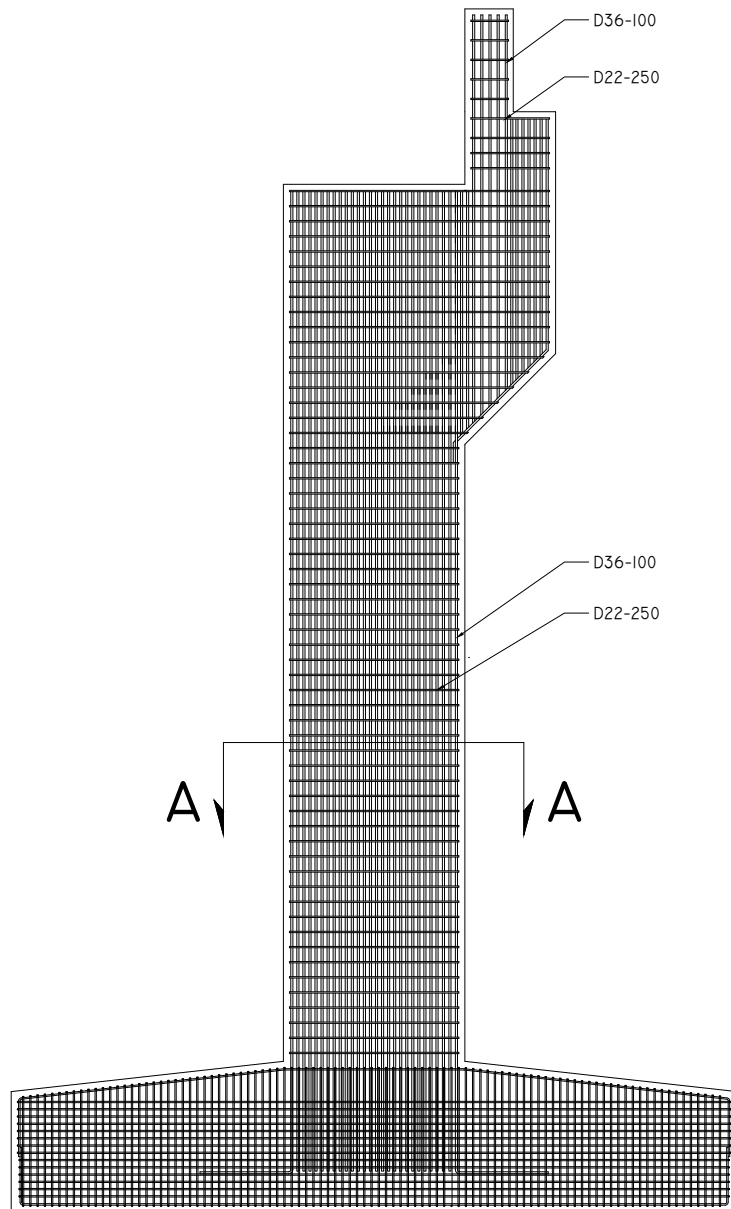
DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(03111540000070)

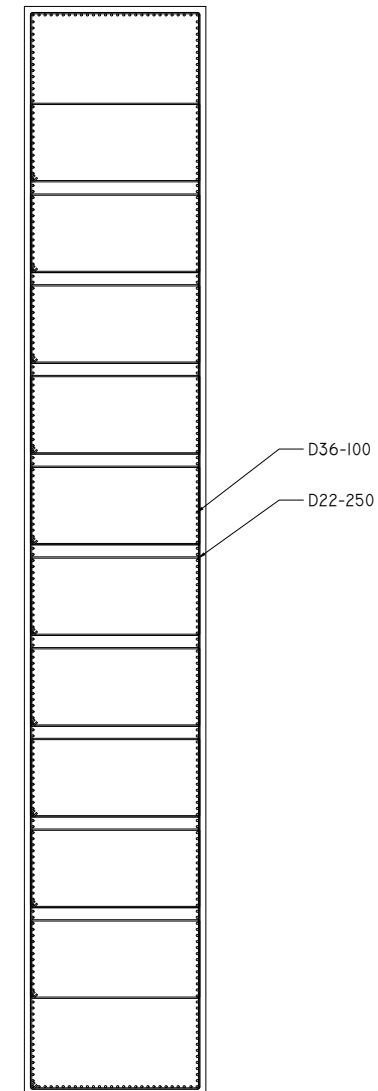
REVISI

--	--



PENULANGAN ABUTMENT

SKALA 1:125



POTONGAN A-A

SKALA 1:125

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- PENULANGAN PILE CAP
ABUTMENT

SKALA

1 : 150

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

21

30

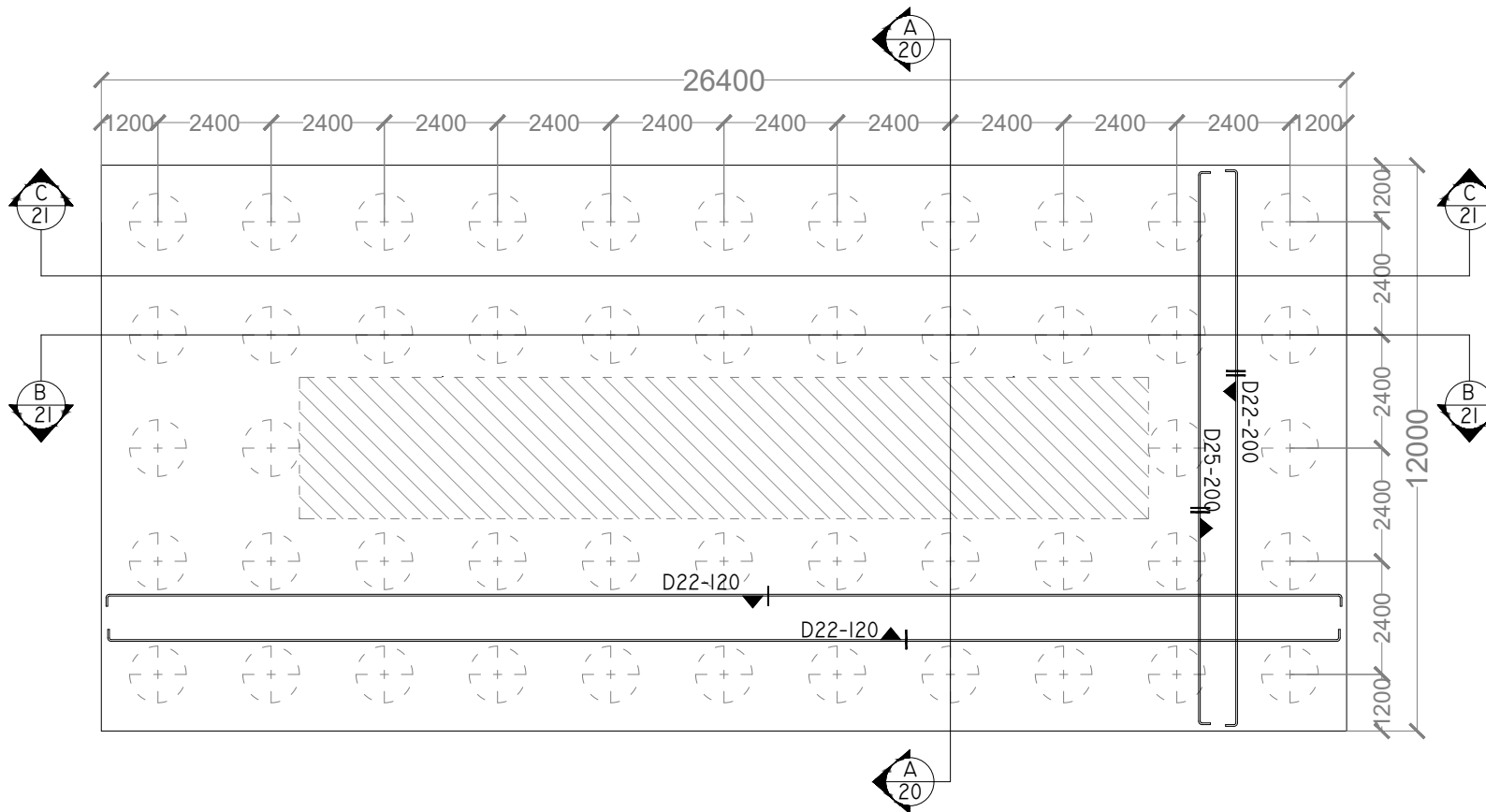
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



PENULANGAN PILE CAP ABUTMENT

SKALA 1:150

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS *STAGING*
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- POTONGAN A-A
ABUTMENT

SKALA

1 : 80

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
-----------------	------------------

22

30

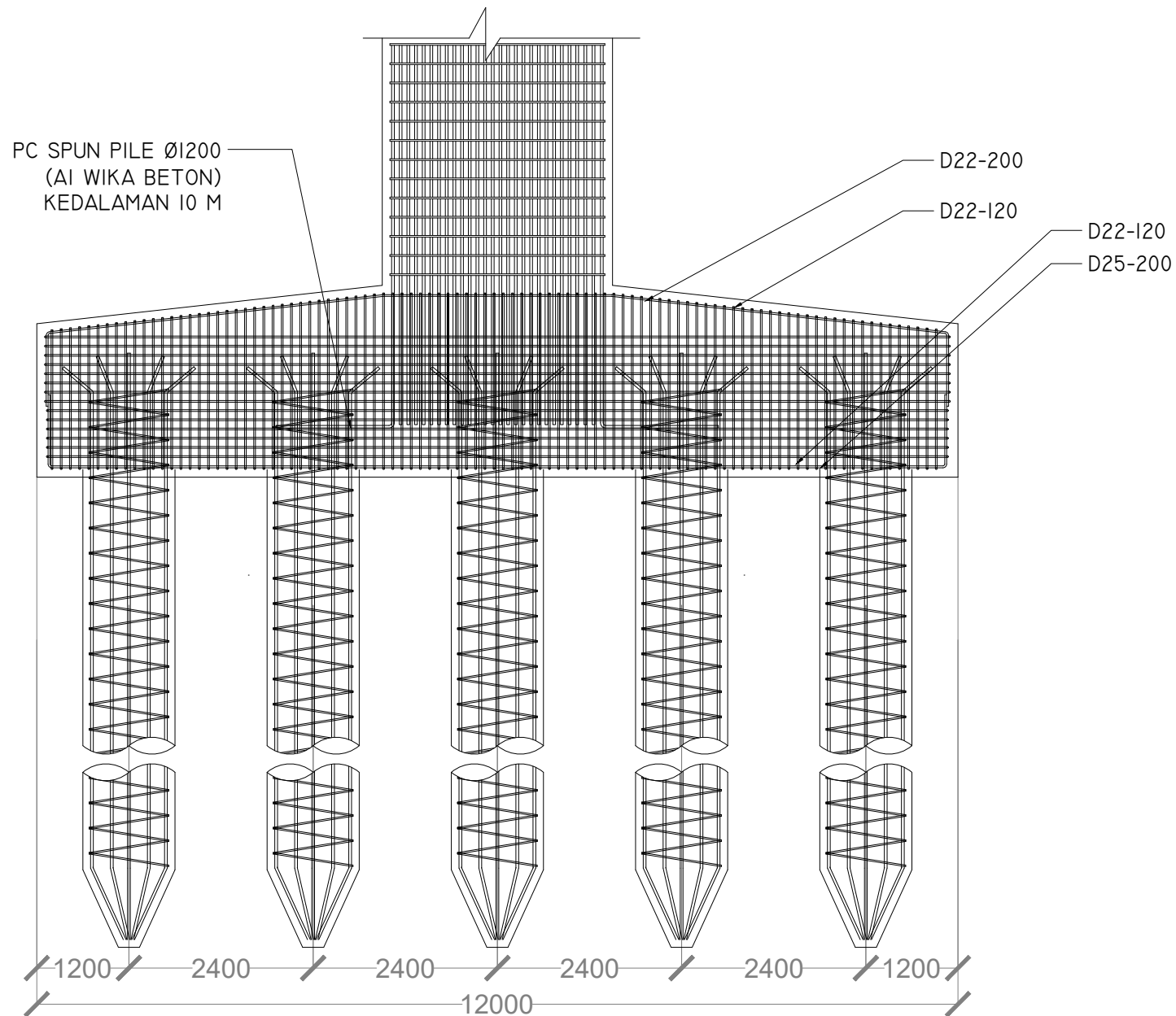
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



POTONGAN A-A

SKALA 1:80

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- POTONGAN B-B DAN
POTONGAN C-C
ABUTMENT

SKALA

1 : 100

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
23	30

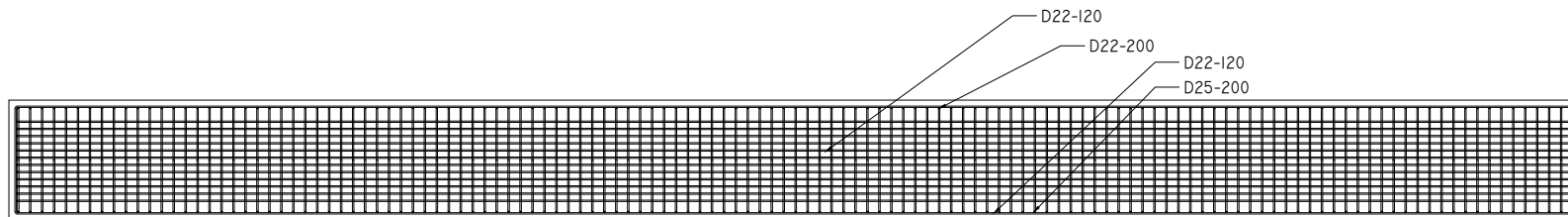
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

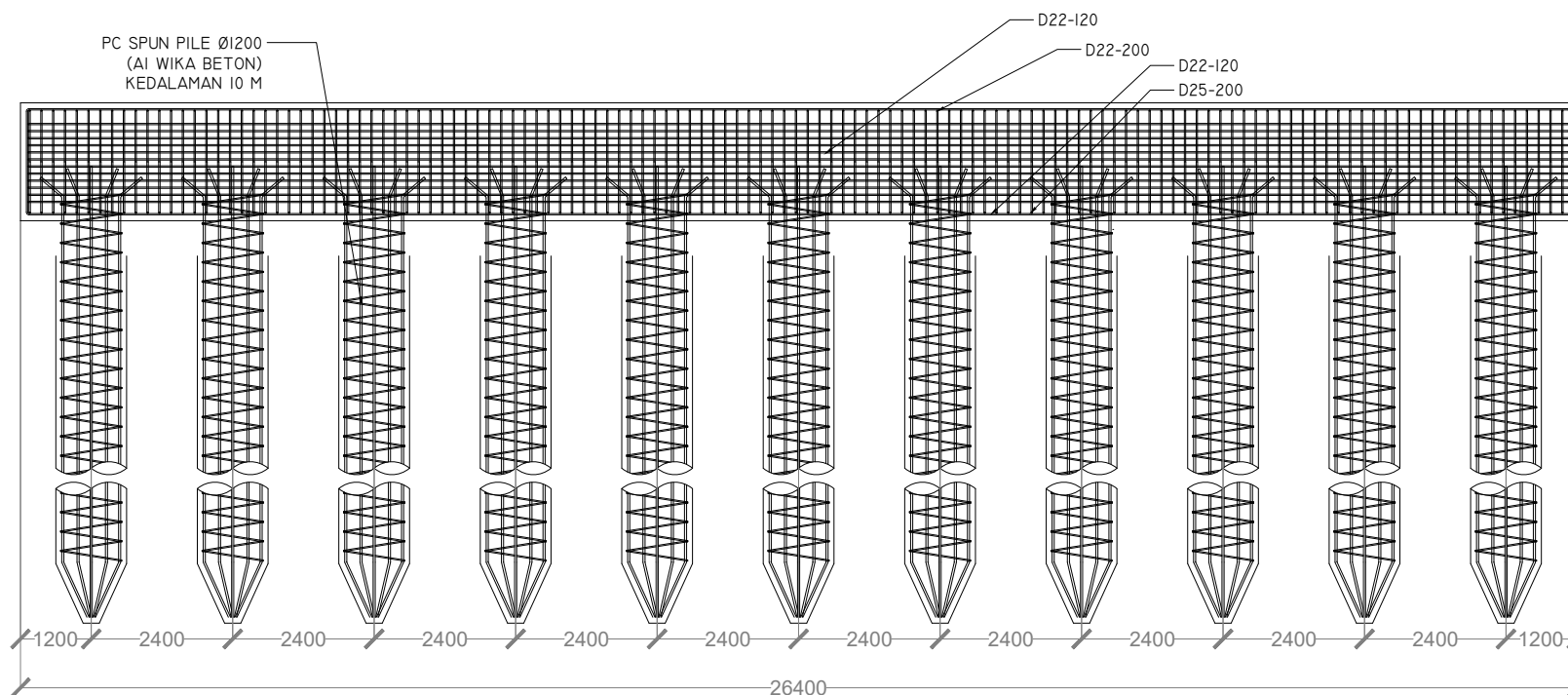
NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



 **POTONGAN C-C**
SKALA 1:100



 **POTONGAN B-B**
SKALA 1:100

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- TAMPAK DEPAN PILAR

SKALA

1 : 125

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
24	30

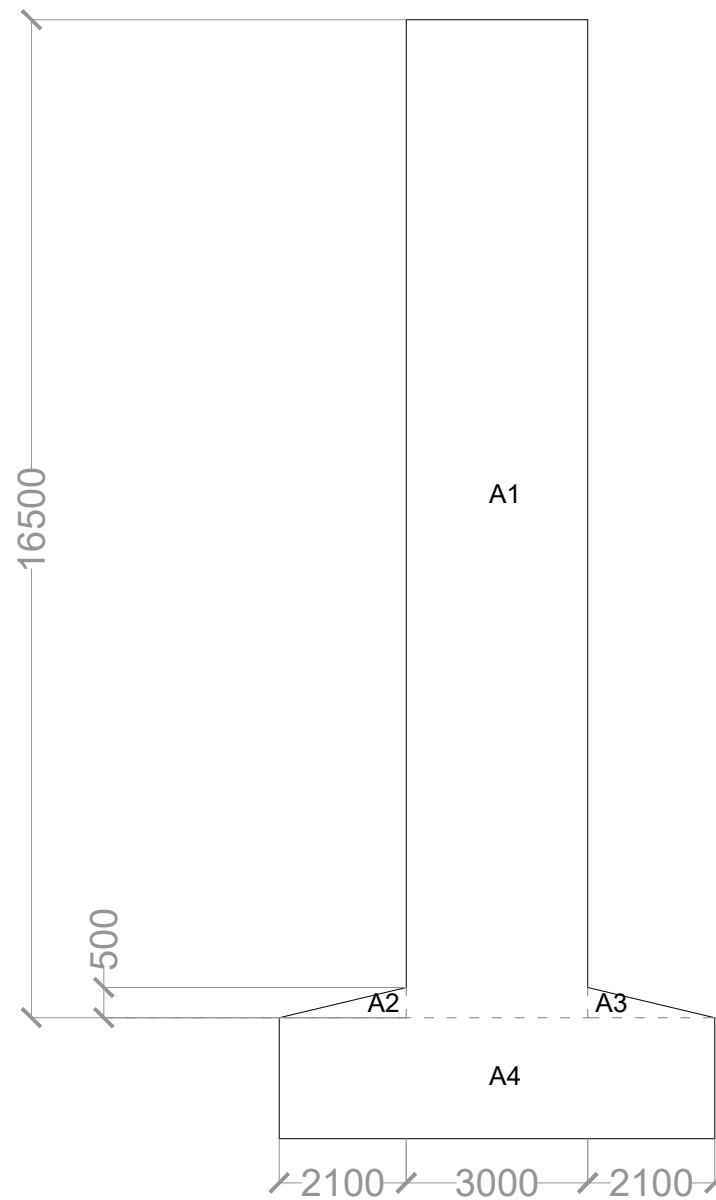
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



TAMPAK DEPAN PILAR

SKALA 1:125

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- PENULANGAN PILAR

SKALA

1 : 125

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
25	30

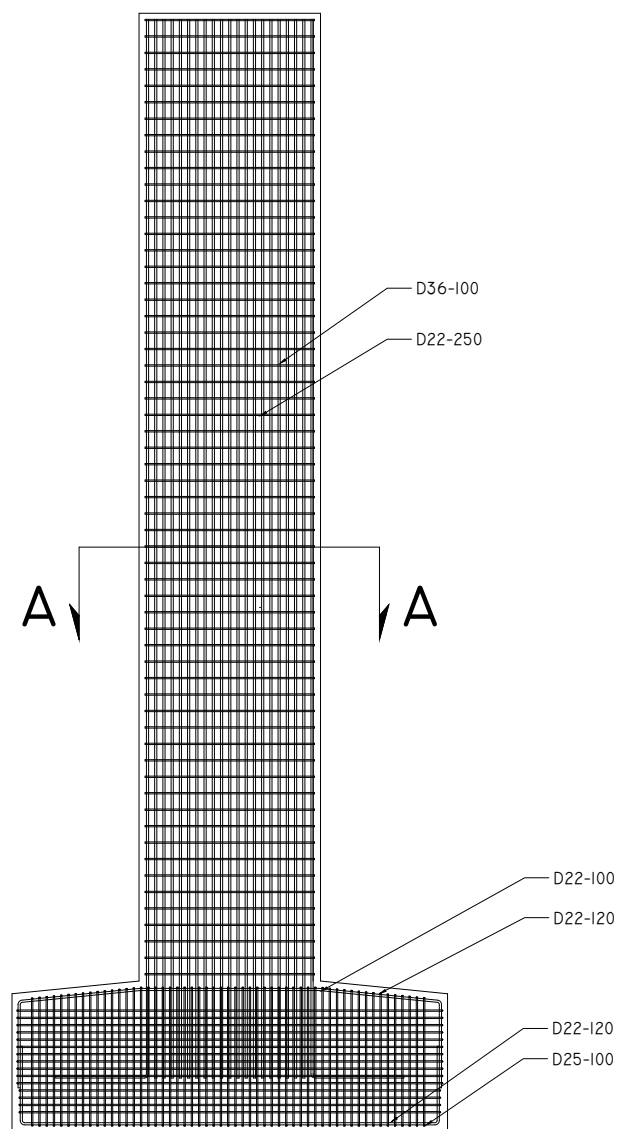
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

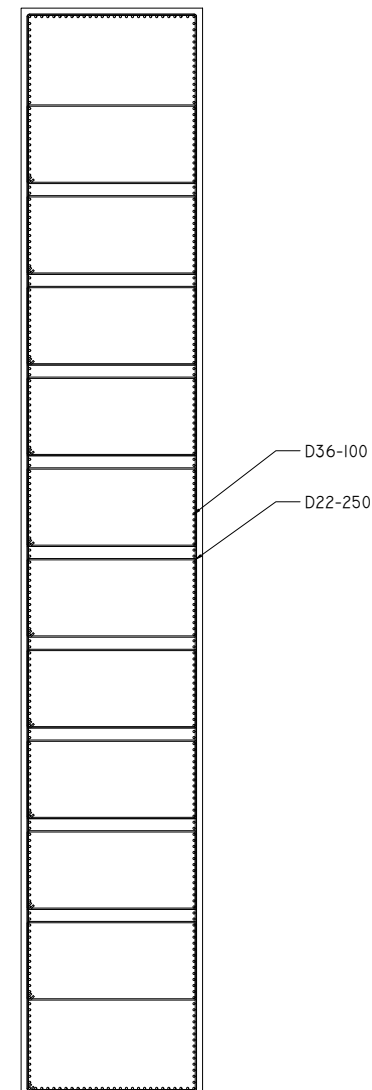
NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



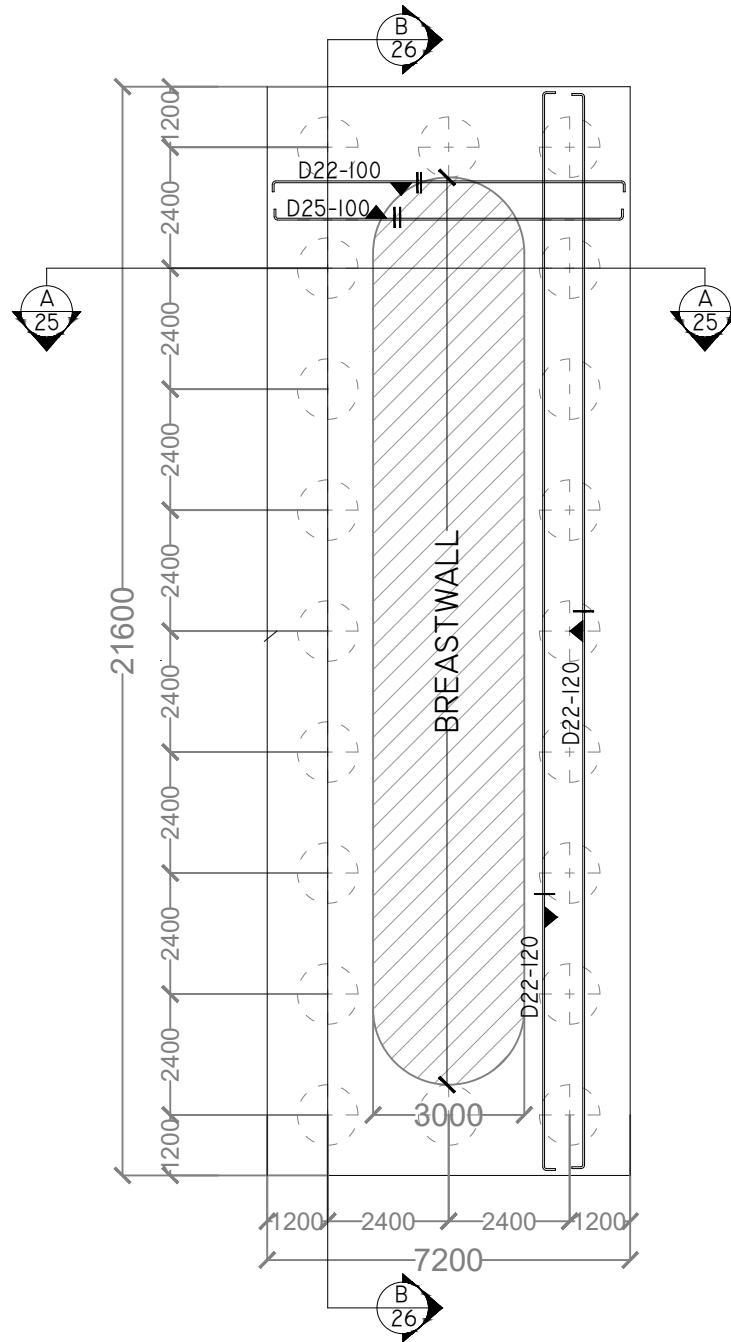
PENULANGAN PILAR

SKALA 1:125



POTONGAN A-A

SKALA 1:125



PENULANGAN PILE CAP PILAR
SKALA 1:150

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA DENGAN LANTAI KENDARAAN DI TENGAH

NAMA GAMBAR

- PENULANGAN PILE CAP PILAR

SKALA

1 : 150

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
26	30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA WILDAN
(0311154000070)

REVISI

NO	REVISI

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- POTONGAN A-A PILAR

SKALA

1 : 100

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

27	30
----	----

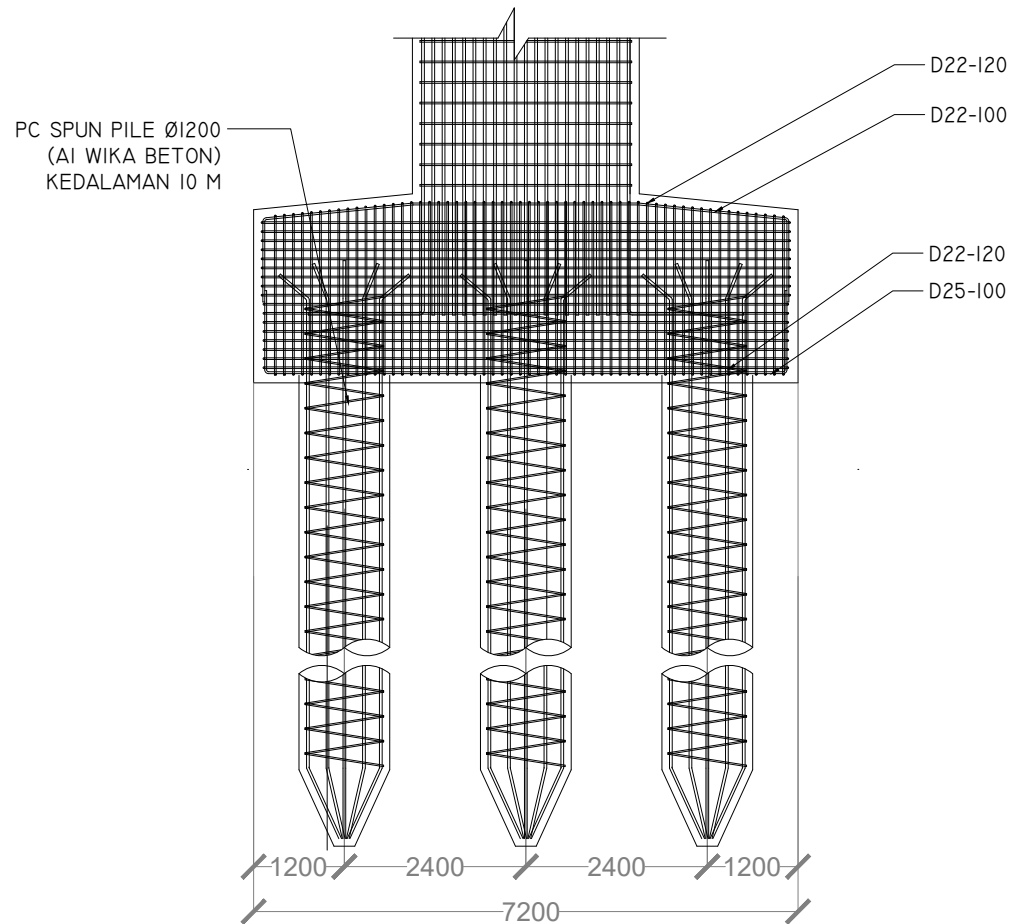
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



POTONGAN A-A

SKALA 1:100

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- POTONGAN B-B PILAR

SKALA

1 : 100

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

28

30

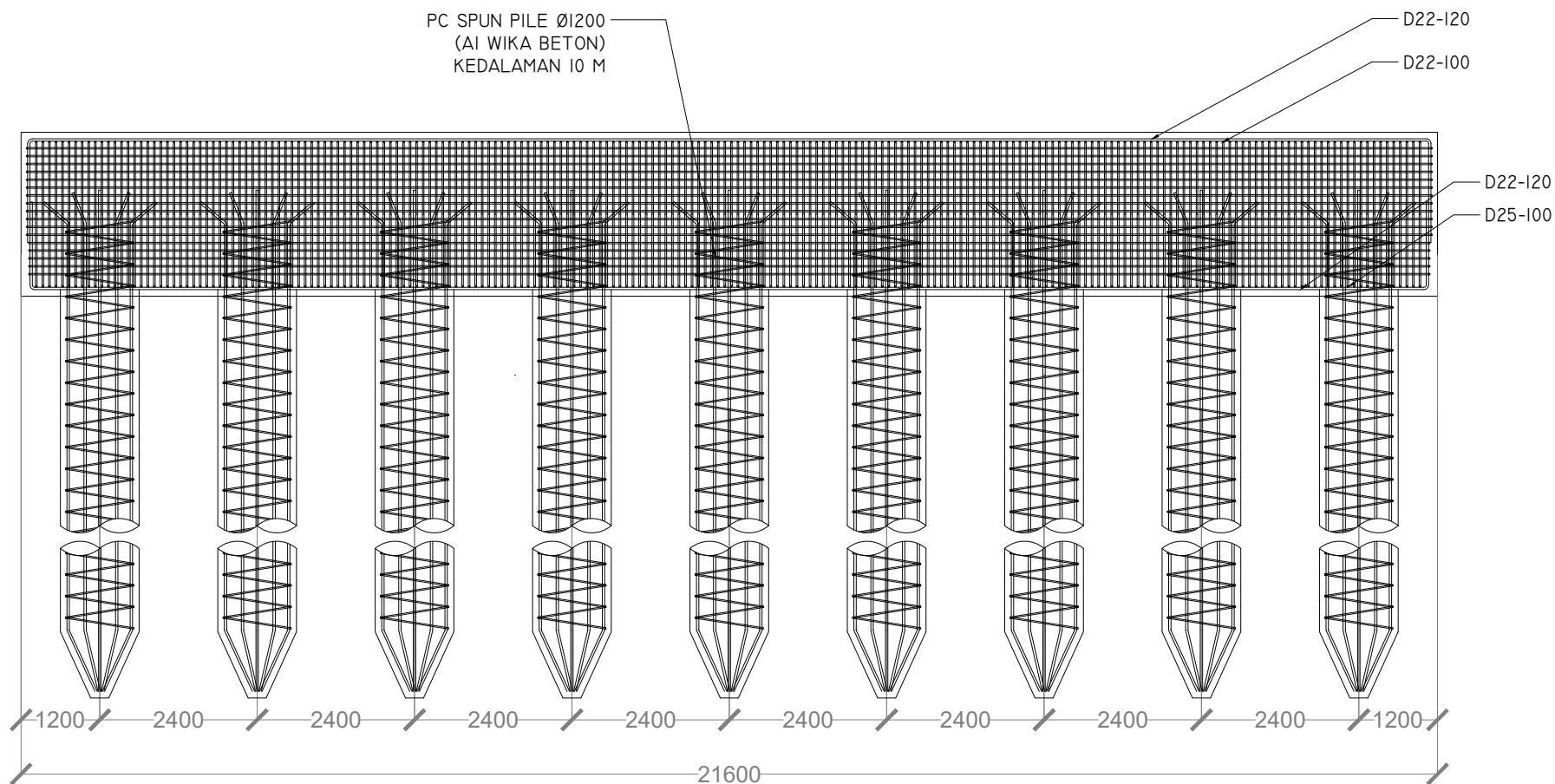
DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



POTONGAN B-B

SKALA 1:100



PERSPEKTIF 1

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- PERSPEKTIF

SKALA

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
29	30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(03111540000070)

REVISI



PERSPEKTIF 2





PERSPEKTIF 3

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DETAIL
DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN MAHAKAM
MENGGUNAKAN
STRUKTUR BUSUR
RANGKA DENGAN
LANTAI KENDARAAN DI
TENGAH

NAMA GAMBAR

- PERSPEKTIF

SKALA

SATUAN

MILIMETER

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
--------------	---------------

30

30

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. DJOKO IRAWAN MS.

NAMA MAHASISWA

NUGRAHA ALFANDA
WILDAN
(0311154000070)

REVISI



PERSPEKTIF 4





Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Djoko Irawan MS.
NAMA MAHASISWA	: Nugraha Alfanda Wildan
NRP	: 03111540000070
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Detail dan Analisis Staging Jembatan Mahabang Menggunakan Struktur Busur Rangka dengan Cantai Kendaraan di Tengah
TANGGAL PROPOSAL	: 13 Nolember 2018
NO. SP-MMTA	: 086186 / ITZ.VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	8-01-2018	- Preliminary Design - Pelat, Gelagar Memanjang	- Tebal pelat = 250 mm - Gelagar Melintang	
2.	24-01-2018	- Gelagar Melintang	- Gelagar Melintang dicoba plate girder atau profil WF double/lebih tinggi	
3.	22-02-2018	- Plate Girder → Gelagar Melintang	- Pakai SNI 1729 : 2015, Rangka Utama dikelompokkan 4 dimensinya	
4.	12-03-2018	- Rangka Utama - Revisi Plate Girder = ✓ (OK) - Ikatan Angin Atas	- Ikatan Angin dibedakan antara busur dengan perdekati - Ikatan Silang setiap 15 m - Ikatan Angin dioptimalkan belum mati busur melintang di atas busur - dimensi elemen dikelompokkan	
5.	29-03-2018	- Portal Akhir - Rangka Utama - Ikatan Silang dan Angin	- Beban hidup diukur manual di 3D - Portal Akhir diperbaiki - Staging	

- Penulisan diteliti lagi



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



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Djoko Irawan MS.
NAMA MAHASISWA	: Nugraha Alfanda Wildan
NRP	: 0311174000070
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Detail dan Analisis Staging Jembatan Mahakam Menggunakan Struktur Bujur Pangka dengan Lantai Kembar di Tengah
TANGGAL PROPOSAL	: 13 November 2018
NO. SP-MMTA	: 086/86 / IT2.VI.4.1/ PP.05.02.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
6.	12-04-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Portal Akhir - Lendutan Jembatan - Sambungan Memanjang - Sambungan Melintang 	<ul style="list-style-type: none"> - Pivisi portal akhir - Sambungan Pangka - Cek SNI Gempa Terbaru 	
7.	3-05-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Sambungan Pangka - Perletakan (Cek perletakan jemb. kutai) - Metode Staging 	<ul style="list-style-type: none"> - Pivisi ^{samb.} rangka utama - Perletakan angin - Perletakan cari busur lain - Direncanakan detail untuk metode pemasangan - Temporing Tower dianggap Keras 	
8.	17-05-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Sambungan Pangka - Pot Bearing 	<ul style="list-style-type: none"> - Perletakan menggunakan sendi baja - Ditecek Lagi gaya dalam di perletakan 	
9.	24-07-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Abutment - Perletakan (OK) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pilar dibuat perhitungan 2 kasus 	



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Djoko Irowan MS.
NAMA MAHASISWA	: Nugraha Alfanda Wildan
NRP	: 031154000070
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Detail dan Analisis Staging Jembatan Mahakam Mengguratkan Struktur Burur Pangka dengan Lantai Rendaraan di Tengah
TANGGAL PROPOSAL	: 13 November 2018
NO. SP-MMTA	: 086186 / IT2.VI.4.1/PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
10	28-05-2019	<ul style="list-style-type: none"> - St. Tiang Pancang pilar dikurangi - Staging dilari notasi/nomor diawal supaya jelas stage per staginya - Hitung gaya tiap segmen yang di erection (beban mati saja) - Diameter kabel staging dibedakan (pakai sling) 		

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Nugraha Alfanda Wildan ini dilahirkan di Bojonegoro, 12 November 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kepatihan Bojonegoro, SMPN 1 Bojonegoro, dan SMAN 1 Bojonegoro. Setelah lulus dari SMAN 1 Bojonegoro, penulis melanjutkan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2015. Penulis memilih bidang struktur untuk Tugas Akhir yang dikerjakan. Selama pendidikan penulis pernah meraih beberapa prestasi tingkat nasional seperti Finalis Kompetisi Jembatan Indonesia 2018 kategori Jembatan Busur, serta prestasi internasional yaitu sebagai *1st Winner* pada *International Bridge Design Competition* di Universitas Diponegoro. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil dan beberapa kepanitiaan seperti Koordinator *Dynamic Load Bridge Competition Civil Expo* ITS tahun 2018. Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2019. Jika pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: nugrahalfanda@gmail.com