



TUGAS AKHIR - RC141501

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KERETA API LAHOR DENGAN MENGGUNAKAN KONSTRUKSI BUSUR RANGKA BAJA

HERLANGGA ADHI KURNIA
NRP 3113 100 049

Dosen Pembimbing :
Ir. DJOKO IRAWAN, MS

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RC141501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
KERETA API LAHOR DENGAN MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI BUSUR RANGKA BAJA**

**HERLANGGA ADHI KURNIA
NRP 3113 100 049**

**Dosen Pembimbing :
Ir. DJOKO IRAWAN, MS**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - RC141501

**PLANNING MODIFICATION OF LAHOR TRAIN BRIDGE
USING THE ARCH STEEL BRIDGE CONSTRUCTION**

**HERLANGGA ADHI KURNIA
NRP 3113 100 049**

**Advisor Lecturer
Ir. DJOKO IRAWAN, MS**

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
KERETA API LAHOR DENGAN MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI BUSUR RANGKA BAJA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Struktur

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

Oleh :

HERLANGGA ADHI KURNIA

NRP. 3113 100 049

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Djoko Irawan, MS



**SURABAYA
JULI 2017**

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KERETA API LAHOR DENGAN MENGGUNAKAN KONSTRUKSI BUSUR RANGKA BAJA

Nama : Herlangga Adhi Kurnia
NRP : 3113100049
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Irawan, MS

ABSTRAK

Secara umum, Jembatan Busur adalah sebuah jembatan yang mempunyai bentuk struktur setengah lingkaran dengan abutment di kedua sisi jembatan. Struktur setengah lingkaran tersebut merupakan rangka utama dari jembatan yang fungsinya menerima semua gaya-gaya yang bekerja pada jembatan. Jembatan Kereta Api Lahor berlokasi di Kec. Karangates Kab. Malang Jawa Timur. Jembatan eksisting menggunakan konstruksi rangka baja dengan lantai kendaraan di atas yang dibagi menjadi 4 (empat) span dengan panjang bentang masing-masing span 40m. Keseluruhan bentang jembatan ditopang oleh 3 (tiga) pilar beton dan 2 (dua) abutment di kedua ujungnya.

Jembatan Kereta Api Lahor direncanakan ulang menggunakan konstruksi busur rangka baja dengan lebar 5m (satu jalur rel kereta) dan panjang bentang 160 m menerus dengan 2 pilar, terbagi menjadi 3 bentang dengan panjang masing-masing bentang 40m – 80m – 40m. Jembatan tipe busur rangka baja dipilih dalam perencanaan ini karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya sifat jembatan busur yang tidak memerlukan pilar di tengah bentang. Selain itu material baja dipakai karena sifatnya yang kuat sehingga sangat mumpuni dalam menopang beban kereta dan jembatan itu sendiri. Bentuk konstruksi busur juga dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien.

Tugas akhir ini menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 dan SNI 1725-2016. Dengan menggunakan program bantu SAP2000, kombinasi yang menghasilkan *output* gaya paling besar digunakan untuk menentukan profil rangka atas jembatan. Hasil dari analisis dengan program bantu SAP2000 profil utama yang terbesar pada jembatan busur

menggunakan BOX 500x500x28. Dalam merencanakan bangunan bawah jembatan, dilakukan kontrol guling dan geser pada abutment jembatan serta untuk pondasi *bored pile* dilakukan kontrol berdasarkan daya dukung tanah dan tipe material yang digunakan. Dari perencanaan tersebut didapat kebutuhan *bored pile* pada jembatan adalah 15 buah pada masing-masing abutment dan pilar jembatan. Hasil seluruh perhitungan Tugas Akhir ini dituang dalam gambar teknik standar.

Kata Kunci : Jembatan Kereta Api, Jembatan Busur, Rangka Baja

PLANNING MODIFICATION OF LAHOR TRAIN BRIDGE USING THE ARCH STEEL BRIDGE CONSTRUCTION

Name : Herlangga Adhi Kurnia
NRP : 3113100049
Faculty : Teknik Sipil FTSP-ITS
Advisor Lecturer : Ir. Djoko Irawan, MS

ABSTRACT

In general, arch bridge is a bridge which has a half-circle shape with abutment in both sides in both end of the bridge. The half-circle structure is the main structure of the bridge which has the function of relieving all the forces that occur on the bridge. Lahor Train Bridge is located at Kecamatan Karangates, Kabupaten Malang, East Java. The existing bridge is using truss type construction with top decking. The bridge is divided into 4 spans of 40 meters each. The whole span of the bridge is supported by three concrete pillars and two abutments in both end of the bridge.

Lahor Train Bridge will be redesigned using arch steel bridge construction with the width 5 m (supporting one lane track) and the length of 160 m continuous with two pillars dividing the bridge into three spans with each span's length are 40m – 80m – 40m. Arch steel bridge type is chosen in this planning because it have some superiorities, such as the characteristic of the bridge that do not need any pillar in the midspan of the arch. Besides, steel material is chosen because of its strength, so that it will be able to support the weight of the train and the bridge itself. The shape of the arch construction is also purposed to reduce the bending moment on the bridge so that the material usage could be more efficient.

This Final Assignment uses load combination according to Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 and SNI 1725-2016. Using structure analysis software SAP2000, the load combinations that resulting the greatest force output will be used to determine the steel profile of the bridge. As the result of the structure analysis using SAP2000, the biggest main steel profile of the arch bridge

will use BOX 500x500x28 profile. In planning the bottom structure of the bridge, control rolling and sliding for abutment analysis is used. For the bored pile, control based on the bearing capacity and material type will be done. From this planning, obtained the need of the bored piles of the bridge are 15 piles on the bottom of each pillars and abutments. The result of all the planning of this Final Assignment will be presented into standard engineering drawings.

Keyword : Train Bridge, Arch Steel Bridge, Steel Frame, Truss

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir penulis yang berjudul Modifikasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Lahor Dengan Menggunakan Konstruksi Busur Rangka Baja. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu atas terselesainya Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Djoko Irawan, MS selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama masa perkuliahan penulis.
3. Teman-teman Jurusan Teknik Sipil yang memberikan motivasi dan bantuan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Dengan rasa hormat, mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap Tugas Akhir Ini. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 19 Juni 2017

Penulis

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	I
ABSTRACT	III
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VI
DAFTAR GAMBAR	XII
DAFTAR TABEL	XVI

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Jembatan Busur (Arch Bridge)	8
2.2.1 Jenis Jembatan Busur	9
2.2.2 Bentuk-Bentuk Jembatan Busur	10
2.2.3 Pemilihan Bentuk Jembatan Busur	11
2.3 Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api	12
2.3.1 Kelas Jalan Rel	12
2.3.2 Ruang Bebas.....	13
2.3.3 Bantalan	14
2.3.4 Rel.....	15
2.4 Sambungan	16
2.4.1 Sambungan Baut	17

2.4.2	Sambungan Las	18
2.5	Perletakan Pada Jembatan	21
2.6	Struktur Bangunan Bawah Jembatan	24
2.6.1	Abutment.....	24
2.6.2	Pilar Jembatan (Pier)	25
2.6.3	Pondasi.....	26

BAB III

METODOLOGI.....	29
3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir	29
3.2 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir	30
3.2.1 Pengumpulan Data	30
3.2.2 Studi Literatur	31
3.2.3 Preliminary Design.....	31
3.2.4 Pembebanan Pada Jembatan	33
3.2.5 Permodelan dan Analisa Struktur dengan SAP2000.	39
3.2.6 Kontrol Lendutan	40
3.2.7 Kontrol Terhadap Gaya Dalam.....	40
3.2.8 Perhitungan Sambungan Baut	43
3.2.9 Perencanaan Perletakan	43
3.2.10 Perencanaan Bangunan Bawah.....	43
3.2.11 Penggambaran Output Desain Menggunakan AutoCAD.....	50

BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL.....	51
4.1 Perencanaan Struktur Sekunder	51
4.1.1 Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan.....	51
4.1.1.1 Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan.....	51
4.1.1.2 Kontrol Profil Gelagar Memanjang.....	56
4.1.2 Perencanaan Gelagar Melintang Jembatan	58
4.1.2.1 Kontrol Profil Gelagar Melintang	58
4.2 Desain Struktur Utama Jembatan Busur	60

4.2.1	<i>Preliminary Design</i> Busur Rangka Baja.....	60
4.2.1.1	Tinggi Fokus Busur Rangka (f).....	60
4.2.1.2	Tinggi Tammpang Busur Rangka (t)	61
4.2.1.3	Lebar Busur Rangka Jembatan	61
4.2.1.4	Panjang Batang Penggantung Busur Baja	61
4.2.2	Permodelan Struktur Jembatan Busur 3 Dimensi (3-D)	62
4.2.2.1	Pembebanan Struktur Utama	63
4.2.2.2	Kombinasi Pembebanan pada Jembatan Kereta	71
4.2.2.3	Desain Profil Rangka Utama Jembatan Busur	72
4.2.2.4	Desain Profil Struktur Sekunder Jembatan Busur .	93
4.2.2.5	Desain Penggantung Jembatan.....	110
4.2.2.6	<i>Output</i> Analisa Gaya Dalam Jembatan Busur	112
4.2.2.7	Rekap Desain Profil Jembatan Busur Baja Lahor	112
4.2.3	Kontrol Lendutan Ijin Jembatan	113
4.3	Detail Sambungan	116
4.3.1	Sambungan Balok Memanjang dan Balok Melintang	116
4.3.1.1	Balok Memanjang.....	116
4.3.1.2	Balok Melintang	117
4.3.1.3	Jarak Pemasangan Baut.....	117
4.3.1.4	Kontrol Pelat Siku Penyambung	118
4.3.2	Sambungan Ikatan Angin dan Ikatan Silang.....	119
4.3.2.1	Ikatan Angin Rangka	119
4.3.2.2	Ikatan Angin Silang Rangka	120
4.3.2.3	Ikatan Angin Bawah	121
4.3.2.4	Ikatan Tumbuk.....	122
4.3.3	Sambungan Balok Melintang dengan Rangka Utama	123
4.3.3.1	Sambungan pada Balok Melintang	123
4.3.3.2	Sambungan pada Batang Tarik	124
4.3.3.3	Kontrol Pelat Siku Penyambung	125
4.3.4	Sambungan Rangka Utama Busur Jembatan	125

4.3.4.1	Batang Tepi Atas Segmen 3.....	126
4.3.4.2	Batang Tepi Bawah Segmen 3	127
4.3.4.3	Batang Vertikal/Diagonal Segmen 3.....	128
4.3.4.4	Batang Tepi Atas Segmen 2.....	129
4.3.4.5	Batang Tepi Bawah Segmen 2	130
4.3.4.6	Batang Vertikal/Diagonal Segmen 2.....	131
4.3.4.7	Batang Tepi Atas Segmen 1	132
4.3.4.8	Batang Vertikal/Diagonal Segmen 1	133
4.3.4.9	Batang Tarik	134
4.3.4.10	Jarak Pemasangan Baut	135
4.3.5	Sambungan Portal Akhir Jembatan.....	137
4.3.6	Perencanaan Perletakan	139
4.1	Pembebanan Horizontal akibat Gempa.....	139
4.2	Gaya pada POT <i>Bearing</i>	144
4.3	Pemilihan POT <i>Bearing</i>	145
4.4	Perencanaan Bangunan Bawah.....	147
4.4.1	Analisis Data Tanah	147
4.4.2	Daya Dukung Tanah.....	148
4.4.3	Desain Abutment dan Pilar Jembatan	154
4.4.3.1	Desain Abutment Jembatan	154
4.4.3.2	Desain Pilar Jembatan.....	155
4.4.4	Pembebanan Struktur Bangunan Bawah Jembatan .	156
4.4.4.1	Beban Akibat Kombinasi Pembebanan	156
4.4.4.2	Beban Gempa Horizontal Statis	159
4.4.4.3	Beban Tekanan Tanah Aktif	162
4.4.4.4	Beban Tekanan Tanah Aktif Akibat Gempa	164
4.4.5	Perencanaan <i>Bored Pile</i>	165
4.4.5.1	Kombinasi Pembebanan.....	165
4.4.5.2	Repartisi Beban-beban di atas Tiang Kelompok .	167
4.4.5.3	Kontrol Kekuatan <i>Bored Pile</i>	170
4.4.6	Penulangan Pilar Jembatan.....	173
4.4.6.1	Penulangan Dinding Pilar Jembatan	173
4.4.6.2	Penulangan <i>Pilecap</i> Pilar Jembatan	175

4.4.6.3	Penulangan <i>Bored Pile</i> pada Pilar	180
4.4.7	Penulangan <i>Abutment</i> Jembatan	181
4.4.7.1	Penulangan Dinding <i>Abutment</i> Jembatan	181
4.4.7.2	Penulangan <i>Pilecap</i> <i>Abutment</i> Jembatan	183
4.4.7.3	Penulangan <i>Bored Pile</i> pada <i>Abutment</i>	188

BAB V

PENUTUP	191
----------------------	------------

5.1 Kesimpulan	191
-----------------------------	------------

5.2 Saran	193
------------------------	------------

DAFTAR PUSTAKA	195
-----------------------------	------------

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi Eksisting Jembatan Lahor	3
Gambar 2. 1 Jenis Jembatan Busur Berdasarkan Letak Lantai Kendaraan	10
Gambar 2. 2 Ruang Bebas	13
Gambar 2. 3 Detail Baut Secara Umum	17
Gambar 2. 4 <i>Fixed Pot Bearing</i>	22
Gambar 2. 5 <i>Unilaterally Mobile Pot Bearing</i>	22
Gambar 2. 6 Generally Mobile Pot Bearing	23
Gambar 2. 7 Abutment Jembatan	25
Gambar 2. 8 Pilar Jembatan.....	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir	30
Gambar 3. 2 Penentuan Dimensi Rangka Busur.....	32
Gambar 3. 3 Beban Lateral Kereta	36
Gambar 3. 4 Grafik korelasi antara q_p dan NSPT (Reese & Wright).....	45
Gambar 3. 5 Definisi s dalam gambar	47
Gambar 4. 1 Beban Gandar yang Digunakan	53
Gambar 4. 2 Faktor i Beban Kejut.....	54
Gambar 4. 3 Beban Lateral Pada Permodelan SAP2000	55
Gambar 4. 4 Beban Rem Pada Permodelan SAP2000	55
Gambar 4. 5 Momen Pada Balok Memanjang	56
Gambar 4. 6 Gambar Gaya Geser Pada Balok Memanjang	57
Gambar 4. 7 Gaya Pada Balok Melintang	58
Gambar 4. 8 Sketsa Konstruksi Rangka Pemikul Utama	61
Gambar 4. 9 Permodelan 3 Dimensi Jembatan Busur Lahor	63
Gambar 4. 10 Permodelan Beban Mati pada Jembatan Busur Lahor	64
Gambar 4. 11 Permodelan <i>Moving Loads</i> Kereta pada Jembatan Busur Lahor.....	64

Gambar 4. 12 Permodelan <i>Moving Loads</i> Kejut pada Jembatan Busur Lahor.....	65
Gambar 4. 13 Permodelan Beban Lateral pada Jembatan Busur Lahor	66
Gambar 4. 14 Permodelan Beban Rem dan Traksi pada Jembatan Busur Lahor.....	66
Gambar 4. 15 Ikatan Angin Busur Atas Jembatan.....	67
Gambar 4. 16 Ikatan Angin Busur Bawah Jembatan	67
Gambar 4. 17 Ikatan Angin Lantai Kendaraan	67
Gambar 4. 18 Penamaan Titik Simpul pada Jembatan	68
Gambar 4. 19 Permodelan Beban Angin pada Jembatan Busur Lahor	71
Gambar 4. 20 Pembagian Segmen pada Jembatan	73
Gambar 4. 21 Ilustrasi Penampang Rangka Utama Busur dengan Menggunakan Profil <i>Box</i> dan <i>Rectangle</i>	74
Gambar 4. 22 Gambar Batang 949 pada Rangka Busur Utama Jembatan	75
Gambar 4. 23 Gambar Batang 945 pada Rangka Busur Utama Jembatan	75
Gambar 4. 24 Gambar Batang 896 pada Rangka Busur Utama Jembatan	77
Gambar 4. 25 Gambar Batang 899 pada Rangka Busur Utama Jembatan	77
Gambar 4. 26 Gambar Batang 962 pada Rangka Busur Utama Jembatan	79
Gambar 4. 27 Gambar Batang 967 pada Rangka Busur Utama Jembatan	79
Gambar 4. 28 Gambar Batang 954 pada Rangka Busur Utama Jembatan	81
Gambar 4. 29 Gambar Batang 950 pada Rangka Busur Utama Jembatan	81
Gambar 4. 30 Gambar Batang 842 pada Rangka Busur Utama Jembatan	83

Gambar 4. 31 Gambar Batang 902 pada Rangka Busur Utama Jembatan	83
Gambar 4. 32 Gambar Batang 956 pada Rangka Busur Utama Jembatan	85
Gambar 4. 33 Gambar Batang 817 pada Rangka Busur Utama Jembatan	85
Gambar 4. 34 Gambar Batang 811 pada Rangka Busur Utama Jembatan	87
Gambar 4. 35 Gambar Batang 562 pada Rangka Busur Utama Jembatan	87
Gambar 4. 36 Gambar Batang 22 pada Rangka Busur Utama Jembatan	89
Gambar 4. 37 Gambar Batang 23 pada Rangka Busur Utama Jembatan	89
Gambar 4. 38 Gambar Batang 847 pada Rangka Busur Utama Jembatan	91
Gambar 4. 39 Gambar Batang 813 pada Rangka Busur Utama Jembatan	91
Gambar 4. 40 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Rangka	93
Gambar 4. 41 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Rangka ...	95
Gambar 4. 42 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Bawah	97
Gambar 4. 43 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Bawah	99
Gambar 4. 44 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Bawah ..	101
Gambar 4. 45 Momen pada Balok Portal Akhir Jembatan	103
Gambar 4. 46 Gaya Aksial pada Kolom Portal Akhir Jembatan	106
Gambar 4. 47 Ilustrasi Kasus Putusnya Salah Satu Kabel Penggantung.....	110
Gambar 4. 48 Brosur Kabel Penggantung	111
Gambar 4. 49 Output Gaya Aksial Akibat Pembebanan Envelope	112
Gambar 4. 50 Detail Bidang Geser Pelat Siku pada Gelagar	118
Gambar 4. 51 Detail Bidang Geser Pelat Siku pada Gelagar	125

Gambar 4. 52 Sambungan yang Ditinjau pada Rangka Utama Jembatan	125
Gambar 4. 53 Gambar Gaya pada Portal Akhir	137
Gambar 4. 54 Penamaan Titik Perletakan dan Jenis Perletakan	140
Gambar 4. 55 Wilayah Gempa Indonesia untuk Periode Ulang 500 Tahun	141
Gambar 4. 56 Brosur POT <i>Bearing Tipe Fixed</i>	145
Gambar 4. 57 Brosur POT <i>Bearing Tipe Guided</i>	146
Gambar 4. 58 Brosur POT <i>Bearing Tipe Free</i>	146
Gambar 4. 59 Desain <i>Abutment</i> Jembatan Lahor.....	154
Gambar 4. 60 Desain Pilar Jembatan Lahor	155
Gambar 4. 61 Tekanan Tanah Aktif dan Beban Lalu Lintas.....	163
Gambar 4. 62 Rencana <i>Bored Pile Abutment</i>	167
Gambar 4. 63 Rencana <i>Bored Pile</i> Pilar	167
Gambar 4. 64 Hasil Analisis Pilar dengan <i>Spcolumn</i>	174
Gambar 4. 65 Gambar Penulangan Longitudinal Dinding Pilar	174
Gambar 4. 66 Daerah Tulangan Lentur Sisi Panjang.....	176
Gambar 4. 67 Daerah Tulangan Lentur Sisi Pendek.....	177
Gambar 4. 68 Hasil Analisis <i>Bored Pile</i> pada Pilar dengan <i>Spcolumn</i>	180
Gambar 4. 69 Hasil Analisis Dinding <i>Abutment</i> dengan <i>Spcolumn</i>	182
Gambar 4. 70 Gambar Penulangan Longitudinal Dinding <i>Abutment</i>	182
Gambar 4. 71 Daerah Penulangan Lentur Sisi Panjang	184
Gambar 4. 72 Daerah Penulangan Lentur Sisi Pendek	185
Gambar 4. 73 Hasil Analisis <i>Bored Pile</i> pada Pilar dengan <i>Spcolumn</i>	189

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Lebar Jalan Rel 1067 mm	12
Tabel 2. 2 Lebar Jalan Rel 1435 mm	12
Tabel 2. 3 Jarak Ruang Bangun	13
Tabel 2. 4 Dimensi Pengampang Rel	16
Tabel 2. 5 Ukuran Las Sudut	20
Tabel 2. 6 Tabel Tipe Pot Bearing	23
Tabel 3. 1 Tabel Berat Jenis Beban Mati	33
Tabel 3. 2 Tabel Beban Gandar	35
Tabel 3. 3 Faktor Beban	39
Tabel 3. 4 Tabel Kontrol Lendutan	40
Tabel 3. 5 Harga \emptyset untuk tiap jenis tanah	44
Tabel 4. 1 Tipe Rel Yang Digunakan	52
Tabel 4. 2 Tabel Panjang Penggantung Busur Jembatan	62
Tabel 4. 3 Beban Angin yang Terjadi pada Titik Simpul	69
Tabel 4. 4 Faktor Beban	72
Tabel 4. 5 Rekapitulasi Gaya Aksial pada Rangka Utama Jembatan	73
Tabel 4. 6 Rekap Desain Profil Jembatan Busur Lahor	113
Tabel 4. 7 Tipe-Tipe Baut <i>Friction</i> (Sumber: SNI 1729-2002 Tabel 18.2-1)	116
Tabel 4. 8 Reaksi pada Perletakan (Envelope)	140
Tabel 4. 9 Akselerasi puncak PGA	141
Tabel 4. 10 Klasifikasi Tanah	142
Tabel 4. 11 Koefisien Tanah (S)	142
Tabel 4. 12 Faktor Modifikasi Respon R_d	144
Tabel 4. 13 Jenis POT <i>Bearing</i> yang Digunakan	147
Tabel 4. 14 Data Nilai NSPT	147
Tabel 4. 15 Daya Dukung Tanah Jembatan Lahor	149
Tabel 4. 16 Beban Struktur Atas Kombinasi pada Abutment ...	157
Tabel 4. 17 Beban Struktur Atas Kombinasi pada Pilar	158

Tabel 4. 18 Kombinasi Pembebanan Pilar	166
Tabel 4. 19 Kombinasi Pembebanan Abutment.....	166
Tabel 4. 20 Beban Vertikal Ekvivalen <i>Bored Pile Abutment</i>	169
Tabel 4. 21 Beban Vertikal Ekvivalen <i>Bored Pile Pilar</i>	169

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BABI PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

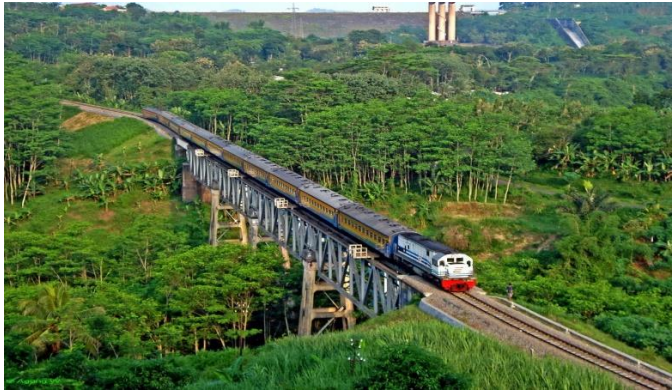
Jembatan merupakan prasarana transportasi yang harus disediakan sebagai penghubung lalu lintas, manakala lalu lintas terpotong oleh adanya sungai, lembah, laut, atau rintangan lainnya. Dalam transportasi kereta api jembatan merupakan prasarana pokok penunjang perjalanan angkutan kereta api, karena wilayah Indonesia sebagai Negara kepulauan dan memiliki kontur daerah yang bervariasi, seperti daerah dataran tinggi yang meliputi pegunungan, perbukitan dan daerah dataran tinggi yang lain, serta dataran rendah yang meliputi daerah lembah, tepi pantai, sungai, dan laut. Angkutan kereta api sebagai angkutan massal yang pembangunannya sedang dimarakkan di seluruh wilayah Indonesia telah menuntut adanya berbagai pengembangan jembatan kereta api untuk menghubungkan wilayah-wilayah pada jaringan perkeretaapian Indonesia.

Sering dengan semakin meningkatnya *demand* akan penggunaan kereta api akan mendorong perlunya peningkatan prasarana perkeretaapian. Salah satunya adalah dengan bertambahnya jadwal kereta api yang berimbas dengan meningkatnya intensitas kereta yang lewat di sebuah jembatan kereta. Hal ini tentunya akan mempengaruhi struktur serta ketahanan jembatan sehingga diperlukan sebuah modifikasi yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan sebuah jembatan.

Salah satu contohnya adalah Jembatan Kereta Api Lahor yang berlokasi di daerah Karangates, Kabupaten Malang. Jembatan yang menyeberangi sebuah sungai ini memiliki panjang bentang 160m yang dibangun dengan 3 buah pilar beton di tengahnya. Jembatan yang dibangun dengan struktur rangka baja lantai kendaraan di atas ini merupakan jembatan yang sudah digunakan sejak zaman kolonial Belanda dan masih rutin dilewati kereta penumpang maupun kereta barang. Sehingga seiring semakin

meningkatnya intensitas kereta yang melewati jembatan ini akibat peningkatan jadwal dan melihat kondisi usia jembatan yang sudah cukup tua menjadi dasar utama dalam perencanaan ulang Jembatan Kereta Api Lahor.

Melihat kondisi yang terjadi ini, penulis akan mencoba menyajikan suatu alternatif modifikasi desain jembatan dimana pada nantinya desain struktur jembatan ini selain akan memiliki daya layan yang lebih kuat dalam menjawab tuntutan pengembangan pelayanan perkeretaapian juga tidak menghambat aliran sungai. Disamping itu juga jembatan ini memiliki fungsi khusus untuk kereta penumpang dan barang lintas cepat yang kuat, aman, serta mempunyai nilai estetika yang baik. Jembatan ini direncanakan menggunakan tipe jembatan busur rangka baja. Jembatan tipe busur rangka baja dipilih dalam perencanaan ini karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya sifat jembatan busur yang tidak memerlukan pilar di tengah bentang. Selain itu material baja dipakai karena sifatnya yang kuat sehingga sangat mumpuni dalam menopang beban kereta yang berat. Bentuk konstruksi busur juga dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien dibandingkan gelagar paralel (Victor, 1980). Dari segi arsitektural, jembatan busur memiliki nilai estetika lebih dan dapat memberi kesan monumental karena masih belum banyak perencanaan jembatan di Indonesia yang menggunakan konstruksi busur.



Gambar 1. 1 Kondisi Eksisting Jembatan Lahor

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan utama pada tugas akhir ini adalah bagaimana mendesain jembatan busur rangka baja dengan peruntukan sebagai jembatan kereta api yang memenuhi standar yang berlaku. Dengan detail permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan *preliminary design* struktur jembatan?
2. Apa saja beban yang mempengaruhi perancangan struktur atas jembatan?
3. Bagaimana melakukan permodelan dan analisis struktur menggunakan SAP2000?
4. Bagaimana merencanakan profil yang akan digunakan serta kontrolnya pada struktur atas jembatan?
5. Bagaimana merencanakan sambungan dan perletakan pada struktur?
6. Bagaimana merencanakan struktur bangunan bawah jembatan?
7. Bagaimana menuangkan hasil bentuk desain dan analisis perhitungan ke dalam bentuk gambar teknik?

1.3 Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan yang hendak dicapai dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merencanakan *preliminary design* struktur jembatan.
2. Dapat menentukan beban yang mempengaruhi perancangan struktur atas jembatan.
3. Dapat melakukan permodelan dan analisis struktur menggunakan SAP2000.
4. Dapat merencanakan dan melakukan kontrol terhadap desain profil terhadap kekuatan dan kestabilan struktur.
5. Dapat merencanakan sambungan dan perletakan pada struktur.
6. Dapat merencanakan struktur bangunan bawah jembatan.
7. Dapat menuangkan hasil desain dan analisa perhitungan ke dalam bentuk gambar teknik.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah agar Penulis memahami dan mampu menerapkan seluruh proses kegiatan perencanaan dan perhitungan jembatan busur dengan peruntukan sebagai jembatan kereta api yang selama ini belum banyak dikenal melalui teori dalam kuliah serta sebagai prasyarat untuk menyelesaikan program studi di Jurusan Teknik Sipil ITS.

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang akan dibahas pada perencanaan Jembatan Lahor ini ada;ah mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur utama bangunan atas jembatan yang meliputi perencanaan bentuk dan profil busur rangka baja, perencanaan sambungan, dan perencanaan perletakan.
2. Perencanaan struktur bangunan bawah meliputi perencanaan abutment, pilar, dan perencanaan pondasi.
3. Metode pelaksanaan dan anggaran biaya tidak dibahas dalam perencanaan.
4. Perhitungan sambungan dibatasi pada bagian-bagian tertentu yang dianggap dapat mewakili keseluruhan.
5. Perencanaan ini tidak memperhitungkan kondisi beban saat metode pelaksanaan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya menruskan jalan melalui suatu rintangan yang tidak sebidang dan berada lebih rendah (Struyk dan Veen, 1984). Rintangan ini biasanya berupa sungai, laut, atau jalan lalu lintas biasa.

Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknik dan estetika arsitektural yang meliputi: aspek lalu lintas, aspek teknis, dan aspek estetika.

Dalam merencanakan sebuah jembatan terdapat beberapa pertimbangan dalam segi ekonomis maupun teknis yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan. Pada perkembangannya, berbagai macam dan bentuk serta material jembatan mengalami perubahan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi terkini.

Berikut ini beberapa klasifikasi jembatan:

- a. Menurut jenis material penyusunnya jembatan dibagi menjadi lima jenis, yaitu:
 - Jembatan baja
 - Jembatan beton bertulang
 - Jembatan beton pratekan
 - Jembatan komposit
 - Jembatan kayu
- b. Berdasarkan fungsinya jembatan dibagi menjadi beberapa jenis antara lain sebagai berikut:
 - Jembatan kereta api
 - Jembatan jalan raya
 - Jembatan penyeberangan atau jembatan pejalan kaki
 - Jembatan khusus, contohnya jembatan pipa irigasi

- c. Menurut bentangnya jembatan dibagi menjadi empat jenis, yaitu:
- *Small span bridge*, dengan panjang bentang hingga 15 meter
 - *Medium span bridge*, dengan panjang hingga 75 meter
 - *Large span bridge*, dengan panjang antara 50 – 150 meter
 - *Extra large span bridge*, dengan panjang lebih dari 150 meter
- d. Berdasarkan sistem strukturnya jembatan dibagi menjadi beberapa tipe, diantaranya:
- Jembatan gelagar (*Girder Bridge*)
 - Jembatan pelat (*Slab Bridge*)
 - Jembatan rangka batang (*Truss Bridge*)
 - Jembatan busur (*Arch Bridge*)
 - Jembatan gantung (*Suspension Bridge*)
 - Jembatan kabel (*Cable Stayed Bridge*)

2.2 Jembatan Busur (Arch Bridge)

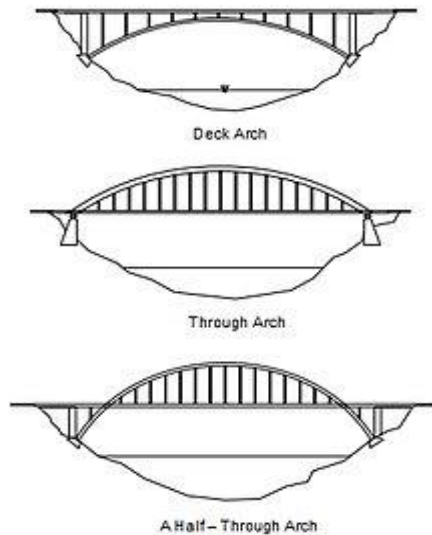
Secara umum jembatan busur adalah sebuah jembatan yang mempunyai struktur tengah berbentuk pelengkung atau busur dengan abutmen di kedua sisi jembatan. Struktur berbentuk pelengkung tersebut merupakan rangka utama dari jembatan yang fungsinya menerima semua gaya-gaya yang bekerja pada jembatan.

Pada prinsipnya, konstruksi dari jembatan busur dapat memberikan reaksi horizontal akibat beban vertikal yang bekerja. Desain lengkung akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergeser ke samping. Selain itu, bentuk busur dimaksudkan untuk memungkinkan konstruksi tersebut dapat menerima momen lentur lebih efisien bila dibandingkan dengan gelagar paralel (Irawan, 2007).

Jembatan busur sangat cocok untuk lintasan yang dalam dengan tebing curam berbatu, yang dapat berfungsi sebagai tembok pangkal alami yang efisien, terutama dalam menerima komponen horizontal dari reaksi busur.

2.2.1 Jenis Jembatan Busur

- a. Menurut perletakannya (jumlah sendi):
 - Jembatan busur terjepit
 - Jembatan busur dua sendi
 - Jembatan busur tiga sendi
- b. Menurut sifat gaya horizontal pada busur:
 - Busur asli: reaksi horizontal (juga komponen reaksi vertikal dan momen) diterima oleh perletakan, diteruskan ke pangkal jembatan atau pilar.
 - Busur dengan batang tarik: gaya horizontal pada busur diterima oleh bagian konstruksi busur, yaitu batang tarik.
- c. Menurut jenis gelagar pemikul utama:
 - Busur dinding penuh
 - Busur rangka batang
- d. Menurut kedudukan lantai kendaraan:
 - Jembatan busur dengan lantai kendaraan di atas (*deck arch*)
 - Jembatan busur dengan lantai kendaraan di tengah (*a half-through arch*)
 - Jembatan busur dengan lantai kendaraan di bawah (*through arch*)



Gambar 2. 1 Jenis Jembatan Busur Berdasarkan Letak Lantai Kendaraan
(Sumber: *slideshare.net*)

2.2.2 Bentuk-Bentuk Jembatan Busur

Bentuk-bentuk dari jembatan busur sangat beragam, diantaranya sebagai berikut:

- a. Penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal, umumnya untuk busur terjepit.
- b. Tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur, umumnya busur dinding penuh, termasuk bentuk *box*.
- c. Penampang puncak lebih besar dari penampang pangkal, umumnya untuk busur dua sendi.

Khusus untuk busur dengan batang tarik, bentuk busur ditentukan juga oleh pembagian beban antara busur dengan batang tariknya:

- a. Busur sangat kaku, dibanding dengan batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul oleh busur,

bentuk busur umumnya penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal.

- b. Busur sangat lemah, dibandingkan dengan batang Tarik yang sangat kaku, sehingga batang Tarik memiliki sebagian besar momen. Bentuk busur umumnya tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur.

2.2.3 Pemilihan Bentuk Jembatan Busur

Ada beberapa pertimbangan dalam pemilihan jenis konstruksi dan bentuk busur, antara lain sebagai berikut:

- a. Kondisi Tanah Dasar
 - Tebing yang curam, kokoh, dan tinggi sangat cocok untuk tipe jembatan busur dengan lantai kendaraan di atas.
 - Bila kaki busur terendam air bias menggunakan jenis jembatan busur dengan lantai kendaraan di tengah.
 - Bila tanah kurang baik untuk menerima gaya horizontal maka bias menggunakan jenis jembatan busur dengan batang tarik.
- b. Besarnya Beban
 - Bila beban yang dipikul tergolong berat, dapat menggunakan tipe busur rangka batang.
 - Bila beban yang dipikul tidak terlalu berat, dapat menggunakan tipe busur dinding penuh atau *box*.
- c. Panjang Bentang
 - Untuk bentang jembatan antara 60-250 meter dapat menggunakan busur dinding penuh atau rangka batang.
 - Untuk bentang jembatan antara 250-500 meter dapat menggunakan busur rangka batang.

2.3 Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api

Jalan rel direncanakan sesuai dengan klasifikasi jalur untuk melewati berbagai jumlah angkutan barang dan/atau dalam suatu jangka waktu tertentu. Secara teknis konstruksi jalan rel harus dapat dilalui oleh sarana perkeretaapian dengan aman dan tingkat kenyamanan tertentu.

2.3.1 Kelas Jalan Rel

Tabel 2. 1 Lebar Jalan Rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	$> 20.10^6$	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	$10.10^6 - 20.10^6$	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	$5.10^6 - 10.10^6$	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	$2.5.10^6 - 5.10^6$	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda/ Tunggal	25	40
V	$< 2.5.10^6$	80	18	R.42	Kayu/Baja 60	Elastis Tunggal	25	35

Tabel 2. 2 Lebar Jalan Rel 1435 mm

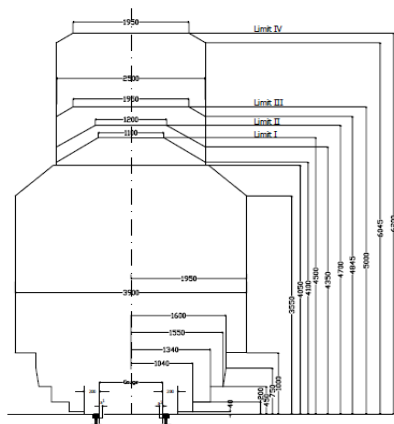
Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	$> 20.10^6$	160	22,5	R.60	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	$10.10^6 - 20.10^6$	140	22,5	R.60	Beton 60	Elastis Ganda	30	50
III	$5.10^6 - 10.10^6$	120	22,5	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	40
IV	$< 5.10^6$	100	22,5	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	40

2.3.2 Ruang Bebas

Ruang bebas adalah ruang diatas jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang, ruang ini disediakan untuk lalu lintas rangkaian kereta api. Ukuran ruang bebas untuk jalur tunggal, baik pada lintasan lurus maupun melengkung, untuk lintasan elektrifikasi dan non elektrifikasi, adalah seperti yang tertera pada table dan gambar berikut.

Tabel 2. 3 Jarak Ruang Bangun

Segmen Jalur	Lebar Jalan Rel 1067 mm dan 1435 mm	
	Jalur Lurus	Jalur Lengkung R < 800
Lintas Bebas	minimal 2,35 m di kiri kanan as jalan rel	R ≤ 300, minimal 2,55 m R > 300, minimal 2,45 m di kiri kanan as jalan rel
Emplasemen	minimal 1,95 m di kiri kanan as jalan rel	minimal 2,35 m di kiri kanan as jalan rel
Jembatan, Terowongan	2,15 m di kiri kanan as jalan rel	2,15 m di kiri kanan as jalan rel



- Batas I : untuk jembatan dengan kecepatan lebih dari 60 km/jam
- Batas II : untuk viaduct dan terowongn dengan kecepatan lebih dari 60 km/jam dan untuk jembatan dengan batas kecepatan
- Batas III : untuk viaduct baru dan bangunan tua kecuali terowongan dan jembatan
- Batas IV : untuk kereta listrik

Gambar 2. 2 Ruang Bebas

2.3.3 Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rei ke balas, mempertahankan lebar jalan rei dan stabilitas ke arah luar jalan rei. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Pemilihan jenis bantalan didasarkan pada kelas dan kondisi lapangan serta ketersediaan. Spesifikasi masing-masing tipe bantalan harus mengacu kepada persyaratan teknis yang berlaku sebagai berikut.

a. Bantalan Beton

- Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kgm pada bagian dudukan rel dan -930 kgm pada bagian tengah bantalan. Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1067 mm adalah sebagai berikut.
 - Panjang : 2000 mm
 - Lebar Maksimum : 260 mm
 - Tinggi Maksimum : 220 mm
- Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 600 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sesuai dengan desain beban gandar dan kecepatan. Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1435 mm adalah sebagai berikut.
 - Panjang : 2440 mm untuk beban gandar sampai 22.5 ton; 2740 mm untuk beban gandar diatas 22.5 ton.
 - Lebar Maksimum : 330 mm
 - Tinggi Maksimum: 220 mm

b. Bantalan Kayu

Bantalan kayu, harus memenuhi persyaratan kayu mutu A kelas 1 dengan modulus elastisitas (E) minimum 125.000 kg/cm^2 . Harus mampu menahan momen maksimum sebesar 800 kg-m, lentur absolute tidak boleh kurang dari 46 kg/cm^2 Berat jenis kayu minimum = 0.9, kadar air maksimum 15%, tanpa mata kayu, retak tidak boleh sepanjang 230 mm dari ujung kayu.

c. Bantalan Besi

Bantalan besi harus memiliki kandungan Carbon Manganese Steel Grade 900 A, pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rei, mampu menahan momen maksimum sebesar 650 kg m, tegangan tarik 88 -103 kg m. *Elongation* A1 > 10%.

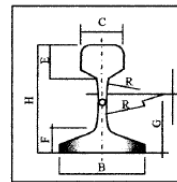
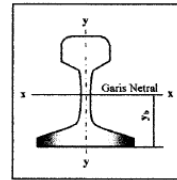
2.3.4 Rel

Rel harus memenuhi persyaratan berikut.

- a. Minimum perpanjangan (*elongation*) 10%
- b. Kekuatan Tarik (*tensile strength*) minimum 1175 N/mm^2
- c. Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN

Tabel 2. 4 Dimensi Pengampang Rel

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A	= luas penampang			
W	= berat rel permeter			
I _x	= momen inersia terhadap sumbu x			
Y _b	= jarak tepi bawah rel ke garis netral			



2.4 Sambungan

Sambungan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sebuah struktur baja. Sambungan berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya dalam (momen, lintang/geser, dan/atau aksial) antar komponen-komponen struktur yang disambung, sesuai dengan perilaku struktur yang direncanakan. Keandalan sebuah struktur baja untuk bekerja dengan mekanisme yang direncanakan sangat tergantung oleh keandalan sambungan.

Suatu sistem sambungan terdiri dari:

- Komponen struktur yang disambung, dapat berupa balok, kolom, batang tarik, atau batang tekan.
- Alat penyambung, dapat berupa pengencang, baut biasa, baut mutu tinggi, dan paku keling, atau sambungan las seperti las tumpul, las sudut, dan las pengisi.
- Elemen penyambung, berupa plat buhul atau plat penyambung.

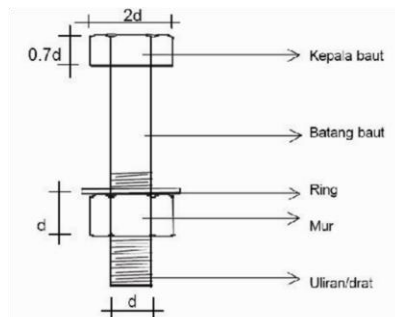
Filosofi dasar perencanaan sambungan adalah suatu sistem sambungan harus direncanakan lebih kuat daripada komponen struktur yang disambungkan dan deformasi yang terjadi pada

sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan. Dengan demikian, keandalan struktur akan ditentukan oleh kekuatan elemen-elemennya.

2.4.1 Sambungan Baut

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya dibentuk kepala baut (umumnya bentuk kepala segi enam) dan ujung lainnya dipasang mur/pengunci.

Terdapat dua jenis baut yang biasa dipakai pada konstruksi baja. 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 (mutu tinggi) dengan pemasangan dikencangkan sedemikian rupa sehingga menahan suatu tekanan yang besar dan bisa menjepit dengan keras bagian-bagian struktur yang disambung (Amon, Knobloch, dan Mazumder, 1988).



Gambar 2. 3 Detail Baut Secara Umum
(Sumber: srcivilengineering.com)

Tata letak baut sangat mempengaruhi kinerja sistem sambungan. Pengaturan ini dilakukan untuk mencegah kegagalan pada plat dan untuk memudahkan pemasangan, akan tetapi disarankan agar jarak antar baut tidak terlalu besar untuk mencegah

pemborosan bahan yang disambung serta mengurangi variasi tegangan di antara baut dan mencegah korosi.

a. Jarak tepi minimum

Jarak minimum dari pusat pengencang ke tepi plat atau plat sayap profil harus memenuhi spesifikasi:

- Tepi dipotong dengan tangan 1,75 db
 - Tepi dipotong dengan mesin 1,50 db
 - Tepi profil bukan hasil potongan 1,25 db
- Dengan db adalah diameter nominal baut pada daerah tak berulir.

b. Jarak maksimum

Jarak antar baut ditentukan tidak boleh lebih besar dari 15 tp (dengan tp adalah tebal plat lapis tertipis di dalam sambungan), atau 200 mm.

c. Jarak tepi maksimum

Jarak dari pusat tiap pengencang ke tepi terdekat suatu bagian yang berhubungan dengan tepi yang lain tidak boleh lebih dari 12 kali tebal plat lapis luar tertipis dalam sambungan dan juga tidak boleh melebihi 150 mm.

2.4.2 Sambungan Las

Proses pengelasan adalah proses penyambungan dua potong logam dengan cara memanaskan baja hingga mencapai suhu leleh dengan ataupun tanpa bahan pengisi. Pada umumnya mutu kawat las (bahan pengisi) lebih besar atau sama dengan mutu baja yang akan disambung. Pada pelaksanaannya terdapat beberapa tipe sambungan las antara lain:

a. Las Tumpul

Las Tumpul Penetrasi Penuh adalah las tumpul di mana terdapat penyatuan antara las dan bahan induk sepanjang kedalaman penuh sambungan. Las Tumpul Penetrasi Sebagian

adalah las tumpul di mana kedalaman penetrasi lebih kecil daripada kedalaman penuh sambungan. Ukuran las adalah jarak antara permukaan luar las (tidak termasuk perkuatannya) terhadap kedalaman penetrasinya yang terkecil. Khusus sambungan antara dua bagian yang membentuk T atau siku, ukuran las penetrasi penuh adalah tebal bagian yang menumpu. Tebal rencana las ditetapkan sebagai berikut:

- Las Tumpul Penetrasi Penuh: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi penuh adalah ukuran las.
 - Las Tumpul Penetrasi Sebagian: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi sebagian ditetapkan sesuai dengan ketentuan dibawah ini:
 - Sudut antara bagian yang disambung $\leq 60^\circ$
 - Satu sisi: $tt = (d - 3)$ mm (2.1)
 - Dua sisi: $tt = (d3 + d4 - 6)$ mm (2.2)
 - Sudut antara bagian yang disambung $> 60^\circ$
 - Satu sisi: $tt = d$ mm (2.3)
 - Dua sisi: $tt = (d3 + d4)$ mm (2.4)
- dengan d adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las ($d3$ dan $d4$ adalah nilai untuk tiap sisi las).

Panjang efektif las tumpul adalah panjang las ukuran penuh yang menerus. Luas efektif las tumpul adalah perkalian panjang efektif dengan tebal rencana las. Sambungan las tumpul antara bagian yang tebalnya berbeda atau lebarnya tidak sama yang memikul gaya tarik harus mempunyai peralihan halus antara permukaan dan ujung. Peralihan harus dibuat dengan melandaikan bagian yang lebih tebal atau dengan melandaikan permukaan las atau dengan kombinasi dari keduanya. Kelandaian peralihan antara bagian-bagian tidak boleh lebih tajam dari 1:1.

b. Las Sudut

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang tw_1 , tw_2 , dari sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las (lihat SNI 03-1729-2002 Gambar 13.5-2). Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah tw . Bila terdapat sela akar, ukuran tw diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar. Ukuran minimum las sudut, selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, ditetapkan sesuai dengan Tabel 2.8 kecuali bila ukuran las tidak boleh melebihi tebal bagian yang tertipis dalam sambungan.

Tabel 2. 5 Ukuran Las Sudut
(Sumber: diktat kuliah Struktur Baja I oleh Marwan dan Isdarmanu)

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, tw (mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

- Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi
 - Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung adalah:
 - Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen.
 - Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen kecuali jika dirancang agar memperoleh tebal rencana las tertentu.

- Panjang efektif
Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh. Panjang efektif las sudut paling tidak harus 4 kali ukuran las; jika kurang, maka ukuran las untuk perencanaan harus dianggap sebesar 0,25 dikali panjang efektif. Persyaratan panjang minimum berlaku juga pada sambungan pelat yang bertumpuk (*lap*). Tiap segmen las sudut yang tidak menerus (selang-seling) harus mempunyai panjang efektif tidak kurang dari 40 mm dan 4 kali ukuran nominal las. Luas efektif las sudut adalah perkalian panjang efektif dan tebal rencana las.
- Kuat las sudut
Las sudut yang memikul gaya terfaktor per satuan panjang las, R_u , harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi R_{nw} \quad \text{dengan,}$$

$$\phi f R_{nw} = 0,75t t (0,6 f_{uw}) \text{ (las)} \quad (2.5)$$

$$\phi f R_{nw} = 0,75t t (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \quad (2.6)$$

dengan $\phi f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan saat fraktur

Dimana:

F_{uw} : tegangan tarik putus logam las

$M_{pa f_u}$: tegangan tarik putus bahan dasar

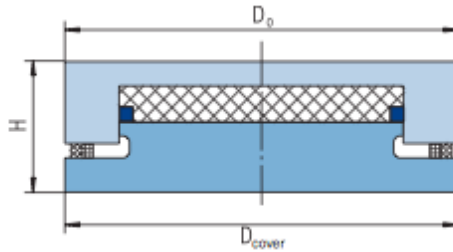
$M_{pa t t}$: tebal rencana las, mm

2.5 Perletakan Pada Jembatan

Sebagaimana umumnya jembatan bentang panjang, perletakan yang dimiliki harus mempunyai kemampuan menahan gaya yang besar. Tipe perletakan mekanik *pot bearing* umumnya digunakan pada jembatan bentang panjang. Berikut adalah macam-macam tipe *pot bearing*:

a. Fixed Pot Bearing

Adalah tipe *pot bearing* yang tidak dapat bergerak. Jadi *pot bearing* jenis ini mempunyai sifat seperti perletakan

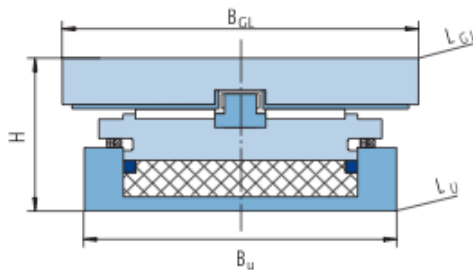


sendi yaitu bisa menerima gaya vertikal dan horizontal.

Gambar 2. 4 Fixed Pot Bearing

b. Guided Pot Bearing

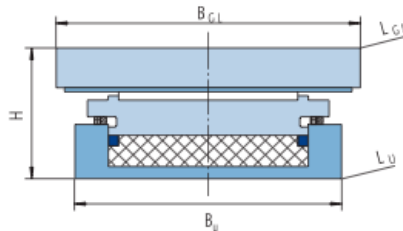
Adalah tipe *pot bearing* yang dapat bergerak ke satu arah. Jadi *pot bearing* jenis ini mempunyai sifat menyerupai roll yaitu bisa menerima gaya vertikal tetapi tidak bisa menerima gaya horizontal.



Gambar 2. 5 Guided Pot Bearing

c. Free Pot Bearing

Adalah tipe pot bearing yang dapat bergerak kearah X dan Y. jadi pot bearing jenis ini bisa menerima gaya horizontal kearah X maupun Y.



Gambar 2. 6 Free Pot Bearing

Tabel 2. 6 Tabel Tipe Pot Bearing
(Sumber: trelleborg.com.au)

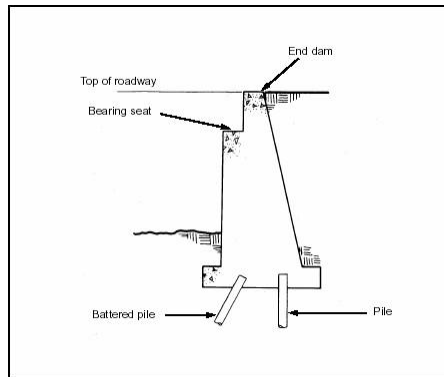
Type	Id	Symbol	DESIGN PARAMETERS								
			Reactions			Relative Movements					
			Loads	Displacement	Rotation	α_x	α_y	α_z			
			V_x	V_y	V_z						
Fixed	TF		N	V_x	V_y	None	None				
Longitudinally guided	TGe		N	V_y		Sliding	None	Limited	Deformation	Deformation	Deformation
Transversally guided	TGe		N	V_x		None	Sliding				
Free	TGa		N			Sliding	Sliding				

2.6 Struktur Bangunan Bawah Jembatan

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

2.6.1 Abutment

Abutment adalah suatu bangunan yang meneruskan semua beban baik beban hidup maupun beban mati dari bangunan atas dan tekanan tanah ke tanah pondasi. Seperti yang telah disebutkan beban yang diterima kepala jembatan antara lain beban bangunan atas dan tekanan tanah. Tekanan tanah aktif merupakan tekanan tanah yang membebani dinding penahan tanah dengan arah horizontal, apabila dinding penahan tanah digerakkan ke arah tanah irisan bagian belakang maka tekanan tanah akan meningkat perlahan-lahan sampai mencapai suatu harga tetap. Tekanan tanah pasif mempunyai tegangan horizontal yang arahnya berlawanan dengan tekanan tanah aktif.

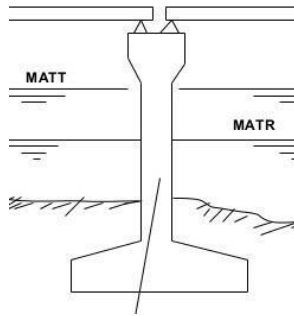


Gambar 2. 7 Abutment Jembatan
(Sumber: slideshare.net)

2.6.2 Pilar Jembatan (Pier)

Berbeda dengan abutment, yang selalu ada di setiap jembatan, maka pilar belum tentu ada di suatu konstruksi jembatan. Pilar merupakan suatu struktur yang berfungsi untuk membagi bentang suatu jembatan dan meneruskan beban struktur atas kepada pondasi.

Pada umumnya, pilar diletakkan ditengah bentang jembatan sehingga terkena pengaruh aliran sungai. Untuk menanggulangi masalah tersebut maka pada perencanaannya, direncanakan selain segi kekuatannya juga di lihat pula dari segi keamanannya.



Gambar 2. 8 Pilar Jembatan
(Sumber: slideshare.net)

2.6.3 Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas dan bangunan bawah ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya.

Untuk tujuan itu maka pondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang bekerja dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin dan gempa bumi.

a. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal digunakan apabila lapisan tanah pondasi yang telah diperhitungkan mampu memikul beban-beban di atasnya. Atau dengan kata lain abutment/pilar dapat memikul beban-beban yang terjadi sendiri.

b. Pondasi Dalam

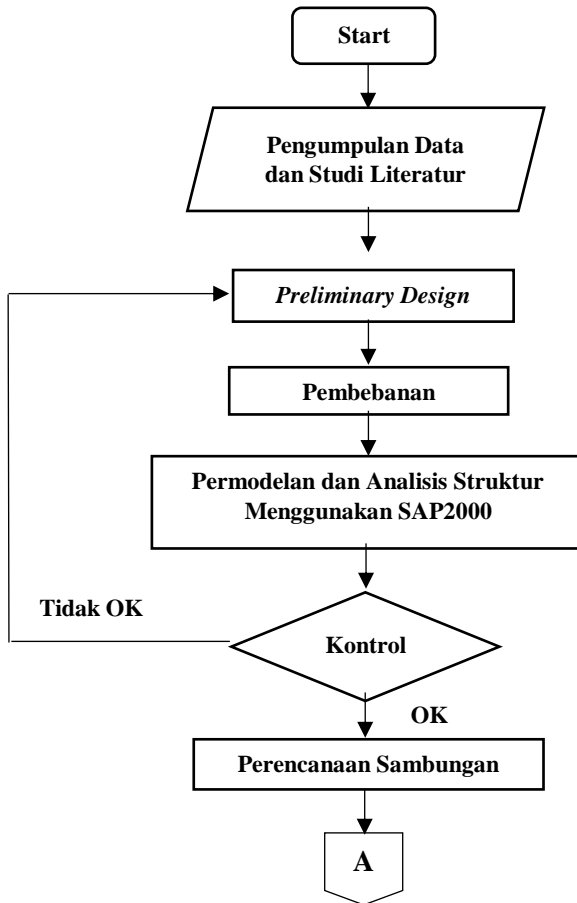
Pondasi dalam sering juga dinamakan pondasi tak langsung, alasannya ialah karena beban-beban yang akan diteruskan ke lapisan tanah yang mampu memikulnya, letak dalam dari tanah setempat, sehingga terlebih dahulu harus disalurkan melewati suatu konstruksi penerus yang disebut pondasi tiang pancang dan pondasi sumuran.

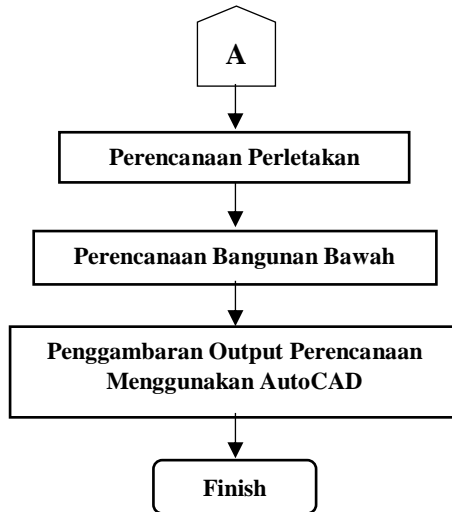
Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir

3.2 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Dari diagram alir di atas dapat dijelaskan metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

3.2.1 Pengumpulan Data

Data umum jembatan eksisting:

1. Nama Jembatan : Jembatan Kereta Api Lahor
2. Lokasi : Karangates, Kab. Malang, Jatim
3. Jenis Jembatan : Jembatan rangka baja terbuka dengan lantai kendaraan di atas
4. Panjang Jembatan : 160 m, terbagi menjadi 4 bentang dengan panjang masing-masing bentang 40 m
5. Lebar Jembatan : 5 m (satu track)
6. Letak Jembatan : > 5 km dari pantai
7. Zona Gempa : Zona Gempa Kab. Malang

Adapun dalam tugas akhir ini jembatan tersebut akan dimodifikasi perencanaannya dengan data-data perencanaan baru sebagai berikut:

1. Nama Jembatan : Jembatan Kereta Api Lahor
2. Lokasi : Karangates, Kab. Malang, Jatim
3. Jenis Jembatan : Jembatan busur rangka baja dengan lantai kendaraan di bawah
4. Panjang Jembatan : 160 m menerus dengan 2 pilar, terbagi menjadi 3 bentang dengan panjang masing-masing bentang 40m – 80m – 40m
5. Lebar Jembatan : 5 m (satu track)
6. Struktur Utama : Baja profil box
7. Jenis Pondasi : Bored Pile
8. Letak Jembatan : > 5 km dari pantai
9. Zona Gempa : Zona Gempa Kab. Malang

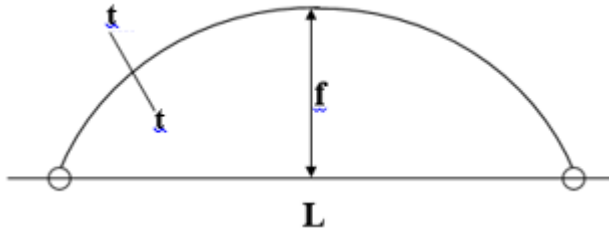
3.2.2 Studi Literatur

Melakukan studi terhadap literatur-literatur yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir yang dikerjakan mengenai perencanaan jembatan busur rangka baja dengan peruntukan sebagai jembatan kereta api.

3.2.3 Preliminary Design

Melakukan perkiraan dimensi awal dari elemen-elemen struktur, penentuan mutu bahan dan material struktur serta merencanakan dimensi profil yang dipakai dalam modifikasi perencanaan jembatan.

- Penentuan Dimensi Busur Rangka



Gambar 3. 2 Penentuan Dimensi Rangka Busur

- Tinggi Busur:

$$\text{Syarat: } \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad \text{atau} \\ 0.167 \leq \frac{f}{L} \leq 0.200 \quad (3.1)$$

Dimana:

f : tinggi busur (m)

L : bentang busur (m)

- Panjang Penggantung Busur

$$Y_n = \frac{4 f X (L-X)}{L^2} \quad (3.2)$$

Dimana :

Y_n : Panjang Penggantung Busur (m)

f : Tinggi Busur (m)

X : Jarak Horizontal Penggantung dari Penggantung Ujung (m)

L : Panjang Bentang Busur (m)

- Tinggi Tampang Busur

$$\text{Syarat: } \frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \quad (\text{rangka batang}) \quad (3.3)$$

Dimana :

t : Tinggi Tampang Busur (m)

L : Bentang Busur (m)

3.2.4 Pembebanan Pada Jembatan

Berdasarkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 (RM21) pembebanan yang berlaku pada struktur jembatan kereta api terdiri dari beban mati, beban hidup, beban kejut, beban horizontal, beban angin, dan beban gempa.

a. Beban Mati

Berat jenis bahan yang biasanya digunakan dalam perhitungan beban mati sebagaimana tersebut dalam Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Tabel Berat Jenis Beban Mati
(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012)

Baja, Baja Cor	78.50 kN/m ³
Besi Cor	72.50 kN/m ³
Kayu	8.00 kN/m ³
Beton	24.00 kN/m ³
Aspal Anti Air	11.00 kN/m ³
Ballast Gravel atau Batu Pecah	19.00 kN/m ³

b. Beban Kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Perhitungan untuk faktor i adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

- Untuk rel pada alas balas, $i = 0.1 + \frac{22.5}{50+L}$ (3.4)

- Untuk rel pada perletakan kayu, $i = 0.2 + \frac{25}{50+L}$ (3.5)

- Untuk rel secara langsung pada baja, $i = 0.3 + \frac{25}{50+L}$ (3.6)

Dimana:

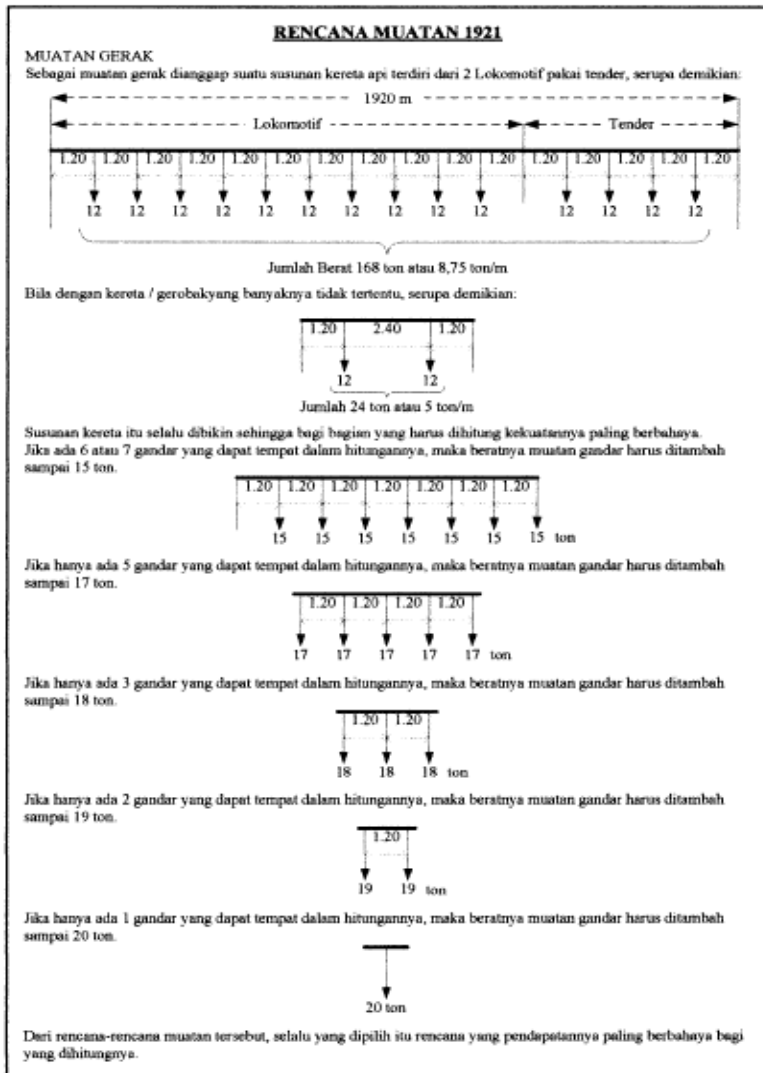
i : Faktor Kejut

L : Panjang Bentang (m)

c. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Untuk beban gandar sampai dengan 18 ton dapat digunakan skema rencana muatan 1921 (RM21) sebagaimana tersebut dalam Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Tabel Beban Gandar
(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012)



d. Beban Horizontal

- Beban Sentrifugal

Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor α terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horizontal.

$$\alpha = \frac{V^2}{127 \times R} \quad (3.7)$$

Dimana :

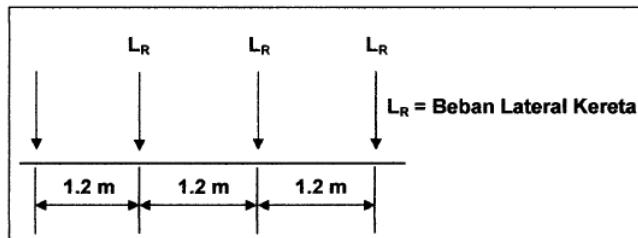
α : Koefisien Beban Sentrifugal

V : Kecepatan maksimum kereta pada tikungan (km/jam)

R : Radius Tikungan (m)

- Beban Lateral Kereta (L_R)

Beban lateral kereta adalah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah. Beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus aral rel, secara horizontal. Besarannya adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau kereta listrik/diesel.



Gambar 3. 3 Beban Lateral Kereta

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012)

- **Beban Pengereman dan Traksi**
Beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).
- **Beban Rel Panjang Longitudinal**
Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m, maksimum 2000 kN.

e. **Beban Angin**

Beban angin yang bekerja tegak lurus dengan rel, secara horizontal, tipikal nilainya adalah sebagai berikut:

- 3.0 kN/m² pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2.0 kN/m², pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
- 1.5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1.2 kN/m² untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau jembatan komposit, sedangkan 0.8 kN/m² untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

f. **Beban Gempa**

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (C_{SM}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formula yang merujuk pada persamaan dalam SNI 1725-2016 tentang pembebanan gempa untuk jembatan, sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{SM}}{R_d} \times Wt \quad (3.8)$$

Dimana :

- E_Q : Gaya Gempa Horizontal Statis (kN)
 C_{SM} : Koefisien Respon Gempa Elastis

Rd : Faktor Modifikasi Respon
Wt : Berat Total Struktur

Koefisien respon elastic (C_{SM}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektrum percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan.

g. Kombinasi Pembebanan

Perhitungan konstruksi jembatan dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar sesuai dengan tabel faktor beban berikut.

3.2.6 Kontrol Lendutan

Lendutan didefinisikan sebagai besaran penyimpangan (deflection) yang tidak boleh melebihi persyaratan koefisien terhadap panjang teoritis. Koefisien lendutan maksimum jembatan baja sebagaimana tersebut dalam Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Tabel Kontrol Lendutan
(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012)

Jenis	Gelagar			Rangka Batang	
	L (m)	L < 50	L ≥ 50		
Jenis Kereta		L / 800	L / 700	Seluruh Rangka	
Lokomotif		L / 800	L / 700	L / 1000	
Kereta Listrik dan/atau Kereta	V (km/h)	V < 100	L / 700		
		100 < V ≤ 130	L / 800	L / 700	
		100 < V ≤ 130	L / 1100	L / 900	

3.2.7 Kontrol Terhadap Gaya Dalam

- **Kontrol Kapasitas Tarik**

Mencari angka kelangsingan :

$$\lambda = \frac{L}{i} \quad (3.9)$$

Untuk struktur utama: $\lambda_{max} \leq 240$

Untuk struktur utama: $\lambda_{max} \leq 300$

Batas kekuatan leleh (pada tengah bentang) :

$$P_u \leq \phi f_y A_g \quad \phi = 0,90 \quad (3.10)$$

Batas kekuatan putus (pada daerah sambungan) :

$$P_u \leq \phi f_u A_e \quad \phi = 0,75 \quad (3.11)$$

Dimana:

A_g = Luasan penampang utuh (*gross*)

A_e = Luasan penampang efektif

f_y = Tegangan leleh bahan

f_u = Tegangan putus bahan

- **Kontrol Kapasitas Tekan**

Mencari angka kelangsingan :

$$\lambda = \frac{Kc \times L}{i} \quad (3.12)$$

Menghitung angka tekuk elastis :

$$Ncr = \frac{f_y \times A_g}{\lambda^2} \quad (3.13)$$

Menghitung parameter kelangsingan batang baja :

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (3.14)$$

$$\omega = 1 \quad (\lambda_c \leq 0.25) \quad (3.15)$$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67\lambda_c} \quad (0.25 < \lambda_c < 1.2) \quad (3.16)$$

$$\omega = 1.25\lambda_c^2 \quad (\lambda_c \geq 1.2) \quad (3.17)$$

Kuat Nominal:

$$P_n = A_g \frac{f_y}{\omega} \quad (3.18)$$

$$\text{Syarat Kuat Rencana:} \quad \phi P_n > P_u ; \phi = 0.85 \quad (3.19)$$

- **Kontrol Lokal Buckling**

$$\text{Sayap:} \quad \frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (3.20)$$

$$\text{Badan: } \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \quad (3.21)$$

- **Kontrol Kapasitas *Lateral Buckling***

L_B = Jarak penahan lateral

$$L_P = 1.76 \times iy \times \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (3.22)$$

$$L_R = iy \times \left(\frac{x_1}{fy - fr} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 \cdot f_L^2)}} \quad (3.23)$$

Dimana:

$L_B < L_R$ (bentang pendek)

$L_P \leq L_B \leq L_R$ (bentang menengah)

$L_B > L_R$ (bentang panjang)

- **Kontrol Kapasitas Lentur**

$$Cb = \frac{12.5M_{max}}{(2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C)} \leq 2.30 \quad (3.24)$$

Kuat nominal lentur penampang

Bentang pendek: $M_n = M_p$

Bentang menengah:

$$M_n = C_b \times \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \leq M_P \quad (3.25)$$

Bentang panjang: $M_n = M_{cr}$

- **Kontrol Kapasitas Geser**

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

$$V_n = 0.9 \times 0.6 \times A_w > V_u \quad (3.27)$$

Cek Kapasitas

$$\frac{Pu}{\phi P_n} + \frac{8\phi M_{ux}}{9\phi M_{nx}} + \frac{8\phi M_{uy}}{9\phi M_{uy}} < 1 \quad (3.28)$$

3.2.8 Perhitungan Sambungan Baut

- **Sambungan Baut Tipe Geser**

$$\text{Kuat Geser (Vd)} = \emptyset \times f_s^b \times A_b \times m \quad (3.29)$$

$$\text{Kuat Tumpu (Rd)} = \emptyset \times 2.4 \times d_b \times t_p \times f_t^b \times A_b \quad (3.30)$$

$$\text{Kuat Tarik (Td)} = \emptyset \times f_t^b \times A_b \quad (3.31)$$

- **Sambungan Baut Tipe Gesek**

$$\text{Kuat Geser Nominal (Vn)} = 1.13 \times \mu \times m \times T_b \quad (3.32)$$

- **Jumlah Baut Perlu**

$$n = \frac{Vu}{Vd} \quad (3.33)$$

3.2.9 Perencanaan Perletakan

Sebagaimana umumnya jembatan bentang panjang, perletakan yang dimiliki harus mempunyai kemampuan menahan gaya yang besar. Tipe perletakan mekanik *pot bearing* umumnya digunakan pada jembatan bentang panjang.

3.2.10 Perencanaan Bangunan Bawah

a. Perencanaan Abutment

Pada tanah dibagian belakang dinding penahan harus diperhitungkan ada beban tambahan yang bekerja akibat beban lalu lintas di atas tanah, besar beban lalu lintas tersebut setara dengan tanah setebal 0,6 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut.

Nilai dari koefisien tanah dapat dicari menggunakan rumus:

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{\emptyset}{2} \right) \quad (3.34)$$

dimana harga \emptyset dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3. 5 Harga \emptyset untuk tiap jenis tanah

Macam Tanah	\emptyset (dalam $^{\circ}$)
Kerikil pasiran	35-40
Kerikil kerakal	35-40
Pasir padat	35-40
Pasir lepas	30
Lempung kelanauan	25-30
Lempung	20-25

b. Kapasitas Daya Dukung Pondasi *Bored Pile*

Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan split spoon ke dalam tanah. Dengan percobaan ini maka diperoleh kepadatan relative (*relative density*), sudut geser tanah (Φ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). kapasitas daya dukung pondasi bore pile pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

- Daya dukung Ujung Tiang
Daya dukung ultimit pada ujung bored pile dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_p = q_p \cdot A \quad (3.35)$$

Dimana :

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)

q_p = tahanan ujung per satuan luas (ton/m²)

A = luas penampang bored pile (m²)

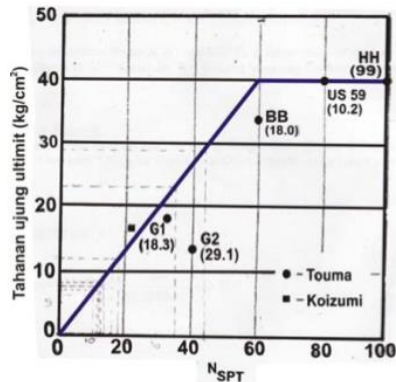
Pada tanah kohesif besar tahanan ujung per satuan luas (q_p) dapat diambil sebesar 9 kali kuat geser tanah. Sedangkan pada tanah non kohesif, Reese mengusulkan

korelasi antara q_p dengan N_{SPT} . Untuk tanah kohesif :

$$q_p = 9 \cdot C_u \quad (3.36)$$

$$C_u = \frac{2}{3} \cdot N \cdot SPT \cdot 10 \quad (3.37)$$

Reese & Wright mengusulkan korelasi antara q_p dan N_{SPT} seperti terlihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 3. 4 Grafik korelasi antara q_p dan N_{SPT} (Reese & Wright)

Dimana :

Untuk $N < 60$ maka $q_p = 7N$ (t/m^2) < 400 (t/m^2)

Untuk $N > 60$ maka $q_p = 400$ (t/m^2)

N adalah nilai rata – rata SPT

Untuk tanah non kohesif rumus yang digunakan adalah

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \cdot A_p \\ &= 7N \cdot A_p \end{aligned} \quad (3.38)$$

$$\text{Dimana, } N = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (3.39)$$

- Daya Dukung Selimut Tiang
Perhitungan daya dukung selimut tiang pada tanah homogen dapat dituliskan dalam bentuk :

$$Q_s = f \cdot L \cdot p \quad (3.40)$$

Dimana :

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

f = gesekan selimut tiang (ton/m²)

L = panjang tiang (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Bila bored pile terletak pada tanah yang berlapis, maka formula tersebut dapat dimodifikasi sebagai berikut :

$$Q_s = \sum f_s \cdot l \cdot p \quad (3.41)$$

Dimana :

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

f_s = gesekan selimut tiang (t/m²)

l = panjang tiang (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Nilai L dan p untuk perhitungan diatas diperoleh dari data tiang yang akan digunakan, sedangkan untuk nilai f diperoleh dari perhitungan menggunakan metode Reese & Wright (1977). Gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah. Untuk tanah kohesif dan non kohesif dapat dihitung dengan menggunakan formula :

$$f = \alpha \cdot C_u \quad (3.42)$$

Dimana :

α = Faktor adhesi berdasarkan penelitian Resse & Wright (1977)

$\alpha = 0,55$

C_u = Kohesi tanah (ton/m^2)

Pada tanah non kohesif :

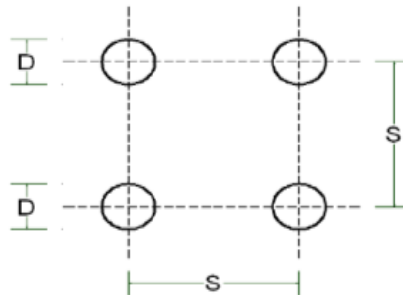
Untuk $N < 53$ maka $f = 0,32 N$ (ton/m^2)

Untuk $53 < N < 100$ maka f diperoleh dari korelasi langsung dengan NSPT (Resse & Wright)

c. Efisiensi Kelompok Tiang

Berikut adalah metode-metode dalam perhitungan efisiensi tiang:

- Metode Confere-Labare



Gambar 3. 5 Definisi s dalam gambar

dimana :

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

m = Jumlah baris tiang

D = Diameter tiang

Maka persamaannya adalah :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.43)$$

dimana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang(%)

m = Jumlah baris tiang

- n = Jumlah tiang dalam satu baris
 θ = Arc tg D/S, dalam derajat

- Metode Los Angeles

$$Eg = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \quad (3.44)$$

dimana :

- Eg = Efisiensi grup tiang
 n = Jumlah tiang dalam 1 baris
 m = Jumlah baris tiang
 D = Diameter tiang

- Metode Seiler – Keeney

$$\eta = \left\{ 1 - \left[\frac{11s}{7(s^2-1)} \right] \left[\frac{m+n-2}{m+n-1} \right] \right\} + \frac{0.3}{m+n} \quad (4.45)$$

dimana :

- η = Effisiensi grup tiang
 n = Jumlah tiang dalam 1 baris
 m = Jumlah baris tiang
 s = Jarak antar tiang (as ke as)

Selain menggunakan perhitungan menggunakan nilai efisiensi di atas, berdasarkan pengalaman beberapa peneliti juga menyarankan bahwa perilaku grup tiang di atas tanah pasir mengikuti beberapa ketentuan berikut :

1. Untuk tiang pancang dengan jarak antar pile, pusat ke pusat, $s > 3d$ maka besar Q_g adalah sebesar $\sum Q_a$.
2. Sedangkan untuk bored pile dengan jarak antar

pile, $s \approx 3d$ maka besar Q_g diambil sebesar $\frac{2}{3}$ sampai $\frac{3}{4}$ dari $\sum Q_a$.

Beban maksimum :

$$Q_i = \frac{v}{n} \pm \frac{M_y X_i}{\sum X^2} \pm \frac{M_x Y_i}{\sum Y^2} \quad (4.46)$$

Q_i = Gaya pada tiang
 X = Absis tiang terhadap titik berat
 Y = Ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang
 $\sum X^2$ & $\sum Y^2$ = Jumlah kuadrat absis dan ordinat tiang

- Metode Feld

Metode ini mereduksi daya dukung setiap tiang pada kelompok tiang dengan $1/n$ untuk setiap tiang yang berdekatan dan tidak memperhitungkan jarak tiang, akan tetapi untuk jarak antar tiang $S \geq 3$ maka tiang yang bersebelahan itu diasumsikan tidak berpengaruh terhadap tiang-tiang yang ditinjau.

$$Eff \text{ tiang} = 1 - \frac{\text{jumlah tiang yang mengelilingi}}{\text{jumlah tiang}} \quad (3.47)$$

Total eff tiang = jumlah tiang yang ditinjau x eff tiang

$$Eff \text{ tiap tiang} = \frac{\text{total eff tiang}}{\eta} \quad (4.48)$$

Jadi daya dukung tiap tiang menurut Feld :

Daya dukung = eff tiang x P_n

Dimana :

P_n = daya dukung tiang tunggal

h = jumlah tiang pancang

3.2.11 Penggambaran Output Desain Menggunakan AutoCAD

Setelah didapat hasil perencanaan dan analisis yang memenuhi standar dan kontrol maka output desain dapat digambar dengan program AutoCAD

BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Perencanaan Struktur Sekunder

4.1.1 Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan

Untuk perencanaan balok memanjang ini menggunakan baja dengan mutu BJ 41, dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Tegangan Leleh (f}_y\text{)} = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan Ultimate (f}_u\text{)} = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = 200000 \text{ MPa}$$

Untuk perencanaan gelagar memanjang digunakan profil WF 300 x 200 x 12 x 8. Data detail profil adalah sebagai berikut:

$$A = 72,34 \text{ cm}^2 \quad g = 56,8 \text{ kg/m} \quad d = 294 \text{ mm} \quad bf = 200 \text{ mm}$$

$$tf = 12 \text{ cm} \quad tw = 8 \text{ cm} \quad ix = 12,5 \text{ cm} \quad iy = 4,71 \text{ cm}$$

$$I_x = 11300 \text{ cm}^4 \quad I_y = 1600 \text{ cm}^4 \quad Z_x = 823 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 244 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 771 \text{ cm}^3 \quad S_y = 160 \text{ cm}^3 \quad r = 18 \text{ mm}$$

$$h = 294 - 2 \cdot (12+18) = 234 \text{ mm}$$

4.1.1.1 Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan

a. Beban Mati

- Bantalan Rel

Dimensi bantalan rel mengacu pada sub bab 2.3.3

$$W = p \times l \times t \times x$$

$$W = 2 \cdot 0,26 \cdot 0,22 \cdot 2400 = 274,56 \text{ kg/buah}$$

$$\text{Jarak antar bantalan} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Panjang jembatan} = 160 \text{ m}$$

$$Q \text{ bantalan} = \frac{w \times \text{jumlah bantalan}}{L \text{ jembatan}}$$

$$= \frac{274,56 \times \left(\frac{160}{0,6}\right)}{160}$$

$$= 230 \text{ kg/m}$$

- Rel Kereta
Untuk perencanaan ini digunakan rel dengan tipe R60 dengan data seperti yang terlampir pada tabel berikut:
Berdasarkan tabel maka Q rel sebesar 60,34 kg/m

Tabel 4. 1 Tipe Rel Yang Digunakan

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A	= luas penampang			
W	= berat rel per meter			
I _x	= momen inersia terhadap sumbu x			
Y _b	= jarak tepi bawah rel ke garis netral			

$$Q_D \text{ Total} : Q \text{ Bantalan} + Q \text{ Rel} = 230 + 60.34 = 290,34 \text{ kg/m}$$

b. Beban Hidup Gandar

Pada perencanaan ini digunakan beban berjalan berupa beban gandar kereta yang terdiri dari beban gandar lokomotif dan beban gandar gerbong. Besaran beban dan jarak antar beban yang digunakan seperti yang tercantum di gambar dibawah ini. Sedangkan jumlah gerbong digunakan dalam perhitungan yaitu sebanyak 8 buah gerbong.



Gambar 4. 1 Beban Gandar yang Digunakan

Dari konfigurasi lokomotif ditambah dengan 8 buah rangkaian gerbong maka didapat panjang total rangkaian kereta adalah 57,6 m. Lalu didapat total beban kereta sebesar

$$Q_{\text{kereta}} = \frac{12 \text{ ton} \times 30 \text{ gandar}}{\text{panjang bentang kereta } 57,6 \text{ m}} = 6,25 \text{ ton/m}$$

c. Beban Kejut

Beban kejut merupakan beban yang bekerja pada rel dan sejalan dengan beban gandar. Beban kejut didapat dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Berikut ini adalah besaran beban kejut yang digunakan dalam perencanaan ini:

- a. untuk rel pada alas balas $i = 0.1 + \frac{22.5}{50 + L}$
- b. untuk rel pada Perletakan kayu $i = 0.2 + \frac{25}{50 + L}$
- c. untuk rel secara langsung pada baja $i = 0.3 + \frac{25}{50 + L}$

dimana i = faktor kejut, L = panjang bentang (m)

Gambar 4. 2 Faktor i Beban Kejut

Beban Kereta (Lokomotif dan Gerbong) = 12 ton

$$\text{Faktor } i = 0,3 \cdot \frac{25}{50+L} = 0,3 \cdot \frac{25}{50+80} = 0,419$$

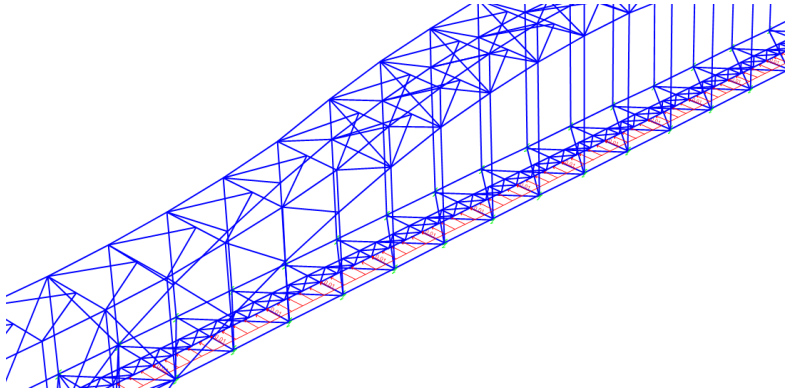
Beban Kejut = i x beban kereta = 12 ton x 0,419 = 5,029 ton

d. Beban Lateral

Beban lateral merupakan beban berjalan sejalan dengan kereta yang bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel secara horizontal. besarnya adalah sebesar 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau gerbong.

Q rangkaian kereta = 6,25 ton/m

Beban Lateral = 20% x 6,25 ton = 1,25 ton/m



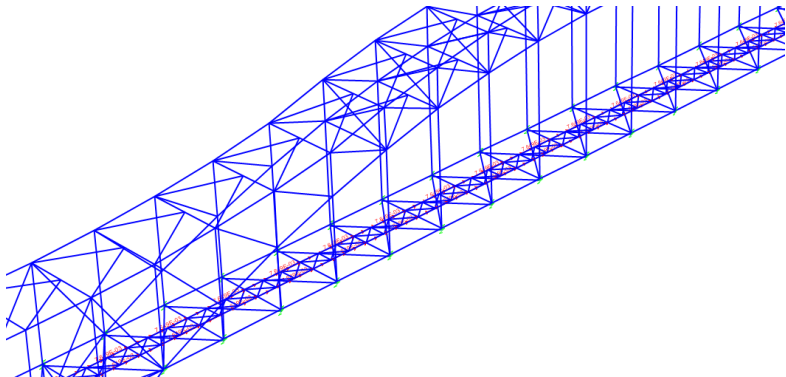
Gambar 4. 3 Beban Lateral Pada Permodelan SAP2000

e. Beban Pengereman dan Traksi

Beban pengereman dan traksi adalah sebesar 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

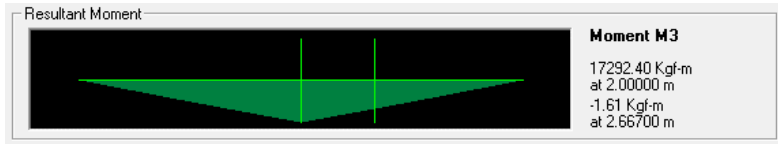
Q Rangkaian Kereta = 6,25 ton/m

Beban Rem dan Traksi = 25% x 6,25 ton = 1,56 ton/m



Gambar 4. 4 Beban Rem Pada Permodelan SAP2000

4.1.1.2 Kontrol Profil Gelagar Memanjang



Gambar 4. 5 Momen Pada Balok Memanjang

$$Mu = 17292,4 \text{ kgm}$$

a. Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang:

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

$$\frac{200}{2.12} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} \quad 8,33 < 10,75 \quad \text{OK}$$

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

$$\frac{234}{8} \leq \frac{1680}{\sqrt{250}} \quad 29,25 < 106,25 \quad \text{OK}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$M_n = Z_x \cdot F_y$$

$$= 823 \cdot 2500 = 2057500 \text{ kgcm} = 20575 \text{ kgm}$$

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

$$= 0,9 \cdot 20575$$

$$= 18517,5 \text{ kgm} > Mu = 17292,4 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

b. Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 133,33 \text{ cm}$$

$$L_P = 1,76 \cdot iy \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 \cdot 4,71 \cdot \sqrt{\frac{200000}{2500}} = 234,46 \text{ cm}$$

Karena $L_B = 133,33 \text{ cm} < L_P = 234,46 \text{ cm}$ maka Bentang Pendek.

$$M_n = M_p$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 823 \cdot 2500 = 2057500 \text{ kgcm} = 20575 \text{ kgm} \end{aligned}$$

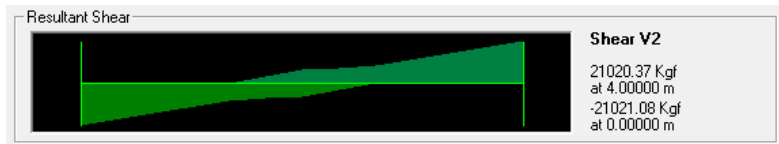
$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 20575 \\ &= 18517,5 \text{ kgm} > M_u = 17148,34 \text{ kgm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

c. Kuat Rencana Geser

Kontrol penampang :

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

$$\frac{234}{8} \leq \frac{1100}{\sqrt{250}} \quad 29,25 \leq 69,57 \quad \text{OK}$$



Gambar 4. 6 Gambar Gaya Geser Pada Balok Memanjang

$$V_u = 21021,08 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot f_y \cdot (h \cdot tw) \\ &= 0,6 \cdot 2500 \cdot 18,72 = 28080 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$21021,08 \text{ kg} \leq 28080 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

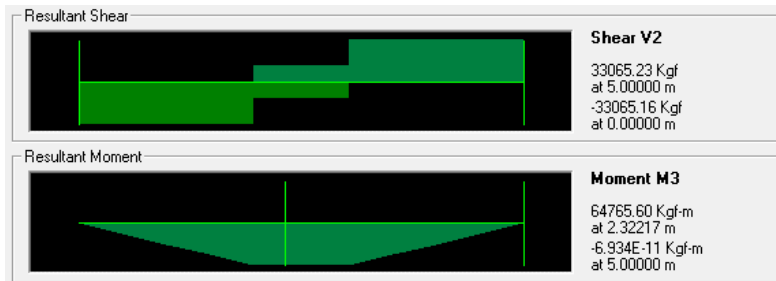
4.1.2 Perencanaan Gelagar Melintang Jembatan

Balok melintang direncanakan dengan menggunakan BJ 41 profil WF 600 x 300 x 12 x 20

Data detail profil :

$$\begin{aligned}
 A &= 192,5 \text{ cm}^2 & g &= 151 \text{ kg/m} & d &= 5880 \text{ mm} & bf &= 300 \text{ mm} \\
 tf &= 20 ; tw &= 12 & ix &= 24,8 \text{ cm} & iy &= 6,85 \text{ cm} & Ix &= 118000 \text{ cm}^4 \\
 Iy &= 9020 \text{ cm}^2 & Zx &= 4309 \text{ cm}^3 & Zy &= 920 \text{ cm}^3 & r &= 28 \text{ mm} \\
 h &= 600 - 2(20 + 28) = 492 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.1.2.1 Kontrol Profil Gelagar Melintang



Gambar 4. 7 Gaya Pada Balok Melintang

$$V_u = 33065,23 \text{ kg}$$

$$M_u = 64765,6 \text{ kgm}$$

a. Kuat Rencana Momen Lentur

Kontrol Penampang:

$$\begin{aligned}
 \text{Sayap : } \frac{bf}{2tf} &\leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \\
 \frac{300}{2.30} &\leq \frac{170}{\sqrt{250}} & 7,5 < 10,75 & \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

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

$$\frac{492}{12} \leq \frac{1680}{\sqrt{250}} \quad 41 < 106,25 \quad \mathbf{OK}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 4309 \cdot 2500 = 10772500 \text{ kgcm} = 107725 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 107725 \\ &= 96952,5 \text{ kgm} > M_u = 64765,6 \text{ kgm} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

b. Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 196,65 \text{ cm}$$

$$L_P = 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 6,85 \cdot \sqrt{\frac{200000}{2500}} = 340,96 \text{ cm}$$

Karena $L_B = 196,65 \text{ cm} < L_P = 340,96 \text{ cm}$ maka Bentang Pendek.

$M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 4309 \cdot 2500 = 10772500 \text{ kgcm} = 107725 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 107725 \\ &= 96952,5 \text{ kgm} > M_u = 64765,6 \text{ kgm} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

c. Kuat Rencana Geser

Kontrol penampang :

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

$$\frac{492}{12} \leq \frac{1100}{\sqrt{250}} \quad 41 \leq 69,57 \quad \mathbf{OK}$$

$$V_u = 32420 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot f_y \cdot (h \cdot t_w) \\
 &= 0,6 \cdot 2500 \cdot 59,04 = 88560 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_n \\
 33065,23 \text{ kg} &\leq 88560 \text{ kg} \qquad \qquad \qquad \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.2 Desain Struktur Utama Jembatan Busur

4.2.1 Preliminary Design Busur Rangka Baja

Konstruksi pemikul utama (struktur busur) merupakan konstruksi pokok yang menerima seluruh beban jembatan sebelum diteruskan ke tumpuan (perletakan). Bentuk konstruksi utama yang dipilih adalah sesuai dengan kriteria yang ada pada Bab I, yaitu konstruksi busur rangka baja dengan batang tarik.

Langkah awal dalam perencanaan jembatan busur adalah dengan melakukan *preliminary design*. Tujuan dari *preliminary design* adalah untuk menentukan dimensi awal busur, yang meliputi tinggi busur (f), tinggi tampang busur (t), lebar jembatan (b) dan panjang penggantung busur (y).

4.2.1.1 Tinggi Fokus Busur Rangka (f)

$$\text{syarat : } \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \qquad \text{atau} \qquad 0,167 \leq \frac{f}{L} \leq 0,200$$

f : tinggi busur

L : bentang busur

Dengan $L = 80\text{m}$, maka dipakai $f = 15 \text{ m}$

$$\frac{f}{L} = \frac{15}{80} = 0,187$$

$$0,167 \leq 0,187 \leq 0,200 \qquad \qquad \qquad \text{OK}$$

4.2.1.2 Tinggi Tampang Busur Rangka (t)

syarat : $\frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25}$ (rangka batang)

t : tinggi tampang busur

L : bentang busur

Dipakai $t = 2,5$ m

$$\frac{t}{L} = \frac{2,5}{80} = 0,0312$$

$$0,025 \leq 0,0312 \leq 0,04$$

OK

4.2.1.3 Lebar Busur Rangka Jembatan

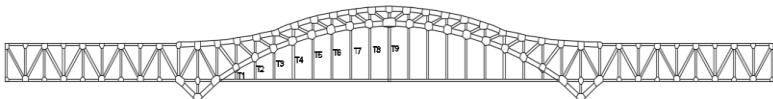
Syarat : $\frac{b}{L} \geq \frac{1}{20}$

b : lebar jembatan (jarak perletakan kiri-kanan paling luar)

dipakai $b = 5$ m , $\frac{5}{80} = 0,0625 > 0,05$ **OK**

4.2.1.4 Panjang Batang Penggantung Busur Baja

Berikut ini adalah panjang dari penggantung busur yang direncanakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.\



Gambar 4. 8 Sketsa Konstruksi Rangka Pemikul Utama

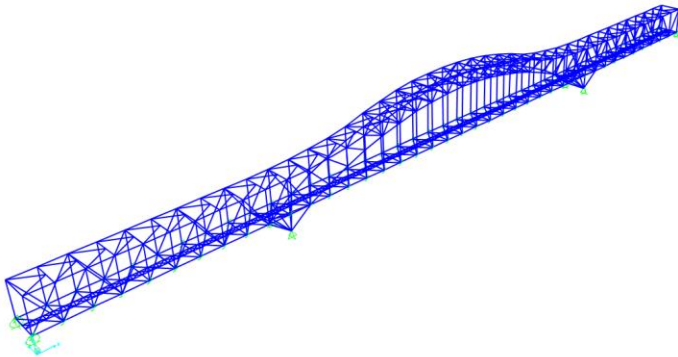
Tabel 4. 2 Tabel Panjang Penggantung Busur Jembatan

Titik	Yn (m)
0	0
1	2.07
2	3.85
3	5.36
4	6.62
5	7.64
6	8.43
7	9
8	9.36
9	9.5

4.2.2 Permodelan Struktur Jembatan Busur 3 Dimensi (3-D)

Pemodelan struktur tugas akhir ini adalah jembatan dengan tipe busur baja. Struktur yang direncanakan jembatan busur baja yang memiliki panjang bentang jembatan terbagi menjadi tiga bentang yakni bentang jembatan busur 80 meter dan bentang jembatan menerus di kedua sisi masing-masing 40 meter, ketinggian 15 meter, dan lebar lantai kendaraan 5 meter.

Permodelan struktur jembatan busur rangka baja pada tugas akhir ini dilakukan menggunakan program bantu SAP 2000. Pada program SAP 2000, struktur jembatan busur akan dimodelkan sesuai dengan kondisi yang nyata. Program ini akan membantu dalam beberapa perhitungan yang akan digunakan untuk mengecek apakah struktur sudah memenuhi persyaratan yang ada.



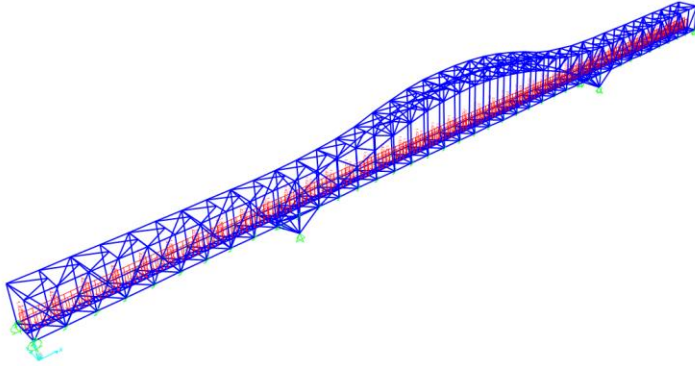
Gambar 4. 9 Permodelan 3 Dimensi Jembatan Busur Lahor

4.2.2.1 Pembebanan Struktur Utama

Berdasarkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 (RM21) pembebanan yang berlaku pada struktur jembatan kereta api terdiri dari beban mati, beban hidup, beban kejut, beban horizontal, beban angin, dan beban gempa.

a. Beban Mati

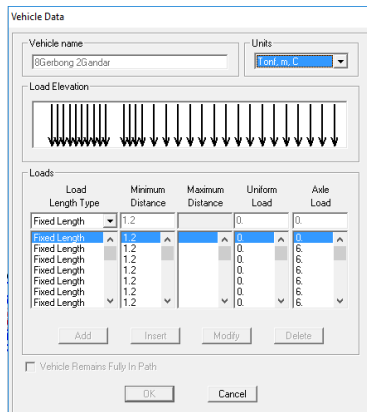
Perhitungan beban mati sebagaimana telah dijabarkan dalam pembebanan gelagar memanjang sebelumnya. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000.



Gambar 4. 10 Permodelan Beban Mati pada Jembatan Busur Lahor

b. Beban hidup

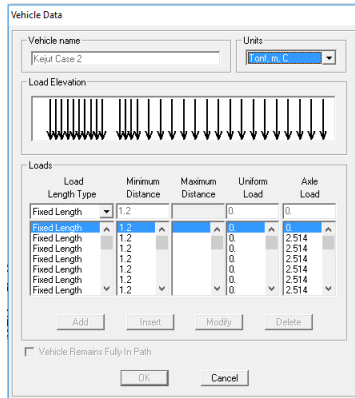
Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar berjalan sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000.



Gambar 4. 11 Permodelan *Moving Loads* Kereta pada Jembatan Busur Lahor

c. Beban Kejut

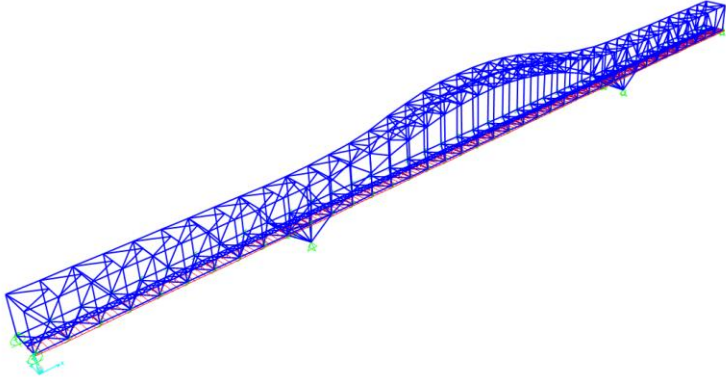
Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000.



Gambar 4. 12 Permodelan *Moving Loads* Kejut pada Jembatan Busur Lahor

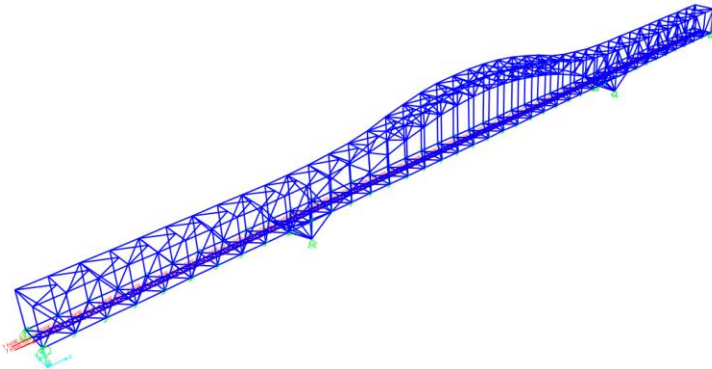
d. Beban Horizontal

- **Beban Lateral Kereta (L_R)**
Beban lateral kereta adalah beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus aral rel, secara horizontal. Besarannya adalah 15% atau 20% dari beban gandar. Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000.



Gambar 4. 13 Permodelan Beban Lateral pada Jembatan Busur Lahor

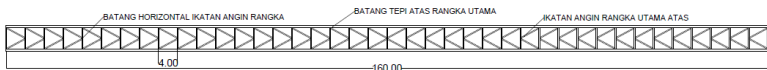
- **Beban Pengereman dan Traksi**
Beban pengereman dan traksi adalah 25% dari beban kereta, bekerja secara longitudinal ke arah rel.
Berikut ini adalah skema pembebanannya dalam program SAP2000.



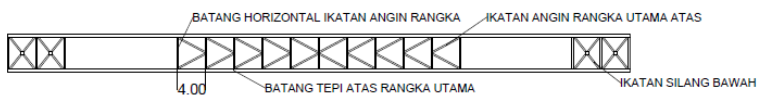
Gambar 4. 14 Permodelan Beban Rem dan Traksi pada Jembatan Busur Lahor

e. Beban Angin

Jembatan busur Lahor ini dirancang dengan ikatan angin ganda pada rangka busur utamanya. Desain ikatan angin pada rangka tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. 15 Ikatan Angin Busur Atas Jembatan



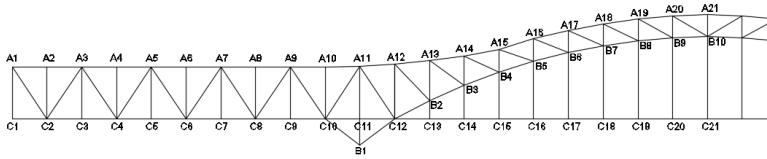
Gambar 4. 16 Ikatan Angin Busur Bawah Jembatan



Gambar 4. 17 Ikatan Angin Lantai Kendaraan

Pada perhitungan beban angin, beban yang bekerja adalah berupa beban terpusat arah melintang horizontal yang terjadi pada setiap titik simpul jembatan. Besaran beban yang bekerja pada setiap titik simpul berbeda-beda tergantung dari luasan profil yang terkait dengan titik simpul yang bersangkutan, karena koefisien beban angin yang tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 adalah berupa beban angin per satuan luas. Koefisien beban anginnya adalah sebagai berikut:

- 3.0 kN/m^2 pada areal proyeksi jembatan tanpa kereta di atasnya.
- 1.5 kN/m^2 pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya.



Gambar 4. 18 Penamaan Titik Simpul pada Jembatan

Contoh Perhitungan Beban Angin pada Titik Simpul A1

Batang-batang yang mengapit simpul A1:

- Batang Tepi Atas Segmen 1
 $D = 0,5 \text{ m}$ $L = 2 \text{ m}$
- Batang Diagonal Segmen 1
 $D = 0,5 \text{ m}$ $L = 3,6 \text{ m}$
- Batang Vertikal Segmen 1
 $D = 0,5 \text{ m}$ $L = 3 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Luas total profil pada simpul (A)} & \\ &= (D1 \cdot L1) + (D2 \cdot L2) + (D3 \cdot L3) \\ &= (0,5 \cdot 2) + (0,5 \cdot 3,6) + (0,5 \cdot 3) \\ &= 4,3 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya angin tanpa kereta (W1)} &= A \times 3 \text{ kN/m}^2 \\ &= 4,3 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ kN/m}^2 \\ &= 12,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

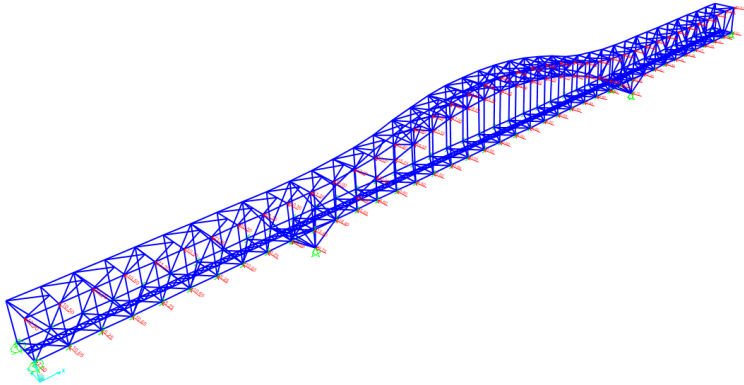
$$\begin{aligned} \text{Gaya angin dengan kereta (W2)} &= A \times 3 \text{ kN/m}^2 \\ &= 4,3 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ kN/m}^2 \\ &= 6,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan hasil rekap perhitungan beban angin yang terjadi pada masing-masing titik simpul pada Jembatan Lahor.

Tabel 4. 3 Beban Angin yang Terjadi pada Titik Simpul

Titik Simpul	Tinggi profil	Panjang Profil pada Simpul (m)	A total	W1	W2
	m		m ²	kN	kN
A1	0.5	8.6	4.3	12.9	6.45
A2	0.5	7	3.5	10.5	5.25
A3	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
A4	0.5	7	3.5	10.5	5.25
A5	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
A6	0.5	7	3.5	10.5	5.25
A7	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
A8	0.5	7	3.5	10.5	5.25
A9	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
A10	0.5	7	3.5	10.5	5.25
A11	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
A12	0.5	10	5	15	7.5
A13	0.5	8.8	4.4	13.2	6.6
A14	0.5	8	4	12	6
A15	0.5	7.6	3.8	11.4	5.7
A16	0.5	7.6	3.8	11.4	5.7
A17	0.5	7.6	3.8	11.4	5.7
A18	0.5	7.6	3.8	11.4	5.7
A19	0.5	7.5	3.75	11.25	5.625
A20	0.5	7.6	3.8	11.4	5.7
A21	0.5	5.25	2.625	7.875	3.9375
B1	0.5	6.5	3.25	9.75	4.875
B2	0.5	10.7	5.35	16.05	8.025
B3	0.5	10.4	5.2	15.6	7.8
B4	0.5	10.5	5.25	15.75	7.875

B5	0.5	10.9	5.45	16.35	8.175
B6	0.5	11.4	5.7	17.1	8.55
B7	0.5	11.7	5.85	17.55	8.775
B8	0.5	12	6	18	9
B9	0.5	12.2	6.1	18.3	9.15
B10	0.5	14.6	7.3	21.9	10.95
C1	0.5	5	2.5	7.5	3.75
C2	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
C3	0.5	7	3.5	10.5	5.25
C4	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
C5	0.5	7	3.5	10.5	5.25
C6	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
C7	0.5	7	3.5	10.5	5.25
C8	0.5	14.2	7.1	21.3	10.65
C9	0.5	7	3.5	10.5	5.25
C10	0.5	16.7	8.35	25.05	12.525
C11	0.5	8.5	4.25	12.75	6.375
C12	0.5	15.53	7.765	23.295	11.6475
C13	0.5	4	2	6	3
C14	0.5	4	2	6	3
C15	0.5	4	2	6	3
C16	0.5	4	2	6	3
C17	0.5	4	2	6	3
C18	0.5	4	2	6	3
C19	0.5	4	2	6	3
C20	0.5	4	2	6	3
C21	0.5	4	2	6	3



Gambar 4. 19 Permodelan Beban Angin pada Jembatan Busur Lahor

f. Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (C_{SM}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formula yang merujuk pada persamaan dalam SNI 1725-2016 tentang pembebanan gempa untuk jembatan.

4.2.2.2 Kombinasi Pembebanan pada Jembatan Kereta

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan ini mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 (RM21) tentang jembatan kereta api.

Tabel 4. 4 Faktor Beban

(Sumber: Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jembatan Baja)

No Kombinasi Pembebanan	Faktor									
	Beban Tetap	Beban Transien								
	D	L	I (Lxi)	C (Lxo)	L _R	L _F	B	W ₁	W ₂	E
1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0					
2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0			1.0	
3	1.0	1.1			1.0		1.0		1.0	
4	1.0							1.2		
5					1.0		1.1			
6						1.1			1.0	
7							1.1		1.0	
8	1.0	1.0		1.0						1.0
9										1.0
10	1.0	1.0		1.0						

dimana : D = Beban Mati

L = Beban Hidup

I = (L x i) = Beban Kejut

C = (L x α) = Beban Centrifugal

L_R = Beban Rel Panjang LongitudinalL_F = Beban Lateral

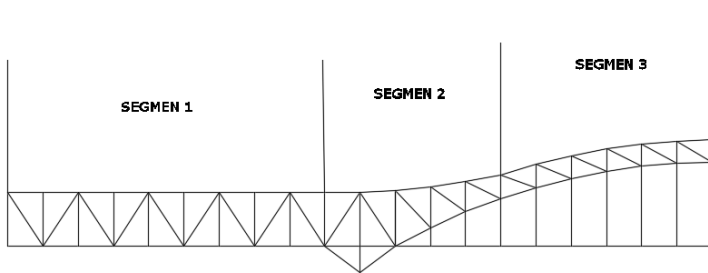
B = Beban Pengereman dan Traksi

W₁ = Beban Angin (Tanpa Kereta)W₂ = Beban Angin (Dengan Kereta)

E = Beban Gempa

4.2.2.3 Desain Profil Rangka Utama Jembatan Busur

Pembagian segmen pada perhitungan gaya aksial batang dianggap sebagai wakil dari batang-batang lainnya pada segmen tersebut. Untuk pembagian segmen jembatan bisa dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 20 Pembagian Segmen pada Jembatan

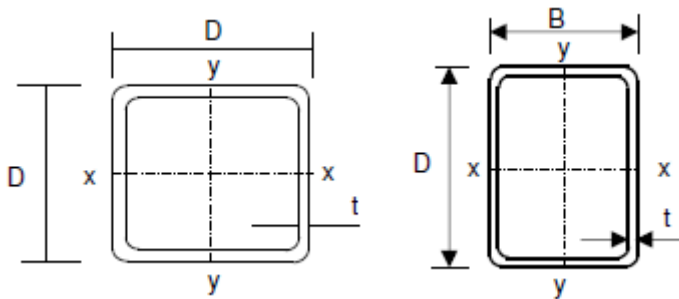
Berikut merupakan lampiran hasil rekapitulasi gaya-gaya aksial maksimum yang terjadi pada struktur rangka utama jembatan busur yang merupakan output dari SAP2000.

Tabel 4. 5 Rekapitulasi Gaya Aksial pada Rangka Utama Jembatan

No	Posisi	No Batang	Gaya Aksial (Kg)	
			(+)	(-)
1	tepi atas segmen 3	949	31903	
		945		379462
2	tepi bawah segmen 3	896	124157	
		899		318915
3	ver/diag segmen 3	962	131016	
		967		81486
4	tepi atas segmen 2	954	243508	
		950		155255
5	tepi bawah segmen 2	842	105632	
		902		457961
6	ver/diag segmen 2	956	177307	
		817		175085

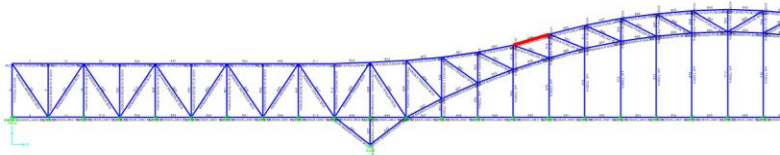
7	tepi atas segmen 1	811	243351	
		562		158347
8	ver/diag segmen 1	22	147240	
		23		119388
9	batang tarik	847	318635	
		813		279376

Setelah mendapatkan gaya aksial dengan menggunakan program SAP2000, desain dari profil rangka utama busur jembatan dapat ditentukan. Rangka utama jembatan busur baja ini menggunakan profil kotak (*square/box*) dan persegi panjang (*rectangle*). Detail profil rangka busur utama didapatkan dari Brosur *Continental Steel Pte Ltd* dengan lampiran sebagai berikut :



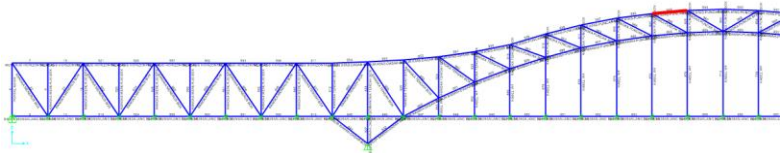
Gambar 4. 21 Ilustrasi Penampang Rangka Utama Busur dengan Menggunakan Profil *Box* dan *Rectangle*
(Sumber: *Continental Steel Pte Ltd*)

a. Batang Tepi Atas Segmen 3



Gambar 4. 22 Gambar Batang 949 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 31903 Kg (Tarik)



Gambar 4. 23 Gambar Batang 945 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 379462 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 500 mm	h	= 500 mm	t	= 22 mm
A	= 415 cm ²	W	= 320 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 157100 cm ⁴	Z _x	= 7411 cm ³	i _x	= 19,44 cm
I _y	= 157100 cm ⁴	Z _y	= 7411 cm ³	i _y	= 19,44 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{b}{t} = \frac{500}{22} = 21,053$$

$$22,72 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x) = 403,8 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 403,8}{19,44} = 20,77$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 403,8}{19,44} = 20,77$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{20,77}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,23$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 1014185 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1014185 = 862057 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 862057 \text{ kg} > P_u = 379462 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 415 = 352,75 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 352,75 \cdot 4100 = 1446275 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1446275 \cdot 0,75 = 1084706 \text{ Kg}$$

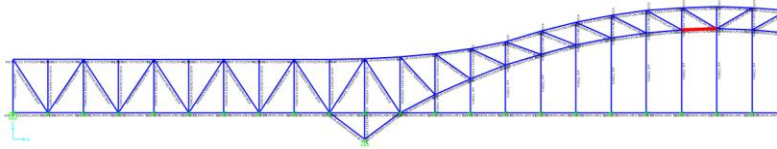
$$\phi P_n = 1084706 \text{ Kg} > 31903 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 415 \cdot 2500 = 778125 \text{ Kg}$$

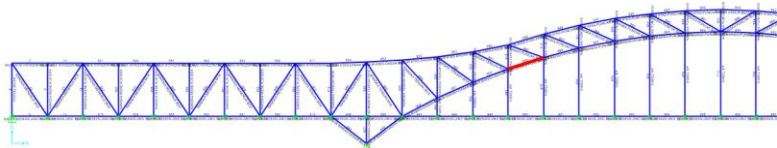
$$\phi P_n = 778125 \text{ Kg} > 31903 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

b. Batang Tepi Bawah Segmen 3



Gambar 4. 24 Gambar Batang 896 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 124157 Kg (Tarik)



Gambar 4. 25 Gambar Batang 899 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 318915 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 500 mm	h	= 500 mm	t	= 25 mm
A	= 468 cm ²	W	= 360 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 174600 cm ⁴	Z _x	= 8295 cm ³	i _x	= 19,31 cm
I _y	= 174600 cm ⁴	Z _y	= 8295 cm ³	i _y	= 19,31 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{b}{t} = \frac{500}{25} = 20$$

$$20 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_cx & K_cy) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 427,5 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 427,5}{19,31} = 22,13$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 427,5}{19,31} = 22,13$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{22,31}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,24$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 1140178 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1140178 = 969151 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 969151 \text{ kg} > P_u = 318915 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 468 = 397,8 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 397,8 \cdot 4100 = 1630980 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1630980 \cdot 0,75 = 1223235 \text{ Kg}$$

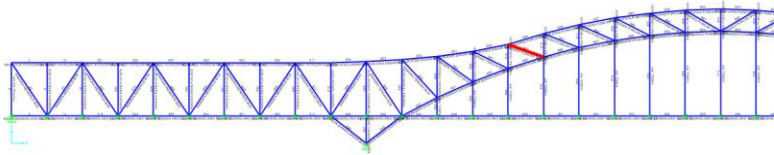
$$\phi P_n = 1223235 \text{ Kg} > 124157 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 468 \cdot 2500 = 877500 \text{ Kg}$$

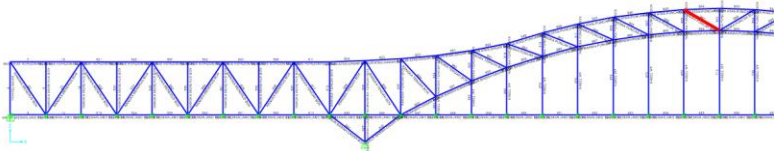
$$\phi P_n = 877500 \text{ Kg} > 124157 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

c. Batang Vertikal dan Diagonal Segmen 3



Gambar 4. 26 Gambar Batang 962 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 131016 Kg (Tarik)



Gambar 4. 27 Gambar Batang 967 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 81486 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd*.

B	= 200 mm	h	= 500 mm	t	= 16 mm
A	= 211 cm ²	W	= 167 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 63930 cm ⁴	Z _x	= 3267 cm ³	i _x	= 17,3 cm
I _y	= 14670 cm ⁴	Z _y	= 1683 cm ³	i _y	= 8,31 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{16} = 31,25$$

$$31,25 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 464,4 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 464,4}{17,3} = 26,84$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 464,4}{8,31} = 55,88$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{55,88}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,63$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 447478 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 447478 = 380357 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 380357 \text{ kg} > P_u = 81486 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 211 = 179,35 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 179,35 \cdot 4100 = 735335 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 735335 \cdot 0,75 = 551501 \text{ Kg}$$

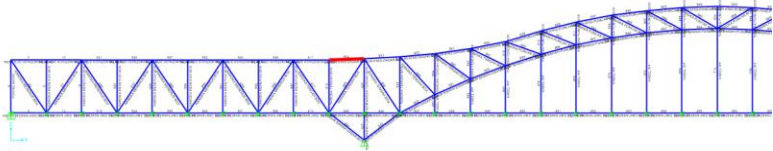
$$\phi P_n = 551501 \text{ Kg} > 131016 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 211 \cdot 2500 = 395625 \text{ Kg}$$

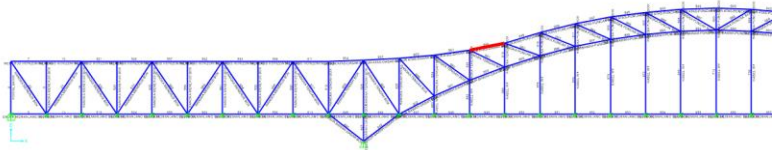
$$\phi P_n = 395625 \text{ Kg} > 131016 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

d. Batang Tepi Atas Segmen 2



Gambar 4. 28 Gambar Batang 954 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 243508 Kg (Tarik)



Gambar 4. 29 Gambar Batang 950 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 155255 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 500 mm	h	= 500 mm	t	= 19 mm
A	= 362 cm ²	W	= 280 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 138600 cm ⁴	Z _x	= 6498 cm ³	i _x	= 19,58 cm
I _y	= 138600 cm ⁴	Z _y	= 6498 cm ³	i _y	= 19,58 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{19} = 26,31$$

$$26,31 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 400,1 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 400,1}{19,58} = 20,43$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 400,1}{19,58} = 20,43$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{20,43}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,23$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 885311 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 885311 = 752514 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 752514 \text{ kg} > P_u = 155255 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 362 = 307,7 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 307,7 \cdot 4100 = 1261570 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1261570 \cdot 0,75 = 946178 \text{ Kg}$$

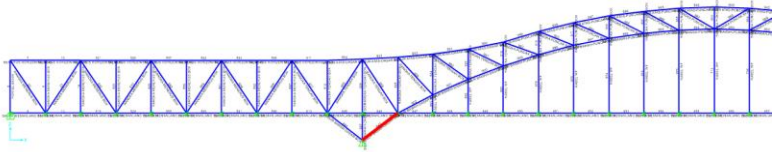
$$\phi P_n = 946178 \text{ Kg} > 243508 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 362 \cdot 2500 = 678750 \text{ Kg}$$

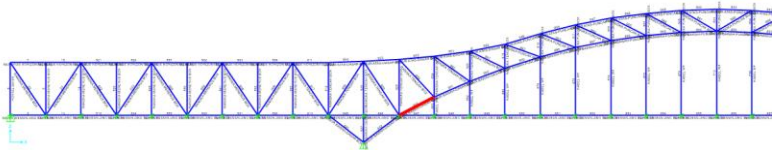
$$\phi P_n = 678750 \text{ Kg} > 243508 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

e. Batang Tepi Bawah Segmen 2



Gambar 4. 30 Gambar Batang 842 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 105632 Kg (Tarik)



Gambar 4. 31 Gambar Batang 902 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 457961 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 500 mm	h	= 500 mm	t	= 28 mm
A	= 520 cm ²	W	= 399 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 191300 cm ⁴	Z _x	= 9149 cm ³	i _x	= 19,18 cm
I _y	= 191300 cm ⁴	Z _y	= 9149 cm ³	i _y	= 19,18 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{28} = 17,85$$

$$17,85 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{2500}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 450,2 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 450,2}{19,18} = 23,47$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 450,2}{19,18} = 23,47$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{23,47}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,26$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 1262812 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1262812 = 1073390 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 1073390 \text{ kg} > P_u = 457961 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 520 = 442 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 442 \cdot 4100 = 1812200 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1812200 \cdot 0,75 = 1359150 \text{ Kg}$$

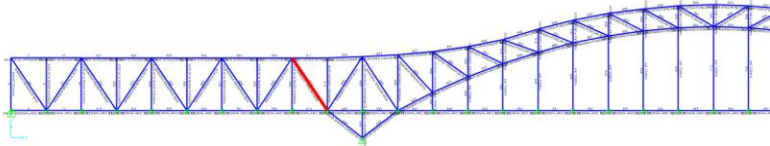
$$\phi P_n = 1359150 \text{ Kg} > 105632 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 520 \cdot 2500 = 975000 \text{ Kg}$$

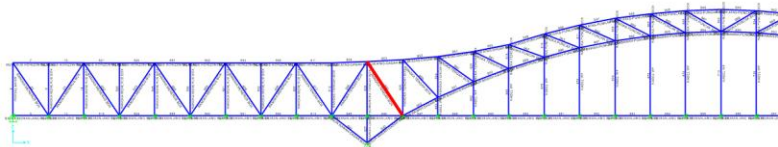
$$\phi P_n = 975000 \text{ Kg} > 105632 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

f. Batang Vertikal dan Diagonal Segmen 2



Gambar 4. 32 Gambar Batang 956 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 177307 Kg (Tarik)



Gambar 4. 33 Gambar Batang 817 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 175085 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 300 mm	h	= 500 mm	t	= 20 mm
A	= 302 cm ²	W	= 237 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 100100 cm ⁴	Z _x	= 4942 cm ³	i _x	= 18,2 cm
I _y	= 44550 cm ⁴	Z _y	= 3442 cm ³	i _y	= 12,1 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{20} = 25$$

$$25 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 726,9 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 726,9}{18,2} = 39,94$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 464,4}{12,1} = 60,07$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{60,07}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,67$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 624282 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 624282 = 530640 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 530640 \text{ kg} > P_u = 175085 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 302 = 256,7 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 256,7 \cdot 4100 = 1052470 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1052470 \cdot 0,75 = 789352 \text{ Kg}$$

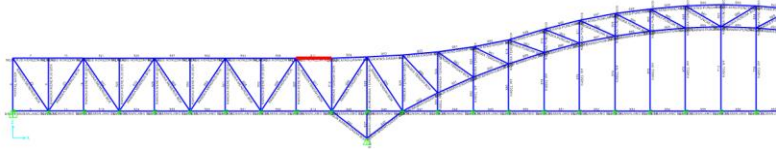
$$\phi P_n = 789352 \text{ Kg} > 177307 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 302 \cdot 2500 = 566250 \text{ Kg}$$

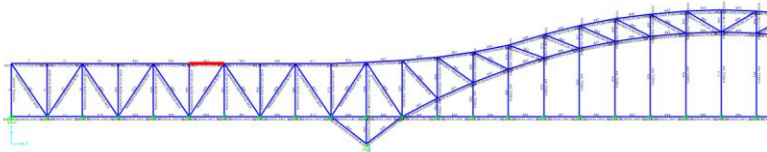
$$\phi P_n = 566250 \text{ Kg} > 177307 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

g. Batang Tepi Atas Segmen 1



Gambar 4. 34 Gambar Batang 811 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 243351 Kg (Tarik)



Gambar 4. 35 Gambar Batang 562 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 158347 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 500 mm	h	= 500 mm	t	= 16 mm
A	= 307 cm ²	W	= 238 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 119300 cm ⁴	Z _x	= 5554 cm ³	i _x	= 19,71 cm
I _y	= 119300 cm ⁴	Z _y	= 5554 cm ³	i _y	= 19,71 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{16} = 31,25$$

$$31,25 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{2500}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 400 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 400}{19,71} = 20,29$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 400}{19,71} = 20,29$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{20,43}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,22$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 751028 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 751028 = 638373 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 638373 \text{ kg} > P_u = 158347 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 307 = 260,95 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 260,95 \cdot 4100 = 1069895 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1069895 \cdot 0,75 = 802421 \text{ Kg}$$

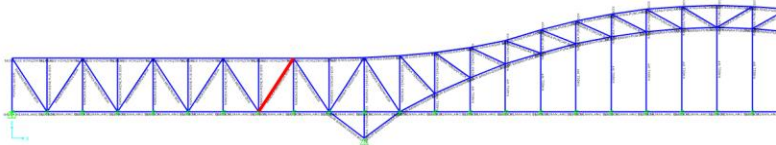
$$\phi P_n = 802421 \text{ Kg} > 243351 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 307 \cdot 2500 = 575626 \text{ Kg}$$

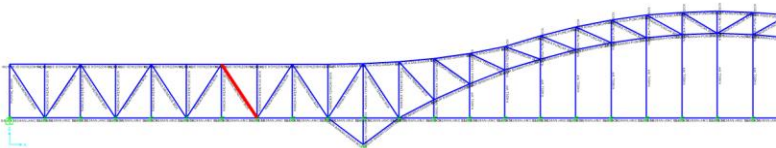
$$\phi P_n = 575626 \text{ Kg} > 243351 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

h. Batang Vertikal dan Diagonal Segmen 1



Gambar 4. 36 Gambar Batang 22 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 147240 Kg (Tarik)



Gambar 4. 37 Gambar Batang 23 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 119388 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 300 mm	h	= 500 mm	t	= 16 mm
A	= 243 cm ²	W	= 192 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 81780 cm ⁴	Z _x	= 4005 cm ³	i _x	= 18,3 cm
I _y	= 36770 cm ⁴	Z _y	= 2804 cm ³	i _y	= 12,3 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{16} = 31,25$$

$$31,25 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 721,1 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 721,1}{18,3} = 39,40$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 464,4}{12,3} = 58,63$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{58,63}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,66$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 506890 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 506890 = 430856 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 430856 \text{ kg} > P_u = 119388 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 243 = 206,5 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 206,5 \cdot 4100 = 846855 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 846855 \cdot 0,75 = 635141 \text{ Kg}$$

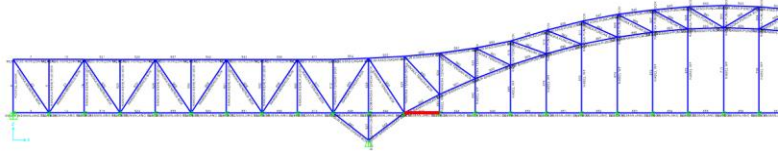
$$\phi P_n = 635141 \text{ Kg} > 147240 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 243 \cdot 2500 = 455625 \text{ Kg}$$

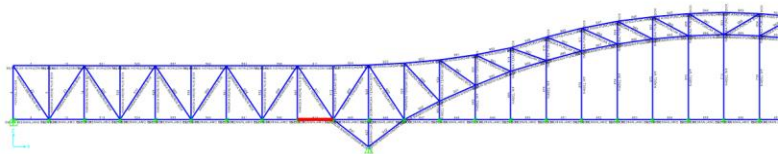
$$\phi P_n = 455625 \text{ Kg} > 147240 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

i. Batang Tarik



Gambar 4. 38 Gambar Batang 847 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 318635 Kg (Tarik)



Gambar 4. 39 Gambar Batang 813 pada Rangka Busur Utama Jembatan

Gaya aksial batang : 279376 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil *square/box* dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

B	= 500 mm	h	= 500 mm	t	= 16 mm
A	= 307 cm ²	W	= 238 kg/m	f _y	= 2500 kg/cm ²
I _x	= 191300 cm ⁴	Z _x	= 5554 cm ³	i _x	= 19,71 cm
I _y	= 191300 cm ⁴	Z _y	= 5554 cm ³	i _y	= 19,71 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{16} = 31,25$$

$$31,25 < 42,05$$

OK

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{2500}} = 42,05$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 400 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{i_x} = \frac{1 \cdot 400}{19,71} = 20,29$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{i_y} = \frac{1 \cdot 400}{19,71} = 20,29$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{20,29}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,22$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 751027 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 751027 = 638373 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 638373 \text{ kg} > P_u = 279376 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Tarik**Kuat Putus**

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 307 = 260,95 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 260,95 \cdot 4100 = 1069895 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1069895 \cdot 0,75 = 802421 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 802421 \text{ Kg} > 318635 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

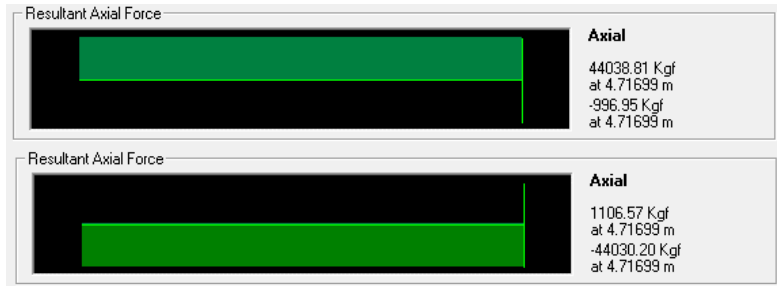
Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 307 \cdot 2500 = 575625 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 575625 \text{ Kg} > 318635 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

4.2.2.4 Desain Profil Struktur Sekunder Jembatan Busur

a. Ikatan Angin Rangka Jembatan



Gambar 4. 40 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Rangka

Gaya aksial batang : 44039 Kg (Tarik)
44030 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil silinder dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

d = 177,8 mm	t = 12 mm	fu = 4100 kg/cm ²
A = 62,5 cm ²	W = 49,07 kg/m	fy = 2500 kg/cm ²
Ix=Iy = 2159 cm ⁴	Zx=Zy = 330 cm ³	ix=iy = 5,88 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{d}{t} = \frac{177,8}{12} = 14,82$$

$$14,82 < 59,2 \quad \text{OK}$$

$$\frac{14800}{fy} = \frac{14800}{250} = 59,2$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (Kcx & Kcy) = 1
- Panjang batang (Lx & Ly) = 471,9 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{ix} = \frac{1 \cdot 471,9}{5,88} = 80,25$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{iy} = \frac{1 \cdot 471,9}{5,88} = 80,25$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{80,25}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,90$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 111330 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 111330 = 94631 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 94631 \text{ kg} > P_u = 44030 \text{ kg}$$

OK

Kontrol Tarik

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 62,5 = 53,12 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 53,12 \cdot 4100 = 217813 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 217813 \cdot 0,75 = 163359 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 163359 \text{ Kg} > 44039 \text{ Kg}$$

OK

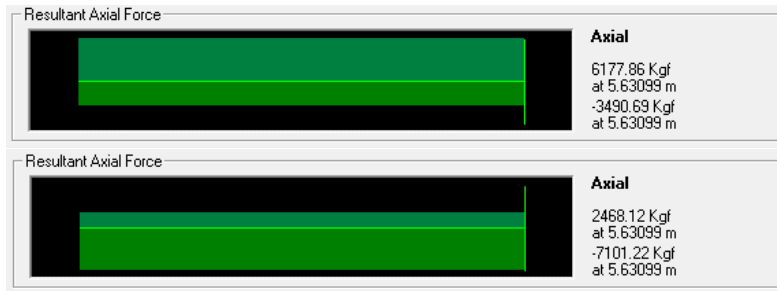
Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 62,5 \cdot 2500 = 117188 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 117188 \text{ Kg} > 44039 \text{ Kg}$$

OK

b. Ikatan Angin Silang Rangka Jembatan



Gambar 4. 41 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Rangka

Gaya aksial batang : 6178 Kg (Tarik)
7101 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil silinder dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

d = 139,7 mm	t = 12 mm	fu = 4100 kg/cm ²
A = 48,1 cm ²	W = 37,79 kg/m	fy = 2500 kg/cm ²
Ix=Iy = 990 cm ⁴	Zx=Zy = 196 cm ³	ix=iy = 4,53 cm

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{d}{t} = \frac{139,7}{12} = 11,64$$

$$11,64 < 59,2$$

OK

$$\frac{14800}{fy} = \frac{14800}{250} = 59,2$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (Kcx & Kcy) = 1
- Panjang batang (Lx & Ly) = 559 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot Lx}{ix} = \frac{1 \cdot 559}{4,53} = 123,4$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot Ly}{iy} = \frac{1 \cdot 559}{4,53} = 123,4$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{123,4}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 1,38$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 53959 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 53959 = 45865 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 45865 \text{ kg} > P_u = 7101 \text{ kg}$$

OK

Kontrol Tarik

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 48,1 = 40,85 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 40,85 \cdot 4100 = 167269 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 167269 \cdot 0,75 = 125721 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 125721 \text{ Kg} > 6178 \text{ Kg}$$

OK

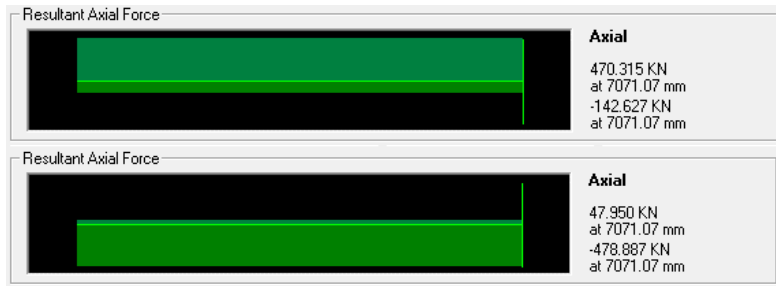
Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 48,1 \cdot 2500 = 90188 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 90188 \text{ Kg} > 6178 \text{ Kg}$$

OK

c. Ikatan Angin Silang Bawah Jembatan



Gambar 4. 42 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Bawah

Gaya aksial batang : 47032 Kg (Tarik)
47899 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil silinder dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

$d = 219,1 \text{ mm}$	$t = 12 \text{ mm}$	$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$
$A = 78,1 \text{ cm}^2$	$W = 61,29 \text{ kg/m}$	$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$I_x=I_y = 4200 \text{ cm}^4$	$Z_x=Z_y = 515 \text{ cm}^3$	$i_x=i_y = 7,33 \text{ cm}$

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{d}{t} = \frac{219,1}{12} = 18,25$$

$$18,25 < 59,2$$

OK

$$\frac{14800}{f_y} = \frac{14800}{250} = 59,2$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_{cx} & K_{cy}) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 707,1 cm

$$\lambda_x = \frac{Kcx \cdot Lx}{ix} = \frac{1 \cdot 707,1}{7,33} = 96,46$$

$$\lambda_y = \frac{Kcy \cdot Ly}{iy} = \frac{1 \cdot 707,1}{7,33} = 96,46$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{96,46}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 1,08$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$Pn = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot Ag \cdot fy = 119648 \text{ kg}$$

$$\phi Pn = 0,85 \cdot 119648 = 101701 \text{ kg}$$

$$\phi Pn = 101701 \text{ kg} > Pu = 47899 \text{ kg}$$

OK

Kontrol Tarik

Kuat Putus

$$Ae = 0,85 \cdot Ag = 0,85 \cdot 78,1 = 66,38 \text{ cm}^2$$

$$Pn = Ae \cdot fu = 66,38 \cdot 4100 = 272179 \text{ Kg}$$

$$\phi Pn = 272179 \cdot 0,75 = 204134 \text{ Kg}$$

$$\phi Pn = 204134 \text{ Kg} > 47032 \text{ Kg}$$

OK

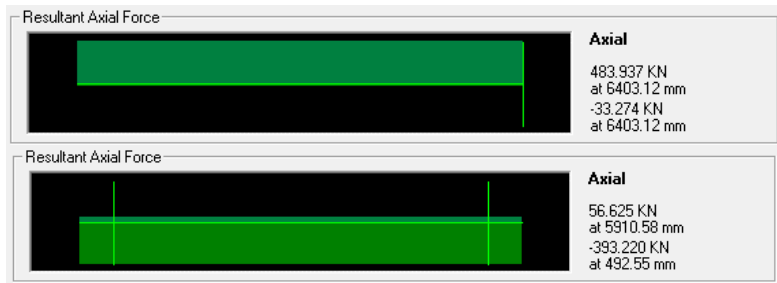
Kuat leleh

$$\phi Pn = \phi \cdot Ag \cdot fy = 0,9 \cdot 78,1 \cdot 2500 = 146438 \text{ Kg}$$

$$\phi Pn = 146438 \text{ Kg} > 47032 \text{ Kg}$$

OK

d. Ikatan Angin Lantai Kendaraan Jembatan



Gambar 4. 43 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Bawah

Gaya aksial batang : 48394 Kg (Tarik)
39322 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil siku sama kaki dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd.*

d = 200 mm	t = 20 mm	fu = 4100 kg/cm ²
A = 76,4 cm ²	W = 59,9 kg/m	fy = 2500 kg/cm ²
Ix=Iy = 2850 cm ⁴	ix=iy = 6,11 cm	

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{d}{t} = \frac{200}{20} = 10$$

$$10 < 15,81$$

OK

$$\frac{250}{\sqrt{fy}} = \frac{250}{\sqrt{250}} = 15,81$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (Kcx & Kcy) = 1
- Panjang batang (Lx & Ly) = 640,3 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot Lx}{ix} = \frac{1 \cdot 640,3}{6,11} = 104,79$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot Ly}{iy} = \frac{1 \cdot 640,3}{6,11} = 104,79$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{104,79}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 1,18$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 107161 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 107161 = 91087 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 91087 \text{ kg} > P_u = 39322 \text{ kg}$$

OK

Kontrol Tarik

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 76,4 = 64,94 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 64,94 \cdot 4100 = 266254 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 266254 \cdot 0,75 = 199691 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 204134 \text{ Kg} > 48394 \text{ Kg}$$

OK

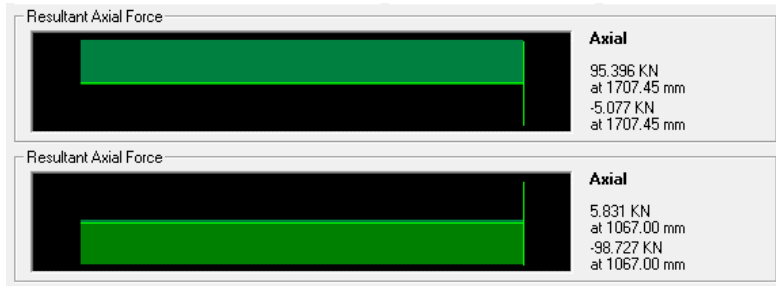
Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 76,4 \cdot 2500 = 143250 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 143250 \text{ Kg} > 48394 \text{ Kg}$$

OK

e. Ikatan Tumbuk Jembatan



Gambar 4. 44 Gaya Aksial pada Ikatan Angin Silang Bawah

Gaya aksial batang : 9540 Kg (Tarik)
9873 Kg (Tekan)

Desain batang menggunakan profil siku sama kaki dengan spesifikasi dari brosur *Continental Steel Pte Ltd*.

$d = 80 \text{ mm}$	$t = 10 \text{ mm}$	$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$
$A = 15,1 \text{ cm}^2$	$W = 11,9 \text{ kg/m}$	$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$I_x = I_y = 87,5 \text{ cm}^4$	$i_x = i_y = 2,41 \text{ cm}$	

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{d}{t} = \frac{80}{10} = 8$$

$$8 < 15,81$$

OK

$$\frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{250}} = 15,81$$

Kontrol Kapasitas Tekan :

- faktor panjang tekuk (K_cx & K_cy) = 1
- Panjang batang (L_x & L_y) = 170,8 cm

$$\lambda_x = \frac{K_{cx} \cdot L_x}{ix} = \frac{1 \cdot 170,8}{2,41} = 70,87$$

$$\lambda_y = \frac{K_{cy} \cdot L_y}{iy} = \frac{1 \cdot 170,8}{2,41} = 70,87$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{70,87}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,79$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y = 28982 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 28982 = 24634 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 24634 \text{ kg} > P_u = 9873 \text{ kg}$$

OK

Kontrol Tarik

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot 15,1 = 12,83 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 12,83 \cdot 4100 = 52623 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 52623 \cdot 0,75 = 39468 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 39468 \text{ Kg} > 9540 \text{ Kg}$$

OK

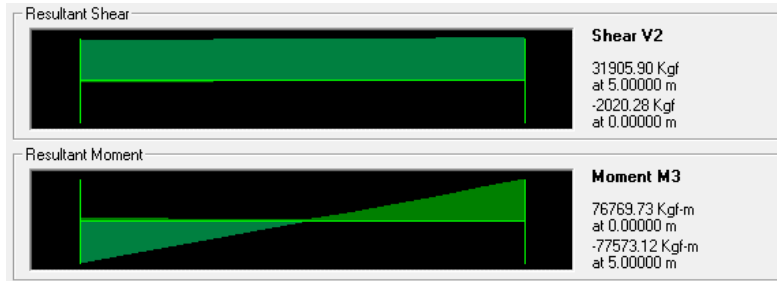
Kuat leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 15,1 \cdot 2500 = 28313 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 28313 \text{ Kg} > 9540 \text{ Kg}$$

OK

f. Perencanaan Balok Portal Akhir Jembatan



Gambar 4. 45 Momen pada Balok Portal Akhir Jembatan

Momen yang terjadi : 76770 Kgm
-77573 Kgm

Batang didesain menggunakan profil box 500x500x28, dengan spesifikasi sebagai berikut :

b : 500 mm h : 500 mm t : 28 mm
A : 520 cm² W : 399 Kg/m ix=iy : 19,18 cm
fy : 250 Mpa Ix=Iy : 191300 cm² Zx=Zy : 9149 cm³

Kuat Rencana Momen Lentur

$$\frac{b}{t} = \frac{500}{28} = 17,85$$

$$17,85 > 106,25 \quad \mathbf{OK}$$

$$\frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106,25$$

$$\frac{b}{2} = \frac{500}{28} = 17,85$$

$$17,85 > 31,62 \quad \text{OK}$$

$$\frac{500}{\sqrt{fy}} = \frac{500}{\sqrt{250}} = 31,62$$

Penampang Kompak, maka $M_n = M_p$

$$M_n = Z_x \cdot fy = 9149 \cdot 2500 = 228725 \text{ Kgm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot M_n = 0,9 \cdot 228725 = 205952,5 \text{ Kgm}$$

$$\phi M_n = 205952,5 \text{ Kgm} > 77573 \text{ Kgm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 500 \text{ cm}$$

$$L_P = 0,13 E r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p} \quad (\text{SNI T03-2005 pasal 7.3-1})$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{191300}{520}} = 19,18 \text{ cm}$$

$$J = 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 50 \cdot 2,8^3 = 1463,467 \text{ cm}^4$$

Maka :

$$L_P = 0,13 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 19,18 \cdot \frac{\sqrt{1463,467 \cdot 520}}{191325}$$

$$L_P = 227,3 \text{ cm}$$

$$L_R = 2 E r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r} \quad (\text{SNI T03-2005 pasal 7.3-1})$$

$$M_r = S \cdot (F_u - F_R) ; F_R = 110 \text{ Mpa}$$

$$M_r = 7653 (2500 - 1100) = 107142 \text{ kgm}$$

Maka :

$$L_R = 2.2 \cdot 10^6 \cdot 19,18 \cdot \frac{\sqrt{1463,467 \cdot 520}}{164682}$$

$$L_R = 4064 \text{ cm}$$

$$L_p \leq L \leq L_R \quad \text{“Bentang menengah”}$$

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right]$$

Output Momen pada jarak $\frac{1}{4}$ dan $\frac{1}{8}$ bentang

$$M_A = 39144 \text{ Kgm}$$

$$M_B = 3470 \text{ Kgm}$$

$$M_C = 38028 \text{ Kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot 77573}{2,5 \cdot 77573 + 3 \cdot 39144 + 4 \cdot 3470 + 3 \cdot 38028}$$

$$C_b = 2,19$$

$$M_n = C_b \cdot \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_B} \right] = 488250 \text{ kgm}$$

$$M_n = 205952,5 \text{ Kgm} > 77573 \text{ Kgm} \quad \text{OK}$$

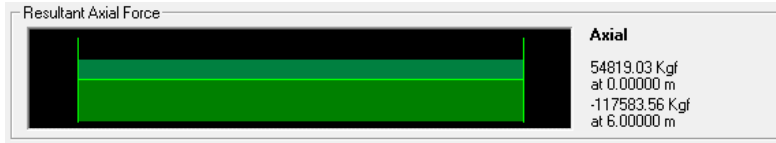
Kontrol Kuat Geser

$$V_n = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y = 0,6 \cdot 280 \cdot 2500 = 420000 \text{ Kg}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 420000 = 378000 \text{ Kg}$$

$$\phi V_n = 378000 \text{ Kg} > V_u = 31906 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

g. Perencanaan Kolom Portal Akhir Jembatan



Gambar 4. 46 Gaya Aksial pada Kolom Portal Akhir Jembatan

Gaya aksial kolom : 117583,6 Kgm (Tekan)

Batang didesain menggunakan profil box 500x500x28, dengan spesifikasi sebagai berikut :

b	: 500 mm	h	: 500 mm	t	: 28 mm
A	: 520 cm ²	W	: 399 Kg/m	ix=iy	: 19,18 cm
fy	: 250 Mpa	Ix=Iy	: 191300 cm ²	Zx=Zy	: 9149 cm ³

Kontrol Kelangsingan Penampang

$$\frac{b}{t} = \frac{500}{28} = 17,8$$

$$17,8 > 42,06 \quad \mathbf{OK}$$

$$\frac{500}{\sqrt{fy}} = \frac{500}{\sqrt{250}} = 42,06$$

Kontrol Kelangsingan Struktur

$$\lambda_x = \frac{Kcx \cdot Ly}{ix} = \frac{1 \cdot 600}{19,18} = 31,28$$

$$Ncrb_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 520}{31,28^2} = 1049729,32$$

$$\lambda_y = \frac{Kcy \cdot Ly}{iy} = \frac{1 \cdot 600}{19,18} = 31,28$$

$$N_{crb_y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 520}{31,28^2} = 1049729,32$$

$$\lambda c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{31,28}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,35$$

Sehingga kuat nominal penampang :

$$P_n = (0,66^{\lambda c^2}) \cdot Ag \cdot fy = 1234745 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1234745 = 1049534 \text{ Kg}$$

$$\phi P_n = 1049534 \text{ Kg} > P_u = 99588,8 \text{ Kg} \quad \mathbf{OK}$$

Kontrol Kolom

$C_m = 0,85$ (elemen menerima gaya transversal dan dianggap ujung-ujungnya kaku)

$$\delta b_x = \frac{c_m}{1 - \frac{N_u}{N_{crb_x}}} > 1,00$$

$$\delta b_x = \frac{0,85}{1 - \frac{99588,8}{1049729,32}} > 1,00$$

$$= 0,94 < 1,00$$

Maka dipakai nilai $\delta b_x = 1,00$

$$\text{Sehingga : } M_{ux} = \delta b_x \cdot M_{utx} \\ = 1,00 \cdot 1320 = 1320 \text{ Kgm}$$

$$M_{uy} = \delta b_x \cdot M_{uty} \\ = 1,00 \cdot 75390 = 75390 \text{ Kgm}$$

Kuat Rencana Momen Lentur

$$\frac{b}{2t} = \frac{500}{28} = 17,85$$

$$17,85 > 31,62 \quad \text{OK}$$

$$\frac{500}{\sqrt{fy}} = \frac{500}{\sqrt{250}} = 31,62$$

$$\frac{h}{t} = \frac{500}{28} = 17,85$$

$$17,85 < 106,25 \quad \text{OK}$$

$$\frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106,25$$

Sehingga :

$$M_n = M_p = Z_x \cdot fy = 9149 \cdot 2500 = 228725 \text{ Kgm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot M_n = 0,9 \cdot 228725 = 205852,5 \text{ Kgm}$$

Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 600 \text{ cm}$$

$$L_P = 0,13 E r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p} \quad (\text{SNI T03-2005 pasal 7.3-1})$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{191300}{520}} = 19,18 \text{ cm}$$

$$J = 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 50 \cdot 2,8^3 = 1463,467 \text{ cm}^4$$

Maka :

$$L_P = 0,13 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 19,18 \cdot \frac{\sqrt{1463,467 \cdot 520}}{191325}$$

$$L_P = 227,3 \text{ cm}$$

$$L_R = 2 E r_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r} \quad (\text{SNI T03-2005 pasal 7.3-1})$$

$$M_r = S \cdot (F_u - F_R) ; F_R = 110 \text{ Mpa}$$

$$M_r = 7653 (2500 - 1100) = 107142 \text{ kgm}$$

Maka :

$$L_R = 2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 19,18 \cdot \frac{\sqrt{1463,467 \cdot 520}}{164682}$$

$$L_R = 4064 \text{ cm}$$

$$L_p \leq L \leq L_R \quad \text{“Bentang menengah”}$$

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right]$$

Output Momen pada jarak $\frac{1}{4}$ dan $\frac{1}{8}$ bentang

$$M_A = 43479 \text{ Kgm}$$

$$M_B = 10076 \text{ Kgm}$$

$$M_C = 33846 \text{ Kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \text{ Mmax}}{2,5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot 75395}{2,5 \cdot 75395 + 3 \cdot 43479 + 4 \cdot 10076 + 3 \cdot 33846}$$

$$C_b = 2,04$$

$$M_n = C_b \cdot \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_B} \right] = 451000 \text{ kgm}$$

$$M_n = 205852,5 \text{ Kgm} > 57539,1 \text{ Kgm} \quad \text{OK}$$

Kontrol Interaksi Balok Kolom

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{99588,8}{1049534} = 0,095 \leq 0,2$$

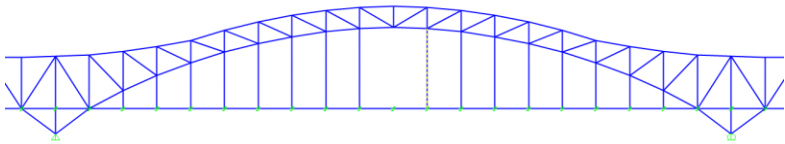
Menggunakan Rumus II

$$\frac{Pu}{\phi Pn} + \left[\frac{Mux}{0,9 \cdot Mnx} + \frac{Muy}{0,9 \cdot Mny} \right] \leq 1,00$$

$$\frac{99588,8}{0,85 \cdot 1054096} + \left[\frac{1320}{0,9 \cdot 172192,5} + \frac{75390}{0,9 \cdot 172192,5} \right] = 0,589 < 1,00 \quad \text{OK}$$

4.2.2.5 Desain Penggantung Jembatan

Gaya aksial yang digunakan dalam mendesain penggantung jembatan ini adalah dengan menggunakan ilustrasi kasus apabila salah satu kabel penggantung pada jembatan putus seperti berikut.



Gambar 4. 47 Ilustrasi Kasus Putusnya Salah Satu Kabel Penggantung

Dari hasil analisis SAP2000 dengan ilustrasi seperti pada gambar diatas didapat gaya aksial yang terjadi pada kabel-kabel penggantung lain sebesar 51837 kg.

$V_u = 51837$ kg (Tarik)

Material yang dipakai untuk penggantung adalah baja ulir (*threadbars*) dari perusahaan *PFEIFER Tension Member* dengan brosur kabel tertera dibawah.

Berdasarkan brosur maka dipilih kabel dengan spesifikasi:

Tipe	: Type 860-X
Diameter	: 48 mm
Fu	: 731,5 kN = 73150 kg
Mutu	: DIN EN 10025
Berat	: 14,2 kg/m

Kontrol Kabel

$$\varnothing P_n > V_u$$

$$\varnothing P_n = 0,75 \cdot 73150 = 54862,5 \text{ kg}$$

$$\varnothing P_n = 54862,5 \text{ kg} > V_u = 51837 \text{ kg}$$

OK



Zugstab Typ 860 und Typ 860-X
Tension Rod Type 860 and Type 860-X

Technische Daten	Technical Data
Material (Typ 860): S460N, DIN EN 10025	Material (Type 860): S460N, DIN EN 10025
Material (Typ 860-X): S460N, modifizierter Stahl mit erhöhter Zugfestigkeit	Material (Type 860-X): S460N, modified steel with raised tensile strength
Elastizitätsmodul: 210 ± 10 N/mm ²	Modulus of Elasticity: 210 ± 10 N/mm ²
Korrosionsschutz: feuerverzinkt oder wahlweise	Corrosion Protection: Hot dip galvanized or bright
Anwendungsgebiet	Field of Application
Ausstattungen: Winkelverblende Dach, Wände, Stützen	Bracings for roofs, walls, girders
Anspannungen: Dachkermeln, Pyllone	Stays for roof elements, pylons
Unterspannungen: Stahl-, Holzbinden, Raumfachwerk	Suspension of steel trusses, timber trusses and space frames



Größe size M mm	ETA/EC3 860	EC3 860-X	L _{gew} mm	R _{Fb} mm	D _W mm	L _{max} mm	Gewicht weight kg/m
	N _{Rk} kN	N _{Rk} kN					
10	26,1	—	33	19	9	6000	0,61
12	37,9	41,8	38	19	10	8000	0,88
16	70,5	77,8	54	19	14	12000	1,58
20	110,1	121,6	67	19	18	12000	2,47
24	158,5	175,0	80	19	22	12000	3,55
27	206,6	228,1	90	19	25	12000	4,50
30	252,1	278,4	100	19	28	12000	5,55
36	367,3	405,5	120	19	33	12000	8,00
42	504,2	556,6	140	19	38	12000	10,9
48	659,6	731,5	159	19	45	15000	14,2
62	790,6	812,8	172	—	—	15000	16,7
66	913,0	1008,0	187	—	—	15000	19,3
60	1062,4	1172,8	195	—	—	15000	22,2
64	1202,6	1308,7	211	—	—	15000	25,3
70	1462,7	1615,9	233	—	—	15000	30,2
80	1953,8	2157,0	266	—	—	18000	39,5
90	2514,6	2776,1	297	—	—	18000	49,9
100	3145,0	3473,2	328	—	—	18000	61,7

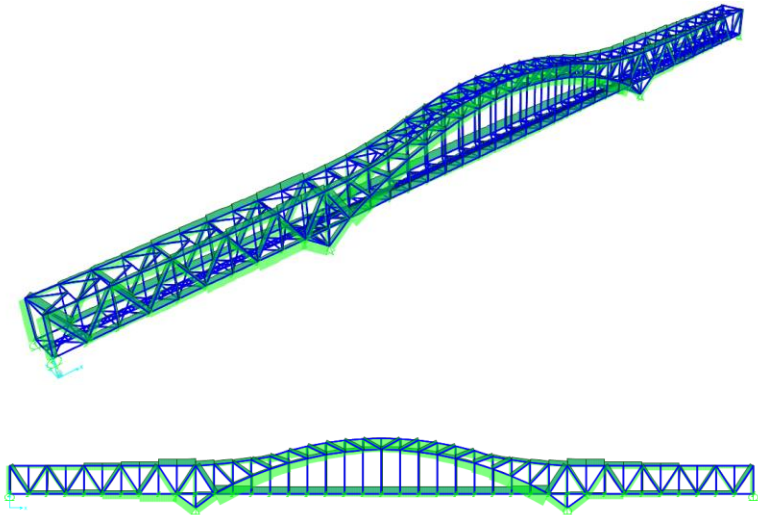
Normen und Referenzen von unten
* according to EC3
** mit Angaben der Verankerung ohne Unterbrechung

Indicazioni tecniche e riferimenti
* according to EC3
** con precisione del sito o di un altro servizio

Gambar 4. 48 Brosur Kabel Penggantung

4.2.2.6 Output Analisa Gaya Dalam Jembatan Busur

Setelah memasukkan pembebanan ke struktur, kemudian struktur tersebut di-*Run* dengan kombinasi pembebanan sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 (RM21) agar mendapatkan gaya dalam dari setiap elemen jembatan. Kemudian diambil hasil *Run* dengan kombinasi pembebanan paling kritis dengan menggunakan *envelope*.



Gambar 4. 49 Output Gaya Aksial Akibat Pembebanan Envelope

4.2.2.7 Rekap Desain Profil Jembatan Busur Baja Lahor

Setelah melakukan kontrol setiap batang, maka dapat diambil rekap desain profil Jembatan Busur Baja Lahor yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 6 Rekap Desain Profil Jembatan Busur Lahor

No	Nama Batang	Profil	Ukuran
1	Balok Memanjang	WF	300 x 200 x 12 x 8
2	Balok Melintang	WF	600 x 300 x 20 x 12
3	Ikatan Angin Rangka	PIPE	177.8 x 12
4	Ikatan Angin Silang Rangka	PIPE	139.7 x 12
5	Ikatan Angin Silang Bawah	PIPE	219.1 x 12
6	Ikatan Angin Lantai Kendaraan	Siku L	200 x 20
7	Ikatan Rem	Siku L	80 x 10
8	Rangka Utama Tepi Atas Segmen 1	BOX	500 x 500 x 16
9	Rangka Utama Vertikal/Diagonal Segmen 1	BOX	500x300x16
10	Rangka Utama Tepi Atas Segmen 2	BOX	500 x 500 x 19
11	Rangka Utama Tepi Bawah Segmen 2	BOX	500 x 500 x 28
12	Rangka Utama Vertikal/Diagonal Segmen 2	BOX	500x300x20
13	Rangka Utama Tepi Atas Segmen 3	BOX	500 x 500 x 22
14	Rangka Utama Tepi Bawah Segmen 3	BOX	500 x 500 x 25
15	Rangka Utama Vertikal/Diagonal Segmen 3	BOX	500x200x16
16	Batang Tarik	BOX	500 x 500 x 16
17	Kabel	Steel Cable	Ø 48
18	Portal Akhir	BOX	500 x 500 x 16

4.2.3 Kontrol SAP2000 Dengan Perhitungan Manual

Pengecekan hasil SAP2000 dengan membandingkan dengan perhitungan manual bertujuan sebagai dasar apakah permodelan Jembatan Lahor sesuai dan telah benar dilakukan. Perhitungan manual yang dihitung yaitu berat keseluruhan dengan batasan $\pm 5\%$. Untuk perhitungan manual struktur jembatan dapat dilihat di tabel berikut.

Tabel 4. 7 Perhitungan Manual Berat Struktur

No	Nama Batang	Profil	Ukuran	Panjang (m)	Jumlah	Berat (kg/m)	Berat Total (kg)
1	Balok Memanjang	WF	300 x 200 x 12 x 8	4	80	56.8	18176.00
2	Balok Melintang	WF	600 x 300 x 20 x 12	5	41	151	30955.00
3	Ikatan Angin Rangka	PIPE	177.8 x 12	5	50	49.07	12267.50
				4.78	100	49.07	23455.46
4	Ikatan Angin Silang Rangka	PIPE	139.7 x 12	5.6	22	37.79	4655.73
				7.07	8	61.29	3466.56
5	Ikatan Angin Silang Bawah	PIPE	219.1 x 12	5.83	4	61.29	1429.28
				5	2	61.29	612.90
				6.403	80	59.9	30683.18
6	Ikatan Angin Lantai Kendaraan	Siku L	200 x 20	1.71	320	11.9	6511.68
7	Ikatan Rem	Siku L	80 x 10	4	36	238	34272.00
8	Rangka Utama Tepi Atas Segmen 1	BOX	500 x 500 x 16	6	32	192	36864.00
9	Rangka Utama Vertikal/Diagonal Segmen 1	BOX	500x300x16	7.21	32	192	44298.24
				4.03	20	280	22568.00
10	Rangka Utama Tepi Atas Segmen 2	BOX	500 x 500 x 19	4.4	12	399	21067.20
11	Rangka Utama Tepi Bawah Segmen 2	BOX	500 x 500 x 28	5	8	399	15960.00
				6.05	8	237	11470.80
12	Rangka Utama Vertikal/Diagonal Segmen 2	BOX	500x300x20	6.3	4	237	5972.40
				7.25	12	237	20619.00
				4.63	4	237	4389.24
				3.41	4	237	3232.68
				3	4	237	2844.00
				5.82	4	237	5517.36
				4.91	4	237	4654.68
				2.64	4	237	2502.72
				4.43	4	237	4199.64
				4.07	24	320	31257.60
				4.07	24	360	35164.80
13	Rangka Utama Tepi Atas Segmen 3	BOX	500 x 500 x 22	2.535	22	167	9313.59
14	Rangka Utama Tepi Bawah Segmen 3	BOX	500 x 500 x 25	4.425	24	167	17735.40
				4	80	238	76160.00
15	Rangka Utama Vertikal/Diagonal Segmen 3	BOX	500x200x16	2.07	4	14.2	117.58
16	Batang Tarik	BOX	500 x 500 x 16	3.85	4	14.2	218.68
				5.36	4	14.2	304.45
				6.62	4	14.2	376.02
				7.64	4	14.2	433.95
				8.43	4	14.2	478.82
				9	4	14.2	511.20
				9.36	4	14.2	531.65
				9.5	2	14.2	269.80
				5	2	399	3990.00
				6	4	399	9576.00
17	Kabel	Steel Cable	Ø 48	2.07	4	14.2	117.58
				3.85	4	14.2	218.68
				5.36	4	14.2	304.45
				6.62	4	14.2	376.02
				7.64	4	14.2	433.95
				8.43	4	14.2	478.82
				9	4	14.2	511.20
				9.36	4	14.2	531.65
				9.5	2	14.2	269.80
				5	2	399	3990.00
				6	4	399	9576.00
TOTAL							559084.78

Sedangkan untuk output perhitungan dengan program bantu SAP2000 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 8 Tabel Perhitungan Berat Struktur dengan SAP2000

OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
DEAD	LinStatic	1.00000001586	-154.24	573408.34

Dari hasil perhitungan di atas dapat diambil perbedaan antara perhitungan manual dengan SAP2000 berbeda sebesar $\pm 2,49\%$. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa permodelan struktur pada SAP2000 sudah sesuai dan benar.

4.2.4 Kontrol Lendutan Ijin Jembatan

Dalam merencanakan struktur jembatan, salah satu syarat yang harus dipenuhi adalah lendutan yang terjadi tidak melebihi batas ijin. Syarat $\delta' \leq \delta$ dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi. Berdasarkan Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jembatan Baja batas lendutan ijin yang terjadi adalah sebagai berikut.

$$\delta = \frac{\lambda}{1000}$$

Dimana λ adalah panjang bentang jembatan, maka:

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{8000}{1000} \\ &= 8 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dalam perencanaan Jembatan Busur Lahor terjadi lendutan sebesar 7,17 cm akibat beban hidup dan beban mati. Dari output tersebut lendutan Jembatan Busur Lahor masih memenuhi syarat yang ditentukan.

Cek syarat lendutan ijin :

$$\delta' \leq \delta$$

$$7,17 \text{ cm} \leq 8 \text{ cm}$$

OK

4.3 Detail Sambungan

Dalam mendesain sambungan pada Jembatan Lahor ini mengacu pada peraturan sambungan baja SNI 1729-2002. Beberapa sistem sambungan yang digunakan terdiri dari sambungan baut. Tipe-tipe baut yang digunakan mengacu pada tabel berikut.

Tabel 4. 9 Tipe-Tipe Baut *Friction*
(Sumber: SNI 1729-2002 Tabel 18.2-1)

Diameter nominal baut (mm)	Gaya tarik minimum (KN)
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

4.3.1 Sambungan Balok Memanjang dan Balok Melintang

4.3.1.1 Balok Memanjang

Profil WF 300x200x12x8

F_y : 250 MPa f_u : 410 MPa E_s : 200000 MPa
 d : 294 mm B : 200 mm t_w : 18 mm
 t_f : 12 mm

V_u maksimum : 21020 Kg

Pelat sambung siku 150x150x16 BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (db) = 20 mm

Gaya tarik minimum = 14500 Kg

Jumlah bidang geser (m) = 2

Phi (ϕ) = 1 (lubang standar)

μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser } (\phi V_n) &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 14500 \\ &= 11469,5 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi V_n} = \frac{21020}{11469,5} = 1,83 \approx 2 \text{ buah}$$

4.3.1.2 Balok Melintang**Profil WF 600x300x20x12**

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
d	: 588 mm	B	: 300 mm	tw	: 20 mm
				tf	: 12 mm

Vu maksimum : 33065 Kg

Pelat sambung siku 150x150x16 BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (ϕ)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned}\text{Kuat geser } (\phi V_n) &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi V_n} = \frac{33065}{5734,75} = 5,76 \approx 6 \text{ buah}$$

4.3.1.3 Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$3.20 \leq S \leq 15.16 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

dipakai $S = 60 \text{ mm}$

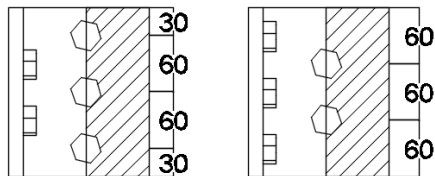
- $1.5d_b \leq S1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$
 $1.5.20 \leq S1 \leq (4.16 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$
 dipakai $S1 = 30 \text{ mm}$
- $1.5d_b \leq S2 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$
 $1.5.20 \leq S2 \leq 12.16 \text{ atau } 200 \text{ mm}$
 dipakai $S2 = 60 \text{ mm}$

4.3.1.4 Kontrol Pelat Siku Penyambung

Pelat sambung siku 150x150x16 BJ 50

\emptyset Lubang = 20 mm + 1,5 mm (lubang dibor)

= 21,5 mm = 2,15 cm



Gambar 4. 50 Detail Bidang Geser Pelat Siku pada Gelagar

Luas Bidang Geser

$$\begin{aligned} A_{nv} &= (L_{nv1} + L_{nv2}) \times t_{siku} \\ &= ((18 - 3 \times 2,15) + (18 - 2 \times 2,15)) \times 1,6 \\ &= 11,55 + 13,7 \times 1,6 = 40,4 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Kuat Rencana

$$\begin{aligned} \emptyset Rn &= \emptyset \times 0,6 \times fu \times Anv \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 5000 \times 40,4 = 90900 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Syarat:

$$Vu \leq \emptyset Rn \rightarrow 21020 \text{ Kg} \leq 90900 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

4.3.2 Sambungan Ikatan Angin dan Ikatan Silang

4.3.2.1 Ikatan Angin Rangka

Profil Pipa 177.8x12

F_y : 250 MPa f_u : 410 MPa E_s : 200000 MPa

d : 177.8 mm t : 12 mm

V_u maksimum : 44030 Kg

Pelat sambung tebal 20 mm BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (d_b) = 20 mm

Gaya tarik minimum = 14500 Kg

Jumlah bidang geser (m) = 1

Phi (ϕ) = 1 (lubang standar)

μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\phi V_n) &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 13249,25 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut } (n) = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{44030}{13249,25} = 3,32 \approx 4 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm

$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p$ atau 200 mm

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
dipakai $S = 60$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
dipakai $S_1 = 35$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
dipakai $S_2 = 50$ mm

4.3.2.2 Ikatan Angin Silang Rangka

Profil Pipa 139.7x12

Fy : 250 MPa fu : 410 MPa Es : 200000 MPa

d : 139.7 mm t : 12 mm

Vu maksimum : 7101 Kg

Pelat sambung tebal 20 mm BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (db) = 16 mm

Gaya tarik minimum = 9500 Kg

Jumlah bidang geser (m) = 1

Phi (ϕ) = 1 (lubang standar)

μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\phi V_n) &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 9500 \\ &= 3757,25 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{7101}{3757,25} = 1,88 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 16 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S = 100$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 16 \leq S_1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 100$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 16 \leq S_2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 160$ mm

4.3.2.3 Ikatan Angin Bawah

Profil Siku 200x20

F_y : 250 MPa f_u : 410 MPa E_s : 200000 MPa

d : 200 mm t : 20 mm

V_u maksimum : 48394 Kg

Pelat sambung tebal 20 mm BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (d_b) = 20 mm

Gaya tarik minimum = 14500 Kg

Jumlah bidang geser (m) = 1

Φ (\emptyset) = 1 (lubang standar)

μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset V_n) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 13249,25 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\emptyset V_n} = \frac{48394}{13249,25} = 3,65 \approx 4 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S = 60$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 50$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 50$ mm

4.3.2.4 Ikatan Tumbuk

Profil Siku 80x10

Fy : 250 MPa fu : 410 MPa Es : 200000 MPa

d : 80 mm t : 10 mm

Vu maksimum : 9873 Kg

Pelat sambung tebal 14 mm BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (db) = 16 mm

Gaya tarik minimum = 9500 Kg

Jumlah bidang geser (m) = 1

Phi (ϕ) = 1 (lubang standar)

μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\phi V_n) &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 9500 \\ &= 3757,25 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{9873}{3757,25} = 2,62 \approx 3 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 16 \leq S \leq 15 \cdot 14$ atau 200 mm
 dipakai $S = 50$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 16 \leq S_1 \leq (4 \cdot 14 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 30$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 16 \leq S_2 \leq 12 \cdot 14$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 40$ mm

4.3.3 Sambungan Balok Melintang dengan Rangka Utama

4.3.3.1 Sambungan pada Balok Melintang

Profil WF 600x300x20x12

F_y : 250 MPa f_u : 410 MPa t_f : 12 mm

d : 588 mm B : 300 mm t_w : 20 mm

V_u maksimum : 33065 Kg

Pelat sambung siku 150x150x18 BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (d_b) = 20 mm

Gaya tarik minimum = 14500 Kg

Jumlah bidang geser (m) = 2

Phi (ϕ) = 1 (lubang standar)

μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\phi V_n) &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 14500 \\ &= 11469,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut } (n) = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{33065}{11569,5} = 2,88 \approx 3 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm

$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p$ atau 200 mm

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 18$ atau 200 mm
 dipakai $S = 100$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 18 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 90$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 18$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 75$ mm

4.3.3.2 Sambungan pada Batang Tarik

Profil Box 500x500x16

F_y : 250 MPa f_u : 410 MPa E_s : 200000 MPa
 h : 500 mm B : 500 mm t : 16 mm

V_u maksimum : 33065 Kg

Pelat sambung siku 150x150x18 BJ 50

Baut tipe A325

Diameter baut (d_b) = 20 mm

Gaya tarik minimum = 14500 Kg

Jumlah bidang geser (m) = 1

Φ (\emptyset) = 1 (lubang standar)

μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$\text{Kuat geser } (\emptyset V_n) = \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b$
 $= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500$
 $= 5734,5 \text{ Kg}$

$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\emptyset V_n} = \frac{33065}{5734,5} = 5,76 \approx 6 \text{ buah}$

Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm

$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p$ atau 200 mm

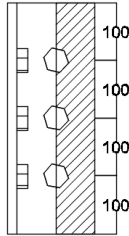
maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 18$ atau 200 mm
 dipakai $S = 100$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 18 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 90$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 18$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 75$ mm

4.3.3 Kontrol Pelat Siku Penyambung

Pelat sambung siku 150x150x18 BJ 50

$$\begin{aligned}\varnothing \text{ Lubang} &= 20 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm (lubang dibor)} \\ &= 21,5 \text{ mm} = 2,15 \text{ cm}\end{aligned}$$



Gambar 4. 51 Detail Bidang Geser Pelat Siku pada Gelagar

Luas Bidang Geser

$$\begin{aligned}A_{nv} &= 2 \times L_{nv1} \times t_{siku} \\ &= 2 \times (40 - 3 \times 2,15) \times 1,8 = 120,8 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Kuat Rencana

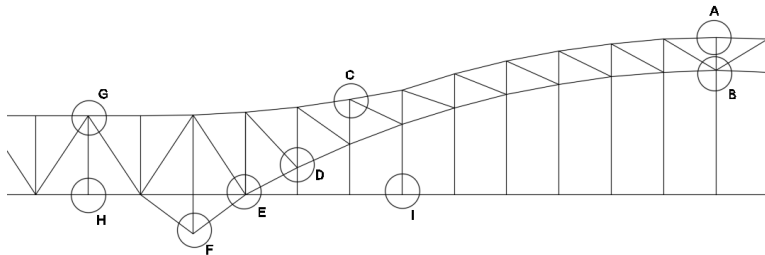
$$\begin{aligned}\varnothing Rn &= \varnothing \times 0,6 \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 5000 \times 120,8 = 271800 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Syarat:

$$V_u \leq \varnothing Rn \rightarrow 33065 \text{ Kg} \leq 271800 \text{ Kg} \quad \mathbf{OK}$$

4.3.4 Sambungan Rangka Utama Busur Jembatan

Tebal pelat sambung titik buhul 20 mm BJ 50



Gambar 4. 52 Sambungan yang Ditinjau pada Rangka Utama Jembatan

4.3.4.1 Batang Tepi Atas Segmen 3**Profil Box 500x500x22**

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 500 mm	t	: 22 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{379462}{2} = 189731 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \\ \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{189731}{5734,75} = 33,08 \approx 36 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm**Kontrol Leleh**

$$\begin{aligned} A_g &= 100 \text{ mm} \\ Au = Ae &= 100 \cdot 0,75 = 75 \text{ mm} \\ \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fy \cdot Ag \\ &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 100 = 261000 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 261000 \text{ Kg} > Vu = 189731 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned} \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fu \cdot Ae \\ &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 75 = 281250 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 281250 \text{ Kg} \geq Vu = 189731 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.3.4.2 Batang Tepi Bawah Segmen 3

Profil Box 500x500x25

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 500 mm	t	: 25 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{328915}{2} = 159458 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{159458}{5734,75} = 27,8 \approx 28 \text{ buah}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm

Kontrol Leleh

$$A_g = 100 \text{ mm}$$

$$A_u = A_e = 100 \cdot 0,75 = 75 \text{ mm}$$

$$\emptyset T_n = \emptyset \cdot f_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 2900 \cdot 100 = 261000 \text{ Kg}$$

$$\emptyset T_n = 261000 \text{ Kg} > Vu = 159458 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

Kontrol Putus

$$\emptyset T_n = \emptyset \cdot f_u \cdot A_e$$

$$= 0,75 \cdot 5000 \cdot 75 = 281250 \text{ Kg}$$

$$\emptyset T_n = 281250 \text{ Kg} \geq Vu = 159458 \text{ Kg} \quad \text{OK}$$

4.3.4.3 Batang Vertikal/Diagonal Segmen 3

Profil Box 500x200x16

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 200 mm	t	: 16 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{131016}{2} = 65508 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \\ \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{65508}{5734,75} = 11,42 \approx 12 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm

Kontrol Leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 40 \text{ mm} \\ Au = Ae &= 40 \cdot 0,75 = 30 \text{ mm} \\ \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fy \cdot Ag \\ &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 40 = 104400 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 104400 \text{ Kg} > Vu = 65508 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned} \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fu \cdot Ae \\ &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 30 = 112500 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 112500 \text{ Kg} \geq Vu = 65508 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.3.4.4 Batang Tepi Atas Segmen 2

Profil Box 500x500x19

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 500 mm	t	: 19 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{155255}{2} = 77268 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \\ \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{77268}{5734,75} = 13,53 \approx 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm

Kontrol Leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 100 \text{ mm} \\ Au = Ae &= 100 \cdot 0,75 = 75 \text{ mm} \\ \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fy \cdot Ag \\ &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 100 = 261000 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 261000 \text{ Kg} > Vu = 77268 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned} \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fu \cdot Ae \\ &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 75 = 281250 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 281250 \text{ Kg} \geq Vu = 77268 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.3.4.5 Batang Tepi Bawah Segmen 2

Profil Box 500x500x28

F_y : 250 MPa f_u : 410 MPa E_s : 200000 MPa
 h : 500 mm B : 500 mm t : 28 mm

$$V_u \text{ maksimum} : \frac{457961}{2} = 228981 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (d_b) = 20 mm
 Gaya tarik minimum = 14500 Kg
 Jumlah bidang geser (m) = 1
 Phi (\emptyset) = 1 (lubang standar)
 μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat geser } (\emptyset V_n) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\
 &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\
 &= 5734,75 \text{ Kg} \\
 \text{Jumlah Baut } (n) &= \frac{V_u}{\emptyset V_n} = \frac{228981}{5734,75} = 39,93 \approx 40 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 40 mm

Kontrol Leleh

$$\begin{aligned}
 A_g &= 100 \text{ mm} \\
 A_u = A_e &= 100 \cdot 0,75 = 75 \text{ mm} \\
 \emptyset T_n &= \emptyset \cdot f_y \cdot A_g \\
 &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 100 = 261000 \text{ Kg} \\
 \emptyset T_n &= 261000 \text{ Kg} > V_u = 228981 \text{ Kg} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned}
 \emptyset T_n &= \emptyset \cdot f_u \cdot A_e \\
 &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 75 = 281250 \text{ Kg} \\
 \emptyset T_n &= 281250 \text{ Kg} \geq V_u = 228981 \text{ Kg} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.3.4.6 Batang Vertikal/Diagonal Segmen 2

Profil Box 500x300x20

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 300 mm	t	: 20 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{177307}{2} = 88653,5 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \\ \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{88653,5}{5734,75} = 15,46 \approx 18 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm

Kontrol Leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 60 \text{ mm} \\ Au = Ae &= 60 \cdot 0,75 = 45 \text{ mm} \\ \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fy \cdot Ag \\ &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 60 = 156600 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 156600 \text{ Kg} > Vu = 88653,5 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned} \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fu \cdot Ae \\ &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 45 = 168750 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 168750 \text{ Kg} \geq Vu = 88653,5 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.3.4.7 Batang Tepi Atas Segmen 1**Profil Box 500x500x16**

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 500 mm	t	: 16 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{243351}{2} = 121676 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \\ \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{121676}{5734,75} = 21,22 \approx 24 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm**Kontrol Leleh**

$$\begin{aligned} A_g &= 100 \text{ mm} \\ Au = Ae &= 100 \cdot 0,75 = 75 \text{ mm} \\ \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fy \cdot Ag \\ &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 100 = 261000 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 261000 \text{ Kg} > Vu = 121676 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned} \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fu \cdot Ae \\ &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 75 = 281250 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 281250 \text{ Kg} \geq Vu = 121676 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.3.4.8 Batang Vertikal/Diagonal Segmen 1

Profil Box 500x300x16

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 300 mm	t	: 16 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{147240}{2} = 73620 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \\ \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{73620}{5734,75} = 12,84 \approx 15 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm

Kontrol Leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 60 \text{ mm} \\ Au = Ae &= 60 \cdot 0,75 = 45 \text{ mm} \\ \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fy \cdot Ag \\ &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 60 = 15660 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 15660 \text{ Kg} > Vu = 73620 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned} \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fu \cdot Ae \\ &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 45 = 168750 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 168750 \text{ Kg} \geq Vu = 73620 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.3.4.9 Batang Tarik**Profil Box 500x500x16**

Fy	: 250 MPa	fu	: 410 MPa	Es	: 200000 MPa
h	: 500 mm	B	: 500 mm	t	: 16 mm

$$Vu \text{ maksimum} : \frac{318635}{2} = 159318 \text{ Kg}$$

Baut tipe A325

Diameter baut (db)	= 20 mm
Gaya tarik minimum	= 14500 Kg
Jumlah bidang geser (m)	= 1
Phi (\emptyset)	= 1 (lubang standar)
μ	= 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser } (\emptyset Vn) &= \emptyset \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500 \\ &= 5734,75 \text{ Kg} \\ \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{159318}{5734,75} = 27,78 \approx 28 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol Pelat Penyambung Tebal 20 mm**Kontrol Leleh**

$$\begin{aligned} A_g &= 100 \text{ mm} \\ Au = Ae &= 100 \cdot 0,75 = 75 \text{ mm} \\ \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fy \cdot Ag \\ &= 0,9 \cdot 2900 \cdot 100 = 261000 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 261000 \text{ Kg} > Vu = 159318 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned} \emptyset Tn &= \emptyset \cdot fu \cdot Ae \\ &= 0,75 \cdot 5000 \cdot 75 = 281250 \text{ Kg} \\ \emptyset Tn &= 281250 \text{ Kg} \geq Vu = 159318 \text{ Kg} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.3.4.10 Jarak Pemasangan Baut

Jarak Pemasangan Baut pada Batang Tepi Atas, Batang Tepi Bawah, dan Batang Tarik (Simpul A, B, C, G, H, I)

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S = 100$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 100$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 100$ mm

Jarak Pemasangan Baut pada Batang Tepi Bawah (Simpul D, E, F)

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S = 90$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 70$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 70$ mm

Jarak Pemasangan Baut pada Batang Vertikal/Diagonal (Simpul A dan B)

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S = 80$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 60$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 60$ mm

Jarak Pemasangan Baut pada Batang Vertikal/Diagonal (Simpul C, D, E, F, G)

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm

$$1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

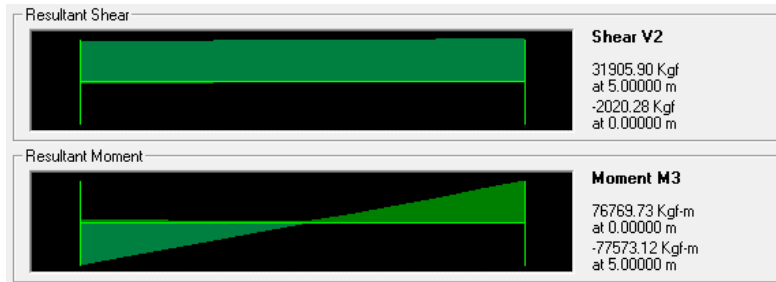
maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S = 80$ mm
- $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S_1 = 70$ mm
- $1.5d_b \leq S_2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S_2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S_2 = 70$ mm

4.3.5 Sambungan Portal Akhir Jembatan

Profil Box 500x500x28

F_y : 250 MPa f_u : 410 MPa E_s : 200000 MPa
 h : 500 mm B : 500 mm t : 28 mm



Gambar 4. 53 Gambar Gaya pada Portal Akhir

Baut tipe A325

Diameter baut (d_b) = 20 mm
 Gaya tarik minimum = 14500 Kg
 Jumlah bidang geser (m) = 1
 Phi (ϕ) = 1 (lubang standar)
 μ = 0.35 (permukaan bersih)

Kekuatan Rencana Baut Tipe Gesek (*Friction Type*)

Kuat geser (ϕV_n) = $\phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b$
 = $1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14500$
 = 11469,5 Kg

Jumlah Baut (n) = $\frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{31906}{11469,5} = 5,56 \approx 6$ buah

Jarak Pemasangan Baut

Syarat : $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5d_b \leq S_1 \leq 12t_p$ atau 200 mm

maka :

- $3d_b \leq S \leq 15t_p$ atau 200 mm
 $3 \cdot 20 \leq S \leq 15 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S = 100$ mm

- $1.5d_b \leq S1 \leq (4t_p + 100)$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S1 \leq (4 \cdot 20 + 100)$ atau 200 mm
 dipakai $S1 = 100$ mm
- $1.5d_b \leq S2 \leq 12t_p$ atau 200 mm
 $1.5 \cdot 20 \leq S2 \leq 12 \cdot 20$ atau 200 mm
 dipakai $S2 = 70$ mm

$$Tu \max = \frac{Mu \cdot y \max}{\Sigma y^2}$$

$$= \frac{77573 \cdot 180}{(80^2 + 160^2)} = 387,86 \text{ kg} < Td \text{ ulir} \quad \text{OK}$$

Kontrol Geser

$$Vu = \frac{Pu}{n} = \frac{31906}{6} = 5317,67 \text{ kg}$$

$$fuv = \frac{Vu}{Ab} = \frac{5317,67}{3,14} = 1693,52 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi \cdot 0,5 \cdot fu^b = 0,75 \cdot 0,5 \cdot 5000 = 1875 \text{ kg/cm}^2$$

Syarat:

$$fuv < \phi \cdot 0,5 \cdot fu^b \quad \text{OK}$$

4.3.6 Perencanaan Perletakan

Perletakan yang digunakan adalah jenis POT *Bearing* produk dari VSL. Perletakan ini didesain untuk mampu menahan beban horizontal dan vertikal akibat beban yang bekerja pada jembatan. Permbebanan vertikal menggunakan kombinasi Envelope.

Pada pembebanan horizontal beban yang bekerja adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Gaya horizontal yang terjadi akibat beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 2833-2008 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan.

4.3.6.1 Pembebanan Horizontal akibat Gempa

Pembebanan horizontal akibat gempa mengacu pada SNI 1725-2016 pasal 9.7 dengan koefisien-koefisien sesuai dengan SNI 2833-2008. Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus berikut.

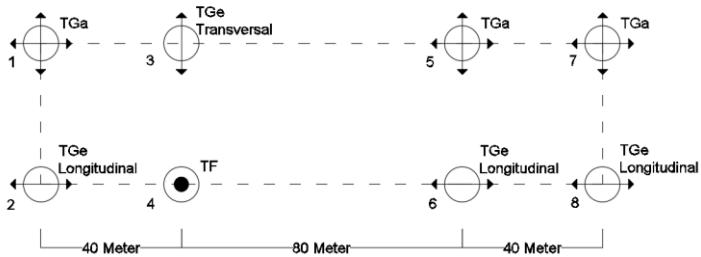
$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan :

- E_Q adalah gaya gempa horizontal statis
- C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis
- R_d adalah faktor modifikasi respons
- W_t adalah berta total struktur

Mencari Nilai W_t

Nilai W_t didapatkan dari program bantu SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan beban hidup dan beban mati sesuai dengan kombinasi Envelope.



Gambar 4. 54 Penamaan Titik Perletakan dan Jenis Perletakan

Tabel 4. 10 Reaksi pada Perletakan (Envelope)

Perletakan	Gaya Vertikal	Sambungan 10%	Total
	Kg	Kg	Kg
1	146247.18	14624.72	160871.90
2	136226.39	13622.64	149849.03
3	446199.61	44619.96	490819.57
4	398312.52	39831.25	438143.77
5	437422.68	43742.27	481164.95
6	398024.90	39802.49	437827.39
7	136143.50	13614.35	149757.85
8	137164.38	13716.44	150880.82
TOTAL	1986703.46	223574.12	2459315.28

- Mencari Nilai C_{sm}

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}}$$

Keterangan :

- A adalah akselerasi puncak di batuan dasar
 T adalah perioda alami struktur
 S adalah kofisien tanah

- Mencari Nilai A



ZONA	AKSELERASI PGA DI BATUAN DASAR	
1	0,53 - 0,60	
2	0,46 - 0,50	
3	0,36 - 0,40	
4	0,26 - 0,30	
5	0,15 - 0,20	
6	0,05 - 0,10	

Gambar 4. 55 Wilayah Gempa Indonesia untuk Periode Ulang 500 Tahun

Tabel 4. 11 Akselerasi puncak PGA

PGA (g)	50 tahun	100 tahun	200 tahun	500 tahun	1000 tahun
Wilayah 1	0,34-0,38	0,40-0,46	0,47-0,53	0,53 - 0,60	0,59-0,67
Wilayah 2	0,29-0,32	0,35-0,38	0,40-0,44	0,46 - 0,50	0,52-0,56
Wilayah 3	0,23-0,26	0,27-0,30	0,32-0,35	0,36 - 0,40	0,40-0,45
Wilayah 4	0,17-0,19	0,20-0,23	0,23-0,26	0,26 - 0,30	0,29-0,34
Wilayah 5	0,10-0,13	0,11-0,15	0,13-0,18	0,15 - 0,20	0,17-0,22
Wilayah 6	0,03-0,06	0,04-0,08	0,04-0,09	0,05 - 0,10	0,06-0,11

Kabupaten Malang terletak pada zona wilayah 4. Untuk menentukan nilai A diambil nilai terkritik yaitu ketika periode ulang 1000 tahun sesuai Tabel 4.9 yaitu sebesar 0,34.

- Mencari Nilai S

Menurut data tanah, rata rata nilai N-SPT untuk tanah hingga 5 m memiliki nilai $15 \leq N \leq 50$. Nilai ini dapat dikategorikan sebagai tanah sedang sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 4. 12 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi Site	\bar{V}_s (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$

Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Indeks plastisitas, $P_i > 20$,
2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan
3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa

Tabel 4. 13 Koefisien Tanah (S)

S (tanah teguh)	S (tanah sedang)	S (tanah lembek)
$S_1=1,0$	$S_2=1,2$	$S_3=1,5$

Sesuai dengan tabel 4.11 maka dapat diambil nilai S sebesar 1.

- Mencari nilai T

Nilai T adalah nilai perioda alami struktur, nilai ini didapatkan pada program bantu SAP 2000. Kombinasi pembebanan yang digunakan pada pemodelan struktur adalah kombinasi Ekstrim I. Berikut adalah periode yang didapatkan.

Tabel 4. 14 Periode Alami Struktur

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
▶	MODAL	Mode	1	0.636352	1.5715	9.8738	97.491
	MODAL	Mode	2	0.377776	2.6471	16.632	276.62
	MODAL	Mode	3	0.318227	3.1424	19.744	389.84
	MODAL	Mode	4	0.293129	3.4115	21.435	459.45
	MODAL	Mode	5	0.250728	3.9884	25.06	627.99
	MODAL	Mode	6	0.243934	4.0995	25.758	663.46
	MODAL	Mode	7	0.21109	4.7373	29.765	885.98
	MODAL	Mode	8	0.179059	5.5847	35.09	1231.3
	MODAL	Mode	9	0.162279	6.1622	38.718	1499.1
	MODAL	Mode	10	0.156939	6.3719	40.036	1602.9
	MODAL	Mode	11	0.138097	7.2413	45.498	2070.1
	MODAL	Mode	12	0.136056	7.3499	46.181	2132.7

Periode alami struktur didapat dari mode 1 sebesar 0,64 detik.

Maka nilai C_{sm} dapat dihitung sebagai berikut,

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}}$$

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot 0,34 \cdot 1}{0,64^{2/3}} = 0,55$$

- Mencari Nilai Modifikasi Respons R_d

Faktor modifikasi respon untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah memiliki nilai faktor yang berbeda sesuai dengan jenis strukturnya. Nilai modifikasi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 4. 15 Faktor Modifikasi Respon R_d

	Kolom atau pilar	Penghubung (<i>connection</i>) bangunan atas pada		
		Kepala jembatan (<i>b</i>)	Kolom, pilar atau tiang (<i>c</i>)	Sambungan dilatasi
Pilar tipe dinding (<i>a</i>)	2 (sumbu kuat) 3 (sumbu lemah)	0,8	1,0	0,8
Kolom tunggal	3-4			
Kolom majemuk	5-6			
<i>pile cap</i> beton	2-3			
Catatan: a. Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar b. Untuk jembatan bentang tunggal digunakan faktor $R_d = 2,5$ untuk hubungan pada kepala jembatan c. Sebagai alternatif hubungan kolom dapat direncanakan untuk gaya maksimum yang dikembangkan oleh sendi plastis kolom				

Untuk struktur penghubung berupa *abutment* memiliki nilai 0,8, sedangkan untuk pilar memiliki nilai 1,0.

4.3.6.2 Gaya pada POT *Bearing*

- Gaya Horizontal Arah-y (Melintang)
Gaya horizontal arah-y diterima oleh 4 buah POT *bearing*, dengan 3 tipe *guided* (PU) dan 1 tipe *fixed* (PF).

Gaya pada *Abutment*

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

$$E_Q = \frac{0,55}{0,8} \times \frac{2459315,28}{4} = 423987,4 \text{ kg}$$

Gaya pada Pilar

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

$$E_Q = \frac{0,55}{1} \times \frac{2459315,28}{4} = 339189,9 \text{ kg}$$

- Gaya Horizontal Arah-x (Memanjang)
 Gaya horizontal arah-x diterima oleh 2 buah POT *bearing*, dengan 1 tipe *guided* (PU) dan 1 tipe *fixed* (PF).

Gaya pada Pilar

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

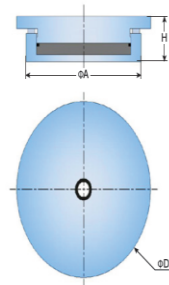
$$E_Q = \frac{0,55}{1} \times \frac{2459315.28}{2} = 678379,9 \text{ kg}$$

4.3.6.3 Pemilihan POT Bearing

Bearings with horizontal load = 30% of vertical load

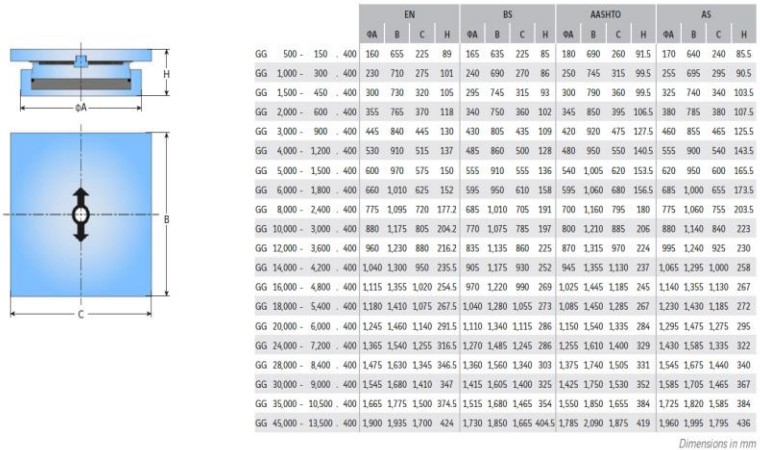
	EN			BS			AASHTO			AS		
	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H
FX 500 - 150	160	160	53	160	160	59	180	180	59	165	165	54
FX 1,000 - 300	220	220	60	235	235	59	250	250	60	255	255	54
FX 1,500 - 450	295	295	64	290	290	67	300	300	65	315	315	67
FX 2,000 - 600	350	350	72	335	335	68	345	345	69	375	375	71
FX 3,000 - 900	440	440	84	415	415	78	415	415	81	475	475	84
FX 4,000 - 1,200	525	525	92	480	480	87	480	480	94	560	560	92
FX 5,000 - 1,500	590	590	109	545	545	95	535	535	111	630	630	108
FX 6,000 - 1,800	660	660	110	590	590	108	595	595	114	705	705	116
FX 8,000 - 2,400	770	770	127	695	695	123	690	690	134	800	800	138
FX 10,000 - 3,000	870	870	145	765	765	142	775	775	161	905	905	152
FX 12,000 - 3,600	955	955	157	835	835	160	845	845	169	1,025	1,025	161
FX 14,000 - 4,200	1,050	1,050	167	905	905	178	920	920	187	1,100	1,100	175
FX 16,000 - 4,800	1,120	1,120	181	980	980	186	990	990	205	1,190	1,190	180
FX 18,000 - 5,400	1,200	1,200	186	1,030	1,030	194	1,075	1,075	206	1,275	1,275	194
FX 20,000 - 6,000	1,270	1,270	209	1,100	1,100	196	1,125	1,125	231	1,350	1,350	198
FX 24,000 - 7,200	1,400	1,400	210	1,245	1,245	197	1,250	1,250	257	1,485	1,485	215
FX 28,000 - 8,400	1,530	1,530	226	1,355	1,355	201	1,365	1,365	271	1,605	1,605	235
FX 30,000 - 9,000	1,590	1,590	239	1,415	1,415	204	1,415	1,415	291	1,665	1,665	238
FX 35,000 - 10,500	1,710	1,710	260	1,540	1,540	206	1,545	1,545	295	1,805	1,805	255
FX 45,000 - 13,500	1,955	1,955	282	1,800	1,800	209	1,780	1,780	340	2,045	2,045	283

Dimensions in mm



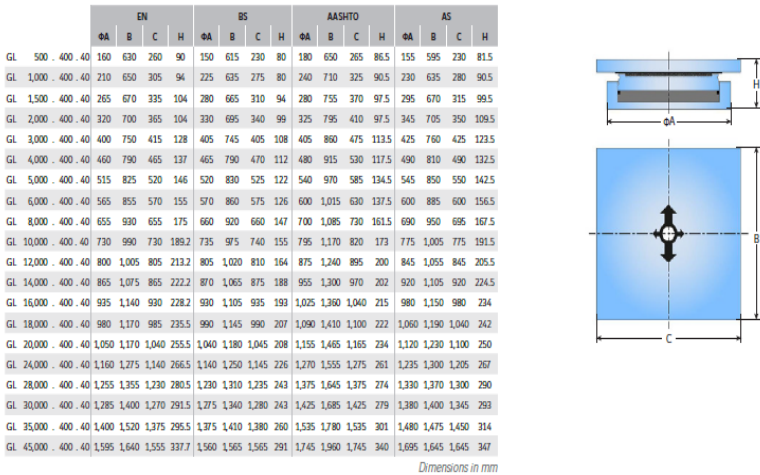
Gambar 4. 56 Brosur POT Bearing Tipe Fixed

Bearings with horizontal load = 30% of vertical load and ±200mm movement



Gambar 4. 57 Brosur POT Bearing Tipe Guided

Bearings with ±200mm longitudinal and ±20mm transverse movement



Gambar 4. 58 Brosur POT Bearing Tipe Free

Hasil perhitungan gaya vertikal dan horizontal yang diterima perletakan harus disesuaikan dengan kekuatan POT *Bearing* sesuai dengan brosur. Berikut adalah hasil rekapitulasi jenis POT *Bearing* yang digunakan.

Tabel 4. 16 Jenis POT *Bearing* yang Digunakan

Perletakan	Joint	Jenis	Posisi	Tipe	V Max ULS (kN)	H max ULS (kN)	V Terjadi (kN)	Melintang	Memanjang
								H Terjadi (kN)	H Terjadi (kN)
1	1	Free	Abutment	GL 2000	2000	-	1608.719	-	-
2	5	Longitudinal	Abutment	GG 16000	16000	4800	1498.49	4239.874305	-
3	607	Transversal	Pilar	GG 24000	24000	7200	4908.196	-	6783.798888
4	454	Fixed	Pilar	FX 24000	24000	7200	4381.438	3391.899444	6783.798888
5	608	Free	Pilar	GL 5000	5000	167	4811.649	-	-
6	455	Longitudinal	Pilar	GG 12000	12000	3600	4378.274	3391.899444	-
7	135	Free	Abutment	GL 2000	2000	-	1497.579	-	-
8	129	Longitudinal	Abutment	GG 16000	16000	4800	1508.808	4239.874305	-

4.4 Perencanaan Bangunan Bawah

4.4.1 Analisis Data Tanah

Pada tugas akhir ini diberikan data tanah berupa hasil SPT (*Standard Penetration Test*) dan didapat data-data sebagai berikut.

Tabel 4. 17 Data Nilai NSPT

(Sumber: Hasil Test NSPT Tanah Desa Sukoharjo, Batu, Malang Titik Bor BH-1 oleh Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

Kedalaman (m)	Nilai NSPT
3	24
6	50
9	50
12	50
15	50
18	50

21	50
24	50
27	50
30	50
33	50
36	50
39	50

4.4.2 Daya Dukung Tanah

Pada tugas akhir ini, perencanaan struktur bawah jembatan menggunakan rumusan Mayerhof dan Bazara (1967). Serta untuk koreksi terhadap muka air tanah menggunakan rumusan Terzaghi dan Peck (1960). Berikut perhitungan daya dukung tanah pada struktur bawah Jembatan Lahor.

Tabel 4. 18 Daya Dukung Tanah Jembatan Lahor

Kedalaman (m)	N	N Koreksi	Np	Ns	K	β	Qs	α	Qp	QL	Qijin
					t/m ²		ton		ton	ton	ton
3	24	19.5	28.99	19.5	20	0.8	86.708	0.85	870.972	957.68	319.227
3.5	28.3	21.65	29.24	20.575	20	0.8	101.159	0.85	878.499	979.658	326.553
4	32.6	23.8	29.46	21.65	20	0.8	115.611	0.85	885.022	1000.63	333.544
4.5	37	26	29.65	22.738	20	0.8	130.062	0.85	890.73	1020.79	340.264
5	41.3	28.15	29.82	23.82	20	0.8	144.513	0.85	895.766	1040.28	346.76
5.5	45.6	30.3	29.97	24.9	40	0.5	185.747	0.5	1059.11	1244.86	414.952
6	50	32.5	30.1	25.986	40	0.5	202.633	0.5	1063.82	1266.45	422.152
6.5	50	32.5	30.22	26.8	40	0.5	219.519	0.5	1068.06	1287.58	429.194
7	50	32.5	30.33	27.433	40	0.5	236.405	0.5	1071.9	1308.31	436.102
7.5	50	32.5	30.43	27.94	40	0.5	253.291	0.5	1075.39	1328.68	442.893
8	50	32.5	30.52	28.355	40	0.5	270.177	0.5	1078.57	1348.75	449.584
8.5	50	32.5	30.6	28.7	40	0.5	287.063	0.5	1081.49	1368.56	456.185
9	50	32.5	30.68	28.992	40	0.5	303.949	0.5	1084.18	1388.13	462.709
9.5	50	32.5	31.2	29.243	40	0.5	320.835	0.5	1102.56	1423.39	474.464
10	50	32.5	31.63	29.46	40	0.5	337.721	0.5	1117.9	1455.62	485.206

10.5	50	32.5	31.98	29.65	40	0.5	354.607	0.5	1130.2	1484.8	494.934
11	50	32.5	32.24	29.818	40	0.5	371.493	0.5	1139.38	1510.88	503.626
11.5	50	32.5	32.41	29.967	40	0.5	388.379	0.5	1145.53	1533.91	511.305
12	50	32.5	32.5	30.1	40	0.5	405.265	0.5	1148.64	1553.91	517.97
12.5	50	32.5	32.5	30.22	40	0.5	422.152	0.5	1148.64	1570.8	523.599
13	50	32.5	32.5	30.329	40	0.5	439.038	0.5	1148.64	1587.68	529.227
13.5	50	32.5	32.5	30.427	40	0.5	455.924	0.5	1148.64	1604.57	534.856
14	50	32.5	32.5	30.517	40	0.5	472.81	0.5	1148.64	1621.45	540.485
14.5	50	32.5	32.5	30.6	40	0.5	489.696	0.5	1148.64	1638.34	546.114
15	50	32.5	32.5	30.676	40	0.5	506.582	0.5	1148.64	1655.23	551.742
15.5	50	32.5	32.5	30.746	40	0.5	523.468	0.5	1148.64	1672.11	557.371
16	50	32.5	32.5	30.811	40	0.5	540.354	0.5	1148.64	1689	563
16.5	50	32.5	32.5	30.871	40	0.5	557.24	0.5	1148.64	1705.88	568.628
17	50	32.5	32.5	30.928	40	0.5	574.126	0.5	1148.64	1722.77	574.257
17.5	50	32.5	32.5	30.98	40	0.5	591.012	0.5	1148.64	1739.66	579.886
18	50	32.5	32.5	31.029	40	0.5	607.898	0.5	1148.64	1756.54	585.514
18.5	50	32.5	32.5	31.075	40	0.5	624.784	0.5	1148.64	1773.43	591.143
19	50	32.5	32.5	31.118	40	0.5	641.67	0.5	1148.64	1790.32	596.772

19.5	50	32.5	32.5	31.159	40	0.5	658.556	0.5	1148.64	1807.2	602.4
20	50	32.5	32.5	31.197	40	0.5	675.442	0.5	1148.64	1824.09	608.029
20.5	50	32.5	32.5	31.233	40	0.5	692.328	0.5	1148.64	1840.97	613.658
21	50	32.5	32.5	31.268	40	0.5	709.215	0.5	1148.64	1857.86	619.286
21.5	50	32.5	32.5	31.3	40	0.5	726.101	0.5	1148.64	1874.75	624.915
22	50	32.5	32.5	31.331	40	0.5	742.987	0.5	1148.64	1891.63	630.544
22.5	50	32.5	32.5	31.36	40	0.5	759.873	0.5	1148.64	1908.52	636.173
23	50	32.5	32.5	31.388	40	0.5	776.759	0.5	1148.64	1925.4	641.801
23.5	50	32.5	32.5	31.414	40	0.5	793.645	0.5	1148.64	1942.29	647.43
24	50	32.5	32.5	31.44	40	0.5	810.531	0.5	1148.64	1959.18	653.059
24.5	50	32.5	32.5	31.464	40	0.5	827.417	0.5	1148.64	1976.06	658.687
25	50	32.5	32.5	31.487	40	0.5	844.303	0.5	1148.64	1992.95	664.316
25.5	50	32.5	32.5	31.509	40	0.5	861.189	0.5	1148.64	2009.83	669.945
26	50	32.5	32.5	31.53	40	0.5	878.075	0.5	1148.64	2026.72	675.573
26.5	50	32.5	32.5	31.55	40	0.5	894.961	0.5	1148.64	2043.61	681.202
27	50	32.5	32.5	31.569	40	0.5	911.847	0.5	1148.64	2060.49	686.831
27.5	50	32.5	32.5	31.588	40	0.5	928.733	0.5	1148.64	2077.38	692.459
28	50	32.5	32.5	31.606	40	0.5	945.619	0.5	1148.64	2094.26	698.088

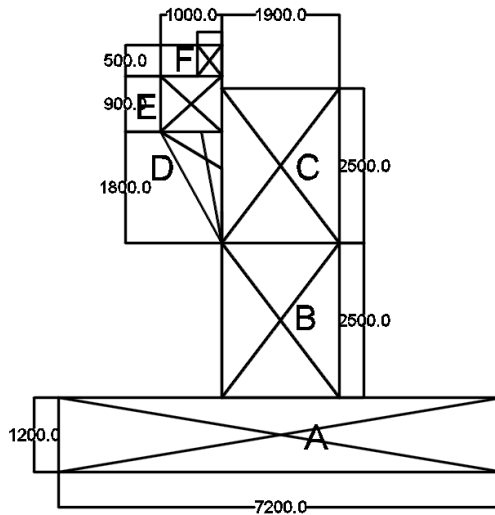
28.5	50	32.5	32.5	31.623	40	0.5	962.505	0.5	1148.64	2111.15	703.717
29	50	32.5	32.5	31.64	40	0.5	979.392	0.5	1148.64	2128.04	709.345
29.5	50	32.5	32.5	31.656	40	0.5	996.278	0.5	1148.64	2144.92	714.974
30	50	32.5	32.5	31.671	40	0.5	1013.16	0.5	1148.64	2161.81	720.603
30.5	50	32.5	32.5	31.686	40	0.5	1030.05	0.5	1148.64	2178.69	726.232
31	50	32.5	32.5	31.7	40	0.5	1046.94	0.5	1148.64	2195.58	731.86
31.5	50	32.5	32.5	31.714	40	0.5	1063.82	0.5	1148.64	2212.47	737.489
32	50	32.5	32.5	31.727	40	0.5	1080.71	0.5	1148.64	2229.35	743.118
32.5	50	32.5	32.5	31.74	40	0.5	1097.59	0.5	1148.64	2246.24	748.746
33	50	32.5	32.5	31.752	40	0.5	1114.48	0.5	1148.64	2263.12	754.375
33.5	50	32.5	32.5	31.765	40	0.5	1131.37	0.5	1148.64	2280.01	760.004
34	50	32.5	32.5	31.776	40	0.5	1148.25	0.5	1148.64	2296.9	765.632
34.5	50	32.5	32.5	31.788	40	0.5	1165.14	0.5	1148.64	2313.78	771.261
35	50	32.5	32.5	31.798	40	0.5	1182.02	0.5	1148.64	2330.67	776.89
35.5	50	32.5	32.5	31.809	40	0.5	1198.91	0.5	1148.64	2347.56	782.518
36	50	32.5	32.5	31.819	40	0.5	1215.8	0.5	1148.64	2364.44	788.147
36.5	50	32.5	32.5	31.829	40	0.5	1232.68	0.5	1148.64	2381.33	793.776
37	50	32.5	32.5	31.839	40	0.5	1249.57	0.5	1148.64	2398.21	799.404

37.5	50	32.5	32.5	31.849	40	0.5	1266.45	0.5	1148.64	2415.1	805.033
38	50	32.5	32.5	31.858	40	0.5	1283.34	0.5	1148.64	2431.99	810.662
38.5	50	32.5	32.5	31.867	40	0.5	1300.23	0.5	1148.64	2448.87	816.29
39	50	32.5	32.5	31.875	40	0.5	1317.11	0.5	1148.64	2465.76	821.919

4.4.3 Desain Abutment dan Pilar Jembatan

4.4.3.1 Desain Abutment Jembatan

Pada perencanaan ini hanya meninjau satu abutment, yaitu abutment yang menopang perletakan 1 dan 2.



Gambar 4. 59 Desain *Abutment* Jembatan Lahor

Luas Abutment

$$A_A = 8640000 \text{ mm}^2$$

$$A_B = 4250000 \text{ mm}^2$$

$$A_C = 4250000 \text{ mm}^2$$

$$A_D = 900000 \text{ mm}^2$$

$$A_E = 900000 \text{ mm}^2$$

$$A_F = 200000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Total} = 19140000 \text{ mm}^2$$

Titik Berat *Abutment* :

$$\text{Sumbu X} = 3469.9 \text{ mm (dari kiri)}$$

Sumbu Y = 2493.7 mm (dari bawah)

Berat *Abutment* dan Modulus Elastisitas Beton:

$$W_{\text{Total}} = 440352 \text{ kg}$$

$$W_{\text{Total Ultimate}} = 440352 \text{ kg} \times 1.3 = 572457 \text{ kg}$$

$$E (f_c' : 40 \text{ MPa}) = 4700\sqrt{f_c}$$

$$= 4700\sqrt{29} = 25310.275 \text{ MPa}$$

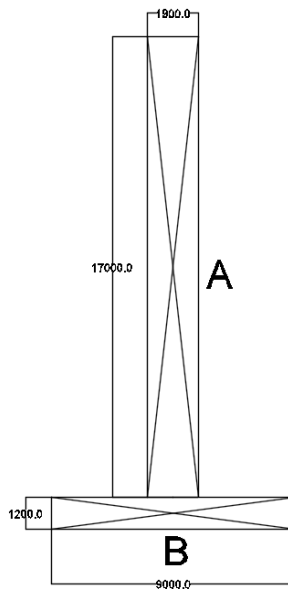
Momen Inersia *Abutment* :

$$I_x = 4.24 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$I_y = 3.56 \times 10^{14} \text{ mm}^4$$

4.4.3.2 Desain Pilar Jembatan

Pada perencanaan ini hanya meninjau satu pilar, yaitu pilar yang menopang perletakan 3 dan 4.



Gambar 4. 60 Desain Pilar Jembatan Lahor

Luas Pilar

$$A_A = 10800000 \text{ mm}^2$$

$$A_B = 32300000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Total} = 43100000 \text{ mm}^2$$

Titik Berat Pilar :

$$\text{Sumbu X} = 4500 \text{ mm (dari kiri)}$$

$$\text{Sumbu Y} = 7419.72 \text{ mm (dari bawah)}$$

Berat Pilar dan Modulus Elastisitas Beton:

$$W_{\text{Total}} = 977952 \text{ kg}$$

$$W_{\text{Total}} \textit{ Ultimate} = 977952 \text{ kg} \times 1.3 = 1271337 \text{ kg}$$

$$E (f_c' : 40 \text{ MPa}) = 4700\sqrt{f_c}$$

$$= 4700\sqrt{29} = 25310.275 \text{ MPa}$$

Momen Inersia Pilar :

$$I_x = 8.26 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$I_y = 9.59 \times 10^{14} \text{ mm}^4$$

4.4.4 Pembebanan Struktur Bangunan Bawah Jembatan

4.4.4.1 Beban Akibat Kombinasi Pembebanan

Bebat total keseluruhan struktur bangunan atas yang diterima oleh perletakan pada pilar dan *abutment*, didapatkan dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 (RM21) tentang jembatan kereta api. Dengan menggunakan program bantu SAP2000, didapatkan beban akibat kombinasi pada *abutment* dan pilar sebagai berikut.

Tabel 4. 19 Beban Struktur Atas Kombinasi pada Abutment

TABLE: Joint Reactions				
Joint	OutputCase	F1	F2	F3
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
1	COMB1	0	0	135736.59
1	COMB2	0	0	137192.54
1	COMB3	0	0	103394.39
1	COMB4	0	0	45070.78
1	COMB5	0	0	11525.98
1	COMB6	0	0	11707.41
1	COMB7	0	0	703.39
1	COMB8 X	0	0	112034.36
1	COMB8 Y	0	0	125126.76
1	COMB9 X	0	0	17553.39
1	COMB9 Y	0	0	30645.78
1	COMB10	0	0	94480.98
5	COMB1	0	3510.93	135736.73
5	COMB2	0	-12839.96	134273.18
5	COMB3	0	-755.18	83173.16
5	COMB4	0	-7801.6	-3237.59
5	COMB5	0	-65	11506.5
5	COMB6	0	-21192.51	-11718.38
5	COMB7	0	-3212.52	-19512.97
5	COMB8 X	0	7373.12	111997.51
5	COMB8 Y	0	19372.44	125085.69
5	COMB9 X	0	5145.03	17522.7
5	COMB9 Y	0	17144.35	30610.89
5	COMB10	0	2228.09	94474.8

Tabel 4. 20 Beban Struktur Atas Kombinasi pada Pilar

TABLE: Joint Reactions				
Joint	OutputCase	F1	F2	F3
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
454	COMB1	29356.83	1283.34	397885.6
454	COMB2	-36017.68	-84715.44	344641.5
454	COMB3	-127475.2	-29251.27	288724.9
454	COMB4	-55422.05	-72052.7	46257.13
454	COMB5	-137722.3	51.39	148723.1
454	COMB6	-95125.19	-124773.9	-98558.21
454	COMB7	-160525.4	-30168.1	-32819.42
454	COMB8 X	98977.21	25580.04	355606.6
454	COMB8 Y	140417.2	83305.27	434355.4
454	COMB9 X	80316.95	24741.94	49832.63
454	COMB9 Y	121757	82467.18	128581.5
454	COMB10	18660.26	838.1	305774
607	COMB1	30775.04	0	397426
607	COMB2	96149.55	0	450677.5
607	COMB3	-79748.57	0	368365.9
607	COMB4	55422.05	0	236823
607	COMB5	-136837.7	0	148683.2
607	COMB6	95125.19	0	98568.74
607	COMB7	-114034.6	0	47154.12
607	COMB8 X	100240	0	355287.4
607	COMB8 Y	141532.3	0	434215.7
607	COMB9 X	80376.42	0	49819.25
607	COMB9 Y	121668.7	0	128747.6
607	COMB10	19863.58	0	305468.2

4.4.4.2 Beban Gempa Horizontal Statis

Perhitungan beban gempa bangunan bawah Jembatan Buol ini mengacu pada peraturan SNI 1725:2016 pasal 9.7 tentang pengaruh gempa. Beban rencana gempa diperoleh dari rumus sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Dimana :

$$C_{sm} = \frac{1,2 \times A \times S}{T^{\frac{2}{3}}} \leq 2,5 A \quad , \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \times K_p}} \quad \text{dan} \quad K_p = \frac{3 \times E \times I_y}{H^3}$$

a. Perhitungan Gaya Gempa Horizontal Statis pada Abutment Arah Melintang

$$\begin{aligned} I_Y &= 3,56 \times 10^{14} \text{ mm}^4 \\ K_p &= \frac{3 \times 25310,275 \times 3,56 \times 10^{14}}{6900^3} \times 10^{-1} = 8221723,01 \text{ t/m} \\ T &= 2\pi \sqrt{\frac{572,457}{9,8 \times 8221723,01}} = 0,0167 \text{ s} \\ C_{sm} &= \frac{1,2 \times 0,34 \times 1}{0,0167^{\frac{2}{3}}} \leq 2,5 \times 0,34 \\ &= 6,23 \leq 0,85 \\ &= 0,85 \end{aligned}$$

Untuk koefisien faktor modifikasi respons (R_d) dapat dilihat pada **Tabel 4.15**. Pada perencanaan ini, faktor modifikasi respons untuk abutment menggunakan Pilar Tipe Dinding untuk koefisien faktor modifikasi respons.

$$\begin{aligned} R_d &= 2 \text{ (Sumbu Kuat)} \\ E_Q &= \frac{0,85}{2} \times 572,457 \times 10 = 2432,94 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya gempa horizontal statis ini diterima oleh abutment pada titik pusat masa abutment atau titik berat abutment. Oleh karena terdapat jarak antara titik pusat massa dan dasar *pilecap*, maka dasar *pilecap* menerima momen akibat gaya gempa horizontal sebesar :

$$M_y = \frac{2432.94}{10} \times \frac{2493.7}{1000} = 606,7 \text{ tm}$$

b. Perhitungan Gaya Gempa Horizontal Statis pada Abutment Arah Memanjang

$$\begin{aligned} I_x &= 4.24 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \\ K_P &= \frac{3 \times 25310.275 \times 4.24 \times 10^{13}}{6900^3} \times 10^{-1} = 979945,74 \text{ t/m} \\ T &= 2\pi \sqrt{\frac{572,457}{9.8 \times 979945,74}} = 0.0485 \text{ s} \\ C_{sm} &= \frac{1,2 \times 0.34 \times 1.2}{0.0485^{\frac{2}{3}}} \leq 2.5 \times 0.34 \\ &= 3.067 \leq 0.725 \\ &= 0.85 \end{aligned}$$

Untuk koefisien faktor modifikasi respons (R_d) dapat dilihat pada **Tabel 4.15**. Pada perencanaan ini, faktor modifikasi respons untuk abutment menggunakan Pilar Tipe Dinding untuk koefisien faktor modifikasi respons.

$$\begin{aligned} R_d &= 3 \text{ (Sumbu Lemah)} \\ E_Q &= \frac{0.85}{3} \times 572,457 \times 10 = 5853,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya gempa horizontal statis ini diterima oleh abutment pada titik pusat masa abutment atau titik berat abutment. Oleh karena terdapat jarak antara titik pusat massa dan dasar *pilecap*, maka dasar *pilecap* menerima momen akibat gaya gempa horizontal sebesar :

$$M_x = \frac{5853,16}{10} \times \frac{3469,9}{1000} = 2030,99 \text{ tm}$$

c. Perhitungan Gaya Gempa Horizontal Statis pada Pilar Arah Melintang

$$I_Y = 9,59 \times 10^{14} \text{ mm}^4$$

$$K_P = \frac{3 \times 25310,275 \times 9,59 \times 10^{14}}{18200^3} \times 10^{-1} = 1208358,54 \text{ t/m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1271,337}{9,8 \times 1208358,54}} = 0,065 \text{ s}$$

$$C_{sm} = \frac{1,2 \times 0,34 \times 1}{0,065^{\frac{2}{3}}} \leq 2,5 \times 0,34$$

$$= 2,52 \leq 0,85$$

$$= 0,85$$

Untuk koefisien faktor modifikasi respons (R_d) dapat dilihat pada **Tabel 4.15**. Pada perencanaan ini, faktor modifikasi respons untuk abutment menggunakan Pilar Tipe Dinding untuk koefisien faktor modifikasi respons.

$$R_d = 2 \text{ (Sumbu Kuat)}$$

$$E_Q = \frac{0,85}{2} \times 1271,337 \times 10 = 5403,18 \text{ kN}$$

Gaya gempa horizontal statis ini diterima oleh abutment pada titik pusat masa abutment atau titik berat abutment. Oleh karena terdapat jarak antara titik pusat massa dan dasar *pilecap*, maka dasar *pilecap* menerima momen akibat gaya gempa horizontal sebesar :

$$M_y = \frac{5403,18}{10} \times \frac{7419,72}{1000} = 4009,01 \text{ tm}$$

d. Perhitungan Gaya Gempa Horizontal Statis pada Pilar Arah Memanjang

$$\begin{aligned}
 I_x &= 8.26 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \\
 K_p &= \frac{3 \times 25310.275 \times 8,26 \times 10^{13}}{18200^3} \times 10^{-1} = 104057,39 \text{ t/m} \\
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{1271,337}{9.8 \times 104057,39}} = 0.22 \text{ s} \\
 C_{sm} &= \frac{1,2 \times 0,34 \times 1}{0.22^{\frac{2}{3}}} \leq 2.5 \times 0.34 \\
 &= 1,11 \leq 0.85 \\
 &= 0.85
 \end{aligned}$$

Untuk koefisien faktor modifikasi respons (R_d) dapat dilihat pada **Tabel 4.15**. Pada perencanaan ini, faktor modifikasi respons untuk abutment menggunakan Pilar Tipe Dinding untuk koefisien faktor modifikasi respons.

$$\begin{aligned}
 R_d &= 3 \text{ (Sumbu Lemah)} \\
 E_Q &= \frac{0.85}{3} \times 1271,337 \times 10 = 4718,01 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

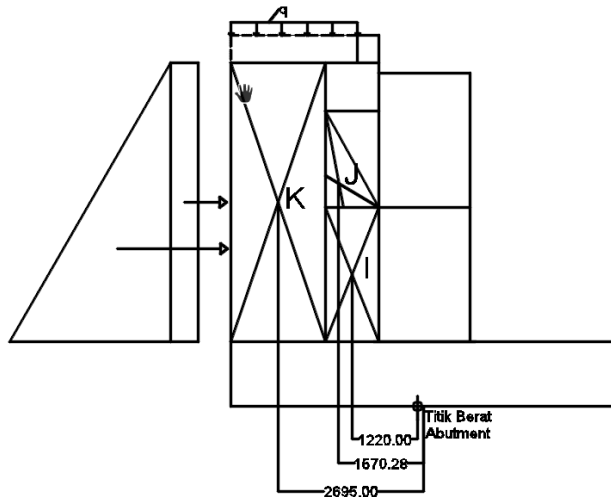
Gaya gempa horizontal statis ini diterima oleh abutment pada titik pusat masa abutment atau titik berat abutment. Oleh karena terdapat jarak antara titik pusat massa dan dasar *pilecap*, maka dasar *pilecap* menerima momen akibat gaya gempa horizontal sebesar :

$$M_x = \frac{4718,01}{10} \times \frac{4500}{1000} = 2123,106 \text{ tm}$$

4.4.4.3 Beban Tekanan Tanah Aktif

Gaya yang diakibatkan oleh tekanan tanah dapat menimbulkan geser dan momen pada struktur bangunan bawah. Pada perencanaan ini, beban tekanan tanah aktif hanya diterima

oleh abutment. Gaya tekanan aktif tanah yang bekerja dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 61 Tekanan Tanah Aktif dan Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas (q) setinggi 0.7 m setara dengan beban 1.19 t/m^2 . Untuk sifat-sifat fisis dan mekanis tanah dibelakang *abutment* dapat dilihat sebagai berikut:

$$\gamma_t = 1.914 \text{ t/m}^3$$

$$\emptyset = 40 \text{ derajat}$$

$$C = 0$$

$$K_A = \tan(45 - 40)^2 = 0.217$$

Gaya horizontal akibat tekanan tanah aktif dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_{a1} &= q \times k_a \times H_{tanah} \\ &= 1.19 \times 0.217 \times 6.2 = 1.604 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$E_{a2} = 0.5 \times (2.83 - 0.25) \times 6.2 \times 0.217 = 7.99 \text{ t/m}$$

$$T_a = (1.604 + 7.99) \times 12 \times 1.25 = 144.05 \text{ t}$$

$$M_{TA} = \left(1,604 \times 12 \times 1,25 \times \frac{6,2}{2}\right) + \left(7,99 \times 12 \times 1,25 \times \frac{6,2}{3}\right)$$

$$= 322,57 \text{ tm}$$

Beban tanah diatas *pilecap* menambah beban vertikal dan momen pada dasar *pilecap*. Nilai beban vertikal dan momen akibat tanah vertikal dengan faktor beban 1.25 sebagai berikut :

$$W_I = 71,77 \text{ ton}$$

$$W_J = 25,84 \text{ ton}$$

$$W_K = 286,38 \text{ ton}$$

$$W_{\text{total}} = 383,99 \text{ ton}$$

$$M_{TV} = 900,01 \text{ tm}$$

4.4.4.4 Beban Tekanan Tanah Aktif Akibat Gempa

Sifat-sifat fisis dan mekanis tanah dibelakang *abutment* untuk tekanan tanah aktif akibat gempa, dapat dilihat sebagai berikut:

$$\gamma_t = 1.914 \text{ t/m}^3$$

$$\emptyset = 40 \text{ derajat}$$

$$C = 0$$

$$K_h = 0.2$$

$$\delta_E = 20 \text{ derajat}$$

$$\theta = 0 \text{ derajat}$$

$$\alpha = 0 \text{ derajat}$$

$$\theta_0 = \tan^{-1}(0.2) = 4.933 \text{ derajat}$$

$$K_{EA} = \frac{\cos^2(\emptyset - \theta_0 + \theta)}{\cos\theta_0 \cos^2\theta \cos(\theta - \theta_0 + \delta_E) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\emptyset - \delta_E) \sin(\emptyset + \alpha - \theta_0)}{\cos(\theta - \theta_0 + \delta_E) \cos(\theta - \alpha)}}\right]^2}$$

$$K_{EA} = \frac{\cos^2(40 - 4.933 + 0)}{\cos(4.933) \cos^2(0) \cos(0 - 4.933 + 20) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(40 - 20) \sin(40 + 0 - 4.933)}{\cos(0 - 4.933 + 20) \cos(0 - 0)}}\right]^2}$$

$$= 0.643$$

Gaya horizontal akibat tekanan tanah aktif dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 E_{a1} &= q \times ka \times H_{tanah} \\
 &= 1.19 \times 0.643 \times 6,2 = 4,745 \text{ t/m} \\
 E_{a2} &= 0.5 \times (8,39 - 0,76) \times 6,2 \times 0,643 = 23,657 \text{ t/m} \\
 T_a &= (4,745 + 23,657) \times 12 \times 1,25 = 4.29 \text{ t} \\
 M_{TA} &= \left(4,745 \times 12 \times 1,25 \times \frac{6,2}{2}\right) + \left(23,657 \times 12 \times 1,25 \times \frac{6,2}{3}\right) \\
 &= 953,99 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

Beban tanah diatas *pilecap* menambah beban vertikal dan momen pada dasar *pilecap*. Nilai beban vertikal dan momen akibat tanah vertikal dengan faktor beban 1,25 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_I &= 71,77 \text{ ton} \\
 W_J &= 25,84 \text{ ton} \\
 W_K &= 286,38 \text{ ton} \\
 W_{total} &= 383,99 \text{ ton} \\
 M_{TV} &= 900,01 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

4.4.5 Perencanaan *Bored Pile*

Dalam perencanaan tiang pancang ini, digunakan *bored pile* dengan diameter 1500 mm untuk pilar dan *bored pile* dengan diameter 1200 mm untuk *abutment* dengan mutu beton 52 MPa.

4.4.5.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk tiang pancang diambil dari salah satu yang paling kritis. Kombinasi yang digunakan yaitu sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.60 Tahun 2012 (RM21) tentang jembatan kereta api. Beban akibat, tekanan tanah aktif, beban gempa dan beban sendiri pilar telah dimasukkan kedalam kombinasi tersebut. Kombinasi pembebanan pilar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 21 Kombinasi Pembebanan Pilar

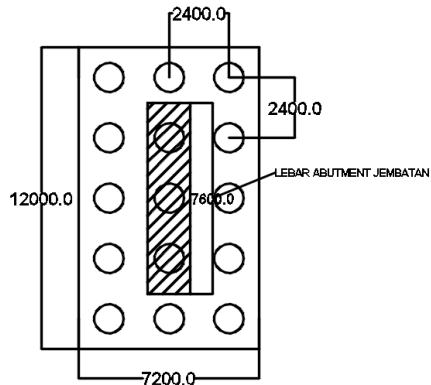
OutputCase	P (kg)	Hx (kg)	Hy (kg)	Mx (kgm)	My (kgm)
COMB1	795311.6	60131.87	1283.34	1094400	23356.788
COMB2	795318.9	60131.87	-84715.44	1094400	-1541821
COMB3	657090.7	-207223.77	-29251.27	-3771472.6	-532373.11
COMB4	283080.1	0	-72052.7	0	-1311359.1
COMB5	297406.3	-274560	51.39	-4996992	935.298
COMB6	10.53	0	-124773.86	0	-2270884.3
COMB7	14334.7	-274560	-30168.1	-4996992	-549059.42
COMB8 X	710894	199217.21	25580.04	3627876.3	466759.43
COMB8 Y	868571.2	281949.51	83305.27	5132118	1520164.9
COMB9 X	99651.88	160693.37	24741.94	2926742.4	451506.01
COMB9 Y	257329	243425.67	82467.18	4430984.1	1504911.7
COMB10	611242.1	38523.84	838.1	701133.89	15253.42

Tabel 4. 22 Kombinasi Pembebanan Abutment

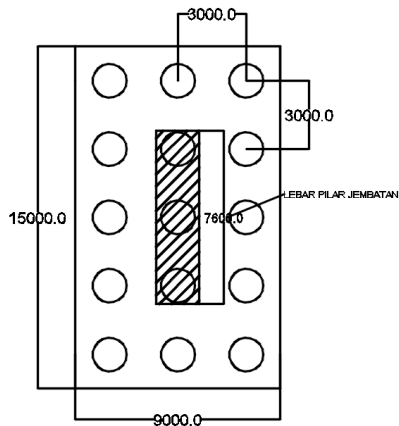
OutputCase	P	Hx	Hy	Mx	My
COMB1	655469.6	144050.7	3510.93	-651913.9	21767.766
COMB2	655462	144050.7	-12839.96	-651913.9	-79607.752
COMB3	570563.8	144050.7	-755.18	-651913.9	-4682.116
COMB4	425829.4	144050.7	-7801.6	-651913.9	-48369.92
COMB5	407028.7	144050.7	-65	-651913.9	-403
COMB6	383985.3	144050.7	-21192.51	-651913.9	-131393.56
COMB7	365186.7	144050.7	-3212.52	-651913.9	-19917.624
COMB8 X	608028.1	426025.16	7373.12	2010501.1	227722.78
COMB8 Y	634208.7	426025.16	19372.44	588806.45	726807.26
COMB9 X	419072.3	426025.16	5145.03	2010501.1	213908.63
COMB9 Y	445252.9	426025.16	17144.35	588806.45	712993.1
COMB10	572952	144050.7	2228.09	-651913.9	13814.158

4.4.5.2 Repartisi Beban-beban di atas Tiang Kelompok

Perencanaan jumlah tiang pancang perlu memperhatikan kedalaman, diameter dan daya dukung tanah. Rencana tiang pancang *Abutment* dan Pilar dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 62 Rencana *Bored Pile Abutment*



Gambar 4. 63 Rencana *Bored Pile Pilar*

Jika *bored pile* disatukan menjadi sebuah kelompok tiang yang disatukan oleh kepala tiang (*pilecap*) dan bekerja beban

vertikal (V), horizontal (H) dan momen (M), maka beban vertikal ekuivalen (P_v) yang bekerja pada sebuah tiang sebagai berikut :

$$P_v = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_x \times x_{max}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_y \times y_{max}}{\Sigma y^2}$$

Keterangan :

P_v = Beban vertikal ekuivalen sebuah tiang pancang

ΣP = Total beban aksial yang bekerja pada tiang

M_x = Momen terhadap sumbu X

M_y = Momen terhadap sumbu Y

X_{max} = Koordinat tiang pancang terjauh terhadap garis netral

Y_{max} = Koordinat tiang pancang terjauh terhadap garis netral

Σx^2 = Jumlah kuadrat koordinat tiang pancang terhadap garis netral kelompok tiang

Σy^2 = Jumlah kuadrat koordinat tiang pancang terhadap garis netral kelompok tiang

n = Banyaknya tiang pancang

Hasil perhitungan P_v tiang pancang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 23 Beban Vertikal Ekuivalen *Bored Pile Abutment*

OutputCase	P/n (kg)	Mx X/X ² (kg)	My Y/Y ² (kg)	Pv
COMB1	43697.971	-27163.0792	604.6601667	17139.5523
COMB2	43697.465	-27163.0792	-2211.326444	14323.05903
COMB3	38037.587	-27163.0792	-130.0587778	10744.44869
COMB4	28388.629	-27163.0792	-1343.608889	-118.0587519
COMB5	27135.249	-27163.0792	-11.19444444	-39.02497408
COMB6	25599.019	-27163.0792	-3649.821167	-5213.881696
COMB7	24345.778	-27163.0792	-553.2673333	-3370.56853
COMB8 X	40535.208	83770.87861	6325.632873	130631.7195
COMB8 Y	42280.58	24533.60189	20189.09054	87003.27243
COMB9 X	27938.156	83770.87861	5941.906262	117650.9409
COMB9 Y	29683.528	24533.60189	19805.36393	74022.49381
COMB10	38196.802	-27163.0792	383.7266111	11417.44941

Tabel 4. 24 Beban Vertikal Ekuivalen *Bored Pile Pilar*

OutputCase	P/n (kg)	Mx X/X ² (kg)	My Y/Y ² (kg)	Pv
COMB1	53020.77333	36480.00113	519.0397333	90019.8142
COMB2	53021.26067	36480.00113	34262.68907	123763.9509
COMB3	43806.048	125715.7538	11830.51364	181352.3154
COMB4	18872.008	0	29141.31422	48013.32222
COMB5	19827.08733	166566.4	20.7844	186414.2717
COMB6	0.702	0	50464.09449	50464.79649
COMB7	955.6466667	166566.4	12201.32044	179723.3671
COMB8 X	47392.93467	120929.2109	10372.43182	178694.5774
COMB8 Y	57904.74467	171070.6005	33781.44282	262756.7879
COMB9 X	6643.458667	97558.08135	10033.46693	114235.0069
COMB9 Y	17155.26867	147699.4709	33442.48197	198297.2215
COMB10	40749.476	23371.1296	338.9648889	64459.57049

4.4.5.3 Kontrol Kekuatan *Bored Pile*

a. Kontrol Daya Dukung *Bored Pile* Grup

Kedalaman tiang pancang yang direncanakan untuk *abutment* ialah 10 meter sedangkan untuk pilar ialah 14 meter. Kontrol dilakukan dengan menggunakan data Q_{ijin} 1 tiang pada kedalaman 14 meter untuk pilar dan kedalaman 10 meter untuk *abutment* yang dapat dilihat pada **Tabel 4.18**. Kontrol daya dukung ini dilakukan dengan membandingkan daya dukung *bored pile* akibat grup tiang pondasi dengan nilai P_v . Metode yang digunakan untuk mendapatkan daya dukung akibat group tiang pondasi ialah metode Converse-Labarre. Kontrol daya dukung tiang panjang sebagai berikut :

Untuk *Abutment*:

$$\text{Jumlah baris (m)} = 5$$

$$\text{Jumlah kolom (n)} = 3$$

$$S = 2400 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tiang } \emptyset = 1200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Ce &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\emptyset}{S}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \\ &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{1200}{2400}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{5} - \frac{1}{3}\right) \\ &= 0,567 \end{aligned}$$

$$Q_{ijin} = 485,21 \text{ ton}$$

$$Q_{dukung} = Q_{ijin} \times Ce = 485,21 \times 0,567 = 275,15 \text{ ton}$$

$$P_v = 130,63 \text{ ton}$$

$$P_v = 130,63 \text{ ton} < Q_{dukung} = 275,15 \text{ ton}$$

OK

Untuk Pilar:

$$\text{Jumlah baris (m)} = 5$$

$$\text{Jumlah kolom (n)} = 3$$

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

$$\text{Diameter Tiang } \emptyset = 1500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Ce &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\theta}{5}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \\
 &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{1500}{3000}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{5} - \frac{1}{3}\right) \\
 &= 0,567
 \end{aligned}$$

$$Q_{ijin} = 540,48 \text{ ton}$$

$$Q_{dukung} = Q_{ijin} \times Ce = 540,48 \times 0,567 = 306,50 \text{ ton}$$

$$P_v = 262,75 \text{ ton}$$

$$P_v = 262,75 \text{ ton} < Q_{ijin} = 540,48 \text{ ton} \quad \text{OK}$$

b. Momen Retak Akibat Gaya Horizontal *Bored Pile*

Bored pile pada pilar dan *abutment* perlu dikontrol untuk menahan gaya horizontal atau lateral. Gaya ultimate lateral resistance yang bekerja pada *fixed headed pile* dapat dihitung dengan metode menurut Tomlinson dan Terzaghi sebagai berikut:

$$H_u = \frac{M_u}{Z_f}$$

Keterangan :

Z_f = Letak titik jepit tanah (m)

Untuk Silt, rumusan $Z_f = 1.8T$

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$$

T = *Stiffness factor* (m)

E = $4700 \times \sqrt{52} = 3.389 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

n_h = 20000000 N/m^3

I = $\frac{\pi \cdot r^4}{4} \text{ (m}^4\text{)}$

Kontrol gaya lateral pada tiang pancang *abutment* :

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} = \frac{\pi \cdot 0,6^4}{4} = 0,102 \text{ m}^4$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{3.389 \times 10^{10} \times 0.102}{20000000}} = 0,17 \text{ m}$$

Letak titik jepit tanah dari permukaan tanah didapatkan :

$$Zf = 1.8 \times T = 1.8 \times 0,17 = 0,32 \text{ m}$$

$$H_{uX} = \frac{426,025}{n} = \frac{426,025}{15} = 28,401 \text{ ton}$$

$$H_{uY} = \frac{21,192}{n} = \frac{21,192}{15} = 1,412 \text{ ton}$$

$$M_{\text{break}X} = Zf \times H_{uX} = 0,32 \cdot 28,401 = 9,035 \text{ tm}$$

$$M_{\text{break}Y} = Zf \times H_{uY} = 0,32 \cdot 1,412 = 0,449 \text{ tm}$$

Kontrol gaya lateral pada tiang pancang pilar :

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} = \frac{\pi \cdot 0,75^4}{4} = 0,248 \text{ m}^4$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{3.389 \times 10^{10} \times 0,248}{20000000}} = 0,21 \text{ m}$$

Letak titik jepit tanah dari permukaan tanah didapatkan :

$$Zf = 1.8 \times T = 1.8 \times 0,21 = 0,38 \text{ m}$$

$$H_{uX} = \frac{281,95}{n} = \frac{281,95}{15} = 18,796 \text{ ton}$$

$$H_{uY} = \frac{124,774}{n} = \frac{124,774}{15} = 8,318 \text{ ton}$$

$$M_{\text{break}X} = Zf \times H_{uX} = 0,38 \cdot 18,796 = 7,148 \text{ tm}$$

$$M_{\text{break}Y} = Zf \times H_{uY} = 0,38 \cdot 8,318 = 3,163 \text{ tm}$$

4.4.6 Penulangan Pilar Jembatan

4.4.6.1 Penulangan Dinding Pilar Jembatan

Besarnya gaya dalam pada pilar dari hasil kombinasi

Tabel 4.18 adalah sebagai berikut :

$$P_u = 868,57 \text{ ton}$$

$$M_{ux} = 5132,12 \text{ tm}$$

$$M_{uy} = 1520,16 \text{ tm}$$

$$H_x = 281,95 \text{ ton}$$

$$H_y = 83,31 \text{ ton}$$

Mutu bahan:

$$f_c' = 29 \text{ MPa}$$

$$f_y = 392 \text{ MPa}$$

Penulangan Utama Dinding

Tulangan Utama D25 mm, $A_s = 491.07 \text{ mm}^2$

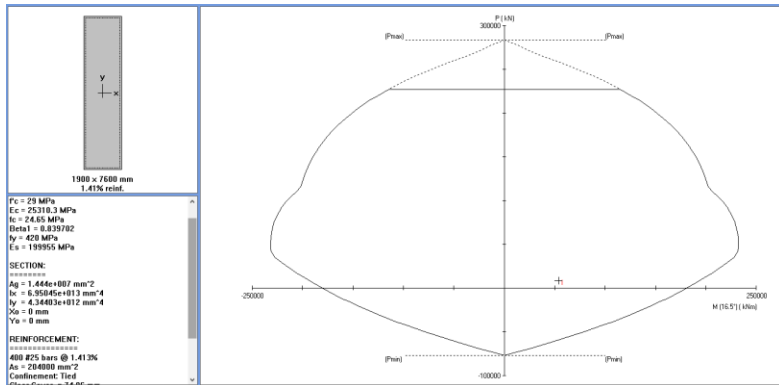
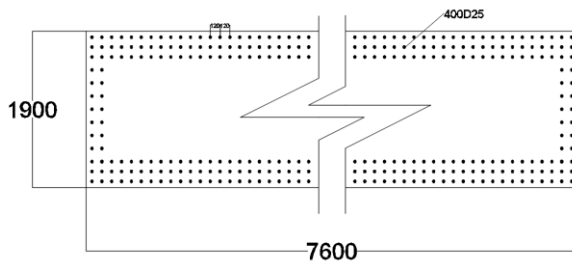
Tulangan Susut D25 mm, $A_s = 491.07 \text{ mm}^2$

Tulangan Geser D19 mm, $A_s = 283.53 \text{ mm}^2$

Selimut beton = 75 mm

$$d' = 1900 - 75 - 25 - 0.5 \times 25 = 1787,5 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan software spcolumn, didapatkan rasio tulangan utama (ρ) = 1.41% yang dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 4. 64 Hasil Analisis Pilar dengan *Spcolumn*

Gambar 4. 65 Gambar Penulangan Longitudinal Dinding Pilar

Jumlah tulangan butuh

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d' \\ &= 0.0141 \times 7600 \times 1787,5 \\ &= 191548,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan utama 400D25

$$A_s = 400 \times 491.07 = 196438,5 \text{ mm}^2 \geq 191548,5 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Penulangan Susut Dinding Pilar

Untuk tulangan susut digunakan :

$$A_{S_{\min}} = \rho_{\min} \times b \times d$$

$$= 0.002 \times 17000 \times 1787,5$$

$$= 60775 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{60775}{491,07} = 123,7 \approx 130 \text{ tulangan}$$

Jadi digunakan tulangan susut 130D25-130 mm

Penulangan Geser Dinding Pilar

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} x b x L x \left[1 + \frac{Nu}{14Ag} \right]$$

$$= \frac{1}{6} x \sqrt{29} x 1900 x 7600 x \left[1 + \frac{868,57}{14 x (7600 x 1900)} \right]$$

$$= 1351,713 \text{ t}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 1351,713 = 1013,784 \text{ t} > H_x = 281,95 \text{ t}$$

Tidak diperlukan perencanaan penulangan geser, jadi digunakan tulangan geser D13-200 mm.

4.4.6.2 Penulangan *Pilecap* Pilar Jembatan

Penulangan lentur *pilecap* sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada dasar pilar. Beban yang bekerja adalah P_v dan berat dari *pilecap* sendiri. Berikut adalah data-data untuk perhitungan tulangan lentur pada *pilecap* pilar:

$$\text{Tulangan Utama } D29 \text{ mm, } A_s = 660.52 \text{ mm}^2$$

$$\text{Selimut beton} = 75 \text{ mm}$$

$$d' \text{ sisi panjang} = 1200 - 75 - 29 - 0.5 \times 29 = 1081.5 \text{ mm}$$

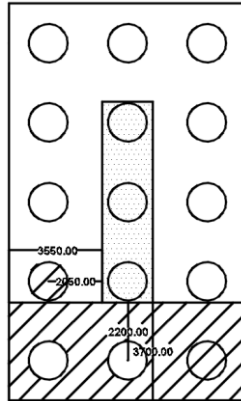
$$d' \text{ sisi pendek} = 1200 - 75 - 29 - 0.5 \times 29 = 1081.5 \text{ mm}$$

Mutu bahan:

$$F_c' = 29 \text{ MPa}$$

$$F_y = 392 \text{ MPa}$$

Penulangan Lentur Sisi Panjang



Gambar 4. 66 Daerah Tulangan Lentur Sisi Panjang

$$P_v = 261,756 \text{ ton}$$

$$n = 3$$

$$W_u = 1.3 \times 2400 \times 9 \times 1.2 \\ = 33696 \text{ kg/m} = 0.033 \text{ t/mm}$$

$$M_u = n \times p \times 2200 + 0.5 \times W_u \times 3700^2 \\ = 3 \times 261,756 \times 2200 + 0,5 \times 56160 \times 3700^2 \\ = 1,96 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1,96 \times 10^{10}}{0.9} = 2,183 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{392}{0.85 \times 29} = 15.9$$

$$\rho_{\min} = 0.002$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{2,183 \times 10^{10}}{15000 \times 1021^2} = 1,478 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \times \frac{1}{m} \\ = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,9 \times 1,478}{392}} \right) \times \frac{1}{15.9} \\ = 0.0039$$

Tulangan butuh sisi bawah dan atas *pilecap*

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d' \\ &= 0.0039 \times 9000 \times 1021 \\ &= 35760,164 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

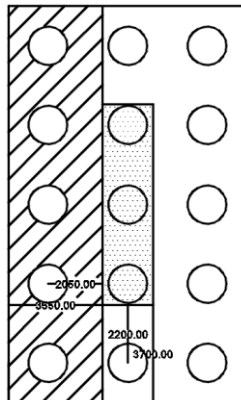
Jumlah tulangan

$$n = \frac{35760,164}{660.52} = 54,14, \text{ pakai } 55 \text{ D29}$$

Jarak tulangan

$$\text{Jarak} = \frac{660.52 \times (1500 - 75 \times 2)}{59600,274} = 164,57 \text{ mm, pakai } 160 \text{ mm}$$

Penulangan Lentur Sisi Pendek



Gambar 4. 67 Daerah Tulangan Lentur Sisi Pendek

$$P_v = 261,756 \text{ ton}$$

$$n = 5$$

$$\begin{aligned} W_u &= 1.3 \times 2400 \times 15 \times 1.2 \\ &= 56160 \text{ kg/m} = 0.056 \text{ t/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= n \times p \times 2050 + 0.5 \times W_u \times 3550^2 \\ &= 5 \times 261,756 \times 2050 + 0,5 \times 56160 \times 3550^2 \\ &= 3,05 \times 10^{10} \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3,05 \times 10^{10}}{0.9} = 3,385 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{392}{0.85 \times 29} = 15.9$$

$$\rho_{\min} = 0.002$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{3,385 \times 10^{10}}{15000 \times 1021^2} = 2,292 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \times \frac{1}{m} \\ &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,9 \times 2,292}{392}} \right) \times \frac{1}{15.9} \\ &= 0.0061 \end{aligned}$$

Tulangan butuh sisi bawah dan atas *pilecap*

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d' \\ &= 0.0061 \times 15000 \times 1021 \\ &= 94174,214 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{94174,214}{660.52} = 142,57, \text{ pakai } 145D29$$

Jarak tulangan

$$\text{Jarak} = \frac{660.52 \times (15000 - 75 \times 2)}{94174,214} = 104,15 \text{ mm, pakai } 100 \text{ mm}$$

Kontrol Geser *Pilecap* Akibat Pilar

Penulangan geser pada *pilecap* dihitung sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1 yaitu V_c harus diambil terkecil dari :

- $V_{c1} = 0.17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_0 \times d$
- $V_{c2} = 0.083 \times \left(2 + \frac{\alpha \times d}{b_0} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_0 \times d$
- $V_{c3} = 0.33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_0 \times d$

Berikut adalah data *pilecap* :

Dimensi pilar (b x l)	= 1900 x 7600
Dimensi <i>pilecap</i>	= 9000 x 15000 x 1200 mm
Tulangan utama	= 25 mm
Selimut beton	= 75 mm
Fc'	= 29 MPa
Fy	= 392 MPa
α	= 40 (interior)
	= 30 (tepi)
	= 20 (sudut/pojok)

$$\begin{aligned}\beta &= 7600/1900 = 4 \\ d' &= 1200 - 75 - 25 - (29 \times 0.5) = 1021 \text{ mm} \\ b_0 &= 2 \times (b + d') + 2 (l + d') \\ &= 2 \times (1900 + 1021) + 2 \times (7600 + 1021) \\ &= 23082 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Koef } V_{c1} = 0.17 \times \left(1 + \frac{2}{4}\right) = 0.255 \quad (\text{menentukan})$$

$$\text{Koef } V_{c2} = 0.083 \times \left(2 + \frac{30 \times 1021}{23082}\right) = 0.276$$

$$\text{Koef } V_{c3} = 0.33$$

Menggunakan perumusan V_{c2}

$$\begin{aligned}V_c &= 0,276 \times \sqrt{29} \times 23082 \times 1021 \\ &= 35027348,21 \text{ N} \\ &= 3502,734 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset V_c &= 0.75 \times 3502,734 \\ &= 2627,05 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= P_u + W_{\text{beton}} - n \times P_v \\ &= 868,571 + 2.4 \times 1,2 \times 1,9 \times 7,6 - 3 \times 262,756 \\ &= 121,89 \text{ ton} < \emptyset V_c = 2627,05 \text{ ton}\end{aligned}$$

Jadi ketebalan dan ukuran *pilecap* memenuhi untuk menahan gaya geser akibat reaksi aksial dinding pilar.

4.4.6.3 Penulangan *Bored Pile* pada Pilar

Penulangan Utama *Bored Pile*

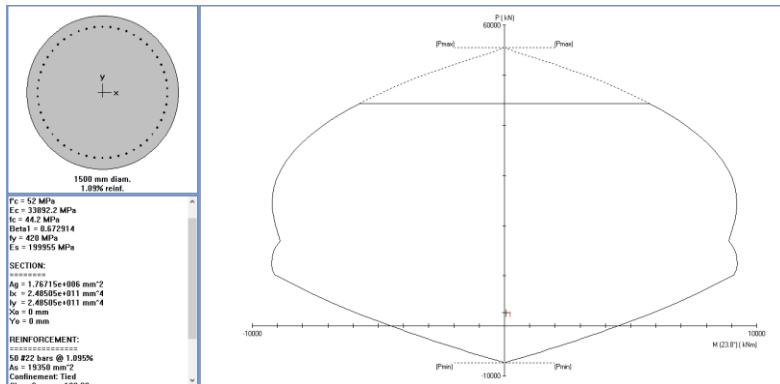
Tulangan Utama D22 mm, $A_s = 380,13 \text{ mm}^2$

Tulangan Geser D13 mm, $A_s = 132,73 \text{ mm}^2$

Selimit beton = 100 mm

$$d' = 1500 - 100 - 13 - (0.5 \times 22) = 1376 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan software *spcolumn*, didapatkan rasio tulangan utama (ρ) = 1,09% yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 68 Hasil Analisis *Bored Pile* pada Pilar dengan *Spcolumn*

Jumlah tulangan butuh

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d' \\
 &= 0,0109 \times 1500 \times 1376 \\
 &= 22497,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan utama 60D22

$$A_s = 60 \times 380,13 = 22807,96 \text{ mm}^2 \geq 22497,6 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Penulangan Geser *Bored Pile*

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} x A x \left[1 + \frac{Nu}{14Ag} \right] \\ &= \frac{1}{6} x \sqrt{29} x 1767145,87 x \left[1 + \frac{868,57}{14 x 1767145,87} \right] \\ &= 286,95 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\emptyset V_c = 0.75 x 286,95 = 215,211 \text{ t} > H_x = 18,79 \text{ t}$$

Tidak diperlukan perencanaan penulangan geser, jadi digunakan tulangan geser D13-200 mm.

4.4.7 Penulangan *Abutment* Jembatan

4.4.7.1 Penulangan Dinding *Abutment* Jembatan

Besarnya gaya dalam pada abutment dari hasil kombinasi

Tabel 4.19 adalah sebagai berikut :

$$P_u = 655,47 \text{ ton}$$

$$M_{ux} = 2010,5 \text{ tm}$$

$$M_{uy} = 726,81 \text{ tm}$$

$$H_x = 426,03 \text{ ton}$$

$$H_y = 19,37 \text{ ton}$$

Mutu bahan:

$$F_c' = 29 \text{ MPa}$$

$$F_y = 392 \text{ MPa}$$

Penulangan Utama Dinding

Tulangan utama D29 mm, $A_s = 660.52 \text{ mm}^2$

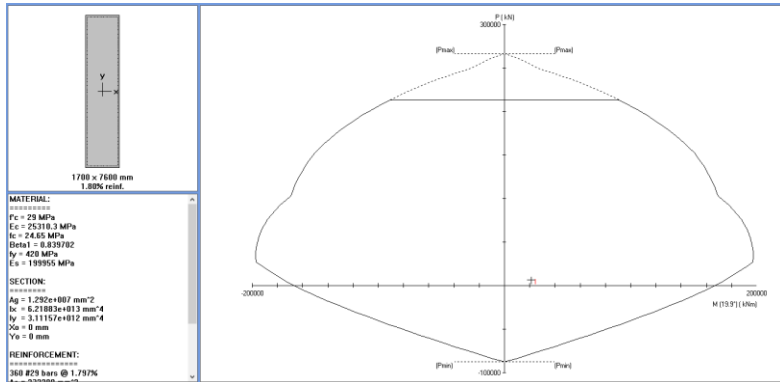
Tulangan susut D25 mm, $A_s = 491.07 \text{ mm}^2$

Tulangan Transversal Ø36 mm, $A_s = 1017,87 \text{ mm}^2$

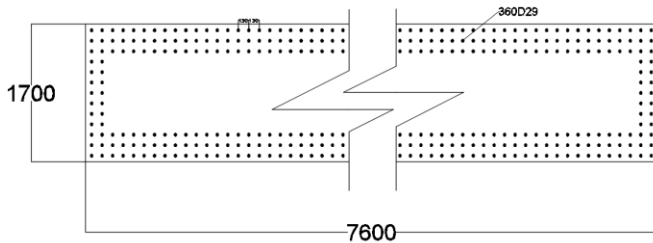
Selimut beton = 75 mm

$$d' = 1700 - 75 - 36 - 0.5 x 29 = 1574,5 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan software spcolumn, didapatkan rasio tulangan utama (ρ) = 1.8% yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 69 Hasil Analisis Dinding Abutment dengan Spcolumn



Gambar 4. 70 Gambar Penulangan Longitudinal Dinding Abutment

Jumlah tulangan butuh,

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d' \\ &= 0.018 \times 7600 \times 1574,5 \\ &= 215391,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan utama 360D29

$$A_s = 360 \times 660.52 = 237787,15 \text{ mm}^2 \geq 215391,6 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Penulangan Susut Dinding

Untuk tulangan susut digunakan :

$$\begin{aligned} A_{S_{\min}} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,002 \times 7600 \times 1574,5 \\ &= 23932,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{23932,4}{491,07} = 48,73 \approx 50 \text{ tulangan}$$

Jadi digunakan tulangan susut 50D25-150 mm

Penulangan Geser Dinding Pilar

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} x b x L x \left[1 + \frac{Nu}{14Ag} \right] \\ &= \frac{1}{6} x \sqrt{29} x 1700 x 7600 x \left[1 + \frac{655,47}{14 x (7600 x 1700)} \right] \\ &= 1201,63 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\emptyset V_c = 0.75 \times 1201,63 = 901,22 \text{ t} > H_x = 426,025 \text{ t}$$

Tidak diperlukan perencanaan penulangan geser, jadi digunakan tulangan geser D13-200 mm.

4.4.7.2 Penulangan *Pilecap* Abutment Jembatan

Penulangan lentur *pilecap* sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada dasar pilar. Beban yang bekerja adalah P_v dan berat dari *pilecap* sendiri. Berikut adalah data-data untuk perhitungan tulangan lentur pada *pilecap* pilar:

$$\text{Tulangan Utama D25 mm, } A_s = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$\text{Selimut beton} = 75 \text{ mm}$$

$$d' \text{ sisi panjang} = 1200 - 75 - 22 - 0.5 \times 25 = 1090.5 \text{ mm}$$

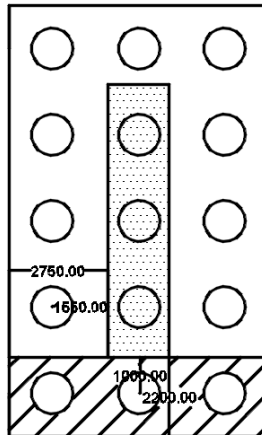
$$d' \text{ sisi pendek} = 1200 - 75 - 22 - 0.5 \times 25 = 1090.5 \text{ mm}$$

Mutu bahan:

$$F_c' = 29 \text{ MPa}$$

$$F_y = 392 \text{ MPa}$$

Penulangan Lentur Sisi Panjang



Gambar 4. 71 Daerah Penulangan Lentur Sisi Panjang

$$P_v = 130,631 \text{ ton}$$

$$n = 3$$

$$W_u = 1.3 \times 2400 \times 7,2 \times 1.2$$

$$= 26957 \text{ kg/m} = 0.026 \text{ t/mm}$$

$$M_u = n \times p \times 1000 + 0.5 \times W_u \times 2200^2$$

$$= 3 \times 261,756 \times 1000 + 0,5 \times 26957 \times 2200^2$$

$$= 6,52 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6,52 \times 10^8}{0.9} = 7,24 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{392}{0.85 \times 29} = 15.9$$

$$\rho_{\min} = 0.002$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{7,24 \times 10^8}{12000 \times 1090,5^2} = 0,053 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}}\right) \times \frac{1}{m} \\ &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,9 \times 0,089}{392}}\right) \times \frac{1}{15,9} \\ &= 0,00014 \end{aligned}$$

Tulangan butuh sisi bawah dan atas *pilecap*

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho \times b \times d' \\ &= 0,002 \times 7200 \times 1090,5 \\ &= 15703 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

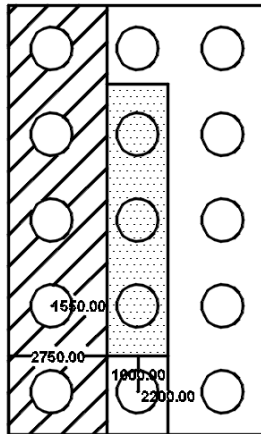
Jumlah tulangan

$$n = \frac{15703}{490,87} = 31,99, \text{ pakai } 35\text{D}25$$

Jarak tulangan

$$\text{Jarak} = \frac{490,87 \times (7200 - 75 \times 2)}{15703} = 225,06 \text{ mm, pakai } 200 \text{ mm}$$

Penulangan Lentur Sisi Pendek



Gambar 4. 72 Daerah Penulangan Lentur Sisi Pendek

$$P_v = 261,756 \text{ ton}$$

$$n = 5$$

$$W_u = 1.3 \times 2400 \times 12 \times 1.2 \\ = 44928 \text{ kg/m} = 0.044 \text{ t/mm}$$

$$M_u = n \times p \times 1550 + 0.5 \times W_u \times 2750^2 \\ = 5 \times 261,756 \times 1550 + 0,5 \times 44928 \times 2750^2 \\ = 1,18 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1,18 \times 10^{10}}{0.9} = 1,31 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times fc'} = \frac{392}{0.85 \times 29} = 15.9$$

$$\rho_{\min} = 0.002$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1,31 \times 10^{10}}{7200 \times 1090,5^2} = 1,805 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}} \right) \times \frac{1}{m} \\ = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,9 \times 1,805}{392}} \right) \times \frac{1}{15.9} \\ = 0.0047$$

Tulangan butuh sisi bawah dan atas *pilecap*

$$As = \rho \times b \times d' \\ = 0.0047 \times 12000 \times 1090,5 \\ = 62639,5 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{62639,5}{490,87} = 127,6, \text{ pakai } 130 \text{ D25}$$

Jarak tulangan

$$\text{Jarak} = \frac{490,87 \times (12000 - 75 \times 2)}{62639,5} = 72,78 \text{ mm, pakai } 80 \text{ mm}$$

Penulangan Geser *Pilecap* Akibat Abutment

Penulangan geser pada *pilecap* dihitung sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1 yaitu V_c harus diambil terkecil dari :

- $V_{c1} = 0.17 x \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) x \lambda x \sqrt{f_c'} x b_0 x d$
- $V_{c2} = 0.083 x \left(2 + \frac{\alpha x d}{b_0}\right) x \lambda x \sqrt{f_c'} x b_0 x d$
- $V_{c3} = 0.33 x \lambda x \sqrt{f_c'} x b_0 x d$

Berikut adalah data *pilecap* :

Dimensi abutment (b x l)	= 1700 x 7600
Dimensi <i>pilecap</i>	= 7200 x 12000 x 1200
mm	
Tulangan utama	= 25 mm
Selimut beton	= 75 mm
F_c'	= 29 MPa
F_y	= 392 MPa
α	= 40 (interior)
	= 30 (tepi)
	= 20 (sudut/pojok)

Kontrol geser akibat abutment:

$$\begin{aligned}\beta &= 7600/1700 = 4,47 \\ d' &= 1200 - 75 - 22 - (25 \times 0.5) = 1090,5 \text{ mm} \\ b_0 &= 2 \times (b + d') + 2 (l + d') \\ &= 2 \times (1700 + 1090,5) + 2 \times (7600 + 1090,5) \\ &= 22962 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Koef } V_{c1} = 0.17 x \left(1 + \frac{2}{4.47}\right) = 0.246 \quad (\text{menentukan})$$

$$\text{Koef } V_{c2} = 0.083 x \left(2 + \frac{30 \times 1090.5}{22962}\right) = 0.284$$

$$\text{Koef } V_{c3} = 0.33$$

Menggunakan perumusan V_{c1}

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,246 \times 1 \times \sqrt{29} \times 22962 \times 1090,5 \\
 &= 33171834,4 \text{ N} \\
 &= 3317,183 \text{ ton} \\
 \emptyset V_c &= 0,75 \times 3317,183 \\
 &= 2487,88 \text{ ton} \\
 V_u &= P_u + W_{\text{beton}} - n \times P_v \\
 &= 655,47 + 2,4 \times 1,2 \times 1,7 \times 7,6 - 3 \times 130,63 \\
 &= 300,79 \text{ ton} < \emptyset V_c = 2487,88 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Jadi ketebalan dan ukuran *pilecap* memenuhi untuk menahan gaya geser akibat reaksi aksial dinding pilar.

4.4.7.3 Penulangan *Bored Pile* pada Abutment

Penulangan Utama *Bored Pile*

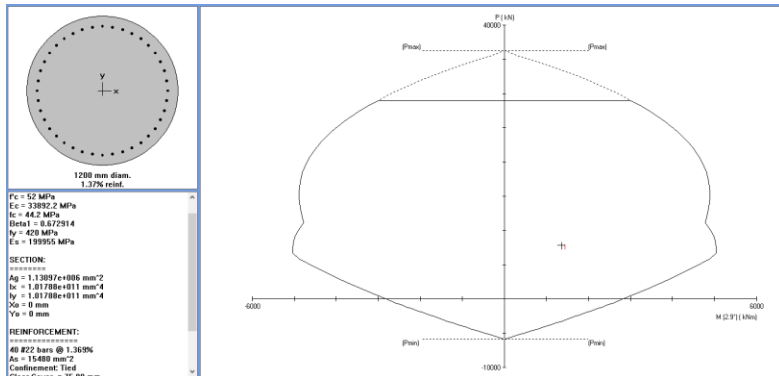
Tulangan Utama D22 mm, $A_s = 380,13 \text{ mm}^2$

Tulangan Geser D13 mm, $A_s = 132,73 \text{ mm}^2$

Selimut beton = 100 mm

$$d' = 1200 - 100 - 13 - (0,5 \times 22) = 1089 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan software spcolumn, didapatkan rasio tulangan utama (ρ) = 1.37% yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 73 Hasil Analisis *Bored Pile* pada Pilar dengan *Spcolumn*

Jumlah tulangan butuh

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d' \\
 &= 0.0137 \times 1200 \times 1089 \\
 &= 14244,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan utama 50D22

$$A_s = 50 \times 380,13 = 19006,63 \text{ mm}^2 \geq 14244,12 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Penulangan Geser *Bored Pile*

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} x A x \left[1 + \frac{Nu}{14Ag} \right] \\
 &= \frac{1}{6} x \sqrt{29} x 11130973,4 x \left[1 + \frac{665,47}{14 x 11130973,4} \right] \\
 &= 222,075 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 222,075 = 166,55 \text{ t} > H_x = 28,401 \text{ t}$$

Tidak diperlukan perencanaan penulangan geser, jadi digunakan tulangan geser D13-200 mm.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari berbagai kontrol analisis perhitungan yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil dari perencanaan tugas akhir ini antara lain:

1. *Preliminary design* Jembatan Lahor yang meliputi tinggi focus busur (f), tinggi tampang busur (t), dan lebar jembatan (b) didapat dimensi sebagai berikut:
 - Tinggi fokus busur (f) = 15 m
 - Tinggi tampang busur (t) = 2,5 m
 - Tebar jembatan (b) = 5 m
2. Pembebanan pada Jembatan Kereta Api Lahor mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.
3. Untuk permodelan Jembatan Lahor dengan menggunakan SAP2000, digunakan permodelan 3 dimensi untuk memperoleh gaya aksial batang maksimum yang kemudian dijadikan acuan untuk mendesain dimensi profil sekunder dan rangka utama. Untuk desain profil rangka utama Jembatan Lahor dibagi menjadi 3 segmen utama dengan asumsi setiap batang mewakili dari seluruh batang yang ada pada segmen tersebut.
4. Profil sekunder Jembatan Lahor menggunakan mutu baja BJ 41 dengan $f_u = 410$ Mpa dan $f_y = 250$ Mpa. Dari hasil perhitungan struktur sekunder jembatan didapatkan profil sebagai berikut:
 - Balok memanjang WF 300 x 200 x 12 x 8

- Balok melintang WF 600 x 300 x 20 x 12
 - Ikatan angin rangka PIPE 177,8 x 12
 - Ikatan angin silang rangka PIPE 139,7 x 12
 - Ikatan angin silang bawah 219,1 x 12
 - Ikatan angin rantai kendaraan SIKU L 200 x 200 x 20
 - Ikatan tumbuk 80 x 80 x 10
5. Profil rangka utama menggunakan brosur CONTINENTAL STEEL PTE LTD dengan mutu BJ 41 ($f_y = 250$ Mpa dan $f_u = 410$ Mpa). Berikut adalah rekap profil rangka utama jembatan:
- Batang tepi atas segmen 1 BOX 500 x 500 x 16
 - Batang vertikal/diagonal segmen 1 BOX 500 x 300 x 16
 - Batang tepi atas segmen 2 BOX 500 x 500 x 19
 - Batang tepi bawah segmen 2 BOX 500 x 500 x 29
 - Batang vertikal/diagonal segmen 2 BOX 500 x 300 x 20
 - Batang tepi atas segmen 3 BOX 500 x 500 x 22
 - Batang tepi bawah segmen 3 BOX 500 x 500 x 25
 - Batang vertikal/diagonal segmen 3 BOX 500 x 200 x 16
 - Batang Tarik 500 x 500 x 16
 - Kolom dan balok portal akhir BOX 500 x 500 x 16
 - Kabel penggantung baja ilir berdiameter 48 mm
6. Perletakan yang digunakan menggunakan POT Bearing berdasarkan brosur dari FREYSSINET MECHANICAL BEARINGS yang terdiri dari perletakan sendi (*fixed*), perletakan rol memanjang (*longitudinally guided*),

perletakan rol melintang (*laterally guided*), dan perletakan rol 2 arah (*free*).

7. Pilar jembatan yang tertinggi memiliki tinggi 17 meter dan lebar 7,6 meter dengan lebar *pilecap* 15 meter dan tebal pilecap 1,2 meter. Mutu beton yang digunakan adalah $f^c = 29$ Mpa.
8. Abutment jembatan yang tertinggi memiliki tinggi 6,9 meter dan lebar 7,6 meter dengan lebar *pilecap* 12 meter dan tebal pilecap 1,2 meter. Mutu beton yang digunakan adalah $f^c = 29$ Mpa.
9. Pondasi struktur pada pilar menggunakan 15 buah bored pile dengan diameter 1,5 meter dan kedalaman 14 meter. Pada abutment menggunakan bored pile dengan diameter 1,2 meter dan kedalaman 10 meter.

5.2 Saran

Dalam laporan Tugas Akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dalam pengerjaannya. Berikut merupakan saran untuk memperbaiki perencanaan jembatan busur sehingga kedepannya didapatkan hasil yang lebih baik dan maksimal.

1. Dalam perhitungan desain jembatan busur disarankan menggunakan software MIDAS CIVIL daripada SAP2000. Karena dalam MIDAS CIVIL lebih khusus dalam perhitungan jembatan dan juga variasi pembebanan sehingga hasil yang didapatkan lebih baik.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2016. **Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016)**. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. **Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan (SNI 2833-2008)**. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional. 2005. **Standar Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan (SNI T-03-2005)**. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. **Standar Perencanaan Struktur Baja (SNI 03-1729-2002)**. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah**. Jilid I. Erlangga. Jakarta.
- Das, Braja M. 1995. **Mekanika Tanah**. Jilid II. Erlangga. Jakarta.
- Marwan. Isdarmanu. 2006. **Buku Ajar: STRUKTUR BAJA I**. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2012. **Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api**. Jakarta. Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perkeretaapian.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2006. **Standar Teknis Kereta Api Indonesia Untuk Struktur Jembatan Baja**. Jakarta. Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perkeretaapian.

Soegihardjo, Hidayat. 2007. **Diktat Kuliah Rekayasa Jembatan Bentang Panjang PS-1391**. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya.

LAMPIRAN

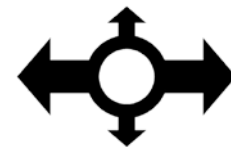
Freyssinet Mechanical Bearings



D E S I G N , B U I L D , M A I N T A I N



FREYSSINET
SUSTAINABLE TECHNOLOGY



TETRON CD GL POT BEARINGS

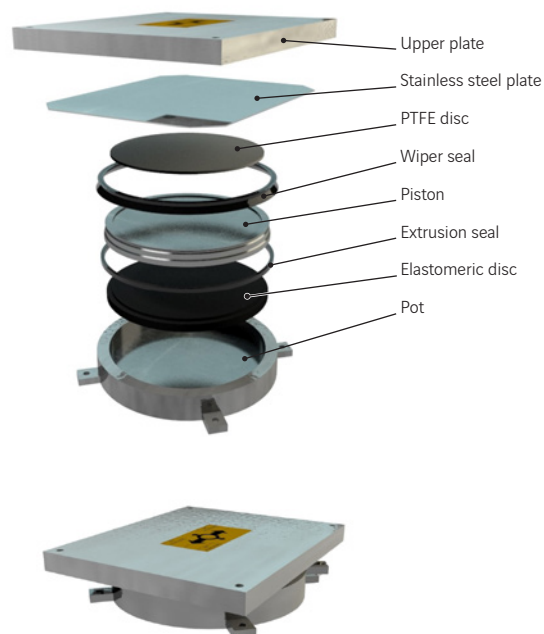
This free sliding pot bearing is made up of a pot, an elastomeric disc and a piston covered with a PTFE plate on which the upper plate can slide freely. The pot is fixed to the support (pier, abutment, column, etc.) and the upper plate is fixed to the superstructure.

This model is designed to permit horizontal movements, without any constraint other than the internal stresses.

Bearings with $\pm 50\text{mm}$ longitudinal and $\pm 20\text{mm}$ transverse movement

	EN				BS				AASHTO				AS			
	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H
GL 500 . 100 . 40	160	330	260	88	150	315	230	81	180	350	265	86.5	155	295	230	81.5
GL 1,000 . 100 . 40	210	350	305	90	225	335	275	81	240	410	325	86.5	230	335	280	86.5
GL 1,500 . 100 . 40	265	370	335	100	280	365	310	95	280	455	370	93.5	295	370	315	100.5
GL 2,000 . 100 . 40	320	400	365	105	330	395	340	95	325	495	410	93.5	345	405	350	110.5
GL 3,000 . 100 . 40	400	450	415	124	405	445	405	109	405	560	475	104.5	425	460	425	124.5
GL 4,000 . 100 . 40	460	490	465	138	465	490	470	113	480	615	530	112.5	490	510	490	133.5
GL 5,000 . 100 . 40	515	525	520	147	520	530	525	123	540	670	585	124.5	545	550	550	142.5
GL 6,000 . 100 . 40	565	570	570	156	570	575	575	127	600	715	630	137.5	600	600	600	156.5
GL 8,000 . 100 . 40	655	655	655	175	660	660	660	147	700	785	730	161.5	690	695	695	171.5
GL 10,000 . 100 . 40	730	730	730	189.2	735	740	740	155	795	870	820	173	775	775	775	190.5
GL 12,000 . 100 . 40	800	805	805	213.2	805	810	810	164	875	940	895	201	845	845	845	204.5
GL 14,000 . 100 . 40	865	865	865	222.2	870	875	875	188	955	1,000	970	203	920	920	920	223.5
GL 16,000 . 100 . 40	935	930	930	228.2	930	935	935	193	1,025	1,060	1,040	216	980	980	980	234
GL 18,000 . 100 . 40	980	985	985	235.5	990	990	990	207	1,090	1,110	1,100	223	1,060	1,040	1,040	242
GL 20,000 . 100 . 40	1,050	1,040	1,040	255.5	1,040	1,045	1,045	208	1,155	1,165	1,165	235	1,120	1,100	1,100	251
GL 24,000 . 100 . 40	1,160	1,140	1,140	267.5	1,140	1,145	1,145	227	1,270	1,275	1,275	261	1,235	1,205	1,205	267
GL 28,000 . 100 . 40	1,255	1,230	1,230	285.5	1,230	1,235	1,235	243	1,375	1,375	1,375	274	1,330	1,300	1,300	290
GL 30,000 . 100 . 40	1,285	1,270	1,270	291.5	1,275	1,280	1,280	243	1,425	1,425	1,425	279	1,380	1,345	1,345	293
GL 35,000 . 100 . 40	1,400	1,375	1,375	295.5	1,375	1,380	1,380	260	1,535	1,535	1,535	301	1,480	1,450	1,450	314
GL 45,000 . 100 . 40	1,595	1,555	1,555	337.7	1,560	1,565	1,565	291	1,745	1,745	1,745	341	1,695	1,645	1,645	347

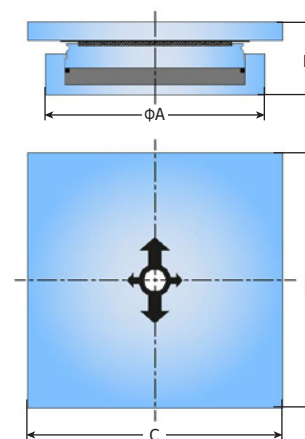
Dimensions in mm



Bearings with $\pm 200\text{mm}$ longitudinal and $\pm 20\text{mm}$ transverse movement

	EN				BS				AASHTO				AS			
	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H
GL 500 . 400 . 40	160	630	260	90	150	615	230	80	180	650	265	86.5	155	595	230	81.5
GL 1,000 . 400 . 40	210	650	305	94	225	635	275	80	240	710	325	90.5	230	635	280	90.5
GL 1,500 . 400 . 40	265	670	335	104	280	665	310	94	280	755	370	97.5	295	670	315	99.5
GL 2,000 . 400 . 40	320	700	365	104	330	695	340	99	325	795	410	97.5	345	705	350	109.5
GL 3,000 . 400 . 40	400	750	415	128	405	745	405	108	405	860	475	113.5	425	760	425	123.5
GL 4,000 . 400 . 40	460	790	465	137	465	790	470	112	480	915	530	117.5	490	810	490	132.5
GL 5,000 . 400 . 40	515	825	520	146	520	830	525	122	540	970	585	134.5	545	850	550	142.5
GL 6,000 . 400 . 40	565	855	570	155	570	860	575	126	600	1,015	630	137.5	600	885	600	156.5
GL 8,000 . 400 . 40	655	930	655	175	660	920	660	147	700	1,085	730	161.5	690	950	695	167.5
GL 10,000 . 400 . 40	730	990	730	189.2	735	975	740	155	795	1,170	820	173	775	1,005	775	191.5
GL 12,000 . 400 . 40	800	1,005	805	213.2	805	1,020	810	164	875	1,240	895	200	845	1,055	845	205.5
GL 14,000 . 400 . 40	865	1,075	865	222.2	870	1,065	875	188	955	1,300	970	202	920	1,105	920	224.5
GL 16,000 . 400 . 40	935	1,140	930	228.2	930	1,105	935	193	1,025	1,360	1,040	215	980	1,150	980	234
GL 18,000 . 400 . 40	980	1,170	985	235.5	990	1,145	990	207	1,090	1,410	1,100	222	1,060	1,190	1,040	242
GL 20,000 . 400 . 40	1,050	1,170	1,040	255.5	1,040	1,180	1,045	208	1,155	1,465	1,165	234	1,120	1,230	1,100	250
GL 24,000 . 400 . 40	1,160	1,275	1,140	266.5	1,140	1,250	1,145	226	1,270	1,555	1,275	261	1,235	1,300	1,205	267
GL 28,000 . 400 . 40	1,255	1,355	1,230	280.5	1,230	1,310	1,235	243	1,375	1,645	1,375	274	1,330	1,370	1,300	290
GL 30,000 . 400 . 40	1,285	1,400	1,270	291.5	1,275	1,340	1,280	243	1,425	1,685	1,425	279	1,380	1,400	1,345	293
GL 35,000 . 400 . 40	1,400	1,520	1,375	295.5	1,375	1,410	1,380	260	1,535	1,780	1,535	301	1,480	1,475	1,450	314
GL 45,000 . 400 . 40	1,595	1,640	1,555	337.7	1,560	1,565	1,565	291	1,745	1,960	1,745	340	1,695	1,645	1,645	347

Dimensions in mm



All of these bearings are designed with the following parameters:
 Rotation = 10 mrad
 Strength of concrete underneath bearing = min. 30 MPa
 Strength of concrete above bearing = min. 30 MPa

Bearings with larger loads or strokes, or with different bearing conditions, can be designed on request.

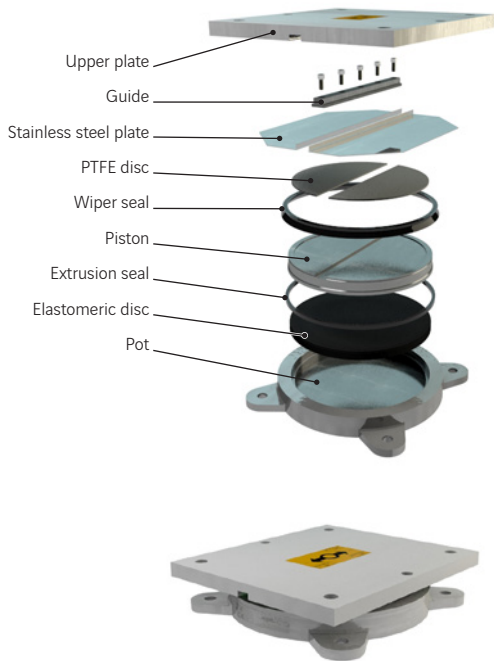


TETRON CD GG POT BEARINGS

This type of guided sliding pot bearing is designed like a free sliding bearing, but with a guide. The guide is secured to the piston, and slots into a groove in the upper sliding plate. In some cases, guidance can be provided by lateral guides.

This bearing model accepts horizontal movement along the axis of the guide and horizontal loads in the perpendicular direction.

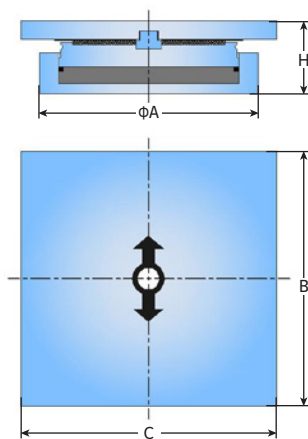
Bearings with horizontal load = 10% of vertical load and ±50mm movement



		EN				BS				AASHTO				AS			
		ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H
GG	500 - 50 . 100	160	350	215	91	155	335	225	81	180	375	245	87.5	155	325	225	81.5
GG	1,000 - 100 . 100	215	380	260	95	225	370	270	81	240	435	305	88.5	235	375	275	86.5
GG	1,500 - 150 . 100	275	410	295	95	285	405	305	90	280	475	345	93.5	300	415	315	95.5
GG	2,000 - 200 . 100	330	440	335	105	330	435	340	90	330	515	385	97.5	350	445	355	100.5
GG	3,000 - 300 . 100	410	515	410	124	410	495	415	104	415	575	445	109.5	435	525	435	119.5
GG	4,000 - 400 . 100	470	570	475	132	470	550	475	114	485	630	515	112.5	500	580	500	128.5
GG	5,000 - 500 . 100	525	615	530	145	525	615	530	122	555	695	580	124.5	555	635	560	141.5
GG	6,000 - 600 . 100	575	655	580	163	580	675	580	126	615	735	640	131.5	610	685	615	150.5
GG	8,000 - 800 . 100	665	720	670	195	670	760	670	137	720	810	745	158	735	795	710	161.5
GG	10,000 - 1,000 . 100	740	755	745	210.2	745	825	750	160	815	885	840	165	820	865	795	180.5
GG	12,000 - 1,200 . 100	815	840	820	228.2	835	905	820	163	895	945	920	184	895	930	870	199.5
GG	14,000 - 1,400 . 100	880	910	885	242.2	895	960	885	177	975	1,020	990	191	960	980	935	218
GG	16,000 - 1,600 . 100	940	965	945	260.2	955	1,015	945	186	1,045	1,070	1,060	207	1,045	1,065	1,005	228
GG	18,000 - 1,800 . 100	995	1,000	1,000	273.5	1,020	1,075	1,005	197	1,105	1,125	1,125	214	1,115	1,120	1,065	242
GG	20,000 - 2,000 . 100	1,050	1,065	1,060	280.5	1,085	1,130	1,060	204	1,170	1,185	1,185	225	1,185	1,180	1,125	246
GG	24,000 - 2,400 . 100	1,150	1,155	1,155	300.5	1,175	1,210	1,160	225	1,290	1,300	1,300	243	1,305	1,285	1,230	267
GG	28,000 - 2,800 . 100	1,245	1,250	1,250	320.5	1,260	1,285	1,250	243	1,400	1,400	1,400	261	1,405	1,370	1,330	290
GG	30,000 - 3,000 . 100	1,285	1,290	1,290	313.5	1,320	1,345	1,295	246	1,450	1,450	1,450	270	1,455	1,415	1,375	303
GG	35,000 - 3,500 . 100	1,580	1,570	1,420	320.5	1,430	1,435	1,400	270	1,570	1,565	1,565	287	1,565	1,505	1,485	319
GG	45,000 - 4,500 . 100	1,670	1,620	1,590	353.7	1,635	1,620	1,585	286	1,775	1,775	1,775	323	1,760	1,680	1,680	360

Dimensions in mm

Bearings with horizontal load = 30% of vertical load and ±200mm movement



		EN				BS				AASHTO				AS			
		ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H
GG	500 - 150 . 400	160	655	225	89	165	635	225	85	180	690	260	91.5	170	640	240	85.5
GG	1,000 - 300 . 400	230	710	275	101	240	690	270	86	250	745	315	99.5	255	695	295	90.5
GG	1,500 - 450 . 400	300	730	320	105	295	745	315	93	300	790	360	99.5	325	740	340	103.5
GG	2,000 - 600 . 400	355	765	370	118	340	750	360	102	345	850	395	106.5	380	785	380	107.5
GG	3,000 - 900 . 400	445	840	445	130	430	805	435	109	420	920	475	127.5	460	855	465	125.5
GG	4,000 - 1,200 . 400	530	910	515	137	485	860	500	128	480	950	550	140.5	555	900	540	143.5
GG	5,000 - 1,500 . 400	600	970	575	150	555	910	555	136	540	1,005	620	153.5	620	950	600	165.5
GG	6,000 - 1,800 . 400	660	1,010	625	152	595	950	610	158	595	1,060	680	156.5	685	1,000	655	173.5
GG	8,000 - 2,400 . 400	775	1,095	720	177.2	685	1,010	705	191	700	1,160	795	180	775	1,060	755	203.5
GG	10,000 - 3,000 . 400	880	1,175	805	204.2	770	1,075	785	197	800	1,210	885	206	880	1,140	840	223
GG	12,000 - 3,600 . 400	960	1,230	880	216.2	835	1,135	860	225	870	1,315	970	224	995	1,240	925	230
GG	14,000 - 4,200 . 400	1,040	1,300	950	235.5	905	1,175	930	252	945	1,355	1,130	237	1,065	1,295	1,000	258
GG	16,000 - 4,800 . 400	1,115	1,355	1,020	254.5	970	1,220	990	269	1,025	1,445	1,185	245	1,140	1,355	1,130	267
GG	18,000 - 5,400 . 400	1,180	1,410	1,075	267.5	1,040	1,280	1,055	273	1,085	1,450	1,285	267	1,230	1,430	1,185	272
GG	20,000 - 6,000 . 400	1,245	1,460	1,140	291.5	1,110	1,340	1,115	286	1,150	1,540	1,335	284	1,295	1,475	1,275	295
GG	24,000 - 7,200 . 400	1,365	1,540	1,255	316.5	1,270	1,485	1,245	286	1,255	1,610	1,400	329	1,430	1,585	1,335	322
GG	28,000 - 8,400 . 400	1,475	1,630	1,345	346.5	1,360	1,560	1,340	303	1,375	1,740	1,505	331	1,545	1,675	1,440	340
GG	30,000 - 9,000 . 400	1,545	1,680	1,410	347	1,415	1,605	1,400	325	1,425	1,750	1,530	352	1,585	1,705	1,465	367
GG	35,000 - 10,500 . 400	1,665	1,775	1,500	374.5	1,515	1,680	1,465	354	1,550	1,850	1,655	384	1,725	1,820	1,585	384
GG	45,000 - 13,500 . 400	1,900	1,935	1,700	424	1,730	1,850	1,665	404.5	1,785	2,090	1,875	419	1,960	1,995	1,795	436

Dimensions in mm

Bearings with larger loads or strokes, or with different bearing conditions, can be designed on request.

All of these bearings are designed with the following parameters:
 Rotation = 10 mrad
 Strength of concrete underneath bearing = min. 30 MPa
 Strength of concrete above bearing = min. 30 MPa

TETRON CD FX POT BEARINGS



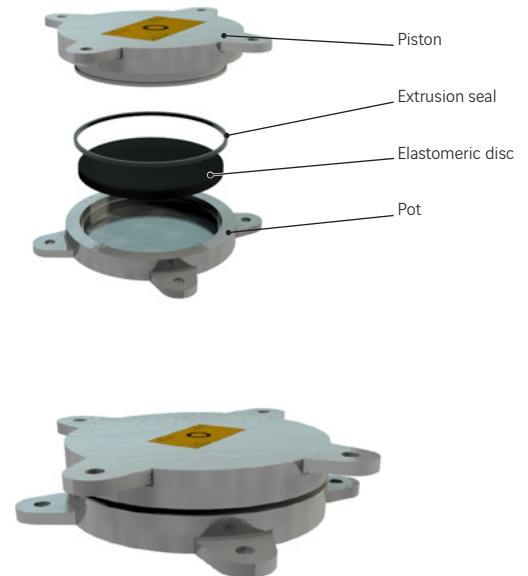
Fixed pot bearings are made up of a pot, an elastomeric disc and a piston. The pot is fixed to the support and the piston is fixed to the superstructure.

This model does not allow any horizontal movement. It therefore transfers the loads from the superstructure to its support in all directions.

Bearings with horizontal load = 10% of vertical load

	EN			BS			AASHTO			AS		
	ΦA	ΦD	H	ΦA	ΦD	H	ΦA	ΦD	H	ΦA	ΦD	H
FX 500 - 50	160	160	54	155	155	54	180	180	59	155	155	54
FX 1,000 - 100	210	210	54	230	230	54	240	240	60	235	235	64
FX 1,500 - 150	275	275	68	280	280	63	280	280	65	300	300	68
FX 2,000 - 200	325	325	78	330	330	66	325	325	69	350	350	78
FX 3,000 - 300	405	405	82	410	410	67	410	410	81	430	430	82
FX 4,000 - 400	470	470	85	470	470	67	485	485	95	510	510	86
FX 5,000 - 500	525	525	98	530	530	70	550	550	112	575	575	90
FX 6,000 - 600	580	580	98	590	590	70	610	610	113	640	640	92
FX 8,000 - 800	675	675	113	685	685	76	715	715	141	730	730	110
FX 10,000 - 1,000	760	760	126	765	765	80	810	810	154	810	810	125
FX 12,000 - 1,200	825	825	140	825	825	98	895	895	162	885	885	138
FX 14,000 - 1,400	915	915	148	895	895	102	970	970	180	980	980	147
FX 16,000 - 1,600	985	985	150	970	970	106	1,045	1,045	180	1,040	1,040	151
FX 18,000 - 1,800	1,050	1,050	153	1,015	1,015	112	1,110	1,110	197	1,130	1,130	152
FX 20,000 - 2,000	1,110	1,110	161	1,070	1,070	119	1,175	1,175	213	1,190	1,190	160
FX 24,000 - 2,400	1,225	1,225	172	1,185	1,185	122	1,295	1,295	235	1,310	1,310	171
FX 28,000 - 2,800	1,315	1,315	192	1,265	1,265	138	1,395	1,395	263	1,410	1,410	186
FX 30,000 - 3,000	1,365	1,365	195	1,315	1,315	140	1,445	1,445	264	1,465	1,465	189
FX 35,000 - 3,500	1,490	1,490	211	1,430	1,430	142	1,560	1,560	286	1,575	1,575	210
FX 45,000 - 4,500	1,685	1,685	237	1,620	1,620	168	1,770	1,770	322	1,795	1,795	233

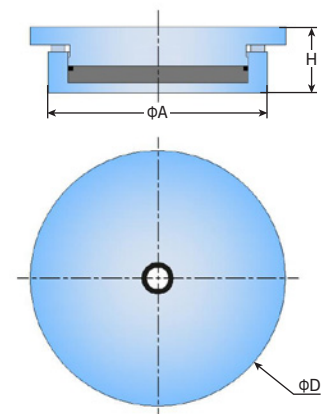
Dimensions in mm



Bearings with horizontal load = 30% of vertical load

	EN			BS			AASHTO			AS		
	ΦA	ΦD	H	ΦA	ΦD	H	ΦA	ΦD	H	ΦA	ΦD	H
FX 500 - 150	160	160	53	160	160	59	180	180	59	165	165	54
FX 1,000 - 300	220	220	60	235	235	59	250	250	60	255	255	54
FX 1,500 - 450	295	295	64	290	290	67	300	300	65	315	315	67
FX 2,000 - 600	350	350	72	335	335	68	345	345	69	375	375	71
FX 3,000 - 900	440	440	84	415	415	78	415	415	81	475	475	84
FX 4,000 - 1,200	525	525	92	480	480	87	480	480	94	560	560	92
FX 5,000 - 1,500	590	590	109	545	545	95	535	535	111	630	630	108
FX 6,000 - 1,800	660	660	110	590	590	108	595	595	114	705	705	116
FX 8,000 - 2,400	770	770	127	695	695	123	690	690	134	800	800	138
FX 10,000 - 3,000	870	870	145	765	765	142	775	775	161	905	905	152
FX 12,000 - 3,600	955	955	157	835	835	160	845	845	169	1,025	1,025	161
FX 14,000 - 4,200	1,050	1,050	167	905	905	178	920	920	187	1,100	1,100	175
FX 16,000 - 4,800	1,120	1,120	181	980	980	186	990	990	205	1,190	1,190	180
FX 18,000 - 5,400	1,200	1,200	186	1,030	1,030	194	1,075	1,075	206	1,275	1,275	194
FX 20,000 - 6,000	1,270	1,270	203	1,100	1,100	196	1,125	1,125	231	1,350	1,350	198
FX 24,000 - 7,200	1,400	1,400	210	1,245	1,245	197	1,250	1,250	257	1,485	1,485	215
FX 28,000 - 8,400	1,530	1,530	226	1,355	1,355	201	1,365	1,365	271	1,605	1,605	235
FX 30,000 - 9,000	1,590	1,590	239	1,415	1,415	204	1,415	1,415	291	1,665	1,665	238
FX 35,000 - 10,500	1,710	1,710	260	1,540	1,540	206	1,545	1,545	295	1,805	1,805	255
FX 45,000 - 13,500	1,955	1,955	282	1,800	1,800	209	1,780	1,780	340	2,045	2,045	283

Dimensions in mm



All of these bearings are designed with the following parameters:
 Rotation = 10 mrad
 Strength of concrete underneath bearing = min. 30 MPa
 Strength of concrete above bearing = min. 30 MPa

Bearings with larger loads or strokes, or with different bearing conditions, can be designed on request.

Continental Steel Pte Ltd

100 Gul Circle Singapore 629586

Tel: +65 68620033 Fax: +65 68616448, 68625963/4006

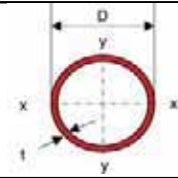
Web: www.consteel.com.sg

PRODUCTS HANDBOOK **Structural Steel**

2006 Edition

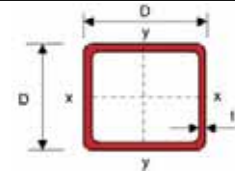
Subsidiary Companies: Continental Hardware (M) Sdn Bhd
Viewforth Trading and Engineering Pte Ltd
Conblast Industries Pte Ltd
Con-Struct Engineering Technology Pte Ltd

Circular



Designation		Mass Per Metre	Area Of Section	Second Moment Of Inertia	Radius Of Gyration	Elastic Modulus	Plastic Modulus	Torsional Constants		Surface Area Per Metre
Outside Diameter	Thickness							J	C	
D	t		A	I	r	Z	S	J	C	
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
168.3	3.2	13.03	16.6	566	5.84	67.2	87.2	1131	134	0.529
	3.6	14.62	18.6	632	5.82	75.1	97.7	1264	150	0.529
	4.0	16.21	20.6	697	5.81	82.8	108	1394	166	0.529
	4.5	18.18	23.2	777	5.79	92.4	121	1554	185	0.529
	5.0	20.14	25.7	856	5.78	102	133	1712	203	0.529
	6.0	24.02	30.6	1009	5.74	120	158	2017	240	0.529
	6.3	25.17	32.1	1053	5.73	125	165	2107	250	0.529
	8.0	31.63	40.3	1297	5.67	154	206	2595	308	0.529
	10.0	39.04	49.7	1564	5.61	186	251	3128	372	0.529
	12.0	46.26	58.9	1810	5.54	215	294	3620	430	0.529
	12.5	48.03	61.2	1868	5.53	222	304	3737	444	0.529
	14.0	53.27	67.9	2036	5.48	242	334	4073	484	0.529
	177.8	4.5	19.23	24.5	920	6.13	104	135	1841	207
5.0		21.31	27.1	1014	6.11	114	149	2028	228	0.559
6.3		26.65	33.9	1250	6.07	141	185	2499	281	0.559
8.0		33.50	42.7	1541	6.01	173	231	3083	347	0.559
10.0		41.38	52.7	1862	5.94	209	282	3724	419	0.559
12.0		49.07	62.5	2159	5.88	243	330	4318	486	0.559
193.7	4.5	19.23	24.5	920	6.13	104	135	1841	207	0.559
	5.0	21.31	27.1	1014	6.11	114	149	2028	228	0.559
	6.0	27.77	35.4	1560	6.64	161	211	3119	322	0.609
	6.3	29.12	37.1	1630	6.63	168	221	3260	337	0.609
	8.0	36.64	46.7	2016	6.57	208	276	4031	416	0.609
	10.0	45.30	57.7	2442	6.50	252	338	4883	504	0.609
	12.0	53.77	68.5	2839	6.44	293	397	5678	586	0.609
	12.5	55.86	71.2	2934	6.42	303	411	5869	606	0.609
	14.0	62.04	79.0	3210	6.37	331	453	6419	663	0.609
	16.0	70.12	89.3	3554	6.31	367	507	7109	734	0.609
219.1	3.6	19.13	24.4	1415	7.62	129	167	2830	258	0.688
	5.0	26.40	33.6	1928	7.57	176	229	3856	352	0.688
	6.0	31.53	40.2	2282	7.54	208	273	4564	417	0.688
	6.3	33.06	42.1	2386	7.53	218	285	4772	436	0.688
	8.0	41.65	53.1	2960	7.47	270	357	5919	540	0.688
	10.0	51.57	65.7	3598	7.40	328	438	7197	657	0.688
	12.0	61.29	78.1	4200	7.33	383	515	8400	767	0.688
	12.5	63.69	81.1	4345	7.32	397	534	8689	793	0.688
	14.2	71.75	91.4	4820	7.26	440	597	9640	880	0.688
	16.0	80.14	102	5297	7.20	483	661	10590	967	0.688
	20.0	98.20	125	6261	7.07	572	795	12520	1143	0.688

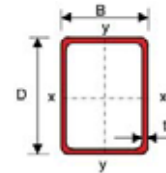
Square



Designation Size	Thickness	Mass Per Metre	Area Of Section A	Second Moment Of Area I	Radius Of Gyration r	Elastic Modulus Z	Plastic Modulus S	Torsional Constants J	C	Surface Area Per Metre
DxD	t									
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
400x400	8	97.90	125	31860	16.0	1593	1830	48700	2363	1.58
	10	122.00	155	39130	15.9	1956	2260	60090	2895	1.57
	12	145.00	185	46130	15.8	2306	2679	71180	3405	1.57
	12.5	152.00	192	47840	15.8	2392	2782	73910	3530	1.57
	14	168.00	214	52870	15.7	2643	3087	81960	3894	1.56
	14.2	170.00	217	53530	15.7	2676	3127	83030	3942	1.56
	16	192.00	243	59340	15.6	2967	3484	92440	4362	1.56
	20	# 237.00	300	71540	15.4	3577	4247	112500	5237	1.55
	22	251.00	327	77260	15.4	3863	4612	122100	5646	1.54
25	282.00	368	85380	15.2	4269	5141	135900	6223	1.54	
450x450	12	162.00	209	66460	17.8	2954	3419	102200	4368	1.77
	16	213.00	275	85860	17.7	3816	4459	133200	5620	1.76
	19	250.00	324	99540	17.5	4424	5208	155400	6497	1.75
	22	286.00	371	112500	17.4	5000	5929	176700	7324	1.74
	25	321.00	418	124700	17.3	5544	6624	197200	8101	1.74
	28	△ 355.00	464	136300	17.1	6058	7292	216800	8832	1.73
	32	△ 399.00	524	150700	17.0	6696	8143	241700	9735	1.72
500x500	12	181.00	233	92030	19.89	3681	4248	141200	5451	1.97
	16	238.00	307	119300	19.71	4771	5554	184400	7038	1.96
	19	280.00	362	138600	19.58	5545	6498	215500	8159	1.95
	22	320.00	415	157100	19.44	6283	7411	245600	9222	1.94
	25	360.00	468	174600	19.31	6986	8295	274600	10230	1.94
	28	△ 399.00	520	191300	19.18	7653	9149	302600	11180	1.93
	32	△ 450.00	588	212300	19.00	8491	10242	338200	12370	1.92
	36	△ 498.00	654	231700	18.82	9269	11283	372000	13470	1.91
550x550	16	263.00	339	160400	21.75	5833	6769	247300	8616	2.16
	19	309.00	400	186800	21.62	6793	7930	289500	10010	2.15
	22	355.00	459	212100	21.49	7714	9058	330400	11340	2.14
	25	399.00	518	236300	21.35	8594	10150	370100	12610	2.14
	28	△ 443.00	576	259500	21.22	9436	11220	408400	13810	2.13
	32	△ 500.00	652	288700	21.04	10500	12580	457500	15330	2.12
	36	△ 555.00	726	316100	20.86	11500	13890	504400	16740	2.11
40	△ 608.00	799	341800	20.68	12430	15140	549000	18060	2.10	
600x600	25	△ 439.00	568	311100	23.40	10370	12200	485300	15230	2.34
	28	△ 487.00	632	342100	23.26	11410	13490	536300	16720	2.33
	32	△ 550.00	716	381600	23.08	12720	15160	601900	18600	2.32
	36	△ 611.00	798	418800	22.91	13960	16770	664900	20370	2.31
	40	△ 671.00	879	453900	22.73	15130	18310	725100	22030	2.30
700x700	25	△ 517.00	668	504700	27.48	14420	16850	782900	21240	2.74
	28	△ 575.00	744	556600	27.35	15900	18670	867000	23380	2.73
	32	△ 651.00	844	623100	27.17	17800	21040	975800	26110	2.72
	36	△ 724.00	942	686500	26.99	19610	23330	1081000	28700	2.71
	40	△ 797.00	1039	746900	26.81	21340	25540	1182000	31160	2.70

Grade S355J2H only
 △ S.A.W process

Rectangular



Designation Size	Thickness	Mass Per Metre	Area Of Section A	Second Moment Of Area		Radius Of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area Per Metre
				Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	J	C	
DxB	t			cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
400x200	6.3	57.90	73.6	15700	5376	14.6	8.55	785	538	960	594	12610	917	1.18
	8	73.10	92.8	19560	6660	14.5	8.47	978	666	1203	743	15740	1135	1.18
	10	90.70	115	23910	8084	14.4	8.39	1196	808	1480	911	19260	1376	1.17
	12.5	112.00	142	29060	9738	14.3	8.28	1453	974	1813	1111	23440	1656	1.17
	16	142.00	179	35740	11820	14.1	8.13	1787	1182	2256	1374	28870	2010	1.16
400x300	8	85.70	109	25860	16620	15.4	12.30	1293	1108	1524	1252	30980	1749	1.37
	10	106.00	136	31750	20360	15.3	12.30	1587	1357	1882	1544	38140	2136	1.37
	12.5	132.00	168	38800	24800	15.2	12.20	1940	1654	2316	1898	46750	2593	1.37
	16	167.00	213	48100	30620	15.0	12.00	2405	2041	2899	2371	58200	3186	1.37
450x250	8	85.40	109	30080	12140	16.6	10.6	1337	971	1622	1081	27080	1629	1.38
	10	106.00	135	36900	14820	16.5	10.5	1640	1185	2000	1331	33280	1986	1.37
	12.5	132.00	167	45030	17970	16.4	10.4	2001	1438	2458	1631	40720	2406	1.37
	16	167.00	211	55710	22040	16.2	10.2	2476	1763	3070	2029	50550	2947	1.36
500x200	8	85.70	109	34270	8170	17.7	8.7	1371	817	1716	900	21100	1430	1.37
	10	106.00	135	41760	9891	17.6	8.6	1670	989	2105	1101	25870	1737	1.37
	12.5	132.00	168	51510	12020	17.5	8.5	2060	1202	2609	1354	31480	2097	1.37
	16	167.00	213	63930	14670	17.3	8.31	2557	1467	3267	1683	38830	2554	1.37
500x300	10	122.00	155	53760	24440	18.6	12.6	2150	1629	2595	1826	52450	2696	1.57
	12.5	152.00	192	65810	29780	18.5	12.5	2633	1985	3196	2244	64390	3281	1.57
	16	192.00	243	81780	36770	18.3	12.3	3271	2451	4005	2804	80330	4044	1.56
	20	△ 237.00	302	100100	44550	18.2	12.1	4006	2970	4942	3442	97310	4845	

△S.A.W process

PFEIFER



10/2015



PFEIFER-Zuglieder

PFEIFER Tension Members

PFEIFER
SEIL- UND HEBETECHNIK
GMBH

DR.-KARL-LENZ-STRASSE 66
DE-87700 MEMMINGEN
TELEFON +49 (0) 8331-937-523
TELEFAX +49 (0) 8331-937-350
E-MAIL cablestructures@pfeifer.de
INTERNET www.pfeifer.info

2 Datenblatt

In den farbcodierten Datenblättern lässt sich die gewünschte Systemkombination zusammenstellen.

Das PFEIFER-Produktsystem hilft dem Planer über die Grenzzugkraft $N_{R,d}$ den erforderlichen Zugstabdurchmesser oder über die charakteristische Bruchkraft $Z_{B,k}$ die passende Seilgröße zu finden. Es sind keine weiteren Abminderungen mehr notwendig!

Die zugehörige Grenzzugkraft erhält man direkt aus den Tabellen oder über die länderspezifischen Normen.

Data Sheet

The colour-coded data sheets make it easy to select the required system combination.

The PFEIFER Product System helps the planner via the tension limit $N_{R,d}$ to find the correct tension rod diameter or via the characteristic breaking load $Z_{B,k}$ the suitable cable size. Further reduction is not necessary.

The corresponding limit tension can be obtained directly from the tables or using country specific standards.

3 Endbeschlag

Mit der definierten Größe und den vorgegebenen Anschlußbedingungen für das System können die Endbeschläge und das Zubehör nach Typen in den anschließenden farbcodierten Datenblättern ausgewählt werden.

Alle Verlustfaktoren sind bereits in den Datenblättern berücksichtigt.

End Connection

Using defined size and the given connection conditions for the system, the end connections and accessories can be selected in the colour-coded data sheets.

All reduction factors have already been considered in the cable data sheets.

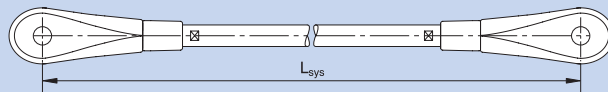
4 Systemspezifikationen

So erhält man das gewünschte Zugglied (Beispiel):

ZSS 100	Typ 860	/	860
Stab Größe	End- beschlag 1	und	End- beschlag 2

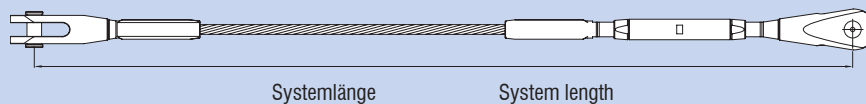
To obtain the required Tension Member (example):

ZSS 100	Typ 860	/	860
Rod Size	End connection 1	and	End connection 2



PG 40	Typ 980	/	984
Seil Größe	End- beschlag 1	und	End- beschlag 2

PG 40	Typ 980	/	984
Cable Size	End connection 1	and	End connection 2



Dies lässt sich einfach in unsere Ausschreibungstexten für PFEIFER-Zugglieder, die sie unter www.pfeifer.de finden, übernehmen.

Textbeispiel:

Pos. 1.1
Offenes Spiralseil GALFAN beschichtet
PG 40 Typ 980 / 984
Runddrähte GALFAN beschichtet nach DIN EN 10244-2
Elastizitäts-Modul: $160\text{kN/mm}^2 \pm 10\text{kN/mm}^2$
Charakteristische Bruchkraft $Z_{B,k}$: 367 kN
Grenzzugkraft $Z_{R,d}$: 220 kN (optional)
1 Ende Gabelfitting: PG 40 Typ 980
1 Ende Gabelspannschloss: PG 40 Typ 984

999 Stk. Länge: 999.000 mm Euro/Stk. _ EUR/ges...

These data can be easily transferred into our tender text for PFEIFER Tension Member, which you find under www.pfeifer.de.

Example Text:

Pos. 1.1
Open spiral cable GALFAN-coated
PG 40 Type 980 / 984
Round wires GALFAN-coated according to DIN EN 10244-2
Modulus of Elasticity: $160\text{kN/mm}^2 \pm 10\text{kN/mm}^2$
Characteristic value of breaking load $Z_{B,k}$: 367 kN
Limit tension $Z_{R,d}$: 220 kN (optional)
1 end open swaged socket PG 40 type 980
1 end turnbuckle with open socket PG 40 Typ 984

999 pieces length 999.000 mm Euro/piece _ EUR/total _

**Gabelfitting
Open Swaged Socket**

**PG Typ
Type 980**

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung Z-14.7-413

Korrosionsschutz:
Feuerverzinkt 80 µm DIN EN ISO 1461
Feuerverzinkt

Seile Size	Charakt. Bruchkraft Characteristic breaking load $Z_{B,k}$ (kN)	Seile Size	A	B
PG 5	55	PG 5	55	12,5
PG 10	95	PG 10	43	14,5
PG 15	135	PG 15	31	17,5
PG 20	175	PG 20	21	20,5
PG 25	215	PG 25	19	22,5
PG 30	255	PG 30	17	25,5
PG 35	295	PG 35	15	28,5
PG 40	335	PG 40	13	31,5
PG 45	375	PG 45	11	34,5
PG 50	415	PG 50	9	37,5
PG 55	455	PG 55	7	40,5
PG 60	495	PG 60	5	43,5

Anschluss 1 an den Stahlbau:
■ Einschnittige Anschlusslasche
■ Connection 1 to steel construction:
■ single-shear connection plate
→ **Typ 980** Gabelfitting
Open swaged
socket

Anschluss 2 an den Stahlbau:
■ Einschnittige Anschlusslasche
■ Seilsystem mit Einstellmöglich-
keit
■ Connection 2 to steel construction:
■ single-shear connection plate
■ adjustable cable system
→ **Typ 984** Gabelspannschloss
Turnbuckle with
open socket

PG 40 Typ 980/984

Datenblätter
Data Sheets

**Online-Anfrage
Online Inquiry**

ZSS
PE
PG
PV

Zugstab Typ 860 und Typ 860-X Tension Rod Type 860 and Type 860-X

Technische Daten

Material (Typ 860):
S460N, DIN EN 10025

Material (Typ 860-X):
S460N, modifizierter Stahl mit erhöhter
Zugfestigkeit

Elastizitätsmodul:
210 ± 10 kN/mm²

Korrosionsschutz:
feuerverzinkt oder walzblank

Anwendungsgebiet

Aussteifungen:
Windverbände Dach, Wände, Stützen

Abspannungen:
Dachelemente, Pylone

Unterspannungen:
Stahl-, Holzbinder, Raumbachwerk

Technical Data

Material (Type 860):
S460N, DIN EN 10025

Material (Type 860-X):
S460N, modified steel with
raised tensile strength

Modulus of Elasticity:
210 ± 10 kN/mm²

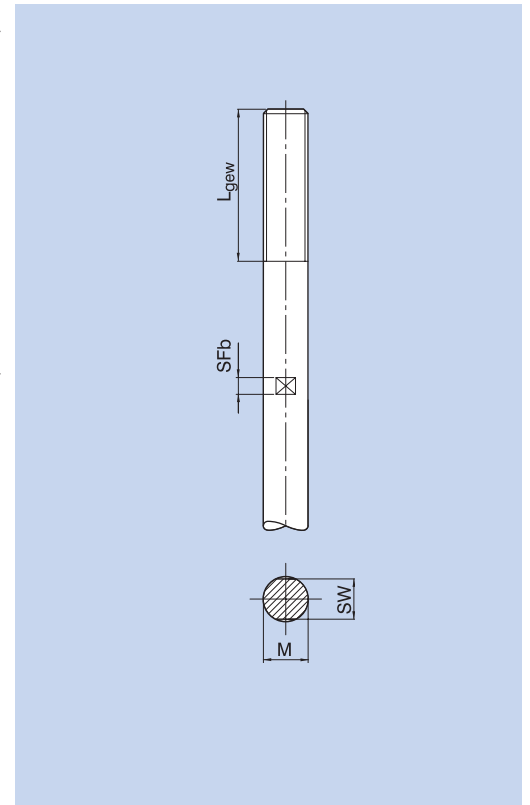
Corrosion Protection:
Hot dip galvanised or bright

Field of Application

Bracings for roofs, walls, girders

Stays for roof elements, pylons

Suspension of steel trusses, timber trusses
and space frames



Größe size M mm	ETA/EC3 860	EC3 860-X	L _{gew} mm	SFb mm	SW mm	L _{max} mm	Gewicht weight kg/m
	N _{R,d} * kN	N _{R,d} * kN					
10	26,1	—	33	19	9	6000	0,61
12	37,9	41,8	38	19	10	8000	0,88
16	70,5	77,8	54	19	14	12000	1,58
20	110,1	121,6	67	19	18	12000	2,47
24	158,5	175,0	80	19	22	12000	3,55
27	206,6	228,1	90	19	25	12000	4,50
30	252,1	278,4	100	19	28	12000	5,55
36	367,3	405,5	120	19	33	12000	8,00
42	504,2	556,6	140	19	39	12000	10,9
48	658,6	731,5	159	19	45	15000	14,2
52	790,6	872,8	172	**	**	15000	16,7
56	913,0	1008,0	187	**	**	15000	19,3
60	1062,4	1172,8	199	**	**	15000	22,2
64	1203,6	1328,7	211	**	**	15000	25,3
70	1463,7	1615,9	233	**	**	15000	30,2
80	1953,8	2157,0	266	**	**	18000	39,5
90	2514,6	2776,1	297	**	**	18000	49,9
100	3146,0	3473,2	328	**	**	18000	61,7

Konstruktionsänderungen vorbehalten

* Anschlussblech S355

** Wir empfehlen die Verwendung einer Kettenrohrzange

Subject to technical modification

* Connecting plate S355

** We propose the use of a chain wrench



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

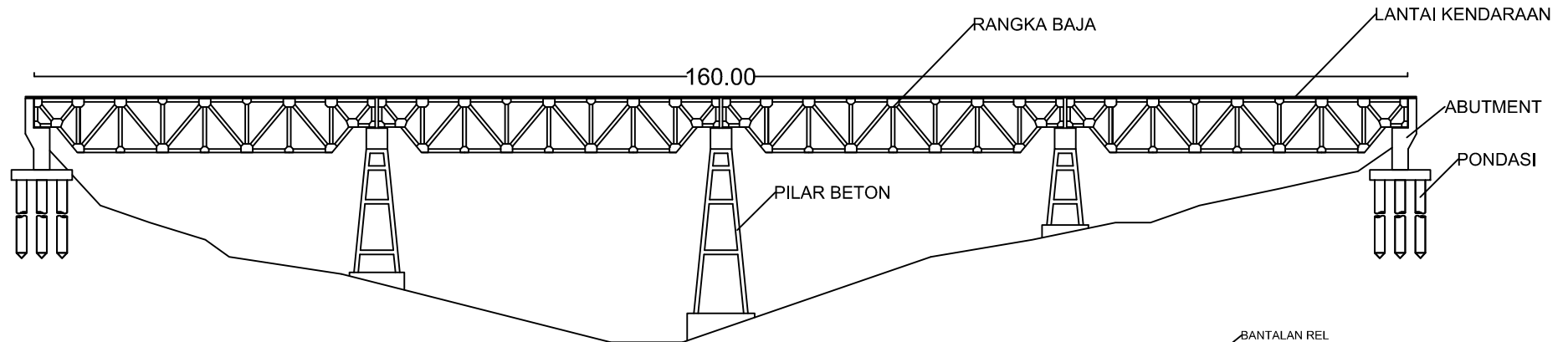
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



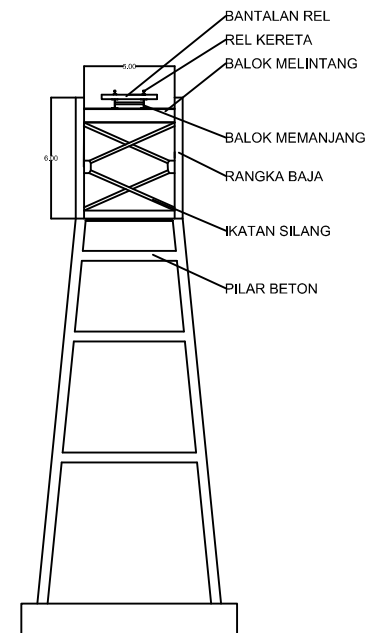
Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Ir. Djoko Irawan M.S.
NAMA MAHASISWA	: Herlangga Adhi Kurnia
NRP	: 3113100049
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Lahor Dengan Menggunakan Konstruksi Busur Rangka Baja
TANGGAL PROPOSAL	: 26 Januari 2017
NO. SP-MMTA	: 014611 / IT2-VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2017

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	31/03	Cek beban gandar yg dipakai dan kombinasi pembebanan	31/03	JIS
2	20/04	Optimasi elemen struktur lagi!	20/04	JIS
3	28/04	Kontrol profil manual	28/04	JIS
4	08/05	uluran profil di cele lagi	08/05	JIS
5	23/05	Perhitungan Sambungan	23/05	JIS
6	02/06	Laporan - Struktur Sekunder		JIS
7	08/06	Gambar Sambungan		JIS
8	16/06	Laporan Bab IV	laporan lengkap + gambar di cetak	JIS



POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN EKSISTING



POTONGAN MELINTANG JEMBATAN EKSISTING



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KERETA
API LAHOR DENGAN MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI BUSUR RANGKA BAJA

DOSEN ASISTEN
Ir. DJOKO IRAWAN, MS

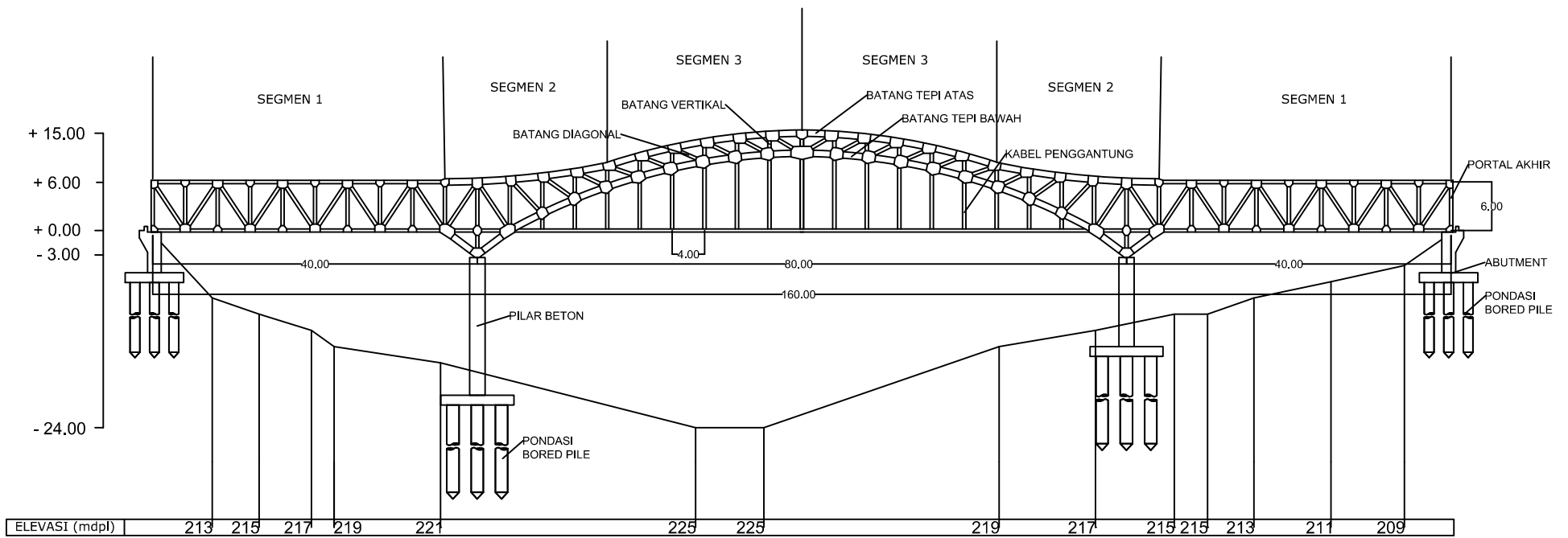
NAMA MAHASISWA
HERLANGGA ADHI KURNIA
3113100049

JUDUL GAMBAR
JEMBATAN EKSISTING

SKALA
1 : 750

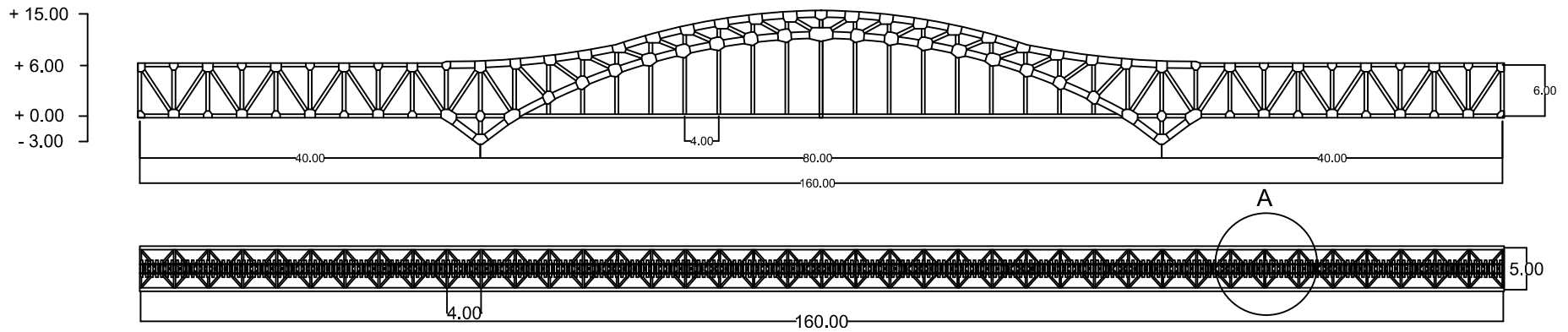
NO. GAMBAR
1

JUMLAH
GAMBAR
33

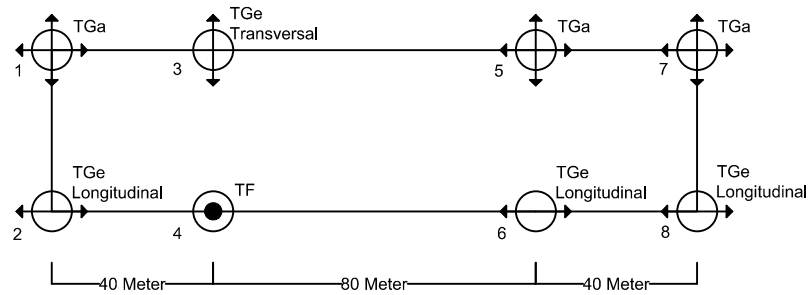


POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN RENCANA

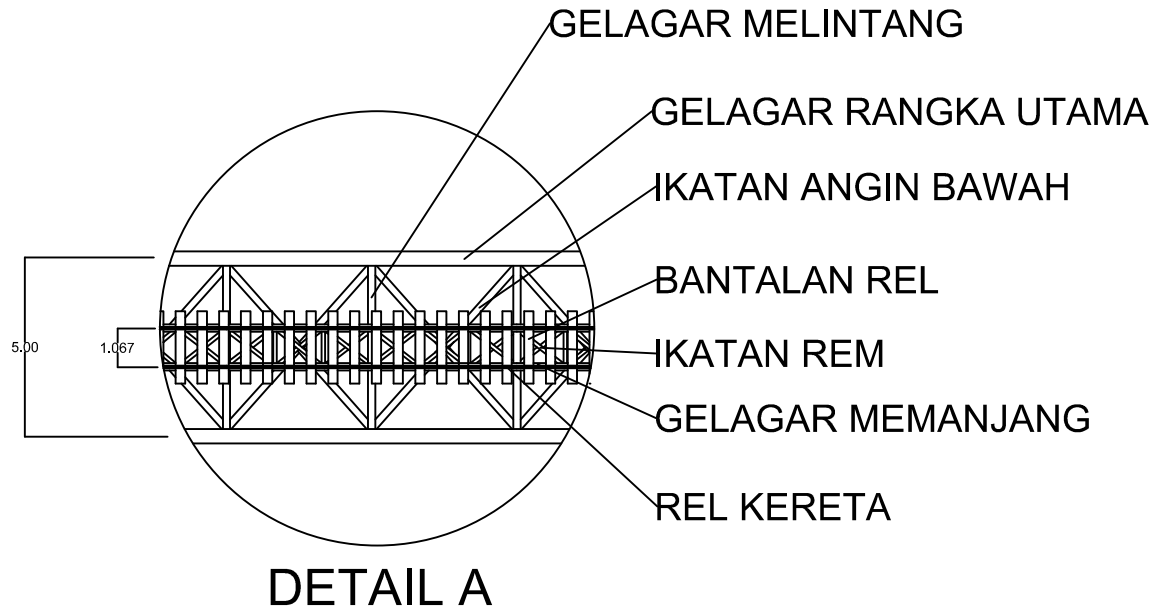




DENAH LANTAI KENDARAAN JEMBRAN



KONFIGURASI PERLETAKAN



DETAIL A



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBRAN KERETA
API LAHOR DENGAN MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI BUSUR RANGKA BAJA

DOSEN ASISTEN

Ir. DJOKO IRAWAN, MS

NAMA MAHASISWA

HERLANGGA ADHI KURNIA
3113100049

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI KENDARAAN
DAN PERLETAKAN

SKALA

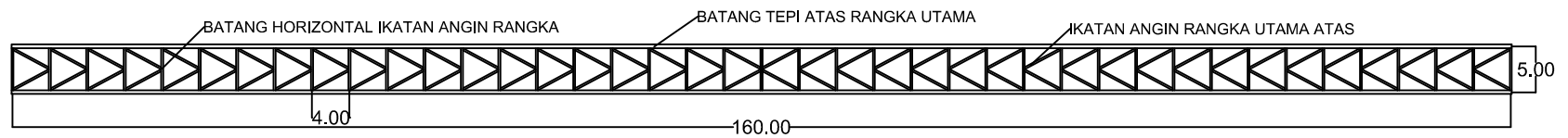
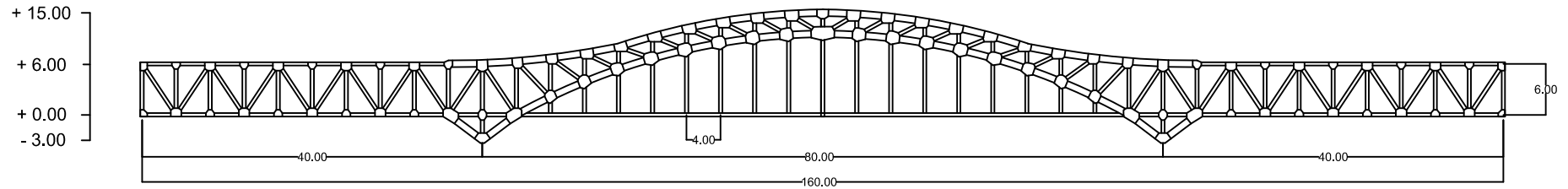
1 : 750

NO. GAMBAR

3

JUMLAH
GAMBAR

33



IKATAN ANGIN BUSUR ATAS



IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KERETA
API LAHOR DENGAN MENGGUNAKAN
KONSTRUKSI BUSUR RANGKA BAJA

DOSEN ASISTEN
Ir. DJOKO IRAWAN, MS

NAMA MAHASISWA
HERLANGGA ADHI KURNIA
3113100049

JUDUL GAMBAR
IKATAN ANGIN BUSUR ATAS
DAN BAWAH

SKALA
1 : 750

NO. GAMBAR
4

JUMLAH
GAMBAR
33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

TAMPAK MELINTANG
IKATAN ANGIN

SKALA

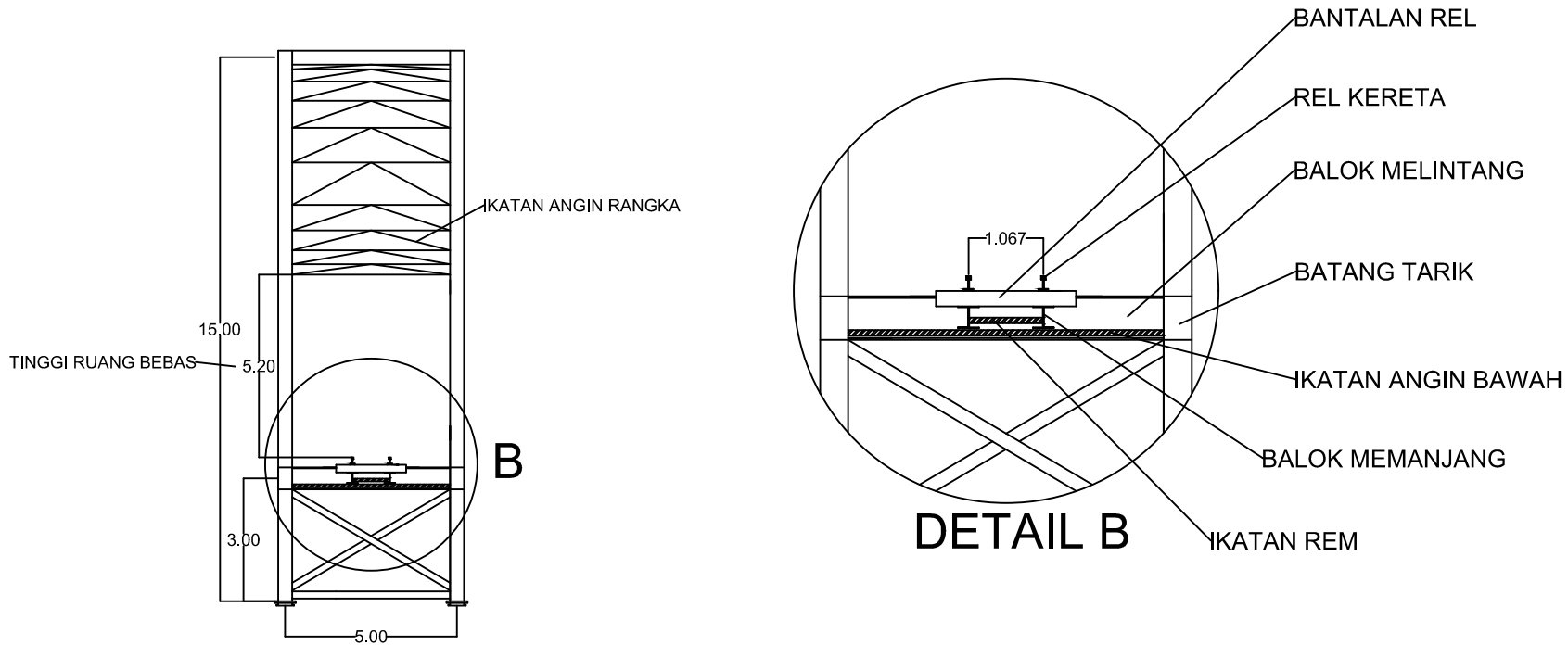
1 : 200

NO. GAMBAR

5

JML. GAMBAR

33



TAMPAK MELINTANG IKATAN ANGIN
BUSUR ATAS



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

TAMPAK MELINTANG
IKATAN ANGIN

SKALA

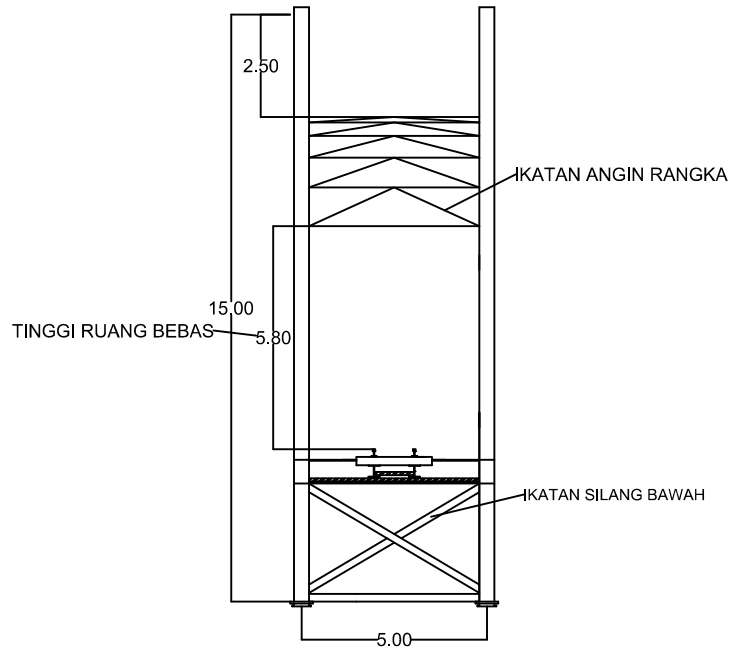
1 : 200

NO. GAMBAR

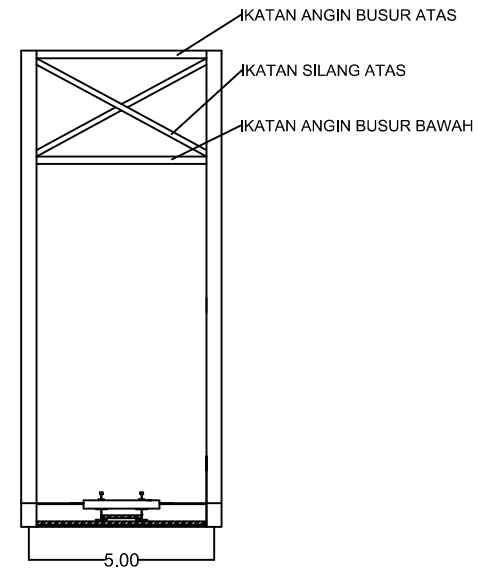
6

JML. GAMBAR

33



TAMPAK MELINTANG IKATAN ANGIN
BUSUR BAWAH



TAMPAK MELINTANG IKATAN ANGIN
SILANG ANTAR BUSUR



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan Balok Memanjang
dan Balok Melintang

SKALA

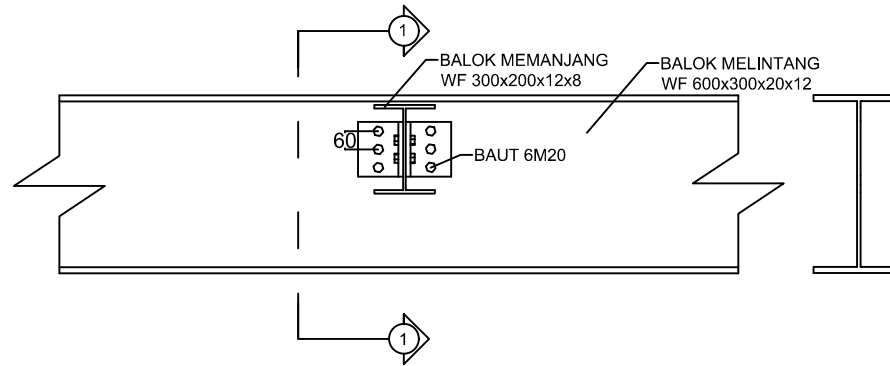
1 : 25

NO. GAMBAR

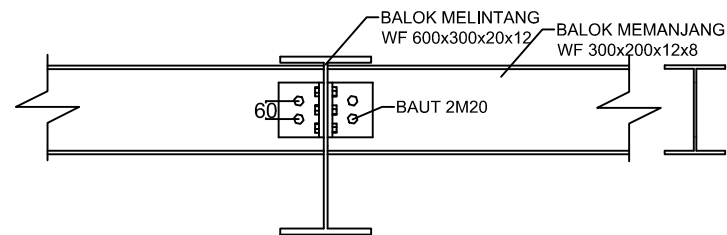
7

JML. GAMBAR

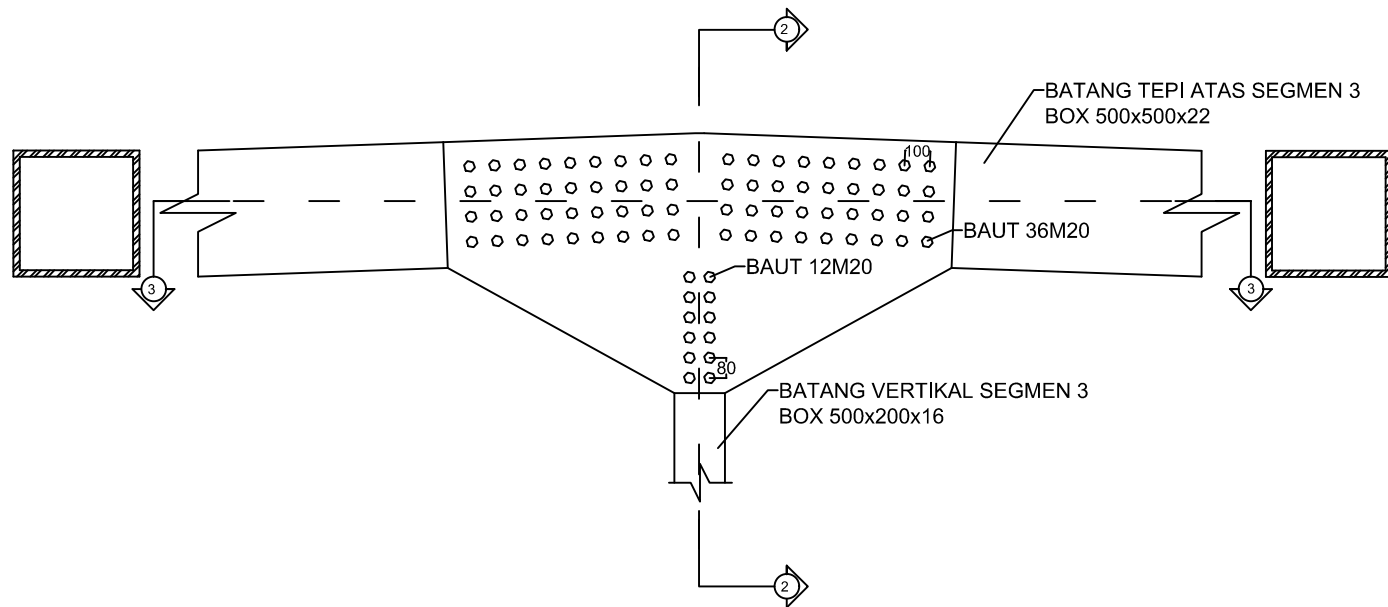
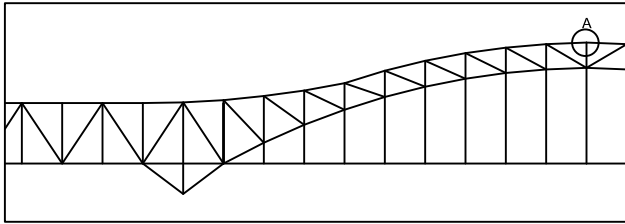
33



SAMBUNGAN BALOK MEMANJANG DAN MELINTANG



POTONGAN 1-1



SAMBUNGAN A



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan A

SKALA

1 : 30

NO. GAMBAR

8

JML. GAMBAR

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 2 - 2 dan
Potongan 3 - 3

SKALA

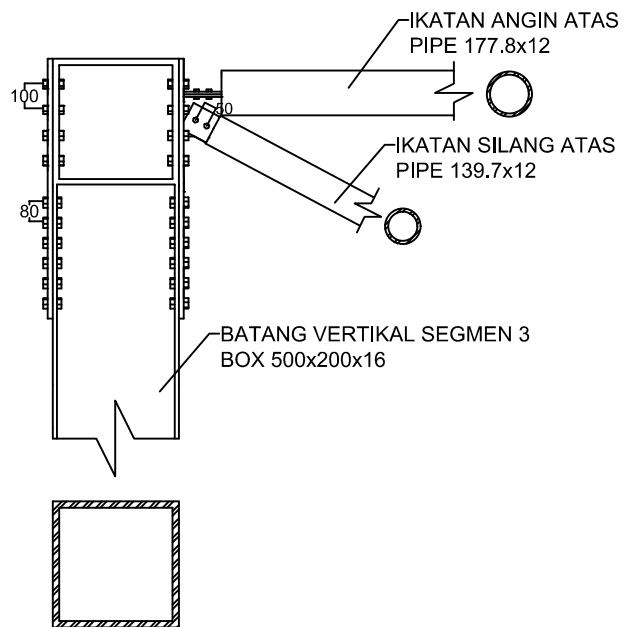
1 : 30

NO. GAMBAR

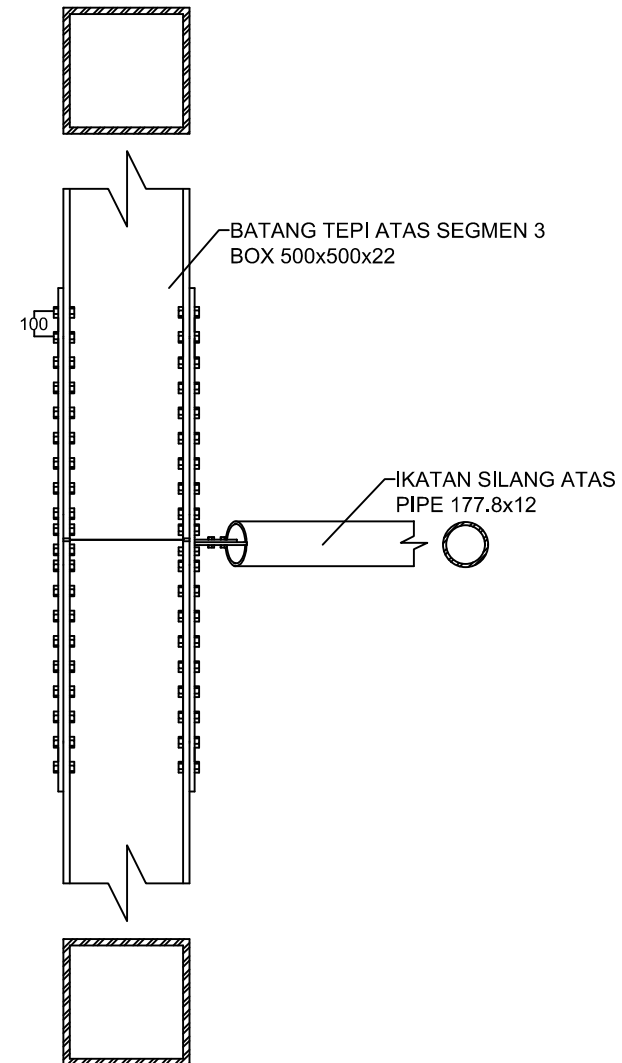
9

JML. GAMBAR

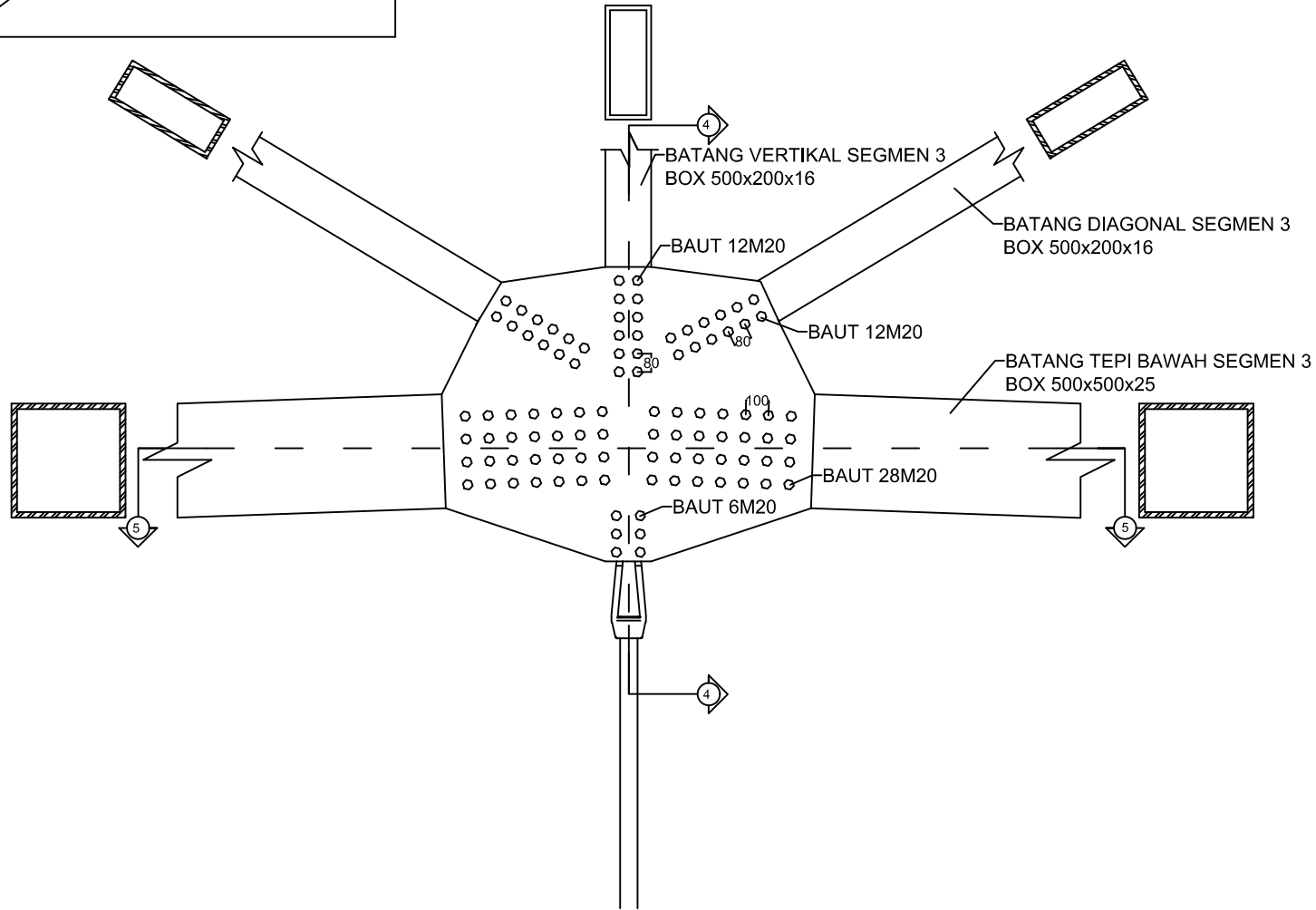
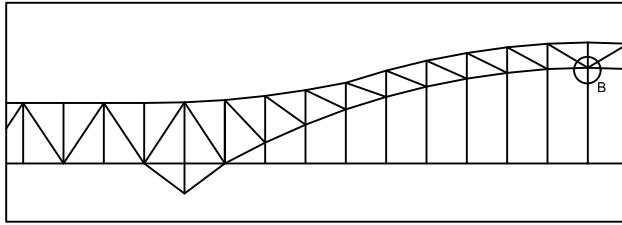
33



POTONGAN 2-2



POTONGAN 3-3



SAMBUNGAN B



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan B

SKALA

1 : 30

NO. GAMBAR

10

JML. GAMBAR

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 4 - 4 dan
Potongan 5 - 5

SKALA

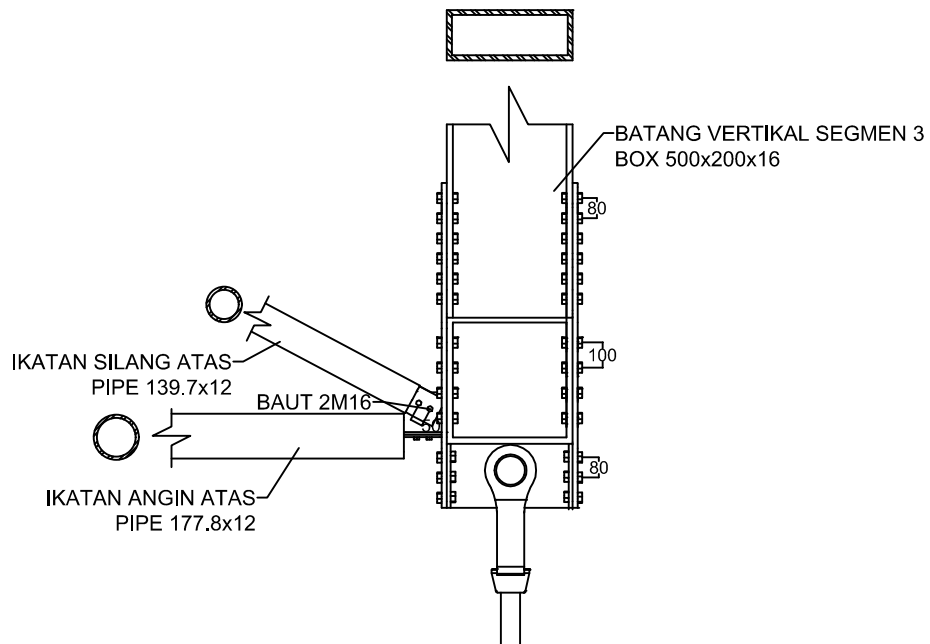
1 : 30

NO. GAMBAR

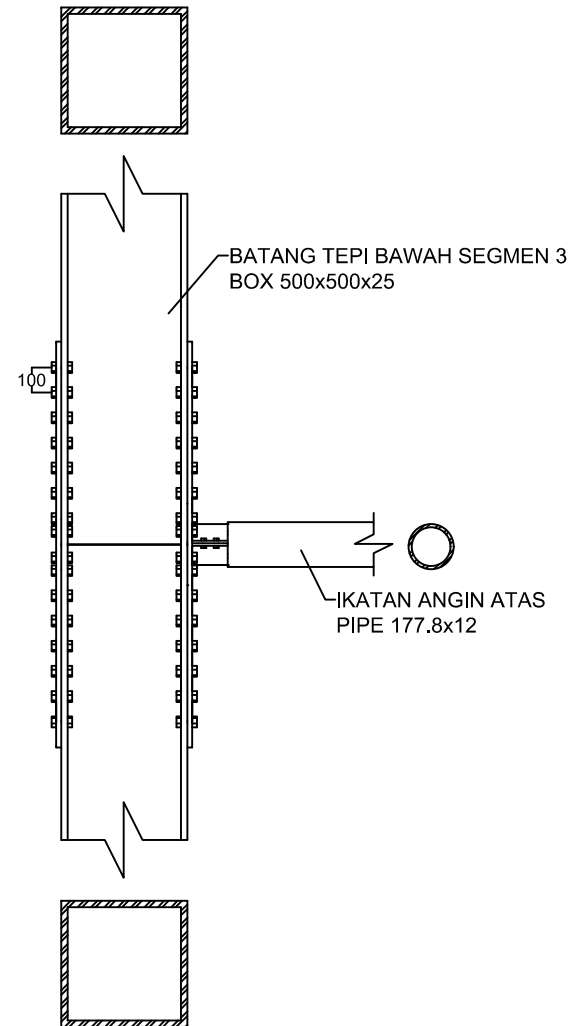
11

JML. GAMBAR

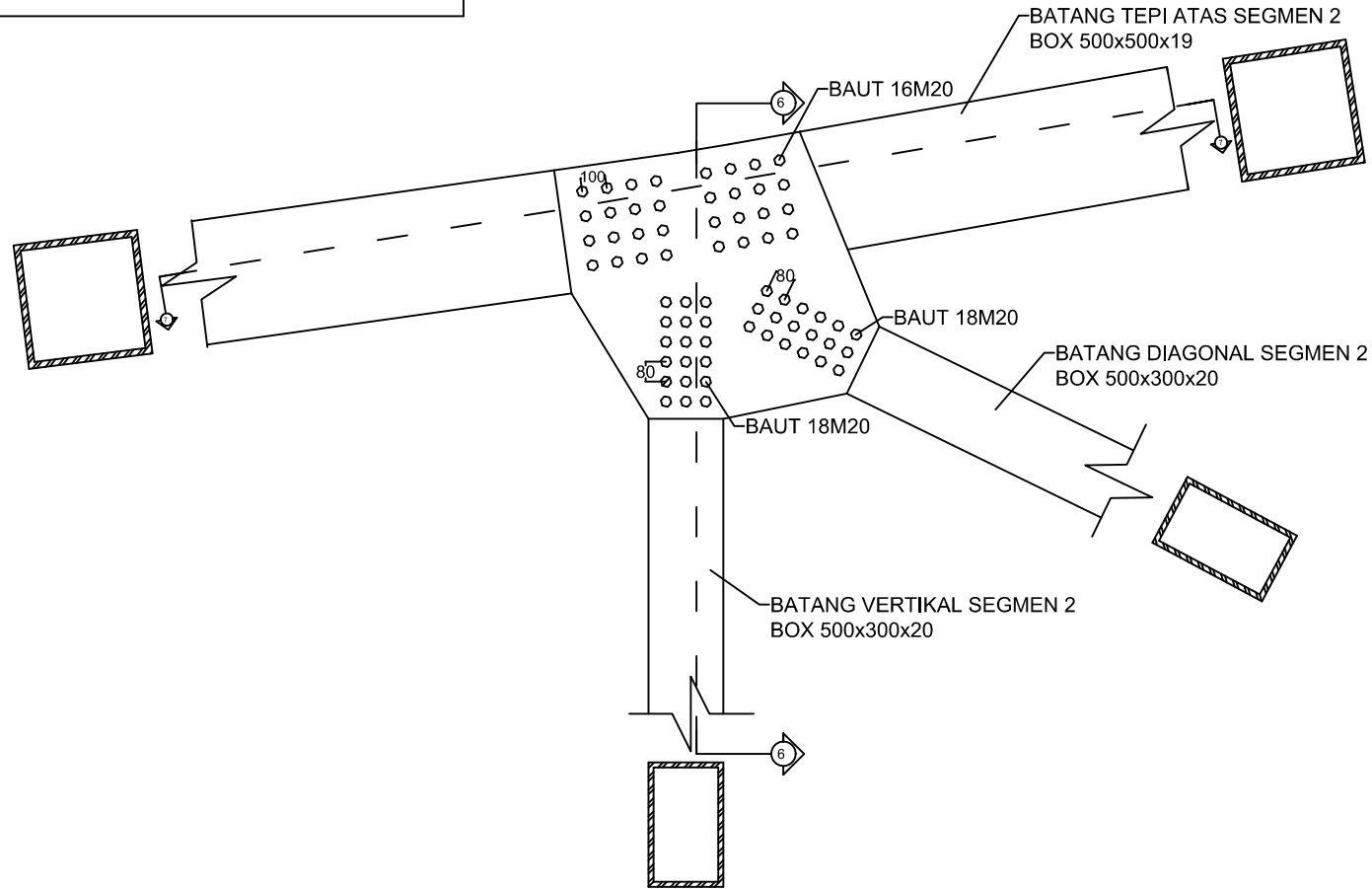
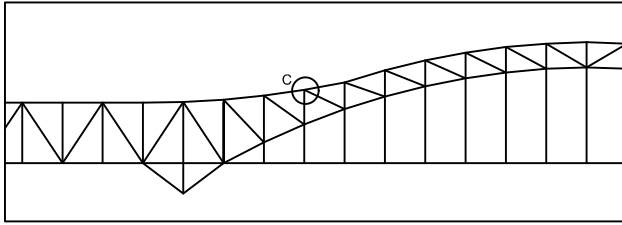
33



POTONGAN 4-4



POTONGAN 5-5



SAMBUNGAN C



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan C

SKALA

1 : 30

NO. GAMBAR

12

JML. GAMBAR

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 6 - 6 dan
Potongan 7 - 7

SKALA

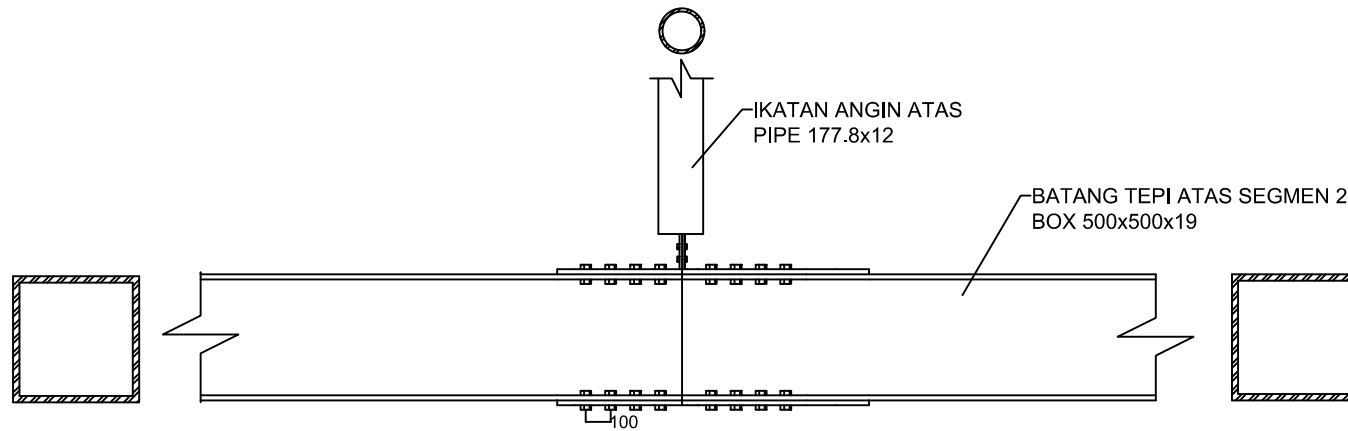
1 : 30

NO. GAMBAR

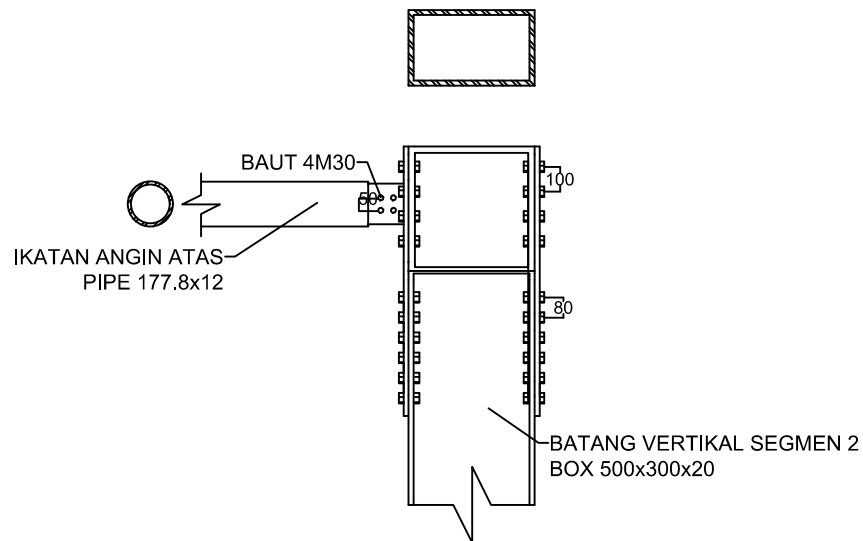
13

JML. GAMBAR

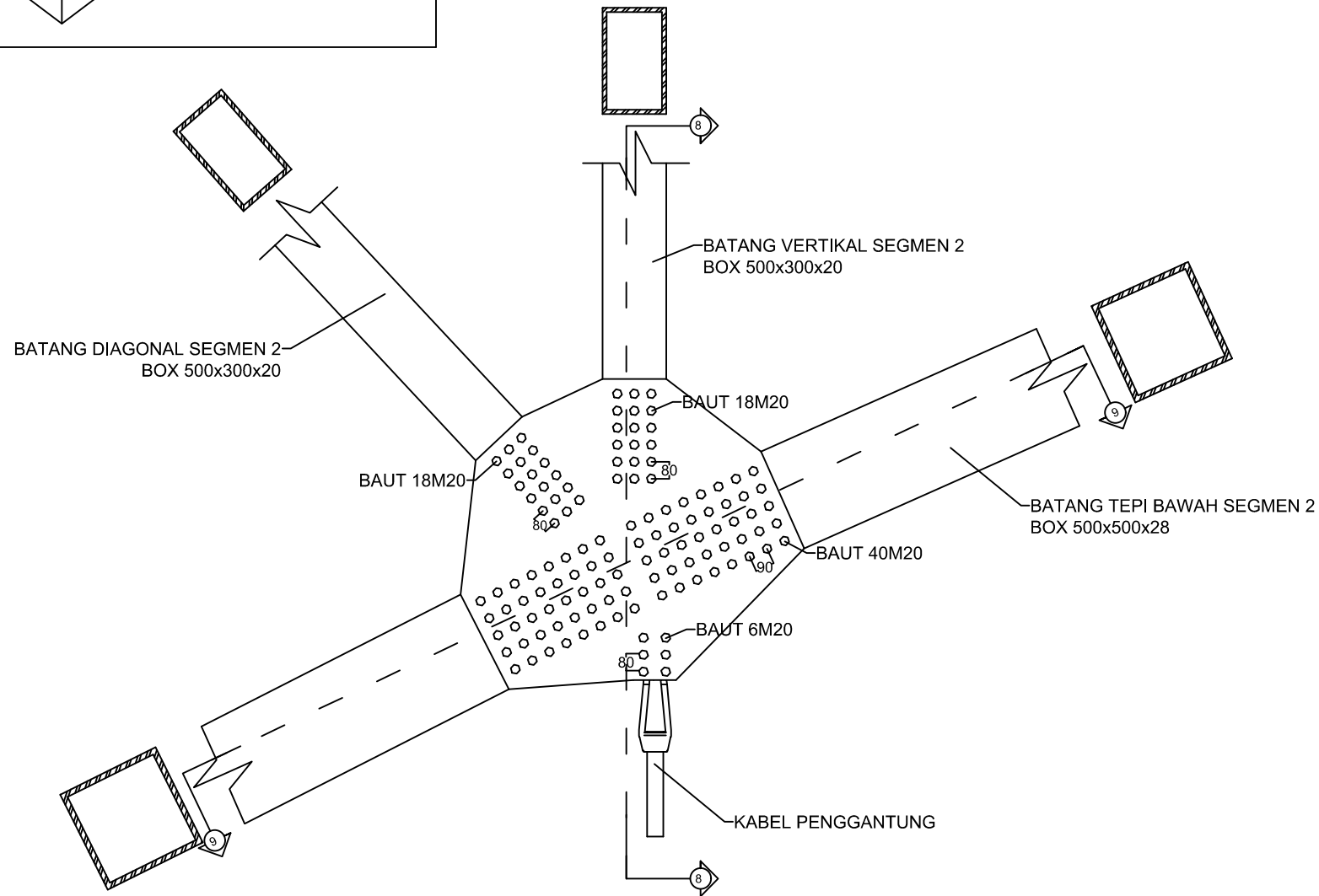
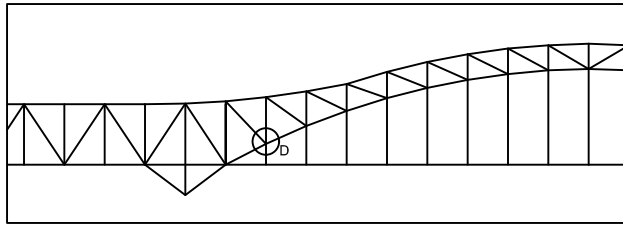
33



POTONGAN 7-7



POTONGAN 6-6



SAMBUNGAN D



Departemen Teknik Sipil
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
 Kereta Api Lahor Dengan
 Menggunakan Konstruksi Busur
 Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
 3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan D

SKALA

1 : 30

NO. GAMBAR

14

JML. GAMBAR

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 8 - 8 dan
Potongan 9 - 9

SKALA

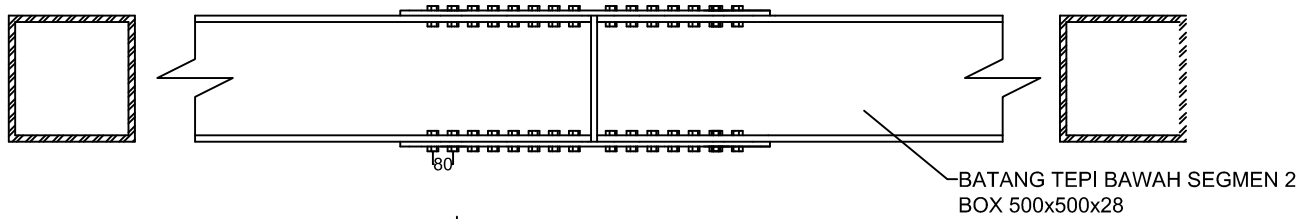
1 : 30

NO. GAMBAR

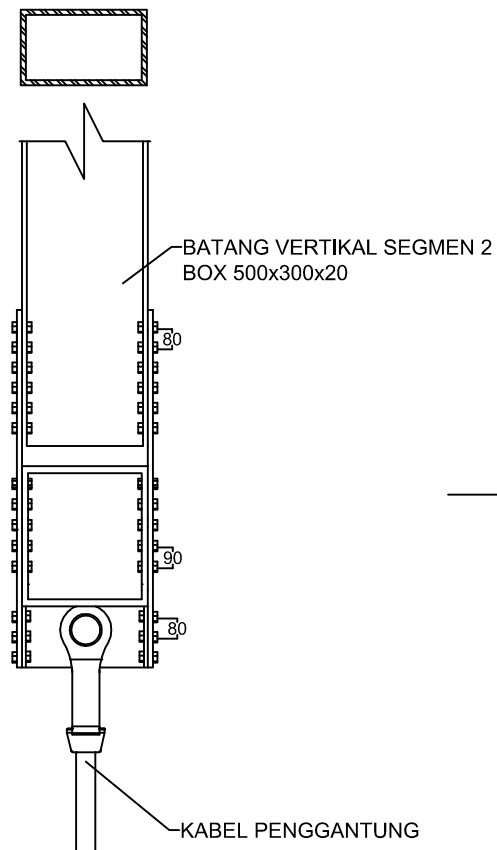
15

JML. GAMBAR

33



POTONGAN 9-9



POTONGAN 8-8



JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan E

SKALA

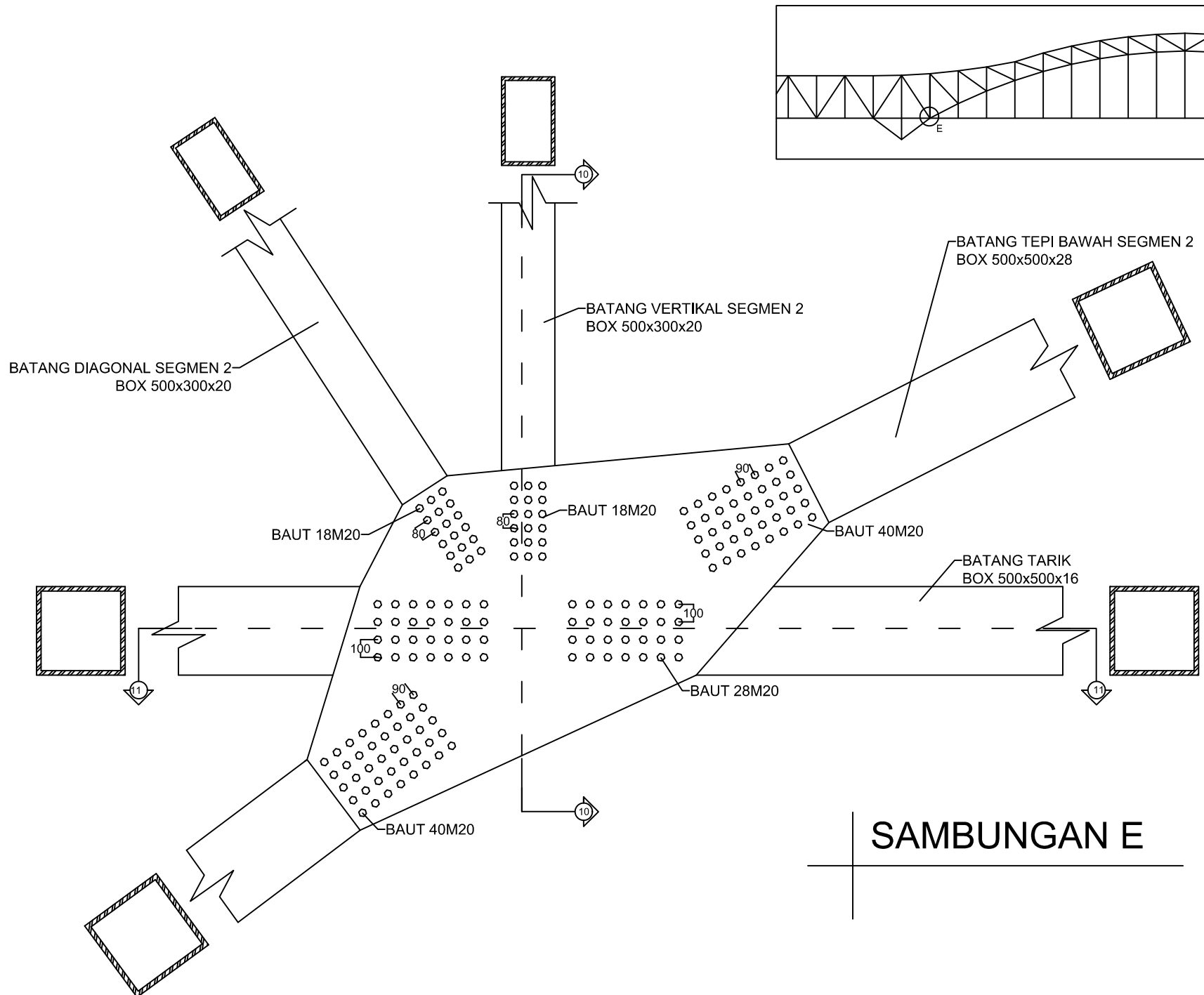
1 : 30

NO. GAMBAR

16

JML. GAMBAR

33



SAMBUNGAN E



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 10 - 10 dan
Potongan 11 - 11

SKALA

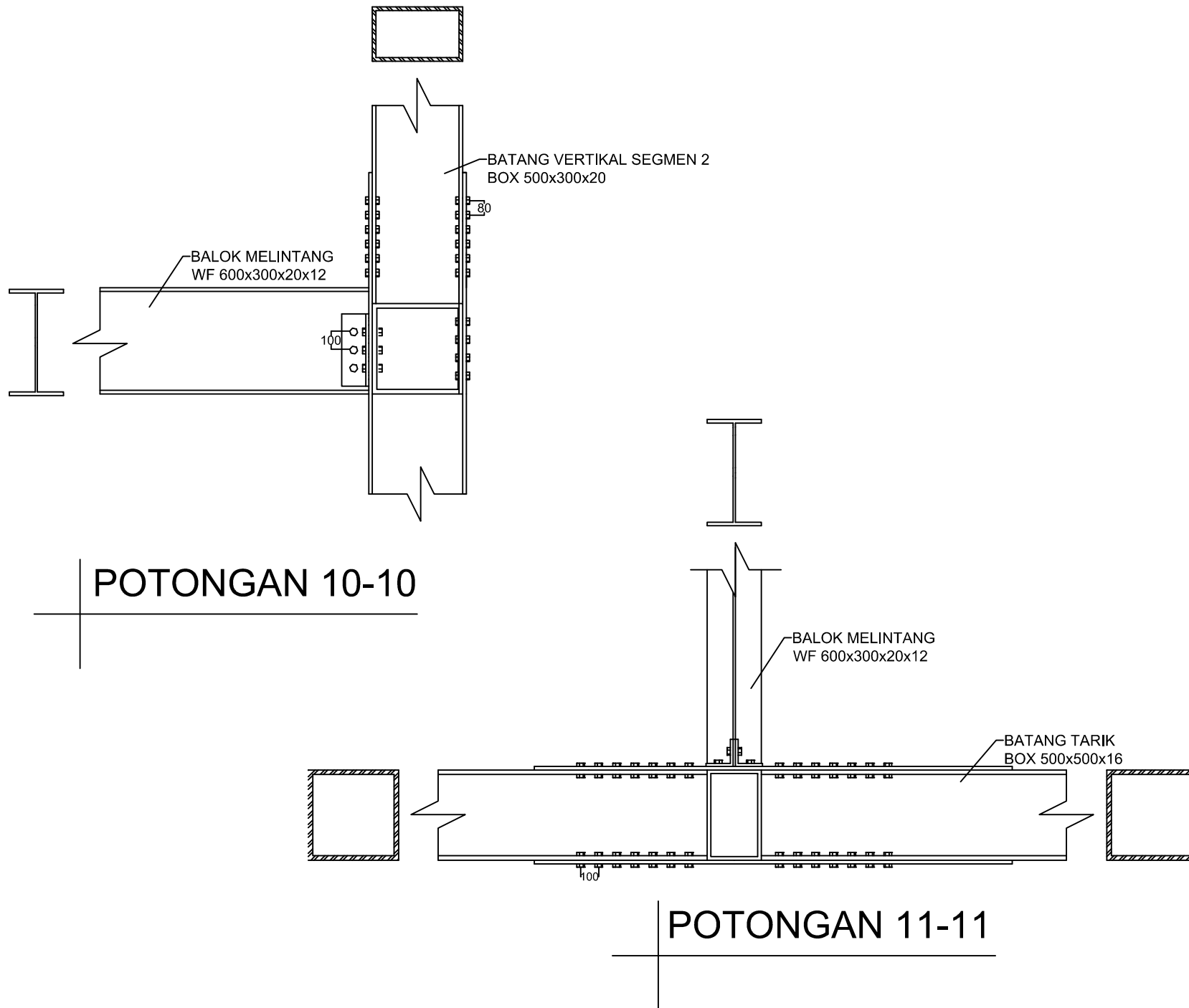
1 : 30

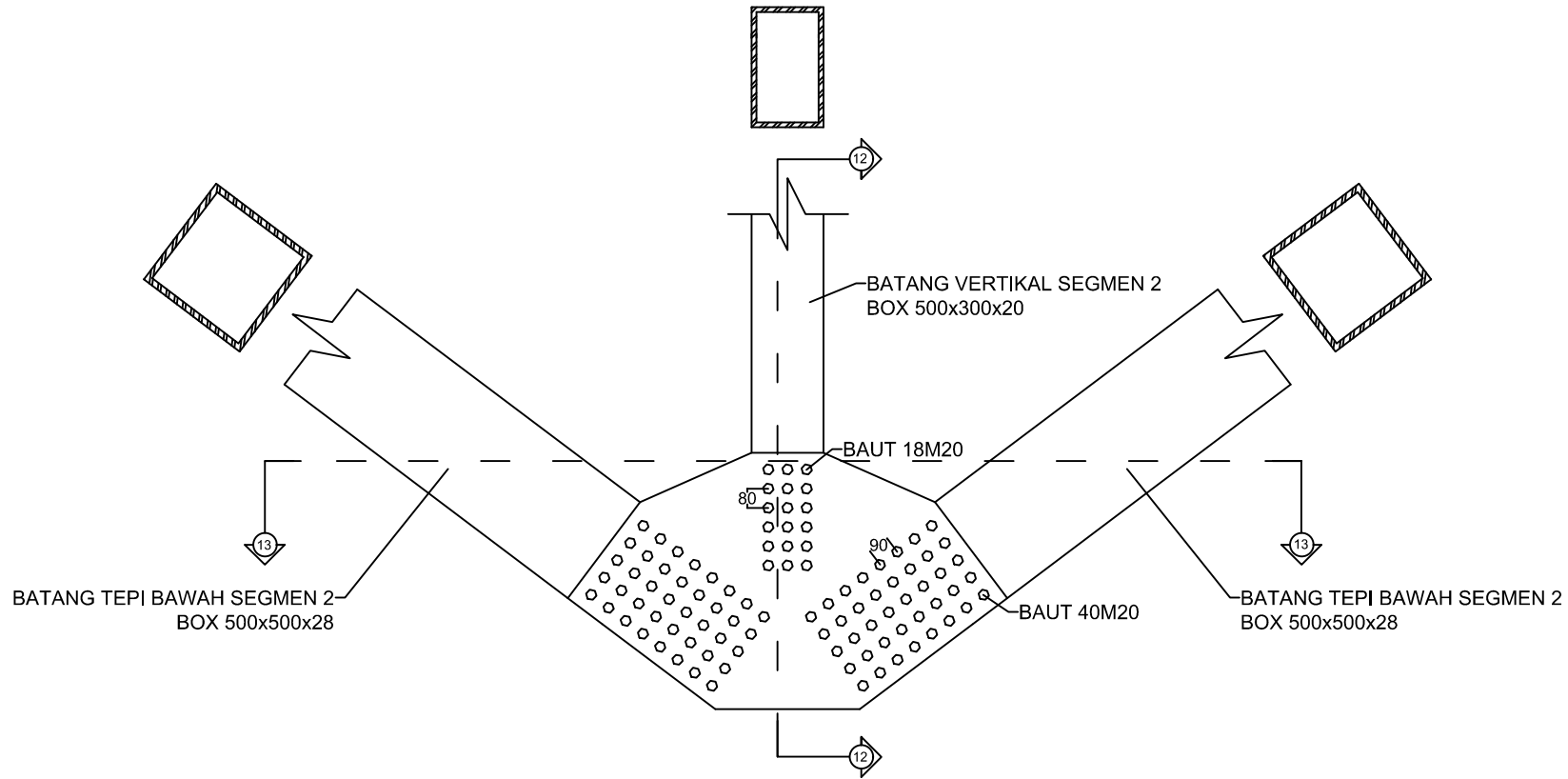
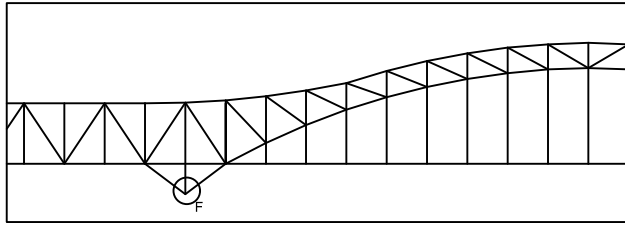
NO. GAMBAR

17

JML. GAMBAR

33





SAMBUNGAN F



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan F

SKALA

1 : 30

NO. GAMBAR

18

JML. GAMBAR

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 12 - 12 dan
Potongan 13 - 13

SKALA

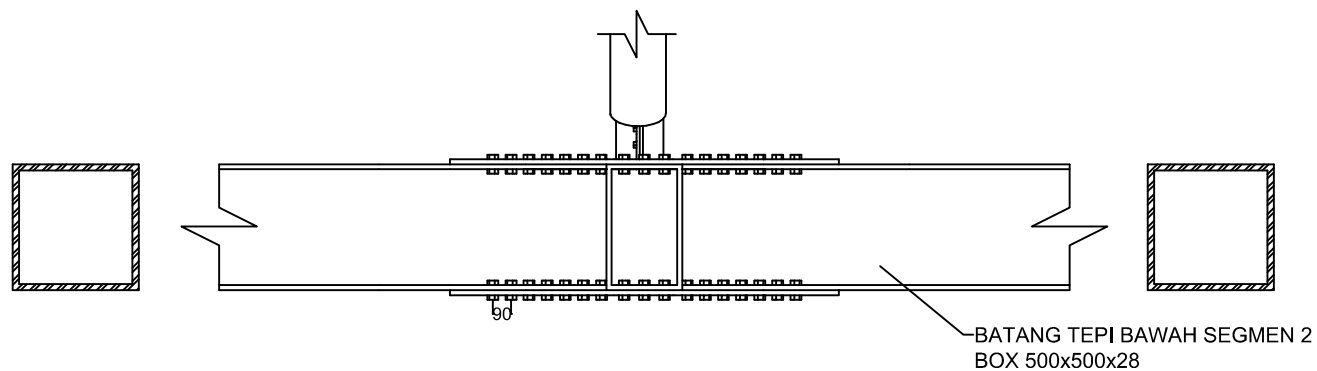
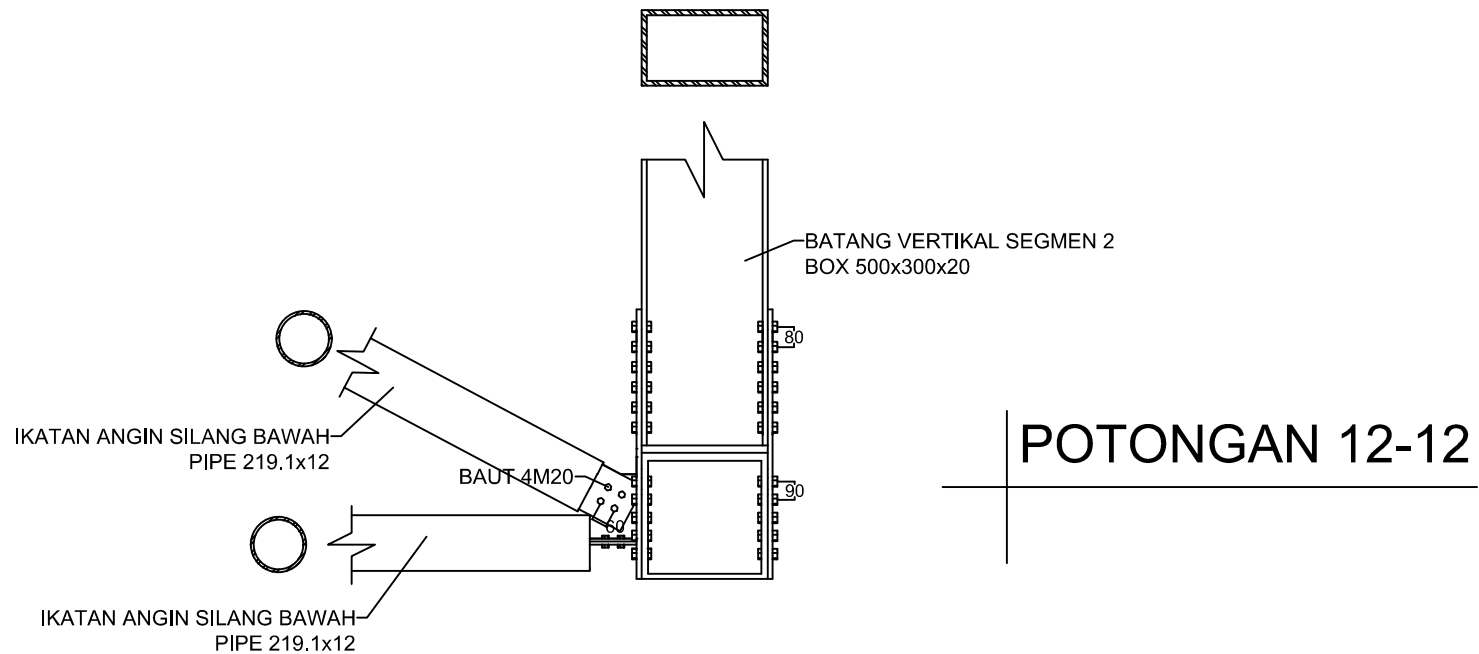
1 : 30

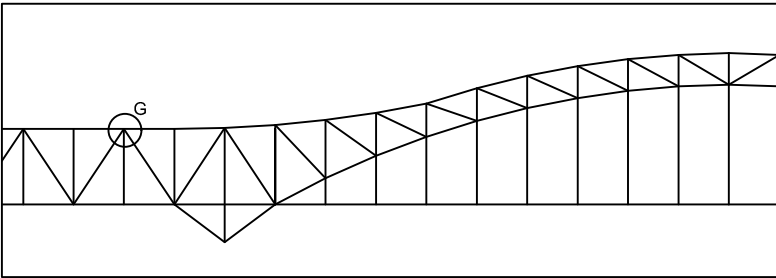
NO. GAMBAR

19

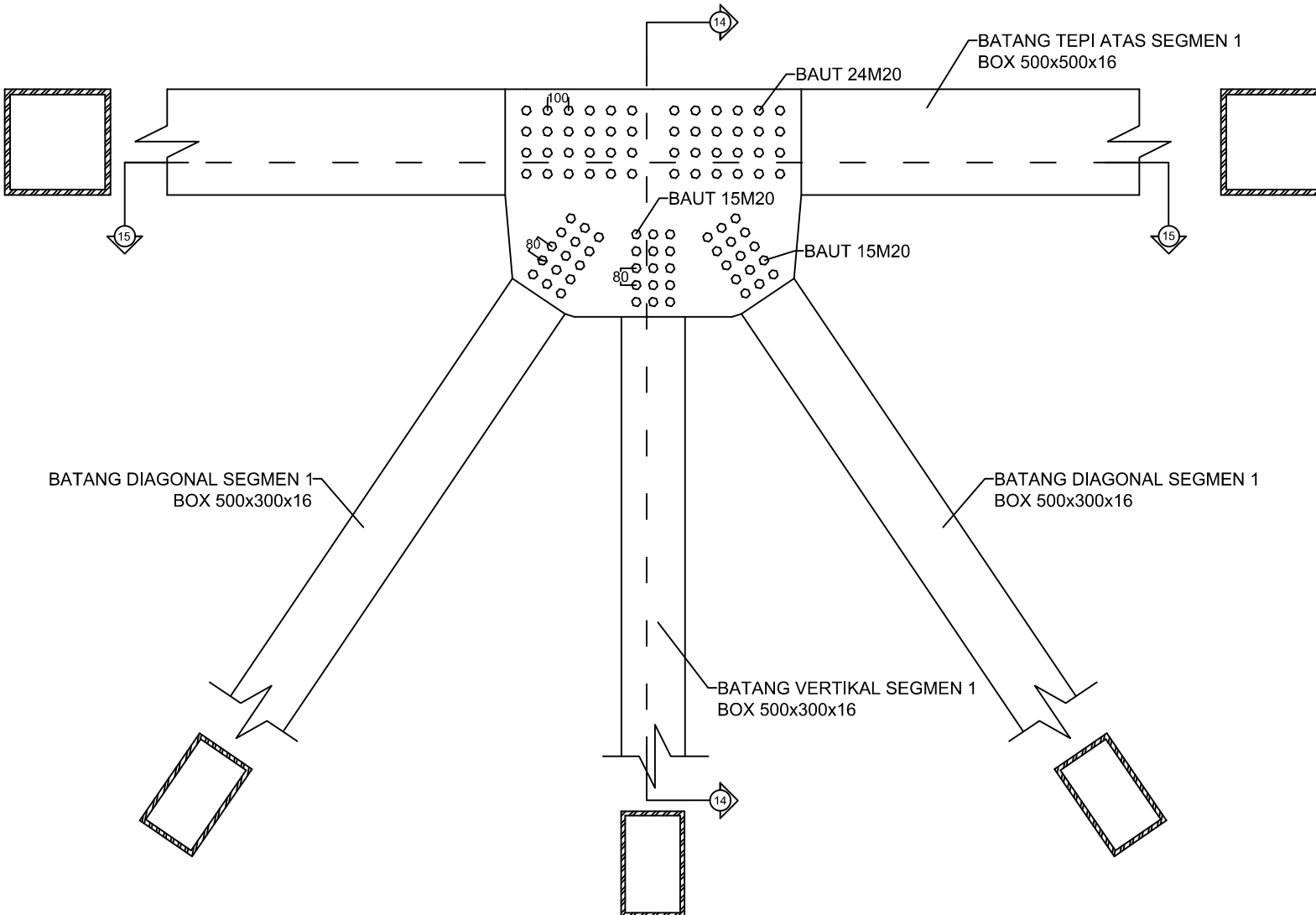
JML. GAMBAR

33





SAMBUNGAN G



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan G

SKALA

1 : 30

NO. GAMBAR

20

JML. GAMBAR

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 14 - 14 dan
Potongan 15 - 15

SKALA

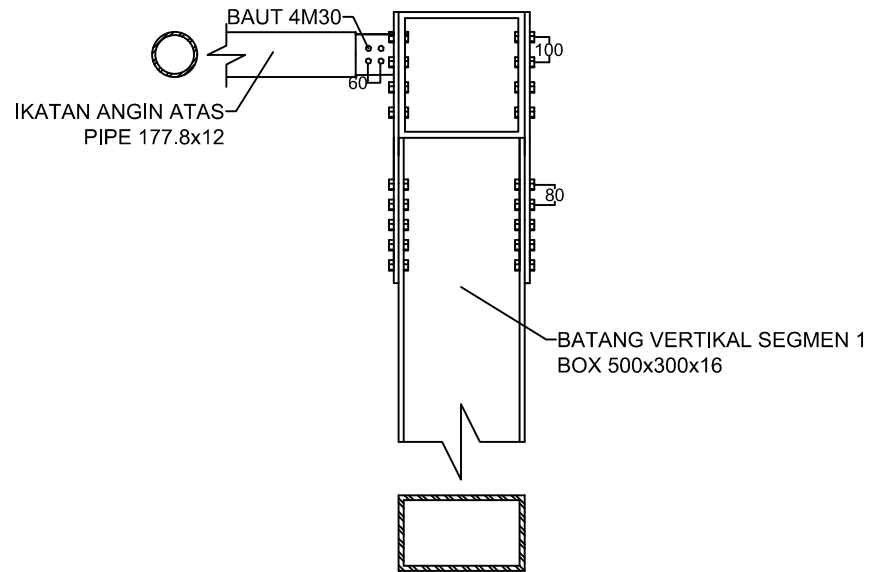
1 : 30

NO. GAMBAR

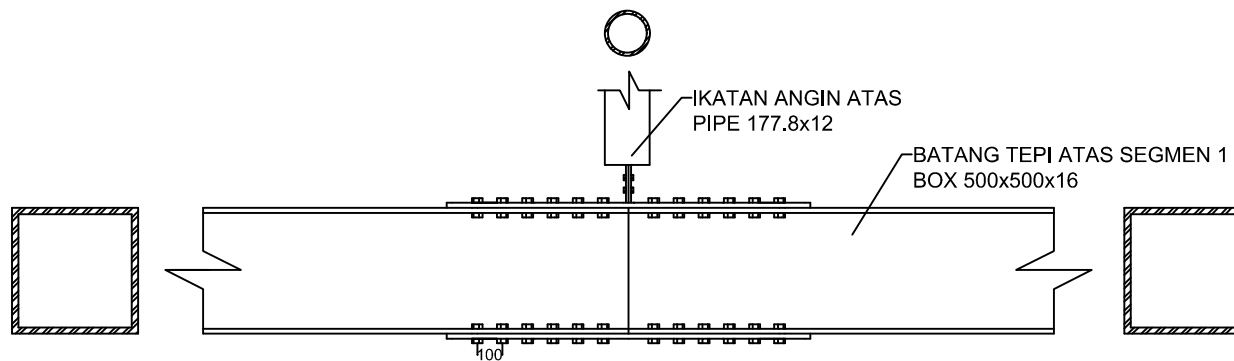
21

JML. GAMBAR

33



POTONGAN 14-14



POTONGAN 15-15



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan H

SKALA

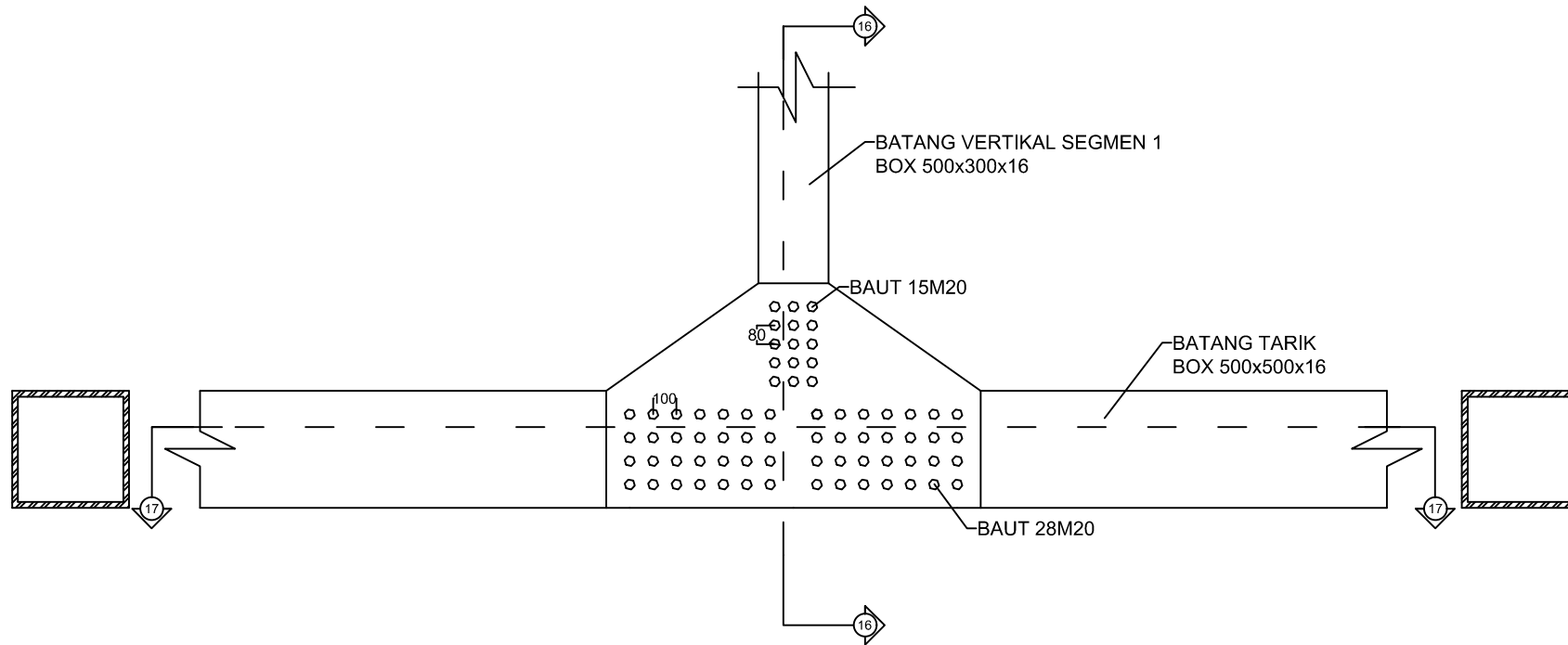
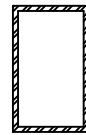
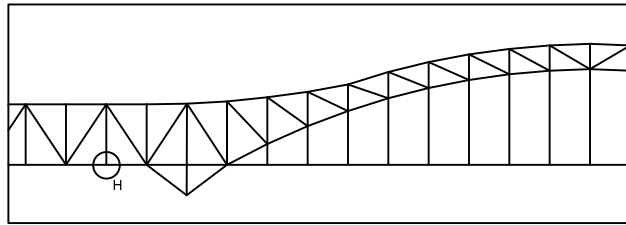
1 : 30

NO. GAMBAR

22

JML. GAMBAR

33



SAMBUNGAN H



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 16 - 16 dan
Potongan 17 - 17

SKALA

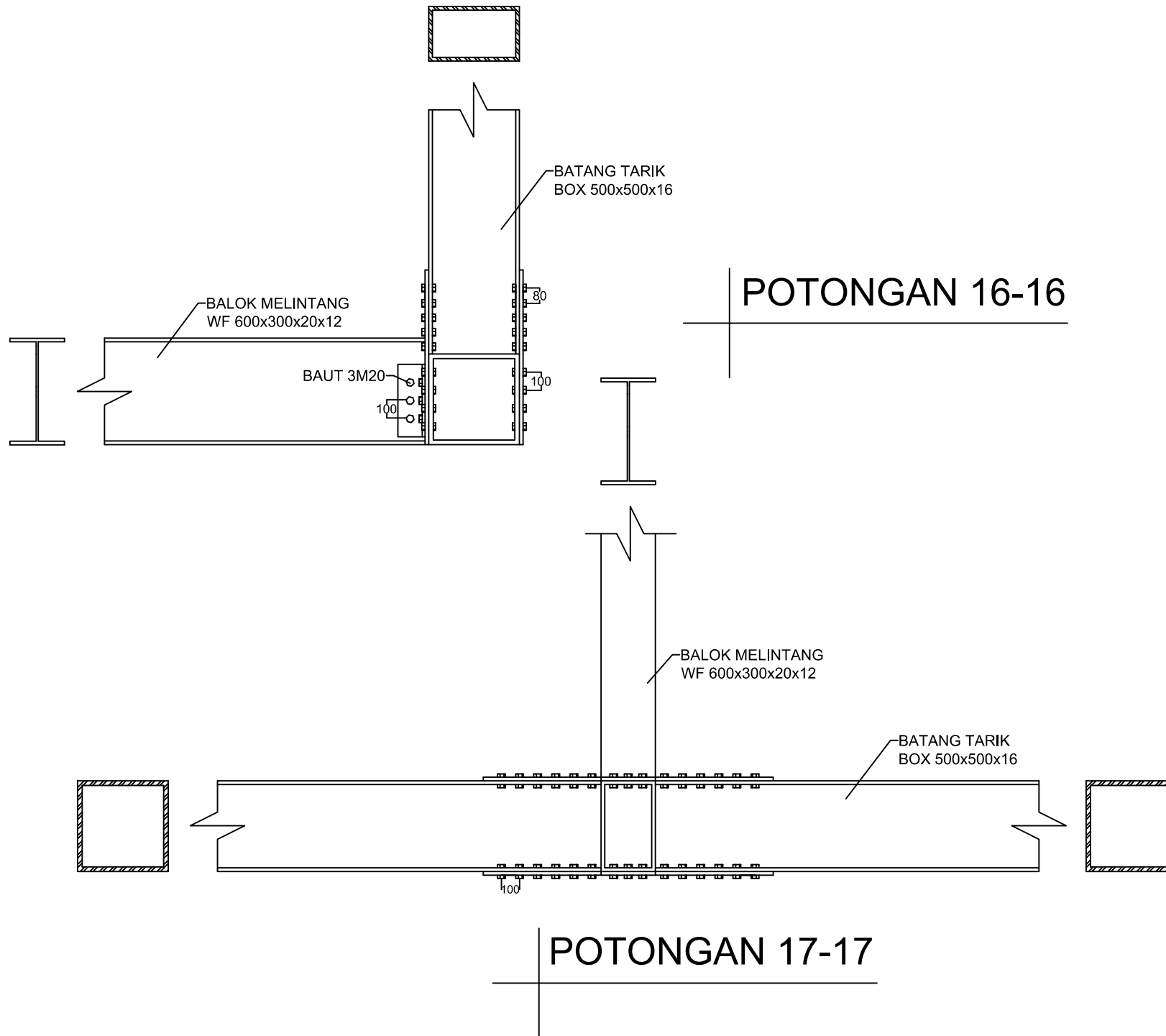
1 : 30

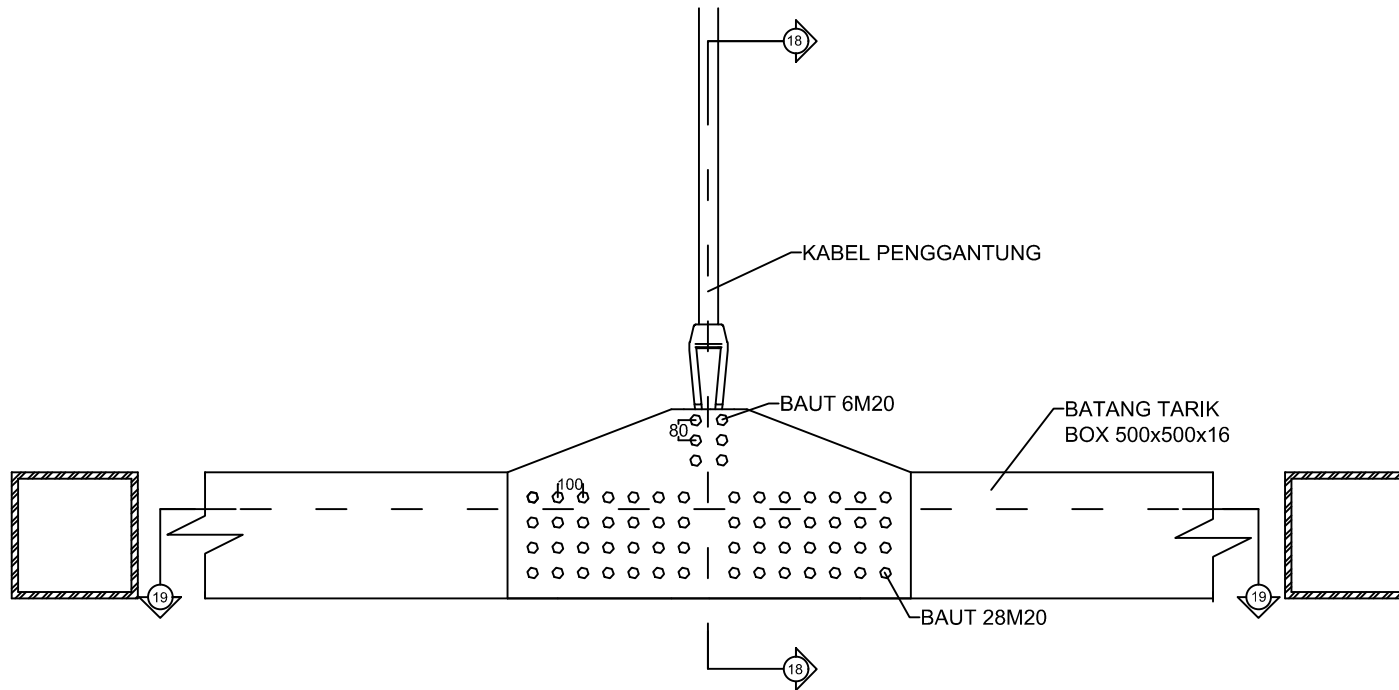
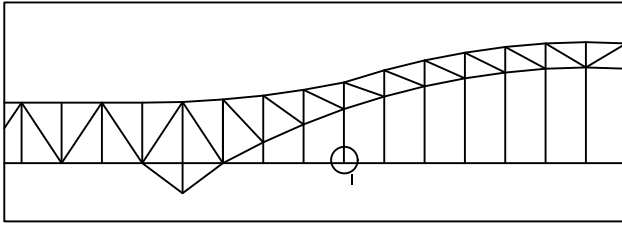
NO. GAMBAR

23

JML. GAMBAR

33





SAMBUNGAN I



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan I

SKALA

1 : 30

NO. GAMBAR

24

JML. GAMBAR

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Potongan 18 - 18, Potongan 19 - 19,
dan Potongan 20 - 20

SKALA

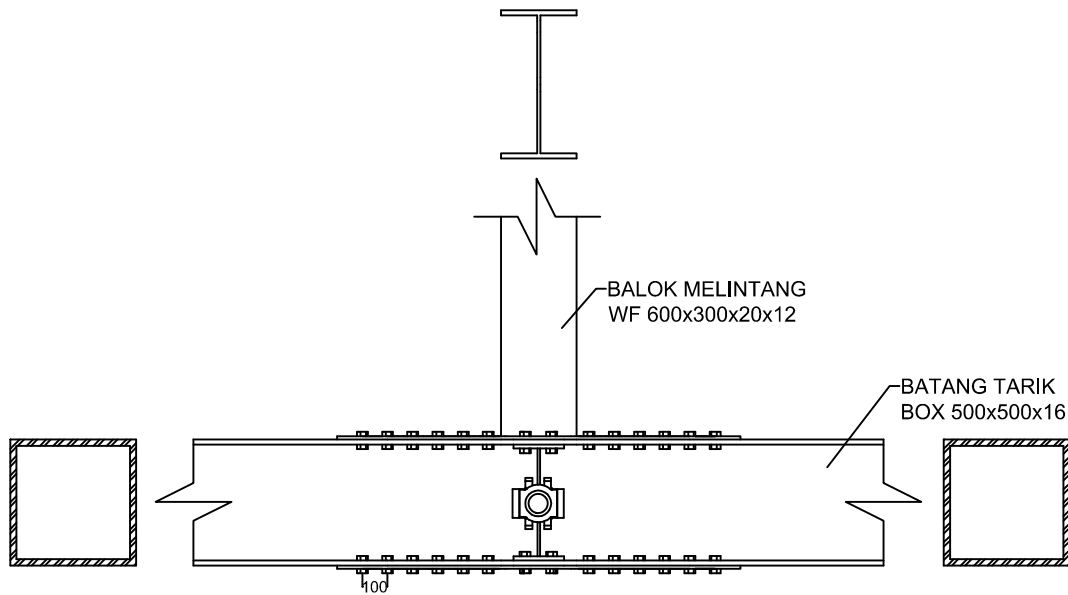
1 : 30

NO. GAMBAR

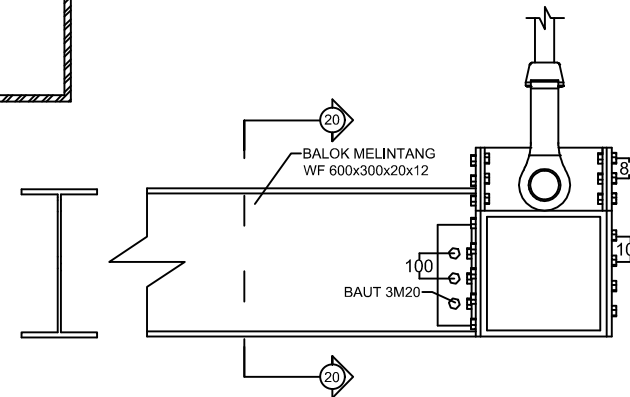
25

JML. GAMBAR

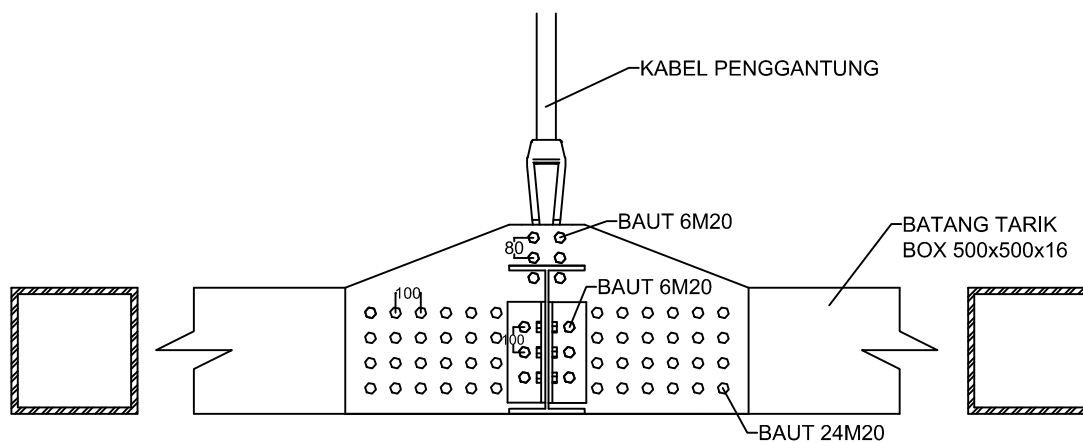
33



POTONGAN 19-19



POTONGAN 18-18



POTONGAN 20-20



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

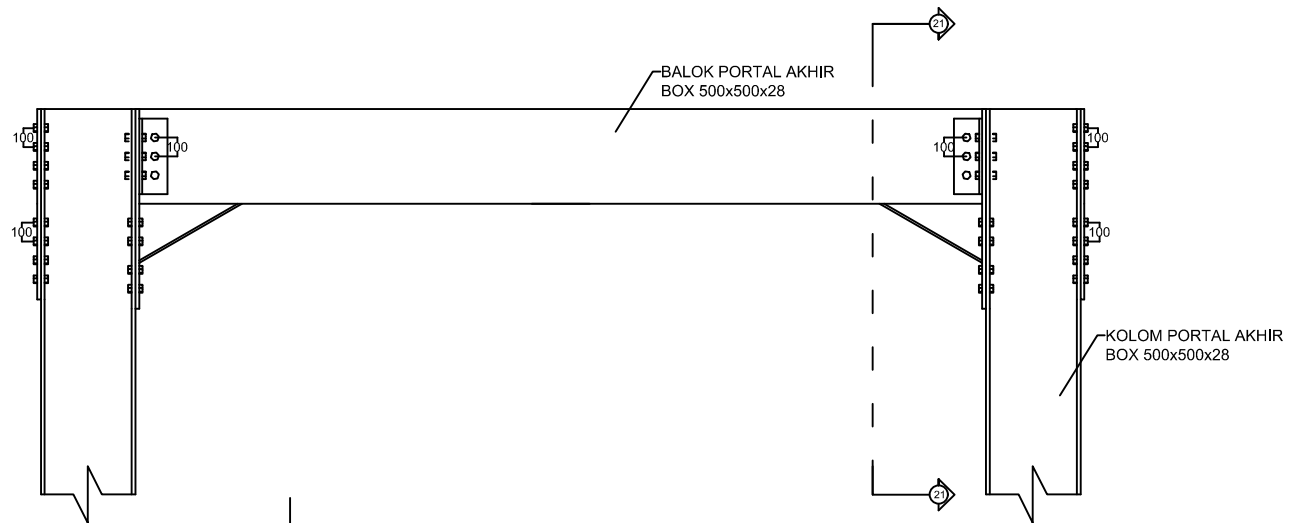
MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

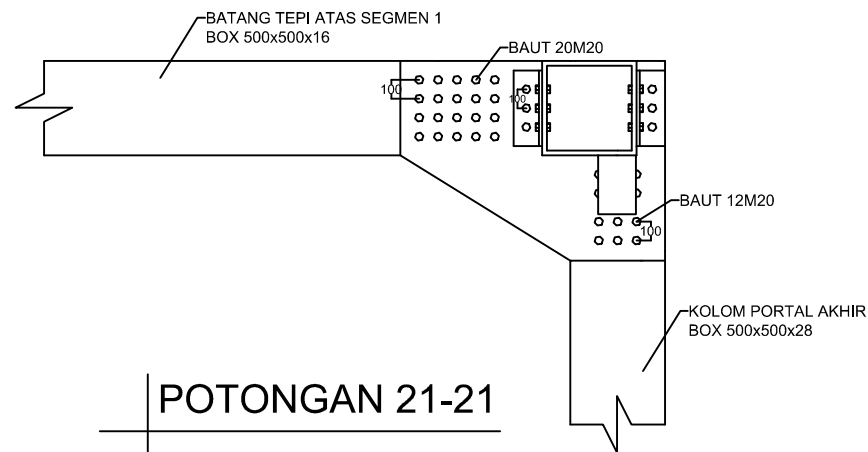
DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN



SAMBUNGAN PORTAL AKHIR



POTONGAN 21-21

JUDUL GAMBAR

Sambungan Portal Akhir

SKALA

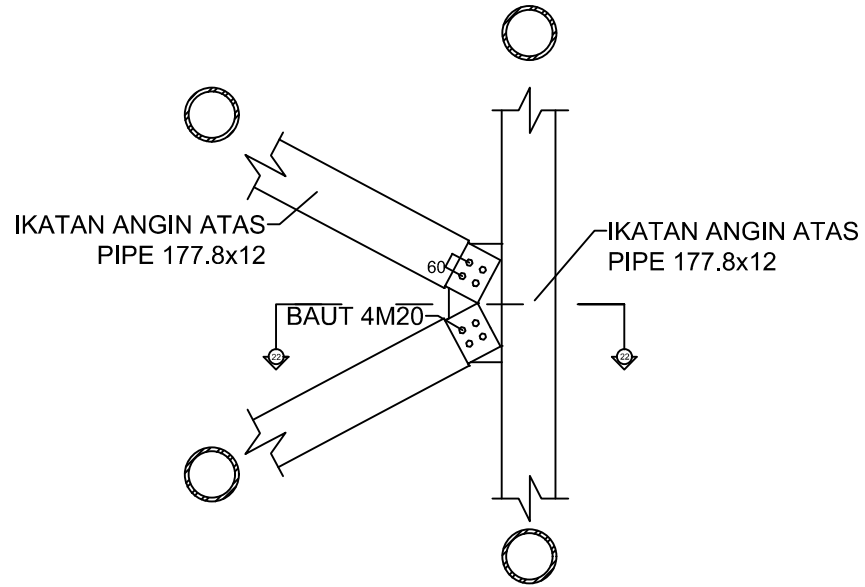
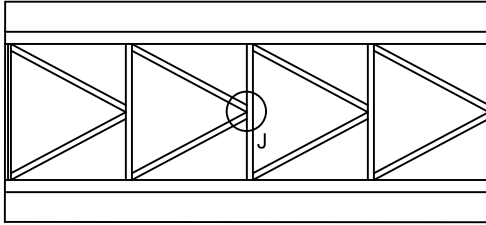
1 : 40

NO. GAMBAR

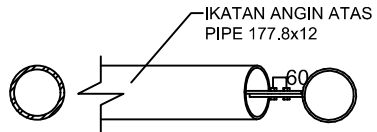
26

JML. GAMBAR

33



SAMBUNGAN J



POTONGAN 22-22



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan Ikatan Angin Atas

SKALA

1 : 25

NO. GAMBAR

27

JML. GAMBAR

33



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan Ikatan Angin
Bawah

SKALA

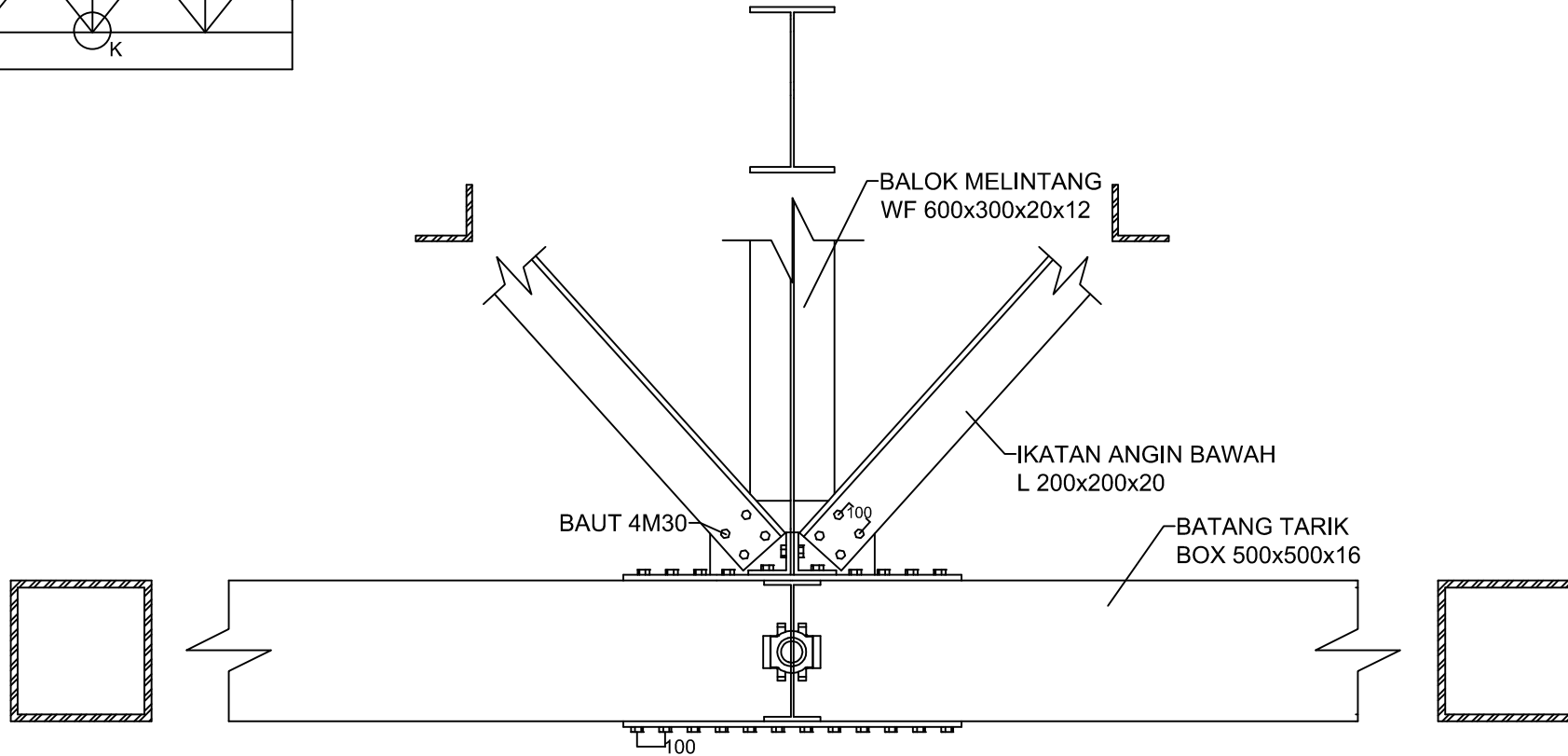
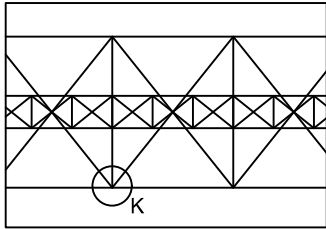
1 : 25

NO. GAMBAR

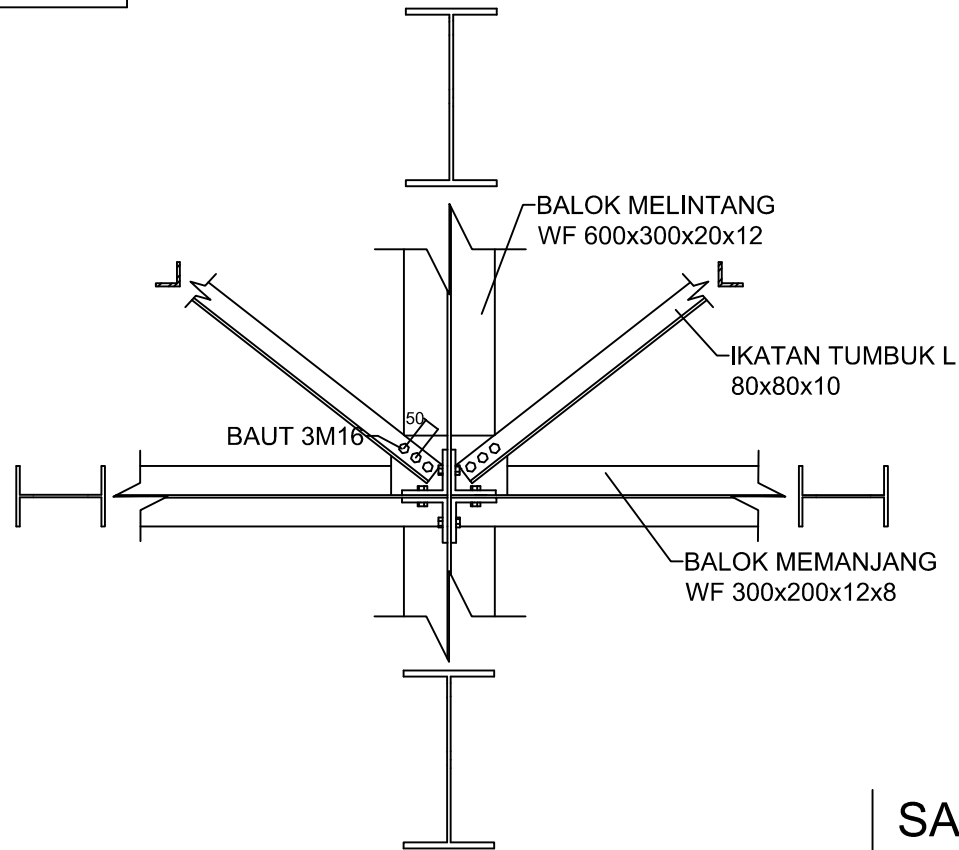
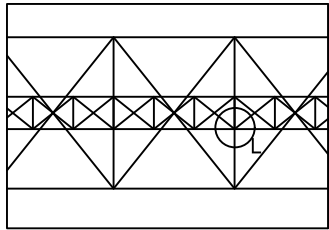
28

JML. GAMBAR

33



SAMBUNGAN K



SAMBUNGAN L



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Sambungan Ikatan Tumbuk

SKALA

1 : 25

NO. GAMBAR

JML. GAMBAR

29

33



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

ABUTMENT JEMBATAN

SKALA

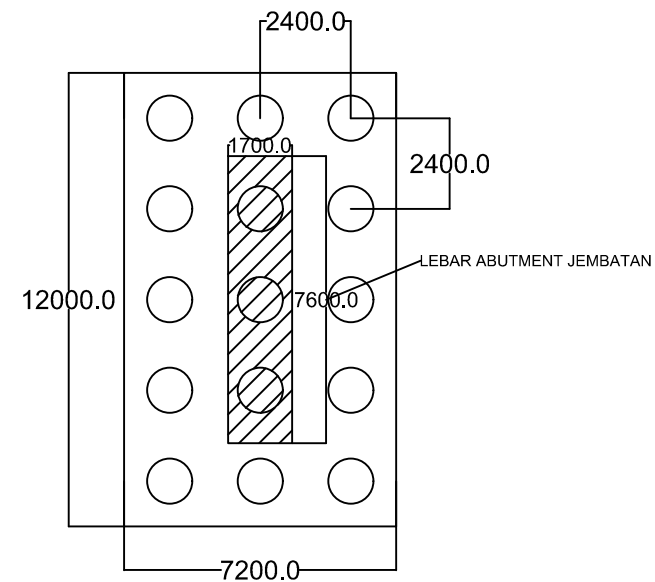
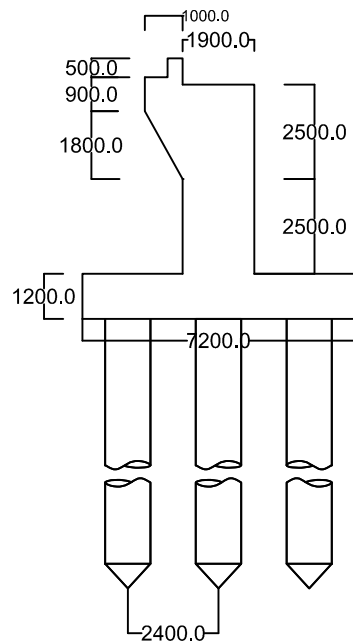
1 : 200

NO. GAMBAR

30

JML. GAMBAR

33





Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Penulangan Abutment

SKALA

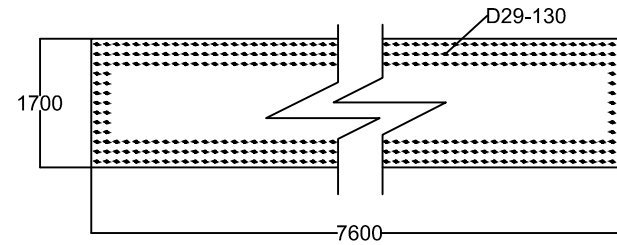
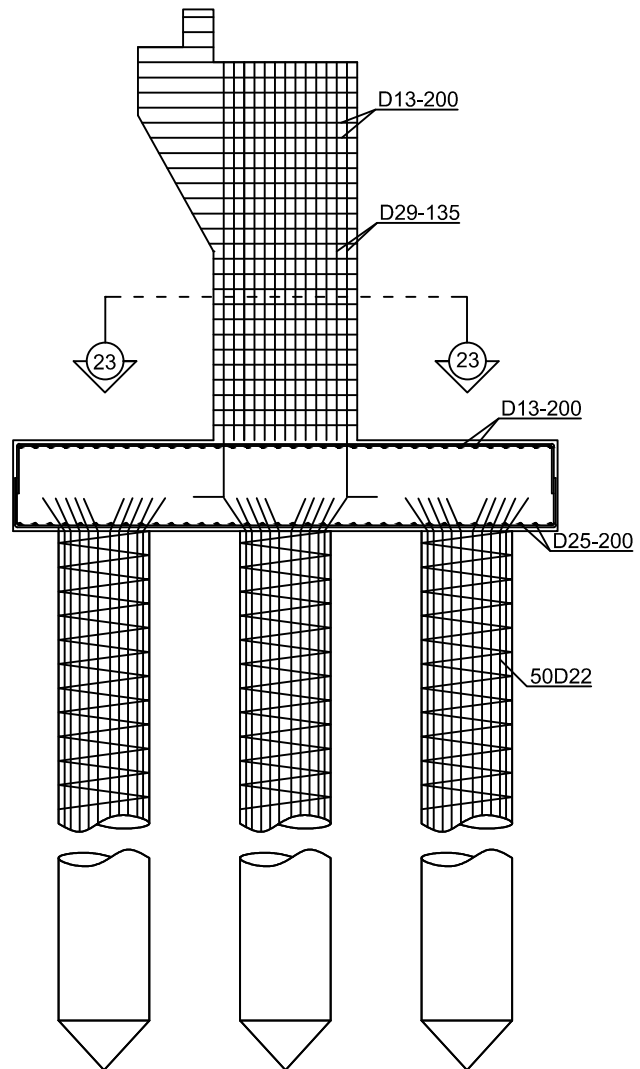
1 : 100

NO. GAMBAR

31

JML. GAMBAR

33



POTONGAN 23-23



Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

PILAR JEMBATAN

SKALA

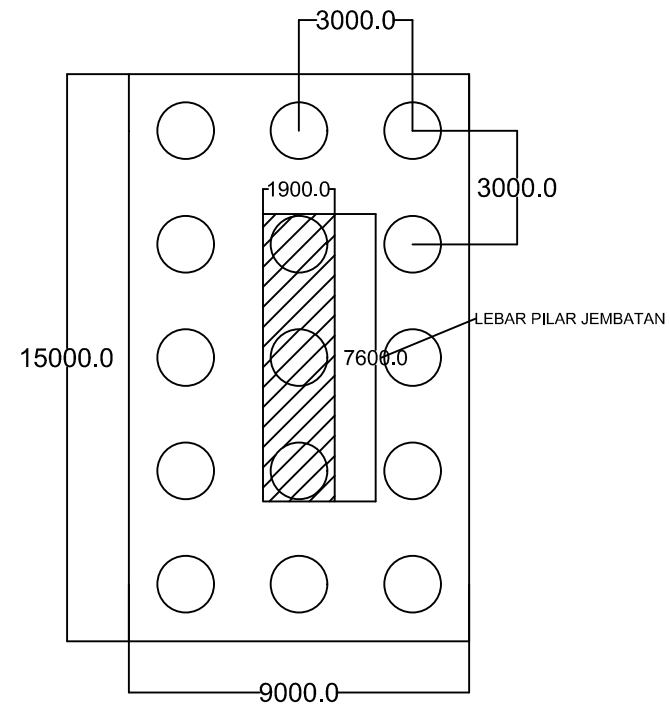
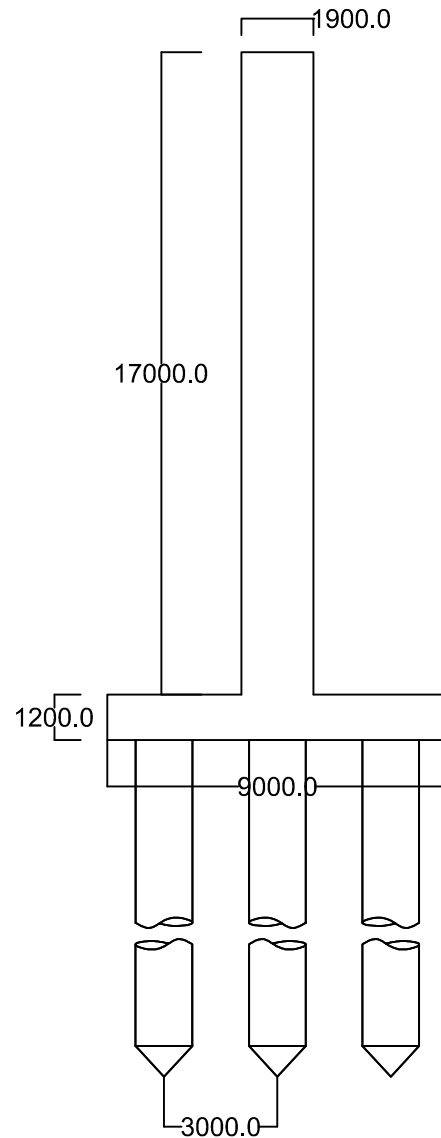
1 : 200

NO. GAMBAR

32

JML. GAMBAR

33





Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Kereta Api Lahor Dengan
Menggunakan Konstruksi Busur
Rangka Baja

MAHASISWA

Herlangga Adhi Kurnia
3 1 13 100 049

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Djoko Irawan, MS

KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

Penulangan Pilar

SKALA

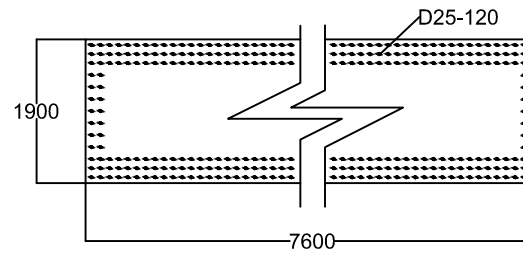
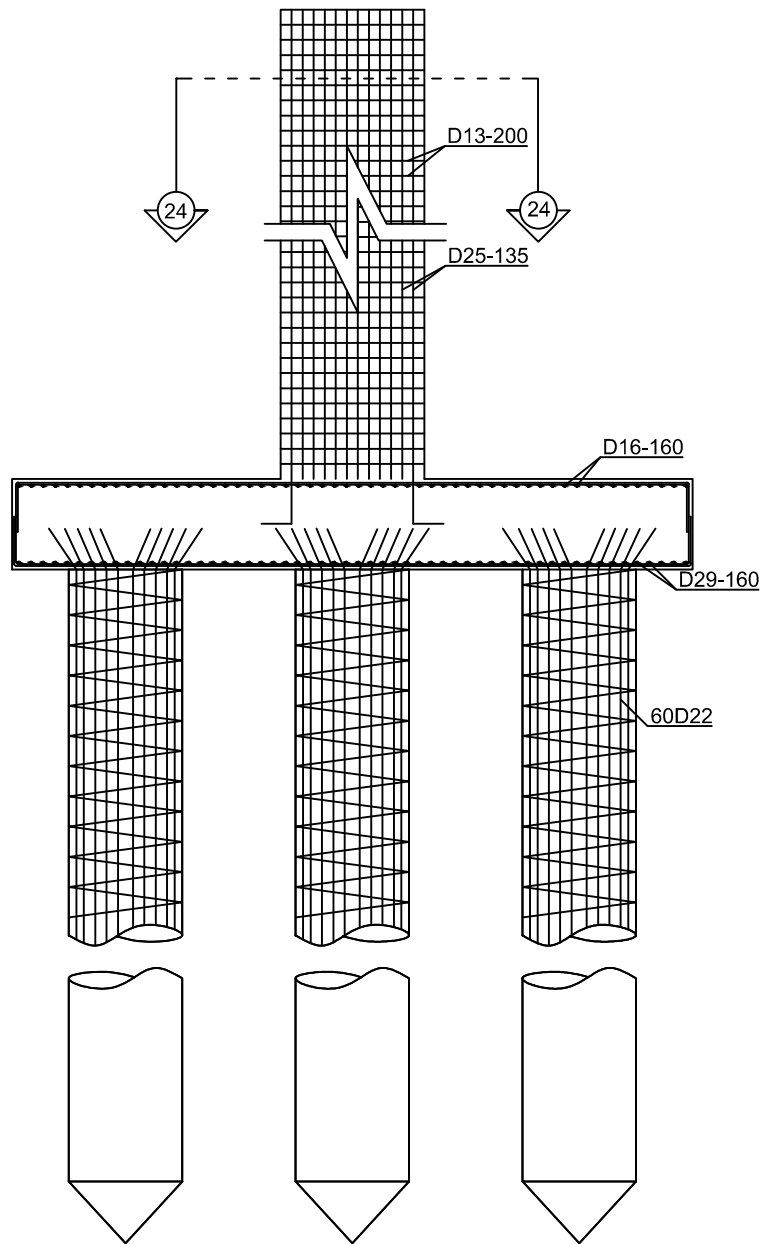
1 : 100

NO. GAMBAR

33

JML. GAMBAR

33



POTONGAN 24-24

BIOGRAFI PENULIS



Penulis Bernama Herlangga Adhi Kurnia, yang dilahirkan di Kota Blitar pada tanggal 8 Juli 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan dari Ir. Hadi Susanto, MM dan Ir. Endang Sulistyanyingsih.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kartika II Bandar Lampung yang lulus pada tahun 2001, SD Kartika II-5 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2007, kemudian melanjutkan ke SMPN 2 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2010, serta SMAN 2 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2013. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya dan terdaftar dengan NRP 3113 100 049.

Di Departemen Teknik Sipil ITS penulis merupakan mahasiswa program Sarjana (S1) dengan fokus bidang studi struktur.

Herlangga Adhi Kurnia (Mr.)

Civil Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya

herlangga.ak@gmail.com

(+62) 82131432693