



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**“MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG
MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA”**

Ilham Margianto
NRP. 03111640000034

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS
Dosen Pembimbing II
Ir. Heppy Kristijanto, MS

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**“MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING
JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG
MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA”**

Ilham Margianto
NRP. 03111640000034

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS
Dosen Pembimbing II
Ir. Heppy Kristijanto, MS

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja di kosongkan



FINAL PROJECT (RC18-4803)

**“MODIFICATION AND STAGING ANALYSIS OF
CINCIN LAMA WIDANG BRIDGE USING STEEL
TRUSS ARCH BRIDGE”**

Ilham Margianto
NRP. 03111640000034

Supervisor I
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS
Supervisor II
Ir. Heppy Kristijanto, MS

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja di kosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Reguler Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Ilham Margianto

Nrp. 03111640000034

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1 Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.

2 Ir. Heppy Kristijanto, MS.



Surabaya, Agustus 2020

Halaman ini sengaja di kosongkan

MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA

Nama : Ilham Margianto
NRP : 03111640000034
Jurusan : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS
Dosen Pembimbing II : Ir. Heppy Kristijanto, MS.

Abstrak

Jembatan Cincin Lama Widang yang dibangun pada tahun 1970 merupakan jembatan yang menghubungkan Kecamatan Babat, Kabupaten Lamongan dengan Kecamatan Widang, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Jembatan Cincin Lama Widang memiliki panjang total 260 m yang terbagi menjadi 6 segmen yaitu 18.09 m, 51 m, 51 m, 51.06 m, 51 m dan 37.39 m dengan menggunakan struktur rangka baja dan memiliki lebar jembatan 9 meter. Pada tugas akhir ini Jembatan Cincin Lama Widang tersebut direncanakan ulang menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja dengan bentang 160 meter dan masing-masing pendekat (Approach) dengan bentang 50 meter. Karena jenis jembatan busur dapat digunakan pada bentang 60-600 meter sehingga lebih efektif dan dapat mengurangi penggunaan pilarn-pilar jembatan yang berada di tengah sungai serta dapat memberi nilai estetika yang dapat menjadi ikon baru Kota Tuban dan Kota Lamongan.

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.

Dari hasil perencanaan, didapat profil struktur busur utama yaitu menggunakan profil Double WF 700x550x40x45, Tie Beam menggunakan profil BOX 1000x1000x50x50 dan diameter kabel penggantung 72 mm, perletakan menggunakan Pot Bearing. Metode pelaksanaan yang ditinjau menggunakan sistem Half Cantilever.

Kata Kunci: Jembatan Cincin Lama Widang, Jembatan Busur Rangka Baja, Metode Pelaksanaan.

MODIFICATION AND STAGING ANALYSIS OF CINCIN LAMA WIDANG BRIDGE USING STEEL TRUSS ARCH BRIDGE

Name	: Ilham Margianto
Student ID	: 03111640000034
Departement	: Civil Engineering FTSPK-ITS
Supervisor 1	: Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS
Supervisor II	: Ir. Heppy Kristijanto, MS.

Abstrac

The Old Widang Ring Bridge that was built in 1970 is a bridge that connects Babat District, Lamongan Regency with Widang District, Tuban Regency, East Java. The Old Widang Ring Bridge has a total length of 260 m which is divided into 6 segments namely 18.09 m, 51 m, 51 m, 51.06 m, 51 m and 37.39 m using a steel frame structure and has a bridge width of 9 meters. In this final project the Old Ring of the Widang Bridge is re-planned using a Steel Frame Arch Bridge with a span of 160 meters and each approach (Approach) with a span of 50 meters. Because the type of arc bridge can be used in 60-600 meters spans making it more effective and can reduce the use of bridge pillars that are in the middle of the river and can provide aesthetic value that can become a new icon of Tuban City and Lamongan City.

The basis of bridge planning refers to the regulations of SNI 1725: 2016, SNI 1729: 2015, SNI 2833-2016. The stages of bridge planning start from the calculation of the vehicle floor, the calculation of the girth lengthwise and transversely. The rudimentary calculation of the main structure uses the help of Midas Civil software.

From the planning results, the main arc structure profile is obtained using the Double WF profile 700x550x40x45, Tie Beam using the BOX profile 1000x1000x50x50 and the diameter of the hanging cable 72 mm, placement using Pot Bearing. The

implementation method is reviewed using the Half Cantilever system.

Kata Kunci: The Old Widang Ring Bridge, Steel Frame Arch Bridge, Implementation Method

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

Pada kesempatan ini, izinkanlah penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar besarnya atas bimbingan dan dorongan tiada henti kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan penuh dan tak pernah lelah untuk memberi nasihat,
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. Dan Ir. Heppy Kristijanto, MS. sebagai dosen pembimbing yang memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian proposal tugas Akhir.
3. Bapak Data Iranata, ST., MT., PhD. sebagai dosen wali yang selalu memberikan motivasi selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil ITS.
4. Seluruh dosen pengajar departemen Teknik Sipil ITS yang telah memberikan bimbingan dan ilmu yang bermanfaat.
5. Seluruh teman – teman ITS khususnya S59 Teknik Sipil ITS.
6. Rekan-rekan sekalian yang tidak dapat disebutkan satu-persatu serta semua pihak yang telah membantu.

Tugas Akhir ini diharapkan dapat bermanfaat, tak hanya bagi penulis tetapi juga bagi para pembaca. Dengan segenap kerendahan hati, penulis menyadari sepenuhnya bahwa proposal tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Sehingga, besar harapan adanya koreksi maupun masukan dari semua pihak untuk kesempurnaan proposal tugas akhir ini.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

Halaman ini sengaja di kosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II.....	5
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)	9

2.3.3	Perencanaan Ikatan Lateral	11
2.3.4	Penggantung Lantai Kendaraan (Chen dan Duan, 2000)	12
2.3.5	Sambungan.....	12
2.3.6	Perletakan (Pot Bearing)	15
2.4	Metode Pelaksanaan Jembatan.....	17
2.4.1	Kantilever Sebagian	17
2.4.2	Kantilever Penuh	18
2.4.3	Analisis Konstruksi Pelaksanaan (Staging Analysis)	19
2.4.4	Analisis Sistem Rangka Baja pada Konstruksi Jembatan Busur.....	19
BAB III	.....	21
METODOLOGI.....		21
3.1	Diagram Alir Perencanaan	21
3.2	Pengumpulan Data.....	22
3.3	Studi Literatur	24
3.4	Preliminary Design.....	25
3.5	Pembebanan	26
3.5.1	Beban Tetap.....	27
3.5.2	Beban Lajur “D” (BGT dan BTR).....	29
3.5.3	Beban Truck “T“.....	30
3.5.4	Faktor Beban Dinamis	31
3.5.5	Gaya Rem.....	32
3.5.6	Pembebanan Pejalanan Kaki	33
3.5.7	Beban Tumbukan pada Penyangga Jembatan	33

3.5.8	Beban Aksi Lingkungan.....	33
3.5.9	Beban Pelaksanaan	35
3.6	Permodelan dan Analisis Struktur	36
3.7	Perencanaan Struktur Atas Jembatan Busur.....	36
3.8	Kontrol Kekuatan Elemen.....	36
3.8.1	Kontrol Kapasitas Tekan.....	36
3.8.1	Kontrol Kapasitas Tarik	37
3.9	Perencanaan Sambungan	38
3.10	Perencanaan Perletakan Jembatan	39
3.11	Analisis Konstruksi Pelaksanaan (Staging Analysis) .	39
3.12	Pengecekan Pembebatan Tak Terduga (Accidental Load)	39
3.13	Hasil dan Pembahasan	40
BAB IV	.....	41
<i>PRELIMINARY DESIGN</i>	.....	41
4.1	Geometri Busur	41
4.2	Perencanaan Pelat Lantai Jembatan.....	43
4.3	Perencanaan Kerb.....	43
4.4	Perencanaan Sandaran	43
4.5	Perencanaan Gelagar	43
4.6	Perencanaan Penggantung.....	44
4.7	Perencanaan Rangka Jembatan	45
4.8	Perencanaan Ikatan Jembatan.....	45
BAB V	.....	47
PERENCANAAN PELAT LANTAI, TROTOAR, DAN GELAGAR JEMBATAN	.....	47

5.1	Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan.....	47
5.1.1	Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan.....	47
5.1.2	Perhitungan Momen Arah Melintang.....	50
5.1.3	Perhitungan Penulangan Pelat	50
5.1.4	Kontrol Geser Pons	52
5.2	Perencanaan Trotoar.....	55
5.2.1	Perencanaan Sandaran.....	55
5.2.2	Perencanaan Kolom Sandaran	57
	5.2.3 Perencanaan Kerb	60
5.3	Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan	64
5.3.1	Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan	65
5.3.2	Kontrol Profil Gelagar Memanjang	68
5.4	Perencanaan Gelagar Melintang Jembatan	72
5.4.1	Pembebanan Gelagar Melintang Jembatan	72
5.4.2	Kontrol Profil Gelagar Melintang.....	76
BAB VI	.....	87
PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA JEMBATAN		87
6.1	Rencana Modifikasi Jembatan	87
6.2	Pembebanan Jembatan.....	87
6.3	Perencanaan Ikatan Angin Bawah	93
6.4	Perencanaan Ikatan Angin Atas	96
6.5	Perencanaan Ikatan Silang	99
6.6	Perencanaan Kabel Penggantung	103
6.6.1	Pembebanan.....	103
6.6.2	Kontrol Kekuatan Batang Penggantung	106

6.6.3	Analisis Kabel Putus	107
6.7	Perencanaan Rangka Busur.....	110
6.7.1	Pembebanan	110
6.7.2	Pembagian Segmen Jembatan	115
6.7.3	Pembebanan Beban Hidup	117
6.7.4	Rekapitulasi Beban Akibat Beban kombinasi ...	125
6.7.5	Perencanaan Profil Rangka Utama	126
6.8	Perencanaan Portal Akhir	129
6.8.1	Perencanaan Balok Portal Akhir.....	129
6.8.2	Perencanaan Kolom Portal Akhir	132
6.9	Kontrol Lendutan	138
BAB VII.....		141
SAMBUNGAN DAN PERLETAKAN		141
7.1	Perencanaan Sambungan	141
7.1.1	Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang.....	142
7.1.2	Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang	144
7.1.3	Sambungan Gelagar Melintang Ke Tie Beam ...	146
7.1.4	Sambungan Ikatan Angin Atas	148
7.1.4	Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan.....	151
7.1.5	Sambungan Ikatan Silang	153
7.1.6	Sambungan Antar Tie Beam	155
7.1.7	Sambungan Kabel Penggantung	157
7.1.8	Sambungan Rangka Utama Busur	161
7.2	Perencanaan Perletakan	165

7.2.1	Pembebanan Horizontal Akibat Gempa	165
7.2.2	Pembebanan Vertikal	170
7.2.2	Perencanaan Pot Bearing.....	171
BAB VIII.....		175
STAGING ANALYSIS		175
8.1	Metode Pelaksanaan	175
8.2	Perencanaan Kabel	179
8.3	Kontrol Kapasitas Batang Saat Staging	180
8.4	Perencanaan Profil Temporary Tower	181
BAB IX		185
PENUTUP.....		185
9.1	Kesimpulan	185
9.2	Saran	186
DAFTAR PUSTAKA		187
LAMPIRAN		189

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jembatan tipe “Deck Arch” (Syum, 2015)	6
Gambar 2. 2 Jembatan tipe “Through Arch” (Syum, 2015).....	6
Gambar 2. 3 Jembatan tipe “A Half-Through Arch” (Syum, 2015)	7
Gambar 2. 4 Jenis Las Tumpul (Salmon 1986)	13
Gambar 2. 5 Jenis Las Sudut (Salmon 1986)	14
Gambar 2. 6 Tipe-tipe pot bearing, (a) Fixed, (b) Guided, (c) Free Sliding	16
Gambar 2. 7 Sistem Kantilever Sebagian (Soegihardjo, 2016) ..	18
Gambar 2. 8 Sistem Kantilever Penuh (Soegihardjo, 2016).....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan	21
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Jembatan Cincin Lama Widang	22
Gambar 3. 3 Tampak Memanjang Jembatan Eksisting	23
Gambar 3. 4 Tampak Memanjang Jembatan Modifikasi Cincin Lama Widang	23
Gambar 3. 5 Tampak Melintang Jembatan Eksisting	23
Gambar 3. 6 Tampak Melintang Jembatan Modifikasi	24
Gambar 3. 7 Beban Lajur “D” (SNI 1725:2016)	29
Gambar 3. 8 Beban Truck “T” (SNI 1725:2016).....	31
Gambar 3. 9 Fakor beban dinamis untuk beban lajur “D” (SNI 1725:2016)	32
Gambar 3. 10 Metode Balance Cantilever (Wong, 2012)	39
Gambar 4. 1 Arah Memanjang Jembatan	42
Gambar 4. 2 Arah Melintang Jembatan	43
Gambar 5. 1 Sketsa Pelat Lantai Kendaraan	47
Gambar 5. 2 Ilustrasi Geser Pons pada Lantai Kendaraan	53
Gambar 5. 3 Gambar Penulangan Pelat	54
Gambar 5. 4 Pipa Sandaran Railing	55
Gambar 5. 5 Pembagian Beban Pipa Sandaran Railing	56
Gambar 5. 6 Pembebanan Kerb	60
Gambar 5. 7 Penulangan Trotoar	63
Gambar 5. 8 Permodelan Gelagar Memanjang.....	64
Gambar 5. 9 Permodelan Beban Hidup BTR dan BGT	65
Gambar 5. 10 Permodelan Beban Hidup Truk	67

Gambar 5. 11 Permodelan Gaya Geser Truk.....	67
Gambar 5. 12 Penampang Gelagar Memanjang	68
Gambar 5. 13 Permodelan Gelagar Melintang	72
Gambar 5. 14 Pembebanan Setelah Komposit	73
Gambar 5. 15 Pembebanan BTR, TP dan BGT	75
Gambar 5. 16 Pembebanan Truk Kondisi 1	75
Gambar 5. 17 Perencanaan Stiffener.....	80
Gambar 5. 18 Stiffener sebagai Kolom.....	81
Gambar 5. 20 Permodelan Gelagar Komposit	83
Gambar 5. 21 Pemasangan Shear Connector.....	85
Gambar 6. 1 Pembebanan Beban Hidup	89
Gambar 6. 2 Penamaan Titik Simpul	91
Gambar 6. 3 Ikatan Angin Bawah	94
Gambar 6. 4 Ikatan Angin Atas	96
Gambar 6. 5 Perencanaan Ikatan Silang.....	100
Gambar 6. 6 Pembebanan Beban Hidup	105
Gambar 6. 7 Macalloy 520 (M76)	106
Gambar 6. 8 Ilustrasi Seluruh Kabel Bekerja Kabel	107
Gambar 6. 9 Garis Pengaruh Kabel 3	108
Gambar 6. 10 Ilustrasi Kabel 3 Putus	108
Gambar 6. 11 Garis Pengaruh Kabel 2.....	108
Gambar 6. 12 Ilustrasi Kabel 4 Putus	109
Gambar 6. 13 Garis Pengaruh Kabel 3.....	109
Gambar 6. 14 Penamaan Segmen Rangka Utama	116
Gambar 6. 15 Pembebanan Beban Hidup	118
Gambar 6. 16 Garis Pengaruh Batang BA1.....	118
Gambar 6. 17 Garis Pengaruh Batang BV1.....	119
Gambar 6. 18 Garis Pengaruh Batang BD1.....	119
Gambar 6. 19 Garis Pengaruh Batang TB1	119
Gambar 6. 20 Garis Pengaruh Batang BA2.....	120
Gambar 6. 21 Garis Pengaruh Batang BV2.....	120
Gambar 6. 22 Garis Pengaruh Batang BD2.....	120
Gambar 6. 23 Garis Pengaruh Batang TB2	121
Gambar 6. 24 Garis Pengaruh Batang BA3.....	121
Gambar 6. 25 Garis Pengaruh Batang BV3.....	122

Gambar 6. 26 Garis Pengaruh Batang BD3.....	122
Gambar 6. 27 Garis Pengaruh Batang BB3.....	122
Gambar 6. 28 Garis Pengaruh Batang TB3	123
Gambar 6. 29 Garis Pengaruh Batang BA4.....	123
Gambar 6. 30 Garis Pengaruh Batang BD4.....	123
Gambar 6. 31 Garis Pengaruh Batang BV4.....	124
Gambar 6. 32 Garis Pengaruh Batang BB4.....	124
Gambar 6. 33 Garis Pengaruh Batang TB4	125
Gambar 6. 34 Ilustrasi Momen pada Kolom Portal Akhir	135
Gambar 6. 35 Lendutan Akibat Beban Hidup	138
Gambar 7.1 Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang	144
Gambar 7.2 Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang.....	146
Gambar 7. 3 Sambungan Gelagar Melintang Ke Tie Beam.....	148
Gambar 7. 4 Sambungan Ikatan Angin Atas	151
Gambar 7. 5 Sambungan Ikatan Silang.....	155
Gambar 7. 6 Sambungan Antar Tie Beam	157
Gambar 7. 7 Sambungan Kabel Penggantung	160
Gambar 7. 8 Gaya Aksial Yang Bekerja Pada Segmen 4	161
Gambar 7. 9 Sambungan Rangka Utama Busur	163
Gambar 7. 10 penamaan perletakan pada Jembatan Cincin Lama Widang.....	165
Gambar 7. 11 Respon Spectrum Gempa Arah X.....	168
Gambar 7. 12 Respon Spectrum Gempa Arah Y.....	169
Gambar 7. 13 Pot Bearing Tipe Fix	172
Gambar 7. 14 Pot Bearing tipe free/multi directional	172
Gambar 7. 15 Pot Bearing tipe guided/uni directional	173
Gambar 8. 1 Penamaan Segmen Jembatan.....	175
Gambar 8. 2 Stage 1.....	175
Gambar 8. 3 Stage 2.....	176
Gambar 8. 4 Stage 3.....	176
Gambar 8. 5 Stage 4.....	176
Gambar 8. 6 Stage 5.....	177
Gambar 8. 7 Stage 6.....	177

Gambar 8. 8 Stage 7.....	177
Gambar 8. 9 Stage 8.....	178
Gambar 8. 10 Stage 9	178
Gambar 8. 11 Stage 10.....	178
Gambar 8. 12 Stage 11	179

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Berat Isi Untuk Beban Mati	27
Tabel 3. 2 Berat Isi untuk Beban Mati	28
Tabel 3. 3 Faktor Beban Mati Tambahan.....	28
Tabel 3. 4 Faktor Beban Lajur “D”.....	30
Tabel 3. 5 Faktor Beban Truk “T”.....	31
Tabel 3. 6 Nilai V0 dan Z0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	34
Tabel 3. 7 Tekanan Angin Dasar (PB).....	34
Tabel 3. 8 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan	34
Tabel 4. 1 Hasil Panjang Penggantung	44
Tabel 6.1 Nilai V0 dan Z0 untuk berbagai variasi kondisi.....	89
Tabel 6.2 Tekanan Angin Dasar	90
Tabel 6.3 Komponen Beban Angin pada Kendaraan.....	92
Tabel 6.4 Temperatur jembatan rata-rata nominal.....	92
Tabel 6. 5 Kombinasi Beban dan Faktor Beban	93
Tabel 6. 6 Beban Angin Pada Ikatan Angin Bawah	94
Tabel 6. 7 Beban Angin pada Ikatan Angin Atas	97
Tabel 6. 8 Panjang Tabel Penggantung.....	103
Tabel 6.9 Nilai V0 dan Z0 untuk berbagai variasi kondisi.....	111
Tabel 6.10 Tekanan Angin Dasar	112
Tabel 6.11 Komponen Beban Angin pada Kendaraan	112
Tabel 6. 12 Beban Angin Pada Ikatan Angin Bawah.....	113
Tabel 6. 13 Beban Angin pada Ikatan Angin Atas	113
Tabel 6.14 Temperatur jembatan rata-rata nominal.....	114
Tabel 6. 16 Rekapitulasi Pembebaan Kombinasi Kuat 1	125
Tabel 6. 17 Rekapitulasi Elemen-elemen pada Rangka Utama	129
Tabel 7. 1 Pratarik Baut Minimum, kN*.....	141
Tabel 7. 2 Jarak Tepi Minimum Sambungan	141
Tabel 7. 3 Rekapitulasi Kebutuhan Baut Rangka Utama	164
Tabel 7. 4 Kelas situs	166
Tabel 7. 5 Pengolalan Data Tanah 1	166
Tabel 7. 6 Pengolalan Data Tanah 2	167
Tabel 7. 7 Reaksi Vertikal pada Perletakkan (Ekstrim 2)	171

Tabel 7. 8 Rekapitulasi Reaksi Perletakkan Jembatan	171
Tabel 7. 9 Pemilihan POT Bearing berdasarkan tipe dan Kapasitas	172
Tabel 8. 1 Perhitungan Kebutuhan Kabel	180
Tabel 8. 2 Kontrol Kapasitas Batang Saat Staging	180

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan Cincin Lama Widang yang dibangun pada tahun 1970 merupakan jembatan yang menghubungkan Kecamatan Babat, Kabupaten Lamongan dengan Kecamatan Widang, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Jembatan Cincin Lama Widang memiliki panjang total 260 m yang terbagi menjadi 6 segmen yaitu 18.09 m, 51 m, 51 m, 51.06 m, 51 m dan 37.39 m dengan menggunakan struktur rangka baja dan memiliki lebar jembatan 9 meter.

Kondisi saat ini Jembatan Cincin Lama Widang sudah berumur kurang lebih 50 tahun membutuhkan perawatan lebih. Pada tahun 2018 jembatan ini mengalami keruntuhan akibat kelebihan beban (*Over Load*) sehingga mengakibatkan getaran lebih pada jembatan. Dengan adanya pembagian bentang-bentang jembatan yang ada saat ini mengakibatkan arus sungai Bengawan Solo sedikit terhambat dan mengurangi lebar efektif sungai dikarenakan banyak pilar yang berdiri di sungai. Kondisi ini menyebabkan Jembatan Cincin Lama Widang perlu direncanakan ulang sesuai dengan kebutuhan akan lalu lintas 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 Cincin Lama Widang tersebut direncanakan ulang menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja dengan bentang 160 meter dan masing-masing pendekat (Approach) dengan bentang 50 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 Tuban dan Kota Lamongan.

Jembatan busur memiliki nilai estetika, sehingga dapat menjadi ikon baru Kota Tuban dan Kota Lamongan. 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 Cincin Lama Widang dengan sistem rangka baja berbentuk busur. Adapun detail/rincian permasalahannya ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain jembatan busur yang sesuai dengan estetika dari kota Tuban dan kota Lamongan, 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 Cincin Lama Widang dengan sistem rangka baja berbentuk busur adalah dapat direncanakan struktur jembatan yang kuat menahan beban yang bekerja dan mengurangi penggunaan pilar pada jembatan agar arus sungai menjadi lancar. Sedangkan tujuan secara khusus ialah :

1. Dapat mendesain jembatan busur yang sesuai dengan estetika dari kota Tuban dan kota Lamongan, 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 bangunan bawah jembatan.

1.5 Manfaat

Umum:

1. Sebagai referensi dalam mendesain jembatan dengan menggunakan sistem jembatan busur.
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.

Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada kondisi eksisting, jembatan Cincin Lama Widang menggunakan jembatan rangka type warren yang terbagi menjadi 6 bentang dengan total bentang sungai 260 m. Karena Pada tahun 2018 jembatan ini mengalami keruntuhan akibat kelebihan beban (*Over Load*) sehingga mengakibatkan getaran lebih pada jembatan. Dengan adanya pembagian bentang-bentang jembatan yang ada saat ini mengakibatkan arus sungai Bengawan Solo sedikit terhambat dan mengurangi lebar efektif sungai dikarenakan banyak pilar yang berdiri di sungai maka dalam tugas akhir ini jembatan Cincin Lama Widang didesain ulang dengan menggunakan rangka busur baja dengan bagian bentang utama 160 m lantai kendaraan berada dibawah (*Through Arch*) dan bagian bentang pendekat (approach) 50 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 diatasnya 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.

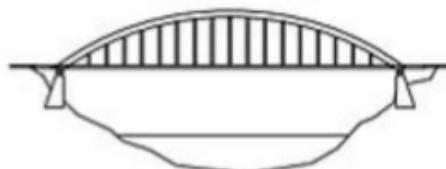


Deck Arch

Gambar 2. 1 Jembatan tipe “Deck Arch” (Syum, 2015)

- **Through Arch**

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

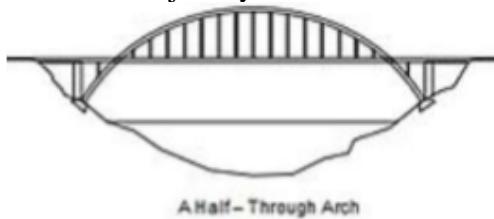


Through Arch

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 dan Through Arch untuk menghindari agar pangkal busurnya tidak terendam oleh air. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.3.



A Half-Through Arch

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 bebananya berat, dapat menggunakan busur rangka.
- Bila bebananya 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 sistem 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. $\sum P_c */80$ apabila kombinasi beban mencakup gaya lateral (seperti beban angin)

2. $\sum P_c */40$ apabila kombinasi beban tidak mencakup gaya lateral.

Dimana :

$\sum P_c$ * 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.

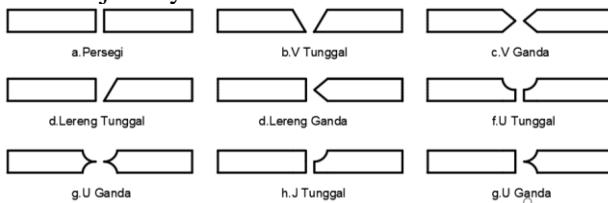
1. Sambungan Las

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 < 413-448 MPa. Jenis E70XX merupakan elektroda yang paling banyak digunakan untuk las sudut dengan proses SMAW (Shield Metal Arc Welding).

- Las Tumpul

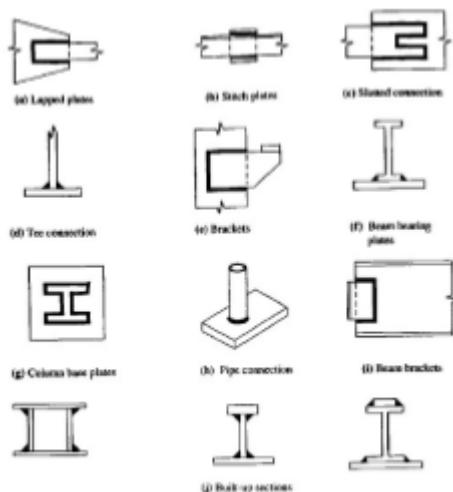
Las tumpul (groove weld) terutama dipakai untuk menyambung batang struktur yang bertemu dalam satu bidang. Karena las tumpul biasanya ditujukan untuk menyalurkan semua batang yang disambungnya. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.4 berikut:



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 bagianbagian struktur yang disambung (Amon, 1988).

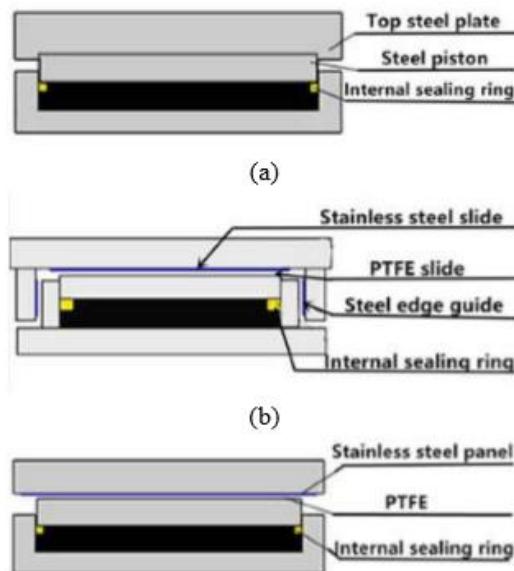
Berdasarkan gaya-gaya yang dipikul, terdapat jenis sambungan yang menggunakan baut sebagai alat penyambungnya, antara lain:

- 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 dikarenakan 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.



Gambar 2. 6 Tipe-tipe pot bearing, (a) Fixed, (b) Guided, (c) Free Sliding

Sumber: Dacheng Rubber Pot Bearing Brochure

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:

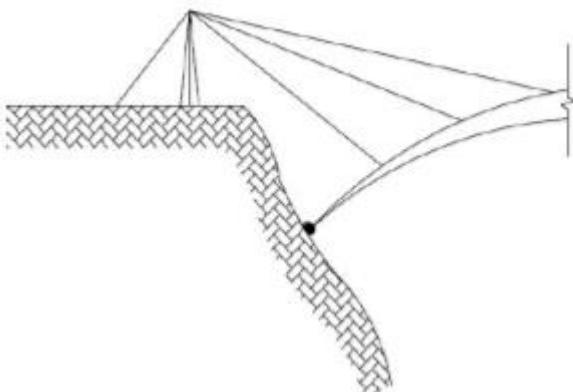
- Daya tahan yang tinggi terhadap gaya horizontal yang besar dan mampu mendistribusikannya dengan aman.
- Daya tahan yang tinggi terhadap beban dinamis dan siklus “fatigue”.
- Mengakomodasi rotasi.
- Tersedia kapasitas bervariasi dari 50 ton s/d 10000 ton.

2.4 Metode Pelaksanaan Jembatan

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).

2.4.1 Kantilever Sebagian

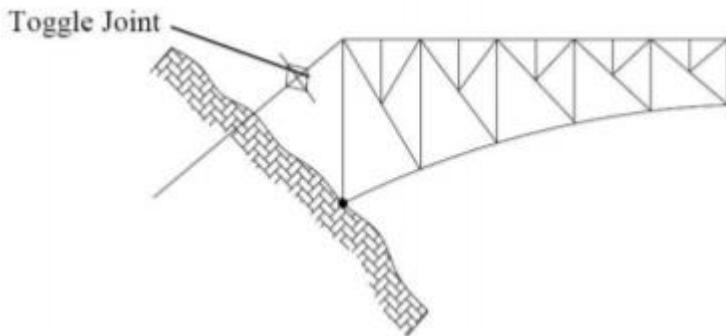
Prinsip dasar pelaksanaan sistem kantilever yaitu pembangunan separuh busur bersamaan (kedua sisi jembatan) dalam segmen pendek, sementara segmen-segmen busur tersebut ditahan oleh kabel penggantung, hingga segmen busur menyatu dibagian puncak (closure). Perintis metode kantilever ini ialah Eugene Freyssinet 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 2.7.



Gambar 2. 7 Sistem Kantilever Sebagian (Soegihardjo, 2016)

2.4.2 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 2.8.



Gambar 2. 8 Sistem Kantilever Penuh (Soegihardjo, 2016)

2.4.3 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.

2.4.4 Analisis Sistem Rangka Baja pada Konstruksi Jembatan Busur

Rangka batang adalah susunan elemen-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).

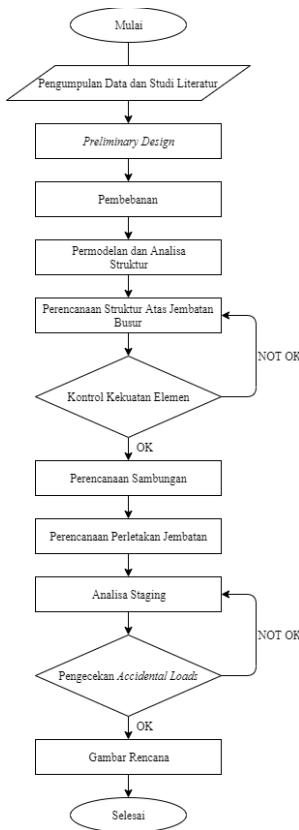
Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Perencanaan

Langkah-langkah penggeraan tugas akhir ini dapat dilihat pada diagram alir berikut (Gambar 3.1):



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan

3.2 Pengumpulan Data

Data perencanaan meliputi data umum jembatan dan data sungai dari jembatan yang akan dimodifikasi. Berikut adalah data eksisting dari jembatan yang akan dimodifikasi:

a. Data Umum Jembatan

Nama Jembatan : Jembatan Cincin Lama Widang

Lokasi Jembatan : Sungai Bengawan Solo, Kecamatan Widang, Kabupaten Tuban

Tipe Jembatan : Jembatan Rangka Baja (Warren Truss) dan Calender Hamilton

Panjang Jembatan : 260 m

Lebar Jembatan : 9.6 m

b. Data Sungai

Nama Sungai : Sungai Bengawan Solo

Lebar Sungai : 120 m

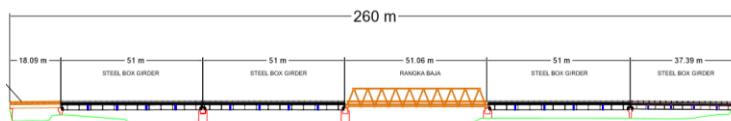
Elevasi Dasar Sungai : - 22 m

Elevasi M.A Banjir : - 5 m

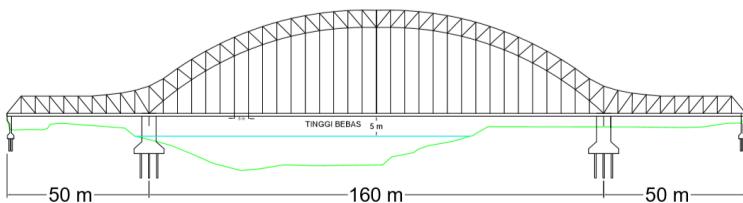
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1, gambar 3.2 dan gambar 3.3



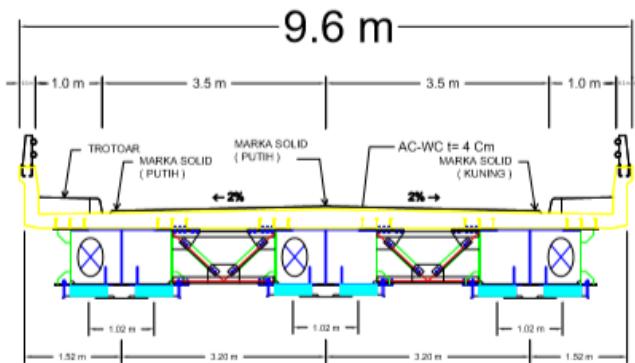
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Jembatan Cincin Lama Widang



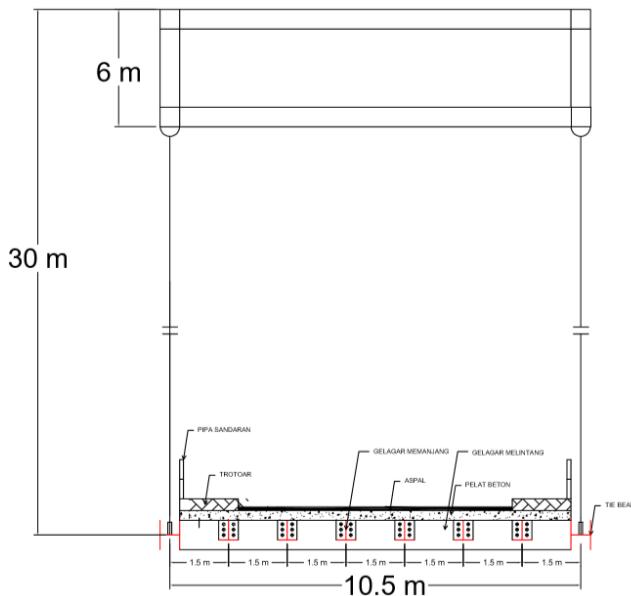
Gambar 3. 3 Tampak Memanjang Jembatan Eksisting



Gambar 3. 4 Tampak Memanjang Jembatan Modifikasi Cincin Lama Widang



Gambar 3. 5 Tampak Melintang Jembatan Eksisting



Gambar 3. 6 Tampak Melintang Jembatan Modifikasi

3.3 Studi Literatur

Mempelajari literatur maupun mengacu peraturan yang berkaitan dengan perencanaan modifikasi struktur ini, diantaranya:

1. Bridge Management System (BMS) 1992 tentang Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan.
2. RSNI T-03:2005 tentang Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.
3. SNI 1725:2016 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan.
4. SNI 1729:2015 tentang Standar Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
5. SNI 2833:2016 tentang Standar Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.

3.4 Preliminary Design

Pada perencanaan ulang jembatan ini terdiri dari 3 bentang yaitu 1 bentang dengan panjang 160 meter menggunakan rangka busur dan bagian pendekat jembatan sisi kiri dan kanan dengan bentang 50 meter. Dalam penentuan dimensi Rangka Busur yang perlu diperhatikan adalah:

1. Tinggi Busur

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

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

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

Dimana:

t = Tinggi Tampang

L = Bentang Busur

4. Lebar Jembatan

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

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

Dimana:

b = Lebar Jembatan
L = Bentang Busur

Dimensi dari komponen struktur ditentukan berdasarkan ketentuan Bridge Management System (BMS) 1992 maupun peraturan lain atau berdasarkan peraturan umum. Berikut data modifikasi dan gambar perencanaan jembatan Cincin Lama Widang (Gambar 3.4 dan 3.6) :

a. Data Umum Jembatan

Tipe Jembatan	: Jembatan Busur Rangka Baja
Panjang Jembatan	: 260 meter (1x160 m Rangka Busur sebagai Jembatan Utama + 2 x 50 m Rangka Atas sebagai Pendekat).

Lebar Jembatan : 10.5 meter

Tinggi Bebas : 5 meter

b. Struktur Utama

Mutu Baja : BJ 55

Kuat Leleh (fy) : 410 MPa

Kuat Putus (fu) : 550 MPa

Lebar Trotoar : 2 x 1,5 meter

3.5 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.

3.5.1 Beban Tetap

1. Berat Jenis Material

Berikut merupakan tabel berat isi untuk beban mati yang di sajikan pada tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 3. 1 Berat Isi Untuk Beban Mati

No	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Lapisan pemukaan beraspal (bituminous wearing surface)	22,0	2245
2	Besi tuang (cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1775
4	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (low density)	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton $f_c < 35$ MPa $35 < f_c < 105$ MPa	$22,0 – 25,0$ $22 + 0,022$	2320 $f_c 2240 + 2,29$ f_c
8	Baja (steel)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (hard wood)	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 3. 2 Berat Isi untuk Beban Mati

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{ms})			
	Keadaan Batas Layan (γ^u_{ms})		Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{ms})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Almuniun	1,00	1,10	0,90
	Beton Pra Cetak	1,00	1,20	0,85
	Beton Di Cor di Tempat	1,00	1,30	0,80
	Kayu	1,00	1,40	0,75

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 3. 3 Faktor Beban Mati Tambahan

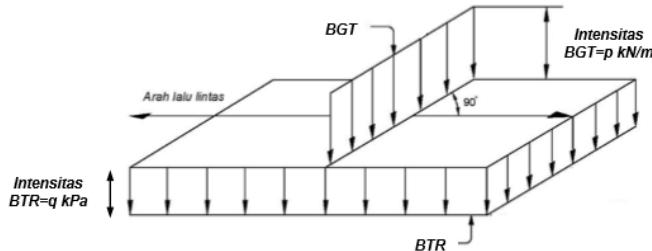
Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{ma})			
	Keadaan Batas Layan (γ^u_{ms})		Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{ms})	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

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

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

3.5.2 Beban Lajur “D” (BGT dan BTR)

Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekivalen 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 jalur “D” terdiri dari beban tersebar merata /(BTR) dan beban garis (BGT). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3. 7 Beban Lajur “D” (SNI 1725:2016)

Besarnya nilai BTR tergantung panjang bentangnya, sebagai berikut:

- $L \leq 30 \text{ m}$ $q = 9,0 \text{ kPa}$
(3.5)

- $L > 30 \text{ m}$ $q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$
(3.6)

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:

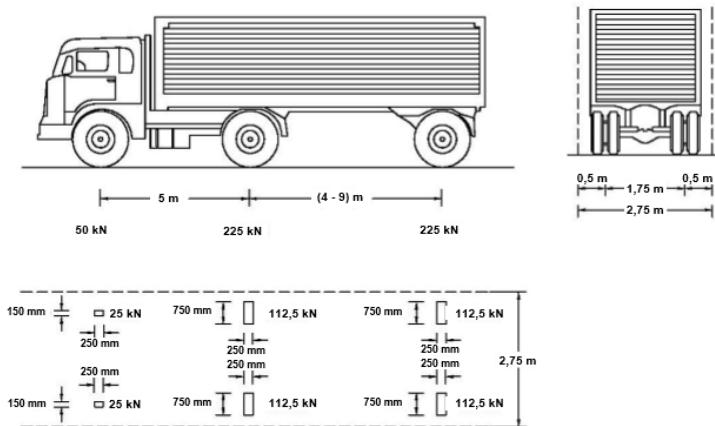
Tabel 3. 4 Faktor Beban Lajur “D”

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 Baja Girder	1,00	2,00

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

3.5.3 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 disebarluaskan 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 3. 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 3. 5 Faktor Beban Truk “T”

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

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

3.5.4 Faktor Beban Dinamis

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

bentang ekivalen, diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang ekivalen LE diberikan dengan rumus:

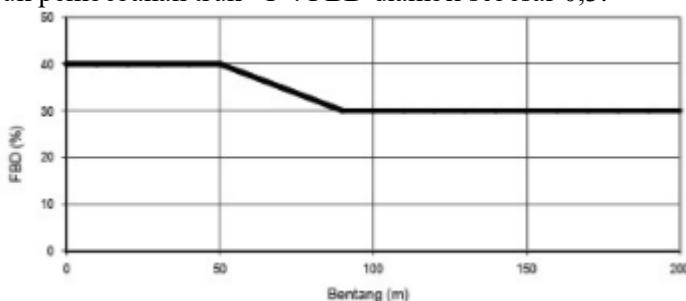
$$L_E = \sqrt{L_{ev} \times L_{max}} \quad (3.7)$$

Dimana:

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

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

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



Gambar 3. 9 Fakor beban dinamis untuk beban lajur “D” (SNI 1725:2016)

Nilai FBD untuk beban truk dinyatakan prosentase. Pada Gambar 3.7 merupakan grafik yang digunakan untuk mencari nilai FBD.

3.5.5 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 dimuat 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.

3.5.6 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.

3.5.7 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.

3.5.8 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:

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \cdot \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \cdot In \cdot \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.8)$$

Dimana:

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

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm

V_B = Kecepatan angin rencana 90 hingga 126 km/jam

Z = Elevasi Struktur

V_0 = Kecepatan gesekan angin

Z_0 = Panjang gesekan dihulu jembatan
 V_0 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 3. 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)

$$P_D = P_B \cdot \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.9)$$

Tabel 3. 7 Tekanan Angin Dasar (PB)

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Tekan (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 (EW₁)

Tabel 3. 8 Komponen Beban Angin yang Bekerja 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
69	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 ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \left(\frac{C_{SM}}{R_d} \right) \cdot W_t \quad (3.10)$$

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)

3.5.9 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.

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 SAP 2000 dan 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:

3.8.1 Kontrol Kapasitas Tekan

1. Kontrol Kelangsingan

$$E_Q = \left(\frac{K_c \cdot L}{i} \right) \quad (3.11)$$

$$\lambda < 140$$

Menghitung parameter kelangsingan batang baja:

$$E_Q = \left(\frac{\lambda}{\pi} \right) \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\omega = 1 \quad (\lambda_c \leq 0,25)$$

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

2. Kuat Nominal

Untuk $\lambda_c \leq 1,5$

$$Nn = 0,66\lambda c^2 \cdot Ag.fu \quad (3.13)$$

Untuk $\lambda_c > 1,5$

$$Nn = \frac{0,88 \cdot Ag.fu}{\lambda c^2} \quad (3.14)$$

Syarat Kuat Rencana:

$$\phi Nn > Pu ; \phi = 0,85 \quad (3.15)$$

3.8.1 Kontrol Kapasitas Tarik

1. Kontrol Kelangsungan

$$\lambda_{max} = \frac{L}{iy} \quad (3.16)$$

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

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

2. Kuat Nominal

$$\begin{aligned}Pn &= \emptyset \cdot Ag.fy \\ &> Pu ; \emptyset \\ &= 0,9\end{aligned} \quad (3.17)$$

3. Kontrol Tekuk Lokal

$$Sayap : \frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \quad (3.18)$$

$$Badan : \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \quad (3.19)$$

4. Kontrol Tekuk Lateral

L_B = Jarak penahan lateral

$$L_P = 1,76 \cdot iy \cdot \frac{E}{fy} \quad (3.20)$$

$$L_r = iy \cdot \left(\frac{x_1}{fy - f} \right) \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 f_L^2)}} \quad (3.21)$$

Dimana:

- $L_B < L_R$ (Bentang Pendek)
- $L_P \leq L_B \leq L_R$ (Bentang Menengah)
- $L_B > L_R$ (Bentang Panjang)

5. Kontrol Kapasitas Lentur

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{(2,5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C)} \leq 2,3 \quad (3.22)$$

Kuat Nominal Lentur Penampang

$$\text{Bentang Pendek} : Mn = Mp \quad (3.23)$$

$$\text{Bentang Menengah} : Mn = \quad (3.24)$$

$$C_b \cdot \left[M_R + (M_r - M_R) \cdot \frac{L_R - L_B}{L_R - L_B} \right] \leq M_r$$

$$\text{Bentang Panjang} : Mn = Mcr \quad (3.25)$$

Kontrol Kapasitas Geser

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{fy}} \quad (3.26)$$

$$Vn = 0,9,0,6. fy. Aw > Vu \quad (3.27)$$

Cek Kapasitas

$$\frac{Pu}{\emptyset Pn} + \frac{8. \emptyset. Mux}{9. \emptyset. Mux} + \frac{8. \emptyset. Muy}{9. \emptyset. Muy} < 1 \quad (3.28)$$

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 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 3.9.



Gambar 3. 10 Metode Balance Cantilever (Wong, 2012)

3.12 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.

3.13 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 Cincin Lama Widang ini menggunakan program bantu AutoCAD.

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:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$$

Dimana:

f : tinggi busur

L : bentang busur

Di coba tinggi busur 30 meter, maka:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{6} \leq \frac{30}{160} \leq \frac{1}{5} \rightarrow 0.16667 \leq 0.1875 \leq 0.2 \quad (\text{OK})$$

- Panjang Segmen

Syarat:

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

Di coba panjang segmen 5 meter, maka:

$$5 \leq \frac{160}{15} \rightarrow 5 \leq 10.667 \quad (\text{OK})$$

- Tinggi Tampang Busur

Syarat:

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

Dimana:

T : Tinggi Tampang Busur

L : Bentang Busur

Di coba tinggi tampang busur 6 meter, maka:

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

$$\frac{1}{40} \leq \frac{6}{160} \leq \frac{1}{25} \rightarrow 0.025 \leq 0.0375 \leq 0.04 \quad (\text{OK})$$

- 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

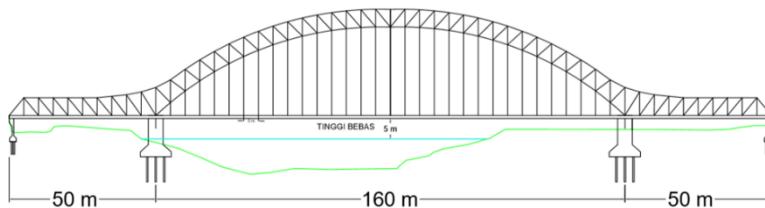
L : Bentang Jembatan

Di coba lebar jembatan 10 meter, maka:

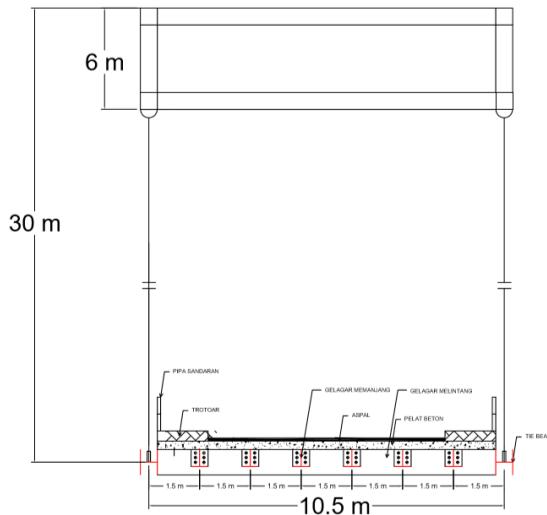
$$\frac{B}{L} \geq \frac{1}{20}$$

$$\frac{10.5}{160} \geq \frac{1}{20} \rightarrow 0.065625 \geq 0.05 \quad (\text{OK})$$

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 Jembatan

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

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

$$ts \geq 100 + 40(b1) \text{ mm}$$

$$ts \geq 100 + 40(1.5) \text{ mm}$$

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

Digunakan pelat beton dengan tebal 25 cm

4.3 Perencanaan Kerb

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

4.4 Perencanaan Sandaran

Direncanakan, tebal plat kolom sandaran 3cm dan pipa sandaran $\varnothing 3$ inchi.

4.5 Perencanaan Gelagar

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

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

4.6 Perencanaan Penggantung

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

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

Dimana:

f : tinggi busur

L : bentang busur

x : panjang titik yang ditinjau dari perletakan

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

Tabel 4. 1 Hasil Panjang Penggantung

Titik	x (m)	Y_n (m)	Titik	x (m)	Y_n (m)
1	5	3.63	9	45	24.26
2	10	7.03	10	50	25.78
3	15	10.20	11	55	27.07
4	20	13.13	12	60	28.13
5	25	15.82	13	65	28.95
6	30	18.28	14	70	29.53
7	35	20.51	15	75	29.88

8	40	22.50	16	80	30.00
---	----	-------	----	----	-------

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 200x200x10x16
- Ikatan Angin Busur Bawah WF 200x200x10x16
- Ikatan Angin Lantai Kendaraan WF 350x350x7x11
- Ikatan Silang Rangka WF 400x400x30x50

Halaman ini sengaja di kosongkan

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

$$d_3 \geq 200 \text{ mm} \text{ atau}$$

$$d_3 \geq 100 + 40(b_1) \text{ mm}$$

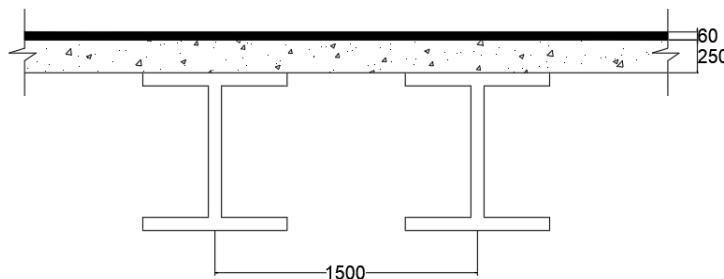
$$d_3 \geq 100 + 40(1.5) \text{ mm}$$

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

Dari syarat-syarat di atas maka diambil tebal pelat lantai kendaraan sebesar $d_3 = 250$ mm, sedangkan untuk perencanaan tebal aspal berdasarkan SNI 1725:2016 dapat dilihat sebagai berikut:

$$d_4 \geq 50 \text{ mm}$$

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



Gambar 5. 1 Sketsa Pelat Lantai Kendaraan

5.1.1 Pembebaan Pelat Lantai Kendaraan

Pembebaan 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:

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri pelat} &= d_3 \times \gamma_{\text{beton}} \times \gamma_{MS}^U \times 1 \text{ m} \\ &= 0,25 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 1,3 \times 1 \text{ m} \\ &= 7,8 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri aspal} &= d_4 \times \gamma_{\text{aspal}} \times \gamma_{MS}^U \\ &= 0,06 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 1,3 \\ &= 1,72 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

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

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

b. Perhitungan beban hidup:

$$\text{Beban roda truk} = 112,5 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Beban Dinamis} = 0,3$$

$$\begin{aligned}\text{TFBD} &= (1+0,3) \times 112,5 \text{ kN} \\ &= 146,25 \text{ kN}\end{aligned}$$

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

c. Perhitungan Pelat Bondeks

$$\begin{aligned}d &= h - \frac{1}{2} \times \text{tinggi gelombang} \\ &= 250 - \frac{1}{2} \times 50 \\ &= 225 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_c &= h - \text{tinggi gelombang} \\ &= 250 - 50 \\ &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Es}{Ec} \\
 &= \frac{Es}{0,043 \times (Wc)^2 \times \sqrt{fc}} \\
 &= \frac{200000}{0,043 \times (2400)^2 \times \sqrt{fc}} \\
 &= 8,03 \\
 p &= \frac{As}{b \times d} \\
 &= \frac{357,058}{995 \times 225} \\
 &= 0,0016
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan,

$$\begin{aligned}
 Y_{cc} &= d\sqrt{2pn + (pn)^2 - pn} \\
 &= 225\sqrt{2 \cdot 0,0016 \cdot 8,03 + (0,0016 \cdot 8,03)^2 - 0,0016 \cdot 8,03} \\
 &= 25,66 < hc \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{cs} &= d - Y_{cc} \\
 &= 225 - 25,66 \\
 &= 199,34 \text{ mm} \\
 I_c &= \frac{b}{3 \times h} \times Y_{cc}^3 + As \times Y_{cs}^2 + Isf \\
 &= \frac{995}{3 \times 250} \times 25,66^3 + 357,058 \times 199,34^2 \\
 &\quad + 422063,6 \\
 &= 14632690,46 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Menghitung *Flexural Strength* :

$$\begin{aligned}
 My &= \frac{Fy \times I_c}{h - Y_{cc}} \\
 &= \frac{560 \times 14632690,46}{250 - 25,66} \\
 &= 36526284,47 \text{ Nmm} \\
 &= 35,53 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varnothing My &= \varnothing \times My \\
 &= 0,85 \times 35,53 \\
 &= 31,05 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu_{\text{beton}} &= 1/10 \times q_{\text{Beton}} \times (b1)^2 \\
 &= 1/10 \times 7,8 \times (1,5)^2 \\
 &= 1,755 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$\text{ØMy} > \text{Mu}_{\text{beton}}$ Maka Bondek kuat menahan beban beton saat pengecoran.

5.1.2 Perhitungan Momen Arah Melintang

- Perhitungan momen akibat beban mati:

$$\begin{aligned} M_D &= 1/10 \times q_{\text{mati,aspal}} \times (b1)^2 \\ &= 1/10 \times 1,72 \times 1,5^2 \\ &= 0,394 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban hidup:

$$\begin{aligned} M_L &= 0,8 \times \frac{s+0,6}{10} \times T_{\text{ult}}, \text{ dimana } s = b1 \\ &= 0,8 \times \frac{1,5 \text{ m} + 0,6}{10} \times 292,5 \text{ kN} \\ &= 49,14 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Momen Total:

$$\begin{aligned} M_u &= M_D + M_L \\ &= 0,394 + 49,14 \\ &= 49,53 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

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

- 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	= Ø10

- Beban

$$\begin{aligned} Mu &= 49,53 \text{ kNm} \\ &= 49530000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Tulangan Melintang Tumpuan Arah x Diasumsikan menggunakan tulangan D16 ($As = 201,06 \text{ mm}^2$)

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

$$M_n = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$\begin{aligned} \text{dimana } \emptyset &= 0,8 (\text{RSNI T-12-2004 Pasal 4.5.2}) \\ &= \frac{51307000}{0,8} \\ &= 64133750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mn}{bd^2} \\ &= \frac{49530000}{1000 \cdot 202^2} \\ &= 1,572 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right\} \\ &= \frac{0,85 \cdot 35}{390} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,572}{0,85 \cdot 35}} \right\} \\ &= 0,0041 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{fy} \\ &= \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} \\ &= 0,00379 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0041$$

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0041 \times 1000 \times 202 \end{aligned}$$

$$= 808 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} \\ &= \frac{808}{201,06} \\ &= 4,02 \approx 5 \end{aligned}$$

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

Syarat:

$$S_{\min} = 3d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3h = 3.250 = 750 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pasang}} = 250 \text{ mm}$$

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

- Tulangan Memanjang Arah

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

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

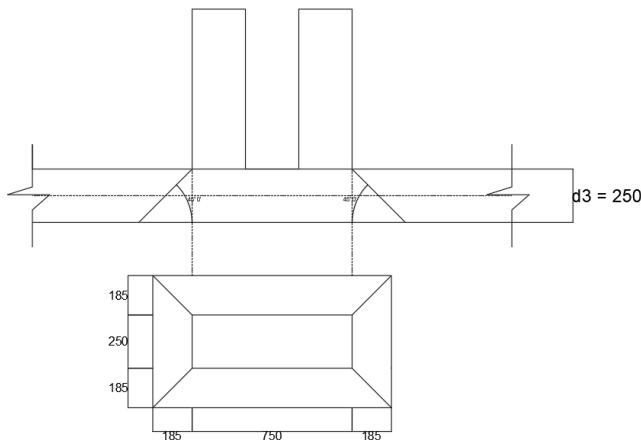
Diasumsikan menggunakan tulangan Ø10 (As = 78,54 mm²)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} \\ &= \frac{363,6}{78,54} \\ &= 4,63 \approx 5 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan Ø10-250 mm. Sketsa penulangan dapat dilihat pada Gambar 5.2.

5.1.4 Kontrol Geser Pons

Perhitungan penulangan geser (pons) untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan ukuran roda truk seperti pada Gambar 5.3, sedangkan untuk kemiringan sudut geser pons diambil sebesar 45°, d₄ adalah tebal aspal dianggap = 0 d₃ adalah tebal pelat = 25 cm. Analisis penulangan geser pelat dihitung sebagai berikut:



Gambar 5. 2 Ilustrasi Geser Pons pada Lantai Kendaraan

$$\begin{aligned} b_0 &= 750 + 2(d_3/2) + 2(0) \\ &= 750 + 2(250/2) + 2(0) \\ &= 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_0 &= 250 + 2(d_3/2) + 2(d_4) \\ &= 250 + 2(250/2) + 2(0) \\ &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Keliling kritis (U),

$$\begin{aligned} U &= 2(b_0 + d_0) \\ &= 2(1000 + 500) \\ &= 3000 \text{ mm} \end{aligned}$$

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,

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

Dimana,

$$f_{cv} = \frac{1}{6} + \left(1 + \frac{2}{\beta h}\right) \sqrt{f'c} \leq 0,34 \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{1}{6} + \left(1 + \frac{2}{3}\right) \sqrt{35} \quad \leq 0,34\sqrt{35}$$

$$= 1,64 \quad \leq 2,01 \quad (\text{OK})$$

fpe = 0 (Tidak prestress)

Vn = U.d (fcv + 0,3fpe)

$$= 3000 \cdot 250 (1,64 + 0)$$

$$= 1230000 \text{ N}$$

$$= 1230 \text{ kN}$$

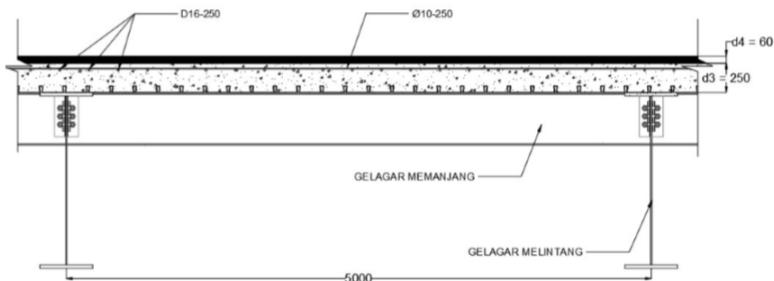
$\emptyset V_n \geq V_u$

$\emptyset = 0,8$ (faktor reduksi kekuatan geser)

$$(0,8) 1230 \geq 292,5$$

$$984 \geq 292,5 \quad (\text{OK})$$

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



Gambar 5. 3 Gambar Penulangan Pelat

5.2 Perencanaan Trotoar

5.2.1 Perencanaan Sandaran

Berikut adalah data perencanaan pipa sandaran *railing* seperti pada Gambar 5.4.

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

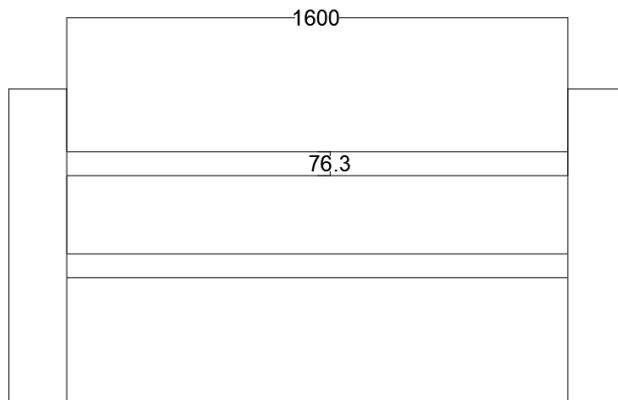
$$q_{\text{pipa}} = 7,13 \text{ kg/m}$$

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

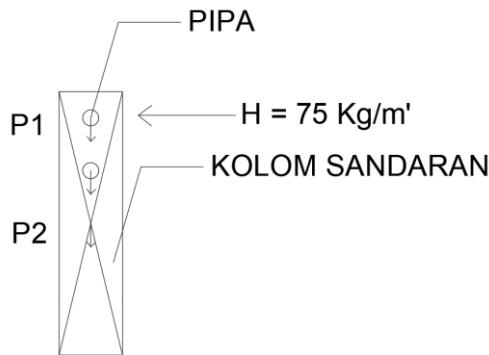
$$W_{\text{pipa}} = 15,6 \text{ cm}^3$$

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

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



Gambar 5. 4 Pipa Sandaran Railing



Gambar 5. 5 Pembagian Beban Pipa Sandaran Railing

Digambar q vertikal dan horizontal

$$\begin{aligned}
 q \text{ sandaran} &= 0,75 \text{ kN/m} \\
 q \text{ vertikal} &= q \text{ pipa} + q \text{ sandaran} \\
 &= 0,071 \text{ kN/m} + 0,75 \text{ kN/m} \\
 &= 0,821 \text{ kN/m} \\
 q \text{ horizontal} &= q \text{ sandaran} \\
 &= 0,75 \text{ kN/m} \\
 M \text{ vertikal} &= 1/8 \cdot q \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 0,821 \cdot 1,6^2 \\
 &= 0,263 \text{ kNm} \\
 M \text{ horizontal} &= 1/8 \cdot q \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 0,75 \cdot 1,6^2 \\
 &= 0,24 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan pipa:

$$\begin{aligned}
 Mn &= Z \times f_y \\
 &= 8,58 \cdot 3600 \\
 &= 30888 \text{ kgcm} \\
 &= 3,08 \text{ kNm} \\
 \varnothing Mn &= 0,9 \cdot Mn \\
 &= 0,9 \cdot 3,08 \\
 &= 2,772 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Rasio momen:

$$\frac{Mv}{Mn} = \frac{0,26}{3,08} = 0,085$$

$$\frac{Mh}{Mn} = \frac{0,24}{3,08} = 0,078$$

$$0,85 + 0,078 = 0,163 < 1 \quad (\text{OK})$$

Lendutan yang terjadi pada pipa:

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{300} = \frac{1600}{300} = 0,534 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{vertikal}} = \frac{5.q.L^4}{384.E.I}$$

$$= \frac{5.0,82.1.6^4}{384.2.10^6.59.5}$$

$$= 0,058 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{horizontal}} = \frac{5.q.L^4}{384.E.I}$$

$$= \frac{5.0,75.1.6^4}{384.2.10^6.59.5}$$

$$= 0,053 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{resultan}} = \sqrt{\Delta v^2 + \Delta h^2}$$

$$= \sqrt{0,058^2 + 0,053^2}$$

$$= 0,078 \text{ cm}$$

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

$$0,078 \text{ cm} < 0,534 \text{ cm} \quad (\text{OK})$$

5.2.2 Perencanaan Kolom Sandaran

1. Beban Mati

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

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa sandaran} &= n_{\text{pipa}} \cdot q_{\text{pipa}} \cdot \text{jarak kolom} \\ &= 2 \cdot 7,13 \cdot 1,6 \\ &= 22,816 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_D &= \text{Berat sendiri kolom} + \text{Berat pipa sandaran} \\ &= 216 + 22,816 \\ &= 238,816 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_D &= P_D \cdot b/2 \\ &= 238,816 \cdot 0,3/2 \\ &= 35,82 \text{ kgm} \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

$$\begin{aligned}
 q_L &= 75 \text{ kg/m} \\
 P_L &= q_L \cdot L \\
 &= 75 \cdot 1,6 \\
 &= 120 \text{ kg} \\
 M_L &= P_L \cdot \text{tinggi kolom} \\
 &= 120 \cdot 1 \text{ m} \\
 &= 120 \text{ kgm} \\
 P_U &= 1,2 P_D + 1,6 P_L \\
 &= 1,2 (238,816) + 1,6 (120) \\
 &= 478,58 \text{ kg} \\
 &= 4782,7 \text{ N} \\
 Mu &= 1,2 M_D + 1,6 M_L \\
 &= 1,2 (35,82) + 1,6 (120) \\
 &= 234,96 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

3. Penulangan Kolom

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\emptyset} \\
 &= \frac{234,96}{0,8} \\
 &= 293,7 \text{ kg.m} \\
 &= 293,7 \text{ N/mm} \\
 \frac{Mn}{b+h^2} &= \frac{293,7 \cdot 10^4}{300.300.300} \\
 &= 0,11 \text{ N/mm}^2 \\
 \frac{P_u}{b+h} &= \frac{4782,7}{300.300} \\
 &= 0,05 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d & \rightarrow d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ tulangan} \\
 &= 0,01 \cdot 300 \cdot 268 & &= 300 - 20 - 12 \\
 &= 804 \text{ mm}^2 & &= 268 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Tulangan (n)} &= \frac{As}{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2} \\
 &= \frac{804}{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2}
 \end{aligned}$$

$$= 7,1 \approx 8$$

Dipasang 8Ø12 → As pasang = 904,7 mm²

4. Perencanaan Tulangan Geser

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot P_u \cdot L$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 4782,7 \cdot 1,2$$

$$= 2869,62 \text{ N}$$

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

$$= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 268$$

$$= 79275,5 \text{ N}$$

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

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

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

$$S_{\text{maks}} = \frac{1}{2} d$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 268$$

$$= 134 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 102$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak Sengkang:

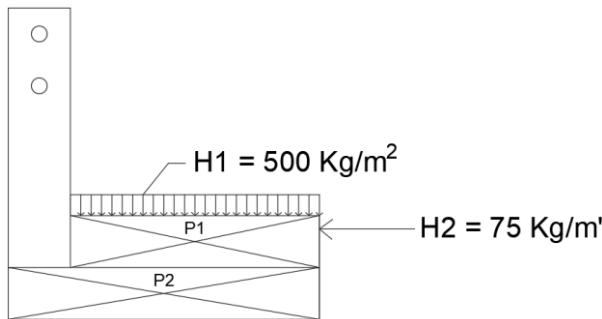
$$S = \frac{A_v \cdot f_y}{\frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b}$$

$$= \frac{157,08 \cdot 360}{\frac{1}{3} \sqrt{35} \cdot 300}$$

$$= 95,5 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø10 – 90 mm

5.2.3 Perencanaan Kerb



Gambar 5. 6 Pembebanan Kerb

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

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

Data perencanaan kerb:

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

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

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

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

$$f'c \quad = 35 \text{ MPa}$$

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

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

$$\varnothing_{tl} \quad = 13 \text{ mm} \quad (\text{tulangan lentur})$$

$$\varnothing_{ts} \quad = 6 \text{ mm} \quad (\text{tulangan susut})$$

Beban yang bekerja:

1. Akibat Beban Mati:

$$q_{D1} \text{ (Berat Trotoar/Kerb)}$$

$$q_{D1} \quad = 0,2 \cdot 1 \cdot 2400 \\ = 480 \text{ kg/m}$$

$$q_{D2} \text{ (Berat Pelat Beton)}$$

$$q_{D2} \quad = 0,25 \cdot 1 \cdot 2400 \\ = 600 \text{ kg/m}$$

2. Akibat Beban Hidup:

$$H1 \text{ (beban pejalan kaki + kendaraan ringan)}$$

$$H_1 = 500 \text{ kg/m } H_2$$

(beban tumbukan pada trotoar)

$$H_2 = 500 \text{ kg}$$

Akibat Momen yang terjadi di titik A:

$$\begin{aligned} MP_1 &= 480 \cdot 1,5 \cdot 0,45 &= 324 \text{ kgm} \\ MP_2 &= 600 \cdot 1,5 \cdot 0,45 &= 405 \text{ kgm} \\ MH_1 &= 500 \cdot 1,5 \cdot 0,45 &= 337,5 \text{ kgm} \\ MH_2 &= 500 \cdot 0,4 &= 200 \text{ kgm} \\ M_{\text{Total}}(M_u) &= 1266,5 \text{ kgm} \\ &= 12,66 \times 10^6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

3. Perhitungan tulangan Kerb:

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

Menurut SNI 2847:2013, nilai β_1 untuk beton mutu lebih dari 30 MPa adalah:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 8 \left(\frac{f'_c - 30}{1000} \right) \\ &= 0,85 - 8 \left(\frac{35 - 30}{1000} \right) \\ &= 0,81 \\ fy \text{ tul.} &= 360 \text{ MPa} \\ \text{Decking beton} &= 40 \text{ mm} \\ \varnothing \text{ tulangan} &= \varnothing 13 \text{ mm} \\ d &= h - (0,5 \cdot \varnothing \text{ tulangan}) - \text{decking} \\ &= 200 - (0,5 \times 13) - 40 \\ &= 153,5 \text{ mm} \\ \rho_b &= \beta \times \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \beta \times \frac{0,85 \cdot 35}{360} \times \frac{600}{600 + 360} \\ &= 0,042 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,042 \\ &= 0,032 \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{360} \\ &= 0,004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{360}{0,85 \cdot 35} \\
 &= 12,101 \\
 R_n &= \frac{M_u}{\emptyset b d^2} \\
 &= \frac{12,66 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 153,5^2} \\
 &= 0,671 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\} \\
 &= \frac{1}{12,101} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12,101 \cdot 0,671}{360}} \right\} \\
 &= 0,00189
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{pakai}} &= \rho_{\text{min}} \\
 &= 0,004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0004 \times 1000 \times 153,5 \\
 &= 614 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan Ø13-200 (As pakai = 664 mm²)

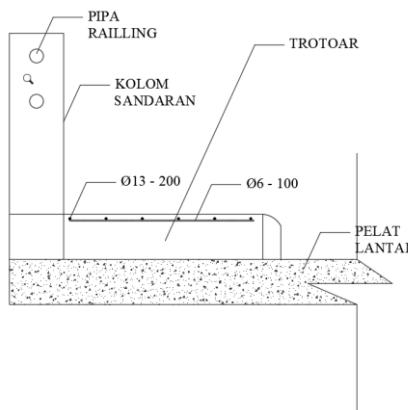
Cek kekuatan:

$$\begin{aligned}
 M_n &= As \cdot f_y \cdot d \\
 &= 664 \times 360 \times 153,5 \\
 &= 36.692.640 \text{ Nmm} = 36,67 \text{ kNm} \\
 \emptyset M_n &= 0,9 \times 36,67 \\
 &= 33 \text{ kNm} > Mu = 11,85 \text{ kNm (OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan susut dipakai Ø6

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{tulangan} - \emptyset \text{susut}/2 \\
 &= 200 - 40 - 13 - 6/2 \\
 &= 144 \text{ mm} \\
 \text{As perlu} &= 0,0018 \times b \times d \\
 &= 0,0018 \times 1000 \times 144 \\
 &= 259,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

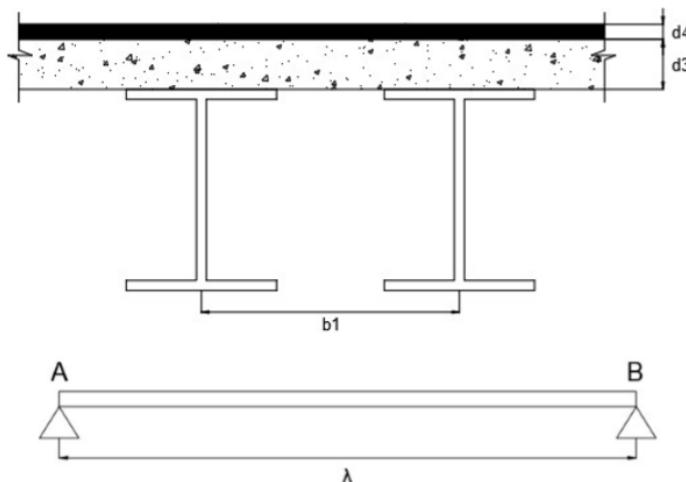
Dipasang tulangan Ø6 – 100 (As pakai = 283 mm²)



Gambar 5. 7 Penulangan Trotoar

5.3 Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan

Untuk perencanaan balok memanjang ini menggunakan baja mutu BJ 55, dengan ilustrasi seperti Gambar 5.8. Fungsi gelagar memanjang adalah untuk menyalurkan beban yang bekerja diatas 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. 8 Permodelan Gelagar Memanjang
Direncanakan balok memanjang menggunakan profil WF 450x200x9x14 dengan data sebagai berikut:

W	$= 76 \text{ kg/m}$	bf	$= 200 \text{ mm}$
d	$= 450 \text{ mm}$	A	$= 96,76 \text{ cm}^2$
tw	$= 9 \text{ mm}$	tf	$= 14 \text{ mm}$
r	$= 18 \text{ mm}$	h	$= 386 \text{ mm}$
S_x	$= 1490 \text{ cm}^3$	S_y	$= 187 \text{ cm}^3$
Z_x	$= 1621 \text{ cm}^3$	Z_y	$= 289 \text{ cm}^3$
I_x	$= 33500 \text{ cm}^4$	I_y	$= 1870 \text{ cm}^4$
i_x	$= 18,6 \text{ cm}$	i_y	$= 4,4 \text{ cm}$

$$L_p = 171,0363 \text{ cm} \quad L_r = 434,037 \text{ cm}$$

5.3.1 Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan

Pembebanan pada gelagar mengikuti SNI 1725:2016 Pasal 7.2.

1. Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Pelat Beton} &= d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot b_1 \cdot \gamma_{\text{MS}}^U \\ &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \\ &= 1170 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aspal} &= d_4 \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot b_1 \cdot \gamma_{\text{MS}}^U \\ &= 0,06 \cdot 2200 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \\ &= 257,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bondeks} &= w_{\text{bondeks}} \cdot b_1 \cdot \gamma_{\text{MS}}^U \\ &= 10,1 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \\ &= 16,665 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

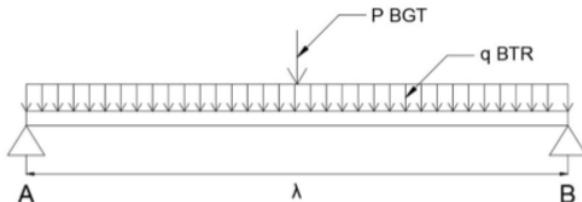
$$\begin{aligned} \text{Berat Sendiri} &= W_{\text{profil}} \cdot \gamma_{\text{MS}}^U \\ &= 76 \cdot 1,1 \\ &= 83,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_D &= 1170 + 257,4 + 16,665 + 83,6 \\ &= 1527,665 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_D &= 1/8 \cdot q_D \cdot L^2 \\ &= 1/8 \cdot 1527,665 \cdot 5^2 \\ &= 4773,953 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_D &= 1/2 \cdot q_D \cdot L \\ &= 1/2 \cdot 1527,665 \cdot 5 \\ &= 3819,16 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Beban Hidup



Gambar 5. 9 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 5.9 sesuai dengan SNI 1725:2016 Pasal 8.3.

- Beban Terbagi Rata (BTR)

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

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

$$L = 5 \text{ m}, \text{ maka nilai } q:$$

$$q = 9,0 \text{ kPa}$$

$$= 9,0 \text{ kN/m}^2$$

$$= 900 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{\text{BTR}} = q \cdot b_1 \cdot \gamma_{\text{TD}}^{\text{U}}$$

$$= 900 \cdot 1,5 \cdot 2$$

$$= 2700 \text{ kg/m}$$

- 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 Pasal 8.6.1 sebesar 40%.

$$P_{\text{BGT}} = P \cdot b_1 \cdot (1+\text{FBD}) \cdot \gamma_{\text{TD}}^{\text{U}}$$

$$= 4900 \cdot 1,5 \cdot (1+0,4) \cdot 2$$

$$= 20580 \text{ kg}$$

- Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Hidup

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

$$= (1/8 \cdot 2700 \cdot 5^2) + (1/4 \cdot 20580 \cdot 5)$$

$$= 34162,5 \text{ kgm}$$

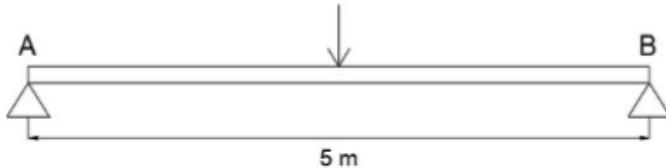
$$V_{\text{L1}} = 1/2 \times q_{\text{BTR}} \times L + 1/2 \times P_{\text{BGT}}$$

$$= 1/2 \times 2700 \times 5 + 1/2 \times 20580$$

$$= 17040 \text{ kg}$$

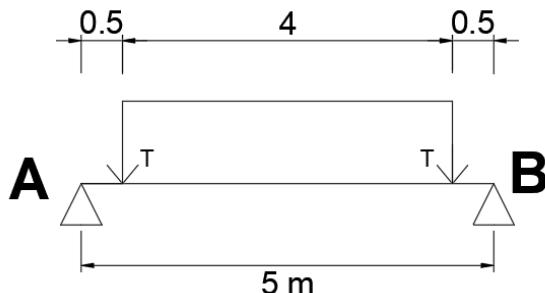
- Beban Truk “T”

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 Pasal 8.6.1 seperti pada Gambar 5.7.



Gambar 5. 10 Permodelan Beban Hidup Truk

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



Gambar 5. 11 Permodelan Gaya Geser Truk

$$\begin{aligned}
 R_{A,5} &= T \cdot (1 + FBD) \cdot \gamma_{TT}^U \cdot (0,5 + 4,5) \\
 R_A &= 11250 \cdot (1 + 0,3) \cdot 2 \cdot (5) / 5 \\
 &= 29250 \text{ kg} \\
 R_B &= 29250 \text{ kg} \\
 V_{L2} &= T(1+FBD) \cdot \gamma_{TT}^U \\
 &= 11250 \cdot (1 + 0,3) \cdot 2 \\
 &= 29250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

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

- Momen dan Gaya Geser Total

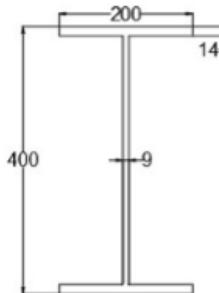
Momen total adalah jumlah momen akibat beban mati dan beban hidup. Momen akibat beban hidup yang dipakai adalah momen yang memiliki nilai paling besar yaitu M_{L2} .

$$\begin{aligned}
 Mu &= M_D + M_{L2} \\
 &= 4773,953 + 36562,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vu &= 41336,453 \text{ kgm} \\
 &= V_D + V_{L2} \\
 &= 17040 + 29250 \\
 &= 46290 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5.3.2 Kontrol Profil Gelagar Memanjang

Dilakukan Analisis kekuatan terhadap profil seperti pada Gambar 5.11 yang telah ditentukan sesuai dengan SNI 1729:2015.



Gambar 5. 12 Penampang Gelagar Memanjang

1. Kontrol Momen Lentur

- Kontrol Tekuk Lokal

$$\begin{aligned}
 \text{Sayap : } \frac{bf}{2tf} &\leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \\
 \frac{bf}{2.14} &\leq \frac{170}{\sqrt{410}} \quad 7,14 \leq 8,39 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Badan : } \frac{h}{tw} &\leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \\
 \frac{386}{9} &\leq \frac{1680}{\sqrt{410}} \quad 42,89 \leq 82,97 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka

$$\begin{aligned}
 Mn &= M_p \cdot Mn \\
 &= Z \times f_y \\
 &= 1621 \cdot 4100 \\
 &= 6646100 \text{ kg.cm} \\
 &= 66461 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset \cdot Mn &= 0,9 \cdot Mn \\
 &= 0,9 \cdot 66461 \\
 &= 59814,9 \text{ k.gm} > Mu = 41336,453 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Tekuk Lateral

$$\begin{aligned}
 Lb &= 500 \text{ cm} \\
 Lp &= 171,0363 \text{ cm} \\
 Lr &= 434,0370 \text{ cm} \\
 M_{cr} &= Cb \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 I_y I_w} \\
 M_p &= Z \times f_y \\
 &= 1621 \text{ cm}^3 \cdot 4100 \text{ kg/cm}^3 \\
 &= 6646100 \text{ kg.cm} \\
 &= 66461 \text{ kg.m} \\
 M_r &= S \times (f_y - f_r) \\
 &= 1490 (4100 - 700) \\
 &= 5066000 \text{ kg.cm} \\
 &= 50660 \text{ kg.m} \\
 M_{max} &= Mu = Momen \frac{1}{4} bentang (Mb) = 41336,453 \\
 \text{kgm} & \\
 M_a &= Vu \times L/4 - (qD + qL-BTR) \times L^2/32 \\
 &= 18444,16 \times 5/4 - (1527,665 + 1603,2) \times 5^2/32 \\
 &= 20609,21 \text{ kg.m} \\
 M_c &= 20609,21 \text{ kg.m} \\
 \text{Dimana,} \\
 C_b &= \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} \\
 M_{max} &= 41336,453 \text{ kg.m} \\
 M_a &= 20609,21 \text{ kg.m} \\
 M_b &= 41336,453 \text{ kg.m} \\
 M_c &= 20609,21 \text{ kg.m} \\
 C_b &= \frac{12,5 \cdot 41336,453}{2,5 \cdot 41336,4 + 3 \cdot 20609,2 + 4 \cdot 41336,4 + 3 \cdot 20609,2} < 2,3 \\
 &= 1,277 < 2,3 (\text{OK}) \\
 M_{cr} &= Cb \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 I_y I_w}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,277 \cdot \frac{3,14}{500} \sqrt{2 \times 2 \times 10^6 \cdot 8 \times 10^5 \cdot 459,7 + \left(\frac{3,14}{500}\right)^2 1870 \cdot 69655,6} \\
 &= 9626389,481 \text{ kg.cm} \\
 &= 96263,89481 \text{ kg.m} > M_p = 66461 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \varnothing M_n &= 0,9 \cdot M_n \\
 &= 0,9 \cdot 66461 \\
 &= 59814,9 \text{ kg.m} > M_u = 41336,453 \text{ kg.m (OK)}
 \end{aligned}$$

2. Kontrol Terhadap Gaya Geser

- Kontrol Kapasitas Penampang

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{tw} &\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \\
 \frac{386}{9} &\leq \frac{1100}{\sqrt{410}} \\
 42,89 &\leq 54,32 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Karena plastis maka, kuat geser nominal:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot 4100 \cdot 38,6 \cdot 0,9 \\
 &= 85460,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varnothing V_n &= 0,9 \cdot V_n \\
 &= 0,9 \cdot 85460,4 \text{ kg} \\
 &= 76914,56 \text{ kg} > V_u = 46290 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

3. Kontrol Lendutan

- Lendutan Ijin

Syarat:

$$\begin{aligned}
 \Delta_{ijin} &= \frac{1}{800} \lambda \\
 &= \frac{1}{800} 500 \\
 &= 0,625 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan akibat BTR dan BGT

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

$$\begin{aligned}
 q_{BTR} &= q \cdot b_1 \\
 &= 534,4 \cdot 1,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{BGT} &= 801.6 \text{ kg/m} \\
 &= P \cdot b_1 \cdot (1+FBD) \\
 &= 4900 \cdot 1,5 \cdot (1+0,3) \\
 &= 9555 \text{ kg} \\
 \Delta_{(BGT+BTR)} &= \frac{5}{384} \frac{q_{BTR} \lambda^4}{EI_x} + \frac{1}{48} \frac{P_{BGT} \lambda^3}{EI_x} \\
 &= \frac{5}{384} \frac{8,016.500^4}{2 \cdot 10^6 \cdot 33500} + \frac{1}{48} \frac{9555.500^3}{2 \cdot 10^6 \cdot 33500} \\
 &= 0,097 + 0,371 \\
 &= 0,469 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan akibat Beban Truk “T”

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

$$\begin{aligned}
 P &= T (1+FBD) \\
 &= 112,5 (1+0,3) \\
 &= 146,25 \text{ kN} \\
 &= 14625 \text{ kg} \\
 \Delta_{(T)} &= \frac{1}{48} \frac{P \cdot \lambda^3}{EI_x} \\
 &= \frac{1}{48} \frac{14625.500^3}{2 \cdot 10^6 \cdot 33500} \\
 &= 0,568 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

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

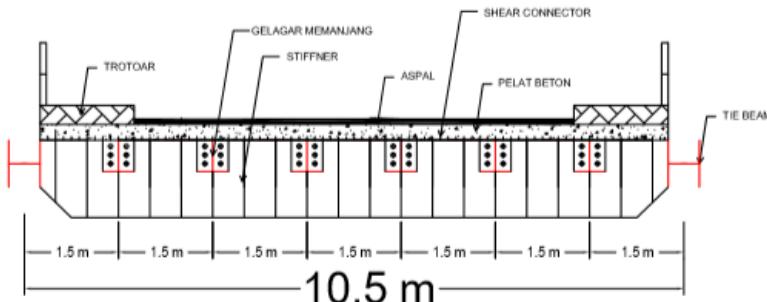
$$\Delta = 0,568 \text{ cm}$$

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

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

5.4 Perencanaan Gelagar Melintang Jembatan

Untuk perencanaan balok melintang ini menggunakan baja mutu BJ 55, dengan ilustrasi seperti Gambar 5.9. 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. 13 Permodelan Gelagar Melintang

Direncanakan balok melintang menggunakan plate girder dengan spesifikasi seperti berikut:

W	= 311,174 kg/m	bf	= 450 mm
d	= 1200 mm	As	= 396,4 cm ²
tw	= 20 mm	tf	= 28 mm
h	= 1144 mm	Sx	= 21548,6 cm ³
Sy	= 1890,5 cm ³	Zx	= 23760 cm ³
Zy	= 2871,1 cm ³	Ix	= 1616149,9 cm ⁴
Iy	= 20020,367 cm ⁴	ix	= 62,101cm
iy	= 7,669 cm	a	= 500 mm

5.4.1 Pembebanan Gelagar Melintang Jembatan

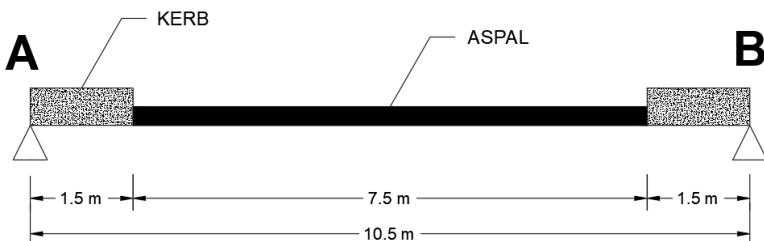
Pembebatan pada gelagar mengikuti SNI 1725:2016.

1. Sebelum Komposit

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

$$\begin{aligned}
 &= 10,1 \cdot 5 \cdot 1,1 \\
 &= 55,55 \text{ kg/m} \\
 \text{Gelagar} &= W \cdot \lambda / b_1 \cdot \gamma_{MS}^U \\
 \text{Memanjang} &= 76 \cdot 5 / 1,5 \cdot 1,1 \\
 &= 278,67 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat Sendiri} &= W \cdot \gamma_{MS}^U \\
 &= 311,174 \cdot 1,1 \\
 &= 342,29 \text{ kg/m} \\
 q_{D1} &= 3900 + 55,55 + 278,67 + 342,29 \\
 &= 4576,51 \text{ kg/m} \\
 M_{D1} &= 1/8 \cdot q_D \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 4576,51 \cdot 152 \\
 &= 128714,34 \text{ kgm} \\
 V_{D1} &= 1/2 \cdot q_D \cdot L \\
 &= 1/2 \cdot 4576,51 \cdot 10,5 \\
 &= 24026,68
 \end{aligned}$$

2. Setelah Komposit



Gambar 5. 14 Pembebanan Setelah Komposit

Beban mati yang bekerja setelah komposit adalah beban aspal dan kerb seperti pada Gambar 5.13. Beban hidup yang bekerja yaitu Beban Terbagi Rata (BTR), Beban Garis Terpusat (BGT), dan Beban Truk.

- Beban Mati

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

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

$$\begin{aligned}
 \sum MB &= 0 \\
 RA \cdot 10,5 &= (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 9,75) + (\text{Aspal} \cdot 7,5 \cdot 5,25) + \\
 &\quad (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 0,75) \\
 RA \cdot 10,5 &= (3120 \cdot 1,5 \cdot 9,75) + (858 \cdot 7,5 \cdot 5,25) + (3120 \\
 &\quad \cdot 1,5 \cdot 0,75) \\
 RA &= 82923,75 / 10,5 \\
 &= 9897,5 \text{ kg} \\
 M_{D2} &= (RA \cdot 5,25) - (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 4,5) - (\text{Aspal} \cdot 3,75 \cdot \\
 &\quad 1,875) \\
 &= (9897,5 \cdot 5,25) - (3120 \cdot 1,5 \cdot 6,75) - (858 \\
 &\quad \cdot 3,75 \cdot 1,875) \\
 &= 14339,06 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Beban Hidup

1. Beban Terbagi Rata (BTR)

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

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

$L = 5 \text{ m}$, maka nilai q :

$$\begin{aligned}
 q &= 9,0 \text{ kPa} \\
 &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 900 \text{ kg/m}^2 \\
 q_{\text{BTR}} &= q \cdot \lambda \cdot \gamma_{\text{TD}}^U \\
 &= 900 \cdot 5 \cdot 2 \\
 &= 9000 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

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 40%. Ilustrasi pembebanan BTR dan BGT dapat dilihat pada Gambar 5.11.

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

$$= 4900 \cdot (1+0,4) \cdot 2$$

$$= 13720 \text{ kg/m}$$

$$q_L = q_{BTR} + q_{BGT}$$

$$= 9000 + 13720$$

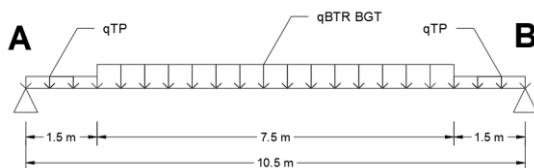
$$= 22720 \text{ kg/m}$$

3. Beban Pejalan Kaki

$$q_{TP} = 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \lambda$$

$$= 500 \cdot 5$$

$$= 2500 \text{ kg/m}$$



Gambar 5. 15 Pembebanan BTR, TP dan BGT

3. Momen Akibat Beban Hidup

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \cdot 10,5 = q_L \cdot 7,5 \cdot 5,25$$

$$R_A = (22720 \cdot 7,5 \cdot 5,25) + (2500 \cdot 9,75 \cdot 0,75)$$

$$+ (2500 \cdot 0,75 \cdot 0,75)/10,5$$

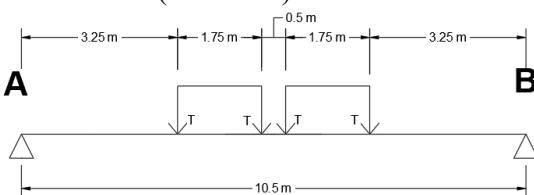
$$R_A = 87075 \text{ kg}$$

$$M_{L1} = (R_A \cdot 5,25) - (q_L \cdot 3,75 \cdot 1,875 + q_{TP} \cdot 0,75 \cdot 4,5)$$

$$M_{L1} = (87075 \cdot 5,25) - (22720 \cdot 3,75 \cdot 1,875 + 2500 \cdot 0,75 \cdot 4,5)$$

$$M_{L1} = 288956,25 \text{ kgm}$$

4. Beban Truk "T" (Kondisi 1)



Gambar 5. 16 Pembebanan Truk Kondisi 1

Pembebanan kondisi 1 dimana tipe jembatan adalah satu arah, tanpa Median dan Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana adalah 2 lajur. Sehingga pembebanan menggunakan 2 truk sejajar arah melintang seperti pada Gambar 5.15.

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

$$\sum MB = 0$$

$$R_A \cdot 10,5 = Tu(3,25 + 5 + 5,5 + 7,25)$$

$$R_A \cdot 10,5 = 29250(21)$$

$$R_A = 58500 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_{L2} &= (R_A \cdot 4,25) - 29250(1,75) \\ &= (58500 \cdot 4,25) - 29250(1,75) \\ &= 197437,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{L1} > M_{L2} \rightarrow M_L = M_{L1} = 288956,25 \text{ Kgm}$$

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_{L1} .

$$\begin{aligned} Mu &= M_{D1} + M_{D2} + M_{L1} \\ &= 128714,34 + 14339,06 + 288956,25 \\ &= 432009,65 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5.4.2 Kontrol Profil Gelagar Melintang

1. Ukuran Balok

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

$$\begin{aligned} d &= \frac{L}{10} = \frac{10500}{10} = 1050 \text{ mm} \rightarrow \text{Dipakai } d = 1200 \text{ mm} \\ tf &= 28 \text{ mm} \\ h &= 1200 - 2(28) \\ &= 1144 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tebal Web (tw)

$$\frac{a}{h} \leq 1,5$$

$$\frac{500}{1144} \leq 1,5 \rightarrow 0,437 \leq 1,5$$

Sehingga,

$$\frac{h}{tw} \leq 12 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{1144}{tw} \leq 12 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$tw \geq 4,69 \rightarrow \text{Dipakai, } tw = 20 \text{ mm}$$

Kontrol:

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

$$\frac{1144}{20} < 125,93$$

$$57,2 < 125,93 \text{ (OK)}$$

- Ukuran Flange

$$Af = \frac{Mu}{fy \cdot h} = \frac{4306034000}{410 \cdot 1144} = 9210,5 \text{ mm}^2$$

Dipakai ukuran pelat 28×450

Afpakai \geq Af

$$28 \cdot 450 \geq 9210,5$$

$$12600 \geq 9210,5 \text{ (OK)}$$

2. Kontrol Kekuatan Lentur

- Tekuk Lokal

$$\lambda_r < \lambda_r$$

$$\frac{bf}{2t} < 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

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

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

Penampang kompak, maka fcr = fy = 410 MPa

- Tekuk Lateral

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

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

$$= 12600 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1144}{2} \cdot 20$$

$$\begin{aligned}
 I_{yy} &= 16413,34 \text{ mm}^2 \\
 I_y &= \frac{1}{12} \cdot tf \cdot bf^3 + \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{h}{2} \cdot tw \\
 &= 212625317,3 \text{ mm}^4 \\
 r_t &= \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{212625317,3}{16413,34}} \\
 &= 113,82 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 \lambda_G &= \frac{L}{r_t} = \frac{1500}{113,82} = 13,178 \\
 \lambda_p &= 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}
 \end{aligned} \right\} \quad \lambda_G < \lambda_p$$

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

Karena $\lambda_G < \lambda_p$, $\rightarrow fcr = fy = 410 \text{ MPa}$

- Momen Nominal

$$\begin{aligned}
 I \times &= \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 1144^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 450 \cdot 28^3 + 2 \cdot 28 \cdot 450 \cdot (0,5 \cdot 28 + 0,5 \cdot 1144)^2 \\
 &= 10742359300 \text{ mm}^4 \\
 S \times &= \frac{I}{d/2} = \frac{11074235930}{1500/2} = 36914119,77 \text{ mm}^3 \\
 R_{pg} &= 1 - \left[\frac{a_w}{1200+300a_w} \right] \times \left[\frac{h}{tw} - 5,7 \sqrt{\frac{E}{fy}} \right] \\
 \text{Dimana } a_w &= \frac{h \cdot tw}{bf \cdot tf} \\
 R_{pg} &= 1 - \left[\frac{1,185}{1200+300(1,185)} \right] \times \left[\frac{1144}{20} - 5,7 \sqrt{\frac{200000}{410}} \right] \\
 &= 0,948 \\
 Mn &= R_{pg} \cdot S \times \cdot fcr \\
 &= 0,948 \cdot 36914,11 \cdot 4100 \\
 &= 143477762,7 \text{ kgcm} \\
 \varnothing Mn &= 0,9 \cdot 143477762,7
 \end{aligned}$$

$$= 129129986,5 \text{ kgcm} > \text{Mu} = 43200965 \text{ kgcm} (\text{OK})$$

3. Kontrol Kuat Geser

- Untuk beban mati setelah komposit.

$$\sum MB = 0$$

$$V_{D2} \cdot 10,5 = (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 14,25) + (\text{Aspal} \cdot 12 \cdot 7,5) + (\text{Kerb} \cdot 1,5 \cdot 0,75)$$

$$V_{D2} \cdot 10,5 = (3120 \cdot 1,5 \cdot 9,75) + (858 \cdot 7,5 \cdot 5,25) + (3120 \cdot 1,5 \cdot 0,75)$$

$$\begin{aligned} V_{D2} &= 82923,75 / 10,5 \\ &= 9897,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk beban hidup setelah komposit (Truk).

$$\sum MB = 0$$

$$V_L \cdot 10,5 = Tu(3,25+5+5,5+7,25)$$

$$V_L \cdot 10,5 = 29250(21)$$

$$V_L = 58500 \text{ kg}$$

- Gaya Geser Total.

$$\begin{aligned} V_u &= V_{D1} + V_{D2} + V_L \\ &= 24026,68 + 9897,5 + 58500 \\ &= 92424,18 \text{ kg} = 924241,8 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Nominal

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

$$\frac{h}{tw} = \frac{1144}{20} = 57,2$$

$$\begin{aligned} k_v &= 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(500/1144)^2} \\ &= 31,17 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{31,17 \cdot 200000}{410}}$$

$$57,2 \leq 123,31 \quad (\text{OK})$$

Sehingga,

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

Dimana,

$$C_v = 1,0$$

$$= 0,6 \cdot 410 \cdot 10 \cdot 800$$

$$= 1968000 \text{ N}$$

$$\emptyset V_n = 0,9 \cdot 1968000$$

$$= 1771200 \text{ N} > 924241,8 \text{ N (OK)}$$

4. Perencanaan Stiffener

Data Perencanaan:

$$R_n = 1216741,8 \text{ N}$$

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

$$h = 1,144 \text{ m} = 1444 \text{ mm}$$

Digunakan tebal dan lebar stiffener sebagai berikut, ilustrasi stiffener gelagar melintang seperti pada Gambar 5.17.

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

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

Syarat,

$$t_s > \frac{t_f}{2}$$

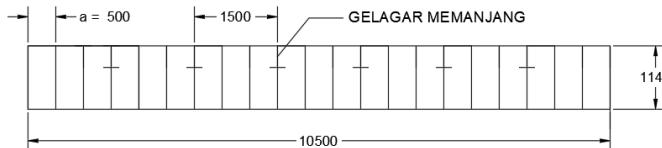
$$16 > \frac{28}{2}$$

$$16 > 14 \text{ (OK)}$$

$$b_s > \frac{b_f}{3} - \frac{t_w}{2}$$

$$150 > \frac{450}{3} - \frac{20}{2}$$

$$150 > 140 \text{ (OK)}$$



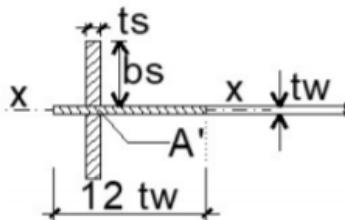
Gambar 5. 17 Perencanaan Stiffener

Kontrol Stiffener sebagai Kolom Gambar 5.18

$$A' = t_w \cdot (12t_w) + 2(t_s \cdot b_s)$$

$$= 10 \cdot (12 \cdot 20) + 2(16 \cdot 150)$$

$$= 7200 \text{ mm}^2$$



Gambar 5. 18 Stiffener sebagai Kolom

$$I_{xx} = \frac{1}{12} \cdot ts \cdot (2 \cdot bs + tw)^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 16 \cdot (2.150 + 20)^3$$

$$= 43690666,67 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A'}} = \sqrt{\frac{43690666,67}{7200}} = 77,89 \text{ mm}$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{\pi \cdot r_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$= \frac{0,75 \cdot 1144}{\pi \cdot 77,89} \sqrt{\frac{410}{200000}}$$

$$= 0,158$$

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

$$R_n \leq \emptyset \cdot A \cdot \frac{f_y}{w}$$

$$924241,8 \text{ N} \leq 0,85 \cdot 6000 \cdot \frac{410}{1}$$

$$924241,8 \text{ N} \leq 2091000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

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

5. Kontrol Lendutan

- Lendutan Ijin

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

$$= \frac{1}{800} 1500 \\ = 1,875 \text{ cm}$$

- Lendutan akibat BTR dan BGT

$$\begin{aligned} q_{BTR} &= q \cdot \lambda \\ &= 900 \cdot 5 \\ &= 4500 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{BGT} &= P \cdot (1+FBD) \\ &= 4900 \cdot (1+0,4) \\ &= 6860 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{(BGT+BTR)} &= \frac{5}{384} \frac{q_{BTR} \lambda^4}{EI_x} + \frac{1}{48} \frac{P_{BGT} \lambda^3}{EI_x} \\ &= \frac{5}{384} \frac{4500.500^4}{2.10^6 \cdot 1616149,9} + \frac{1}{48} \frac{6860.500^3}{2.10^6 \cdot 1616149,9} \\ &= 1,132 + 0,00553 \\ &= 1,1385 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\Delta_{(BGT+BTR)} = 1,1385 \text{ cm}$$

$$\Delta_{(BGT+BTR)} < \Delta_{ijin}$$

1,1385 cm < 1,875 cm (OK)

6. Kontrol Momen Setelah Komposit

- Cek Kriteria Penampang

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

$$\frac{1144}{20} \leq 3,76 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

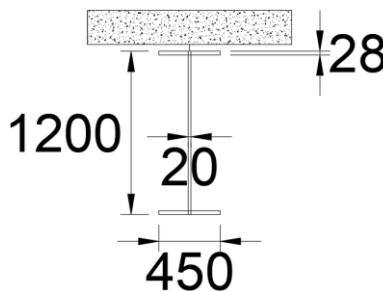
$$57,2 \leq 82,97 \rightarrow \text{Penampang Kompak}$$

- Perhitungan Lebar Efektif Pelat (Gambar 5.20)

$$\begin{aligned} be_1 &\leq S \\ &\leq 150 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be_2 &\leq L/4 \\ &\leq 1500/4 \\ &\leq 375 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$beff = 120 \text{ cm}$$



Gambar 5. 19 Permodelan Gelagar Komposit

- Letak Garis Neutra

$$\begin{aligned}
 y_{na} &= \frac{\frac{A_{tr} \cdot tb}{2} + A_s \left(tb + \frac{h}{tw} \right)}{A_{tr} + A_s} \\
 &= \frac{\frac{49667,5 \cdot 250}{2} + 396 \left(250 + \frac{1144}{10} \right)}{49667,5 + 396} \\
 &= 244,576 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Momen Inersia Penampang Transformasi

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_x + A_s \left[\left(\frac{D}{2} + tb \right) - y_{na} \right]^2 + \frac{b \cdot tr \cdot tb^3}{12} + \\
 &A_{tr} \left(y_{na} - \frac{tb}{2} \right)^2 \\
 &= 16161499000 + 22621177240 + 258684895,5 \\
 &+ 710166764,2 \\
 &= 39751527900 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Modulus Penampang Transformasi

$$\begin{aligned}
 y_c &= y_{na} = 244,576 \text{ mm} \\
 y_t &= D + tb - y_{na} \\
 &= 1500 + 250 - 244,576 \\
 &= 1505,424 \text{ mm} \\
 S_{trc} &= \frac{I_{tr}}{y_c} = \frac{39751527900}{244,576} = 162532414,9 \text{ mm}^3 \\
 S_{trt} &= \frac{I_{tr}}{y_t} = \frac{39751527900}{1505,424} = 26405536,18 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

- Momen Positif Penampang

Kapasitas momen positif penampang adalah nilai terkecil dari:

$$\begin{aligned}
 M_{n \times 1} &= 0,85 \cdot f_c' \cdot n \\
 S_{trc} &= 0,85 \cdot 35 \cdot 7,55 \cdot 162532414,9 \\
 &= 3,65 \cdot 1010 \text{ Nmm} \\
 M_{n \times 2} &= f_y \cdot S_{rt} \\
 &= 410 \cdot 26405536,18 \\
 &= 1,08 \cdot 1010 \text{ Nmm} \quad (\text{Menentukan}) \\
 \varnothing M_n &= 0,9 \cdot 1,08 \cdot 1010 \\
 &= 9720000000 \text{ Nmm} \\
 &= 972000 \text{ kgm} > M_u = 432009,65 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Shear Connector

- Data Shear Connector

Tipe Stud Ø19 :

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 \\
 &= 283,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tinggi Stud} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Jarak Melintang Antar Stud} &= 130 \text{ mm} \\
 f_u \text{ Stud} &= 500 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Kekuatan 1 Stud

$$\begin{aligned}
 Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot (f'_c \cdot E_c)^{1/2} \cdot \pi s < A_{sc} \cdot f_u \\
 \rightarrow E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,5 \text{ MPa} \\
 \rightarrow \pi s &= 1 \text{ untuk beton biasa} \\
 Q_n &= 0,5 \cdot 283,5 \cdot (35 \cdot 27805,5)^{1/2} \cdot 1 < 283,5 \cdot 500 \\
 Q_n &= 139835 \text{ N} < 141629,5 \text{ N (OK)}
 \end{aligned}$$

- Jumlah dan Jarak Shear Connector

Jumlah (n) = V_u/Q_n

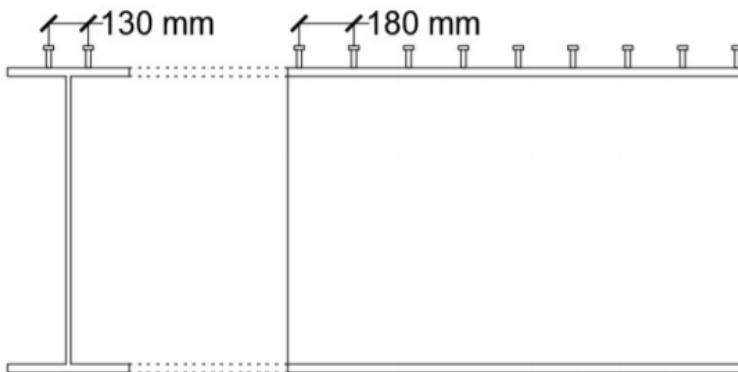
$$\begin{aligned}
 V_u &= C \text{ komposit} \\
 &= 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c \\
 &= 0,85 \cdot 350 \cdot 150 \cdot 25 \\
 &= 1115625 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah (n)} &= 1115625 / 13983,5 \\
 &= 79,78 \approx 80 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

80 buah Shear Connector dipasang pada setengah bentang gelagar melintang.

Shear Connector dipasang 2 baris pada penampang gelagar melintang seperti pada Gambar 5.21, 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

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA JEMBATAN

6.1 Rencana Modifikasi Jembatan

Perencanaan modifikasi jembatan Cincin Lama Widang menggunakan konstruksi busur rangka baja dengan lantai kendaraan di bawah. Berikut merupakan data modifikasi jembatan Cincin Lama Widang:

- Tinggi fokus busur = 30 meter
- Tinggi tampang busur = 6 meter
- Lebar jembatan = 10,5 meter
- Lebar jalan = 7,5 meter

6.2 Pembebanan Jembatan

1. Beban mati

- Pelat lantai kendaraan:

$$\begin{aligned} q_{D1} &= d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \cdot \gamma^U_{MS} \\ &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \cdot 1,3 \\ &= 3900 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{D1} &= \frac{1}{2} \cdot q_{D1} \cdot \text{lebar jalan} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3900 \cdot 7,5 \\ &= 14625 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Bondeks:

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

$$\begin{aligned} P_{D2} &= \frac{1}{2} \cdot q_{D2} \cdot \text{lebar jembatan} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 55,55 \cdot 10,5 \\ &= 291,6375 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Aspal:

$$\begin{aligned} q_{D3} &= d_4 \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot \lambda \cdot \gamma^U_{MS} \\ &= 0,06 \cdot 2200 \cdot 5 \cdot 1,3 \\ &= 858 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{D3} &= \frac{1}{2} q_{D3} \cdot \text{lebar jalan} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 858 \cdot 10,5 \\ &= 3217,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Pelat Trotoar:

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

$$\begin{aligned}
 P_{D4} &= 3900 \cdot \lambda \\
 &= 3900 \cdot 1,5 \\
 &= 5850 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Gelagar Memanjang:

$$\begin{aligned}
 P_{D5} &= w \cdot n \cdot \lambda \cdot \gamma_{\text{MS}}^U \\
 &= 76 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 1,1 \\
 &= 2508 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Gelagar Melintang:

$$\begin{aligned}
 P_{D6} &= w \cdot b \cdot \gamma_{\text{MS}}^U \\
 &= 311,74 \cdot 10,5 \cdot 1,1 \\
 &= 3600,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_D &= P_{D1} + P_{D2} + P_{D3} + P_{D4} + P_{D5} + P_{D6} \\
 &= 14625 + 291,6375 + 3217,5 + 5850 + 2508 \\
 &\quad + 3600,6 \\
 &= 30092,7375 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban Lain

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

$$\begin{aligned}
 P_{D7} &= 10\% \cdot 30092,7375 \\
 &= 3009,27 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

- BTR (Beban Terbagi Rata) $\rightarrow L = 160 \text{ m}$

$L > 30 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 q &= 9 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\
 &= 9 \cdot (0,5 + 15/160) \text{ kPa} \\
 &= 5,344 \text{ kPa} \\
 &= 534,4 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{BTR}} &= q \cdot \lambda \cdot \gamma_{\text{TD}}^U \\
 &= 534,4 \cdot 5 \cdot 2 \\
 &= 5344 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

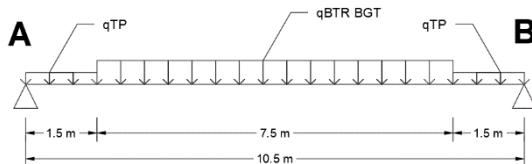
- BGT (Beban Garis Terpusat) $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$, FBD = 30%

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

$$\begin{aligned}
 q_L &= q_{BTR} + q_{BGT} \\
 &= 5344 + 12740 \\
 &= 18084 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Pejalan Kaki

$$\begin{aligned}
 q_{TP} &= 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \lambda \\
 &= 500 \cdot 5 \\
 &= 2500 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 6. 1 Pembebanan Beban Hidup

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \cdot 10,5 = q_L \cdot 7,5 \cdot 5,25$$

$$\begin{aligned}
 R_A &= (18084 \cdot 7,5 \cdot 5,25) + (2500 \cdot 9,75 \cdot 0,75) + \\
 &\quad (2500 \cdot 0,75 \cdot 0,75) / 10,5
 \end{aligned}$$

$$R_A = 96816 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 R_A \text{ Total} &= P_D + P_{D7} + R_A \\
 &= 30092,7375 + 3009,27 + 96816 \\
 &= 129918,0075 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

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.

Tabel 6.1 Nilai V0 dan Z0 untuk berbagai variasi kondisi

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
---------	---------------	-----------	------

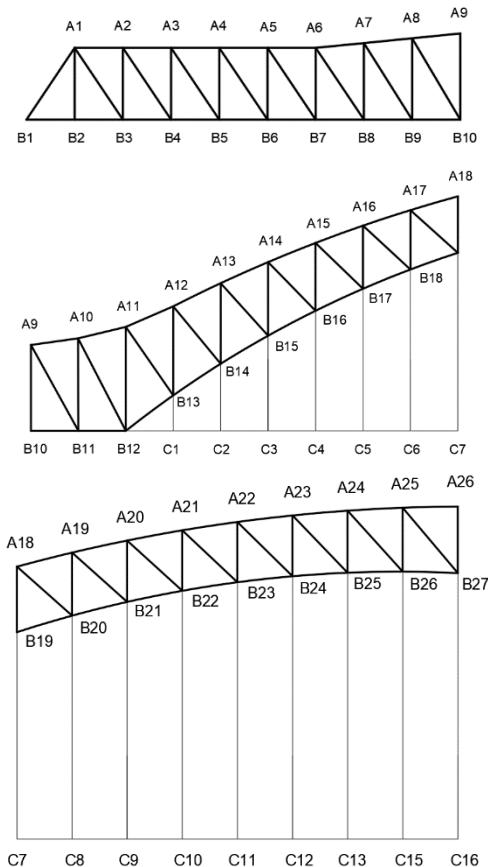
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

- 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 6.2 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Tekan (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 $Z = 22133$ mm > 10000 mm dari atas permukaan dasar.



Gambar 6. 2 Penamaan Titik Simpul

- Beban Angin pada Struktur (Ews)

$$\begin{aligned}
 V_{DZ} &= 2,5 V_0 (V_{10}/V_B) \ln (Z/Z_0) \\
 &= 2,5 \cdot 17,6 (90/90) \ln (10000/1000)
 \end{aligned}$$

$$= 136,27 \text{ km/jam}$$

$$\begin{aligned}
 P_D &= P_B (V_{DZ}/V_B)^2 \\
 &= 0,0024 (136,27 / 90)^2
 \end{aligned}$$

$$= 0,0055 \text{ MPa}$$

$$E_{ws} = P_D \cdot h \cdot 30\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0055 \cdot 7500 \cdot 30\% \\
 &= 12,375 \text{ N/mm} \\
 &= 12,375 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Angin pada Kendaraan

Untuk titik simpul pada lantai kendaraan harus ditambahkan gaya angin akibat kendaraan (E_{w1}). 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
69	0,50	0,55

$$\begin{aligned}
 E_{w1} &= 1,46 \text{ N/mm} \\
 &= 1,46 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

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
<p>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</p>		

5. Kombinasi Pembebaan

Kombinasi pembebaan 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

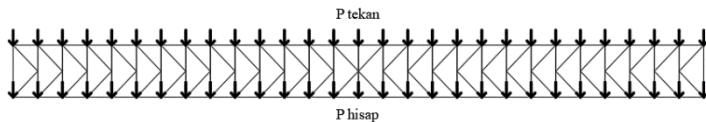
Keadaan Batas	Faktor Kombinasi Beban
Kuat I	1 DL + 1,8 LL
Kuat III	1 DL + 1,4 EW _S
Kuat V	1 DL + 0,4 EW _S + 1 EW _L
Ekstrem I	1 DL + 0,3 LL + 1 EQ
Daya Layan I	1 DL + 1 LL + 0,3 EW _S + 1 EW _L

6.3 Perencanaan Ikatan Angin Bawah

1. Hasil Analisis

Dalam perencanaan ikatan angin bawah, digunakan bantuan software Midas Civil 2019. Hasil gaya batang maksimum didapatkan dari keadaan batas Kuat III.

2. Kontrol Penampang



Gambar 6. 3 Ikatan Angin Bawah

Pembebaan pada perencanaan ikatan angin didasarkan pada perhitungan beban angin sesuai dengan SNI 1725-2016 Pasal 9.6, tentang pembebaan 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 6.6 dan ilustrasi ikatan angin bawah seperti pada Gambar 6.3.

Tabel 6. 6 Beban Angin Pada Ikatan Angin Bawah

Titik Simpul	V_{DZ} (km/jam)	E_{ws} (kN/m)	E_{w1} (kN/m)	P_{tekan} (kN)	P_{hisap} (kN)
B1-B12	136,27	12,38	1,46	34,6	17,3
C1-C16	136,27	12,38	1,46	34,6	17,3

Dari program bantu Midas Civil 2019 dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan angin. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

$$\text{Elemen 2255} = 117231 \text{ kg (Tarik)}$$

$$\text{Elemen 1805} = -125673 \text{ kg (Tekan)}$$

Direncanakan profil WF 350x350x14x22 dengan spesifikasi seperti berikut:

$$W = 159 \text{ kg/m} \quad A = 202 \text{ cm}^2$$

$$d = 356 \text{ mm} \quad bf = 352 \text{ mm}$$

$$tw = 14 \text{ mm} \quad tf = 22 \text{ mm}$$

$$r = 20 \text{ mm} \quad I_x = 47600 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 16000 \text{ cm}^4 \quad i_x = 15,3 \text{ cm}$$

$$i_y = 8,9 \text{ cm} \quad S_x = 2670 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 909 \text{ cm}^3 \quad Z_x = 2927 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 1378 \text{ cm}^3 \quad h = 272 \text{ mm}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa} \quad f_u = 550 \text{ MPa}$$

- Kontrol Tekan

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

$$\begin{aligned} \text{Sayap} &: \frac{bf}{2tf} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &\frac{352}{2,22} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ &8 \leq 12,37 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &: \frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &\frac{274}{14} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &19,4 \leq 32,9 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

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

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 7250 \text{ mm}$$

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

Tegangan Kritis (F_{cr}):

$$\begin{aligned} \frac{KL}{r} &\leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{1.7250}{107} &\leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 67,75 &\leq 104,03 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.7250}{107}\right)^2} \\ &= 429,6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,877 \cdot F_e \\ &= 0,877 \cdot 429,6 \\ &= 241,15 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 241,15 \cdot 20200 \\
 &= 4871380,7 \text{ N} \\
 \varnothing P_n &= 0,9 \cdot 4871380,7 \text{ N} \\
 &= 4384242,62 \text{ N} \\
 &= 438424,26 \text{ kg} \geq P_u = 125673 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik

Kuat Leleh :

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_y \cdot A_g \\
 &= 410 \cdot 20200 \\
 &= 8282000 \text{ N} \\
 \varnothing P_n &= 0,9 \cdot 8282000 \\
 &= 7453800 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$P_n = f_u \cdot A_e$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n = 0,85 A_g \\
 P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 20200 \\
 &= 9443500 \text{ N} \\
 \varnothing P_n &= 0,75 \cdot 9443500 \\
 &= 7082625 \text{ N (Menentukan!)}
 \end{aligned}$$

Dipakai,

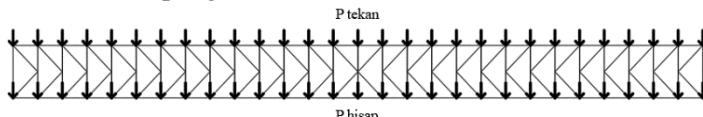
$$\begin{aligned}
 \varnothing P_n &= 7082625 \text{ N} \\
 &= 708262,5 \text{ kg} \geq P_u = 117231 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

6.4 Perencanaan Ikatan Angin Atas

1. Hasil Analisis

Dalam perencanaan ikatan angin bawah, digunakan bantuan software Midas Civil 2019. Hasil gaya batang maksimum didapatkan dari keadaan batas Kuat III.

2. Kontrol Penampang



Gambar 6. 4 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 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 Atas

Titik Simpul	h Rangka	H	Z	VDZ	EWs	EW1	P tekan	P hisap
	mm	mm	mm	km/jam	kN/m	kN/m	kN	kN
A1-A6	7500	7500	12633	111.6	8.3	0.0	20.8	10.4
A7	7750	7750	12883	112.5	8.7	0.0	21.8	10.9
A8	8000	8000	13133	113.3	9.1	0.0	22.8	11.4
A9	8500	8500	13633	114.9	10.0	0.0	25.0	12.5
A10	9000	9000	14133	116.5	10.9	0.0	27.2	13.6
A11	9500	9500	14633	118.1	11.8	0.0	29.4	14.7
A12	6000	10200	15333	120.1	7.7	0.0	19.2	9.6
A13	6000	11200	16333	122.9	8.1	0.0	20.1	10.1
A14	6000	13130	18263	127.8	8.7	0.0	21.8	10.9
A15	6000	15280	20413	132.7	9.4	0.0	23.5	11.7
A16	6000	18280	23413	138.7	10.3	0.0	25.7	12.8
A17	6000	20510	25643	142.7	10.9	0.0	27.2	13.6
A18	6000	22500	27633	146.0	11.4	0.0	28.4	14.2
A19	6000	24260	29393	148.8	11.8	0.0	29.5	14.8
A20	6000	25780	30913	151.0	12.2	0.0	30.4	15.2
A21	6000	27070	32203	152.8	12.4	0.0	31.1	15.6
A22	6000	28130	33263	154.2	12.7	0.0	31.7	15.9
A23	6000	28950	34083	155.3	12.9	0.0	32.1	16.1
A24	6000	29530	34663	156.0	13.0	0.0	32.5	16.2
A25	6000	29880	35013	156.5	13.1	0.0	32.6	16.3
A26	6000	30000	35133	156.6	13.1	0.0	32.7	16.3

Dari program bantu Midas Civil 2019 dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan angin. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

$$\text{Elemen 709} = -115803 \text{ kg (Tekan)}$$

$$\text{Elemen 738} = 254465 \text{ kg (Tarik)}$$

Direncanakan profil WF 200x200x10x16 dengan spesifikasi seperti berikut:

$$W = 65,7 \text{ kg/m} \quad A = 83,69 \text{ cm}^2$$

$$d = 208 \text{ mm} \quad bf = 202 \text{ mm}$$

$$tw = 10 \text{ mm} \quad tf = 16 \text{ mm}$$

$r = 13 \text{ mm}$	$I_x = 6530 \text{ cm}^4$
$I_y = 2200 \text{ cm}^4$	$i_x = 8,83 \text{ cm}$
$i_y = 5,13 \text{ cm}$	$S_x = 628 \text{ cm}^3$
$S_y = 218 \text{ cm}^3$	$Z_x = 698 \text{ cm}^3$
$Z_y = 331 \text{ cm}^3$	$h = 150 \text{ mm}$
$f_y = 410 \text{ MPa}$	$f_u = 550 \text{ MPa}$

- Kontrol Tekan

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

$$\begin{aligned} \text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} &\leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{202}{2,16} &\leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 6,31 &\leq 12,37 \text{ (OK)} \\ \text{Badan} : \frac{h}{tw} &\leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{150}{10} &\leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 15 &\leq 32,9 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Penampang Kompak

Diketahui:

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{725}{8,83} = 82,1 < 200 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} \lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{82,1}{\pi} \sqrt{\frac{410}{200000}} \\ &= 1,18 \end{aligned}$$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \rightarrow \text{maka} \quad \omega = \frac{1,43}{\frac{1,6 - 0,67\lambda_c}{1,43}} = \frac{1,43}{\frac{1,6 - 0,67 \cdot 1,18}{1,62}} = 1,62$$

$$\begin{aligned} \emptyset P_n &= \emptyset A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \\ &= 0,9 \cdot 8369 \cdot \frac{410}{1,62} \\ &= 1906272,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 190627,22 \text{ kg} > P_u = 115803 \text{ kg} \text{ (OK)}$$

- Kontrol Tarik

Kuat Leleh :

$$\begin{aligned} P_n &= f_y \cdot A_g \\ &= 410 \cdot 8369 \\ &= 3431290 \text{ N} \\ \varnothing P_n &= 0,9 \cdot 3431290 \\ &= 3088161 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$P_n = f_u \cdot A_e$$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_e &= A_n = 0,85 A_g \\ P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 8369 \\ &= 3912507,5 \text{ N} \\ \varnothing P_n &= 0,75 \cdot 3912507,5 \\ &= 2934380,6 \text{ N} \text{ (Menentukan!)} \end{aligned}$$

Dipakai,

$$\begin{aligned} \varnothing P_n &= 2934380,6 \text{ N} \\ &= 293438,06 \text{ kg} \geq P_u = 254465 \text{ kg} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

6.5 Perencanaan Ikatan Silang

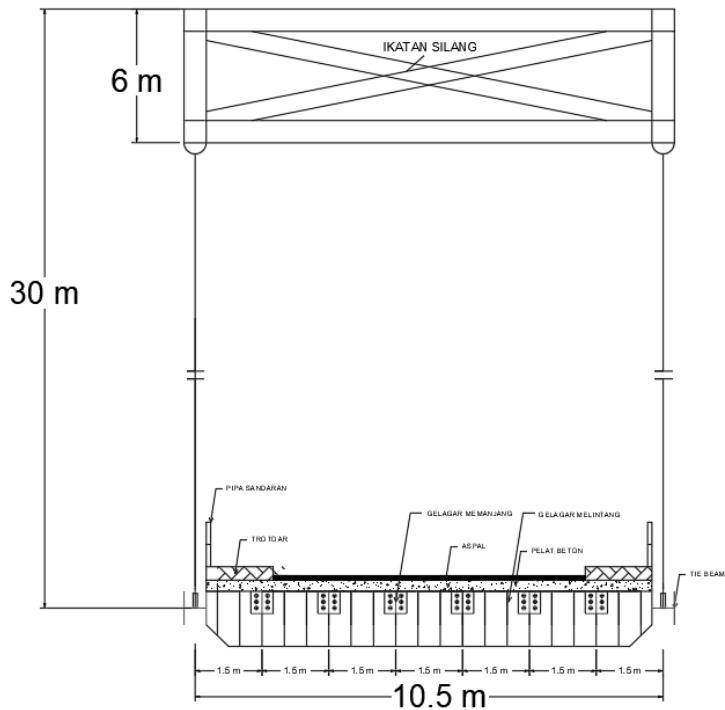
1. Hasil Analisis

Dalam perencanaan ikatan silang, digunakan bantuan software Midas Civil 2019. Ikatan Silang dipasang setiap 15 meter pada segmen busur. Seperti Gambar 6.5.

2. Kontrol Penampang

Dari program bantu Midas Civil 2019 dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan silang. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Elemen 638} &= -351774 \text{ kg (Tekan)} \\ \text{Elemen 1111} &= 141738 \text{ kg (Tarik)} \end{aligned}$$



Gambar 6. 5 Perencanaan Ikatan Silang

Direncanakan profil WF 400x400x20x35 dengan spesifikasi seperti berikut:

$W = 283 \text{ kg/m}$	$ix = 18,2 \text{ cm}$
$A = 360,7 \text{ cm}^2$	$iy = 10,4 \text{ cm}$
$d = 428 \text{ mm}$	$S_x = 5570 \text{ cm}^3$
$bf = 407 \text{ mm}$	$S_y = 1930 \text{ cm}^3$
$tw = 20 \text{ mm}$	$Z_x = 6239 \text{ cm}^3$
$tf = 35 \text{ mm}$	$Z_y = 2935 \text{ cm}^3$
$r = 22 \text{ mm}$	$h = 314 \text{ mm}$
$I_x = 1119000 \text{ cm}^4$	$f_y = 410 \text{ MPa}$
$I_y = 39400 \text{ cm}^4$	$f_u = 550 \text{ MPa}$

- Kontrol Tekan

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

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

$$\frac{407}{2,35} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$5,8 \leq 12,37 \text{ (OK)}$$

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

$$\frac{314}{20} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$15,7 \leq 32,9 \text{ (OK)}$$

Penampak Kompak

$$\lambda = \frac{lk}{i} = \frac{604,7}{18,2} = 33,18 < 200 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} \\ &= \frac{33,18}{\pi} \sqrt{\frac{410}{200000}} \\ &= 0,47\end{aligned}$$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \rightarrow \text{maka} \quad \omega = \frac{1,43}{\frac{1,6-0,67\lambda_c}{1,43}} = \frac{1,43}{\frac{1,6-0,67 \cdot 0,47}{1,43}} = 1,12$$

$$\begin{aligned}\emptyset P_n &= \emptyset A_g \cdot \frac{fy}{\omega} \\ &= 0,9 \cdot 36070 \cdot \frac{410}{1,12} \\ &= 11883776,79 \text{ N} \\ &= 1188377,68 \text{ kg} > P_u = 351774 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

- Kontrol Tarik

Kuat Leleh :

$$\begin{aligned}P_n &= fy \cdot A_g \\ &= 410 \cdot 52860 \\ &= 21672600 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\emptyset P_n = 0,9 \cdot 21672600$$

$$= 19505340 \text{ N}$$

Kuat Putus:

$$P_n = f_u \cdot A_e$$

Dimana,

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

$$P_n = 550 \cdot 0,85 \cdot 52860$$

$$= 24712050 \text{ N}$$

$$\emptyset P_n = 0,75 \cdot 24712050$$

$$= 18534038 \text{ N} \text{ (Menentukan!)}$$

Dipakai,

$$\emptyset P_n = 18534038 \text{ N}$$

$$= 1853403,8 \text{ kg} \geq P_u = 55557 \text{ kg (OK)}$$

6.6 Perencanaan Kabel Penggantung

Pada perencanaan ini digunakan hanger tipe tension rods, produksi Macalloy dengan jenis Macalloy 520 (M76), Carbon steel seperti pada Gambar 6.7.

Tabel 6. 8 Panjang Tabel Penggantung

Titik	x	Yn	Tinggi Tampang	Panjang Hanger
	m	m	m	m
1	5	3.63	6	0
2	10	8.53	6	2.53
3	15	10.20	6	4.20
4	20	13.13	6	7.13
5	25	15.82	6	9.82
6	30	18.28	6	12.28
7	35	20.51	6	14.51
8	40	22.50	6	16.50
9	45	24.26	6	18.26
10	50	25.78	6	19.78
11	55	27.07	6	21.07
12	60	28.13	6	22.13
13	65	28.95	6	22.95
14	70	29.53	6	23.53
15	75	29.88	6	23.88
16	80	30.00	6	24.00

6.6.1 Pembebanan

1. Beban mati

- Pelat lantai kendaraan:

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

$$\begin{aligned}
 P_{D1} &= \frac{1}{2} \cdot q_{D1} \cdot \text{lebar jalan} \\
 &= \frac{1}{2} 3900 \cdot 7,5 \\
 &= 14625 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Bondeks:

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

$$\begin{aligned} P_{D2} &= \frac{1}{2} \cdot q_{D2} \cdot \text{lebar jembatan} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 55,55 \cdot 10,5 \\ &= 291,6375 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Aspal:

$$\begin{aligned} q_{D3} &= d4 \cdot \gamma_{aspal} \cdot \lambda \cdot \gamma^U_{MS} \\ &= 0,06 \cdot 2200 \cdot 5 \cdot 1,3 \\ &= 858 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{D3} &= \frac{1}{2} q_{D3} \cdot \text{lebar jalan} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 858 \cdot 10,5 \\ &= 3217,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Pelat Trotoar:

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

$$\begin{aligned} P_{D4} &= 3900 \cdot \lambda \\ &= 3900 \cdot 1,5 \\ &= 5850 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Gelagar Memanjang:

$$\begin{aligned} P_{D5} &= w \cdot n \cdot \lambda \cdot \gamma^U_{MS} \\ &= 76 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 1,1 \\ &= 2508 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Gelagar Melintang:

$$\begin{aligned} P_{D6} &= w \cdot b \cdot \gamma^U_{MS} \\ &= 311,74 \cdot 10,5 \cdot 1,1 \\ &= 3600,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_D &= P_{D1} + P_{D2} + P_{D3} + P_{D4} + P_{D5} + P_{D6} \\ &= 14625 + 291,6375 + 3217,5 + 5850 + 2508 \\ &\quad + 3600,6 \\ &= 30092,7375 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Beban Lain

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

$$\begin{aligned} P_{D7} &= 10\% \cdot 30092,7375 \\ &= 3009,27 \text{ kg} \end{aligned}$$

6. Beban Hidup

- BTR (Beban Terbagi Rata) $\rightarrow L = 160 \text{ m}$

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

$$\begin{aligned} q &= 9 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\ &= 9 \cdot (0,5 + 15/160) \text{ kPa} \\ &= 5,344 \text{ kPa} \\ &= 534,4 \text{ kg/m}^2 \\ q_{BTR} &= q \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^U \\ &= 534,4 \cdot 5 \cdot 2 \\ &= 5344 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

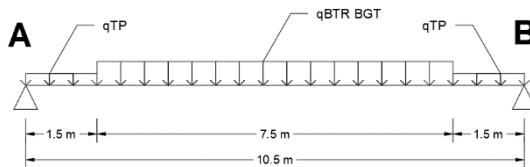
- BGT (Beban Garis Terpusat) $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$, FBD = 30%

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

$$\begin{aligned} q_L &= q_{BTR} + q_{BGT} \\ &= 5344 + 12740 \\ &= 18084 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Beban Pejalan Kaki

$$\begin{aligned} q_{TP} &= 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \lambda \\ &= 500 \cdot 5 \\ &= 2500 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 6. 6 Pembebanan Beban Hidup

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \cdot 10,5 = q_L \cdot 10,5 \cdot 5,25$$

$$R_A = (18084 \cdot 10,5 \cdot 5,25) + (2500 \cdot 9,75 \cdot 0,75) + \\ (2500 \cdot 0,75 \cdot 0,75)/10,5$$

$$R_A = 96816 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} R_A \text{ Total} &= P_D + P_{D7} + R_A \\ &= 30092,7375 + 3009,27 + 96816 \\ &= 129918,0075 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Mencari Nilai $V_{BTR\ TP}$ dan V_{BGT}

$$\sum M_B = 0$$

$$V_{BTR\ TP} \cdot 10,5 = q_{BTR\ TP} \cdot 7,5 \cdot 5,25$$

$$\begin{aligned} V_{BTR\ TP} &= (5344 \cdot 7,5 \cdot 5,25) + (2500 \cdot 9,75 \cdot 0,75) + \\ &\quad (2500 \cdot 0,75 \cdot 0,75)/10,5 \\ &= 21915 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$V_{BGT} \cdot 10,5 = q_{BGT} \cdot 7,5 \cdot 5,25$$

$$\begin{aligned} V_{BGT} &= 12740 \cdot 7,5 \cdot 5,25/10,5 \\ &= 47775 \text{ kg} \end{aligned}$$

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



Gambar 6. 7 Macalloy 520 (M76)

Data hanger:

$$\varnothing \text{ batang} = 72 \text{ mm}$$

$$W \text{ kabel} = 32 \text{ kg/m}$$

$$\text{Minimum Break Load} = 2520 \text{ kN} = 252000 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Sendiri Hanger} = w \cdot L \cdot \gamma_{MS}^U$$

$$= 32 \cdot 14 \cdot 1,1$$

$$= 1408 \text{ kg}$$

$$V_{total} = R_A \text{ Total} + \text{Berat Sendiri}$$

$$\begin{aligned} \text{Hanger} &= 129918,0075 + 1408 \\ &= 131326,0075 \text{ kg} \end{aligned}$$

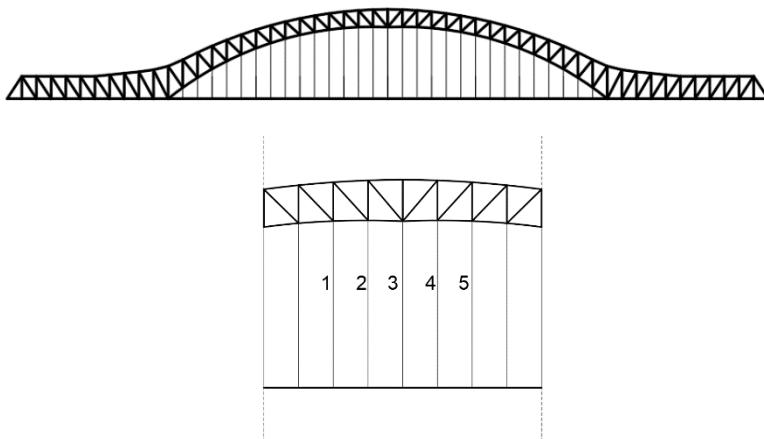
Kontrol Kekuatan Hanger:

$P_u \leq \text{Minimum Break Load}$
 $131326,0075 \text{ kg} \leq 252000 \text{ kg (OK)}$

6.6.3 Analisis Kabel Putus

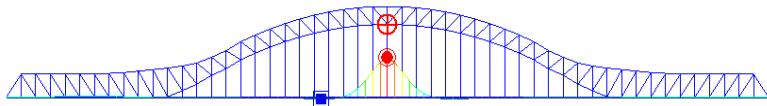
Perencanaan kabel penggantung menggunakan kombinasi Kuat I sesuai dengan SNI 1725:2016. Beban yang diperhitungkan adalah beban mati sendiri dan beban hidup kendaraan. Dalam perhitungan gaya kabel maksimum dilakukan beberapa tahap simulasi. Simulasi berupa kemungkinan terburuk jika salah satu kabel mengalami 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

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 64.27 kg (tekan). Untuk nilai gaya aksial akibat beban hidup dihitung menggunakan analisis garis pengaruh, seperti pada Gambar 6.9.



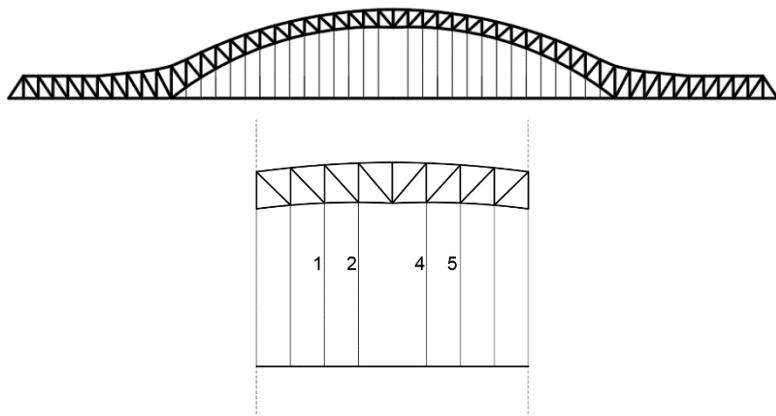
Gambar 6. 9 Garis Pengaruh Kabel 3

$$\begin{aligned}
 F_{KABEL3(+)} &= (\sum(+)) \cdot V_{BTR\ TP} + (\text{Max}(+)) \cdot V_{BGT} \\
 &= (1,692 \cdot 21915) + (0,308 \cdot 47775) \\
 &= 51788,42 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gaya aksial total yang terjadi pada kabel 3 kasus 1 adalah,

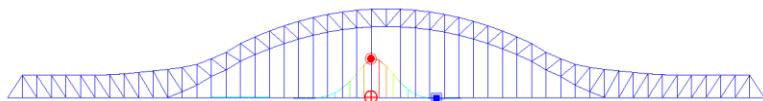
$$\begin{aligned}
 P_u &= -64,27 + 51788,42 \\
 &= 51724,15 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- 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 6038 kg (tarik). Untuk nilai gaya aksial akibat beban hidup dihitung menggunakan analisis garis pengaruh, seperti pada Gambar 6.11.



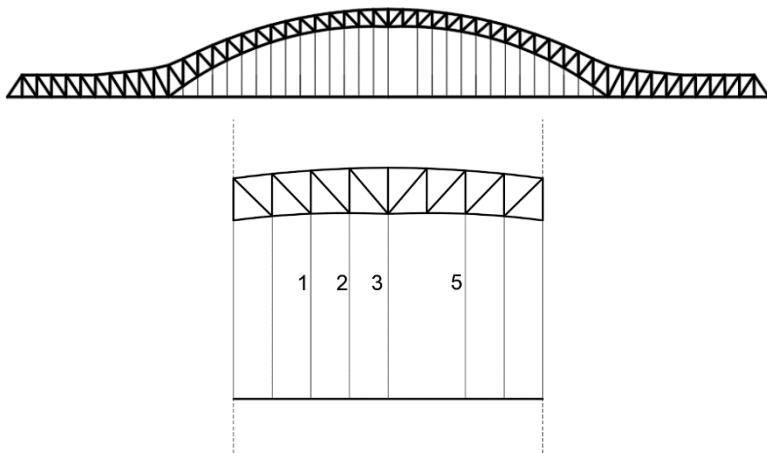
Gambar 6. 11 Garis Pengaruh Kabel 2

$$\begin{aligned}
 F_{KABEL2(+)} &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (2,63 \cdot 21915) + (0,405 \cdot 47775) \\
 &= 76991,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gaya aksial total yang terjadi pada kabel 2 kasus 2 adalah,

$$\begin{aligned}
 P_u &= 6038 + 76991,5 \\
 &= 83029,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Kasus 3 (Kabel 4 Putus)



Gambar 6. 12 Ilustrasi Kabel 4 Putus

Kabel yang ditinjau adalah kabel 3 seperti pada Gambar 6.11. Gaya aksial akibat beban mati kabel 3 adalah sebesar 7813,2 kg (tarik). Untuk nilai gaya aksial akibat beban hidup dihitung menggunakan analisis garis pengaruh, seperti pada Gambar 6.13:



Gambar 6. 13 Garis Pengaruh Kabel 3

$$\begin{aligned}
 F_{KABEL2(+)} &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (2,45 \cdot 21915) + (0,392 \cdot 47775) \\
 &= 72461,88 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gaya aksial total yang terjadi pada kabel 3 kasus 3 adalah,

$$\begin{aligned} P_u &= 7813,2 + 72461,88 \\ &= 80275,08 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari ketiga simulasi diatas didapatkan gaya aksial maksimum yaitu pada simulasi kasus 2 sebesar 83029,9 kg dan masih dibawah Minimum Break Load sebesar 252000 kg jadi kabel dikatakan aman pada saat kondisi kabel utuh maupun ada yang putus seperti kasus diatas.

6.7 Perencanaan Rangka Busur

6.7.1 Pembebanan

1. Beban mati tambahan (MA)

- Pelat lantai kendaraan:

$$\begin{aligned} q_{D1} &= d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \\ &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \\ &= 3000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Bondeks:

$$\begin{aligned} q_{D2} &= w_{\text{bondeks}} \cdot \lambda \\ &= 10,1 \cdot 5 \\ &= 50,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Aspal:

$$\begin{aligned} q_{D3} &= d_4 \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot \lambda \\ &= 0,06 \cdot 2200 \cdot 5 \\ &= 660 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Pelat Trotoar:

$$\begin{aligned} q_{D4} &= d_3 \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \lambda \\ &= 0,25 \cdot 2400 \cdot 5 \\ &= 3000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{DMA} &= q_{D1} + q_{D2} + q_{D3} + q_{D4} \\ &= 3000 + 50,5 + 660 + 3000 \\ &= 6710,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

Untuk beban hidup dicari lewat garis pengaruh menggunakan MIDAS CIVIL 2019.

3. Beban Rem (TB)

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 8.7 beban rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain

$$\begin{aligned} P_{TB1} &= 0,25 \times 225 \text{ kN} \\ &= 56,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

- 5% dari berat truk rencana ditambah beban BTR

$$\begin{aligned} P_{TB2} &= 0,05 \times (500 \text{ kN} + (5,344 \cdot 7,5 \cdot 5,25)) \\ &= 27,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka diambil beban rem sebesar 56,25 kN yang ditempatkan di semua lajur rencana yang bekerja secara horizontal kearah longitudinal dan setinggi 1,8 m dari lantai kendaraan.

4. Beban Angin (Ews)

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.

Tabel 6.9 Nilai V₀ dan Z₀ untuk berbagai variasi kondisi

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

- V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana.
- V₁₀ = 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, V₁₀ = 90 km/jam
- V_B = V₁₀ = 90 km/jam
- V₀ sesuai dengan Tabel 6.1 yaitu 17,6 karena berada pada Sub Urban.
- Z₀ sesuai dengan Tabel 6.1 yaitu 1000 mm karena berada pada Sub Urban.

Tabel 6.10 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Tekan (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 $Z = 22133 \text{ mm} > 10000 \text{ mm}$ dari atas permukaan dasar.

- Beban Angin pada Struktur (Ews)

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5 V_0 (V_{10}/VB) \ln (Z/Z_0) \\ &= 2,5 \cdot 17,6 (90/90) \ln (10000/1000) \\ &= 136,27 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_D &= P_B (V_{DZ}/V_B)^2 \\ &= 0,0024 (136,27 / 90)^2 \\ &= 0,0055 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ews &= P_D \cdot h \cdot 30\% \\ &= 0,0055 \cdot 7500 \cdot 30\% \\ &= 12,375 \text{ N/mm} \\ &= 12,375 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Angin pada Kendaraan

Untuk titik simpul pada lantai kendaraan harus ditambahkan gaya angin akibat kendaraan (Ewi). Gaya yang bekerja ditentukan berdasarkan Tabel 6.11 berikut.

Tabel 6.11 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
69	0,50	0,55

$$\begin{aligned} E_{W1} &= 1,46 \text{ N/mm} \\ &= 1,46 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Tabel 6. 12 Beban Angin Pada Ikatan Angin Bawah

Titik Simpul	V _{DZ} (km/jam)	E _{ws} (kN/m)	E _{w1} (kN/m)	P _{tekan} (kN)	P _{hisap} (kN)
B1-B12	136,27	12,38	1,46	34,6	17,3
C1-C16	136,27	12,38	1,46	34,6	17,3

Tabel 6. 13 Beban Angin pada Ikatan Angin Atas

Titik Simpul	h Rangka	H	Z	V _{DZ}	E _{Ws}	E _{W1}	P _{tekan}	P _{hisap}
	mm	mm	mm	km/jam	kN/m	kN/m	kN	kN
A1-A6	7500	7500	12633	111.6	8.3	0.0	20.8	10.4
A7	7750	7750	12883	112.5	8.7	0.0	21.8	10.9
A8	8000	8000	13133	113.3	9.1	0.0	22.8	11.4
A9	8500	8500	13633	114.9	10.0	0.0	25.0	12.5
A10	9000	9000	14133	116.5	10.9	0.0	27.2	13.6
A11	9500	9500	14633	118.1	11.8	0.0	29.4	14.7
A12	6000	10200	15333	120.1	7.7	0.0	19.2	9.6
A13	6000	11200	16333	122.9	8.1	0.0	20.1	10.1
A14	6000	13130	18263	127.8	8.7	0.0	21.8	10.9
A15	6000	15280	20413	132.7	9.4	0.0	23.5	11.7
A16	6000	18280	23413	138.7	10.3	0.0	25.7	12.8
A17	6000	20510	25643	142.7	10.9	0.0	27.2	13.6
A18	6000	22500	27633	146.0	11.4	0.0	28.4	14.2
A19	6000	24260	29393	148.8	11.8	0.0	29.5	14.8
A20	6000	25780	30913	151.0	12.2	0.0	30.4	15.2
A21	6000	27070	32203	152.8	12.4	0.0	31.1	15.6
A22	6000	28130	33263	154.2	12.7	0.0	31.7	15.9
A23	6000	28950	34083	155.3	12.9	0.0	32.1	16.1
A24	6000	29530	34663	156.0	13.0	0.0	32.5	16.2
A25	6000	29880	35013	156.5	13.1	0.0	32.6	16.3
A26	6000	30000	35133	156.6	13.1	0.0	32.7	16.3

5. Beban Temperatur (Eun)

Menurut SNI 1725-2016, besarnya temperatur untuk lantai beton diatas gelagar, boks, atau rangka baja seperti pada Tabel 6.14.

Tabel 6.14 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		

6. Kombinasi Pembebatan

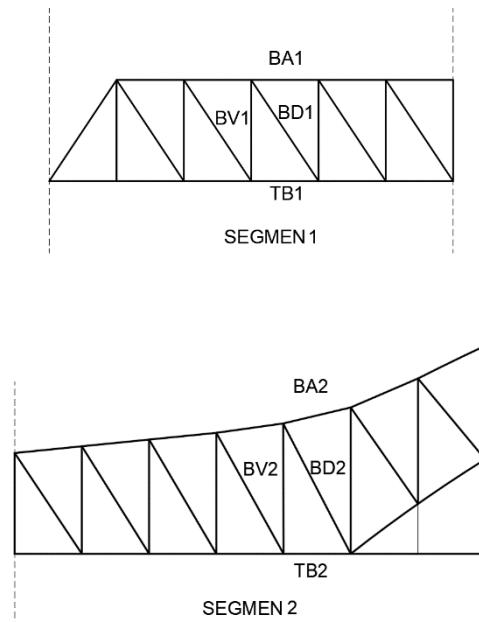
Untuk beban yang bekerja berdasarkan beban yang disebutkan diatas, kombinasi pembebatan diperoleh menurut SNI 1725 2016 pasal 6.1 sebagai berikut:

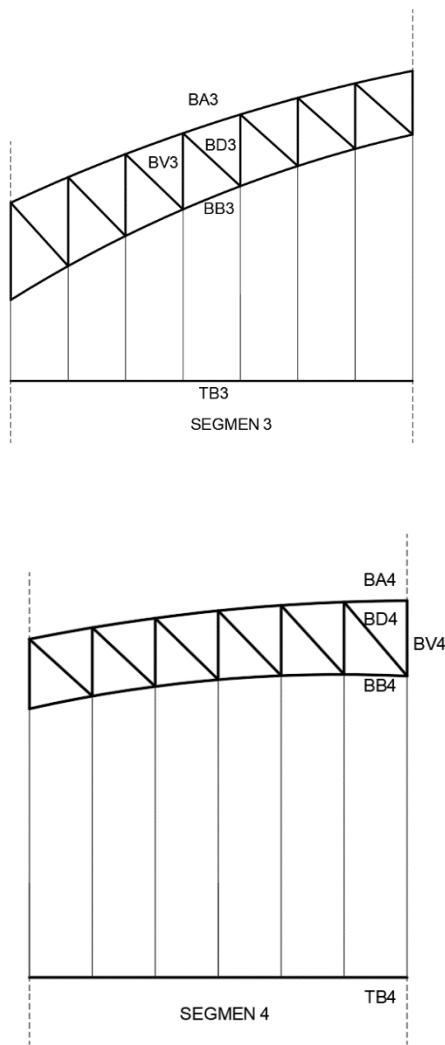
- Kuat 1 : 1,1 MS + 2MA + 1,8 LL + 1 EUn
- Kuat 2 : 1,1 MS + 2MA + 1,4 LL + 1 EUn
- Kuat 3 : 1,1 MS + 2MA + 1,4 EWs + 1 EUn
- Kuat 4 : 1,1 MS + 2MA + 1 EUn
- Kuat 5 : 1,1 MS + 2MA + 0,4 EWs + 1 EUn
- Ekstrem 1 : 1,1 MS + 2MA + 0,5 LL + 0,3 Eqx + 1 Eqy
- Ekstrem 2 : 1,1 MS + 2MA + 0,5 LL + 1 Eqx + 0,3 Eqy
- Daya layan 1 : 1MS + 1MA + 1 LL + 1EWs + 1 EUn

- Daya layan 2 : $1\text{MS} + 1\text{MA} + 1,3 \text{ LL} + 1 \text{ EUn}$
- Daya layan 3 : $1\text{MS} + 1\text{MA} + 0,8 \text{ LL} + 1 \text{ EUn}$
- Daya layan 4 : $1\text{MS} + 1\text{MA} + 0,7 \text{ EWs} + 1 \text{ EUn}$

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 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 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.

- BTR (Beban Terbagi Rata) $\rightarrow L = 160 \text{ m}$

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

$$\begin{aligned} q &= 9 . (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\ &= 9 . (0,5 + 15/160) \text{ kPa} \\ &= 5,344 \text{ kPa} \\ &= 534,4 \text{ kg/m}^2 \\ q_{\text{BTR}} &= q . \lambda . \gamma_{\text{TD}}^{\text{U}} \\ &= 534,4 . 5 . 2 \\ &= 5344 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

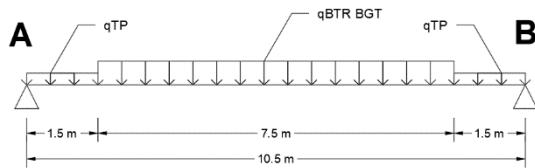
- BGT (Beban Garis Terpusat) $\rightarrow P = 49 \text{ kN/m}$, FBD = 30%

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

$$\begin{aligned} q_L &= q_{\text{BTR}} + q_{\text{BGT}} \\ &= 5344 + 12740 \\ &= 18084 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Beban Pejalan Kaki

$$\begin{aligned} q_{\text{TP}} &= 500 \text{ kg/m}^2 . \lambda \\ &= 500 . 5 \\ &= 2500 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 6. 15 Pembebanan Beban Hidup

- Mencari Nilai $V_{BTR\ TP}$ dan V_{BGT}

$$\sum M_B = 0$$

$$V_{BTR\ TP} \cdot 10,5 = q_{BTR\ TP} \cdot 7,5 \cdot 5,25$$

$$\begin{aligned} V_{BTR\ TP} &= (5344 \cdot 7,5 \cdot 5,25) + (2500 \cdot 9,75 \cdot 0,75) + \\ &(2500 \cdot 0,75 \cdot 0,75) / 10,5 \\ &= 21915 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\sum M_B = 0$$

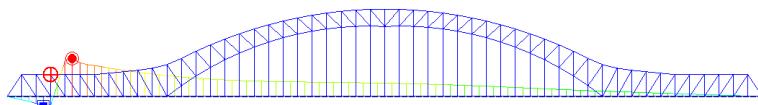
$$V_{BGT} \cdot 10,5 = q_{BGT} \cdot 7,5 \cdot 5,25$$

$$\begin{aligned} V_{BGT} &= 12740 \cdot 7,5 \cdot 5,25 / 10,5 \\ &= 47775 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Analisa Garis Pengaruh

Analisis garis pengaruh ini menggunakan program bantu Midas Civil 2019. Garis pengaruh yang terbentuk adalah akibat beban berjalan sebesar 1 satuan. Kemudian hasil kumulatif adalah nilai pengali untuk beban BTR TP dan hasil maksimum adalah nilai pengali untuk beban BGT. Gambar 6.16 sampai Gambar 6.33 merupakan hasil garis pengaruh untuk elemen-elemen yang ditinjau.

- Analisa BA1



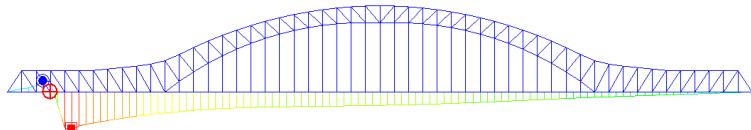
Gambar 6. 16 Garis Pengaruh Batang BA1

$$\begin{aligned} F_{BA1(-)} &= (\sum (-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\ &= (-0,779 \cdot 21915) + (-0,221 \cdot 47775) \\ &= -27617,87 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{BA1(+)} &= (\sum (+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\ &= (27,576 \cdot 21915) + (0,833 \cdot 47775) \end{aligned}$$

$$= 644105.72 \text{ kg}$$

- Analisa BV1

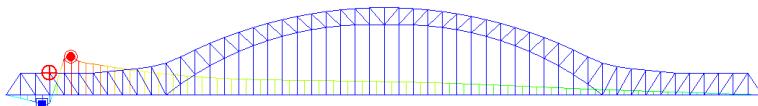


Gambar 6. 17 Garis Pengaruh Batang BV1

$$\begin{aligned} F_{BV1}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\ &= (-22,801 \cdot 21915) + (-0,680 \cdot 47775) \\ &= -532159 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{BV1}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\ &= (0,672 \cdot 21915) + (0,199 \cdot 47775) \\ &= 24226.35 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Analisa BD1

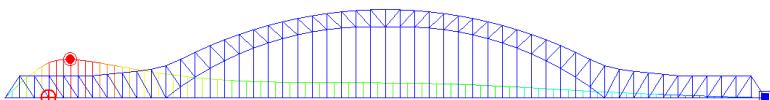


Gambar 6. 18 Garis Pengaruh Batang BD1

$$\begin{aligned} F_{BV1}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\ &= (-0,779 \cdot 21915) + (-0,221 \cdot 47775) \\ &= -27617,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{BV1}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\ &= (27,576 \cdot 21915) + (0,833 \cdot 47775) \\ &= 644105,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Analisa TB1

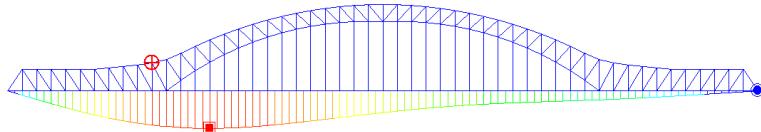


Gambar 6. 19 Garis Pengaruh Batang TB1

$$\begin{aligned} F_{TB1}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\ &= (0 \cdot 21915) + (0 \cdot 47775) \\ &= 0 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TB1}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (8,38 \cdot 21915) + (0,206 \cdot 47775) \\
 &= 193519,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

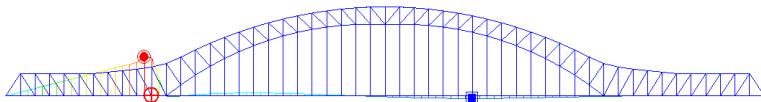
- Analisa BA2



Gambar 6. 20 Garis Pengaruh Batang BA2

$$\begin{aligned}
 F_{BA2}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (-105,424 \cdot 21915) + (-2,013 \cdot 47775) \\
 &= -2406548 \text{ kg} \\
 F_{BA2}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (0 \cdot 21915) + (0 \cdot 47775) \\
 &= 0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

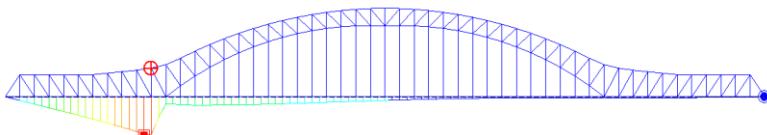
- Analisa BV2



Gambar 6. 21 Garis Pengaruh Batang BV2

$$\begin{aligned}
 F_{BV2}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (-1,286 \cdot 21915) + (-0,056 \cdot 47775) \\
 &= -30867,3 \text{ kg} \\
 F_{BV2}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (9,984 \cdot 21915) + (0,841 \cdot 47775) \\
 &= 258969 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisa BD2

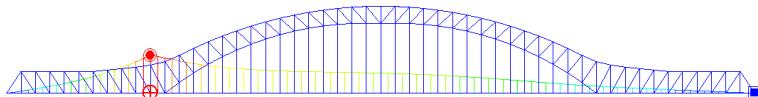


Gambar 6. 22 Garis Pengaruh Batang BD2

$$F_{BV2}(-) = (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT})$$

$$\begin{aligned}
 F_{BV2}(+) &= (-19,166. 21915) + (-1,064. 47775) \\
 &= -470868 \text{ kg} \\
 &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (0. 21915) + (0. 47775) \\
 &= 0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

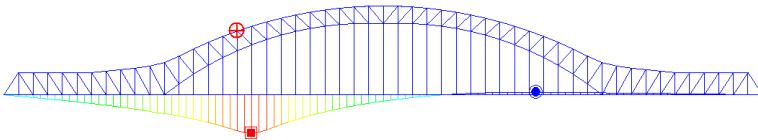
- Analisa TB2



Gambar 6. 23 Garis Pengaruh Batang TB2

$$\begin{aligned}
 F_{TB2}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (0. 21915) + (0. 47775) \\
 &= 0 \text{ kg} \\
 F_{TB2}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (93,022. 21915) + (1,741. 47775) \\
 &= 2121753 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

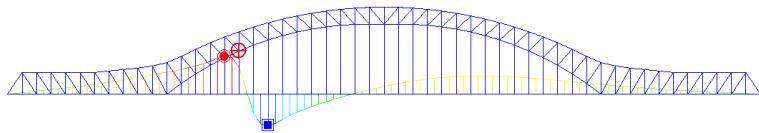
- Analisa BA3



Gambar 6. 24 Garis Pengaruh Batang BA3

$$\begin{aligned}
 F_{BA3}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (-70,402. 21915) + (-2,977. 47775) \\
 &= -1685097 \text{ kg} \\
 F_{BA3}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (5,258. 21915) + (0,199. 47775) \\
 &= 124727,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisa BV3



Gambar 6. 25 Garis Pengaruh Batang BV3

$$F_{BV3}(-) = (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT})$$

$$= (-2,639. 21915) + (-0,365. 47775)$$

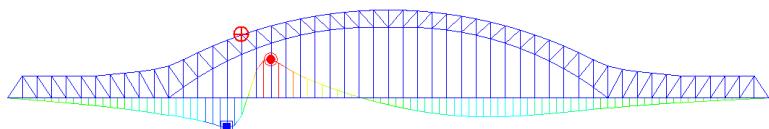
$$= -75267 \text{ kg}$$

$$F_{BV3}(+) = (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT})$$

$$= (12,962. 21915) + (0,437. 47775)$$

$$= 304966,5 \text{ kg}$$

- Analisa BD3



Gambar 6. 26 Garis Pengaruh Batang BD3

$$F_{BV3}(-) = (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT})$$

$$= (-12,256. 21915) + (-0,374. 47775)$$

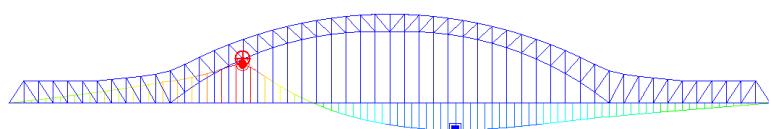
$$= -286626 \text{ kg}$$

$$F_{BV3}(+) = (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT})$$

$$= (3,790. 21915) + (0,482. 47775)$$

$$= 106063,3 \text{ kg}$$

- Analisa BB3



Gambar 6. 27 Garis Pengaruh Batang BB3

$$F_{BB3}(-) = (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT})$$

$$= (-47,488. 21915) + (-1,341. 47775)$$

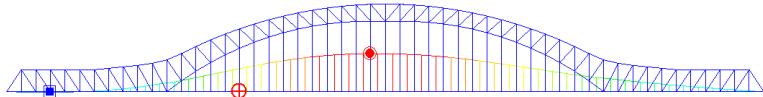
$$= -1104796 \text{ kg}$$

$$F_{BB3}(+) = (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT})$$

$$= (35,084. 21915) + (1,921. 47775)$$

$$= 860715,2 \text{ kg}$$

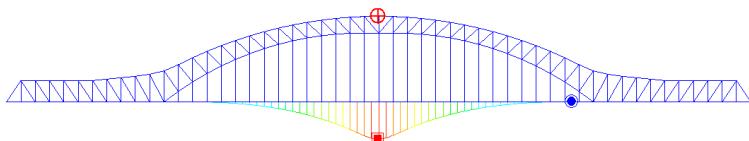
- Analisa TB3



Gambar 6. 28 Garis Pengaruh Batang TB3

$$\begin{aligned} F_{TB3}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\ &= (-0,082. 21915) + (-0,012. 47775) \\ &= -2362,48 \text{ kg} \\ F_{TB3}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\ &= (43,868. 21915) + (0,912. 47775) \\ &= 1004923 \text{ kg} \end{aligned}$$

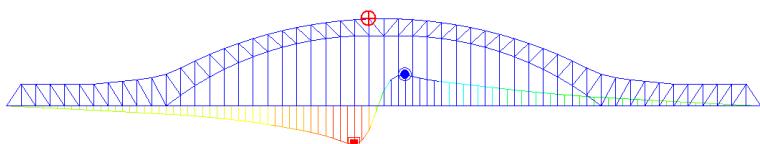
- Analisa BA4



Gambar 6. 29 Garis Pengaruh Batang BA4

$$\begin{aligned} F_{BA3}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\ &= (-37,050. 21915) + (-2,225. 47775) \\ &= -918233 \text{ kg} \\ F_{BA4}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\ &= (0,629. 21915) + (0,022. 47775) \\ &= 14856,14 \text{ kg} \end{aligned}$$

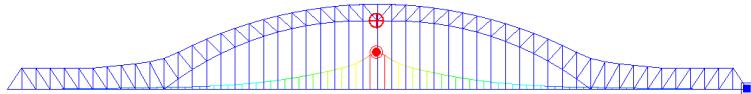
- Analisa BD4



Gambar 6. 30 Garis Pengaruh Batang BD4

$$\begin{aligned}
 F_{BD4}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (-11,035 \cdot 21915) + (-0,621 \cdot 47775) \\
 &= -271528 \text{ kg} \\
 F_{BD4}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (10,834 \cdot 21915) + (0,507 \cdot 47775) \\
 &= 261655 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

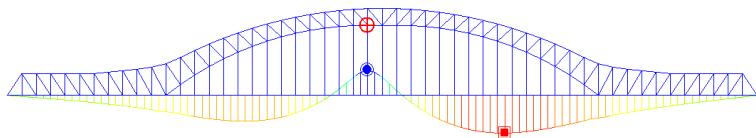
- Analisa BV4



Gambar 6. 31 Garis Pengaruh Batang BV4

$$\begin{aligned}
 F_{BV4}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (0 \cdot 21915) + (0 \cdot 47775) \\
 &= 0 \text{ kg} \\
 F_{BV4}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (2,237 \cdot 21915) + (0,128 \cdot 47775) \\
 &= 55137.7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

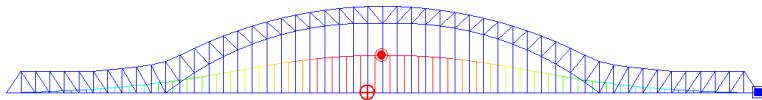
- Analisa BB4



Gambar 6. 32 Garis Pengaruh Batang BB4

$$\begin{aligned}
 F_{BV4}(-) &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (-47,933 \cdot 21915) + (-1,117 \cdot 47775) \\
 &= -1103794 \text{ kg} \\
 F_{BV4}(+) &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\
 &= (4,198 \cdot 21915) + (0,744 \cdot 47775) \\
 &= 127549 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Analisa TB4



Gambar 6. 33 Garis Pengaruh Batang TB4

$$\begin{aligned} F_{BV4(-)} &= (\sum(-) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(-) \cdot V_{BGT}) \\ &= (0.21915) + (0.47775) \\ &= 0 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{BV4(+)} &= (\sum(+) \cdot V_{BTR\ TP}) + (\text{Max}(+) \cdot V_{BGT}) \\ &= (39,829.21915) + (0,829.47775) \\ &= 127549 \text{ kg} \end{aligned}$$

6.7.4 Rekapitulasi Beban Akibat Beban kombinasi

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 dibawah ini:

Tabel 6. 15 Rekapitulasi Pembebanan Kombinasi Kuat 1

Nama Batang	Gaya Batang Akibat Beban					
	Beban Mati (kg)		Beban Hidup (kg)		Kombinasi Kuat 1 (kg)	
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan
BA1	0	-812996.47	644105.7	-27617.9	644105.73	-840614.34
BA2	590391.8		0	-2406548	590391.77	-2406548.5
BA3	0	-121076.6	124727.4	-1685097	124727.4	-1806173.6
BA4	0	-1120544.5	14856.15	-918233	14856.148	-2038777.2
BV1	0	529018.95	24226.36	-532159	24226.359	-3139.65
BV2	0	-1416263.8	258969	-30867.3	258968.99	-1447131.1
BV3	34966.74	0	0	-75267	34966.74	-75266.981
BV4	28347.25	0	55137.74	0	83484.99	0
BD1	0	-162864.14	644105.7	-27617.9	644105.73	-190482.01
BD2	1816318	0	0	-470868	1816317.6	-470867.54
BD3	7825.55	0	0	-286626	7825.55	-286625.86
BD4	71901.58	0	0	-271528	71901.58	-271528.07
BB3	0	-2302964.3	860715.2	-1104796	860715.19	-3407760.6
BB4	0	-1526291.6	127549.5	-1103795	127549.48	-2630086.3
TB1	651402	0	193519.6	0	844921.53	0
TB2	2431766	0	2121753	0	4553519.4	0
TB3	3368706	0	1004923	-2362.49	4373628.8	-2362.4879
TB4	3320438	0	912440.3	0	4232878.8	0

Tabel 6. 16 Rekapitulasi Gaya Aksial Akibat Kombinasi Pembebatan

Nama Batang	Gaya Aksial Akibat Kombinasi Pembebatan (Kg)										
	Kuat 1	Kuat 2	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5	Layan 1	Layan 2	Layan 3	Layan 4	Ekstrem 1	Ekstrem 2
BA1	-840614	-736387	-468571	-371593	-399301	-515787	-560850	-430566	-531169	-435936	-434979
BA2	590391.8	513682.3	138496.4	245198.9	214712.5	297708.9	400917.4	305030.4	290034	421429	426949.4
BA3	-1806174	-1594389	-860697	-853143	-855301	-1085423	-1235950	-971219	-1080889	-1029546	-910249
BA4	-2038777	-1796719	-935601	-949514	-945539	-1210564	-1390898	-1088325	-1202398	-1154463	-1010948
BV1	-3139.65	-4126.39	-40446.3	-7579.97	-16970.4	-16136.5	-2247.29	-3480.71	-19420.5	15128.44	14460.94
BV2	-1447131	-1227042	-560895	-456732	-486493	-717682	-861186	-586075	-74820	-639689	-608414
BV3	34966.74	31088.44	18187.75	17514.37	17706.77	21227.21	24708.91	19861.03	22136.87	23464.04	25281.55
BV4	83484.99	70770.54	17062.13	26269.98	23639.16	33806.27	56466.17	40573.11	42326.41	57564.73	96461.99
BD1	-190482	-169627	-61818.2	-96633.3	-86686.1	-116128	-129020	-102951	-95970.8	-100228	-100732
BD2	1816318	1595888	927203.7	824382.9	853760.3	1078830	1239577	964039.7	1125665	1184417	1214273
BD3	7825.55	6608.63	2376.2	2349.42	2357.07	3162.51	5340.49	3819.34	4441.19	6122.34	12029.55
BD4	71901.58	60788.38	33540.53	21892.19	25220.29	31403.24	49283.24	35391.75	46772.51	55727.51	106876
BB3	-3407761	-3005010	-1748423	-1595383	-1639109	-2068159	-2326520	-1823081	-2100976	-1913145	-1748505
BB4	-2630086	-2321808	-1215753	-1242836	-1235098	-1575420	-1798077	-1412730	-1553327	-1544602	-1450391
TB1	844921.5	732601.3	528424.4	339480.3	393464.4	492187.3	568526.6	428126.3	578758.5	530036.5	524727.9
TB2	4553519	4008830	1486910	2102417	1926558	2546872	3114145	2433284	2397875	3087858	3326017
TB3	4373629	3850278	2039441	2018552	2024520	2576545	2991117	2336929	2609049	2827268	2827268
TB4	4232879	3726039	2512218	1952098	2112132	2607728	2894888	2261338	2794818	2861249	3079732

6.7.5 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.

- Batang TB

Direncanakan TB2 karena memiliki gaya aksial terbesar menggunakan profil BOX 1000x1000x50x50 seperti pada Gambar dengan data sebagai berikut:

$$\begin{array}{ll}
 W = 1491.5 \text{ kg/m} & A = 1900 \text{ cm}^2 \\
 d = 1000 \text{ mm} & bf = 1000 \text{ mm} \\
 tw = 50 \text{ mm} & tf = 50 \text{ mm} \\
 I_x = 2865833,3 \text{ cm}^4 & I_y = 2865833,3 \text{ cm}^4 \\
 i_x = 38,8 \text{ cm} & i_y = 38,8 \text{ cm} \\
 f_y = 410 \text{ MPa} & f_u = 550 \text{ MPa} \\
 E = 200000 \text{ MPa} & h = 900 \text{ mm}
 \end{array}$$

1. Kontrol Tekan (SNI 1729:2015, Tabel B4.2)

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.2)

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{tf} \leq 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\begin{aligned} \frac{1000}{50} &\leq 1,4 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 10 &\leq 30,92 \text{ (OK)} \\ \text{Badan} : \frac{h}{tw} &\leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{900}{60} &\leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ 18 &\leq 125,892 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Penampang Kompak

Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan sebagai berikut:

Diketahui:

$$K = 1$$

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

$$r = iy = 38,8 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}) :

$$\begin{aligned} \frac{KL}{r} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{1.5000}{388} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 12,83 &\leq 104,03 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga, } F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{f_e} \right)$$

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{15000}{466}\right)^2} \\ &= 11909,32 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(0,658 \frac{f_y}{f_e} \right) \cdot f_y \\ &= 404,13 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\ &= 404,13 \cdot 190000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset P_n &= 76785559,8 \text{ N} \\ &= 0,9 \cdot 76785559,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 69107003.82 \text{ N} \\
 &= 6910700.38 \text{ kg} \geq P_u = 0 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik

Kuat Leleh :

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_y \cdot A_g \\
 &= 410 \cdot 190000 \\
 &= 77900000 \text{ N} \\
 \varnothing P_n &= 0,9 \cdot 112176000 \\
 &= 70110000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$P_n = f_u \cdot A_e$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n = 0,85 A_g \\
 P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 190000 \\
 &= 88825000 \text{ N} \\
 \varnothing P_n &= 0,75 \cdot 88825000 \\
 &= 66618750 \text{ N (Menentukan!)}
 \end{aligned}$$

Dipakai,

$$\begin{aligned}
 \varnothing P_n &= 66618750 \text{ N} \\
 &= 6661875 \text{ kg} \geq P_u = 4553519 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

Untuk kontrol elemen-elemen lain memiliki cara yang sama seperti contoh diatas. Berikut adalah rekapitulasi profil yang digunakan sesuai dengan Tabel 6.17.

Tabel 6. 17 Rekapitulasi Elemen-elemen pada Rangka Utama

Nama Batang	Jenis Profil	Pu (kg)		ØPn (kg)		Kontrol	
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan
BA1	WF 700x550x20x24	644106	-840614	1382865	-1279560	OK	OK
BA2	Double WF 700x550x40x45	590392	-2406548	5182238	-5301794	OK	OK
BA3	Double WF 700x550x40x45	124727	-1806174	5182238	-5311498	OK	OK
BA4	WF 700X600X30X40	14856	-2038777	2335163	-2222734	OK	OK
BV1	WF 700x550x20x24	24226	-3140	1382865	-1046774	OK	OK
BV2	WF 700X600X30X40	258969	-1447131	2335163	-1684456	OK	OK
BV3	WF 700x300X13X20	34967	-75267	741572	-374653	OK	OK
BV4	WF 700x300X13X20	83485	0	741572	-374653	OK	OK
BD1	WF 700x300X13X20	644106	-190482	741572	-172959	OK	OK
BD2	WF 700X600X30X40	1816318	-470868	2135960	-2054663	OK	OK
BD3	WF 700x300X13X20	7826	-286626	741572	-311701	OK	OK
BD4	WF 700x300X13X20	71902	-271528	311701	-741572	OK	OK
BB3	Double WF 700x550x40x45	860715	-3407761	5182238	-5288661	OK	OK
BB4	Double WF 700x550x40x45	127549	-2630086	5182238	-5288661	OK	OK
TB1	BOX 1000x1000x50x50	844922	0	6661875	-6910700	OK	OK
TB2	BOX 1000x1000x50x50	4553519	0	6661875	-6910700	OK	OK
TB3	BOX 1000x1000x50x50	4373629	-2362	6661875	-6910700	OK	OK
TB4	BOX 1000x1000x50x50	4232879	0	6661875	-6910700	OK	OK

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.

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:

$$Mu = 129336,81 \text{ kgm}$$

$$Vu = 2317,16 \text{ kg}$$

Direncanakan balok portal akhir menggunakan plate girder dengan spesifikasi seperti berikut:

$$W = 311,174 \text{ kg/m} \quad bf = 450 \text{ mm}$$

$$d = 1200 \text{ mm} \quad As = 396,4 \text{ cm}^2$$

$$tw = 20 \text{ mm} \quad tf = 28 \text{ mm}$$

$$h = 1144 \text{ mm} \quad Sx = 21548,6 \text{ cm}^3$$

$$Sy = 1890,5 \text{ cm}^3 \quad Zx = 23760 \text{ cm}^3$$

$$Zy = 2871,1 \text{ cm}^3 \quad Ix = 1616149,9 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 20020,367 \text{ cm}^4 \quad i_x = 62,101 \text{ cm}$$

$$i_y = 7,669 \text{ cm} \quad a = 500 \text{ mm}$$

Profil yang digunakan sama seperti gelagar melintang, sehingga analisis kapastitas profil dapat disamakan dengan balok melintang. Dari Analisis tersebut didapatkan kapasitas sebagai berikut:

$$M_n = 1291299,8 \text{ kgm} \quad > M_u = 129336,81 \text{ kgm (OK)}$$

$$V_n = 177120 \text{ kg} \quad > V_u = 2317,16 \text{ kg (OK)}$$

- Ikatan Angin Atas Lurus

Dari analisis software Midas Civil, didapat gaya batang maksimal pada balok portal akhir akibat kombinasi pembebanan Kuat III seperti berikut:

$$M_u = 4402,54 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1189,76 \text{ kg}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 450×200×9×14 dengan data sebagai berikut:

$W = 76 \text{ kg/m}$	$bf = 200 \text{ mm}$
$d = 450 \text{ mm}$	$A = 96,76 \text{ cm}^2$
$tw = 9 \text{ mm}$	$tf = 14 \text{ mm}$
$r = 18 \text{ mm}$	$h = 386 \text{ mm}$
$S_x = 1490 \text{ cm}^3$	$S_y = 187 \text{ cm}^3$
$Z_x = 1621 \text{ cm}^3$	$Z_y = 289 \text{ cm}^3$
$I_x = 33500 \text{ cm}^4$	$I_y = 1870 \text{ cm}^4$
$i_x = 18,6 \text{ cm}$	$i_y = 4,4 \text{ cm}$
$L_p = 171,0363 \text{ cm}$	$L_r = 434,037 \text{ cm}$

1. Kontrol Momen Lentur

- Kontrol Tekuk Lokal

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

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

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

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

Penampang kompak, maka

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p M_n \\
 &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 1621 \cdot 4100 \\
 &= 6646100 \text{ kg.cm} \\
 &= 66461 \text{ kg.m} \\
 \varnothing M_n &= 0,9 \cdot M_n \\
 &= 0,9 \cdot 66461 \\
 &= 59814,9 \text{ kgm} > M_u = 4402,54 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Tekuk Lateral

$$\begin{aligned}
 L_b &= 525 \text{ cm} \\
 L_p &= 171,0363 \text{ cm} \\
 L_r &= 434,0370 \text{ cm} \\
 M_{cr} &= C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 I_y I_w} \\
 M_p &= Z_x f_y \\
 &= 1621 \text{ cm}^3 \cdot 4100 \text{ kg/cm}^3 \\
 &= 6646100 \text{ kg.cm} \\
 &= 66461 \text{ kg.m} \\
 M_r &= S_x (f_y - f_r) \\
 &= 1490 (4100 - 700) \\
 &= 5066000 \text{ kg.cm} \\
 &= 50660 \text{ kg.m} \\
 M_{max} &= M_u = \text{Momen } \frac{1}{4} \text{ bentang (M}_b\text{)} \\
 &= 41336,453 \text{ kgm} \\
 M_a &= V_u \times L/4 - (qD + qL \cdot BTR) \times L^2/32 \\
 &= 18444,16 \times 5/4 - (1527,665 + 1603,2) \times 5^2/32 \\
 &= 20609,21 \text{ kg.m} \\
 M_c &= 20609,21 \text{ kg.m} \\
 \text{Dimana,} \\
 C_b &= \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} \\
 M_{max} &= 41336,453 \text{ kg.m} \\
 M_a &= 20609,21 \text{ kg.m} \\
 M_b &= 41336,453 \text{ kg.m} \\
 M_c &= 20609,21 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cb &= \frac{12,5 \cdot 41336,453}{2,5 \cdot 41336,4 + 3 \cdot 20609,2 + 4 \cdot 41336,4 + 3 \cdot 20609,2} < 2,3 \\
 &= 1,277 < 2,3 \text{ (OK)} \\
 Mcr &= Cb \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 I_y I_w} \\
 &= 1,277 \cdot \frac{3,14}{500} \sqrt{2 \times 2 \times 10^6 \cdot 8 \times 10^5 \cdot 459,7 + \left(\frac{3,14}{500}\right)^2 1870 \cdot 69655,6} \\
 &= 9626389,481 \text{ kg.cm} \\
 &= 96263,89481 \text{ kg.m} > M_p = 66461 \text{ kgm} \\
 &\text{(OK)} \\
 \text{Karena } Mcr &> M_p, \text{ maka digunakan } M_n = M_p \\
 \varnothing M_n &= 0,9 \cdot M_n \\
 &= 0,9 \cdot 66461 \\
 &= 59814,9 \text{ kg.m} > M_u = 4402,54 \text{ kg.m} \\
 &\text{(OK)}
 \end{aligned}$$

2. Kontrol Terhadap Gaya Geser

- Kontrol Kapasitas Penampang

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{tw} &\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \\
 \frac{386}{9} &\leq \frac{1100}{\sqrt{410}} \\
 42,89 &\leq 54,32 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Karena plastis maka, kuat geser nominal:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot 4100 \cdot 38,6 \cdot 0,9 \\
 &= 85460,4 \text{ kg} \\
 \varnothing V_n &= 0,9 \cdot V_n \\
 &= 0,9 \cdot 85460,4 \text{ kg} \\
 &= 76914,56 \text{ kg} > V_u = 1189,76 \text{ kg} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

6.8.2 Perencanaan Kolom Portal Akhir

Dari analisis software Midas Civil, didapat gaya batang maksimal pada balok portal akhir akibat kombinasi pembebangan Kuat I dan Kuat III seperti berikut:

$$N_u = 1034416 \text{ kg}$$

Direncanakan profil Double WF 700x550x26x30 dengan spesifikasi seperti berikut:

W	= 879,83 kg/m	A	= 1120,8 cm ²
d	= 700 mm	bf	= 1100 mm
tw	= 26 mm	tf	= 30 mm
r	= 0 mm	I _x	= 1014478 cm ⁴
I _y	= 898466,4 cm ⁴	i _x	= 30,08 cm
i _y	= 28,31 cm	S _x	= 18445,05 cm ³
S _y	= 25670,47 cm ³	Z _x	= 30822 cm ³
Z _y	= 29482,8 cm ³	h	= 640 mm
L _p	= 1100,58 cm	L _r	= 8256,22 cm
f _y	= 410 MPa	f _u	= 550 MPa

1. Kontrol Tekan Akibat Gaya Aksial

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

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{1000}{2.30} \leq 1,12 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$18,3 \leq 24,74 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{640}{26} \leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$24,6 \leq 53,45 \text{ (OK)}$$

Penampang Kompak

Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan sebagai berikut:

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 9697 \text{ mm}$$

$$r = i_y = 38,8 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}) :

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

$$\frac{1.5000}{388} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}}$$

$$12,83 \leq 104,03 \text{ (OK)}$$

$$\text{Sehingga, } F_{cr} = \left(0,658^{\frac{fy}{fe}} \right)$$

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

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.9697}{388} \right)^2}$$

$$= 1582,35 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{fy}{fe}} \right) \cdot fy$$

$$= 367,86 \text{ MPa}$$

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

$$= 367,86 \cdot 112080$$

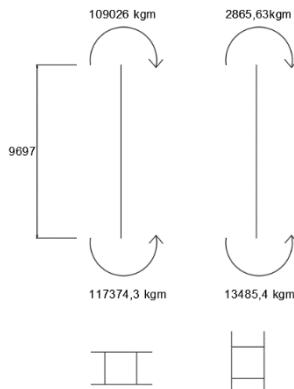
$$= 41229959 \text{ N}$$

$$\varnothing N_n = 0,9 \cdot 41229959 \text{ N}$$

$$= 37106963 \text{ N}$$

$$= 3710696,3 \text{ kg} \geq P_u = 1034416 \text{ kg (OK)}$$

2. Kontrol akibat Momen Lentur



Gambar 6. 34 Ilustrasi Momen pada Kolom Portal Akhir
Nilai momen lentur yang didapatkan dari program bantu Midas Civil seperti ilustrasi pada Gambar 6.33.

3. Kontrol Aksi Kolom

Sumbu x:

$$\begin{aligned} C_{mx} &= 0,6 - 0,4\beta && \text{(Lamp.8.2.1)} && \text{SNI} \\ 1729:2015) & & & & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\ &= 0,6 - 0,4 (109026/117374,3) \\ &= 0,228 \end{aligned}$$

$$\lambda_x = \frac{K \cdot L}{ix} = \frac{1.9697}{300,8} = 32,23$$

$$\begin{aligned} N_{crbx} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000.1120,8}{32,23^2} \\ &= 21276334 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{bx} &= \frac{C_{mx}}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{crbx}} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{0,228}{1 - \left(\frac{1034416}{21276334} \right)} \geq 1 \\ &= 0,239 < 1 \end{aligned}$$

Maka, $\delta_{bx} = 1$

$$M_{ux} = \delta_{bx} \cdot M_{utx}$$

$$= 1. 117374,3 \\ = 117374,3 \text{ kgm}$$

Sumbu y:

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0,6 - 0,4\beta & (\text{Lamp.8.2.1}) & \quad \text{SNI} \\ 1729:2015) & & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0,6 - 0,4 (\text{M1/M2}) \\ &= 0,6 - 0,4 (2865,63/13485,4) \\ &= 5,915 \end{aligned}$$

$$\lambda_y = \frac{K.L}{ix} = \frac{1.9697}{283,1} = 34,25$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000.1120,8}{34,25^2}$$

$$= 18840666,5 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \delta_{by} &= \frac{c_{my}}{1 - \left(\frac{N_{crby}}{N_{crby}} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{0,228}{1 - \left(\frac{1034416}{18840666,5} \right)} \geq 1 \\ &= 0,241 < 1 \end{aligned}$$

Maka, $\delta_{by} = 1$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= \delta_{by} \cdot M_{uty} \\ &= 1. 13485,4 \\ &= 13485,4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Sayap} &: \frac{bf}{2tf} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{1000}{2.30} &\leq 1,12 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\ 18,3 &\leq 24,74 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &: \frac{h}{tw} \leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ \frac{640}{26} &\leq 2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ 24,6 &\leq 53,45 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Profil Kompak, maka:

Momen terhadap sumbu x

$$\begin{aligned}
 M_{px} &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 30822 \cdot 4100 \\
 &= 126370200 \text{ kgcm} \\
 &= 1263702 \text{ kgm} > M_{ux} = 117374,3 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

Momen terhadap sumbu y

$$\begin{aligned}
 M_{py} &= Z_y \cdot f_y \\
 &= 29482,8 \cdot 4100 \\
 &= 120879480 \text{ kgcm} \\
 &= 1208794,8 \text{ kgm} > M_{uy} = 13485,4 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

5. Kontrol Tekuk Lateral

Kontrol Tekuk Lateral

$$\begin{array}{ll}
 L_b = 969,7 \text{ cm} \\
 L_p = 1100,58 \text{ cm} \\
 L_r = 8256,22 \text{ cm}
 \end{array}
 \quad \left. \right\} L_b < L_p, \text{ Bentang Pendek}$$

Bentang Pendek, maka:

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p \text{ Sehingga,} \\
 M_{nx} &= M_{px} \\
 &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 1263702 \text{ kgm} > M_{ux} = 117374,3 \text{ kgm (OK)} \\
 M_{ny} &= M_{py} \\
 &= Z_y \cdot f_y \\
 &= 1208794,8 \text{ kgm} > M_{uy} = 13485,4 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

6. Kontrol Interaksi Kolom

$$\frac{N_u}{\phi_b \cdot N_n} = \frac{1034416}{3710696,3} = 0,278 \geq 0,2$$

Maka persamaan yang dipakai:

$$\begin{aligned}
 \frac{N_u}{\phi_b \cdot N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) &< 1 \\
 0,278 + \frac{8}{9} \left(\frac{117374,3}{0,9 \cdot 1263702} + \frac{13485,4}{0,9 \cdot 1208794,8} \right) &< 1 \\
 0,38 &< 1 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

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

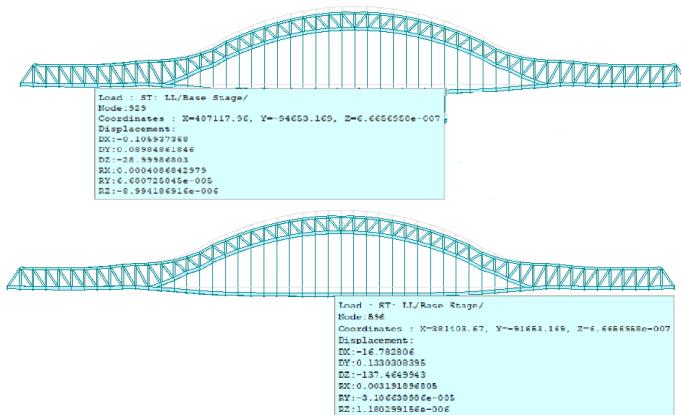
$$\begin{aligned}\lambda &= 160 \text{ m} \\ \Delta_{ijin} &= 1/800 \cdot \lambda \\ &= 1/800 \cdot 160 \\ &= 0,2 \text{ m} = 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Side Span

$$\begin{aligned}\lambda &= 50 \text{ m} \\ \Delta_{ijin} &= 1/800 \cdot \lambda \\ &= 1/800 \cdot 50 \\ &= 0,0625 \text{ m} = 62,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan lendutan yang terjadi pada jembatan dihitung menggunakan program bantu Midas Civil seperti pada Gambar 3.35. Input beban yang dimasukkan adalah nilai yang terbesar dari:

- Lendutan akibat beban satu truk
- Lendutan akibat BTR dan BGT



Gambar 6. 35 Lendutan Akibat Beban Hidup

Main span ($\lambda = 280 \text{ m}$)

Δ_{aktual} = 137,46 mm < $\Delta_{\text{ijin}} = 200$ mm (OK)

Side Span ($\lambda = 60$ m)

Δ_{aktual} = 28,99 mm < $\Delta_{\text{ijin}} = 62,5$ mm (OK)

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB VII

SAMBUNGAN DAN PERLETAKAN

7.1 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 7. 1 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

Untuk persyaratan jarak tepi minimum dapat dilihat pada Tabel

Tabel 7. 2 Jarak Tepi Minimum Sambungan

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	40
Diatas 36	1,25 d

7.1.1 Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang

Data perencanaan sambungan:

- Gelagar Memanjang:

$$\begin{aligned} \text{Profil} &= \text{WF } 450 \times 200 \times 9 \times 14 \\ \text{Vu} &= 46290 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Pelat siku penyambung:

$$\begin{aligned} \text{Profil} &= \text{L } 90 \times 90 \times 7 \\ f_u &= 550 \text{ MPa} \\ f_y &= 410 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Baut:

$$\begin{aligned} \emptyset \text{ Baut} &= \text{M20} \\ \text{Mutu} &= \text{A490} \\ \text{Tb} &= 179 \text{ kN} \end{aligned}$$

1. Kuat Geser Rencana Baut

$$\begin{aligned} V_n &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s (\text{J3-4 SNI 1729:2015}) \\ \text{dengan,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)} \\ D_u &= 1,13 \\ h_f &= 1 \text{ (Faktor Pengisi)} \\ T_b &= 179 \text{ kN} \\ n_s &= 2 \text{ (Bidang Geser)} \end{aligned}$$

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

$$n = \frac{V_u}{\emptyset V_n} = \frac{46290}{12136,2} = 3,81 \approx 4 \text{ Buah}$$

3. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot d_b \leq S \leq 14 \cdot t_p \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 20 \leq S \leq 14 \cdot 7 \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$60 \leq S \leq 98 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 70 mm

- Jarak Baut ke tepi sambungan
 $1.5.db \leq S \leq 12$ tp atau 150 mm
 $1.5.20 \leq S \leq 12.7$ atau 150 mm
 $30 \leq S \leq 84$ mm
 Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 70 mm

4. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (350.7) \\ &= 602700 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\phi}V_n &= 1 \cdot 602700 = 602700 \text{ N} \\ &= 60270 \text{ kg} \end{aligned}$$

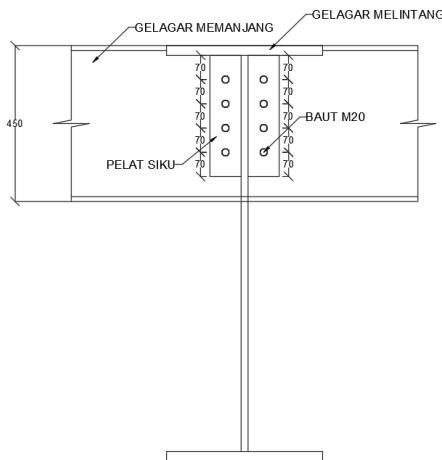
Kuat Putus:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (350-(4.20)).7 \\ &= 623700 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\phi}V_n &= 0,75 \cdot 623700 = 467775 \text{ N} \\ &= 46777,5 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$\begin{aligned} \bar{\phi}V_n &= 2 \cdot 46777,5 \text{ kg} \\ &= 93555 \text{ kg} > V_u = 46290 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$



Gambar 7. 1 Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang

7.1.2 Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang

Data perencanaan sambungan:

- Gelagar Melintang:

Profil = WF 450x200x9x14

V_u = 46290 kg

- Pelat siku penyambung:

Profil = L 90x90x7

f_u = 550 MPa

f_y = 410 MPa

- Baut:

Ø Baut = M20

Mutu = A490

T_b = 179 kN

1. Kuat Geser Rencana Baut

V_n = $\mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

dengan,

μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)

$$\begin{aligned}
 Du &= 1,13 \\
 hf &= 1 \text{ (Faktor Pengisi)} \\
 Tb &= 179 \text{ kN} \\
 ns &= 1 \text{ (Bidang Geser)} \\
 \text{Sehingga,} \\
 Vn &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 179 \cdot 1 \\
 &= 60,681 \text{ kN} \\
 &= 6068,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$n = \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{46290}{6068,1} = 7,62 \approx 8 \text{ Buah}$$

2. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3.db \leq S \leq 14 tp \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$3*20 \leq S \leq 14*7 \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$60 \leq S \leq 98 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 70 mm
- Jarak Baut ke tepi sambungan

$$1.5.db \leq S \leq 12 tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1.5.20 \leq S \leq 12.7 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$30 \text{ mm} \leq S \leq 84 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 70 mm

3. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

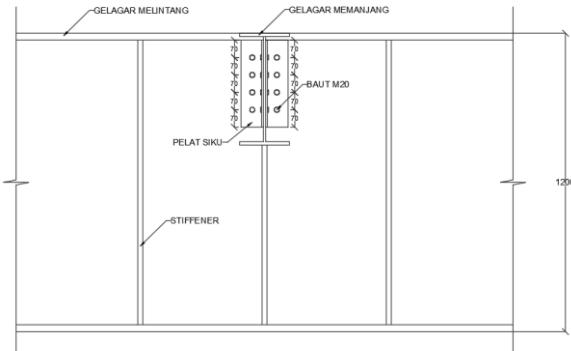
$$\begin{aligned}
 Vn &= 0,6 \cdot fy \cdot Agv \\
 &= 0,6 \cdot 410 \cdot (350.7) \\
 &= 602700 \text{ N} \\
 \emptyset Vn &= 1 \cdot 602700 = 602700 \text{ N} \\
 &= 60270 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned}
 Vn &= 0,6 \cdot fu \cdot Anv \\
 &= 0,6 \cdot 550 \cdot (350-(4.20)).7 \\
 &= 623700 \text{ N} \\
 \emptyset Vn &= 0,75 \cdot 623700 = 467775 \text{ N} \\
 &= 46777,5 \text{ kg (Menentukan)}
 \end{aligned}$$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$\begin{aligned}\text{ØVn} &= 2 \cdot 46777,5 \text{ kg} \\ &= 93555 \text{ kg} > \text{Vu} = 46290 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$



Gambar 7. 2 Sambungan Gelagar Melintang ke Gelagar Memanjang

7.1.3 Sambungan Gelagar Melintang Ke Tie Beam

Data perencanaan sambungan:

- Gelagar Melintang:

$$\begin{aligned}\text{Profil} &= \text{WF } 1200 \times 450 \times 20 \times 28 \\ \text{Vu} &= 92424,18 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Pelat siku penyambung:

$$\begin{aligned}\text{Profil} &= \text{L } 150 \times 150 \times 20 \\ \text{fu} &= 550 \text{ MPa} \\ \text{fy} &= 410 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Baut:

$$\begin{aligned}\text{Ø Baut} &= \text{M30} \\ \text{Mutu} &= \text{A490} \\ \text{Tb} &= 408 \text{ kN}\end{aligned}$$

1. Kuat Geser Rencana Baut

$$\begin{aligned}\text{Vn} &= \mu \cdot \text{Du} \cdot \text{hf} \cdot \text{Tb} \cdot \text{ns} (\text{J3-4 SNI 1729:2015}) \\ \text{dengan,} \\ \mu &= 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)} \\ \text{Du} &= 1,13 \\ \text{hf} &= 1 \text{ (Faktor Pengisi)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tb &= 408 \text{ kN} \\
 ns &= 2 \text{ (Bidang Geser)} \\
 \text{Sehingga,} \\
 Vn &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 1 \\
 &= 276,624 \text{ kN} \\
 &= 27662,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$n = \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{92424,18}{27662,4} = 3,34 \approx 5 \text{ Buah}$$

2. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3.db \leq S \leq 14 tp \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$3*30 \leq S \leq 14*10 \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$90 \text{ mm} \leq S \leq 140 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 100 mm

- Jarak Baut ke tepi sambungan

$$1.5.db \leq S \leq 12 tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1.5.30 \leq S \leq 12 .10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$45 \text{ mm} \leq S \leq 120 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 80 mm

3. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned}
 Vn &= 0,6 \cdot fy \cdot Agv \\
 &= 0,6 \cdot 410 \cdot (560.20) \\
 &= 2755200 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset Vn &= 1 \cdot 1377600 = 2755200 \text{ N} \\
 &= 2755200 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

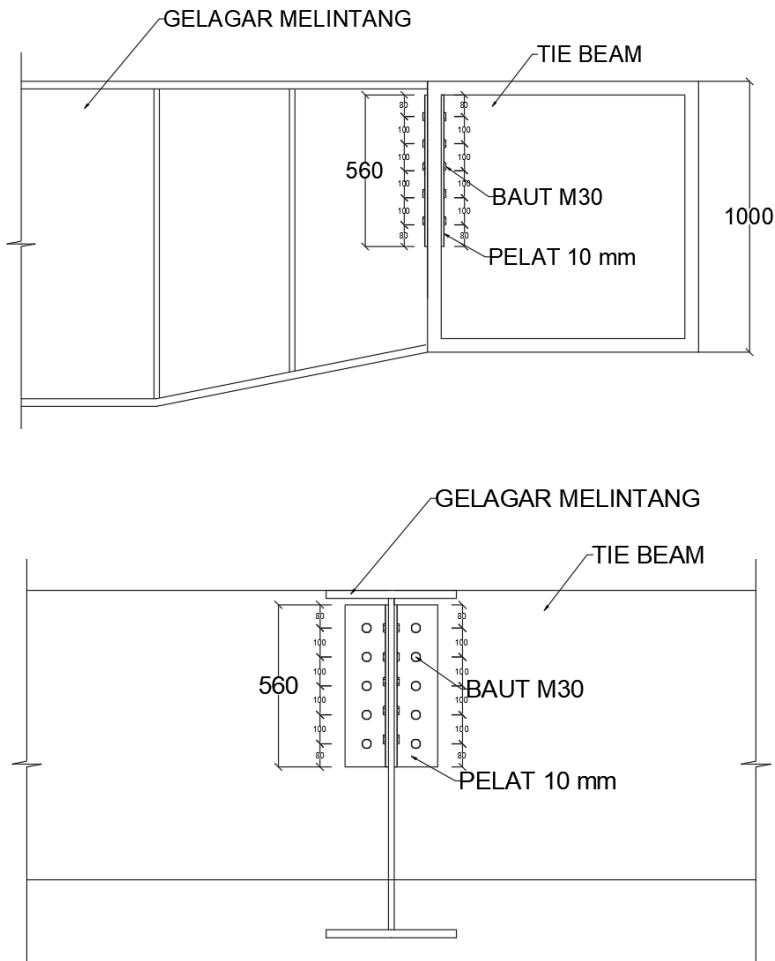
Kuat Putus:

$$\begin{aligned}
 Vn &= 0,6 \cdot fu \cdot Anv \\
 &= 0,6 \cdot 550 \cdot (560-(5.30)).20 \\
 &= 2706000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset Vn &= 0,75 \cdot 2706000 \text{ N} = 2029500 \text{ N} \\
 &= 202950 \text{ kg (Menentukan)}
 \end{aligned}$$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$\begin{aligned}
 \emptyset Vn &= 2 \cdot 202950 \text{ kg} \\
 &= 405900 \text{ kg} > Vu = 92424,18 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$



Gambar 7. 3 Sambungan Gelagar Melintang Ke Tie Beam

7.1.4 Sambungan Ikatan Angin Atas

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Angin Atas :
Profil = WF 200x200x10x16

$$P_u = 254465 \text{ kg}$$

- Pelat siku penyambung:

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

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

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

- Baut:

$$\varnothing \text{ Baut} = M30$$

$$\text{Mutu} = A490$$

$$T_b = 408 \text{ kN}$$

1. Kuat Geser Rencana Baut

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

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,

$$V_n = 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 1$$

$$= 276,624 \text{ kN}$$

$$= 27662,4 \text{ kg}$$

Jumlah Baut

$$n = \frac{P_u}{\varnothing V_n} = \frac{254465}{27662,4} = 9,19 \approx 10 \text{ Buah}$$

Dipasang 5 tiap sisi

2. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3 \cdot db \leq S \leq 14 \text{ tp atau } 180 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 30 \leq S \leq 14 \cdot 50 \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$90 \text{ mm} \leq S \leq 180 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 100 mm

- Jarak Baut ke tepi sambungan

$$1,5 \cdot db \leq S \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,5 \cdot 30 \leq S \leq 12 \cdot 10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$45 \text{ mm} \leq S \leq 120 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 50 mm

3. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (300 \cdot 50) \\ &= 3690000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 1 \cdot 3690000 \text{ N} = 3690000 \text{ N} \\ &= 369000 \text{ kg} \end{aligned}$$

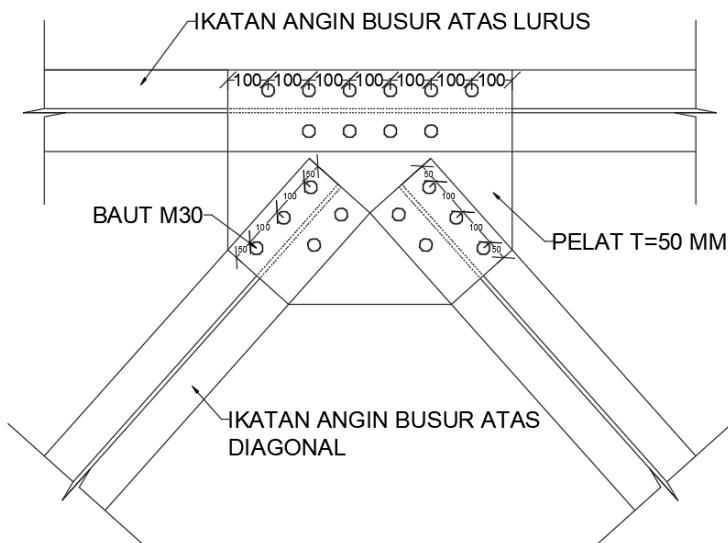
Kuat Putus:

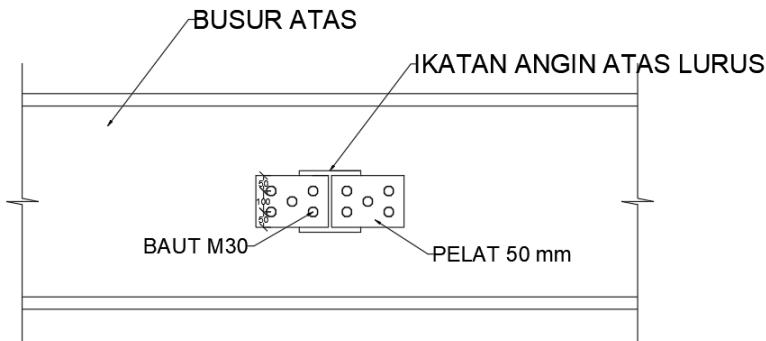
$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (300 - (5 \cdot 30)) \cdot 50 \\ &= 2475000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 2475000 \text{ N} = 1856250 \text{ N} \\ &= 185625 \text{ kg} \text{ (Menentukan)} \end{aligned}$$

Karena memakai 2 pelat, maka:

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 2 \cdot 185625 \text{ kg} \\ &= 371250 \text{ kg} > P_u = 254465 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$





Gambar 7. 4 Sambungan Ikatan Angin Atas

7.1.4 Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Angin Atas :

Profil	= WF 350x350x14x22
Pu	= 125673 kg
- Pelat penyambung:

Tebal	= 20 mm
fu	= 550 MPa
fy	= 410 MPa
- Baut:

\varnothing Baut	= M30
Mutu	= A490
Tb	= 408 kN

1. Kuat Geser Rencana Baut

$$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (\text{J3-4 SNI 1729:2015})$$

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,

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 1 \\
 &= 276,624 \text{ kN} \\
 &= 27662,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$n = \frac{P_u}{\emptyset V_n} = \frac{125673}{27662,4} = 4,54 \approx 6 \text{ Buah}$$

2. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3.db \leq S \leq 14 tp \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$3*30 \leq S \leq 14*10 \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$90 \text{ mm} \leq S \leq 140 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 100 mm

- Jarak Baut ke tepi sambungan

$$1.5.db \leq S \leq 12 tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1.5.30 \leq S \leq 12.10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$45 \text{ mm} \leq S \leq 120 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 50 mm

3. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\
 &= 0,6 \cdot 410 \cdot (300.20) \\
 &= 1476000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_n &= 1 \cdot 1476000 \text{ N} = 1476000 \text{ N} \\
 &= 147600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

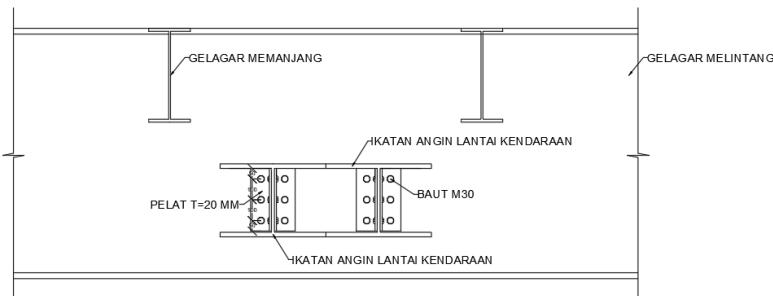
Kuat Putus:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\
 &= 0,6 \cdot 550 \cdot (300-(3.30)).20 \\
 &= 1386000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_n &= 0,75 \cdot 1386000 \text{ N} = 1039500 \text{ N} \\
 &= 103950 \text{ kg} \text{ (Menentukan)}
 \end{aligned}$$

Karena memakai 2 pelat, maka:

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_n &= 2 \cdot 103950 \text{ kg} \\
 &= 207900 \text{ kg} > P_u = 125673 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$



Gambar 7. 5 Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan

7.1.5 Sambungan Ikatan Silang

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Silang :

Profil = WF 400x400x20x35

Pu = 351774 kg

- Pelat penyambung:

Tebal = 50 mm

fu = 550 MPa

fy = 410 MPa

- Baut:

\emptyset Baut = M30

Mutu = A490

Tb = 408 kN

4. Kuat Geser Rencana Baut

$V_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

dengan,

μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)

D_u = 1,13

h_f = 1 (Faktor Pengisi)

T_b = 408 kN

n_s = 2 (Bidang Geser)

Sehingga,

$V_n = 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 408 \cdot 1$

= 276,624 kN

$$= 27662,4 \text{ kg}$$

Jumlah Baut

$$n = \frac{Pu}{\emptyset Vn} = \frac{351774}{27662,4} = 12,7 \approx 14 \text{ Buah}$$

Dipasang 7 tiap sisi

5. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3.db \leq S \leq 14 \text{ tP atau } 180 \text{ mm}$$

$$3*30 \leq S \leq 14*50 \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$90 \text{ mm} \leq S \leq 180 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 100 mm

- Jarak Baut ke tepi sambungan

$$1.5.db \leq S \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$1.5.30 \leq S \leq 12 .10 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$45 \text{ mm} \leq S \leq 120 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 50 mm

6. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned} Vn &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (400.50) \\ &= 4920000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset Vn &= 1 \cdot 4920000 \text{ N} = 4920000 \text{ N} \\ &= 492000 \text{ kg} \end{aligned}$$

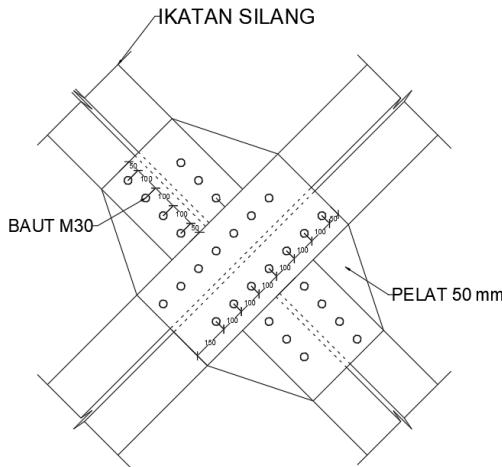
Kuat Putus:

$$\begin{aligned} Vn &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (400-(7.30)).50 \\ &= 3135000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset Vn &= 0,75 \cdot 3135000 \text{ N} = 2351250 \text{ N} \\ &= 235125 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

Karena memakai 2 pelat, maka:

$$\begin{aligned} \emptyset Vn &= 2 \cdot 235125 \text{ kg} \\ &= 470250 \text{ kg} > Pu = 351774 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$



Gambar 7. 6 Sambungan Ikatan Silang

7.1.6 Sambungan Antar Tie Beam

Data perencanaan sambungan:

- Tie Beam:

$$\begin{aligned} \text{Profil} &= \text{BOX } 1000 \times 1000 \times 50 \times 50 \\ V_u &= 1466153.8 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Pelat siku penyambung:

$$\begin{aligned} \text{Profil} &= 60 \text{ mm} \\ f_u &= 550 \text{ MPa} \\ f_y &= 410 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Baut:

$$\begin{aligned} \varnothing \text{ Baut} &= \text{M36} \\ \text{Mutu} &= \text{A490} \\ T_b &= 595 \text{ kN} \end{aligned}$$

1. Kuat Geser Rencana Baut

$$\begin{aligned} V_n &= \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s (\text{J3-4 SNI 1729:2015}) \\ \text{dengan,} \\ \mu &= 0,3 \text{ (Permukaan Kelas A)} \\ D_u &= 1,13 \\ h_f &= 1 \text{ (Faktor Pengisi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tb &= 595 \text{ kN} \\
 ns &= 1 \text{ (Bidang Geser)} \\
 \text{Sehingga,} \\
 Vn &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 595 \cdot 1 \\
 &= 201,705 \text{ kN} \\
 &= 20170,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Badan } (\beta) &= \frac{H}{B+H} = \frac{1000}{1000+1000} = 0,5 \\
 \text{Vu badan} &= \beta \cdot Vu = 0,5 \cdot 1466153,8 \text{ kg} \\
 &= 733076,9 \text{ kg} \\
 n &= \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{733076,9}{20170,5} = 36,3 \approx 40 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang 20 buah tiap sisi.

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Sayap } (\beta) &= \frac{B}{B+H} = \frac{1000}{1000+1000} = 0,5 \\
 \text{Vu sayap} &= \beta \cdot Vu = 0,5 \cdot 1466153,8 \text{ kg} \\
 &= 733076,9 \text{ kg} \\
 n &= \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{733076,9}{20170,5} = 36,3 \approx 40 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang 20 buah tiap sisi.

2. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$\begin{aligned}
 3.db \leq S \leq 14 tp &\text{ atau } 180 \text{ mm} \\
 3*36 \leq S \leq 14*50 &\text{ atau } 180 \text{ mm} \\
 108 \text{ mm} \leq S \leq 180 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 150 mm

- Jarak Baut ke tepi sambungan

$$\begin{aligned}
 1.5.db \leq S \leq 12 tp &\text{ atau } 150 \text{ mm} \\
 1.5.30 \leq S \leq 12 .50 &\text{ atau } 150 \text{ mm} \\
 45 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 100 mm

3. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

$$\begin{aligned}
 Vn &= 0,6 \cdot fy \cdot Agv \\
 &= 0,6 \cdot 410 \cdot (800.60) \\
 &= 11808000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varnothing V_n &= 1 \cdot 11808000 = 11808000 \text{ N} \\ &= 1180800 \text{ kg}\end{aligned}$$

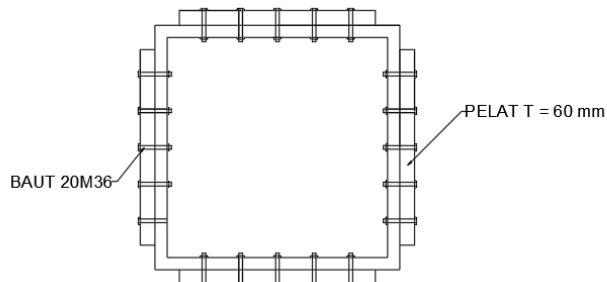
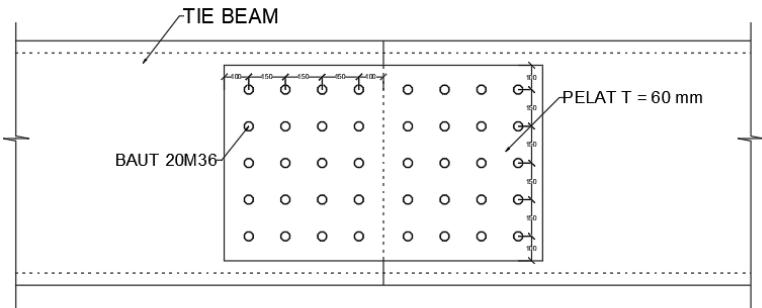
Kuat Putus:

$$\begin{aligned}V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (800-(5,36)) \cdot 60 \\ &= 12276000 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varnothing V_n &= 0,75 \cdot 12276000 \text{ N} = 9207000 \text{ N} \\ &= 920700 \text{ kg (Menentukan)}\end{aligned}$$

Karena memakai 2 siku, maka:

$$\begin{aligned}\varnothing V_n &= 2 \cdot 767250 \text{ kg} \\ &= 1841400 \text{ kg} > V_u = 1466153,8 \text{ kg (OK)}$$



Gambar 7.7 Sambungan Antar Tie Beam

7.1.7 Sambungan Kabel Penggantung

Data perencanaan sambungan:

- Kabel Penggantung:

Profil = Macalloy 520 (M76)

V_u = 131326,0075 kg

- Sambungan Gusset Plate dan Pin:

f_{yb} = 520 MPa

f_{ub} = 660 MPa

Tebal gusset = 153 mm

Tebal Pelat = 30 mm

Ø pin = 78,5 mm

1. Kuat Geser Pin

$$V_d = \varnothing f \cdot V_n$$

$$= 0,75 \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \cdot m$$

$$= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 660 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 78,52) \cdot 2$$

$$= 2395710,8 \text{ N}$$

$$= 235971,08 \text{ kg} > V_u = 131326,0075 \text{ kg}$$

- Sambungan Gusset dan Pelat Buhul

2. Sambungan Baut

Ø Baut = M24

Mutu = A325

f_y = 585 MPa

f_u = 825 MPa

Mutu Pelat BJ55, sambungan dengan pelat

f_y = 410 MPa

f_u = 550 MPa

t_p = 15 mm

3. Kuat Geser Baut

$$V_d = \varnothing f \cdot 0,4 \cdot f_{ub} \cdot m \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 2,42)$$

$$= 11196,5 \text{ kg} (\text{Menentukan!})$$

4. Kuat Tumpu Baut

$$R_d = \varnothing f \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{up}$$

$$= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 2,4 \cdot 1,5 \cdot 5500$$

$$= 35640 \text{ kg}$$

5. Jumlah Baut

$$n = \frac{V_u}{\varnothing V_d} = \frac{131326,0075}{2 \cdot 11196,5} = 5,86 \approx 8 \text{ Buah}$$

6. Jarak Baut

Jarak antar baut ($d=36$ mm)

$3d < s < 14tp$ atau 180 mm

72 mm < 100 mm < 180 mm

Jarak baut ke tepi sambungan

30 mm $< s < 12tp$ atau 150 mm

30 mm < 50 mm < 150 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:

$$a_{\text{Min}} = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Max}} = tp - 2 = 15 - 2 = 13 \text{ mm}$$

$$t_e = 10 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot 10 \cdot 450 = 9000 \text{ mm}^2$$

Akibat Vu,

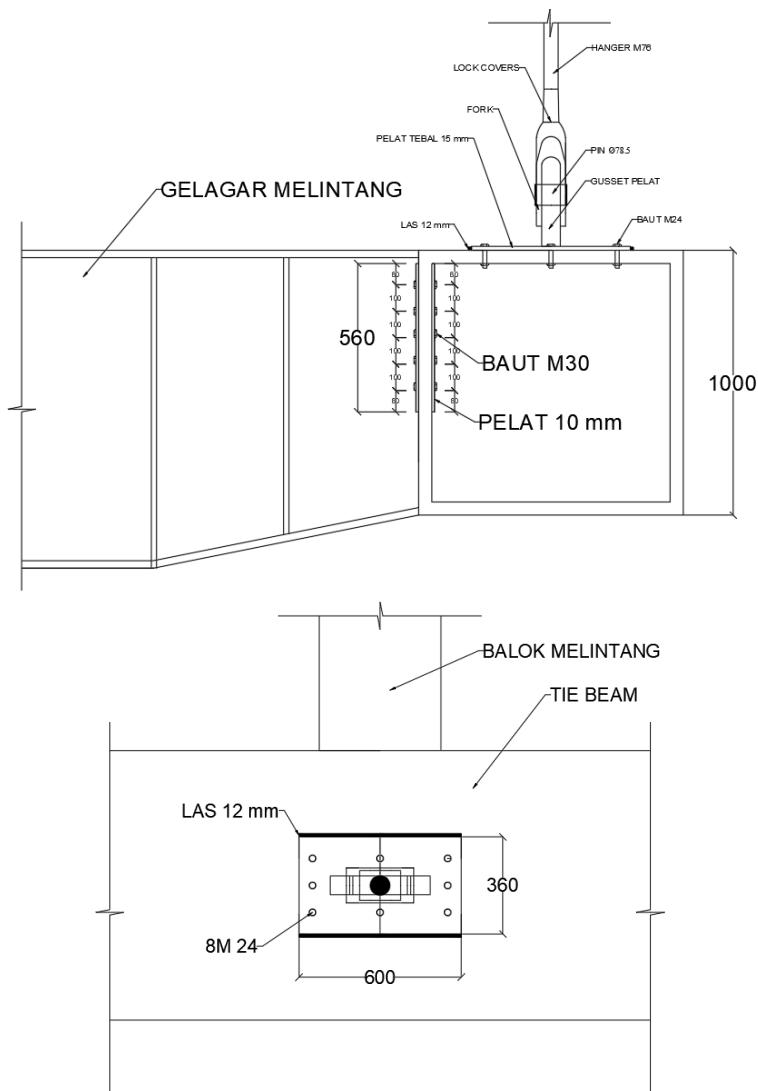
$$n = \frac{Vu}{A} = \frac{131326,0075}{90} \\ = 1459,18 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e \text{ perlu} \geq \frac{fv}{\phi f_n} = \frac{1459,18}{0,75 \cdot 0,6 \cdot 70 \cdot 70,3} \\ \geq 0,66 \text{ cm}$$

$$a_{\text{perlu}} \geq \frac{t_e \text{ perlu}}{0,707}$$

$$\geq 0,93 \text{ cm} < a_{\text{Max}}$$

$$a_{\text{pakai}} = 12 \text{ mm}$$



Gambar 7. 8 Sambungan Kabel Penggantung

7.1.8 Sambungan Rangka Utama Busur



Gambar 7. 9 Gaya Aksial Yang Bekerja Pada Segmen 4

- **Sambungan antar Busur Atas (BA4)**

Data perencanaan sambungan:

Busur Atas:

Profil = WF 700x600x30x40

V_u = 1875273 kg

Pelat penyambung:

Tebal = 80 mm

f_u = 550 MPa

f_y = 410 MPa

Baut:

\emptyset Baut = M36

Mutu = A490

T_b = 595 kN

1. Kuat Geser

V_n = $\mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

dengan,

μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)

D_u = 1,13

h_f = 1 (Faktor Pengisi)

T_b = 595 kN

$ns = 1$ (Bidang Geser)

Sehingga,

$$\begin{aligned} Vn &= 0,3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 595 \cdot 1 \\ &= 201,705 \text{ kN} \\ &= 20170,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Jumlah Baut

$$\begin{aligned} \text{Rasio Badan } (\beta) &= \frac{H}{B+H} = \frac{700}{600+700} = 0,538 \\ \text{Vu badan} &= \beta \cdot Vu = 0,538 \cdot 1875273 \text{ kg} \\ &= 1009762,385 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$n = \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{1009762,385}{20170,5} = 50,06 \approx 60 \text{ Buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio Sayap } (\beta) &= \frac{B}{B+H} = \frac{600}{600+700} = 0,462 \\ \text{Vu Sayap} &= \beta \cdot Vu = 0,5 \cdot 1875273 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$= 865510,62 \text{ kg}$$

$$n = \frac{Vu}{\phi Vn} = \frac{865510,62}{20170,5} = 42,9 \approx 48 \text{ Buah}$$

Dipasang 24 buah tiap sisi.

4. Jarak Baut

- Jarak Antar Baut (S)

$$3.db \leq S \leq 14 tp \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$3*36 \leq S \leq 14*70 \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$108 \text{ mm} \leq S \leq 180 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut yaitu 110 mm

- Jarak Baut ke tepi sambungan

$$1.5.db \leq S \leq 12 tp \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1.5.30 \leq S \leq 12 .70 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$45 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak baut ke tepi sambungan yaitu 75 mm

5. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

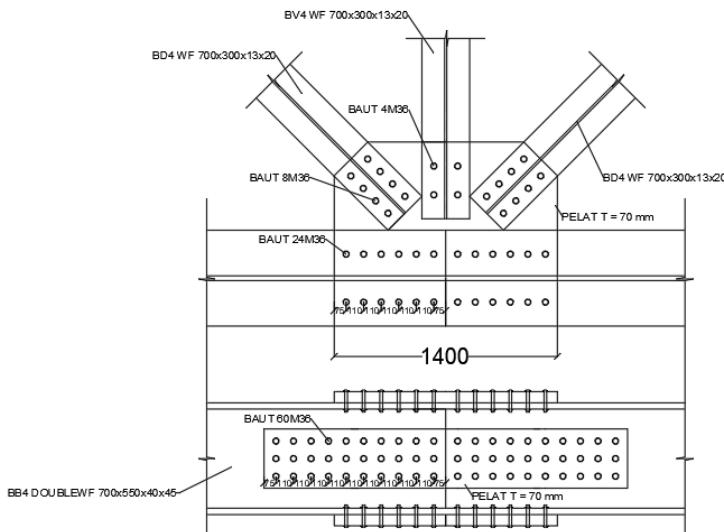
$$\begin{aligned} Vn &= 0,6 \cdot fy \cdot Agv \\ &= 0,6 \cdot 410 \cdot (1400.70) \\ &= 14563200 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\emptyset Vn = 1 \cdot 24108000 \text{ N} = 24108000 \text{ N}$$

$$= 2410800 \text{ kg}$$

Kuat Putus:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_v \\ &= 0,6 \cdot 550 \cdot (1400 - (12,36)) \cdot 70 \\ &= 22360800 \text{ N} \\ \varnothing V_n &= 0,75 \cdot 22360800 \text{ N} = 16770600 \text{ N} \\ &= 1677060 \text{ kg} \text{ (Menentukan)} \\ \text{Karena memakai 2 siku, maka:} \\ \varnothing V_n &= 2 \cdot 1677060 \text{ kg} \\ &= 3354120 \text{ kg} > V_u = 1875273 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$



Gambar 7. 10 Sambungan Rangka Utama Busur

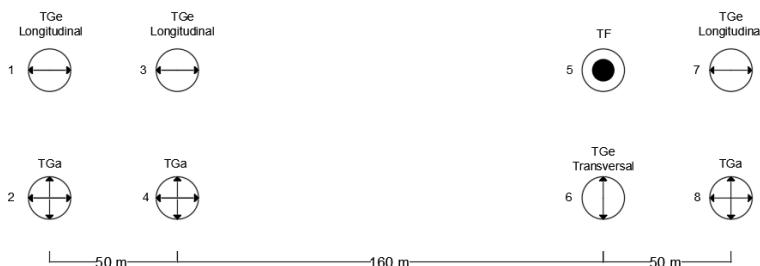
Tabel 7. 3 Rekapitulasi Kebutuhan Baut Rangka Utama

Batang	Jenis Profil	Pu	Vd baut	B	H	Ratio		Pu		n baut		n pasang		
						Badan	Savap	badan	savap	Badan	Savap	Savap	Badan	
BA1	WF 700x550x20x24	644105.7	20170.5	550	700	0.560	0.440	360699.2	283406.5	17.9	14.1	18	16	
BA2	Double WF 700x550x40x45	2406548.5	20170.5	1100	700	0.389	0.611	935880.0	1470668.5	46.4	72.9	48	74	
BA3	Double WF 700x550x40x45	2541893.7	20170.5	1100	700	0.389	0.611	988514.2	1553379.5	49.0	77.0	50	78	
BA4	WF 700X600X30X40	1875272.9	20170.5	600	700	0.538	0.462	1009762.3	865510.6	50.1	42.9	48	60	
BV1	WF 700x550x20x24	539346.4	20170.5	550	700	0	1	0	0	539346.4	0.0	26.7	28	0
BV2	WF 700X600X30X40	890583.6	20170.5	600	700	0	1	0	0	890583.6	0.0	44.2	46	0
BV3	WF 700x300X15X20	322407.6	20170.5	300	700	0	1	0	0	322407.6	0.0	16.0	18	0
BV4	WF 700x300X13X20	85037.6	20170.5	300	700	0	1	0	0	85037.6	0.0	4.2	8	0
BD1	WF 700x300X13X20	644105.7	20170.5	300	700	0	1	0	0	644105.7	0.0	31.9	34	0
BD2	WF 700X600X30X40	827076.6	20170.5	600	700	0	1	0	0	827076.6	0.0	41.0	42	0
BD3	WF 700x300X13X20	286625.9	20170.5	300	700	0	1	0	0	286625.9	0.0	14.2	16	0
BD4	WF 700x300X13X20	282161.4	20170.5	300	700	0	1	0	0	282161.4	0.0	14.0	16	0
BB3	Double WF 700x550x40x45	2706171.4	20170.5	1100	700	0.389	0.611	1052400.0	1653771.4	52.2	82.0	84	0	
BB4	Double WF 700x550x40x45	3727363.3	20170.5	1100	700	0.389	0.611	1449530.2	2277833.1	71.9	112.9	114	74	
TB1	BOX 1000x1000x50x50	532167.2	20170.5	1000	1000	0.500	0.500	266083.6	266083.6	13.2	13.2	16	16	
TB2	BOX 1000x1000x50x50	4232059.8	20170.5	1000	1000	0.500	0.500	2116029.9	2116029.9	104.9	104.9	106	106	
TB3	BOX 1000x1000x50x50	3031042.2	20170.5	1000	1000	0.500	0.500	1515521.1	1515521.1	75.1	75.1	80	80	
TB4	BOX 1000x1000x50x50	2871767.9	20170.5	1000	1000	0.500	0.500	1435884.0	1435884.0	71.2	71.2	74	74	

7.2 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. Pembebaan vertikal menggunakan kombinasi Ekstrim I sesuai SNI 1725:2016, sedangkan pembebaan horizontal menggunakan kombinasi Ekstrim I sesuai SNI 1725:2016.

Pada pembebaan 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 Cincin Lama Widang dapat dilihat pada Gambar.



Gambar 7. 11 penamaan perletakan pada Jembatan Cincin Lama Widang

7.2.1 Pembebaan Horizontal Akibat Gempa

Untuk pembebaan gempa pada desain jembatan ini digunakan metode respons spectrum dengan program bantu MIDAS CIVIL dan peta gempa.pusjatan.pu.go.id. Berdasarkan SNI 2833-2016 pasal 5.3.1, untuk kasifikasi jenis tanah dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 7. 4 Kelas situs

Kelas Situs	\bar{N}
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$\bar{N} > 50$
D. Tanah Sedang	$15 < \bar{N} < 50$
E. Tanah Lunak	$\bar{N} < 15$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=0}^n t_i}{\sum_{i=0}^n \left(\frac{t_i}{N_i} \right)}$$

dimana :

t_i = tebal lapisan tanah ke-i

N_i = nilai hasil uji penetrasi standart lapisan ke-i

Didapatkan hasil drill log tanah di kecamatan widang kabupaten tuban per 2 meteran. Untuk lebih jelasnya dapat melihat tabel

Tabel 7. 5 Pengolahan Data Tanah 1

Kedalaman	Tebal (t_i)	Nilai SPT	$\frac{t_i}{N_i}$
2	2	10	0,2
4	2	4	0,5
6	2	13	0,154
8	2	22	0,091
10	2	36	0,056
12	2	32	0,063
14	2	43	0,047
16	2	24	0,083
18	2	43	0,047
20	2	50	0,04
22	2	50	0,04
24	2	50	0,04
26	2	10	0,2
28	2	45	0,044
30	2	49	0,041
Total	30		1,644

$$\bar{N} = \frac{30}{1,644} = 18,248$$

Tabel 7. 6 Pengolahan Data Tanah 2

Kedalaman	Tebal (t_i)	Nilai SPT	$\frac{t_i}{\bar{N}_i}$
2	2	12	0,1667
4	2	10	0,2
6	2	13	0,154
8	2	30	0,067
10	2	25	0,080
12	2	30	0,067
14	2	25	0,080
16	2	37	0,054
18	2	50	0,040
20	2	47	0,0426
22	2	50	0,04
24	2	50	0,04
26	2	50	0,04
28	2	40	0,050
30	2	44	0,045
Total	30		1,166

$$\bar{N} = \frac{30}{1,166} = 25,73$$

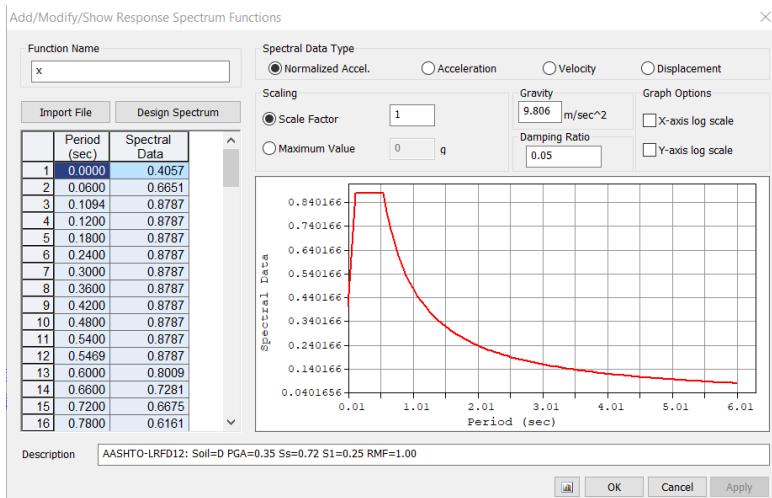
Berdasarkan data diatas tanah dikategorikan tanah sedang (SD) dengan, $15 < \bar{N} < 50$. Dengan jenis tanah SD didapatkan data-data berikut melalui peta gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun memiliki angka.

- Percepatan puncak (PGA) = 0,354
- Percepatan 0,2 detik (S_s) = 0,716
- Percepatan 1 detik (S_1) = 0,254

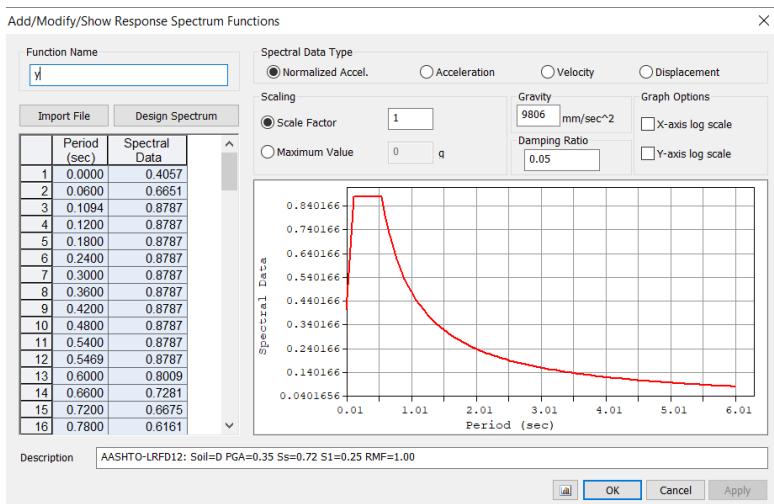
Berdasarkan SNI 2833-2016 pasal 5.3.2 nilai Fa dan Fv dengan kelas situs tanah sedang (SD).

- $F_{PGA} = 1,146$
- $F_a = 1,2272$
- $F_v = 1,892$

Dari data diatas dilakukan input data respon spektra, berupa PGA, S_s, S₁, dan faktor modifikasi respon R untuk gempa x sebesar R = 1 dan gempa y R = 1. Untuk hasil respon spectra desain dapat dilihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12



Gambar 7. 12 Respon Spectrum Gempa Arah X



Gambar 7. 13 Respon Spectrum Gempa Arah Y

Dengan perumusan respon spectra sebagai berikut

$$\begin{aligned} A_s &= F_{PGA} \times PGA \\ &= 1,146 \times 0,354 \\ &= 0,4057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= Fa \times S_s \\ &= 1,2272 \times 0,716 \\ &= 0,8787 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,892 \times 0,254 \\ &= 0,4805 \end{aligned}$$

- Periode struktur

$$T_x \text{ (MIDAS Mode 1)} = 1,411$$

$$T_y \text{ (MIDAS Mode 2)} = 0,768$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,5468 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times T_s \\ &= 0,1094 \end{aligned}$$

- Kofisien respon gempa elastic

Dengan periode lebih besar dari T_s

$$C_{smx} = \frac{S_{D1}}{T_x}$$

$$= 0,340$$

$$C_{smy} = \frac{S_{D1}}{T_y}$$

$$= 0,625$$

- Perhitungan berat jembatan

Dari Midas Civil didapat berat struktur 39816,71 kN

- Menghitung gaya gempa horizontal

Gaya gempa statis

$$E_{QX} = \frac{C_{smx}}{R} \times W_t$$

$$= \frac{0,340}{1} \times 39816,71 \text{ kN}$$

$$= 13537,86 \text{ kN}$$

$$E_{QY} = \frac{C_{smY}}{R} \times W_t$$

$$= \frac{0,625}{1} \times 39816,71 \text{ kN}$$

$$= 24885,44 \text{ kN}$$

- Gaya gempa dinamis dari MIDAS

$$E_{QX} = 41289,8 \text{ kN}$$

$$E_{QY} = 39943,6 \text{ kN}$$

- Kontrol Pengaruh Gempa arah-x

Nilai Vdinamik akibat gempa arah-x merupakan total dari reaksi geser arah-x pada semua perletakan.

$$0,85 V_{\text{statik}-x} < V_{\text{dinamik}-x}$$

$$0,85 \cdot 13537,86 \text{ kN} < 41289,8 \text{ kN}$$

$$11507,18 \text{ kN} < 41289,8 \text{ kN} (\text{OK})$$

- Kontrol Pengaruh Gempa arah-y

Nilai Vdinamik akibat gempa arah-y merupakan total dari reaksi geser arah-y pada semua perletakan.

$$0,85 V_{\text{statik}-y} < V_{\text{dinamik}-y}$$

$$0,85 \cdot 24885,44 \text{ kN} < 39943,6 \text{ kN}$$

$$21152,62 \text{ kN} < 39943,6 \text{ kN} (\text{OK})$$

7.2.2 Pembebatan Vertikal

Pembebatan vertikal menggunakan kombinasi Ekstrim 2 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 .

Tabel 7. 7 Reaksi Vertikal pada Perletakkan (Ekstrim 2)

Titik	Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)
1	Ekstrim 2	4909.5
2	Ekstrim 2	4919.9
3	Ekstrim 2	33536
4	Ekstrim 2	33638.6
5	Ekstrim 2	33736.9
6	Ekstrim 2	38581
7	Ekstrim 2	5252.5
8	Ekstrim 2	4979.4

7.2.2 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

Tabel 7. 8 Rekapitulasi Reaksi Perletakkan Jembatan

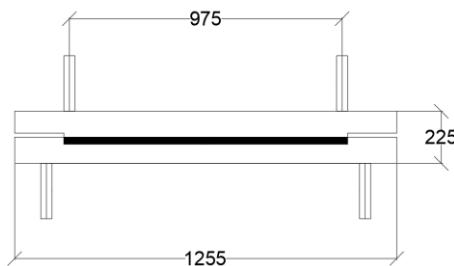
No	Jenis	Gaya (kN)		
		Vertikal	Horizontal Y	Horizontal X
1	Guided	4909.5	185.5	-
2	Free	4919.9	-	-
3	Guided	33536	417.9	-
4	Free	33638.6	-	-
5	Fixed	33736.9	323.4	3441.5
6	Guided	38581	-	2481.1
7	Guided	5252.5	154.2	-
8	Free	4979.4	-	-

Tabel 7. 9 Pemilihan POT Bearing berdasarkan tipe dan Kapasitas

No	Jenis Pot Bearing	Kapasitas Max (kN)		Gaya (kN)		Ket.
		Vert.	Horz.	Vert.	Horz.	
1	TE 5.5i	6288	1150	4909.5	185.5	OK
2	TA 5	6388	-	4919.9	-	OK
3	TE 14i	38782	2654	33536	417.9	OK
4	TA 14	38782	-	33638.6	-	OK
5	TF 15	44098	4967	33736.9	3764.9	OK
6	TE 15i	44098	2831	38581	2481.1	OK
7	TE 5.5i	6288	1150	5252.5	154.2	OK
8	TA 5	6388	-	4979.4	-	OK

1. Pot Bearing tipe fix

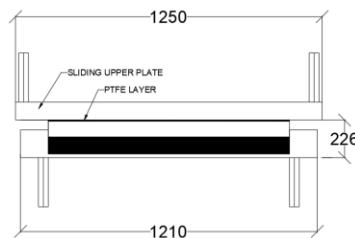
Sketsa Pot Bearing Tipe TF 15



Gambar 7. 14 Pot Bearing Tipe Fix

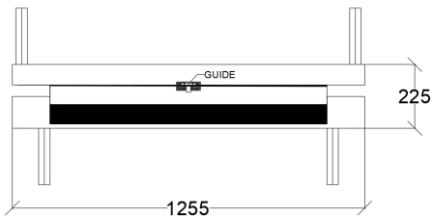
2. Pot Bearing tipe free/multi directional

Sketsa Pot Bearing Tipe TA 14



Gambar 7. 15 Pot Bearing tipe free/multi directional

3. Pot Bearing tipe guided/uni directional
Sketsa Pot Bearing Tipe TE 15i



Gambar 7. 16 Pot Bearing tipe guided/uni directional

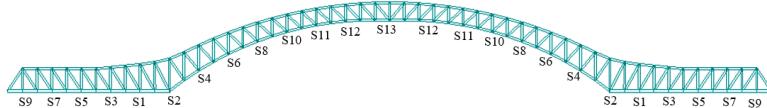
Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB VIII

STAGING ANALYSIS

8.1 Metode Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan jembatan Cincin Lama Widang 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 lantai jembatan. Penamaan segmen jembatan dapat dilihat pada Gambar 8.1.



Gambar 8. 1 Penamaan Segmen Jembatan

1. Stage 1

Pembangunan dimulai dari pekerjaan substructure (Pondasi, Abutment, Pilar, dan Perletakan) lalu dilanjutkan pekerjaan pendirian portal akhir yang menumpu pada perletakan. Pekerjaan ini dilakukan bersamaan pada kedua sisi jembatan. Pada tahap ini, temporary tower sudah berdiri untuk memberikan kabel 5,6 pada segmen 1 dan 2.



Gambar 8. 2 Stage 1

2. Stage 2

Dilanjutkan pemasangan frame rangka segmen 3,4 dan ditahan oleh kabel 4,7 seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. 3 Stage 2

3. Stage 3

Dilanjutkan pemasangan frame rangka segmen 5,6 dan ditahan oleh kabel 3,8 seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. 4 Stage 3

4. Stage 4

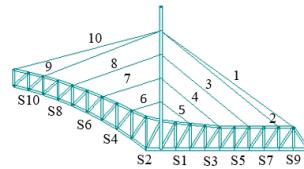
Dilanjutkan pemasangan frame rangka segmen 7,8 dan ditahan oleh kabel 2,9 seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. 5 Stage 4

5. Stage 5

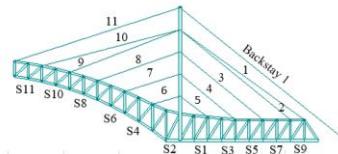
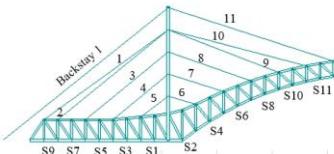
Dilanjutkan pemasangan frame rangka segmen 9,10 dan ditahan oleh kabel 1,10 seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. 6 Stage 5

6. Stage 6

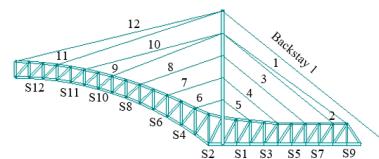
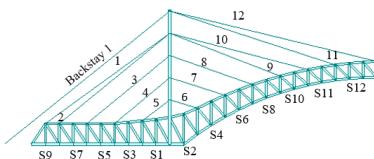
Dilanjutkan pemasangan frame rangka segmen 11 dan ditahan oleh kabel 6 kemudian dipasang backstay 1 sebagai penyeimbang seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. 7 Stage 6

7. Stage 7

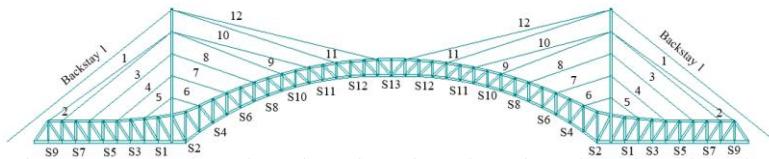
Dilanjutkan pemasangan frame rangka segmen 12 dan ditahan oleh kabel 7 kemudian dipasang backstay 1 sebagai penyeimbang seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. 8 Stage 7

8. Stage 8

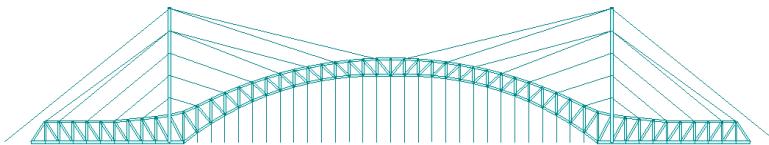
Dilanjutkan pemasangan closure atau segmen 13. Pada tahap ini, busur sudah terbentuk namun masih belum stabil karena belum terdapat batang tarik yang menahan gaya horizontal yang dihasilkan dari geometri busur.



Gambar 8. 9 Stage 8

9. Stage 9

Pemasangan kabel penggantung (hanger) pada semua titik buhul.



Gambar 8. 10 Stage 9

10. Stage 10

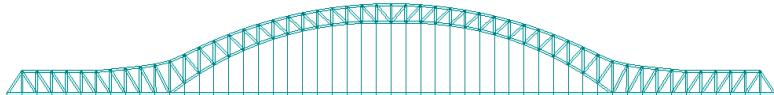
Pemasangan batang tarik (tie beam) yang dilanjutkan pekerjaan gelagar melintang, gelagar memanjang, lantai kendaraan dan pekerjaan finishing jembatan pada tahap ini kabel di tarik sesuai kebutuhan menggunakan *unknown load factor* pada midas cicil dengan batas atas lendutan 1 cm dan bawah 0 cm agar jembatan masih sesuai perencanaan.



Gambar 8. 11 Stage 10

11.Stage 11

Pembongkaran temporary tower dan kabel pembantu dilakukan secara bertahap. Yang dimulai dari kabel pembantu bagian tengah hingga bagian tepi.



Gambar 8. 12 Stage 11

8.2 Perencanaan Kabel

Perencanaan kabel penahan yaitu berdasarkan gaya tarik yang bekerja pada masing-masing kabel saat segmen dalam proses erection.

Kabel yang digunakan yaitu ASTM B-416-7 No. 5 Awg dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f_u &= 1864 \text{ Mpa} \\ f_{ijin} &= 0,7 \cdot 1864 \text{ Mpa} \\ &= 1304,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

Dimensi Kabel

$$\begin{aligned} n &= 1 \text{ Buah} \\ D &= 13,3 \text{ mm} \\ A_s &= 138,929 \text{ mm}^2 \\ P_n &= f_{ijin} \cdot A_s \\ &= 181274,559 \text{ N} \\ &= 181,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dengan perhitungan didapat diameter kabel yang dibutuhkan dan kekuatan nominal masing-masing kabel seperti pada Tabel

Tabel 8. 1 Perhitungan Kebutuhan Kabel

Kabel	Pu	Asc Gaya	n Kabel	n Kabel Pakai	Asc Aktual	Pn	Ket
	(Kn)	(mm ²)	(Strand)	(Strand)	(mm ²)	(Kn)	
Kabel 1	3390.39	2598.46	18.70	20	2778.58	3625.40	OK
Kabel 2	3221.46	2468.99	23.19	25	3473.23	4531.75	OK
Kabel 3	2075.81	1590.94	11.45	12	1667.15	2175.24	OK
Kabel 4	1286.27	985.82	7.10	9	1250.36	1631.43	OK
Kabel 5	925.45	709.29	5.11	7	972.50	1268.89	OK
Kabel 6	1177.98	902.83	6.50	8	1111.43	1450.16	OK
Kabel 7	1424.29	1091.61	7.86	9	1250.36	1631.43	OK
Kabel 8	1561.53	1196.79	8.61	10	1389.29	1812.70	OK
Kabel 9	1601.44	1227.38	8.83	10	1389.29	1812.70	OK
Kabel 10	2101.53	1610.65	11.59	14	1945.01	2537.78	OK
Kabel 11	2275.73	1744.16	12.55	14	1945.01	2537.78	OK
Kabel 12	1442.41	1105.49	7.96	10	1389.29	1812.70	OK
Backstay 1	3019.35	2314.09	16.66	18	2500.72	3262.86	OK

8.3 Kontrol Kapasitas Batang Saat Staging

Kontrol Ini dilakukan untuk memastikan gaya yang terjadi di penampang pada saat proses erection berlangsung masih sesuai dengan kapasitas penampang.

Tabel 8. 2 Kontrol Kapasitas Batang Saat Staging

Batang	Gaya Aksial (kN)										OPn	Ket
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8	Stage 9	Stage 10		
BA1			208.89	451.43	1350.61	3054.48	1994.42	2110.09	-829.83	13829	-12796	OK
BA2	60.61	975.33	1492.37	2692.02	3385.66	4718.29	7343.39	5218.04	5371	-175.53	51822	-53018
BA3			-382.99	-1215.87	-2577.04	4287.49	-592.83	-605.74	-2637.38	51822	-53115	OK
BA4									-5959.31	-6167.76	23352	-22227
BV1				204.85	433.03	740.81	1326.15	920.48	959.91	-38.7	13829	-10468
BV2	-489.06	463.68	-1304.7	-1711.01	-2057.95	-2443.28	-3002.3	-3195.13	-3270.62	-4063.95	23352	-16845
BV3					131.6	559.21	1565.26	-1129.88	-1392.77	-1436.29	-638.91	7416
BV4									114.32	121.39	229.85	7416
BD1				-357.48	-595.87	-1002.43	-1662.4	-1265.01	-1312.24	-75.18	7416	-1730
BD2	339.26	-665.97	1213.02	1754.01	2184.08	2738.98	3737.83	3536.45	3630.07	3899.53	21360	-20547
BD3				-450	-602.76	-828	1042.94	1502.63	1551.91	709.97	7416	-3117
BD4									-196.7	-202.34	-22.54	3117
BB3					333.65	581.93	798.93	-5807.03	-1410.88	-1464.38	-4548.74	51822
BB4									5717.36	5917.45	-46.63	51822
TB1					-60.31	-164.58	-859.4	-2198.6	-1336.1	-1424.03	658.96	66619
TB2	-241.66	-970.25	-2119.37	-3617.01	-4598.87	-6271.3	-9483.94	-7349.99	-7560.17	-2288.51	66619	-69107
TB3										5373.77	66619	-69107
TB4										5143.21	66619	-69107

Tabel 8. 3 Kontrol Kapasitas Batang Saat Staging

Batang	Rasio Gaya Aksial										OPn		Ket
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8	Stage 9	Stage 10	Tarik	Tekan	
BA1				0.015	0.033	0.098	0.221	0.144	0.153	0.065	13829	-12796	OK
BA2	0.00117	0.018821	0.028798	0.052	0.065	0.091	0.142	0.101	0.104	0.003	51822	-53018	OK
BA3				0.007	0.023	0.049	0.081	0.011	0.011	0.050	51822	-53115	OK
BA4								0.268	0.277	0.266	23352	-22227	OK
BV1				0.015	0.031	0.054	0.096	0.067	0.069	0.004	13829	-10468	OK
BV2	0.029	0.020	0.077	0.102	0.122	0.145	0.178	0.190	0.194	0.241	23352	-16845	OK
BV3				0.018	0.075	0.211	0.302	0.372	0.383	0.171	7416	-3747	OK
BV4								0.015	0.016	0.031	7416	-3747	OK
BD1				0.207	0.344	0.579	0.961	0.731	0.759	0.043	7416	-1730	OK
BD2	0.016	0.214	0.057	0.082	0.102	0.128	0.175	0.166	0.170	0.183	21360	-20547	OK
BD3				0.144	0.193	0.266	0.141	0.203	0.209	0.096	7416	-3117	OK
BD4								0.063	0.065	0.007	7416	-3117	OK
BB3				0.006	0.011	0.015	0.110	0.027	0.028	0.086	51822	-52887	OK
BB4								0.110	0.114	0.001	51822	-52887	OK
TB1				0.001	0.002	0.012	0.032	0.019	0.021	0.010	66619	-69107	OK
TB2	0.003	0.014	0.031	0.052	0.067	0.091	0.137	0.106	0.109	0.033	66619	-69107	OK
TB3										0.081	66619	-69107	OK
TB4										0.077	66619	-69107	OK

8.4 Perencanaan Profil Temporary Tower

Perencanaan profil temporary tower menggunakan material baja dengan kontrol sesuai SNI 1729-2015. Dari hasil analisa Midas Civil didapatkan gaya maksimum sebagai berikut :

$$P_{\text{tekan}} = -1375366,37 \text{ kg}$$

$$P_{\text{tarik}} = 127828,35 \text{ kg}$$

$$M_u = 985148,47 \text{ kg.m}$$

Direncanakan temporary tower menggunakan profil BOX 800x600x50x50 seperti pada Gambar dengan data sebagai berikut:

$$W = 829.96 \text{ kg/m} \quad A = 1056 \text{ cm}^2$$

$$d = 800 \text{ mm} \quad bf = 600 \text{ mm}$$

$$tw = 40 \text{ mm} \quad tf = 40 \text{ mm}$$

$$I_x = 1097790 \text{ cm}^4 \quad I_y = 942592 \text{ cm}^4$$

$$i_x = 32,24 \text{ cm} \quad Z_y = 23328 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 28608 \text{ cm}^3 \quad i_y = 29,87 \text{ cm}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa} \quad f_u = 550 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa} \quad h = 720 \text{ mm}$$

1. Kontrol Tekan (SNI 1729:2015, Tabel B4.2)

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.2)

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{tf} \leq 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{600}{40} &\leq 1,4 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\
 15 &\leq 30,92 \text{ (OK)} \\
 \text{Badan} : \frac{h}{tw} &\leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 \frac{800}{50} &\leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 20 &\leq 125,892 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Penampang Kompak

Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan sebagai berikut:

Diketahui:

$$K = 1$$

$$L = 1600 \text{ cm}$$

$$r = iy = 29,87 \text{ cm}$$

Tegangan Kritis (F_{cr}) :

$$\begin{aligned}
 \frac{KL}{r} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 \frac{1.1600}{29,87} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{410}} \\
 53,87 &\leq 104,03 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga, } F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{f_e} \right)$$

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{1.1600}{29,87}\right)^2} \\
 &= 679,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \left(0,658 \frac{f_y}{f_e} \right) \cdot f_y \\
 &= 318,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\
 &= 318,4 \cdot 105600 \\
 &= 33633187,97 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\varnothing P_n = 0,9 \cdot 33633187,97 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 &= 30269869,17 \text{ N} \\
 &= 3026986,92 \text{ kg} \geq P_u = 1375366,37 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

2. Kontrol Tarik

Kuat Leleh :

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_y \cdot A_g \\
 &= 410 \cdot 105600 \\
 &= 43296000 \text{ N} \\
 \varnothing P_n &= 0,9 \cdot 43296000 \text{ N} \\
 &= 38966400 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Putus:

$$P_n = f_u \cdot A_e$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n = 0,85 A_g \\
 P_n &= 550 \cdot 0,85 \cdot 105600 \\
 &= 49368000 \text{ N} \\
 \varnothing P_n &= 0,75 \cdot 49368000 \text{ N} \\
 &= 37026000 \text{ N (Menentukan!)}
 \end{aligned}$$

Dipakai,

$$\begin{aligned}
 \varnothing P_n &= 37026000 \text{ N} \\
 &= 3702600 \text{ kg} \geq P_u = 127828,35 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

3. Kontrol Momen Lentur

Penampang kompak, maka

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p \\
 &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 28608 \cdot 4100 \\
 &= 117292800 \text{ kg.cm} \\
 &= 1172928 \text{ kg.m} \\
 \varnothing M_n &= 0,9 \cdot M_n \\
 &= 0,9 \cdot 66461 \\
 &= 1055635,2 \text{ kgm} > M_u = 985148,47 \text{ kgm (OK)}
 \end{aligned}$$

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB IX

PENUTUP

9.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam Modifikasi dan Analisis Staging Jembatan Cincin Lama Widang Menggunakan Struktur Busur Rangka dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut:

1. Dimensi melintang jembatan yaitu terdiri dari 7,5 meter lantai kendaraan dan 2 x 1,5 meter sebagai trotoar. Jumlah lajur kendaraan yaitu 2 lajur 1 arah (2/1 UD). Tinggi fokus busur 30 meter.
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 1200.450.20.28
 - Ikatan Angin Atas : WF 200.200.10.16
 - Ikatan Angin Bawah : WF 350.350.14.22
 - Ikatan Angin Silang : WF 400.400.20.35
4. Kabel penggantung yang dipakai adalah Macalloy 520 (M76) dengan diameter 72 mm dan Minimum Break Load adalah 2635 kN.
5. Hasil perencanaan profil rangka utama adalah sebagai berikut:
 - Segmen 1
 - Busur Atas (BA1) : WF 700.550.20.24
 - Diagonal (BD1) : WF 700.300.13.20
 - Vertikal (BV1) : WF 700.550.20.24
 - Tie Beam (TB1) : BOX 1000.1000.50.50
 - Segmen 2
 - Busur Atas (BA2) : Double WF 700.550.40.45
 - Diagonal (BD2) : WF 700.600.30.40
 - Vertikal (BV2) : WF 700.600.30.40
 - Tie Beam (TB2) : BOX 1000.1000.50.50

- Segmen 3

Busur Atas (BA3)	:	Double WF 700.550.40.45
Busur Bawah (BB3)	:	Double WF 700.550.40.45
Diagonal (BD3)	:	WF 700.300.13.20
Vertikal (BV3)	:	WF 700.300.13.20
Tie Beam (TB3)	:	BOX 1000.1000.50.50
 - Segmen 4

Busur Atas (BA4)	:	WF 700.600.30.40
Busur Bawah (BB4)	:	Double WF 700.550.40.45
Diagonal (BD4)	:	WF 700.300.13.20
Vertikal (BV4)	:	WF 700.300.13.20
Tie Beam (TB4)	:	BOX 1000.1000.50.50
6. Perletakan yang digunakan adalah produk dari Mageba dengan spesifikasi sebagai berikut:
- Perletakan 1 : TE 5.5i (guided type)
 - Perletakan 2 : TA 5 (free type)
 - Perletakan 3 : TE 14i (guided type)
 - Perletakan 4 : TA 14 (free type)
 - Perletakan 5 : TF 15 (fixed type)
 - Perletakan 6 : TE 15i (guided type)
 - Perletakan 7 : TE 5.5i (guided type)
 - Perletakan 8 : TA 5 (free type)
7. Profil yang diperhitungkan masih memenuhi syarat dari kontrol segmen batang pada saat Staging Analysis.

9.2 Saran

Dalam laporan Tugas Akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dalam pengerjaannya. Banyak hal yang belum ditinjau dalam perencanaan ini seperti scouring, perencanaan Bangunan bawah, dan lain sebagainya.

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: UIPress. **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 Pembebaan 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

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Ilham Margianto ini dilahirkan di Lamongan, 18 September 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Warungering Lamongan, SMPN 1 Kedungpring, dan SMAN 1 Tuban. Setelah lulus dari SMAN 1 Tuban, penulis melanjutkan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil FTSPK-ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2016. Penulis memilih bidang struktur untuk

Tugas Akhir yang dikerjakan. Selama pendidikan penulis pernah meraih beberapa prestasi tingkat nasional seperti Juara 3 dan Juara Kategori Terinovatif Lomba Jembatan Civil Festival di Politeknik Negeri Jakarta Tahun 2019 , Juara 1 Earthquake Resistant Design Competititon dalam rangka Petra Civil Expo di Universitas Kristen Petra tahun 2018 serta prestasi international yaitu sebagai 3rd Winner dan Most Aesthetic Design pada NTU Bridge Design Competition di Nanyang Technological University Singapore tahun 2019, Quake Resistant Sertificate pada IDEERS di NCREE Taiwan tahun 2019. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil dan beberapa kepanitiaan seperti Koordinator Dynamic Load Bridge Competition Civil Expo ITS tahun 2019. Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2020. Jika pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: ilhammargianto@gmail.com



Macalloy Tensile Structure Systems:

Macalloy 460

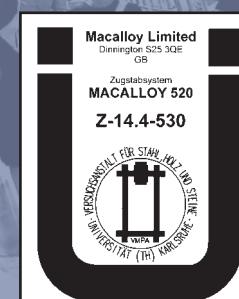
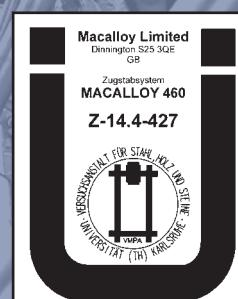
Macalloy 520

Macalloy S460

Macalloy Architectural Compression Strut

Macalloy Standard Compression Strut

Macalloy SC460



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Tensile Structures

A historical overview	P. 2-3	Components for Macalloy 460, S460 and 520 Bar Systems	P. 8-9
Macalloy 460 Bar System	P. 4	Macalloy Connection Plate Solutions	P. 10
Macalloy 520 Bar System	P. 5	Macalloy SC460 Cable System	P. 11
Macalloy S460 Bar System	P. 6	Macalloy 460, S460 and 520 Bar System Assembly	P. 12-13
Macalloy Architectural and Standard Compression Struts	P. 7	Installation and Stressing of Macalloy Tendons	P. 14-15

Since the 1940's Macalloy has been leading the way in the design, manufacture and supply of threaded bar systems. Macalloy's traditional ethos of consistently serving its markets with experience, innovation and quality, has strengthened the company's reputation as the leading

threaded bar manufacturer in the world. With innovation at the heart of the company's brand, Macalloy developed and introduced the concept of Tensile Structures in the early 1980's, leading to new systems and technology that were to change traditional principles forever.

In recognition of this, the Macalloy portfolio of projects continues to expand with new and exciting opportunities being presented. Throughout its history, Macalloy has gained respect from architects, engineers and contractors. This continues to be the case today.



The Renault building in Swindon, recognised as the world's first tensile structure, is supported using the Macalloy Tension Bar System. This building has now been granted grade 2 listed status, due to its architectural significance.

Renault Building, Swindon, UK
Architect – Foster Associates
Contractor – Tubeworkers
Engineer – Arups

There are many reasons why specifiers and contractors have repeatedly chosen the Macalloy system over the years. Here are but a few. Macalloy:

- was the first to develop a structural tie system with a yield stress of 460N/mm².
- has now developed a new structural tie system with an enhanced yield stress of 520 N/mm².
- only manufactures using rolled threads.
- offers the most comprehensive range of bar and cable systems in both carbon and stainless steel.
- pioneered the art of stressing tendons (see page 14-15)
- was the first to gain approval to BS ENV 1993-1 (EC3)
- has European and German approval for its carbon and stainless steel system.
- has a system tested in fatigue.
- is a CARES approved company.
- celebrated 60 years of experience in threaded bar systems in 2008.
- has an experienced team of engineers, who offer support and advice from specification to construction stage.
- ensures all round customer service.



Trinec-Baliny Bridge, Czech Republic

Photo by Vladimír Carbol,
Norsk Sveiseteknikk AS

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Tensile Structures

Macalloy is continually introducing new products to meet the demands of the civil and architectural markets.

The following systems form part of Macalloy's range:

- Macalloy 460 (carbon steel bar system)
- Macalloy 520 (carbon steel bar system)
- Macalloy S460 (stainless steel bar system)

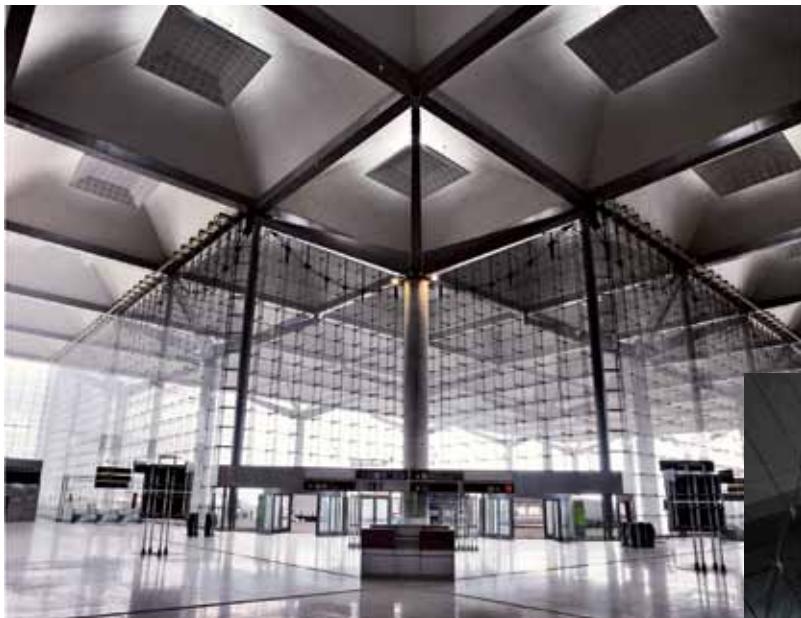
- Macalloy Architectural and Standard Compression Strut
- Macalloy SC460 (stainless steel cable system)
- Macalloy Connection Discs

In addition to the above, Macalloy can offer other bar and cable systems, to suit a specific application. For further information, please contact the sales department.

From the Macalloy 460 to Macalloy 520

As a company that sees itself at the forefront of innovation and new technology, Macalloy's latest product addition is the Macalloy 520. This system presents engineers with the opportunity to use a smaller diameter bar to carry the same load.

Malaga Airport, T3, Spain
Consultant - W&P Architects Engineers
© 2010 Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea



Mbombela Stadium, Nelspruit, South Africa
Client - Mbombela Local Municipality
Structural Engineer - Mott MacDonald

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy 460 Bar System

Table 1 - Tendon Capacities for Carbon Macalloy 460

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Design Resistance to EC3	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677	2138	2418	3029
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



Macalloy 460 in Application

Engineers all over the world have used Macalloy systems in the most diverse of applications. Among these are bridges, government buildings, stadia, airports, and hotels, to name just a few. The longevity and design again reflect the level of innovation and quality, which have become firm components of Macalloy products.

Macalloy 460 Carbon Bars

Macalloy 460 is a manufactured carbon steel, with excellent mechanical properties. The thread is rolled, rather than cut. This gives rise to the use of smaller diameter bars for a given metric thread, resulting in material cost saving. The carbon Macalloy 460 is also a weldable steel with a maximum carbon equivalent of 0.55%. Arc welding may be carried out using standard techniques and low hydrogen rods.

The Macalloy 460 bar has the following mechanical properties:

Minimum Yield Stress	460 N/mm ²
Minimum Breaking Stress	610 N/mm ²
Minimum Elongation	19%
Minimum Charpy Impact Value	27J @ -20°C
Young's Modulus	205 kN/mm ²

The standard diameter range for this system is from M10 to M100. In addition, other diameters can be supplied but are

subject to longer lead times. Tendons up to and including M16 diameters can be supplied in lengths of 6m. For larger diameters, lengths of up to 11.95m are available. Greater lengths are possible using couplers and turnbuckles. These fittings are designed to take the full load of the bar.

Adjustment

Adjustments within each fork or spade are:
M10 to M56: +/- 1/2 thread diameter
M64 to M100: +/- 25mm

Turnbuckles give additional adjustments of:

M10 to M24: +/- 25mm
M30 to M100: +/- 50mm

Special turnbuckles, with a greater adjustment, are available on request.

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.

Corrosion Protection

Macalloy tendons can be supplied in plain carbon steel, primed, or hot dip galvanized finish. If requested at the time of order, hot dip galvanizing can be applied to tendons

after the threading process. The threads are then brushed to remove any excess zinc.

Length permitting, galvanized bars are delivered pre-assembled. This procedure ensures that threads are 100% operational. Connected bars, greater than 12m, are delivered part assembled. Please note that hot dip galvanizing is not comparable with a paint finish. The visual appearance of forks and spades may differ in appearance from that of the bar, by virtue of the different material compositions.

Paint

For architectural purposes, it is recommended a painted finish is applied to the galvanizing. The corrosion resistance of the bar can then be enhanced.

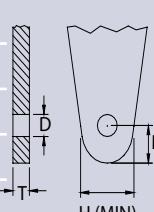
Macalloy offers any kind of paint finish (primer, paint or fire protection) for hot dip galvanized, or self colour tendons. These finishes will be sourced from certified suppliers.

European Approval

The Macalloy 460 system has European CE approval under the ETA number 07/0215 for all standard diameters from M10 and M100. When specifying, always ask for CE approved systems.

Table 2 - Macalloy 460 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	196
H (min.)	mm	28	34	48	60	68	90	103	118	135	163	180	211	259	266	317



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy 520 Bar System

Table 3 - Tendon Capacities for Carbon Macalloy 520

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Min. Yield Load	kN	28	41	77	122	176	284	411	566	746	1030	1360	1985	2531	2862	3585
Min. Break Load	kN	35	52	98	155	223	360	522	719	946	1308	1727	2520	3212	3633	4551
Design Resistance to EC3	kN	26	38	71	112	161	257	376	518	682	942	1244	1814	2313	2616	3277
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



Macalloy 520 Carbon System

The Macalloy 520 follows tradition and offers an alternative bar system with the same geometry, design and technology as the 460 system. The fittings are designed to take the increased capacity of the system, which is available in diameters M10 to M100 in carbon steel.

Mechanical Properties

The Macalloy 520 bar has the following mechanical properties:

Minimum Yield Stress	520 N/mm ²
Minimum Breaking Stress	660 N/mm ²
Minimum Elongation	19%
Minimum charpy Impact Value	27J @-20°C
Young's Modulus	205 kN/mm ²

Adjustment

Adjustments within each fork or spade are:

M10 to M56: +/- ½ thread diameter

M64 to M100: +/-25mm

Turnbuckles give additional adjustments of:

M10 to M24: +/-25mm

M30 to M100: +/-50mm

In addition, special turnbuckles, with a higher adjustment, are available on request.

Corrosion Protection

Macalloy tendons can be supplied in plain carbon steel, primed, painted or dip galvanized finish. If requested at the time of order, hot dip galvanizing can be applied to tendons after the threading process. The threads are then brushed to remove any excess zinc.

Length permitting, galvanized bars are delivered pre-assembled. This procedure ensures that threads are 100% operational. Connected bars, greater than 12m, are delivered part assembled. Please note that hot dip galvanizing is not comparable with a paint finish. The visual appearance of forks and spades may differ in appearance from that of the bar, by virtue of the different material composition.

Paint

For architectural purposes, it is recommended a painted finish is applied to the galvanizing. The corrosion resistance of the bar can then be enhanced.

European Approval

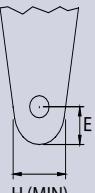
The Macalloy 520 system has European CE approval under the ETA number 07/0215 for all standard diameters from M10 and M100. When specifying, always ask for CE approved systems.



Image Courtesy of BBR Network Member SpennTeknikk

Table 4 - Macalloy 520 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	196
H (min)	mm	28	34	48	60	68	90	103	118	135	163	180	211	259	266	317



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy S460 Bar System

Table 5 - Tendon Capacities for Macalloy S460

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329
Design Resistance to EC3	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677
Nominal Bar Weight	(kg/m)	0.50	0.75	1.40	2.20	3.00	4.80	7.10	9.40	12.50	16.70	22.20	32.00



Macalloy S460 Stainless Bars

Macalloy S460 is an austenitic stainless steel system, selected from high strength stainless steel to provide the optimum balance of strength, ductility and appearance. Austenitic stainless steel has excellent charpy v notch impact properties.

Macalloy S460 bar has the following mechanical properties:

Minimum Yield Stress	460 N/mm ²
Minimum Breaking Stress	610 N/mm ²
Minimum Elongation	15%
Minimum charpy Impact Value	27J @-20°C
Young's Modulus	190 kN/mm ²

The system comes as standard in diameters M10 to M76. Bars are available in standard lengths of 6m. Longer lengths are available by request.

Stainless Finish

All components of the Macalloy S460 bar system are supplied, as standard, with a Grit 220 (N3) polished finish. On request, Macalloy can supply higher quality finishes (electro polished, glass bead finish etc.). Please discuss your requirements with our sales team.

Adjustment

Adjustments within each fork or spade are:
M10 to M56: +/- ½ thread diameter
M64 to M76: +/-25mm

Turnbuckles give additional adjustments of:
M10 to M24: +/-25mm
M30 to M76: +/-50mm

Isolation

When the Macalloy S460 stainless steel system is joined to carbon steel gusset plates, it is recommended isolation is used. Macalloy can offer isolation sleeves and washers to avoid contact corrosion. See Table 6 and 7 below.

European Approval

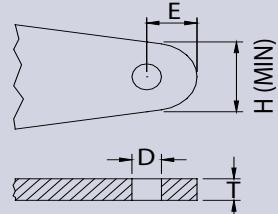
The Macalloy S460 system has European CE approval under the ETA number 07/0215 for all standard diameters from M10 and M76. When specifying, always ask for CE approved systems.

Use of Stainless in Chlorine Environments

Macalloy has considerable experience of using stainless steel in a chlorine environment and can offer advice on specific grades for such applications. For further information, please contact the Macalloy Technical Department.

Table 6 - Macalloy S460 Gusset Plate Dimensions when used with isolation

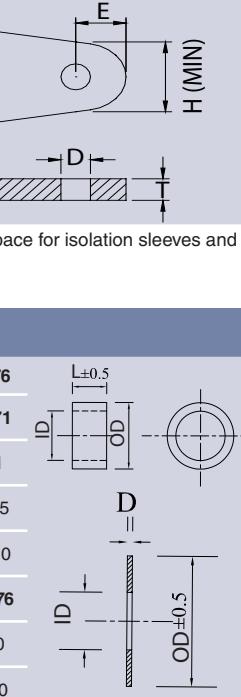
T (Thickness)	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
D	15.5	17.0	21.0	25.5	30.0	36.0	42.0	48.0	55.5	63.5	72.5	85.5
E	21	24	31	37	45	56	64	74	85	100	115	136
H (min)	34	38	49	58	69	89	108	117	136	160	179	210



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 2.

Table 7 – Isolation Dimensions for Macalloy S460

Isolation Sleeve	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
Length	IS10	IS12	IS16	IS20	IS24	IS30	IS36	IS42	IS48	IS56	IS64	IS71
ID	9	10	13	16	21	23	31	36	41	46	55	71
OD	11.5	13.0	17.0	21.0	25.0	31.0	37.0	43.0	49.0	57.0	64.5	77.5
OD	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	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	26	30	41	46	57	74	83	98	110	135	155	190



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Architectural and Standard Compression Strut

Table 8 – Diameter and Maximum Compressive Capacity of Fork

Fork Size	Units	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
CHS OD	mm	33.7	42.2	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273.0	323.9
CHS Wall Thickness	mm	4	4	5	5	5	5	6.3	10	10	10	12.5	16	16	16
Maximum compressive capacity to EC3	kN	12.8	28	46.3	66.2	124.6	202.8	286.2	397	564.8	775.8	1167.9	1634.5	1871.3	2419

Macalloy Compression Strut

Macalloy offers 2 types of Compression Struts. There is the existing Architectural Strut Range and the new Standard Compression Strut System.

Macalloy Compression Struts utilise standard Macalloy 520 fork end fittings and pin sets. These are connected to the CHS (circular hollow section) by a taper cone and threaded stud.

The Macalloy Standard Compression Strut provides the same compressive capacities as the architectural system, however the formal appearance of this strut has a shorter taper cone and no locking collar.

Approved by DIBt Berlin

The Macalloy Compression Strut system has been approved in Germany by the Deutches Institut für Bautechnik, under approval number Z-14.4-530. For further information, please contact the Macalloy technical department.

Corrosion Protection

As a means of protecting against corrosion, Macalloy can supply the Compression Strut hot dip galvanized, painted or in stainless steel.

Tolerances and Adjustments

The cutting tolerance for a CHS is +/- 3mm. Adjustment within each fork is:
M10 to M56: +/- ½ thread diameter
M64 to M100: +/- 25mm

Project Examples:

Macalloy Compression Struts have been used on many projects including Wembley Stadium in London, Elm Park in Dublin and Credit Suisse in Singapore.

For full details of dimensions, design and specification of the Macalloy Architectural and Standard Compression Strut system, please refer to the new Macalloy Compression Strut brochure.



ITTL Exhibition Areas, Plot 2, Nicosia, Cyprus
Architect – Maratheftis Yiannouris Architects
Contractor – Loizos Iordanous Constructions Ltd
Engineer – Redesco slr

Macalloy Standard Compression Strut



Macalloy Architectural Compression Strut



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Components for Macalloy 460, S460 and 520 Bar Systems.

Standard Components

Macalloy offers a range of standard components, including forks, spades, pins, couplers and turnbuckles. These components are designed and tested to exceed the tensile capacity of the bar, which itself is based upon the cross sectional area of the thread form. The design and geometric dimensions are the same for all the systems, enabling the designer to go from one system to another, without making any design changes.

Forks are designed to be connected to a BS EN 10025 grade S355 plate (Grade 50 to BS4360) of the dimensions shown in tables 2 and 4. This will ensure a connection that has yield strength equal to the minimum tendon yield strength.

Spades are designed to be connected to forks or between grade 355 plates, simulating a fork/spade connection.

Pins connect the fork or spade to the gusset plates. Macalloy only offers pins with architectural caps to ensure a more secure connection. We recommend the use of galvanized pins for their superior corrosion protection properties. In heavily corrosive environments, it is recommended that stainless steel pins be used. To avoid bi-metallic corrosion the pins should be fitted with suitable sleeve isolation.

Lock Covers not only help to lock the components in place and hide the remainder of the bar thread form, but they also provide an aesthetic and smooth transition from component to bar. They may be used at each side of a turnbuckle



Bâtiment administratif SYCTOM, France © SYCTOM de l'agglomération parisienne.

or coupler and at the back end of a fork or spade.

Couplers and Turnbuckles are a small and unobtrusive way of joining 2 or more bars together when tendons are longer than the maximum bar length. The turnbuckles can be used to apply a torque or induce a load in to the bar, especially when used in combination with the Macalloy TechnoTechnotensioner.

Lock Cover Sealing In order to avoid corrosion in the thread of carbon steel tendons, a sealant should be applied. The sealant also acts as a mechanism to lock off the lock cover against the fork for both the carbon and stainless systems. Macalloy recommends Loctite, Henkle

Terostat – MS 939 or a sealant of similar viscosity. Care should be taken of possible over painting of the material.

1. All threaded components must be cleaned of grease, oil and other impurities.
2. After completing the assembly (the system is under tension), the open end of the lock cover must be covered with PTFE tape, so that the space between the lock cover and bar is closed. Using a cartridge gun, the sealant is injected into the hole in the lock cover, until the cavity void is completely filled.
3. On completion of the injection, the tape should be removed.
4. Any excess sealant should be removed from the end of the lock cover and around the injection hole immediately.
5. During clean up, the sealant manufacturer's instructions must be followed.

Lock Cover



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Components for Macalloy 460, S460 and 520 Bar Systems

Table 9 – Component Dimensions

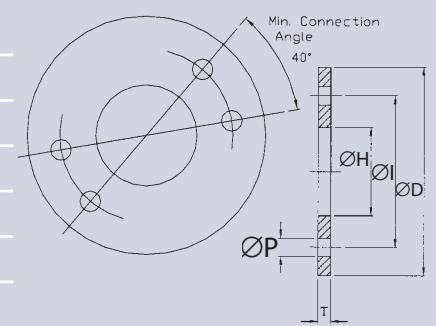
Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Fork Ref.		FA/10	FA/12	FA/16	FA/20	FA/24	FA/30	FA/36	FA/42	FA/48	FA/56	FA/64	FA/76	FA/85	FA/90	FA/100
A mm		63.0	75.0	99.0	122.0	148.0	178.0	204.0	232.0	266.0	314.0	348.0	410.0	459.0	489.0	555.0
G mm		11.0	12.0	15.0	19.0	24.0	26.0	34.0	39.0	44.0	49.0	59.0	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	94.0	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	68.0	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
Fork & Coupler Lockcovers		LCF/10	LCF/12	LCF/16	LCF/20	LC/24	LC/30	LCT/36	LC/42	LC/48	LC/56	LC/64	LC/76	LC/85	LC/90	LC/100
X Dia. mm		16.5	18.5	24	28	34	42	51	59	67	79	90	107	120	128	142
N mm		29	31	37	43	74	105	111	117	123	136	144	156	165	170	180
Turnbuckle Lockcovers		LCT/10	LCT/12	LCT/16	LCT/20											
X Dia. mm		16.5	18.5	24.0	28.0											
N mm		44.0	44.0	46.0	48.0											

Lock covers for use with TechnoTensioner have a small groove that runs around the body to identify them.

Unless requested, standard non-TechnoTensioner lock covers will be quoted and supplied.

Table 10 – 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



To discuss larger dimensions, please contact the Macalloy technical department.

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Connection Plate Solutions

Connection plate solutions for Macalloy 460, 520 and S460

Standard Connection Plates

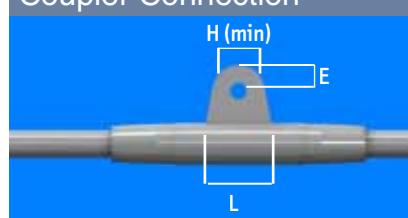
Forks may be connected to either carbon steel or stainless steel connection plates, using material with an equivalent strength to BS EN 10025 grade S355.

If carbon steel connection plates are used with stainless forks or vice versa, isolation sleeves and washers may be required to prevent bi-metallic corrosion.

Coupler Connector

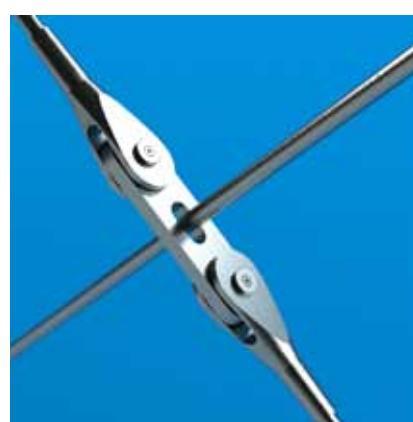
Available in all sizes, these couplers are supplied with a welded lug to create a hanger connection, removing sag in the long span applications. Please contact the Technical Department with your requirements. The dimensions of the gusset plates are found in Tables 2, 4 and 6.

Coupler Connection



Central Connection Plates

These are circular central discs, commonly used in wind bracing applications, where tendons are used to cross each other. Dimensions are given in table 10. A low priced alternative is to use a central node, whereby the bar passes straight through the central connector (as shown below).



Bespoke Connection Plates

Designed to complement the Macalloy bar systems, connection plates can be manufactured to suit your individual application requirements. These are available in both carbon and stainless steel, with a choice of finishes, including painted, powder coated or polished. Your preferred company logo, lettering and designs can be accommodated, using the latest laser cutting, chemical etching, or screen printing techniques. For further support and advice, please contact our technical team.



Gusset Plate Fit

One of the benefits of the Macalloy bar system is the difference between the plate thickness and gap inside the fork. This gap allows a maximum misalignment of 0.5 degrees. The tolerance within the system makes it significantly easier during assembly.

Badly fitted gusset plates can result in asymmetric loading on the fork, which should be avoided. If misalignment of > 0.5 degrees is required, the use of a spherical bearing should be considered within the gusset plate. Please contact the Technical Department for further information.

Gusset Plate Misalignment



Macalloy Bespoke Systems

In addition to the standard systems, Macalloy can offer special items and systems. Macalloy has an experienced technical department. Our engineers are willing to offer expert advice and solutions for special projects. Macalloy has modern manufacturing facilities, a flexible workforce and 60 years experience in the manufacture of threaded bar. The in-house bar threading facility, means that one-off bar types can be manufactured to individual specifications. The in-house Test Facility is able to check that components and bars meet the initial design requirements, before leaving the premises.

- Unique machined and cast components for numerous glass façade projects
- Changi airport – 835 grade stainless bar with special forks to suit
- T5, Heathrow – unique finish to the thread form and polish for the glass wall
- T5 Rail Interchange, Heathrow – special T-connection pieces to allow horizontal and vertical bars to be joined in one threaded connection.

Special Projects include:

- Dubai airport – a special 690 grade bar system was developed, which included special high strength connections to take the full load of the bar.

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy SC460 Stainless Cable System

Table 11 – Tendon Capacity for the Macalloy SC460

Cable Dia.	mm	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	19	22	26
Break Load	kN	7.1	12.6	19.6	28.2	34.8	45.5	71.1	102.0	139.0	182.0	212.0	285.0	398.0



Macalloy SC460 Stainless Cable Tendons

The Macalloy SC460 is a logical extension of the Macalloy bar tendon systems.

This specially designed system incorporates cable adapters, which allow standard imperial threaded swaged cables to be connected to the standard Macalloy S460 range of forks.



Macalloy SC460 Stainless Cable

The cables used permit a conventional elongation. The elongation of the cable length can be between 0.10 and 0.75%, depending on the magnitude and frequency of loading. This must always be considered in the design of the structure.

Macalloy offers three types of cable:
1x19 spiral strand has moderate initial stretch properties. All the cable adapter fittings are designed to match the minimum breaking load of the 1x19 cable.

Compact Strand has a higher breaking load, along with a lower initial stretch, than the 1x19 strand cable and is available in most diameters.

7x19 strand is the most flexible cable and is ideal where this property is paramount.

Standard Components SC460 Tendons

The fork and pin components of the system are all made from austenitic or duplex stainless steel. The swaged fittings are factory swaged to both ends of the cable and the strength of the connection exceeds the break load of the cable. Pin set bodies above SPA24 may be in martensitic stainless steel. The system is designed to match the minimum break load of the 1x19 strand cable. If fittings are required to match the minimum break load of the compact strand, please seek advice from the Macalloy technical department.

Connection Plates

All forks may be connected to either carbon steel or stainless steel connection plates with an equivalent strength to BS EN 10025 grade S275 or Grade 316 to BS 970.

Where carbon steel plates are used, isolation sleeves and washers may be required to prevent bi-metallic corrosion.

Finish

All components are finished in a Grit 220. (N3) polished finish. Other finishes are available on request. Please contact a member of the sales team.

Macalloy Guy Linking Stainless Bar and Cable Systems

The Macalloy Guy Linking systems are a range of stainless steel architectural bar and cable systems. Typical applications include:

- Membrane structures
- Lightweight steel structures
- Footbridges
- Glass Façades

The **Macalloy Guy Linking bar** has a minimum yield stress of 315 N/mm² for the small diameters, falling to 205N/mm² for the larger diameters. Likewise, the minimum breaking stress ranges from 600 N/mm² to 510 N/mm². Minimum elongation is 15%.

The **Macalloy Guy Linking Cable** uses three of the same cable types as the Macalloy SC460. There are three types of standard tendon available.

- The swaged adjustable fork system
- The swaged fork with swaged tensioner system
- The swaged fork with in-line tensioner

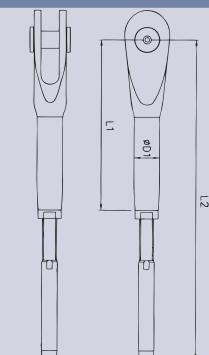
Table 12 – Components Dimensions – Macalloy SC460 Stainless Cable Systems

Cable Dia.	mm	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	22	26
Fork Required		M10	M10	M12	M12	M16	M16	M20	M24	M24	M30	M30	M42	M42
L1		90	90	112	122	149	149	201	235	235	288	288	367	383
L2		168.5	168.5	206	233.9	275.7	287.6	378.6	443	461	539	573	689	749.5
Dia 1		17	17	19	19	25	25	29	35	35	44	44	60	60
Adjustment	+	8	8	11	13.7	15	15	22	24.7	24.7	30.7	30.7	37.7	41
	-	16	16	22	27.3	30	30	44	49.3	49.3	61.3	61.3	75.3	82

Note: Design length of tendon taken at zero adjustment. Adjustment per tension +/-

EXPERIENCE

INNOVATION



QUALITY

Macalloy 460, S460 and 520 Bar System Assembly

The following assembly instructions are guidelines only, when in doubt, please seek advice from our technical department.

Fork Assembly

The fork offers an efficient end termination for the bar, allowing easy assembly to a gusset plate via a pinned joint.

- Establish the thread size of the tendon together with its orientation i.e. left hand or right hand. Note all left hand bars are marked with paint.

- Screw a lock cover onto the threaded end of the bar with the taper pointing along the bar. Screw the lock cover all the way along the thread length.

- Screw the fork onto the threaded end of the bar for a distance approximately 1.5 times that of the thread diameter for tendons between M10 and M56, and approximately 25mm plus 1 times the thread diameter for M64 to M100 tendons. Note that in order to achieve a full strength connection, the bar must be engaged by a minimum of 1 times the thread diameter.

- Screw the lock cover back up the bar and tighten them against the fork end. The thread of the bar should now be covered by the fork and lock cover.

- The fork is now ready for the pin assembly – see final assembly.

- Note in areas where the bars and couplers are cast-in concrete they are not supplied with lock covers.

Coupler Assembly

The coupler is designed to connect the same size diameter bars, all coupling threads are right handed.

- Establish the bars to be coupled. On the first bar, and if required so, screw a lock cover over the threaded end of the bar along the full thread length (as note 2 fork assembly).

- Screw coupler into the bar until it comes up against the centre stop. The amount of bar screwed into the coupler should be half of the overall length of the coupler.

- On the other bar to be coupled, if required, screw a lock cover on the thread first. Then thread the bar into coupler, until the bars are butting up to each other inside the coupler.

- Screw the lock covers on both bars back up the thread and tighten them up against the coupler body.

Turnbuckle Assembly

The turnbuckle connects two bars with a right hand thread at one end and a left hand thread at the other. It also has a chamber allowing the tendon to be adjusted lengthwise.

- Screw a lock cover onto the threaded end of the bar with the taper pointing along the bar. Screw the lock cover all the way along the thread length.

- Screw the appropriate handed thread of bar into the turnbuckle. For sizes between M10 and M24, distance should be 12.5mm plus the 1 times the thread diameter. For sizes between M30 and M100, distance should be 25mm plus 1 times the thread diameter.

- The same procedure should then be carried out for the other bar to be attached to the turnbuckle.

- Tighten the lock covers up against the turnbuckle body.

- If the length of the overall tendon needs adjusting, unscrew the lock covers and turn the turnbuckle (whilst preventing the bars from moving). Ensure that a minimum of 1 times the thread diameter of bar is engaged into the turnbuckle after final length adjustment.

- Re-tighten the lock covers upon completion of adjustment.

Fork Assembly



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy 460, S460 and 520 Bar System Assembly

Final Assembly

1. The full tendon should be assembled on the ground with all the necessary forks, turnbuckles and couplers in place. The pins should not be in place at this stage, but the length of the overall tendon should be set at the required pin-to-pin dimension.

2. The tendon should then be lifted into place. Note that long tendons will tend to sag under their own weight, negatively affecting the ease of connection to the structure. This particularly happens where the tendons are placed horizontally or at a raking angle. To ease connection, a stiff lifting beam should be used to raise the tendon into position. Bends, dents or damage resulting from bar sagging, must be avoided and permanently deformed tendons must be replaced.

3. Once the fork is located over the structural gusset plate, the pin should be placed through the fork. Detach one round end cap of the pin assembly and push the pin through the fork and gusset plate. Replace the round end cap and secure it by tightening the countersunk screw through the end cap and into the pin body.

4. Once the pins are in-place and secured, the tendon is now in a position to be adjusted and tensioned up. If the tendon

includes a turnbuckle, point 6 of the turnbuckle assembly instructions should be followed. If the tendon does not have a turnbuckle, merely a fork at each end, adjustment can still be achieved. To prevent rotation of the fork, screw back the lock covers and rotate the bar. The lock covers should then be tightened back up against the fork, when the correct tendon length is achieved. Ensure that a minimum of 1 times the thread diameter of bar is engaged into the fork, after the final adjustment.

5. After final installation, it is recommended that the lock covers should be injected with sealant. This prevents corrosion and also stops the lock cover from working loose due to any vibrations. Please see our sealant method statement for details.

In Situ Adjustment

1. Tendons with a turnbuckle:

M10 to M24 inclusive: +/- 25mm

M30 to M100 inclusive: +/- 50mm

2. Tendons fitted with right or left hand threaded fork:

M10 to M56: +/- 1.0 thread diameter

M64 to M100 +/- 50mm

Spanner Flats

Macalloy discourages the use of spanner flats, as there is a risk that a brittle fracture may occur in the area that it is used.

Macalloy recommends the use of a strap or chain wrench instead. On delicate surfaces, soft-jawed tools should be used.

Use of Turnbuckles

If the adjustment is not sufficient within the fork, turnbuckles should be used.

Turnbuckles can be supplied with or without conical lock covers. Special turnbuckles are available on request and can have greater adjustment. The rotation of turnbuckles can be very difficult under load. Macalloy suggests that the tendon end thread be coated with Molykote oil or grease, or similar. The TechnoTensioner allows a much easier rotation of the turnbuckle through the use of hydraulics, with little energy being expended. Please note, if a TechnoTensioner is to be supplied, this must be specified at the ordering stage.



Dubai International Airport, T3
Architect – Paul Andreu
Contractor – Al Habtoor, Murray and Roberts
Engineer – Dar Al-Handasah



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Installation and Stressing of Macalloy Tendons

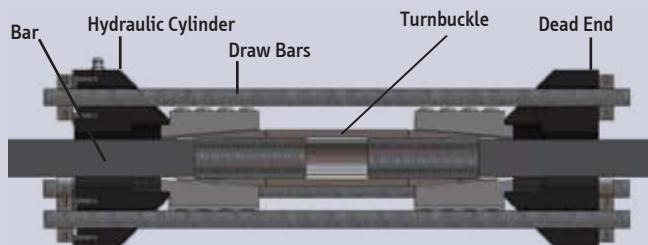
The Macalloy TechnoTensioner is a hydraulic stressing unit that provides for the planned pre-stressing of Macalloy lock covers with an accuracy of +/- 4%.

The TechnoTensioner consists of a hydraulic cylinder, a dead end, hoses, pump and, depending on the size, 2 or 4 high strength rods for the load transfer. All equipment can be hired from Macalloy. A technician can provide training in the use of equipment from Macalloy or Macalloy can offer the stressing of tendons as part of its service.

The installation of the TechnoTensioner assumes that the two-part tendon is correctly fitted with a turnbuckle. To aid this procedure, two lock covers need to be sufficiently screwed back to reveal the thread at each end of the adjoining tendons.

The hydraulic cylinder and dead end are connected together by the high strength threaded rods. Both components are slotted so that prior to assembly, they can be located on the tension bars.

Macalloy TechnoTensioner



It is important that the turnbuckle is positioned mid-way between the hydraulic cylinder and the dead end. The turnbuckle on the threaded part of the tendon should now be tightened by hand.

Lock covers should be positioned, allowing sufficient adjustment between the turnbuckle and the lockcover.

Once the hydraulic unit is connected with the cylinder and hoses, by slowly increasing the hydraulic pressure (operated by hand or pneumatically), the tendon

ends will move towards each other. As the hydraulic pressure increases, the turnbuckle must be turned at the same time. For small tendons a normal wrench can be used, for larger tendons a chain wrench.

To reduce the risk of damage, particularly to painted or stainless steel tendons, a rubber insert with a good grip should be used or a soft jawed tool. If the tendon surfaces are to be finished later (subsequent painting or stainless steel polishing), coating on site is recommended, after successful completion of assembly.

On reaching the specified load, refer to the manometer supplied or use a strain gauge. The load is transferred to the turnbuckle, by slowly reducing the hydraulic pressure. Turning the turnbuckle is no longer possible and the TechnoTensioner can be removed. The two lock covers are tightened, leaving the end thread of the tendon hidden.



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Installation and Stressing of Macalloy Tendons

The use of Strain gauges in controlling tension

Strain gauges are two dimensional strain sensors, which measure the deformation of the tendon by electrical resistance. Strain gauges are installed to check changes (elongation/buckling) on the surface of components. The typical strain gauge is the foil strain gauge.

We recommend the use of a strain gauge with a second thin plastic foil, which is only glued on to its carrier and protects the measuring grid. Strain gauges are electrical resistors, whose resistance changes on elongation. If a strain gauge yields, its resistance increases. If the strain gauge is in compression, its electrical resistance decreases.

Strain gauges are glued with a suitable adhesive to the tendon. Changes transfer through the adhesive, to the mesh support and to the mesh. Longitudinal yield (tension), and buckling (compression) resistance remain in a strict relationship to each other.

Before the strain gauge is glued to the tendon, check the surrounding area is cleaned with a fine abrasive paper. The surface must be free of grease. The strain gauge is glued with a special adhesive (supplied by the manufacturer of the strain gauge) and applied to the tendon. Curing times have to be considered. The instructions of the strain gauge manufacturer must be followed, as otherwise no responsibility will be accepted.

At the pre-tension of the bar tendon system, the strain gauge measurement is started. Once the required tension is reached, the strain gauge can be disconnected. A second measurement is possible, provided that there are no changes in the connection between the strain gauge and the tendon.

Technical experts at Macalloy can advise how to approach strain measurement. Reading equipment can be obtained from the suppliers.



Queen Victoria Building, Sydney, Australia
Architect - Anchor, Mortlock and Wooley

Dubai Metro, UAE
Image taken by
Jovana Obradovic/ITP Images



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Tensile Structures

Macalloy products have been used all over the world in large tendon structures. As the images highlight, Macalloy continues to use its experience to bring about innovation and offer the highest quality in its services.

Soccer City Stadium, Johannesburg, South Africa
 Architect – Boogertman & Partners and Populous
 Contractor – Cimolai – LTA/BAM International bv.
 Engineer – PDNA Consulting Engineers
 and Schlaich Bergermann & Partners



One Island East Footbridge and Tower,
 Hong Kong
 Architect – Wong & Ouyang
 Contractor – Gammon Construction
 Developer – Swire Properties



51 Louisiana, Washington, DC, USA
 Architect - Rogers Stirk Harbour and Partners / HKS
 Contractor - Clark Construction Group
 Façade Contractor - Enclos Corp
 Owner - Dweck Properties



Image courtesy of Enclos Corp

This publication provides the technical details currently used by Macalloy in the manufacture of its components.
 The company reserves the right to amend technical details as and where necessary in line with its policy of continuous development.

Macalloy, Caxton Way, Dinnington, Sheffield S25 3QE, U.K. Tel: +44 (0)1909 519200. Fax: +44 (0)1909 519201

Website: www.macalloy.com Email: sales@macalloy.com



is a Registered Trade Mark of McCalls Special Products Ltd.

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - ITS

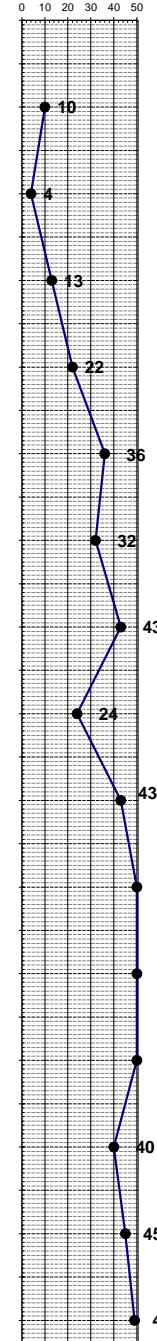
Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya

Telp. 031 5994251 - 55 Psw. 1140,

Telp/Fax: 031 5928601, e-mail: tanah.its@gmail.com

DRILLING LOG

CLIENT							TIPE BOR	ROTARY DRILLING			Remarks.					
NAMA PROYEK	= PT. WASIS KARYA NUGRAHA	TANGGAL MULAI	= 5 MEI 2015				UD = Undisturb Sample									
TITIK BOR	= JEMBATAN BONCONG	TANGGAL SELESAI	= 7 MEI 2015				CS = Core Sample									
MUKA AIR TANAH	= 2,20 M	MASTER BOR	= OSIAS TENIS				SPT = SPT Test									
LOKASI PROYEK	= DS. BONCONG, KEC. BANDAR - TUBAN															
Scale in m	Elevation (LWS) in m	Depth in m	Thickness in m	Legend	Type of Soil	Colour	Relative Density or Consistency	General Remarks	UD / CS	SPT TEST	Standard Penetration Test					
									Depth in m	Sample Code	Depth in m	Sample Code	N Value Blows/30 cm	Blows per each 15 cm	N - Value	
0.00	0.00			START OF BORING												
1.00	-1.00				TIMBUNGAN LIMESTONE	COKLAT TERANG	VERY LOOSE	SPT 4 s/d 10			-2.00	SPT 1	10	2	4	6
2.00	-2.00								-2.50							
3.00	-3.00								-4.00	SPT 2	4	1	1	3		
4.00	-4.00								-4.50							
5.00	-5.00								-5.50	UD 01						
6.00	-6.00				LEMPUNG BERLANAU	ABU-ABU KECOKLATAN	STIFF TO VERY STIFF	SPT 13 s/d 22	-6.00		-6.00	SPT 3	13	3	5	8
7.00	-7.00								-8.00			SPT 4	22	5	8	14
8.00	-8.00								-8.50							
9.00	-9.00								-10.00			SPT 5	36	7	15	21
10.00	-10.00								-10.50							
11.00	-11.00				LANAU LEMPUNG BERPASIR	ABU-ABU TERANG	VERY STIFF TO HARD	SPT 24 s/d 43	-11.50	UD 02	-12.00	SPT 6	32	9	8	24
12.00	-12.00								-12.50			SPT 7	43	7	16	27
13.00	-13.00								-14.00							
14.00	-14.00								-14.50			SPT 8	24	5	9	15
15.00	-15.00								-16.00							
16.00	-16.00								-16.50			SPT 9	43	6	15	28
17.00	-17.00								-18.00							
18.00	-18.00								-18.50			SPT 10	>50	8	17	20/5
19.00	-19.00								-20.00							
20.00	-20.00								-20.50			SPT 11	>50	5	19	28/10
21.00	-21.00				PASIR BERLANAU	ABU-ABU TERANG	DENSE	SPT >50	-23.50	UD 04	-24.00	SPT 12	>50	9	16	22/5
22.00	-22.00								-24.50							
23.00	-23.00								-26.00			SPT 13	40	7	16	24
24.00	-24.00								-26.50							
25.00	-25.00								-28.00			SPT 14	45	6	18	27
26.00	-26.00				LANAU LEMPUNG BERPASIR	ABU-ABU TERANG	HARD	SPT 40 s/d 49	-28.50							
27.00	-27.00								-30.00			SPT 15	49	8	19	30
28.00	-28.00								-30.50							
29.00	-29.00															
30.00	-30.00															





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - ITS

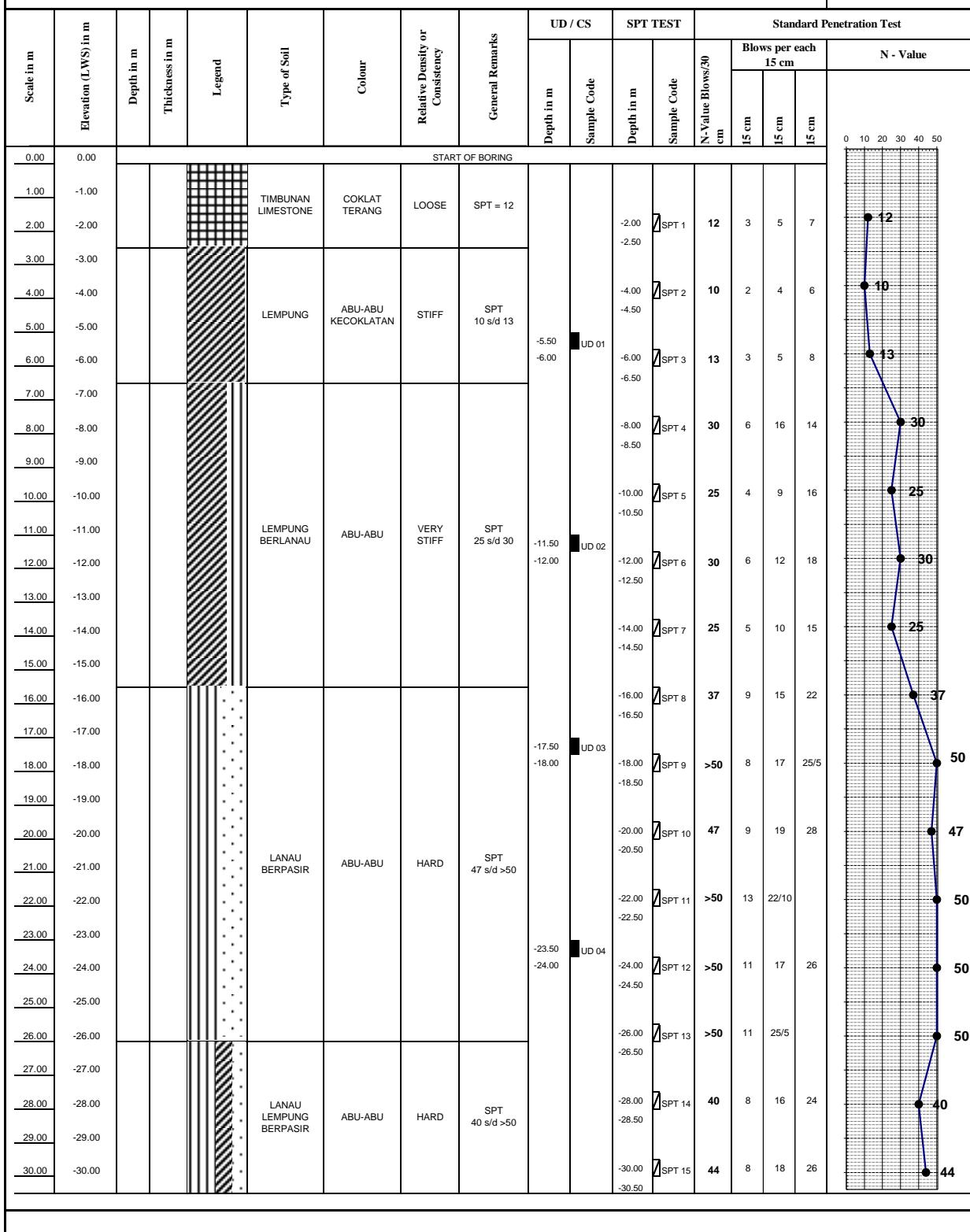
Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya

Telp. 031 5994251 - 55 Psw. 1140,

Telp/Fax: 031 5928601, e-mail: tanah.its@gmail.com

DRILLING LOG

KLIEN	=	PT. WASIS KARYA NUGRAHA	TIPE BOR	=	ROTARY DRILLING	<u>Remarks.</u>
NAMA PROYEK	=	JEMBATAN BONCONG	TANGGAL MULAI	=	8 MEI 2015	UD = Undisturb Sample
TITIK BOR	=	BH-2 (SISI BARAT JEMBATAN)	TANGGAL SELESAI	=	10 MEI 2015	CS = Core Sample
MUKA AIR TANAH	=	3,35 M	MASTER BOR	=	OSIAS TENIS	SPT = SPT Test
LOKASI PROYEK	=	DS. BONCONG, KEC. BANDAR - TUBAN				





RESTON®POT bearings

Introduction

The following tables indicate the dimensions of standard RESTON®POT bearings with vertical load capacities of up to 75 MN. Minimum movement capacities, supplemental movements and minimum dimensions as specified by the standard EN 1337 are incorporated in the design. It should be noted that bearing heights can vary by up to 10 mm as a result of fabrication tolerances.

In determining bearing dimensions, assumptions were made as described below.

Load combinations

Bearings are dimensioned to resist the maximum vertical and horizontal forces indicated in the tables.

Maximum permissible horizontal loads are assumed to act only in combination with a simultaneously acting vertical load of approximately 40 % of maximum (with friction thus resisting some of the horizontal force). More demanding load combinations must be checked individually.

The relevant parameters are:

- N_{Rd} : Maximum vertical load capacity of the bearing (ULS)
- V_{Rd} : Maximum horizontal load capacity of the bearing (ULS), under a vertical load of 40 % of N_{Rd}
- $N_{d,min}$: Minimum required vertical load with a simultaneous horizontal load, V_{Rd} (ULS)

It is assumed that friction can be considered to resist some of the horizontal force (with the exception of railway bridges and seismic loading).

The load combinations are in accordance with EN 1991. If the design loads are not in accordance with this standard, detailed design will be carried out in accordance with the applicable norm (e.g. AASHTO, BS, SIA, etc.).

Concrete strength

The pressure acting on concrete main structures is calculated in accordance with EN 1992 (partial surface pressure). Design requirements are generally fulfilled if concrete of class C30/37 or higher is used and the load distribution area in the concrete structure is approximately 1.6 times the base area of the pot.

Movements

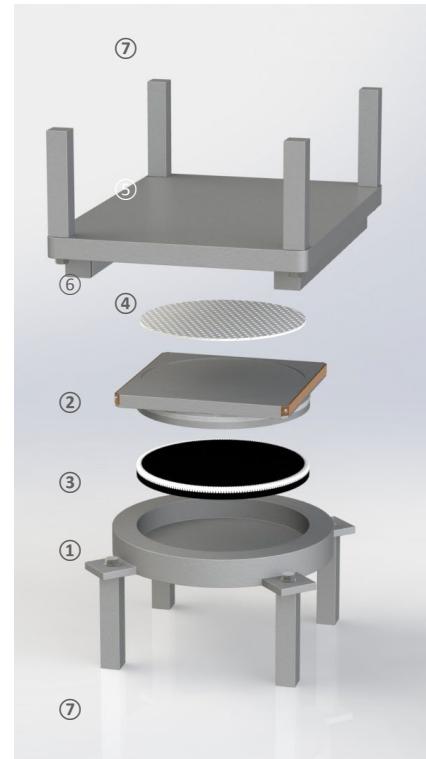
- TE bearings: Total longitudinal movement of 100 mm (+/- 50 mm)
- TA bearings: Total longitudinal movement of 100 mm (+/- 50 mm), and transverse movement of 40 mm (+/- 20 mm)

Bearings can also be designed for larger longitudinal and transverse movements. This requires the dimensions of the sliding plate, the height and the upper anchorage to be adapted. For longitudinally fixed TE bearings, the movement is normally reduced.

Support

Our product specialists are always ready to advise you in selecting the optimal solution for your project, and to provide you with quotations for supply.

You can also find further information at mageba-group.com and in the relevant product brochure.



- 1 Steel pot
- 2 Piston
- 3 Elastomeric pad
- 4 PTFE sliding material (TE and TA bearings only)
- 5 Sliding plate (TE and TA bearings only)
- 6 Guide bars (TE bearings only)
- 7 Dowels or threaded sleeves (alternatively, anchor plates with shear studs can be supplied)



Typical dimensions – Type TF

RESTON®POT bearings of type TF resist horizontal forces in every direction and facilitate rotations about every axis. The bearing is connected to the superstructure and substructure by means of dowels or anchor plates with shear studs.

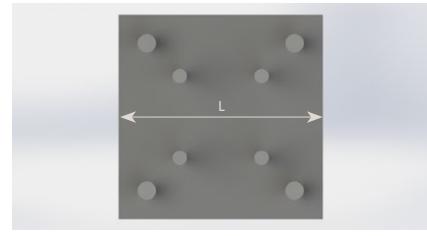
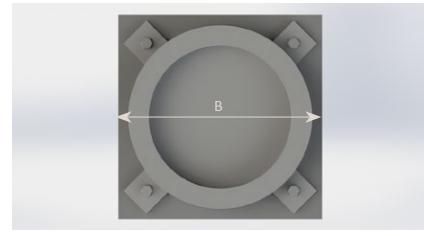
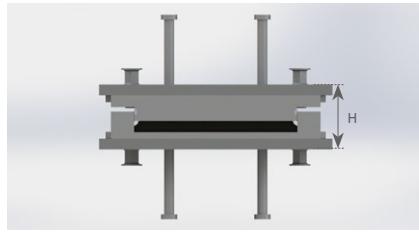
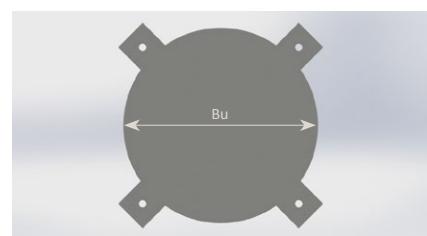
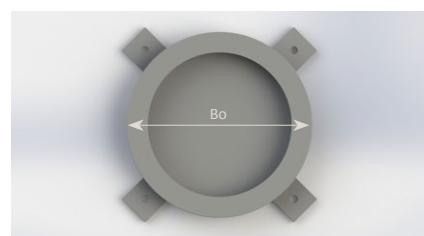
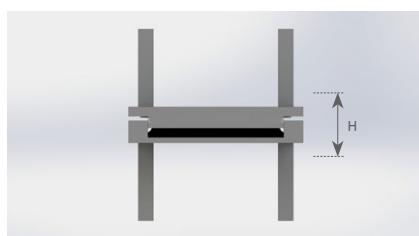
Bearing dimensions and weights for deviating requirements can be determined on request.

Dimensions for concrete class C30/37 (based on EN 1337)

Type	N _{Rd}	V _{Rd}	D	Without anchor plates			With anchor plates				
				N _{d,min}	H	Weight	N _{d,min}	Anchor plates*		H**	Weight
								Bo, Lu	Bu, Lo		
TF 1	852	280	200	323	80	30	315	220	310	112	45
TF 1.5	1,193	370	240	503	79	40	494	260	350	112	60
TF 2	1,706	460	280	683	79	50	672	300	390	112	75
TF 2.5	2,229	582	325	830	82	75	775	345	450	116	103
TF 3	2,935	705	365	976	87	90	878	390	510	119	130
TF 3.5	3,574	865	410	1,296	90	105	1,094	435	555	124	165
TF 4	4,496	1,034	455	1,634	95	130	1,310	480	600	128	200
TF 4.5	5,261	1,139	495	1,846	98	155	1,511	520	650	132	245
TF 5	6,388	1,247	540	2,060	100	180	1,711	560	700	136	290
TF 5.5	7,307	1,398	585	2,370	103	210	1,972	605	745	143	350
TF 6	8,647	1,556	625	2,678	111	250	2,232	650	790	149	410
TF 6.5	9,651	1,748	665	3,064	112	280	2,622	690	850	155	483
TF 7	11,207	1,905	710	3,376	122	345	3,012	730	910	160	555
TF 7.5	12,362	2,075	750	3,620	122	400	3,394	775	935	162	618
TF 8	14,143	2,263	795	3,878	126	450	3,775	820	960	164	680
TF 8.5	15,409	2,394	830	4,142	130	500	3,974	860	1,020	169	773
TF 9	17,422	2,526	875	4,404	136	570	4,172	900	1,080	174	865
TF 9.5	18,739	2,731	920	4,814	139	640	4,584	950	1,130	184	1,023
TF 10	20,986	2,938	975	5,228	151	780	4,996	1,000	1,180	193	1,180
TF 10.5	22,908	3,152	1,020	5,658	150	835	5,425	1,040	1,230	193	1,278
TF 11	24,942	3,367	1,060	6,086	151	890	5,854	1,080	1,280	193	1,375
TF 12	29,239	3,800	1,145	6,952	159	1,080	6,720	1,170	1,370	201	1,650
TF 13	33,807	4,395	1,225	8,142	174	1,345	9,710	1,250	1,510	222	2,120
TF 14	38,782	4,654	1,300	8,660	188	1,625	8,612	1,320	1,580	236	2,475
TF 15	44,098	4,850	1,380	9,052	188	1,800	8,820	1,400	1,660	237	2,770
TF 16	49,671	4,967	1,455	9,286	202	2,140	9,054	1,480	1,740	250	3,205
TF 17	55,665	5,010	1,530	9,372	216	2,525	9,140	1,550	1,810	262	3,715
TF 18	62,000	5,270	1,600	9,892	222	2,800	9,660	1,620	1,880	272	4,090
TF 19	68,577	5,486	1,680	10,324	223	3,055	10,092	1,700	1,960	273	4,460
TF 20	75,590	5,670	1,760	10,692	242	3,660	10,460	1,780	2,040	292	5,190

*) Bu, Bo: Widths of anchor plates, below and above; Lu, Lo: Lengths of anchor plates, below and above

**) Including anchor plates



Section through TF bearing with dowels (without anchor plates)

Plan view of pot of a TF bearing

Plan view of piston of a TF bearing



Typical dimensions – Type TE

RESTON®POT bearings of type TE can move along one horizontal axis and resist horizontal forces transverse to that axis, while accommodating rotations about every axis. The bearing is connected to the superstructure and substructure by means of dowels or anchor plates with shear studs.

Small bearings are generally equipped with external guide bars (type "a"), for space reasons. Larger bearings are normally equipped with an internal guide bar along the bearing's axis (type "i"). Depending on the size of the horizontal force in relation to the vertical force, bearings of intermediate size can be equipped with external or, as provided here, internal guide bars.

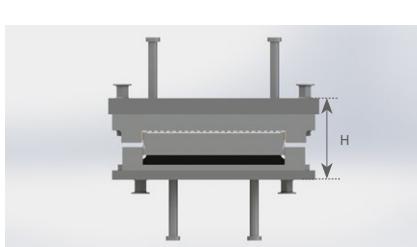
Bearing dimensions and weights for deviating requirements can be determined on request.

Dimensions for concrete class C30/37 (based on EN 1337)

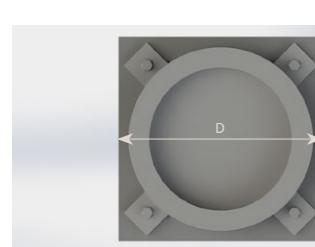
Type	N_{Rd}	V_{Rd}	D	Without anchor plates					With anchor plates						
				$N_{d,min}$	H	Bx	By	Weight	$N_{d,min}$	Anchor plates*				H**	Weight
										Bu	Lu	Bo	Lo		
[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
TE 1a	620	192	200	356	91	390	270	50	356	330	220	290	410	125	70
TE 1.5a	1,113	240	240	477	90	430	300	60	422	375	255	320	440	130	93
TE 2a	1,486	329	270	488	102	450	330	80	488	420	290	350	470	135	115
TE 2.5a	2,231	418	315	714	101	490	360	95	685	465	335	395	505	142	155
TE 3a	2,772	542	360	887	113	520	420	135	881	510	380	440	540	148	195
TE 3.5a	3,577	662	400	1,145	125	560	450	175	958	555	425	485	575	160	258
TE 4a	4,395	897	450	1,425	140	590	510	245	1,034	600	470	530	610	172	320
TE 4.5a	5,267	982	490	1,620	139	640	540	280	1,230	650	510	540	640	177	358
TE 5i	4,780	1,071	525	1,785	144	650	530	290	1,425	700	550	550	670	181	395
TE 5.5i	6,288	1,150	570	1,968	149	660	575	335	1,567	740	590	595	705	186	463
TE 6i	7,011	1,248	610	2,158	154	710	615	390	1,708	780	630	640	740	191	530
TE 6.5i	8,838	1,336	650	2,356	155	740	655	440	1,892	820	670	675	775	194	603
TE 7i	9,627	1,422	685	2,527	159	790	690	500	2,076	860	710	710	810	197	675
TE 7.5i	11,146	1,508	730	2,621	160	820	735	580	2,264	900	750	755	850	199	758
TE 8i	12,678	1,599	770	2,687	163	870	775	645	2,451	940	790	800	890	201	840
TE 8.5i	14,402	1,671	810	2,847	164	900	815	695	2,638	995	830	840	930	203	935
TE 9i	16,128	1,775	850	3,062	167	950	855	780	2,825	1,050	870	880	970	205	1,030
TE 9.5i	18,011	1,846	895	3,258	169	980	900	850	3,012	1,090	910	920	1,010	210	1,145
TE 10i	19,917	1,950	930	3,435	174	1,030	935	950	3,199	1,130	950	960	1,050	214	1,260
TE 10.5i	22,034	2,028	990	3,623	183	1,060	995	1,110	3,387	1,180	1,000	1,005	1,100	221	1,440
TE 11i	24,169	2,126	1,025	3,812	188	1,130	1,030	1,230	3,575	1,230	1,050	1,050	1,150	228	1,620
TE 12i	28,820	2,303	1,105	4,192	202	1,210	1,110	1,520	3,954	1,310	1,130	1,130	1,230	242	1,970
TE 13i	33,771	2,477	1,175	4,566	216	1,280	1,180	1,830	4,335	1,380	1,200	1,200	1,300	262	2,410
TE 14i	38,782	2,654	1,255	4,947	225	1,360	1,260	2,140	4,708	1,460	1,280	1,280	1,380	271	2,810
TE 15i	44,098	2,831	1,340	5,329	238	1,440	1,345	2,570	5,090	1,540	1,360	1,370	1,460	285	3,340
TE 16i	49,671	3,757	1,450	7,266	250	1,550	1,455	3,180	7,028	1,670	1,470	1,480	1,570	302	4,180
TE 17i	55,665	3,978	1,525	7,741	266	1,630	1,530	3,730	7,504	1,750	1,550	1,550	1,650	318	4,780
TE 18i	62,000	4,199	1,600	8,218	280	1,700	1,605	4,300	7,979	1,890	1,620	1,630	1,720	335	5,620
TE 19i	68,577	4,416	1,680	8,687	294	1,780	1,685	4,980	8,676	1,970	1,700	1,710	1,800	349	6,420
TE 20i	75,590	4,637	1,755	9,164	302	1,860	1,760	5,540	8,925	2,050	1,780	1,780	1,880	357	7,120

*) Bu, Bo: Widths of anchor plates, below and above; Lu, Lo: Lengths of anchor plates, below and above

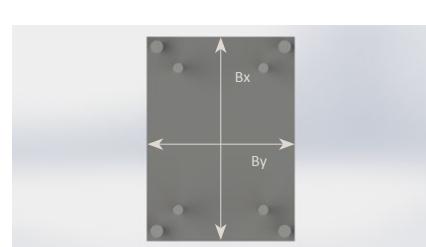
**) Including anchor plates



Section through TE bearing with dowels (without anchor plates)



Plan view of pot of a TE bearing



Plan view of sliding plate of a TE bearing



Typical dimensions – Type TA

RESTON®POT bearings of type TA facilitate movements in every direction and rotations about every axis. This type of bearing cannot transmit any horizontal forces except friction. The bearing is connected to the superstructure and substructure by means of threaded sleeves or anchor plates with shear studs.

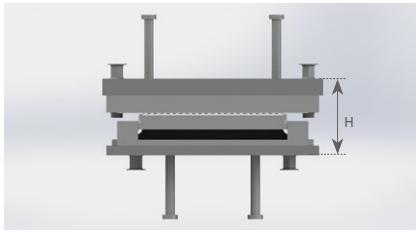
Bearing dimensions and weights for deviating requirements can be determined on request.

Dimensions for concrete class C30/37 (based on EN 1337)

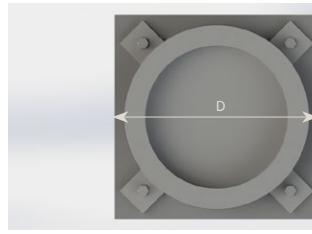
Type	N _{Rd}	D	Without anchor plates				H*	With anchor plates				Weight	
			H	Bx	By	Weight		Anchor plates**					
								[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	
TA 1	714	200	86	300	260	30	120	270	270	270	320	55	
TA 1.5	1,193	240	85	380	300	45	120	295	295	300	355	68	
TA 2	1,595	270	86	370	320	50	120	320	320	330	390	80	
TA 2.5	2,231	310	86	440	350	65	124	350	350	370	430	105	
TA 3	2,913	350	95	450	390	85	128	380	380	410	470	130	
TA 3.5	3,577	390	95	510	430	105	133	415	415	445	505	160	
TA 4	4,496	420	105	520	460	130	138	450	450	480	540	190	
TA 4.5	5,267	460	105	580	500	155	147	485	485	520	580	240	
TA 5	6,388	500	119	600	540	200	155	520	520	560	620	290	
TA 5.5	7,315	540	119	640	580	225	158	560	560	595	655	335	
TA 6	8,647	570	123	670	610	260	161	600	600	630	690	380	
TA 6.5	9,661	625	129	730	650	325	168	635	635	670	730	448	
TA 7	11,207	650	136	750	690	365	175	670	670	710	770	515	
TA 7.5	12,375	690	142	790	730	425	180	705	705	745	805	583	
TA 8	14,143	720	146	820	760	470	184	740	740	780	840	650	
TA 8.5	15,425	760	150	860	800	530	192	780	780	820	880	753	
TA 9	17,422	800	161	900	840	630	199	820	820	860	920	855	
TA 9.5	18,758	840	164	940	880	700	207	860	860	900	960	980	
TA 10	20,986	880	174	980	920	820	215	900	900	940	1,000	1,105	
TA 10.5	22,933	930	175	1,030	970	905	219	940	940	980	1,040	1,230	
TA 11	24,942	960	183	1,060	1,000	1,010	223	980	980	1,020	1,080	1,355	
TA 12	29,239	1,040	192	1,140	1,080	1,235	233	1,060	1,060	1,100	1,160	1,645	
TA 13	33,807	1,130	211	1,230	1,170	1,595	257	1,150	1,150	1,190	1,250	2,130	
TA 14	38,782	1,210	226	1,310	1,250	1,950	272	1,230	1,230	1,270	1,330	2,560	
TA 15	44,098	1,300	235	1,400	1,340	2,325	281	1,320	1,320	1,360	1,420	3,025	
TA 16	49,671	1,380	249	1,480	1,420	2,775	300	1,400	1,400	1,440	1,500	3,650	
TA 17	55,665	1,460	262	1,560	1,500	3,270	314	1,480	1,480	1,520	1,580	4,260	
TA 18	62,000	1,540	271	1,640	1,580	3,730	326	1,560	1,560	1,600	1,660	4,885	
TA 19	68,577	1,620	281	1,720	1,660	4,245	336	1,640	1,640	1,680	1,740	5,520	
TA 20	75,590	1,710	300	1,810	1,750	5,105	355	1,730	1,730	1,770	1,830	6,520	

*) Including anchor plates

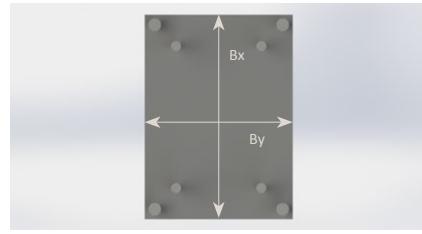
**) Bo, Bu: Widths of anchor plates, above and below; Lo, Lu: Lengths of anchor plates, above and below



Section through TA bearing with threaded sleeve anchors (without anchor plates)



Plan view of pot of a TA bearing

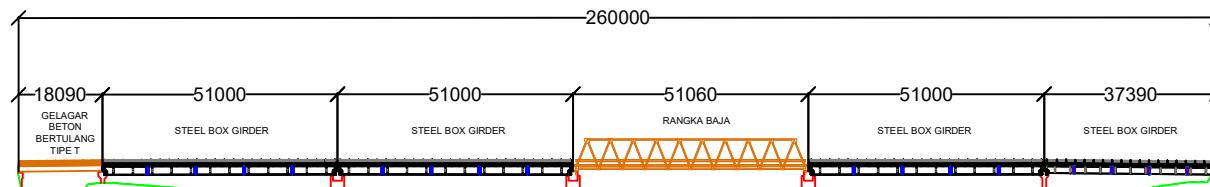


Plan view of sliding plate of a TA bearing

DAFTAR GAMBAR

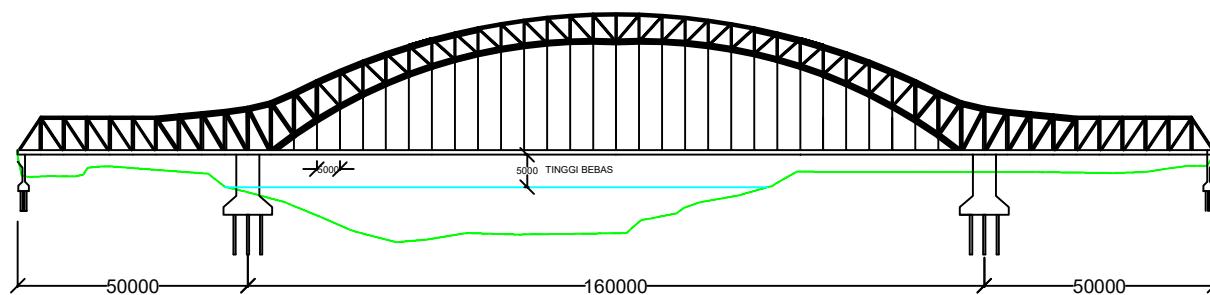
NO	JUDUL GAMBAR	SKALA
1	TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN EKSISTING DAN TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN MODIFIKASI	1 : 1500
2	TAMPAK MELINTANG JEMBATAN EKSISTING DAN TAMPAK MELINTANG JEMBATAN MODIFIKASI	1 : 150, 1 : 200
3	IKATAN ANGIN BUSUR ATAS DAN IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN	1 : 1250
4	IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH DAN SAMBUNGAN IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN	1 : 1250, 1 : 20
5	SAMBUNGAN GELAGAR MEMANJANG KE MELINTANG DAN SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG KE MEMANJANG	1 : 10, 1 : 20
6	SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG KE TIE BEAM	1 : 20
7	SAMBUNGAN IKATAN ANGIN BUSUR ATAS	1 : 20
8	SAMBUNGAN ANTAR TIE BEAM	1 : 20
9	SAMBUNGAN KABEL PENGGANTUNG	1 : 20
10	SAMBUNGAN IKATAN ANGIN BUSUR ATAS DAN IKATAN SILANG	1 : 20
11	SAMBUNGAN RANGKA UTAMA	1 : 20
12	SAMBUNGAN RANGKA UTAMA	1 : 25
13	SAMBUNGAN RANGKA UTAMA	1 : 30
14	DENAH PERLETAKAN DAN POT BEARING	1 : -, 1 : 25

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA			mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)	



TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN EKSISTING

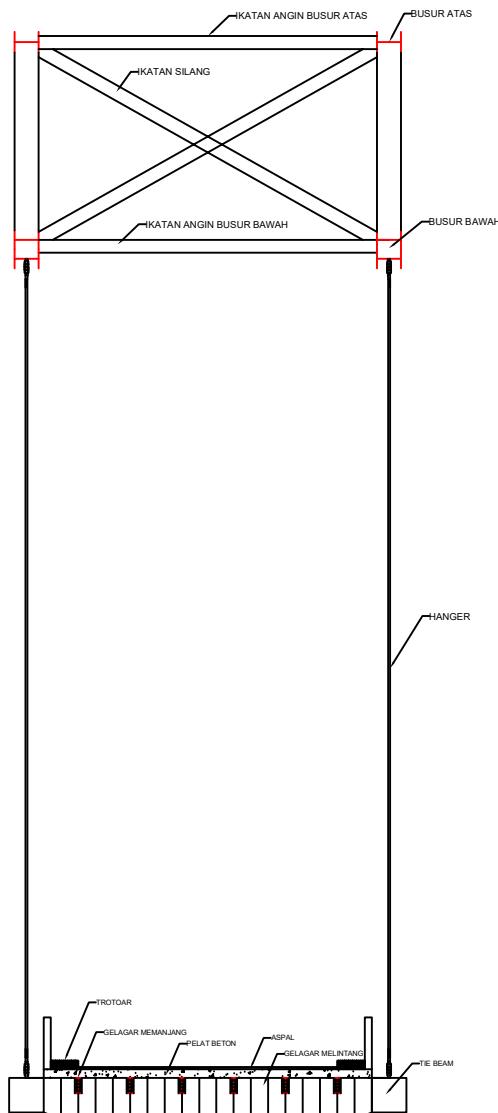
SKALA 1 : 1500



TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN MODIFIKASI

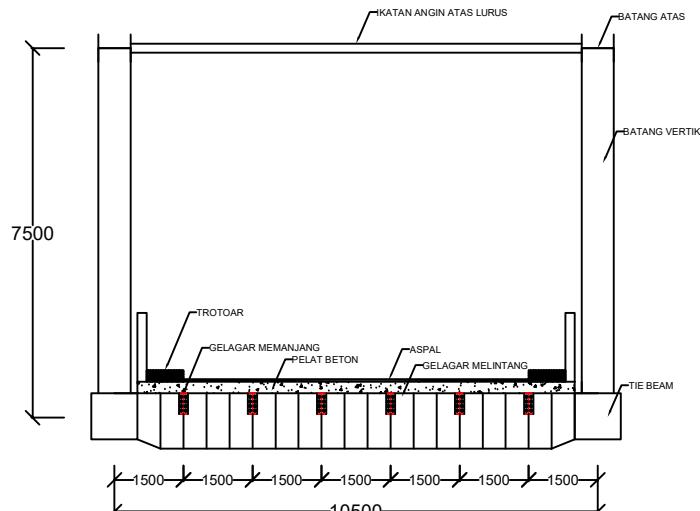
SKALA 1 : 1500

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	14	1	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)	



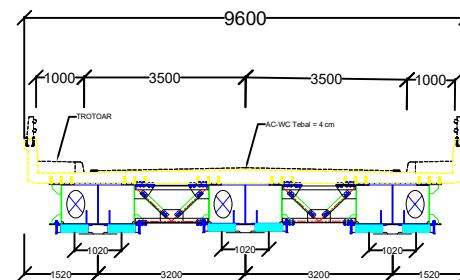
POTONGAN MELINTANG JEMBATAN MODIFIKASI

SKALA 1 : 200



TAMPAK MELINTANG JEMBATAN MODIFIKASI PENDEKAT

SKALA 1 : 150



TAMPAK MELINTANG JEMBATAN EKSISTING

SKALA 1 : 150



FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG
MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA

JUMLAH
LEMBAR

NOMOR
LEMBAR

SATUAN

DOSEN PEMBIMBING

NAMA DAN NRP MAHASISWA

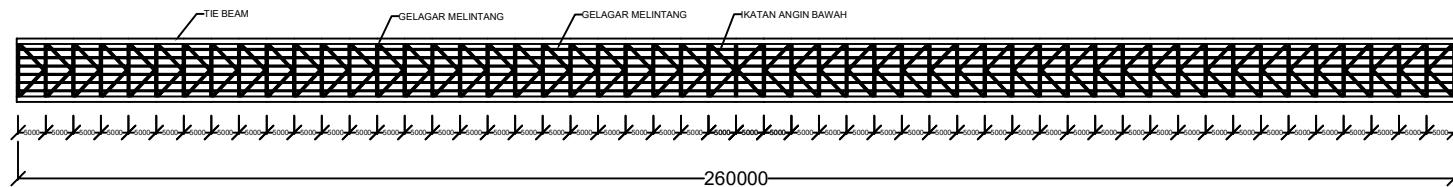
14

2

mm

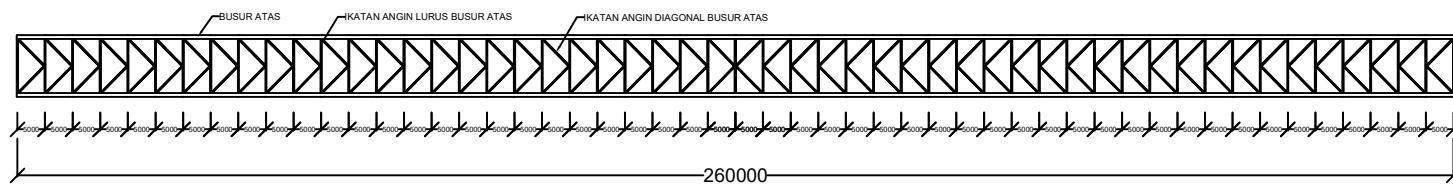
1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.
2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.

Ilham Margianto
(031164000034)



IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN

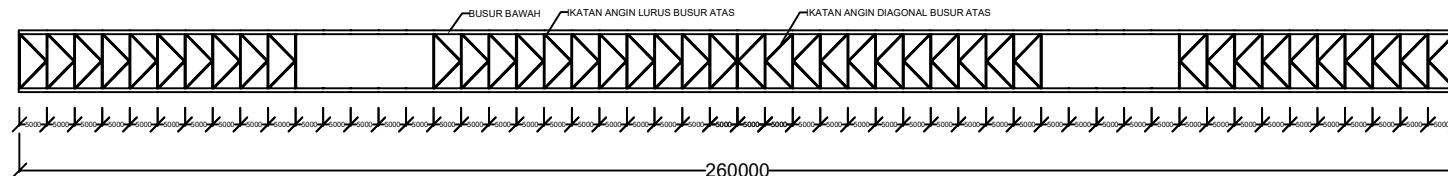
SKALA 1 : 1250



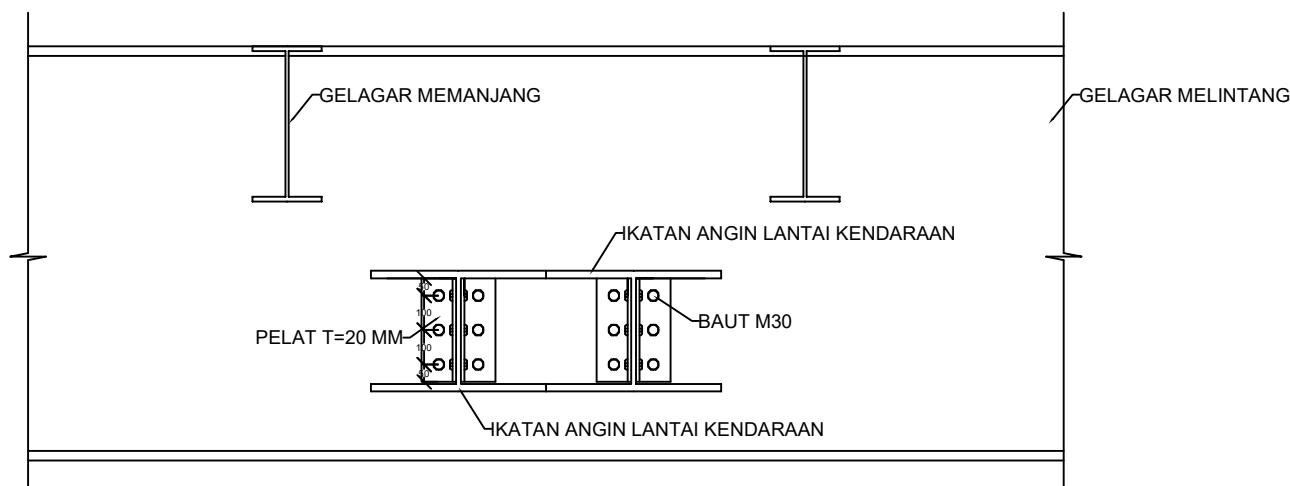
IKATAN ANGIN BUSUR ATAS

SKALA 1 : 1250

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH	NOMOR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA
			LEMBAR	LEMBAR			
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	14	4	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (0311164000034)

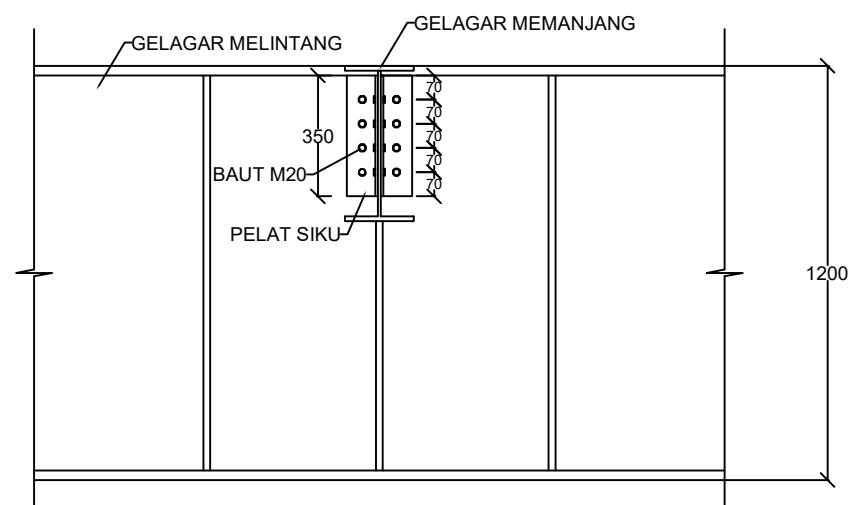
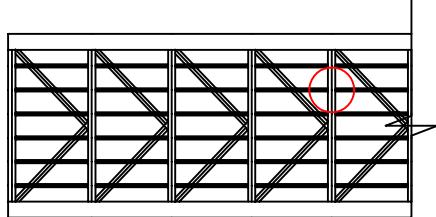


IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH
SKALA 1 : 1250

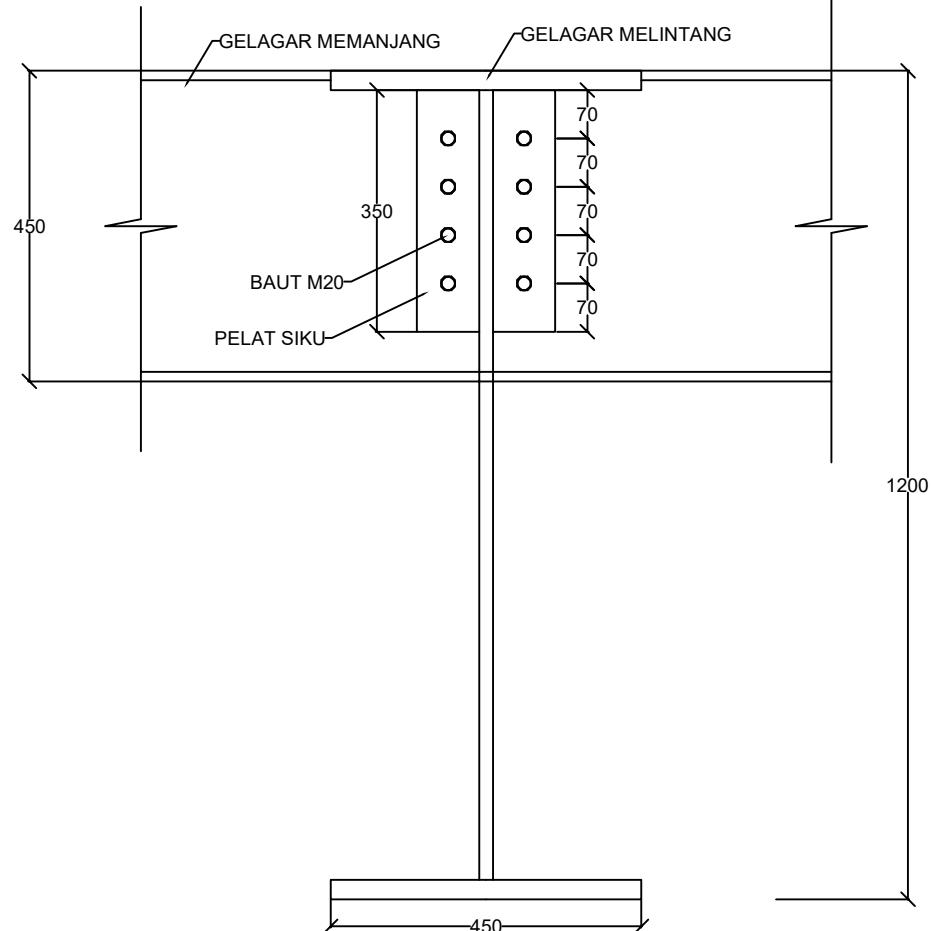


SAMBUNGAN IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN
SKALA 1 : 20

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	14	4	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)	



SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG KE GELAGAR MEMANJANG
SKALA 1 : 20



SAMBUNGAN GELAGAR MEMANJANG KE GELAGAR MELINTANG
SKALA 1 : 10



FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG
MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA

JUMLAH
LEMBAR

NOMOR
LEMBAR

SATUAN

DOSEN PEMBIMBING

NAMA DAN NRP MAHASISWA

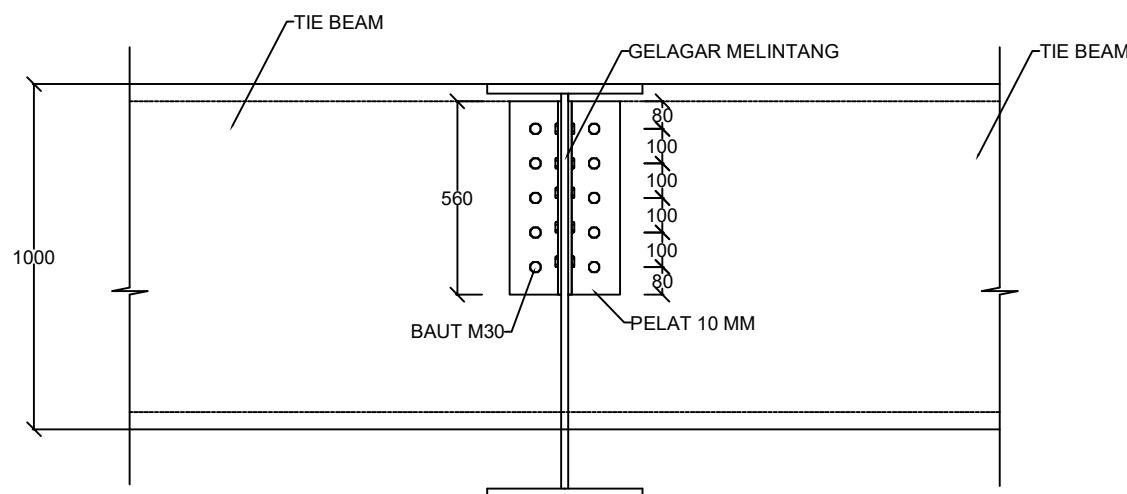
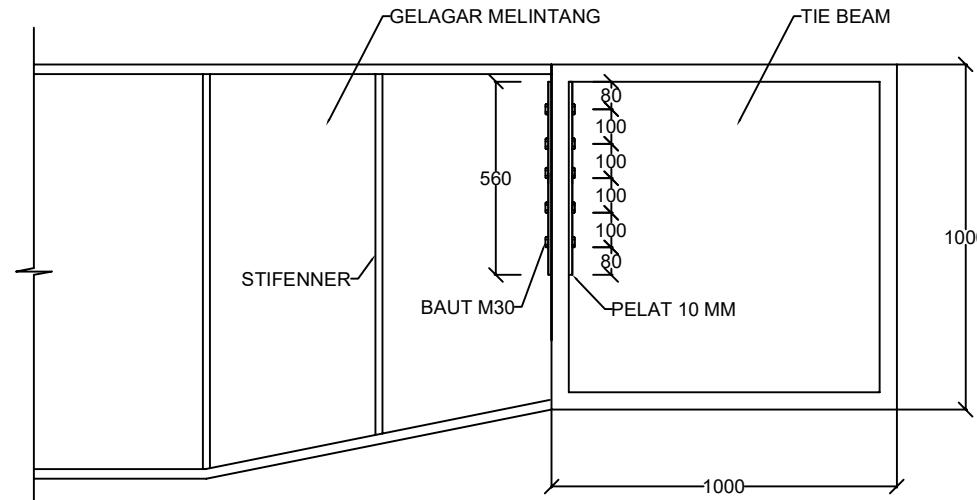
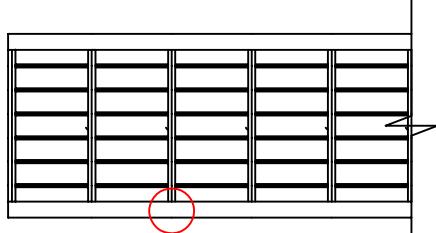
14

5

mm

1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.
2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.

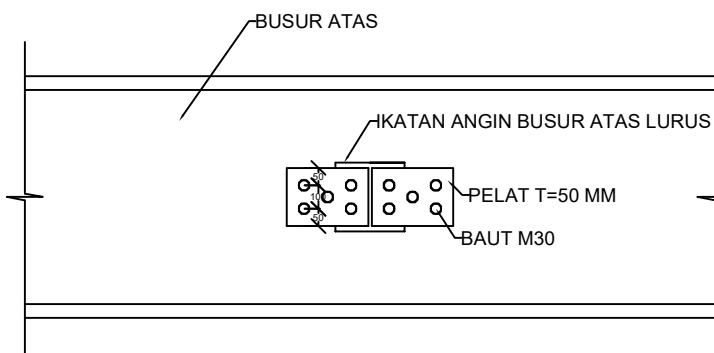
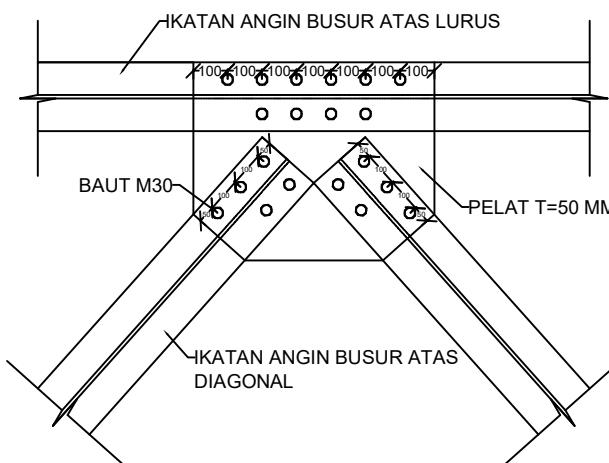
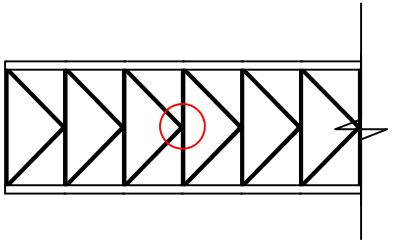
Ilham Margianto
(031164000034)



SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG KE TIE BEAM

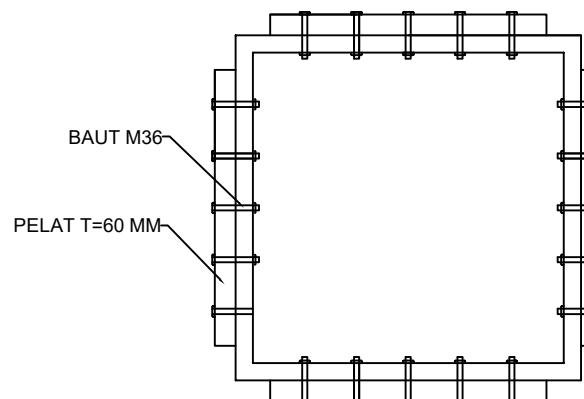
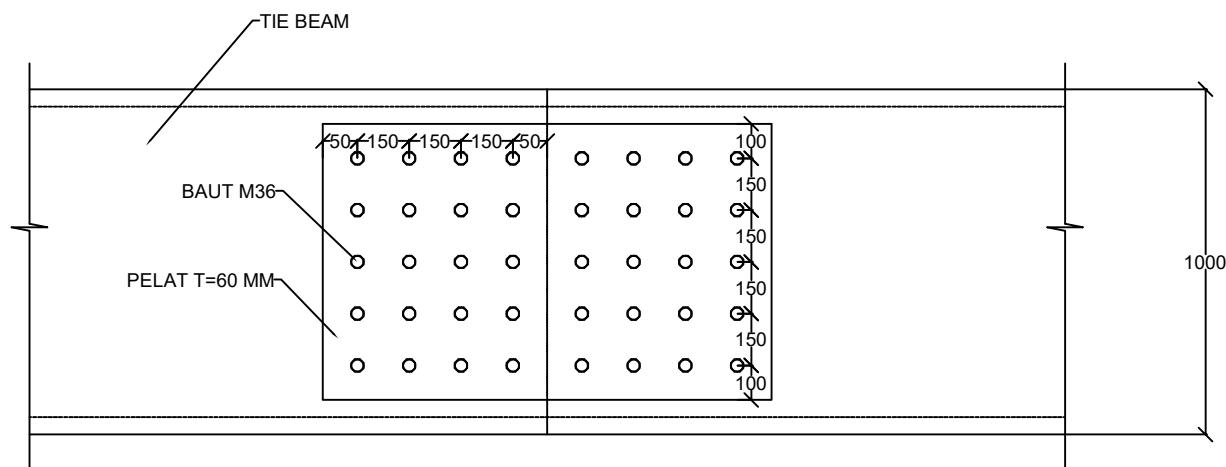
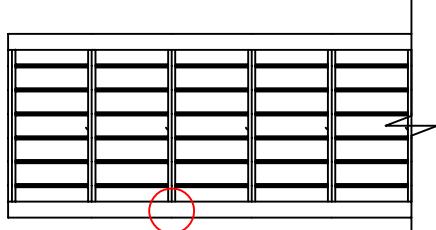
SKALA 1 : 20

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
			14	6	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)	



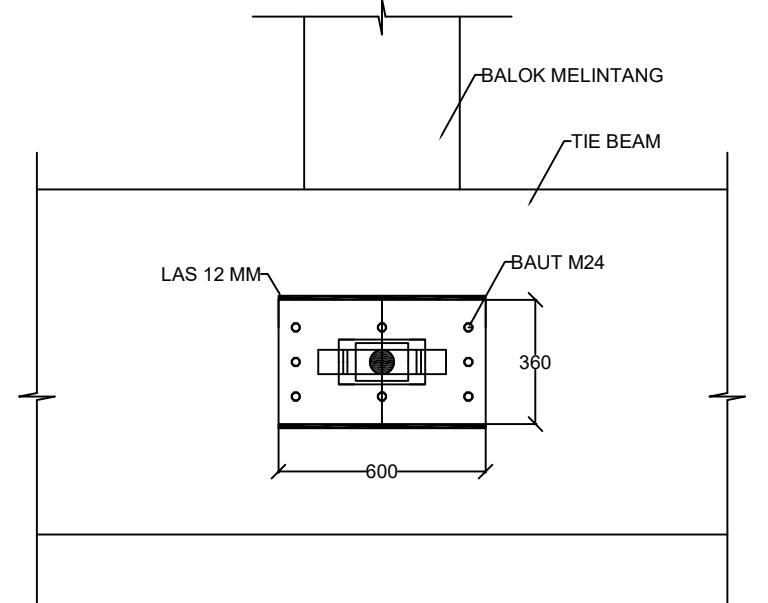
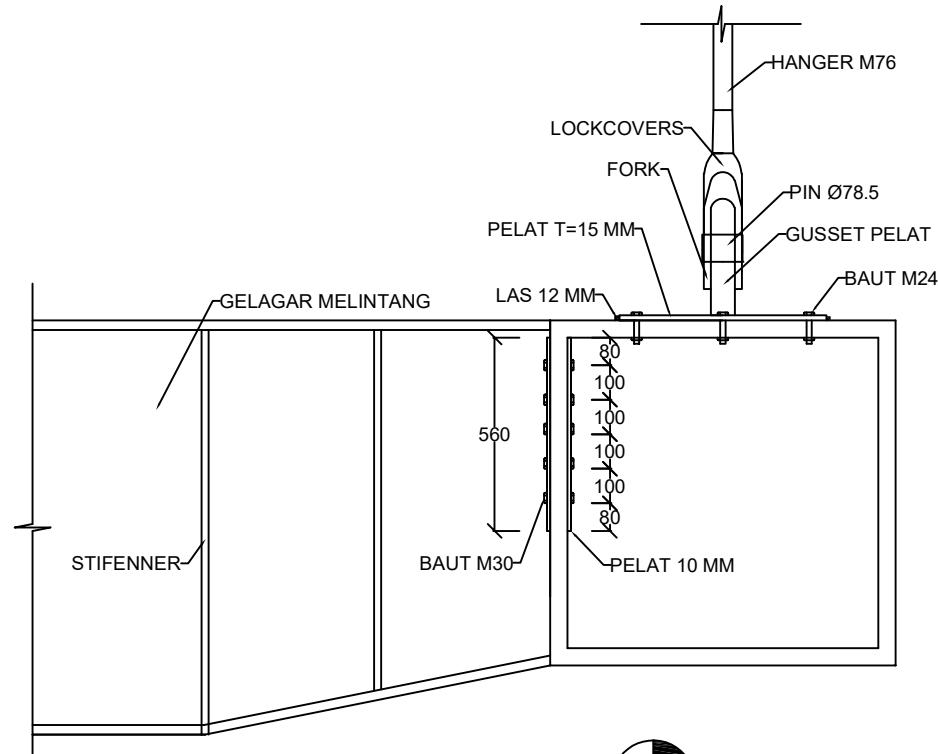
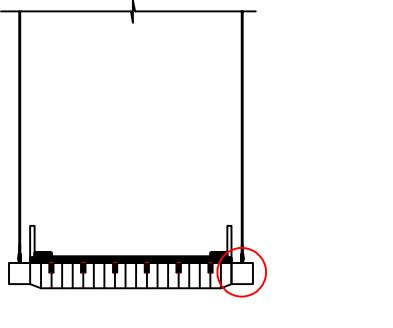
SAMBUNGAN IKATAN ANGIN BUSUR ATAS
SKALA 1 : 20

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	14	7	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)



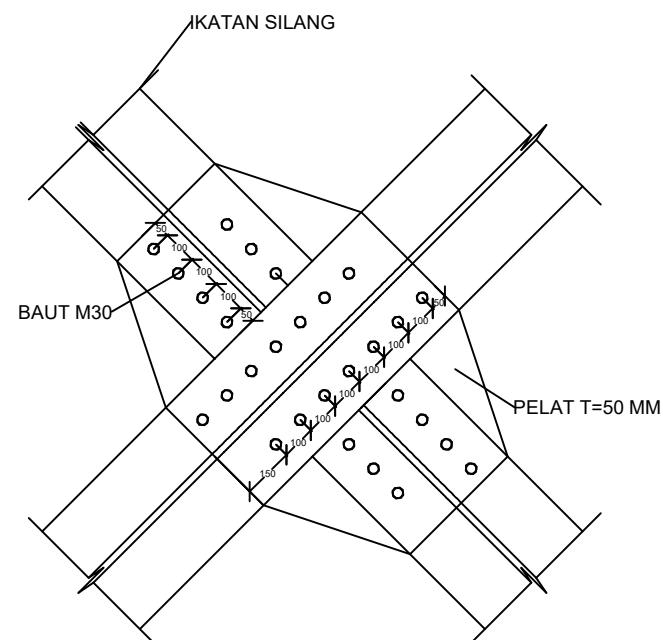
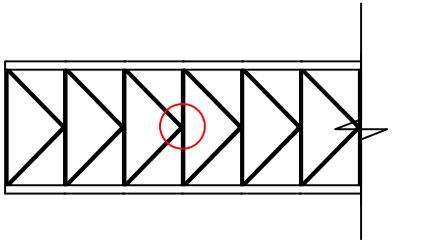
SAMBUNGAN ANTAR TIE BEAM
SKALA 1 : 20

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	14	8	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (0311164000034)	

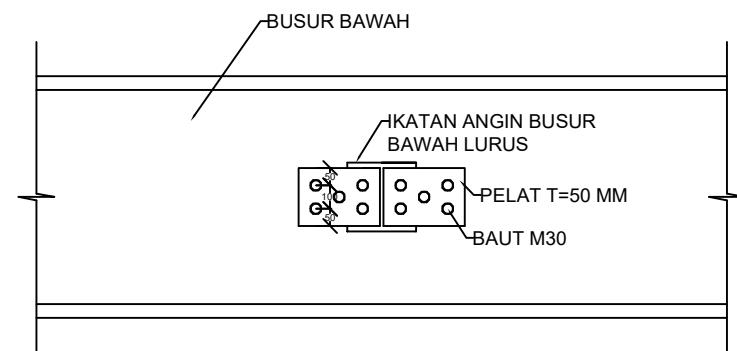
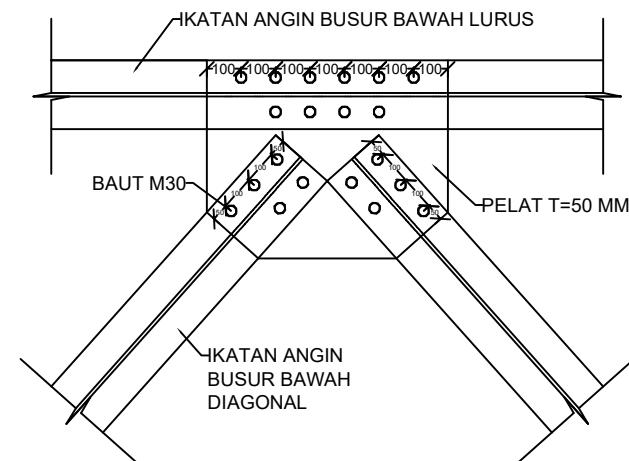


SAMBUNGAN KABEL PENGGANTUNG
SKALA 1 : 20

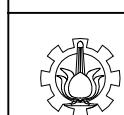
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
			14	9	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)	



SAMBUNGAN IKATAN SILANG
SKALA 1 : 20



SAMBUNGAN IKATAN ANGIN BUSUR ATAS
SKALA 1 : 20



FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG
MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA

JUMLAH
LEMBAR

NOMOR
LEMBAR

SATUAN

DOSEN PEMBIMBING

NAMA DAN NRP MAHASISWA

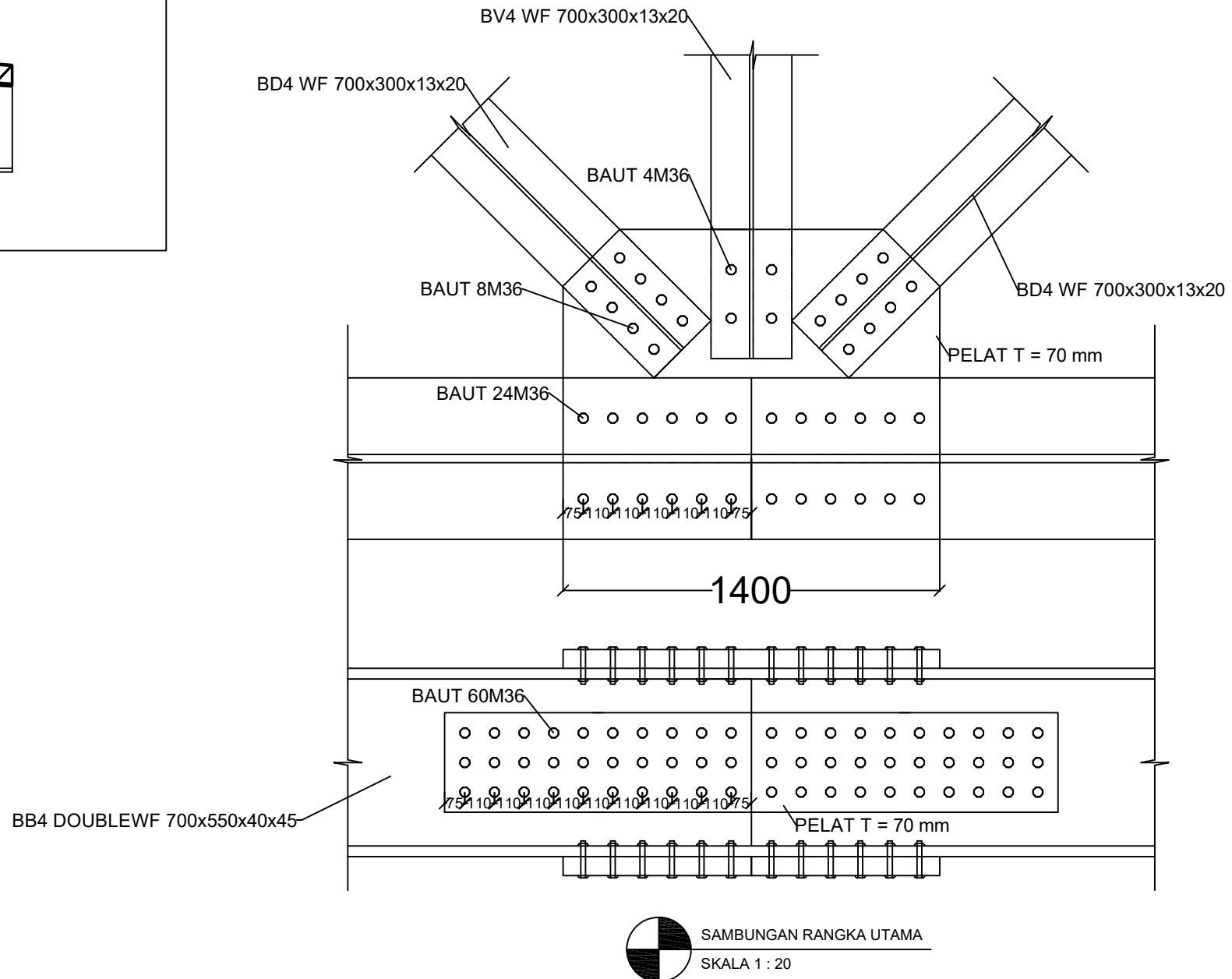
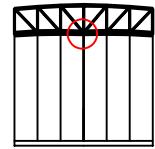
14

10

mm

1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.
2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.

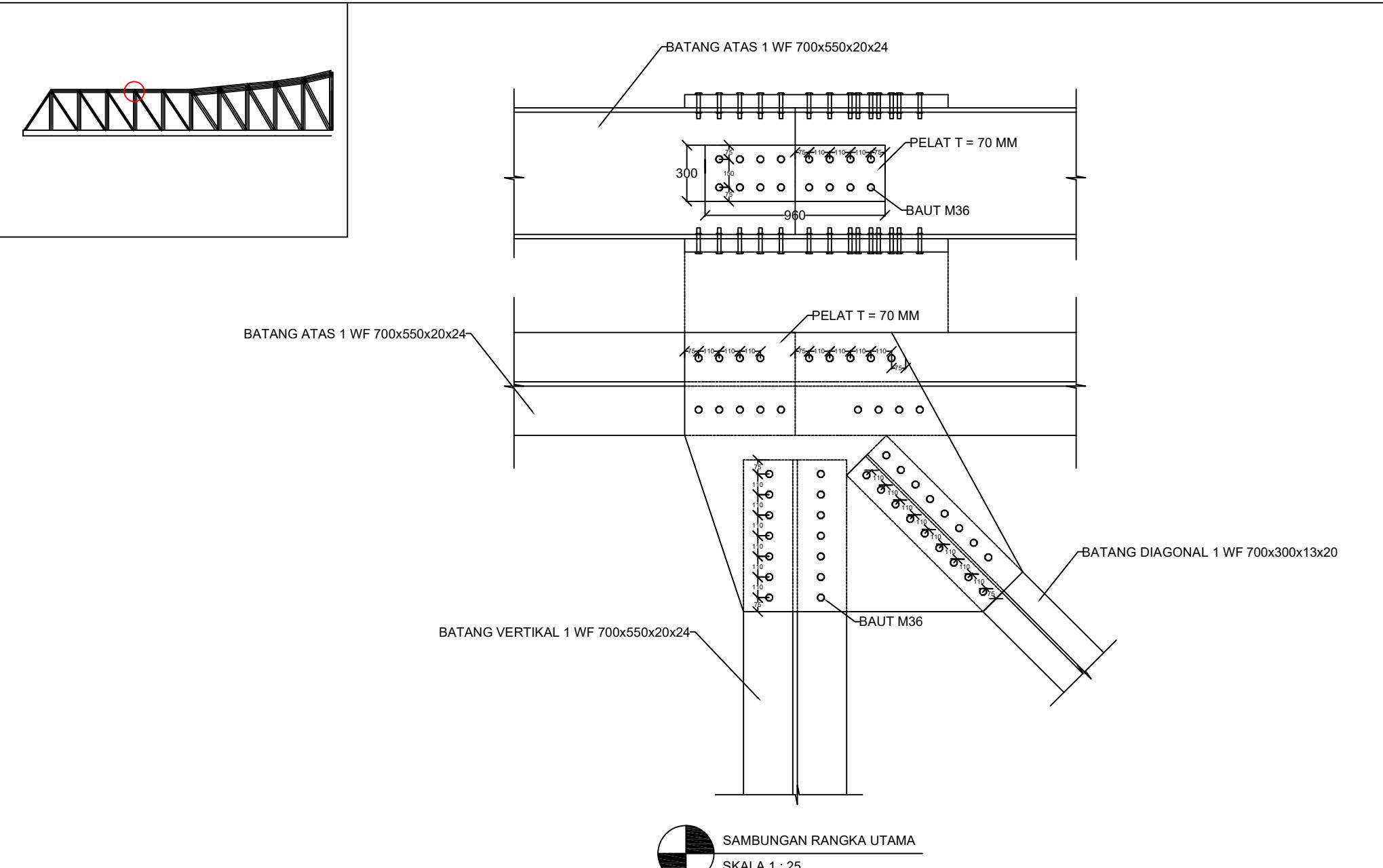
Ilham Margianto
(031164000034)



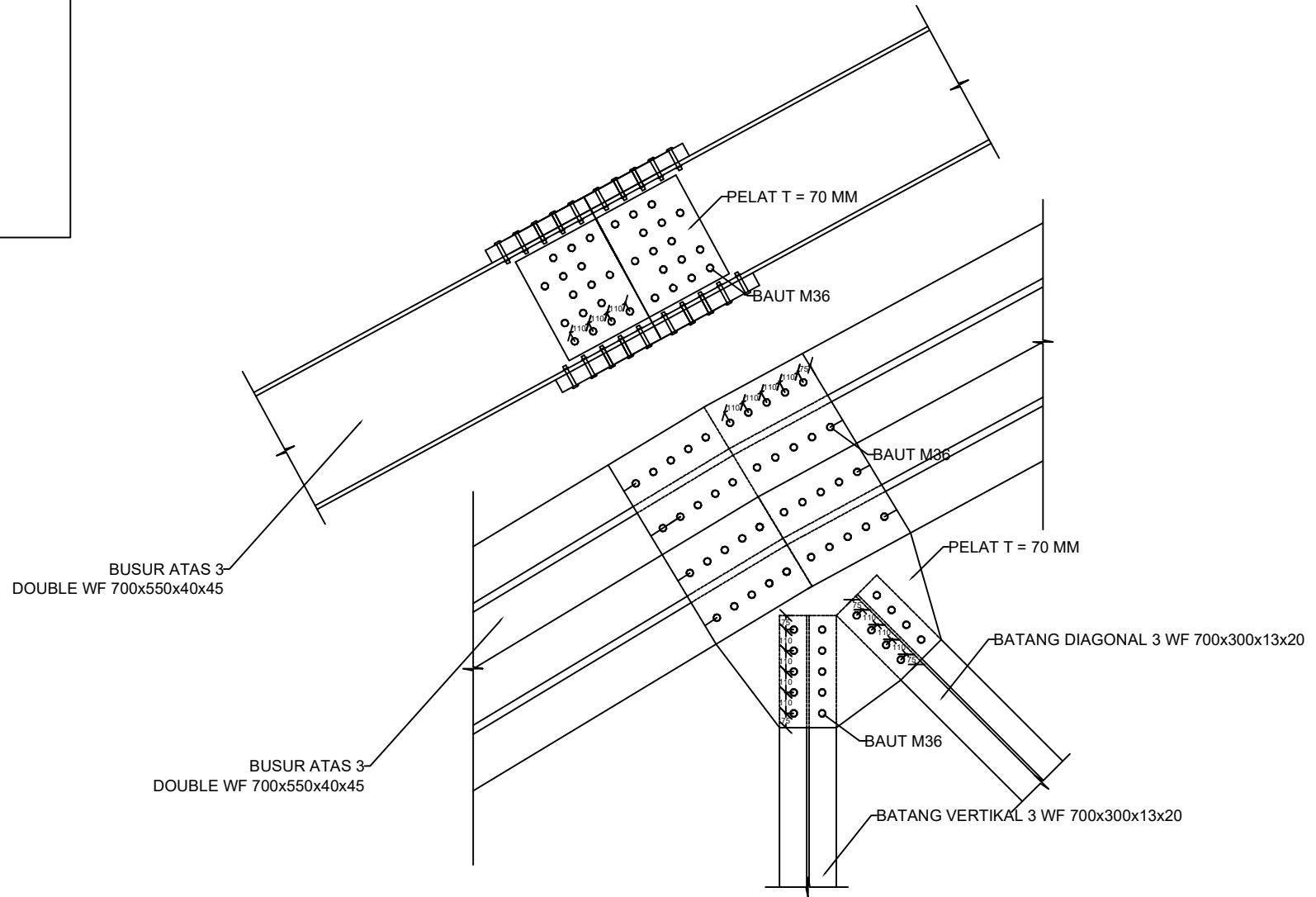
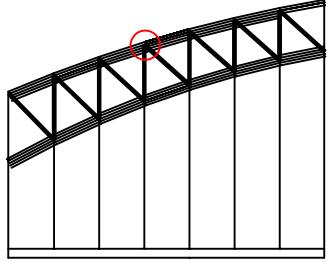
SAMBUNGAN RANGKA UTAMA

SKALA 1 : 20

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
			14	11	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)	



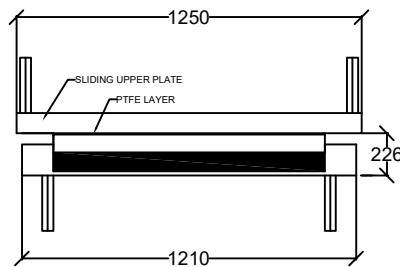
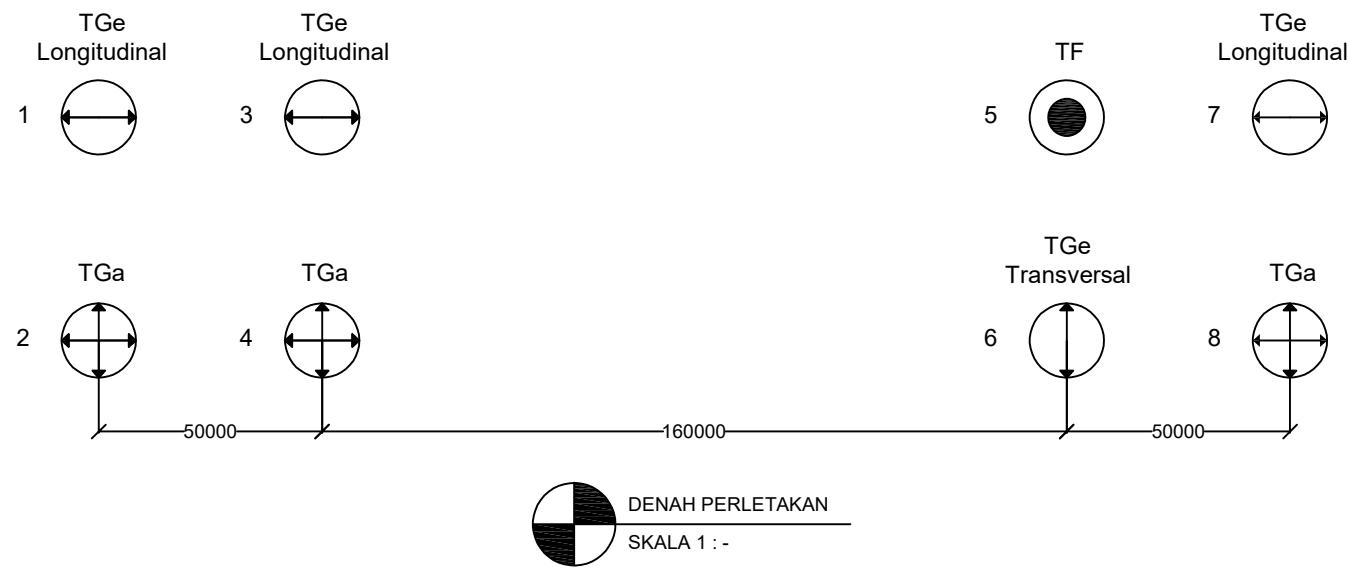
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	14	12	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	Ilham Margianto (031164000034)



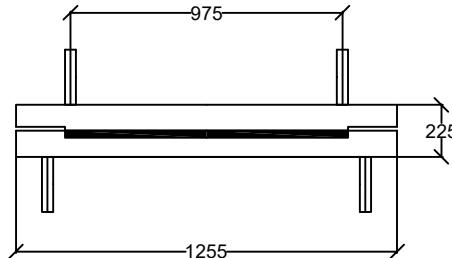
SAMBUNGAN RANGKA UTAMA

SKALA 1 :30

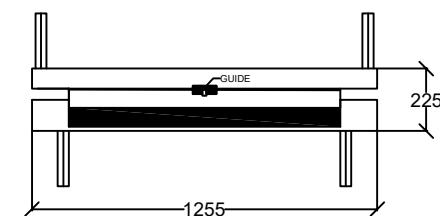
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING		NAMA DAN NRP MAHASISWA
		MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	14	13	mm	1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.		Ilham Margianto (031164000034)



POT BEARING TYPE TA 14
SKALA 1 : 25



POT BEARING TYPE TF 15
SKALA 1 : 25



POT BEARING TYPE TE 14i
SKALA 1 : 25

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR MODIFIKASI DAN ANALISIS STAGING JEMBATAN CINCIN LAMA WIDANG MENGGUNAKAN STRUKTUR BUSUR RANGKA	JUMLAH LEMBAR	NOMOR LEMBAR	SATUAN	DOSEN PEMBIMBING 1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS. 2. Ir. Heppy Kristijanto, MS.	NAMA DAN NRP MAHASISWA Ilham Margianto (0311164000034)
			14	14	mm		