



TUGAS AKHIR – RC14 - 1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SIPAIT
PEKALONGAN DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA**

DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR
NRP. 0311144000011

Dosen Pembimbing I
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – RC14 - 1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SIPAIT
PEKALONGAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM
JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA**

DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR
NRP. 0311144000011

Dosen Pembimbing I
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – RC14 - 1501

**DESIGN MODIFICATION OF SIPAIT BRIDGE IN
PEKALONGAN USING STEEL ARCH BRIDGE
SYSTEM**

DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR
NRP. 0311144000011

Academic Supervisor I
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental, and Geo
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SIPAIT
PEKALONGAN DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR

Nrp. 0311144000011

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)



**SURABAYA
JUNI, 2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SIPAIT PEKALONGAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA

Nama Mahasiswa : Daryl Julian Muhammad Akbar
NRP : 0311144000011
Departemen : Teknik Sipil FTSLK – ITS
Dosen Pembimbing : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstrak

Jembatan Sipait terletak pada Ruas Jalan Pekalongan - Pemalang (KM.Pekalongan 10+300). Jembatan Sipait merupakan jembatan beton pratekan yang terbagi menjadi 3 bentang dengan panjang bentang masing - masing 25,6 meter, 40,8 meter, dan 25,6 meter. Struktur atas Jembatan Sipait ditopang oleh 2 abutment pada bagian tepi sungai dan 2 pilar pada bagian badan sungai.

Dalam perencanaan ini, Jembatan Sipait dimodifikasi menjadi jembatan busur rangka baja dengan tipe Through Arch untuk menghilangkan 2 pilar yang ada pada badan sungai. Jembatan didesain dengan bentang 92 m, tinggi busur 18 m, tinggi tampang 3,5 m, dan lebar 9,5 m.

Perhitungan yang dilakukan dalam perencanaan menggunakan peraturan SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, SNI 2847:2013, RSNI T-03-2005, RSNI T-12-2004 dan peraturan lain yang berkaitan dengan perencanaan jembatan baja. Program bantu yang digunakan adalah SAP2000 untuk analisa struktur dan AutoCAD untuk gambar perencanaan.

Dari hasil perhitungan didapatkan tebal pelat lantai 20 cm, dimensi profil ikatan angin terbesar CHS 219,1x6,8, dimensi profil rangka utama terbesar Box 400x400x25, dimensi kolom dan balok portal akhir Box 500x500x25, diameter kabel penggantung 60mm, perletakan tipe POT bearing. Pondasi berupa tiang pancang sebanyak 30 buah sedalam 28 meter pada tiap abutment.

Kata kunci: Jembatan Busur Rangka Baja, Through Arch, Pot Bearing, Sipait

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN MODIFICATION OF SIPAIT BRIDGE IN PEKALONGAN USING STEEL ARCH BRIDGE SYSTEM

Student Name : Daryl Julian Muhammad Akbar
NRP : 0311144000011
Department : Teknik Sipil FTSLK – ITS
Academic Supervisor : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstract

Sipait Bridge is located on Pekalongan - Pemalang Road (KM.Pekalongan 10 + 300). Sipait Bridge is a prestressed concrete bridge divided into 3 spans with a span length of 25.6 meters, 40.8 meters and 25.6 meters respectively. The structure of the Sipait Bridge is supported by 2 abutments on the banks of the river and 2 pillars on the river body.

In this planning, the Sipait Bridge is modified into a steel arch bridge with the Through Arch type to remove 2 pillars on the river body. The bridge is designed with a span of 92 m, an arc height of 18 m, a 3.5 m tall height, and a width of 9.5 m.

The calculations made in the planning refers to regulations of SNI 1725: 2016, SNI 2833: 2016, SNI 2847: 2013, RSNI T-03-2005, RSNI T-12-2004 and other regulations relating to steel bridge planning. The auxiliary program used is SAP2000 for structural analysis and AutoCAD for image planning.

From the analysis, the obtained results are the thickness of floor plate is 20 cm , CHS 219, 1x6,8 as the biggest wind profile dimension, main frame profile dimension of Box 400x400x25, Box 500x500x25 as column and final portal beam dimension , 60 mm diameter of hanging cable, POT bearing type of bearings. The foundation is a pile of 30 pieces as deep as 28 meters on each abutment.

Key Words: *Steel Arch Bridge, Through Arch, Pot Bearing, Sipait*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Modifikasi Perencanaan Jembatan Sipait Pekalongan dengan Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja** dengan baik dan tepat waktu.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis tidak mengerjakan sendirian. Atas seluruh dukungan dan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, maka penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Orang tua yang selalu memberikan dukungan penuh dan tidak pernah lelah dalam memberi nasihat kepada penulis.
2. Ibu Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. sebagai dosen konsultasi yang telah memberi masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T. selaku dosen wali yang selalu memerikan motivasi selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil ITS.
4. Seluruh dosen dan Teknik Sipil ITS yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
5. Seluruh teman-teman ITS khususnya jurusan Teknik Sipil ITS.

Dengan segenap kerendahan hati, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran dari pembaca demi kebaikan untuk ke depannya. Semoga Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat baik bagi penulis maupun bagi para pembaca.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL (English)	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRAK (<i>English</i>).....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I: PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	4
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Pengertian Jembatan.....	5
2.2.1. Jenis-Jenis Jembatan	5
2.3. Jembatan Busur.....	6
2.3.1. Jenis-Jenis Jembatan Busur	6
2.3.2. Pertimbangan Pemilihan Konstruksi dan Bentuk Busur.....	9
2.4. Sambungan	10
2.4.1. Sambungan Baut.....	10
2.4.2. Sambungan Las.....	11
2.4.2.1. Las Tumpul.....	11
2.4.2.2. Las Sudut.....	11
2.5. <i>Abutment</i>	13
2.5.1. <i>Abutment</i> Tipe Gravitasi.....	13
2.5.2. <i>Abutment</i> Tipe T Terbalik	14
2.5.1. <i>Abutment</i> Tipe dengan Penopang.....	14
2.6. Perletakan	15

2.6.1. <i>Fixed Pot Bearing</i>	16
2.6.2. <i>Guided Pot Bearing</i>	16
2.6.3. <i>Free Pot Bearing</i>	17
2.7. Pondasi	17
BAB III: METODOLOGI	19
3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	19
3.2. Pengumpulan Data	20
3.3. Studi Literatur	21
3.4. <i>Preliminary Design</i> Jembatan Busur.....	22
3.4.1. Material yang Digunakan	22
3.4.2. Tebal Pelat Lantai Kendaraan.....	22
3.4.3. Dimensi Rangka Busur.....	22
3.5. Pembebanan Jembatan.....	25
3.5.1. Beban Permanen	25
3.5.1.1. Berat Jenis Material	25
3.5.1.1. Faktor Akibat Berat Sendiri (MS).....	25
3.5.1.2. Faktor Akibat Beban Mati Tambahan (MA)	25
3.5.2. Beban Lalu Lintas	27
3.5.2.1. Beban Lajur “D” (TD).....	27
3.5.2.2. Beban Truk “T” (TT)	28
3.5.2.3. Faktor Beban Dinamis.....	29
3.5.3. Gaya Rem	30
3.5.4. Beban Pejalan Kaki (TP).....	30
3.5.5. Beban Angin.....	30
3.5.5.1. Tekanan Angin Horizontal	31
3.5.5.2. Beban Angin pada Struktur (EW _s).....	32
3.5.5.3. Beban Angin dari Kendaraan (EW _i)	32
3.5.6. Pengaruh Gempa.....	33
3.6. Permodelan dan Analisa Struktur Utama Jembatan Busur Menggunakan Progam SAP2000.....	33
3.7. Kontrol Material Struktur Utama	33
3.7.1. Kontrol Kapasitas Tekan	33
3.7.2. Kontrol Kapasitas Tarik	34
3.7.3. Kontrol Kapasitas Lentur	34
3.7.4. Kontrol Kapasitas Geser.....	35

3.8.	Perencanaan Sambungan	36
3.8.1.	Jarak Pemasangan Baut	36
3.8.2.	Kuat Rencana Sambungan Baut.....	37
3.8.2.1.	Kekuatan Baut Memikul Gaya Geser.....	37
3.8.2.2.	Kekuatan Baut Memikul Gaya Tarik	38
3.8.2.3.	Baut pada Sambungan Tipe Tumpu yang Memikul Kombinasi Geser dan Tarik	38
3.8.3.	Perencanaan Perletakan	39
3.9.	Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Jembatan ...	39
3.9.1.	Kapasitas Daya Dukung <i>Driven Pile</i>	39
3.9.2.	Efisiensi Tiang Grup (<i>Confere-Labare</i>).....	41
3.9.3.	Perencanaan Poer	42
3.10.	Penggambaran Hasil Perencanaan.....	43
3.11.	Jadwal Kegiatan	44
BAB IV: PERENCANAAN STRUKTUR ATAS.....		45
4.1.	Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan	45
4.1.1.	<i>Preliminary Design</i> Pelat Lantai Kendaraan	45
4.1.2.	Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan.....	45
4.1.3.	Perhitungan Momen Arah Melintang.....	47
4.1.4.	Perhitungan Penulangan Lentur Lantai Kendaraan..	48
4.1.5.	Kontrol Penulangan Geser (<i>Pons</i>) Pelat Lantai Kendaraan	50
4.2.	Perencanaan Gelagar Memanjang	51
4.2.1.	Perencanaan Gelagar Memanjang dengan $\lambda = 5,5m$	51
4.2.1.1.	Pembebanan Gelagar Memanjang	51
4.2.1.2.	Perhitungan Momen Gelagar Memanjang.....	52
4.2.1.3.	Perhitungan Gaya Geser Gelagar Memanjang..	53
4.2.1.4.	Kontrol Profil Gelagar Memanjang	54
4.2.2.	Perencanaan Gelagar Memanjang dengan $\lambda = 5m$...	58
4.2.2.1.	Pembebanan Gelagar Memanjang	58
4.2.2.2.	Perhitungan Momen Gelagar Memanjang.....	59
4.2.2.3.	Perhitungan Gaya Geser Gelagar Memanjang..	60
4.2.2.4.	Kontrol Profil Gelagar Memanjang	60
4.3.	Perencanaan Gelagar Melintang	64
4.3.1.	Perencanaan Gelagar Melintang dengan $\lambda = 5,5 m$..	65

4.3.1.1.	Pembebanan Gelagar Melintang	65
4.3.1.2.	Perhitungan Momen Gelagar Melintang	68
4.3.1.3.	Perhitungan Gaya Geser Gelagar Melintang	69
4.3.1.4.	Kontrol Profil Gelagar Melintang	71
4.3.2.	Perencanaan Gelagar Melintang dengan $\lambda = 5$ m.....	75
4.3.2.1.	Pembebanan Gelagar Melintang	75
4.3.2.2.	Perhitungan Momen Gelagar Melintang	78
4.3.2.3.	Perhitungan Gaya Geser Gelagar Melintang	79
4.3.2.4.	Kontrol Profil Gelagar Melintang	81
4.4.	Perencanaan Ikatan Angin	85
4.4.1.	Perhitungan Gaya Angin yang Bekerja	85
4.4.2.	Perencanaan Profil Ikatan Angin	91
4.4.2.1.	Ikatan Angin Lantai Kendaraan	92
4.4.2.2.	Ikatan Angin Rangka Bagian Atas	94
4.4.2.3.	Ikatan Angin Rangka Bagian Bawah	96
4.4.2.4.	Ikatan Angin Rangka Silang	98
4.4.2.5.	Ikatan Angin Horizontal	100
4.5.	Perencanaan Rangka Utama	101
4.5.1.	Permodelan Struktur Jembatan Busur	101
4.5.2.	Pembebanan Beban Mati	104
4.5.3.	Pembebanan Beban Temperatur	105
4.5.4.	Pembebanan Beban Hidup	106
4.5.4.1.	Analisa Garis Pengaruh Batang 30	108
4.5.4.2.	Analisa Garis Pengaruh Batang 47	109
4.5.4.3.	Analisa Garis Pengaruh Batang 65	110
4.5.4.4.	Analisa Garis Pengaruh Batang 7	111
4.5.4.5.	Analisa Garis Pengaruh Batang 27	112
4.5.4.6.	Analisa Garis Pengaruh Batang 43	113
4.5.4.7.	Analisa Garis Pengaruh Batang 62	114
4.5.4.8.	Analisa Garis Pengaruh Batang 4	115
4.5.4.9.	Analisa Garis Pengaruh Batang 22	116
4.5.4.10.	Analisa Garis Pengaruh Batang 40	117
4.5.4.11.	Analisa Garis Pengaruh Batang 41	118
4.5.4.12.	Analisa Garis Pengaruh Batang 59	119
4.5.4.13.	Analisa Garis Pengaruh Batang 1	120

4.5.4.14. Analisa Garis Pengaruh Batang 2	121
4.5.4.15. Analisa Garis Pengaruh Batang 85	122
4.5.5. Kombinasi Pembebanan	123
4.5.6. Perencanaan Profil Rangka Utama.....	124
4.5.6.1. Kontrol Batang 30.....	124
4.5.6.2. Kontrol Batang 47.....	126
4.5.6.3. Kontrol Batang 65.....	127
4.5.6.4. Kontrol Batang 7.....	129
4.5.6.5. Kontrol Batang 27.....	131
4.5.6.6. Kontrol Batang 43.....	132
4.5.6.7. Kontrol Batang 62.....	134
4.5.6.8. Kontrol Batang 4.....	135
4.5.6.9. Kontrol Batang 22.....	137
4.5.6.10. Kontrol Batang 40.....	139
4.5.6.11. Kontrol Batang 41.....	140
4.5.6.12. Kontrol Batang 59.....	142
4.5.6.13. Kontrol Batang 1.....	143
4.5.6.14. Kontrol Batang 2.....	145
4.6. Perencanaan Portal Akhir	147
4.6.1. Perencanaan Balok Portal Akhir	147
4.6.2. Perencanaan Kolom Portal Akhir (Batang 2)	150
4.6.3. Perencanaan Kolom Portal Akhir (Batang 40)	155
4.7. Perencanaan Kabel Penggantung	159
4.7.1. Kasus 1 (Seluruh Kabel Bekerja).....	160
4.7.2. Kasus 2 (Kabel 239 Putus)	162
4.7.3. Kasus 3 (Kabel 238 Putus)	163
4.7.4. Kasus 4 (Kabel 231 Putus)	165
4.7.5. Kasus 5 (Kabel 232 Putus)	166
4.7.6. Penentuan Jenis Kabel.....	168
4.8. Analisa Lendutan Jembatan	168
4.9. Perencanaan Sambungan	169
4.9.1. Sambungan Balok Memanjang dan Melintang.....	170
4.9.2. Sambungan Ikatan Angin Rangka Atas, Bawah, Silang, dan Lantai Kendaraan.	172
4.9.3. Sambungan Ikatan Angin Horizontal.....	175

4.9.4. Sambungan Gelagar Melintang ke Rangka Utama	176
4.9.5. Sambungan Kabel Penggantung	178
4.9.6. Sambungan Rangka Utama	179
4.9.7. Sambungan Portal Akhir	186
4.9.7.1. Kelompok Baut Pembebanan Sebidang	186
4.9.7.2. Kelompok Baut Pembebanan Tak Sebidang ..	188
4.10. Perencanaan Perletakan	189
4.10.1. Pembebanan Horizontal Perletakan	189
4.10.2. Pembebanan Vertikal Perletakan	197
4.10.3. Pemilihan Perletakan.....	197
BAB V: PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH.....	199
5.1. Analisa Data Tanah	199
5.2. Perhitungan Daya Dukung Tanah	199
5.3. <i>Preliminary Design Abutment</i>	208
5.4. Pembebanan Struktur Bawah.....	208
5.4.1. Beban dari Struktur Atas	208
5.4.2. Beban Akibat Berat Sendiri dan Tanah Timbunan	209
5.4.3. Beban Rem	210
5.4.4. Beban Akibat Tekanan Tanah Aktif dan Lalu Lintas	210
5.4.5. Beban Akibat Gempa	211
5.5. Perencanaan Tiang Pancang	213
5.5.1. Kombinasi Pembebanan Tiang Grup	213
5.5.2. Analisa Pembebanan Tiang Kelompok	216
5.5.3. Daya Dukung Tiang Dalam Grup	219
5.5.4. Kontrol Tiang Pancang.....	220
5.6. Penulangan <i>Abutment</i> Jembatan.....	224
5.6.1. Penulangan Dinding <i>Abutment</i>	224
5.6.1.1. Penulangan Longitudinal Dinding <i>Abutment</i> ..	224
5.6.1.2. Penulangan Geser Dinding <i>Abutment</i>	225
5.6.2. Penulangan <i>Pile Cap</i> Jembatan.....	226
BAB VI: KESIMPULAN.....	229
6.1. Kesimpulan	229
DAFTAR PUSTAKA	231
LAMPIRAN	233

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Atas	7
Gambar 2.2 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Tengah	7
Gambar 2.3 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Bawah	7
Gambar 2.4 Las Tumpul	11
Gambar 2.5 Las Sudut	12
Gambar 2.6 Ukuran Las Sudut	12
Gambar 2.7 Ukuran Las Sudut Sela Akar	12
Gambar 2.8 <i>Abutment</i> Tipe Gravitasi	14
Gambar 2.9 <i>Abutment</i> Tipe T Terbalik	15
Gambar 2.10 <i>Abutment</i> Tipe dengan Penopang	15
Gambar 2.11 <i>Fixed Pot Bearing</i>	16
Gambar 2.12 <i>Guided Pot Bearing</i>	17
Gambar 2.13 <i>Free Pot Bearing</i>	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	20
Gambar 3.2 Jembatan Eksisting	21
Gambar 3.3 Jembatan Modifikasi	21
Gambar 3.4 Geometri Busur	23
Gambar 3.5 Sketsa Pembebanan BGT dan BTR	28
Gambar 3.6 Pembebanan truk “T” (500 kN)	29
Gambar 3.7 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”	30
Gambar 3.8 Tata Letak Baut	36
Gambar 3.9 Konfigurasi Perletakan <i>Pot Bearing</i>	39
Gambar 4.1 Sketsa Pelat Lantai Kendaraan	45
Gambar 4.2 Sketsa Geser <i>Pons</i> Pelat Lantai Kendaraan	50
Gambar 4.3 Sketsa Beban Mati Sebelum Komposit	65
Gambar 4.4 Sketsa Beban Mati Setelah Komposit	66
Gambar 4.5 Sketsa Beban Lajur “D” dan Pejalan Kaki	67
Gambar 4.6 Sketsa Beban Truk dan Pejalan Kaki	68
Gambar 4.7 Permodelan Beban Terbagi Rata	72
Gambar 4.8 Permodelan Beban Truk	72
Gambar 4.9 Lendutan Akibat Beban BTR	72
Gambar 4.10 Lendutan Akibat Beban Truk	72

Gambar 4.11 Sketsa Beban Mati Sebelum Komposit.....	75
Gambar 4.12 Sketsa Beban Mati Setelah Komposit	75
Gambar 4.13 Sketsa Beban Lajur “D” dan Pejalan Kaki	77
Gambar 4.14 Sketsa Beban Truk dan Pejalan Kaki	77
Gambar 4.15 Permodelan Beban Terbagi Rata.....	82
Gambar 4.16 Permodelan Beban Truk.....	82
Gambar 4.17 Lendutan Akibat BTR.....	82
Gambar 4.18 Lendutan Akibat Beban Truk	82
Gambar 4.19 Penamaan Titik Buhul.....	85
Gambar 4.20 Titik B10 pada Rangka Jembatan	88
Gambar 4.21 Permodelan SAP2000 3D.....	91
Gambar 4.22 Gaya Axial Tekan Ikatan Angin Lantai Kendaraan	92
Gambar 4.23 Gaya Axial Tarik Ikatan Angin Lantai Kendaraan	93
Gambar 4.24 Gaya Axial Tekan Ikatan Angin Rangka Atas.....	94
Gambar 4.25 Gaya Axial Tarik Ikatan Angin Rangka Atas	95
Gambar 4.26 Gaya Axial Tekan Ikatan Angin Rangka Bawah ..	96
Gambar 4.27 Gaya Axial Tarik Ikatan Angin Rangka Bawah ...	97
Gambar 4.28 Gaya Axial Tekan Ikatan Angin Rangka Silang ...	98
Gambar 4.29 Gaya Axial Tarik Ikatan Angin Rangka Silang ...	99
Gambar 4.30 Gaya Axial Ikatan Angin Horizontal	100
Gambar 4.31 Permodelan SAP2000	103
Gambar 4.32 Pembagian Segmen Jembatan.....	103
Gambar 4.33 Penamaan Batang pada SAP2000	103
Gambar 4.34 Sketsa pembebanan BGT dan BTR.....	107
Gambar 4.35 Diagram Garis Pengaruh Batang 30.....	108
Gambar 4.36 Diagram Garis Pengaruh Batang 47.....	109
Gambar 4.37 Diagram Garis Pengaruh Batang 65.....	110
Gambar 4.38 Diagram Garis Pengaruh Batang 7.....	111
Gambar 4.39 Diagram Garis Pengaruh Batang 27.....	112
Gambar 4.40 Diagram Garis Pengaruh Batang 43.....	113
Gambar 4.41 Diagram Garis Pengaruh Batang 62.....	114
Gambar 4.42 Diagram Garis Pengaruh Batang 4.....	115
Gambar 4.43 Diagram Garis Pengaruh Batang 22.....	116
Gambar 4.44 Diagram Garis Pengaruh Batang 40.....	117

Gambar 4.45 Diagram Garis Pengaruh Batang 41.....	118
Gambar 4.46 Diagram Garis Pengaruh Batang 59.....	119
Gambar 4.47 Diagram Garis Pengaruh Batang 1.....	120
Gambar 4.48 Diagram Garis Pengaruh Batang 2.....	121
Gambar 4.49 Diagram Garis Pengaruh Batang 85.....	122
Gambar 4.50 Sketsa Profil <i>Square Hollow</i>	124
Gambar 4.51 Gaya Dalam Balok Portal Akhir.....	147
Gambar 4.52 Lendutan pada Balok Portal Akhir.....	150
Gambar 4.53 Gaya Dalam pada Kolom Portal Akhir.....	151
Gambar 4.54 Momen Sumbu Y Kolom Portal Akhir.....	152
Gambar 4.55 Momen Sumbu X Kolom Portal Akhir.....	153
Gambar 4.56 Gaya Dalam Pada Kolom Portal Akhir.....	155
Gambar 4.57 Momen Sumbu Y Kolom Portal Akhir.....	157
Gambar 4.58 Momen Sumbu X Kolom Portal Akhir.....	157
Gambar 4.59 Sketsa Penomoran Kabel Penggantung.....	159
Gambar 4.60 Diagram Garis Pengaruh Kabel 239.....	160
Gambar 4.61 Diagram Garis Pengaruh Kabel 231.....	160
Gambar 4.62 Diagram Garis Pengaruh Kabel 238 (Kasus 2)...	162
Gambar 4.63 Diagram Garis Pengaruh Kabel 239 (Kasus 3)...	164
Gambar 4.64 Diagram Garis Pengaruh Kabel 232 (Kasus 4)...	165
Gambar 4.65 Diagram Garis Pengaruh Kabel 231 (Kasus 5)...	166
Gambar 4.66 <i>Tension Rod</i> Macalloy.....	168
Gambar 4.67 <i>Fork</i> dari Perusahaan Macalloy.....	178
Gambar 4.68 Penamaan Titik Kontrol Sambungan.....	179
Gambar 4.69 Konfigurasi Baut Pembebanan Sebidang.....	186
Gambar 4.70 Jarak Antar Baut Pembebanan Sebidang.....	187
Gambar 4.71 Konfigurasi Baut Pembebanan Tak Sebidang....	188
Gambar 4.72 Sketsa Tata Letak Perletakan.....	190
Gambar 4.73 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar.....	192
Gambar 4.74 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar (S_0).....	192
Gambar 4.75 Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 Detik di Batuan Dasar (S_1).....	193
Gambar 4.76 Grafik Respon Spektra.....	195
Gambar 4.77 <i>Pot Bearing</i> Penerima Gaya Horizontal Arah Y.	196

Gambar 4.78 <i>Pot Bearing</i> Penerima Gaya Horizontal Arah X.	197
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Kedalaman dengan Daya Dukung	207
Gambar 5.2 <i>Preliminary Design Abutment</i>	208
Gambar 5.3 Sketsa Beban Sendiri <i>Abutment</i> dan Tanah Timbunan	209
Gambar 5.4 Sketsa Pembebanan Tanah Aktif dan Lalu Lintas	210
Gambar 5.5 Arah Momen Positif dan Negatif.....	213
Gambar 5.6 Konfigurasi Letak Tiang Pancang	217
Gambar 5.7 Grafik Korelasi C_u dan NSPT	221
Gambar 5.8 Grafik Korelasi f dan Q_u	222
Gambar 5.9 Grafik antara L/T dengan F_δ dan F_M	223
Gambar 5.10 Sketsa Jarak Tiang Pancang pada <i>Pile Cap</i>	226

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Panjang Penggantung.....	24
Tabel 3.2 Berat Isi untuk Beban Mati	25
Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	26
Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	27
Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”	28
Tabel 3.6 Faktor Beban untuk Beban “T”	28
Tabel 3.7 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	32
Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar	32
Tabel 3.9 <i>Base Coefficient a Decourt Et All (1996)</i>	41
Tabel 3.10 <i>Base Coefficient β Decourt Et All (1996)</i>	41
Tabel 4.1 Z Aktual dan Z Pakai.....	86
Tabel 4.2 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu	87
Tabel 4.3 Tekanan Angin Dasar	87
Tabel 4.4 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan	89
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan V_{DZ} dan P_D	90
Tabel 4.6 Properti Profil Ikatan Angin Lantai Kendaraan.....	92
Tabel 4.7 Properti Profil Ikatan Angin Rangka Bagian Atas	94
Tabel 4.8 Properti Profil Ikatan Angin Rangka Bagian Bawah..	96
Tabel 4.9 Properti Profil Ikatan Angin Rangka Silang	98
Tabel 4.10 Properti Profil Ikatan Angin Horizontal.....	100
Tabel 4.11 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	104
Tabel 4.12 Rekapitulasi Gaya Axial Akibat Beban Mati	104
Tabel 4.13 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal	105
Tabel 4.14 Gaya pada Batang Akibat Pengaruh Temperatur ...	106
Tabel 4.15 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 30	108
Tabel 4.16 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 47	109
Tabel 4.17 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 65	110
Tabel 4.18 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 7	111
Tabel 4.19 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 27	112
Tabel 4.20 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 43	113

Tabel 4.21 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 62	114
Tabel 4.22 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 4	115
Tabel 4.23 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 22	116
Tabel 4.24 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 40	117
Tabel 4.25 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 41	118
Tabel 4.26 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 59	119
Tabel 4.27 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 1	120
Tabel 4.28 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 2	121
Tabel 4.29 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 85	122
Tabel 4.30 Rekapitulasi Total Gaya Aksial pada Batang	123
Tabel 4.31 Properti Profil Batang 30	124
Tabel 4.32 Properti Profil Batang 47	126
Tabel 4.33 Properti Profil Batang 65	128
Tabel 4.34 Properti Profil Batang 7	129
Tabel 4.35 Properti Profil Batang 27	131
Tabel 4.36 Properti Profil Batang 43	132
Tabel 4.37 Properti Profil Batang 62	134
Tabel 4.38 Properti Profil Batang 4	136
Tabel 4.39 Properti Profil Batang 22	137
Tabel 4.40 Properti Profil Batang 40	139
Tabel 4.41 Properti Profil Batang 41	140
Tabel 4.42 Properti Profil Batang 59	142
Tabel 4.43 Properti Profil Batang 1	143
Tabel 4.44 Properti Profil Batang 2	145
Tabel 4.45 Rekapitulasi Kebutuhan Profil Rangka Utama	147
Tabel 4.46 Properti Profil Balok Portal Akhir	148
Tabel 4.47 Properti Profil Kolom Portal Akhir (Batang 2)	150
Tabel 4.48 Properti Profil Kolom Portal Akhir (Batang 40)	155
Tabel 4.49 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 239	160
Tabel 4.50 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 231	161
Tabel 4.51 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 238 (Kasus 2)	163
Tabel 4.52 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 239 (Kasus 3)	164

Tabel 4.53 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 232 (Kasus 4)	165
Tabel 4.54 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 231 (Kasus 5)	167
Tabel 4.55 Properti Material Kabel	168
Tabel 4.56 Kapasitas Kabel	168
Tabel 4.57 Lendutan pada Jembatan	169
Tabel 4.58 Gaya Tarik Baut Minimum	169
Tabel 4.59 Ukuran Minimum Las Sudut	169
Tabel 4.60 Sifat Mekanis Baja Struktural	170
Tabel 4.61 Jumlah Penggunaan Baut Sambungan Ikatan Angin	174
Tabel 4.62 Kontrol Pelat Penyambung Ikatan Angin	174
Tabel 4.63 Kontrol Las Sambungan Ikatan Angin	174
Tabel 4.64 Jumlah Baut pada Sambungan Rangka Utama	183
Tabel 4.65 Kontrol Pelat Penyambung	184
Tabel 4.66 Beban Mati Total Struktur	190
Tabel 4.67 Reaksi Vertikal pada Perletakan (Ekstrim I)	191
Tabel 4.68 Faktor Amplifikasi untuk Periode 0 detik dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)	193
Tabel 4.69 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik (F_V)	193
Tabel 4.70 Kelas Situs	194
Tabel 4.71 Periode Alami Struktur	194
Tabel 4.72 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Hubungan Antar Elemen Struktur	196
Tabel 4.73 Reaksi Vertikal pada Perletakan (Kuat I)	197
Tabel 4.74 Rekapitulasi Gaya pada Perletakan	198
Tabel 4.75 Tipe <i>Pot Bearing</i> yang Digunakan	198
Tabel 5.1 Data N-SPT Jembatan Sipait	199
Tabel 5.2 Nilai N-SPT Koreksi	200
Tabel 5.3 Daya Dukung Tiang Pancang Diameter 0,5m	201
Tabel 5.4 Daya Dukung Tiang Pancang Diameter 0,6m	203
Tabel 5.5 Daya Dukung Tiang Pancang Diameter 0,8m	205
Tabel 5.6 Rekapitulasi Gaya pada Perletakan 1 dan 2 (kN)	209

Tabel 5.7 Beban Sendiri <i>Abutment</i> dan Tanah Timbunan.....	210
Tabel 5.8 Faktor Modifikasi Respons untuk Bangunan Bawah	212
Tabel 5.9 Kombinasi Kuat I	214
Tabel 5.10 Kombinasi Kuat III.....	214
Tabel 5.11 Kombinasi Kuat V.....	215
Tabel 5.12 Kombinasi Ekstrem I Gempa X	215
Tabel 5.13 Kombinasi Ekstrem I Gempa Y	216
Tabel 5.14 Perhitungan P_v Tiang Pancang.....	218
Tabel 5.15 P_{Izin} Tiang Grup (Diameter 0,8m).....	220
Tabel 5.16 Perhitungan Momen pada <i>Pile Cap</i> Arah X.....	227

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan atau daerah yang terputus karena adanya halangan atau rintangan seperti lembah, alur sungai, danau, saluran, jalan raya yang tidak sebidang dan lain-lain (Struyk & Van Deer Veen, 1995). Salah satu contoh jembatan yang melewati rintangan berupa sungai adalah Jembatan Sipait yang menyeberangi Sungai Sengkarang.

Jembatan Sipait merupakan jembatan beton pratekan dengan panjang total 92 meter yang terdapat pada Ruas Jalan Pekalongan - Pemalang (KM. Pekalongan 10 + 300). Beban hidup yang harus dipikul oleh Jembatan Sipait adalah beban dari kendaraan bermotor 1 lajur 2 arah (2 x 3.5m) dengan tambahan trotoar pada tiap sisi dengan lebar 1 meter. Struktur atas Jembatan Sipait ditopang oleh 2 *abutment* dan 2 pilar dengan jarak antar pilar 40,8 meter dan jarak pilar dengan *abutment* 25,6 meter.

Adanya 2 pilar yang menopang Jembatan Sipait dapat menimbulkan potensi terjadinya masalah berupa gerusan lokal yang terjadi di sekeliling pilar. Gerusan lokal ini terjadi karena adanya gangguan aliran sungai yang disebabkan oleh pilar sehingga terjadi pusaran di bagian hulu pilar. Gerakan dari pusaran akan membawa butiran dasar menjauh dari asalnya dan jika tingkat debit sedimen yang keluar dari gerusan lebih besar dari yang masuk, maka akan terbentuk lubang akibat penggerusan (Syarvina & Terunajaya, 2013). Hilangnya butiran pada dasar sungai dapat mengurangi daya dukung yang dihasilkan oleh pondasi. Pengurangan daya dukung pondasi dapat menyebabkan pilar mengalami penurunan, keretakan, atau rotasi yang membahayakan kestabilan struktur secara keseluruhan.

Kemungkinan terjadinya gerusan lokal dapat dikurangi dengan mengurangi jumlah pilar yang ada pada aliran sungai.

Pemikiran tersebut yang menjadi dasar untuk memunculkan alternatif desain baru untuk Jembatan Sipait. Jembatan Sipait yang awalnya memiliki sistem struktur beton pratekan perlu diubah menjadi sistem struktur yang cocok untuk bentang jembatan yang lebih panjang.

Jembatan busur banyak dipergunakan sebagai jembatan bentang panjang karena bentuk busur pada struktur pemikul utama mampu mengurangi nilai momen lapangan yang terjadi akibat beban luar. Sehingga dengan bentang yang sama, dimensi jembatan busur dapat lebih kecil daripada jembatan girder (Harwiyono, Soegihardjo, & Irawan, 2007).

Pada perencanaan ini Jembatan Sipait direncanakan ulang menggunakan jembatan busur rangka baja dengan bentang 92 meter. Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai pemikul beban utama adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada struktur yang stabil deformasi yang terjadi relatif kecil, dan lentur tidak akan terjadi selama gaya-gaya luar berada pada titik simpul (Dien, 2006). Selain itu, jenis jembatan busur rangka baja juga dipilih karena dapat mengurangi penggunaan pilar-pilar jembatan yang berada di tengah sungai. Pengurangan jumlah pilar dilakukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya gerusan lokal pada pilar jembatan. Jembatan busur rangka baja juga diharapkan mampu memberikan nilai lebih dalam segi estetika dan menjadi *landmark* baru untuk kota Pekalongan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan *preliminary design* penampang elemen struktur Jembatan Sipait?
2. Bagaimana menganalisa pembebanan Jembatan Sipait?
3. Bagaimana memodelkan dan melakukan analisis struktur Jembatan Sipait dengan program bantu SAP2000?

4. Bagaimana menentukan profil baja dan sambungan yang efisien untuk Jembatan Sipait, serta mengontrol kekuatannya terhadap pembebanan sesuai dengan SNI?
5. Bagaimana merencanakan bangunan bawah Jembatan Sipait yang sesuai standar?
6. Bagaimana menuangkan hasil perancangan Jembatan Sipait ke dalam bentuk gambar teknik yang sesuai dengan standar?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menghindari adanya penyimpangan pembahasan dalam tugas akhir ini maka dibuatlah suatu batasan dalam perencanaannya. Adapun batasan-batasan masalah yang dipakai dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Tidak membahas analisa biaya konstruksi dan waktu.
2. Tidak meninjau metode pelaksanaan konstruksi.
3. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan pendekat.
4. Tidak meninjau adanya tumbukan kapal.
5. Tidak meninjau aspek arsitektural, mekanikal dan elektrikal.

1.4. Tujuan

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

1. Dapat menentukan *preliminary design* penampang elemen struktur Jembatan Sipait.
2. Dapat menganalisa pembebanan Jembatan Sipait.
3. Dapat memodelkan dan melakukan analisis struktur Jembatan Sipait dengan program bantu SAP 2000.
4. Dapat menentukan profil baja dan sambungan yang efisien untuk Jembatan Sipait, serta mengontrol kekuatannya terhadap beban sesuai dengan SNI.
5. Dapat merencanakan bangunan bawah Jembatan Sipait.

6. Dapat menuangkan hasil perancangan Jembatan Sipait ke dalam bentuk gambar teknik yang sesuai dengan standar.

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Dengan desain baru Jembatan Sipait diharapkan mampu menjadi solusi dalam merancang sebuah jembatan yang kuat secara struktural dan penggunaan material seefisien mungkin.
2. Untuk dunia keteknik sipilan, dengan adanya desain baru Jembatan Sipait ini diharapkan jembatan busur rangka baja dapat menjadi inspirasi jembatan masa depan yang lebih modern.
3. Manfaat untuk penulis sendiri yaitu dapat meningkatkan pengetahuan dan skill dalam ilmu perencanaan jembatan, khususnya Jembatan Busur Rangka Baja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Dalam modifikasi perencanaan Jembatan Sipait menjadi jembatan busur rangka baja dibutuhkan pengetahuan dari artikel ilmiah yang telah ada. dalam bab tinjauan pustaka ini akan dibahas beberapa artikel ilmiah yang terkait dengan perencanaan jembatan busur rangka baja.

2.2. Pengertian Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan atau daerah yang terputus yang disebabkan adanya halangan atau rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran drainase, saluran irigasi, jalan kereta, jalan raya yang tidak sebidang dan lain-lain.

2.2.1. Jenis-Jenis Jembatan

Menurut kegunaannya jenis jembatan dikelompokkan sebagai berikut:

1. Jembatan jalan raya (higway bridge)
2. Jembatan pejalan kaki (footh path)
3. Jembatan kereta api (railway bridge)
4. Jembatan jalan air
5. Jembatan jalan pipa
6. Jembatan penyebrangan

Menurut jenis materialnya, jenis jembatan dikelompokkan sebagai berikut:

1. Jembatan jalan raya (highway bridge)
2. Jembatan kayu
3. Jembatan baja
4. Jembatan beton bertulang dan pratekan
5. Jembatan komposit

Menurut jenis strukturalnya, jenis jembatan dikelompokkan sebagai berikut:

1. Jembatan dengan tumpuan sederhana (simply supported bridge)
2. Jembatan menerus (continuous bridge)
3. Jembatan kantilever (cantilever bridge)
4. Jembatan integral (integral bridge)
5. Jembatan semi integral (semi integral bridge)
6. Jembatan pelengkung tiga sendi (arches bridge)
7. Jembatan rangka (trusses bridge)
8. Jembatan gantung (suspension bridge)
9. Jembatan kabel (cable-stayed bridge)
10. Jembatan urung-urung (culverts bridge)

2.3. Jembatan Busur

Jembatan busur merupakan sebuah jembatan yang memiliki struktur utama berbentuk pelengkung / kurva setengah lingkaran. Desain lengkung akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju *abutment* yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergerak ke samping. Selain itu, bentuk busur setengah lingkaran dimaksudkan untuk memungkinkan konstruksi tersebut dapat menerima momen lentur lebih efisien bila dibandingkan dengan gelagar paralel.

2.3.1. Jenis-Jenis Jembatan Busur

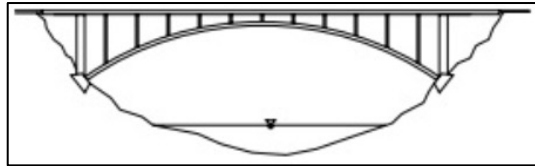
Jembatan busur memiliki beragam jenis bila dilihat dari beberapa aspek tinjauan. Jenis-jenis jembatan busur berdasarkan masing-masing aspek tinjauan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan Lantai Kendaraan
 - Jembatan Busur Lantai Kendaraan Atas (*Deck Arch*)
Letak lantai kendaraan berada di atas struktur pelengkung utama seperti pada Gambar 2.1.
 - Jembatan Busur Lantai Kendaraan Tengah (*Half Through Arch*)

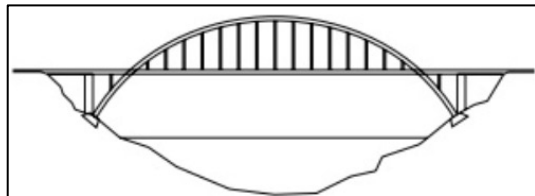
Jembatan busur yang memiliki letak lantai diantara springline dan bagian busur jembatan, atau berada di tengah-tengah seperti pada Gambar 2.2.

- Jembatan Busur Lantai Kendaraan Bawah (Through Arch)

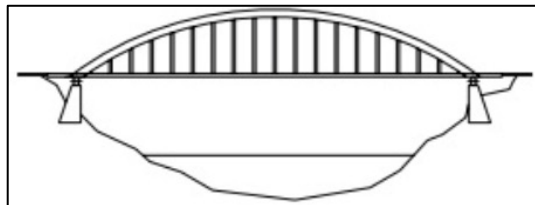
Jembatan busur yang memiliki letak lantai tepat di springline busur, atau lantainya berada dibawah seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.1 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Atas
sumber: Irawan & Tristanto, 2010



Gambar 2.2 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Tengah
sumber: Irawan & Tristanto, 2010



Gambar 2.3 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Bawah
sumber: Irawan & Tristanto, 2010

2. Berdasarkan Perletakan (Jumlah Sendi)
 - Busur Terjepit
 - Busur Dua Sendi
 - Busur Tiga Sendi

3. Berdasarkan Sifat Gaya Horizontal
 - Busur Asli
Gaya horizontal pada busur diterima oleh perletakan, diteruskan ke *abutment* atau pilar.
 - Busur dengan Batang Tarik
Gaya horizontal pada busur diterima oleh bagian konstruksi busur, yaitu batang tarik.

4. Berdasarkan Struktur Pemikul Utama
 - Busur Dinding Penuh
 - Busur Rangka Batang

5. Berdasarkan Ukuran Penampang Busur
 - Penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal. Umumnya digunakan untuk busur yang memiliki perletakan jepit-jepit.
 - Tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur. Umumnya digunakan untuk busur dinding penuh, termasuk juga bentuk box.
 - Penampang puncak lebih besar dari penampang pangkal. Umumnya digunakan untuk busur dua sendi.

6. Pembagian Beban antara Busur dengan Batang Tarik (Khusus Busur dengan Batang Tarik)
 - Busur sangat kaku dibandingkan dengan batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul busur, bentuk busur umumnya memiliki penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal.
 - Busur sangat lemah dibandingkan dengan batang tarik yang sangat kaku dengan batang tarik memikul

sebagian besar momen, bentuk penampang busur sama untuk seluruh bagian busur.

- Diantara kedua keadaan diatas, momen dibagi antara busur dan batang tarik.

2.3.2. Pertimbangan Pemilihan Konstruksi dan Bentuk Busur

Dalam pemilihan bentuk konstruksi jembatan busur ada beberapa kondisi yang perlu diperhatikan. Beberapa hal yang harus menjadi pertimbangan adalah sebagai berikut:

1. Kondisi Tanah Dasar

- Tebing yang curam, kokoh dan tinggi lebih cocok untuk menggunakan busur dengan lantai kendaraan diatas.
- Bila pada lantai kendaraan diatas pangkal busur terkena muka air, maka gunakan busur dengan lantai kendaraan di tengah.
- Bila tanah kurang kuat untuk menerima rekasi horizontal, jembatan dapat diberikan batang tarik.
- Besarnya gaya horizontal dari perletakan dapat dikurangi dengan pembuatan jembatan busur berseri (rangkaian beberapa busur).

2. Besarnya Beban

- Beban ringan : Busur dinding penuh
- Beban berat : Busur rangka batang

3. Estetika

- Busur dengan penampang kecil memeberikan kesan langsing.
- Busur dengan penampang dinding penuh memeberikan kesan tenang.

2.4. Sambungan

Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya di ujung batang) dengan beberapa cara. Salah satu cara yang digunakan adalah pengelasan, cara lain ialah menggunakan alat penyambung seperti paku keling dan baut.

Fungsi sambungan, disamping menyatukan elemen-elemen pada suatu konstruksi menjadi satu kesatuan, juga berfungsi sebagai penyalur beban dari satu bagian ke bagian yang lain (Marwan & Isdarmanu, 2006). Berdasarkan AISC-LRFD pasal 5.3 jenis alat sambung baja terdiri dari :

- Baut, mur, dan ring
- Alat sambung mutu tinggi
- Las
- Penghubung geser jenis paku yang dilas
- Baut anker

2.4.1. Sambungan Baut

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya dibentuk kepala baut 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, & Mazumder, 2000).

Beberapa kelebihan sambungan menggunakan baut antara lain :

- Lebih mudah dalam pemasangan konstruksi di lapangan.
- Konstruksi sambungan baut dapat dibongkar pasang.
- Baut jenis Baut Pass kuat digunakan untuk konstruksi berat, termasuk jembatan.

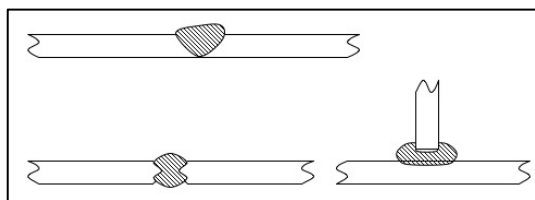
2.4.2. Sambungan Las

Proses pengelasan merupakan 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 las tumpul dan las sudut.

2.4.2.1. Las Tumpul

Las tumpul adalah las yang dibuat pada celah antara ujung-ujung yang bersebelahan, tepi-tepi, atau permukaan dua bagian yang akan digabung pada *jointbutt*. Contoh dari las tumpul dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Ada beberapa bahan las tumpul yang dipakai, antara lain F_{E60XX} , F_{E70XX} , F_{E80XX} , F_{E90XX} , F_{E100XX} , F_{E110XX} . E adalah Elektrode, sedangkan 60 – 110 menunjukkan kekuatan tarik minimum dalam KSI ($1\text{ksi} = 70,3 \text{ kg/cm}^2$), dan digit dibelakangnya xx menunjukkan tipe coatingnya (Marwan & Isdarmanu, 2006).



Gambar 2.4 Las Tumpul

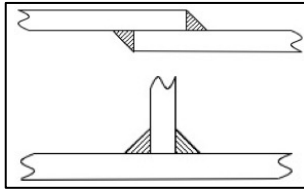
sumber: Marwan & Isdarmanu, 2006

2.4.2.2. Las Sudut

Las sudut adalah las yang secara teoritis mempunyai penampang melintang segitiga, yang menggabungkan dua permukaan yang kurang lebih mempunyai sudut siku seperti pada Gambar 2.5.

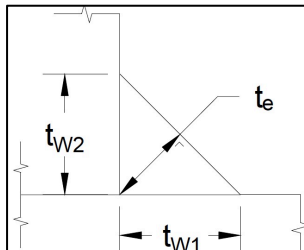
Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang t_{w1} , t_{w2} , dari

sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las (lihat Gambar 2.6). Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah t_w . Bila terdapat sela akar, ukuran t_w diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.7 (SNI 03-1729-2002).



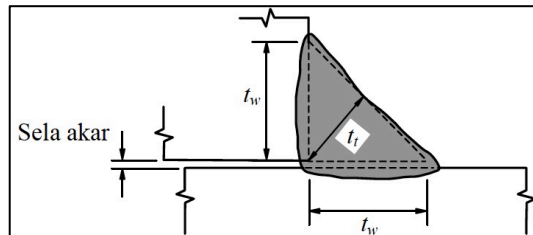
Gambar 2.5 Las Sudut

sumber: Marwan & Isdarmanu, 2006



Gambar 2.6 Ukuran Las Sudut

sumber: SNI 1729:2002



Gambar 2.7 Ukuran Las Sudut Sela Akar

sumber: SNI 1729:2002

Beberapa kelebihan sambungan yang menggunakan las :

- Konstruksi sambungan memiliki bentuk lebih rapi.
- Konstruksi baja dengan sambungan las memiliki berat lebih ringan, hanya berkisar 1 – 1,5% dari berat konstruksi, sedang dengan paku keling / baut berkisar 2,5 – 4% dari berat konstruksi.
- Pengerjaan konstruksi relatif lebih cepat (tidak perlu membuat lubang-lubang baut, tak perlu memasang potongan baja siku / pelat penyambung, dan sebagainya).
- Luas penampang batang baja tetap utuh karena tidak dilubangi, sehingga kekuatannya utuh.

2.5. *Abutment*

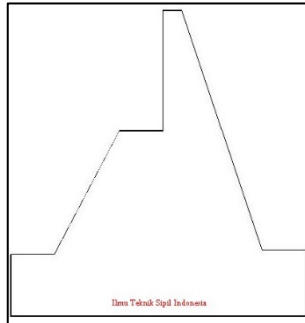
Struktur bangunan bawah merupakan struktur yang didesain khusus untuk tiap jembatan berdasarkan kekuatan tanah dasar dan elevasi jembatan. Struktur bangunan bawah dibagi menjadi dua bagian, yaitu kepala jembatan (*abutment*) atau pilar (*pier*) dan pondasi untuk *abutment* atau pilar. Kepala jembatan atau pilar memiliki fungsi sebagai penyalur gaya yang diterima jembatan ke pondasi.

Abutment merupakan penopang jembatan yang terletak di salah satu tepi sungai. Letak *abutment* yang berada pada tepi sungai membuat *abutment* juga harus memiliki kemampuan untuk menahan tanah. Umumnya, *abutment* dilengkapi dengan konstruksi dinding sayap (*wing wall*) yang berfungsi menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan. Adapun jenis-jenis *abutment* terdiri dari beberapa tipe antara lain *abutment* tipe gravitasi, *abutment* tipe T terbalik, dan *abutment* tipe dengan penopang.

2.5.1. *Abutment* Tipe Gravitasi

Abutment tipe gravitasi memperoleh kekuatan dan ketahanan terhadap gaya-gaya yang bekerja dengan berat sendiri. *Abutment* ini sering digunakan pada jembatan dengan struktur yang tidak terlalu tinggi dan tanah pondasinya yang baik. Pada

umumnya material yang digunakan terbuat dari batu kali atau beton. Biasanya *abutment* ini digunakan pada jembatan dengan bentang yang tidak terlalu panjang. Sketsa dari *abutment* tipe gravitasi dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Abutment* Tipe Gravitasi
sumber: Civeng, 2015

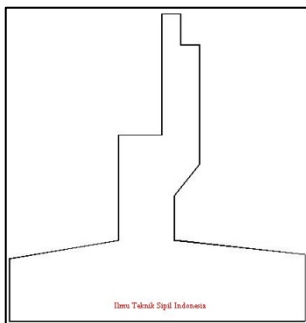
2.5.2. *Abutment* Tipe T Terbalik

Abutment tipe T terbalik merupakan tipe tembok penahan dengan balok kantilever tersusun dari suatu tembok memanjang dan sebagai suatu pelat kekuatan dari tembok. Ketahanan dari tembok penahan berasal dari berat sendiri serta berat tanah di atas pelat tumpuan / tumpit. *Abutment* ini lebih langsing dari pada *abutment* dengan tipe gravitasi. Pada umumnya *abutment* ini digunakan pada konstruksi lebih tinggi dan material yang digunakan beton bertulang. Sketsa dari *abutment* tipe T terbalik dapat dilihat pada Gambar 2.9.

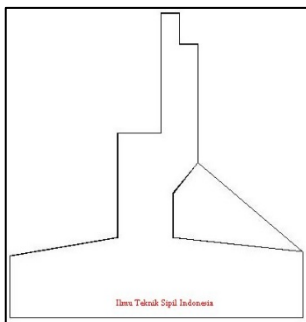
2.5.1. *Abutment* Tipe dengan Penopang

Abutment ini hampir sama dengan *abutment* tipe T terbalik, tetapi jenis ini diberi penopang pada sisi belakangnya (counterfort) yang bertujuan untuk memperkecil gaya yang berkerja pada tembok memanjang dan pada tumpuan. *Abutment* ini biasanya digunakan untuk konstruksi dengan struktur tinggi dan

material yang digunakan beton bertulang. Sketsa dari *abutment* tipe dengan penopang dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9 *Abutment* Tipe T Terbalik
sumber: Civeng, 2015



Gambar 2.10 *Abutment* Tipe dengan Penopang
sumber: Civeng, 2015

2.6. Perletakan

Perletakan adalah perangkat struktural yang berfungsi untuk mentransfer gaya dari suatu bagian jembatan ke bagian lainnya, biasanya dari struktur atas (*superstructure*) ke struktur bawah (*substructure*). Perletakan juga mengakomodasi pergerakan, translasi dan / atau rotasi.

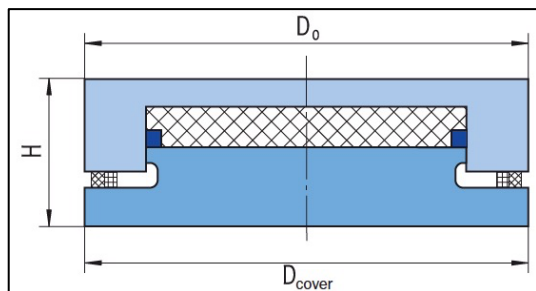
Ada bermacam-macam tipe bearing seperti *sliding bearing*, *rocker bearing*, *pin bearing*, *roller bearing*, *elastomeric bearings*, *curved bearing*, *pot bearing*, *disk bearing*, dan lainnya seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan.

Perletakan pada jembatan bentang panjang saat ini banyak menggunakan sistem perletakan pot bearing. Pot bearing adalah perletakan yang mampu menahan beban vertikal lebih besar dibanding dengan perletakan elastomer serta koefisien friksi yang cukup kecil dengan deformasi yang cukup besar (Chen & Duan, 2003).

Pot bearing terbagi menjadi 3 tipe. masing masing tipe dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

2.6.1. Fixed Pot Bearing

Tipe *fixed* seperti pada Gambar 2.11 merupakan perletakan yang berperilaku sebagai sendi, dapat menahan beban vertikal dan horizontal.

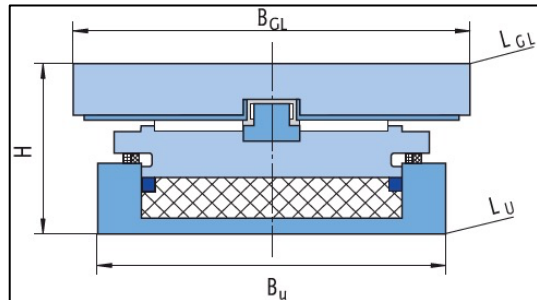


Gambar 2.11 *Fixed Pot Bearing*

sumber: Brosur Trelleborg Engineered Products

2.6.2. Guided Pot Bearing

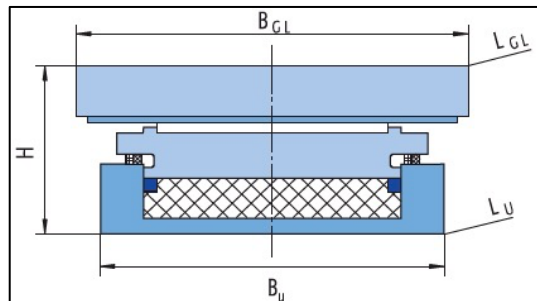
Tipe *guided* seperti pada Gambar 2.12 merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertikal serta gaya horizontal namun hanya dalam 1 arah (transversal atau longitudinal).



Gambar 2.12 *Guided Pot Bearing*
 sumber: Brosur Trelleborg Engineered Products

2.6.3. *Free Pot Bearing*

Tipe *free* seperti pada Gambar 2.13 merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertikal, namun dapat bergerak bebas dalam arah horizontal.



Gambar 2.13 *Free Pot Bearing*
 sumber: Brosur Trelleborg Engineered Products

2.7. Pondasi

Pondasi merupakan suatu struktur pendukung utama dari struktur bangunan yang berfungsi meneruskan dan menyebarkan beban yang diterimanya dari struktur atas bangunan ke lapisan tanah pendukung. Fungsi utamanya adalah untuk menahan beban bangunan yang ditimbulkan oleh konstruksi yang berada di atasnya

tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*).

Bangunan yang lebih berat pada umumnya tidak dapat diletakkan pada pondasi dangkal, karena umumnya tanah lapisan atas terdiri dari tanah yang tidak cukup keras (kuat) untuk memikul beban yang berat. Untuk menunjang suatu struktur bangunan yang mempunyai beban yang besar dan berat, maka pada bangunan sipil biasanya digunakan suatu pondasi dalam yang berupa tiang pancang (Bowles, 1997). Berikut adalah beberapa jenis pondasi:

a. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung. Pada umumnya suatu pondasi dikatakan pondasi dangkal jika $D/B < 1$. Tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau kedalaman 2-3 m kebawah permukaan tanah. Nilai D adalah kedalaman dari pondasi dan nilai B adalah lebar pondasi. Adapun jenis-jenis pondasi dangkal sebagai berikut:

- Pondasi telapak dan pondasi memanjang
- Pondasi Rakit (Raft Foundation atau Mat Foundation)
- Pondasi Sistem Cakar Ayam

b. Pondasi Dalam

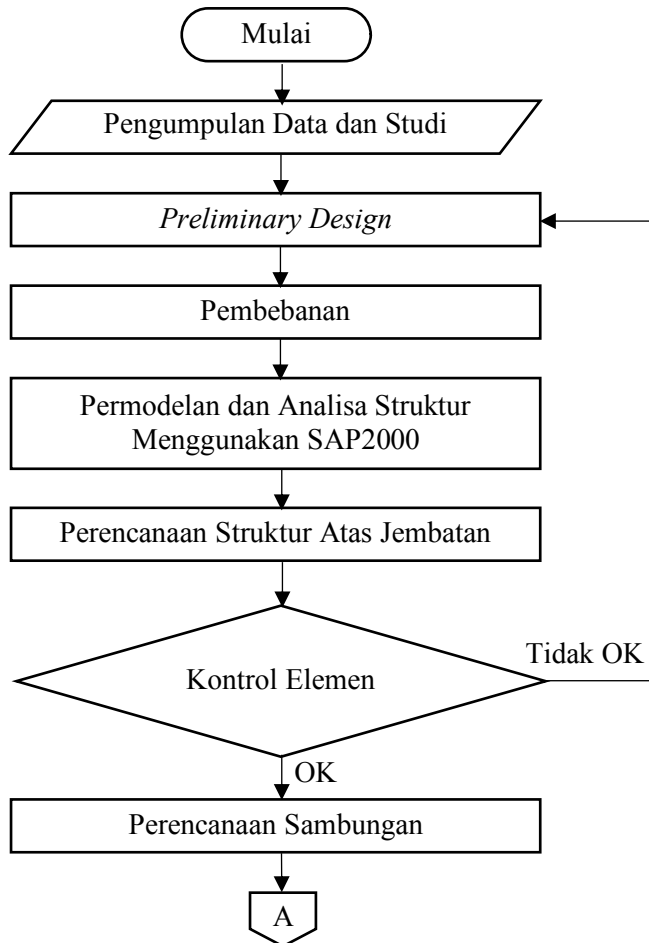
Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relative jauh dari permukaan. Pondasi dalam digunakan bila lapisan tanah di dasar pondasi tidak mampu mendukung beban yang dilimpahkan dan terletak cukup dalam. Atau dengan pertimbangan adanya pengerusan dan galian dekat pondasi dikemudian hari. Umumnya dikatakan pondasi dalam apabila $D > 4B$ sampai $5B$, dimana nilai D adalah kedalaman dan nilai B adalah lebar dari pondasi. Adapun jenis-jenis pondasi dalam adalah sebagai berikut :

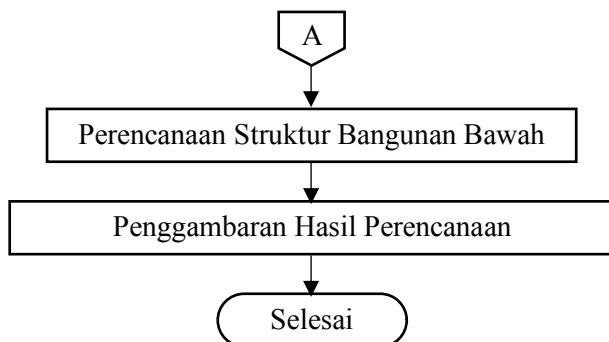
- Pondasi Sumuran (*Pier Foundation*)
- Pondasi Kaison
- Pondasi Tiang

BAB III METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Langkah – Langkah yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Pengumpulan Data

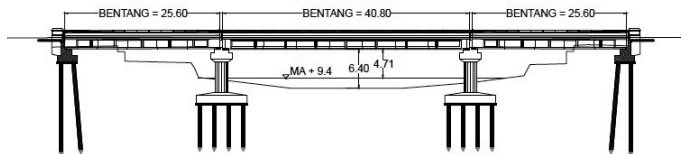
Data umum jembatan saat ini adalah sebagai berikut :

1. Nama Jembatan : Jembatan Sipait
2. Lokasi Jembatan : Jalan Pekalongan - Pemalang
KM. Pekalongan 10 + 300
3. Jenis Jembatan : Jembatan Beton Prategang
4. Panjang Jembatan : 92 m
5. Lebar Jembatan : 9 m
6. Bangunan Bawah : 2 Pilar dan 2 *Abutment*

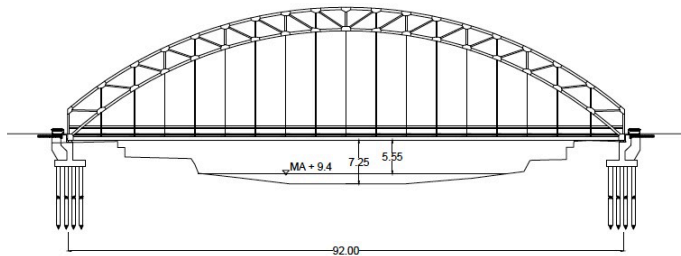
Pada tugas akhir ini jembatan tersebut akan dimodifikasi perencanaannya dengan data-data perencanaan baru sebagai berikut :

1. Nama Jembatan : Jembatan Sipait
2. Lokasi Jembatan : Jalan Pekalongan - Pemalang
KM. Pekalongan 10 + 300
3. Jenis Jembatan : Jembatan Busur Rangka Baja
Lantai Kendaraan Bawah
4. Panjang Jembatan : 92 m
5. Lebar Jembatan : 9.5 m
6. Bangunan Bawah : 2 *Abutment*

Pemilihan letak lantai kendaraan dilakukan dengan mempertimbangkan tinggi bebas, yaitu jarak antara muka air terhadap struktur jembatan. Dapat dilihat pada Gambar 3.2 bahwa tinggi bebas eksisting adalah 4.71 meter. Tinggi bebas tersebut dapat dipenuhi dengan jembatan busur yang memiliki lantai kendaraan dibawah seperti pada Gambar 3.3. Selain itu, penggunaan lantai kendaraan ditengah tidak digunakan karena akan menyebabkan sebagian rangka busur masuk ke dalam tanah atau menyebabkan permukaan jalan naik dari elevasi eksistingnya.



Gambar 3.2 Jembatan Eksisting



Gambar 3.3 Jembatan Modifikasi

3.3. Studi Literatur

Melakukan studi literatur dengan berpedoman beberapa standar peraturan sebagai bahan pustaka dalam pengerjaan tugas akhir, antara lain:

1. Bridges Management System (BMS 1992)
2. RSNI T-12-2004 (struktur beton untuk jembatan)
3. RSNI T-03-2005 (struktur baja untuk jembatan)
4. SNI 2833-2016 (gempa untuk jembatan)

5. SNI 1725-2016 (pembebanan untuk jembatan)
6. SNI 2847-2013 (persyaratan beton struktural)

3.4. Preliminary Design Jembatan Busur

Analisis struktur bisa dilakukan apabila dimensi dari tiap komponennya telah diketahui. Dimensi tiap komponen yang paling optimal bisa didapatkan ketika beban yang harus dipikul oleh jembatan sudah diketahui. Sebelum beban yang harus di pikul diketahui, ukuran dari tiap komponen menggunakan perkiraan sementara yang disebut dengan *preliminary design*.

3.4.1. Material yang Digunakan

Penentuan mutu bahan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

- Mutu Beton ($f'c$) = 40 MPa
- Mutu Baja Tulangan (f_y) = 420 MPa
- Struktur Utama = BJ 41
 - Tegangan Leleh Minimum (f_y) = 250 Mpa
 - Tegangan Putus Minimum (f_u) = 410 Mpa
- Mutu baut menggunakan ASTM A325 dan ASTM A490 untuk sambungan baut antar profil

3.4.2. Tebal Pelat Lantai Kendaraan

Menurut RSNI-T-12-2004 pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , yang memenuhi kedua ketentuan berikut:

$$t_s \geq 200\text{mm} \quad (3.1)$$

$$t_s \geq (100 + b_1) \text{ mm} \quad (3.2)$$

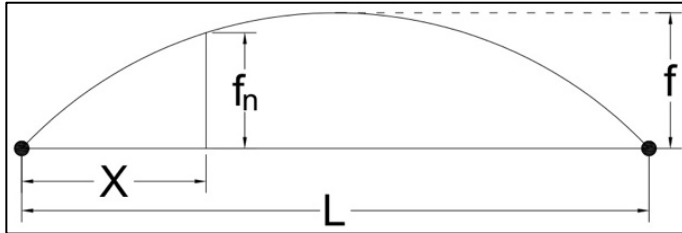
Dimana :

b_1 = Bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter)

3.4.3. Dimensi Rangka Busur

Dimensi dari rangka memiliki dua komponen geometri utama, yaitu panjang (L) dan tinggi (f) seperti pada Gambar 3.4.

Panjang busur didapatkan dari panjang rintangan yang ingin dilalui. Sedangkan ukuran dari komponen geometri lainnya didapatkan berdasarkan syarat-syarat sebagai berikut:



Gambar 3.4 Geometri Busur

1. Tinggi Busur

Syarat :

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad (3.3)$$

Dimana :

$$f = \text{Tinggi busur} = 18 \text{ m}$$

$$L = \text{Bentang busur} = 92 \text{ m}$$

Cek syarat :

$$\frac{1}{6} \leq \frac{18}{92} \leq \frac{1}{5} \Leftrightarrow 0,167 \leq 0,195 \leq 0,2 \text{ (OK)}$$

2. Panjang Penggantung Busur

Dari persamaan 3.4 didapatkan masing-masing panjang penggantung seperti pada Tabel 3.1.

$$f_n = \frac{4 \cdot f \cdot x \cdot (L - x)}{L^2} \quad (3.4)$$

Dimana :

$$f_n = \text{Panjang penggantung busur}$$

$$x = \text{Jarak horizontal penggantung dari penggantung ujung}$$

Tabel 3.1 Panjang Penggantung

No	L	fn	No	L	fn
	m	m		m	m
1	5.5	4.05	10	51	17.8
2	11	7.58	11	56	17.8
3	16	10.3	12	61	16.1
4	21	12.7	13	66	14.6
5	26	14.6	14	71	12.7
6	31	16.1	15	76	10.3
7	36	17.1	16	81	7.58
8	41	17.8	17	86.5	4.05
9	46	18	18	92	0

3. Tinggi Tampang Busur

Setiap jenis penampang busur memiliki syarat tinggi tampang berbeda-beda. Untuk rangka memiliki syarat sebagai berikut:

$$\frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \quad (3.5)$$

Dimana :

t = Tinggi tampang busur = 3,5 m

L = Bentang busur = 92 m

Cek syarat :

$$\frac{1}{40} \leq \frac{3,5}{92} \leq \frac{1}{25} \Leftrightarrow 0,025 \leq 0,038 \leq 0,04 \text{ (OK)}$$

4. Lebar Jembatan

Syarat :

$$\frac{b}{L} \geq \frac{1}{20} \quad (3.6)$$

Dimana :

b = Jarak perletakan kiri-kanan paling luar = 9 m

L = Bentang busur = 92 m

Cek syarat :

$$\frac{9}{92} \geq \frac{1}{20} \Leftrightarrow 0,097 \geq 0,05 \text{ (OK)}$$

3.5. Pembebanan Jembatan

Pembebanan jembatan menggunakan pembebanan sesuai dengan SNI 1725:2016 (Pembebanan untuk Jembatan) dan SNI 2833:2016 (Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa).

3.5.1. Beban Permanen

Beban permanen pada jembatan terdiri dari berat komponen struktural dan non struktural.

3.5.1.1. Berat Jenis Material

Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam material dapat dilihat pada Tabel 3.2.

3.5.1.1. Faktor Akibat Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah beban yang merupakan berat dari jembatan itu sendiri. Beban dapat berasal dari elemen struktural maupun non struktural yang dianggap tetap. Faktor untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.3.

3.5.1.2. Faktor Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Faktor beban untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.2 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi	Kerapatan Massa
		(kN/m ³)	(kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surface</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240

No.	Bahan	Berat isi	Kerapatan Massa
		(kN/m ³)	(kg/m ³)
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton, f ^c < 35 Mpa	22,0 – 15,0	2320
	35 < f ^c < 105 Mpa	22+0,022 f ^c	2240+2,29 f ^c
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

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

Sumber: SNI 1725:2016

3.5.2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas yang dipikul oleh jembatan ini terbagi menjadi dua, yaitu Beban Lajur “D” dan Beban Truk “T”.

3.5.2.1. Beban Lajur “D” (TD)

Beban Lajur “D” terdiri dari komponen beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Sketsa pembebanan dari BTR dan BGT dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Intensitas dari beban BGT adalah sebesar p kN/m dimana $p = 49$ kN/m. Beban BGT harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Sedangkan Intensitas dari Beban BTR bergantung dari panjang jembatan yang dibebani. Besar q dalam kPa untuk panjang jembatan tertentu adalah sebagai berikut:

$$\text{jika } L \leq 30 \text{ m, maka } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (3.7)$$

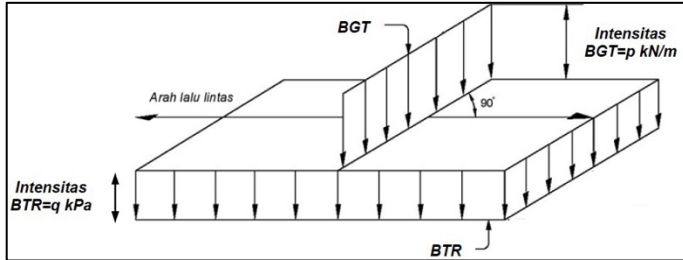
$$\text{jika } L > 30 \text{ m, maka } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (3.8)$$

Dimana :

q = intensitas BTR dalam arah memanjang jembatan

L = panjang total jembatan yang dibebani (m)

Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada Tabel 3.5.



Gambar 3.5 Sketsa Pembebanan BGT dan BTR

Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

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

Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 3.6 Faktor Beban untuk Beban “T”

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

Sumber: SNI 1725:2016

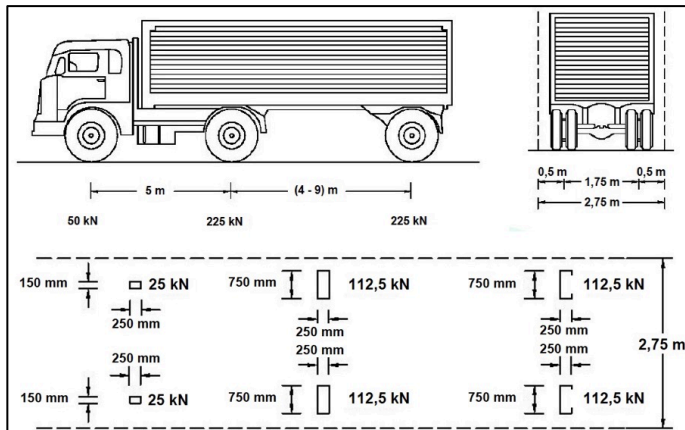
3.5.2.2. Beban Truk “T” (TT)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 3.6. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar

yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Beban truk diletakkan tepat di tengah lajur yang telah direncanakan.

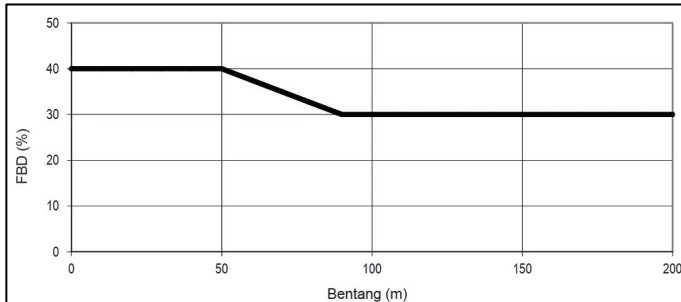
3.5.2.3. Faktor Beban Dinamis

Beban statis Truk dan BGT rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 3.7. Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.



Gambar 3.6 Pembebanan truk "T" (500 kN)

Sumber: SNI 1725:2016



Gambar 3.7 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”

Sumber: SNI 1725:2016

3.5.3. Gaya Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

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

3.5.4. Beban Pejalan Kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

3.5.5. Beban Angin

Beban angin yang perlu dipikul oleh jembatan ini adalah beban angin yang mengenai struktur secara langsung (EW_s), dan beban angin yang tersalurkan melalui kendaraan (EW_l).

3.5.5.1. Tekanan Angin Horizontal

Sesuai dengan SNI 1725:2016, tekanan angin direncanakan memiliki kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin.

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

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \cdot \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.9)$$

Dimana :

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

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan air rencana (km/jam).

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm.

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm).

V_0 = Kecepatan gesekan angin, dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan, dapat dilihat pada Tabel 3.7.

V_{10} dapat diperoleh dari:

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
- survei angin pada lokasi jembatan.
- jika tidak ada data yang lebih baik, asumsikan $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

3.5.5.2. Beban Angin pada Struktur (E_{W_s})

Bila tidak ada data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \cdot \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.10)$$

Dimana :

P_B = Tekanan angin dasar (Tabel 3.8)

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

Tabel 3.7 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

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

Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, Kolom, dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725:2016

3.5.5.3. Beban Angin dari Kendaraan (E_{W_i})

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan angin pada kendaraan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus

sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

3.5.6. Pengaruh Gempa

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

$$E_Q = \frac{C_{SM}}{R_d} \cdot W_t \quad (3.11)$$

Dimana :

- E_Q = Gaya gempa horizontal statis (kN)
- C_{SM} = Koefisien respons gempa elastis
- R_d = Faktor modifikasi respons
- W_t = Berat total struktur (kN)

3.6. Permodelan dan Analisa Struktur Utama Jembatan Busur Menggunakan Progam SAP2000

Merencanakan ukuran dari profil struktur utama jembatan busur dengan menggunakan progam bantu SAP2000.

3.7. Kontrol Material Struktur Utama

3.7.1. Kontrol Kapasitas Tekan

- Kontrol kelangsingan :

$$\lambda = \left(\frac{K_C \cdot L}{i} \right) \quad (3.12)$$

$$\lambda < 140$$

- Menghitung parameter kelangsingan baja :

$$\lambda_c = \left(\frac{\lambda}{\pi} \right) \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (3.13)$$

Setelah didapatkan nilai dari λ_c , nilai ω didapatkan dari salah satu rumus dibawah:

$$\omega = 1 \quad (\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25) \quad (3.14)$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad (\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2) \quad (3.15)$$

$$\omega = 1,25\lambda_c^2 \quad (\text{untuk } \lambda_c \geq 1) \quad (3.16)$$

- Kuat Nominal :

untuk $\lambda_c < 1,5$

$$N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \cdot A_g \cdot f_u \quad (3.17)$$

untuk $\lambda_c > 1,5$

$$N_n = \frac{0,88 \cdot A_g \cdot f_u}{\lambda_c^2} \quad (3.18)$$

- Syarat kuat rencana :

$$\phi N_n > P_u, \quad \text{dimana } \phi = 0,85 \quad (3.19)$$

3.7.2. Kontrol Kapasitas Tarik

- Kontrol kelangsingan

$$\lambda_{\max} = \frac{L}{i_y} \quad (3.20)$$

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

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

- Kuat nominal

$$P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y > P_u, \quad \text{dimana } \phi = 0,9 \quad (3.21)$$

3.7.3. Kontrol Kapasitas Lentur

- Kontrol kelangsingan elemen penampang

$$\text{Sayap : } \frac{b}{2 \cdot t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (3.22)$$

$$\text{Badan : } \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (3.23)$$

- Kontrol kapasitas tekuk lokal

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \cdot \frac{E}{f_y} \quad (3.24)$$

$$L_r = i_y \cdot \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + (x_2 \cdot f_L^2)}} \quad (3.25)$$

Dimana :

L_B = Jarak penahan lateral

$L_B < L_R$ (bentang pendek)

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

$L_B > L_R$ (bentang panjang)

- Kontrol Kapasitas Lentur

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (3.26)$$

Kapasitas lentur untuk bentang pendek:

$$M_n = M_p \quad (3.27)$$

Kapasitas lentur untuk bentang menengah:

$$M_n = C_b \cdot \left[M_R + (M_r - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_r} \right] \quad (3.28)$$

Kapasitas lentur untuk bentang panjang

$$M_n = M_{CR} \quad (3.29)$$

3.7.4. Kontrol Kapasitas Geser

Kapasitas geser dicari menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \quad (3.30)$$

$$V_n = 0,9 \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_w > V_u \quad (3.31)$$

Cek kapasitas:

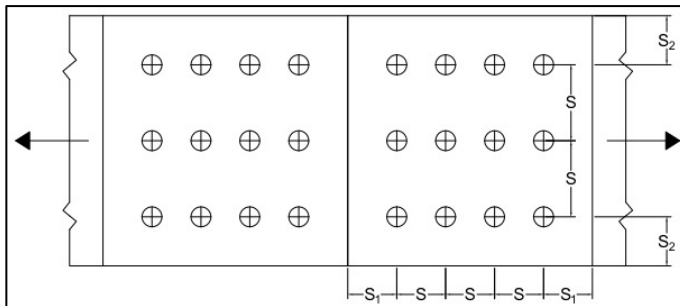
$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8M_{ux}}{9\phi M_{nx}} + \frac{8M_{uy}}{9\phi M_{ny}} < 1 \quad (3.32)$$

3.8. Perencanaan Sambungan

Fungsi sambungan, disamping menyatukan elemen-elemen pada suatu konstruksi menjadi satu kesatuan, juga berfungsi sebagai penyalur beban dari satu bagian ke bagian yang lain (Marwan & Isdarmanu, 2006).

3.8.1. Jarak Pemasangan Baut

Pemasangan baut pada sambungan memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi. Sketsa pemasangan baut dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tata Letak Baut

- Jarak antar baut (S)
 - $3d_b \leq S \leq 15t_p$
 - $S \leq 200 \text{ mm}$
- Jarak Baut ke Tepi Pelat yang Terbebani (S_1)
 - $1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$
 - $S_1 \leq 200\text{mm}$
- Jarak Baut ke Tepi Pelat yang Tidak Terbebani (S_2)
 - jarak minimum
 - Tepi dipotong dengan tangan 1,75 db
 - Tepi dipotong dengan mesin 1,50 db

- Tepi profil bukan hasil potongan 1,25 db
- jarak maksimum
 - $S_2 \leq 12 t_p$
 - $S_2 \leq 150 \text{mm}$

Dimana:

t_p = Tebal pelat tertipis

d_b = Diameter nominal baut

3.8.2. Kuat Rencana Sambungan Baut

Sebuah sambungan baut harus kuat memikul beban ultimit yang dibebankan kepadanya. Sambungan tersebut harus bisa memenuhi hubungan sebagai berikut:

$$R_u = \phi R_n \quad (3.33)$$

Dimana:

R_n = Kuat nominal terkecil dari baut, elemen struktur yang disambung, dan pelat penyambung.

ϕ = Faktor reduksi kuat sambungan baut = 0,75.

3.8.2.1. Kekuatan Baut Memikul Gaya Geser

Kuat geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut:

$$V_d = \phi \cdot V_n = \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (3.34)$$

Dimana:

$r_1 = 0,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_1 = 0,4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$\phi_f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan fraktur

f_u^b = Tegangan Tarik putus baut

A_b = Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

Kuat geser nominal baut yang mempunyai beberapa bidang geser (bidang geser majemuk) adalah jumlah kekuatan masing-masing yang dihitung untuk setiap bidang geser.

3.8.2.2. Kekuatan Baut Memikul Gaya Tarik

Kuat tarik rencana satu baut dihitung sebagai berikut :

$$T_d = \phi \cdot T_n = \phi_f \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (3.35)$$

Dimana:

$\phi_f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan fraktur

f_u^b = tegangan Tarik putus baut

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

3.8.2.3. Baut pada Sambungan Tipe Tumpu yang Memikul Kombinasi Geser dan Tarik

Baut yang memikul gaya geser terfaktor (V_u) dan gaya tarik terfaktor (T_u) secara bersamaan harus memenuhi kedua persyaratan berikut ini :

$$f_{uv} = \frac{Y_u}{n \cdot A_b} \leq r_1 \cdot \phi_f \cdot f_u^b \cdot m \quad (3.36)$$

$$T_d = \phi_n \cdot T_n = \phi_f \cdot f_1 \cdot A_b \geq \frac{T_u}{n} \quad (3.37)$$

$$f_1 \leq f_1 - r_2 \cdot f_{uv} \leq f_2 \quad (3.38)$$

Dimana:

$\phi_f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan fraktur

f_{uv} = Tegangan geser pada baut

n = jumlah baut

m = jumlah bidang geser

untuk baut mutu tinggi :

$f_1 = 807$ MPa

$f_2 = 621$ MPa

$r_2 = 1,9$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$r_2 = 1,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

untuk baut mutu normal :

$f_1 = 410$ MPa

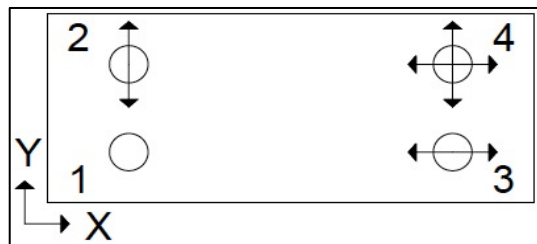
$f_2 = 310$ MPa

$r_2 = 1,9$

3.8.3. Perencanaan Perletakan

Perletakan didapat dari reaksi-reaksi tumpuan struktur, dimana beban dan dimensi seluruh struktur atas jembatan telah bekerja. Penentuan perletakan berdasarkan dimensi yang telah umum digunakan pada perencanaan jembatan. Jembatan Sipait yang telah dimodifikasi direncanakan menggunakan perletakan *pot bearing*. Penjelasan mengenai perletakan *pot bearing* dapat dilihat pada subbab 2.6.

Jembatan Sipait yang telah dimodifikasi direncanakan menggunakan perletakan yang bersifat sendi pada satu sisi dan roll di sisi lainnya. Pada Gambar 3.9 dapat dilihat perletakan 1 dan 3 memiliki tahanan pada arah x (memanjang) yang membuat perletakan tersebut memenuhi sifat sebagai sendi. Sedangkan untuk perletakan 2 dan 4 tidak memiliki tahanan pada arah x yang membuat perletakan tersebut memenuhi sifat sebagai rol.



Gambar 3.9 Konfigurasi Perletakan *Pot Bearing*

Keterangan :

1. Tipe *Fixed*
2. Tipe *Guided* (arah x)
3. Tipe *Guided* (arah y)
4. Tipe *Free*

3.9. Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Jembatan

3.9.1. Kapasitas Daya Dukung *Driven Pile*

Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu ualat yang dinamakan *split spoon* ke dalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (Φ)

berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Harga N untuk lempung atau pasir berlanau di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan persamaan 3.39 (Terzaghi dan Peck).

$$N' = 15 + 0,5(N - 15), \text{ untuk } N > 15 \quad (3.39)$$

Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi *driven pile* pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT. Selanjutnya rumusan Luciano Decourt untuk perhitungan daya dukung pondasi dalam. Luciano Decourt (1996) menyajikan metode sebagai berikut:

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3.40)$$

Dimana :

- Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi
- Q_P = Resistance Ultimate di dasar pondasi
- Q_S = Resistance Ultimate akibat tekanan lateral

Sedangkan,

$$Q_P = q_P \cdot A_P = \alpha \cdot N_P \cdot K \cdot A_P \quad (3.41)$$

Dimana :

- N_P = Harga rata-rata SPT disekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang
- K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi
 - 12 t/m², untuk lempung
 - 20 t/m², untuk lanau berlempung
 - 25 t/m², untuk lanau berpasir
 - 40 t/m², untuk pasir

Sedangkan,

$$Q_S = q_S \cdot A_S = \beta \cdot \left(\frac{N_S}{3} + 1 \right) \cdot A_S \quad (3.42)$$

Dimana :

- q_S = Tegangan akibat lekukan lateral dalam t/m²
- A_S = Keliling dikali panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

N_s = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan : $3 \leq N \leq 50$, khusus untuk aspek friction

Koefisien α dan β adalah berturut-turut *base coefficient* dan *shaft coefficient* menurut Decourt et all (1996) yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10. Pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan *driven pile* sehingga nilai α dan β masing-masing adalah 1,0 dan 1,0. *Driven pile* yang digunakan merupakan *prestressed concrete spun pile* dari PT. Wijaya Karya Beton.

Tabel 3.9 *Base Coefficient a Decourt Et All (1996)*

Soil / Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile	Continous Hollow Anger	Root Pile	Infected pile
Clay	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Intermediate Soil	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Sands	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

Sumber : Wahjudi, 1999

Tabel 3.10 *Base Coefficient β Decourt Et All (1996)*

Soil / Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile	Continous Hollow Anger	Root Pile	Infected pile
Clay	1,0	0,80	0,90	1,0	1,5	3,0
Intermediate Soil	1,0	0,65	0,70	1,0	1,5	3,0
Sands	1,0	0,50	0,60	1,0	1,5	3,0

Sumber : Wahjudi, 1999

3.9.2. Efisiensi Tiang Grup (*Conferse-Labare*)

Daya dukung tiang pancang dalam grup harus dikoreksi dengan koefisien efisiensi (C_e). Menurut Converse-Labarre, C_e dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{S_1}{S}\right)}{90} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad (3.43)$$

Jarak antar tiang,

$$2D \leq S \leq 3D \quad (3.44)$$

Jarak tiang ke tepi luar,

$$S_1 \geq D \quad (3.45)$$

Dimana:

m = Jumlah baris

n = Jumlah kolom

S = Jarak antar tiang

S₁ = Jarak tiang ke tepi luar

3.9.3. Perencanaan Poer

1. Perencanaan Ketebalan Poer

Untuk merencanakan tebal poer harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.46)$$

$$V_c = \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \quad (3.47)$$

$$V_c = \left(\frac{1}{3}\right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.48)$$

Dimana :

β_c = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari kolom

b_o = keliling dari penampang kritis

2. Kontrol Geser Satu Arah

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3.49)$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

Dimana :

$$\phi = 0,75$$

$$V_u = \sigma_u \cdot B \cdot b_o$$

3. Kontrol Geser Dua Arah

$$b_o = 4 \cdot (0,5 \cdot d + b_{kolom} + 0,5 \cdot d)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.50)$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

Dimana :

$$\phi = 0,75$$

$$\sigma_u = \sum P / A$$

$$V_u = \sigma_u (A_{poer} + A_{pons})$$

4. Menghitung Penulangan

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.51)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad (3.52)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad (3.53)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}}\right) \quad (3.54)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot s \quad (3.55)$$

3.10. Penggambaran Hasil Perencanaan

Penggambaran hasil dari seluruh perencanaan mulai dari bangunan atas hingga bangunan bawah dengan menggunakan program bantu AutoCAD.

BAB IV PERENCANAAN STRUKTUR ATAS

4.1. Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan Jembatan Sipait yang telah dimodifikasi direncanakan menggunakan pelat dari beton bertulang yang dicor di tempat. Pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1725:2016.

4.1.1. Preliminary Design Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan panjang 5 m dan lebar 1,7 m. Berdasarkan RSNI-T12-2004 pasal 5.5.2 persyaratan tebal pelat (d_3) dapat dihitung dengan perumusan dibawah ini:

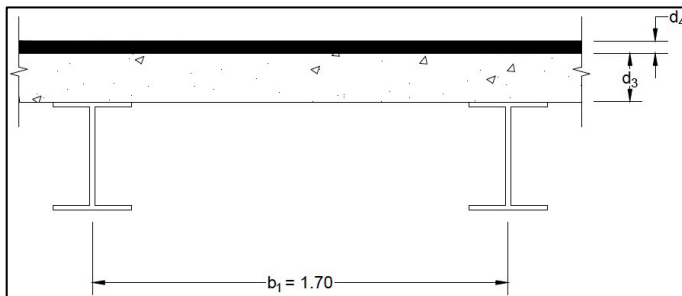
Ditentukan jarak antar balok memanjang (b_1) = 1,7 m seperti pada Gambar 4.1.

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

$$d_3 \geq 100 + 40 (1,7)$$

$$d_3 \geq 168 \text{ mm}$$

Dari syarat-syarat diatas maka diambil tebal pelat lantai kendaraan sebesar 200 mm.



Gambar 4.1 Sketsa Pelat Lantai Kendaraan

4.1.2. Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Pembebanan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai dengan SNI 1725:2016 dengan faktor beban $\gamma_{MS}^U = 1,3$ untuk beton

cor diletakkan, $\gamma_{TD}^U = 2$ untuk beban lajur, dan $\gamma_{TT}^U = 2$ untuk beban truk. Pada perencanaan pelat lantai kendaraan akan dihitung dengan asumsi per-meter panjang, dengan perhitungan pembebanan detail sebagai berikut:

- Perhitungan Beban Mati

Perhitungan beban mati akan menggunakan beban yang berasal dari SNI 1725:2016 pasal 7.1 dan 7.2.

- Berat beton $= d_3 \cdot \gamma_{\text{Beton}} \cdot \gamma_{MS}^U$
 $= 0,2 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot 1,3$
 $= 6,24 \text{ kN/m}$
- Berat aspal $= d_4 \cdot \gamma_{\text{Aspal}} \cdot \gamma_{MS}^U$
 $= 0,05 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot 1,3$
 $= 1,43 \text{ kN/m}$
- $q_{D(U)}$ $= \text{Berat beton} + \text{berat aspal}$
 $= 6,24 \text{ kN/m} + 1,43 \text{ kN/m}$
 $= 7,67 \text{ kN/m}$

- Perhitungan Beban Hidup

Perhitungan beban hidup akan menggunakan beban yang berasal dari beban lajur “D” dan beban truk “T” seperti pada SNI 1725:2016 pasal 8.3 dan 8.4. Beban Truk dan Beban Garis Terpusat (BGT) harus dikalikan dengan nilai Faktor Beban Dinamis (FBD). FBD untuk beban truk dan BGT berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 8.6 adalah 30%. Dari kedua beban tersebut, digunakan beban yang menimbulkan momen dan gaya geser yang terbesar pada pelat lantai.

- Beban terbagi rata (BTR)
 $q_{L(BTR)} = 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot \gamma_{TD}^U \cdot 1 \text{ m}$
 $= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 2 \cdot 1 \text{ m}$
 $= 11,93 \text{ kN/m}$

- Beban garis terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
 p_{L(\text{BGT})} &= (1+\text{FBD}) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot \gamma_{\text{TD}}^u \\
 &= (1+0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot 2 \\
 &= 127,4 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$
- Beban truk “T”

$$\begin{aligned}
 T_{\text{FBD}} &= (1 + 0,3) \cdot 112,5 \\
 &= 146,25 \text{ kN} \\
 T_{(\text{U})} &= T_{\text{FBD}} \cdot \gamma_{\text{TT}}^u \\
 &= 146,25 \cdot 2 \\
 &= 292,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.1.3. Perhitungan Momen Arah Melintang

Perhitungan momen – momen arah melintang (bentang pendek) akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

- Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned}
 M_{\text{D(U)}} &= \frac{1}{10} \cdot q_{\text{D}} \cdot b_1^2 \\
 &= 1/10 \cdot 7,67 \cdot 1,7^2 \\
 &= 2,22 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$
- Momen akibat beban lajur

$$\begin{aligned}
 M_{\text{L(U)}} &= \frac{1}{10} \cdot q_{\text{L(BGT)+L(BTR)}} \cdot b_1^2 \\
 &= 1/10 \cdot (11,93 + 127,4) \cdot 1,7^2 \\
 &= 40,27 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$
- Momen akibat beban truk

$$\begin{aligned}
 M_{\text{T(U)}} &= 0,8 \cdot \frac{S+0,6}{10} \cdot T_{(\text{U})}, \text{ dimana } S = b_1 \\
 &= 0,8 \cdot ((1,7+0,6)/10) \cdot 292,5 \\
 &= 53,82 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$
- Momen total

Momen total merupakan hasil penjumlahan dari momen akibat beban mati dan momen akibat beban truk. Momen

akibat beban hidup yang dipilih adalah beban truk dikarenakan perbandingan nilai momen akibat beban lajur dan beban truk menunjukkan bahwa nilai dari momen akibat beban truk lebih besar.

$$\begin{aligned} M_{\text{Total(U)}} &= M_{\text{D(U)}} + M_{\text{T(U)}} \\ &= 2,22 + 53,82 \\ &= 56,04 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4.1.4. Perhitungan Penulangan Lentur Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Data – data yang diketahui adalah sebagai berikut:

- Data material

Mutu Beton ($f'c$)	= 40 Mpa
Mutu Baja (f_y)	= 420 Mpa
Tebal Pelat (H)	= 200 mm
Selimut Beton (cover)	= 40 mm
Tulangan Lentur Arah x (dlx)	= D16 mm
Tulangan Lentur Arah y (dly)	= -
Tulangan Susut (dls)	= D13 mm
Tinggi efektif x [$d=H\text{-cover-dlx}/2$]	= 152 mm
- Beban yang bekerja
 $M_{ux} = 56,04 \text{ kN.m} = 56040000 \text{ N.mm}$
- Bentang
 $L_x = 1,7 \text{ m}$

Berikut ini adalah perhitungan perencanaan tulangan untuk pelat lantai kendaraan Jembatan Sipait. Dari SNI 2847:2013 didapatkan nilai ρ_{Max} dan ρ_{Min} sebagai berikut:

- $\rho_{\text{Max}} = 0,025$ (SNI 2847:2013 Ps. 21.5.2.1)
- $\rho_{\text{Min}} = 0,0025$ (SNI 2847:2013 Ps. 11.9.9.2)

Untuk menghitung ρ_{Perlu} , diperlukan perhitungan R_n terlebih dahulu.

- $R_n = \frac{M_{\text{Total(U)}}}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{56040000}{0,75 \cdot 1000 \cdot 152^2} = 3,234$
- $\rho_{\text{Perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c}} \right)$
 $= \frac{0,85 \cdot 40}{420} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3,234}{0,85 \cdot 40}} \right)$
 $= 0,0081$

Karena $\rho_{\text{Min}} < \rho_{\text{Perlu}} < \rho_{\text{Max}}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\text{Perlu}} = 0,0081$. Menurut SNI 2847-2013 besarnya As pasang harus melebihi 1/3 dari As perlu, maka:

- $A_{S\text{Perlu}} = 4/3 \cdot \rho_{\text{Perlu}} \cdot b \cdot d$
 $= 4/3 \cdot 0,0081 \cdot 1000 \cdot 152$
 $= 1641,6 \text{ mm}^2$
- $S_{\text{Perlu}} = 1000 / A_{S\text{Perlu}} / A_{\text{Tulangan}}$
 $= 1000 / 1641,6 / 201,1$
 $= 122,5 \text{ mm}$, digunakan $S = 100 \text{ mm}$

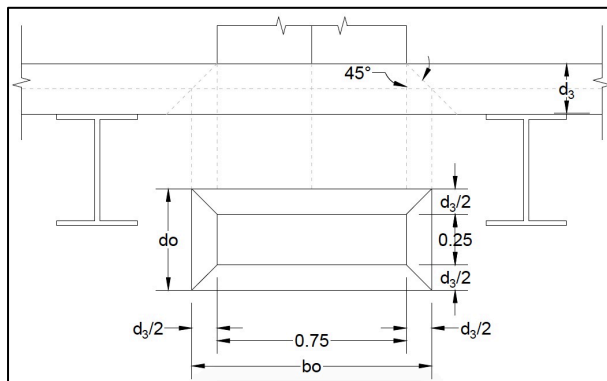
Dari hasil analisa perhitungan penulangan diatas didapatkan bahwa kebutuhan penulangan arah x (bentang pendek) adalah D16-100. Untuk penulangan susut dipakai ketentuan sebagai berikut:

- $\rho_{\text{Pakai}} = 0,002$
- $A_{S\text{Perlu}} = \rho_{\text{Pakai}} \cdot b \cdot d$
 $= 0,0025 \cdot 1000 \cdot 152$
 $= 380 \text{ mm}^2$
- $S_{\text{Perlu}} = 1000 / A_{S\text{Perlu}} / A_{\text{Tulangan}}$
 $= 1000 / 380 / 132,7$
 $= 349,2 \text{ mm}$
- $S_{\text{Pasang}} = 250 \text{ mm}$

Dari hasil analisa perhitungan penulangan diatas didapatkan bahwa kebutuhan penulangan susut menggunakan D13-250.

4.1.5. Kontrol Penulangan Geser (*Pons*) Pelat Lantai Kendaraan

Perhitungan penulangan geser (*pons*) untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan ukuran roda truk sesuai dengan SNI 1725:2016 ps.8.4.1. Sedangkan untuk kemiringan sudut geser pons diambil sebesar 45° seperti pada Gambar 4.2. d_3 adalah tebal pelat = 0,2m, sehingga besarnya nilai b_o , d_o , A_{Kritis} , ϕV_n , V_U dan kontrol kapasitas geser pons dari pelat lantai kendaraan dapat dihitung sebagai berikut:



Gambar 4.2 Sketsa Geser *Pons* Pelat Lantai Kendaraan

- $b_o = 0,75 + 2 \cdot (d_3 / 2) = 0,75 + 2 \cdot (0,1) = 0,95 \text{ m}$
- $d_o = 0,25 + 2 \cdot (d_3 / 2) = 0,25 + 2 \cdot (0,2) = 0,45 \text{ m}$
- $A_{Kritis} = 2 \cdot (b_o + d_o) \cdot d_3 = 2 \cdot (0,95 + 0,45) \cdot 0,2 = 0,56 \text{ m}$
- $\phi V_n = \phi \cdot 0,17 \cdot A_{Kritis} \cdot \sqrt{f'c} = 0,75 \cdot 0,17 \cdot 560000 \cdot \sqrt{40} = 451573,25 \text{ N} = 451,57 \text{ kN}$
- $V_U = T_{(U)} = 292,5 \text{ kN}$

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

4.2. Perencanaan Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang yang direncanakan pada jembatan ini ada 2 buah, gelagar pada segmen dengan $\lambda = 5,5$ m dan $\lambda = 5$ m. Perencanaan gelagar memanjang pada Jembatan Sipait yang akan dimodifikasi direncanakan menggunakan baja dengan mutu BJ 41, dengan ketentuan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan leleh (fy)} = 250 \text{ Mpa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan putus (fu)} = 410 \text{ Mpa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = 200000 \text{ Mpa} = 2000000 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.1. Perencanaan Gelagar Memanjang dengan $\lambda = 5,5$ m

Untuk perencanaan gelagar memanjang dengan $\lambda = 5,5$ m, dipilih terlebih dahulu profil WF 450x300x10x15 agar dapat menghitung beban mati yang akan bekerja. Profil WF yang digunakan memiliki properti material sebagai berikut.

$$W = 106 \text{ kg/m} \quad t_f = 15 \text{ mm} \quad S_x = 2160 \text{ cm}^3$$

$$A = 135 \text{ cm}^2 \quad I_x = 46800 \text{ cm}^4 \quad S_y = 448 \text{ cm}^3$$

$$d = 434 \text{ mm} \quad I_y = 6690 \text{ cm}^4 \quad Z_x = 2287 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 299 \text{ mm} \quad i_x = 18,6 \text{ cm} \quad Z_y = 681 \text{ cm}^3$$

$$t_w = 10 \text{ mm} \quad i_y = 7,04 \text{ cm} \quad r = 24 \text{ mm}$$

$$h = d - 2(t_f + r) = 356 \text{ mm}$$

4.2.1.1. Pembebanan Gelagar Memanjang

Pembebanan pada gelagar memanjang sesuai dengan SNI 1725:2016.

- Beban mati

$$\text{Pelat beton} = 0,2 \cdot 1,7 \cdot 24 \cdot (1,3) = 10,61 \text{ kN/m}$$

$$\text{Aspal} = 0,05 \cdot 1,7 \cdot 22 \cdot (1,3) = 2,43 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bekisting} = 0,05 \cdot 1,7 \cdot 7,8 \cdot (1,4) = 0,86 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri} = 106 \cdot (1,1) = 116,60 \text{ kg/m} = 1,14 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_{D(U)} &= 10,61 + 2,43 + 0,86 + 1,14 \\ &= 15,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban lajur “D”

Beban terbagi rata

$$\begin{aligned} q_{L(BTR)} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot b_1 \cdot \gamma_{TD}^u \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 1,7 \cdot (2,0) \\ &= 20,29 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban garis terpusat

$$\begin{aligned} p_{L(BGT)} &= (1+FBD) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot b_1 \cdot \gamma_{TD}^u \\ &= (1+0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot 1,7 \cdot (2,0) \\ &= 216,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Beban truk “T”

$$\begin{aligned} T_{FBD} &= (1 + 0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN} \\ T_{(U)} &= T_{FBD} \cdot \gamma_{TT}^u \\ &= 146,25 \cdot (2,0) \\ &= 292,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2.1.2. Perhitungan Momen Gelagar Memanjang

Perhitungan momen – momen yang terjadi pada gelagar memanjang akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

- Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned} M_{D(U)} &= 1/8 \cdot q_{D(U)} \cdot \lambda^2 \\ &= 1/8 \cdot 15,04 \cdot 5,5^2 \\ &= 56,89 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban lajur

$$\begin{aligned} M_{L(U)} &= (1/8 \cdot q_{L(BTR)} \cdot \lambda^2) + (1/4 \cdot p_{L(BGT)} \cdot \lambda) \\ &= (1/8 \cdot 20,29 \cdot 5,5^2) + (1/4 \cdot 216,58 \cdot 5,5) \\ &= 374,52 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban truk

$$\begin{aligned} M_{T(U)} &= 1/4 \cdot T_{(U)} \cdot \lambda \\ &= 1/4 \cdot 292,5 \cdot 5,5 \\ &= 402,19 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen total

Momen total merupakan hasil penjumlahan dari momen akibat beban mati dan momen akibat beban truk. Momen akibat beban hidup yang dipilih adalah beban truk dikarenakan perbandingan nilai momen akibat beban lajur dan beban truk menunjukkan bahwa nilai dari momen akibat beban truk lebih besar.

$$\begin{aligned} M_{Total(U)} &= M_{D(U)} + M_{T(U)} \\ &= 56,89 + 402,19 \\ &= 459,08 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4.2.1.3. Perhitungan Gaya Geser Gelagar Memanjang

Perhitungan gaya geser yang terjadi pada gelagar memanjang akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

- Gaya geser akibat beban mati

$$\begin{aligned} V_{MAX} &= q_{D(U)} \cdot 0,5 \cdot \lambda \\ &= 15,04 \text{ kN/m} \cdot 0,5 \cdot 5,5 \\ &= 41,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya geser akibat beban lajur “D”

$$\begin{aligned} V_{MAX} &= (p_{L(BGT)} \cdot 1) + (q_{L(BTR)} \cdot 0,5 \cdot \lambda) \\ &= (216,58 \text{ kN} \cdot 1) + (20,29 \text{ kN/m} \cdot 0,5 \cdot 5,5) \\ &= 272,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya geser akibat beban truk “T”

$$V_{MAX} = 292,5 \text{ kN}$$

- Gaya geser total

Gaya geser total merupakan hasil penjumlahan dari gaya akibat beban mati dan gaya akibat beban truk. Gaya akibat beban hidup yang dipilih adalah beban truk dikarenakan perbandingan nilai gaya akibat beban lajur dan beban truk menunjukkan bahwa nilai dari gaya akibat beban truk lebih besar.

$$\begin{aligned} V_{a\text{Total}} &= 41,37 + 292,5 \\ &= 333,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2.1.4. Kontrol Profil Gelagar Memanjang

Kontrol profil yang dilakukan terhadap profil gelagar memanjang adalah kuat rencana momen lentur, kontrol lateral buckling, kuat rencana geser, dan lendutan yang mengacu pada RSNI-T-03-2005.

- Kuat rencana momen lentur

Kontrol penampang :

$$\text{Sayap : } \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \rightarrow \frac{299}{2 \cdot 15} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} \rightarrow 9,97 \leq 10,75 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan : } \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \rightarrow \frac{356}{10} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \rightarrow 35,60 \leq 106,25 \text{ (OK)}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot fy \\ &= 2287 \cdot 2500 \\ &= 5717500 \text{ kg.cm} = 560,89 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 560,89 \\ &= 504,80 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol $\phi M_n > M_{\text{Total}} \rightarrow 504,80 \text{ kN.m} > 459,08 \text{ kN.m}$
(OK)

- Kontrol *lateral buckling*

Dari panjang λ dan profil WF diketahui nilai L_B , L_P , dan L_r sebagai berikut:

- $L_B = 550 \text{ cm}$
- $L_P = 350,45 \text{ cm}$
- $L_r = 1023,58 \text{ cm}$

Karena $L_B < L_P < L_r$, maka termasuk bentang menengah, sehingga memiliki nilai M_n sebagai berikut:

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

Untuk mencari M_n , perlu dicari terlebih dahulu nilai dari M_R , M_P , dan C_b .

- Mencari nilai M_R ,

$$\begin{aligned} M_R &= S_x \cdot (f_y - f_r) \\ &= 2160 \cdot (2500 - 700) \\ &= 3888000 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

- Mencari nilai M_P

$$\begin{aligned} M_P &= Z_x \cdot f_y \\ &= 2287 \cdot 2500 \\ &= 5717500 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

- Mencari nilai C_b

$$\begin{aligned} V_a &= V_b \\ &= (q_{D(U)} \cdot \lambda) / 2 + T_{(U)} / 2 \\ &= (15,04 \cdot 5,5) / 2 + 292,5 / 2 \\ &= 187,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_A &= M_C \\ &= V_a \cdot 1,375 - (0,5 \cdot q_{D(U)} \cdot 1,375^2) \\ &= 187,62 \cdot 1,375 - (0,5 \cdot 15,04 \cdot 1,375^2) \\ &= 243,76 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{MAX} &= M_B \\ &= V_a \cdot 2,75 - (0,5 \cdot q_{D(U)} \cdot 2,75^2) \\ &= 187,62 \cdot 2,75 - (0,5 \cdot 15,04 \cdot 2,75^2) \\ &= 459,08 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5 \cdot M_{MAX}}{2,5 M_{MAX} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3 \\
 &= \frac{12,5 \cdot 412,64}{2,5 \cdot 412,64 + 3 \cdot 218,07 + 4 \cdot 412,64 + 3 \cdot 218,07} \\
 &= 1,291
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan $M_R = 3888000$ kg.cm, $M_P = 5717500$ kg.cm, dan $C_b = 1,291$. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, didapatkan nilai M_n sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_b \cdot \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \\
 &= 6678722,347 \text{ kg.cm} = 655,18 \text{ kN.m} \\
 \phi M_n &= 0,9 \cdot 655,18 \\
 &= 589,66 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Kontrol $\phi M_n > M_{Total} \rightarrow 606,09 \text{ kN.m} > 459,08 \text{ kN.m}$ (Ok)

- Kuat rencana geser

Kontrol penampang

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{356}{10} \leq \frac{1100}{\sqrt{250}} \rightarrow 35,6 \leq 69,57 \text{ (OK, Plastis)}$$

Kuat geser nominal (RSNI T-03-2005 ps.7.8.3)

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi \cdot f_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (35,6 \cdot 1,0) \\
 &= 53400 \text{ kg} = 523,85 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol $\phi V_n > V_{aTotal} \rightarrow 523,85 \text{ kN} > 330,11 \text{ kN}$ (OK)

- Kontrol lendutan

Nilai lendutan izin untuk sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah 1/1000 bentang. Dari syarat tersebut didapatkan Δ_{IZIN} dengan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta_{IZIN} &= L/1000 \\
 &= 500/1000 = 0,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Beban yang digunakan dalam perhitungan untuk lendutan adalah beban hidup tanpa faktor. Dibawah ini adalah perhitungan beban tanpa faktor.

- Beban lajur “D”

Beban terbagi rata

$$\begin{aligned} q_{L(BTR)} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot b_1 \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 1,7 \text{ m} \\ &= 10,14 \text{ kN/m} = 10,34 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban garis terpusat

$$\begin{aligned} P_{L(BGT)} &= (1+FBD) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot b_1 \\ &= (1+0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot 1,7 \text{ m} \\ &= 108,29 \text{ kN} = 11039 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Beban truk “T”

$$T_{FBD} = (1+0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN} = 14908 \text{ kg}$$

Nilai lendutan akibat beban lajur BGT + BTR

$$\begin{aligned} \Delta^O_{(BGT+BTR)} &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{L(BTR)}}{E} \cdot \frac{\lambda^4}{I_X} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{L(BGT)}}{E} \cdot \frac{\lambda^3}{I_X} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{10,34}{2 \cdot 10^6} \cdot \frac{550^4}{46800} + \frac{1}{48} \cdot \frac{11039}{2 \cdot 10^6} \cdot \frac{550^3}{46800} \\ &= 0,440 \text{ cm} \end{aligned}$$

Nilai lendutan akibat beban truk “T”

$$\begin{aligned} \Delta^O_{(T)} &= \frac{1}{48} \cdot \frac{T(u)}{E} \cdot \frac{\lambda^3}{I_X} \\ &= \frac{1}{48} \cdot \frac{14908}{2 \cdot 10^6} \cdot \frac{550^3}{46800} \\ &= 0,452 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan lendutan akibat beban yang terjadi diketahui bahwa $\Delta^O_{(BGT+BTR)} > \Delta^O_{(T)}$. Oleh karena itu, lendutan dari beban BGT+ BTR sebesar $\Delta^O_{(BGT+BTR)} = 0,452 \text{ cm}$ harus dikontrol terhadap lendutan izin.

$$\text{Kontrol } \Delta^O_{(BGT+BTR)} \leq \Delta_{IZIN} \rightarrow 0,452\text{cm} \leq 0,5\text{cm (OK)}$$

4.2.2. Perencanaan Gelagar Memanjang dengan $\lambda = 5\text{m}$

Untuk perencanaan gelagar memanjang dengan $\lambda = 5\text{m}$, dipilih terlebih dahulu profil WF 450x300x10x15 agar dapat menghitung beban mati yang akan bekerja. Profil WF yang digunakan memiliki properti material sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll} W = 106 \text{ kg/m} & t_f = 15 \text{ mm} & S_x = 2160 \text{ cm}^3 \\ A = 135 \text{ cm}^2 & I_x = 46800 \text{ cm}^4 & S_y = 448 \text{ cm}^3 \\ d = 434 \text{ mm} & I_y = 6690 \text{ cm}^4 & Z_x = 2287 \text{ cm}^3 \\ b_f = 299 \text{ mm} & i_x = 18,6 \text{ cm} & Z_y = 681 \text{ cm}^3 \\ t_w = 10 \text{ mm} & i_y = 7,04 \text{ cm} & r = 24 \text{ mm} \\ h = d - 2(t_f + r) = 356 \text{ mm} \end{array}$$

4.2.2.1. Pembebanan Gelagar Memanjang

Pembebanan pada gelagar memanjang sesuai dengan SNI 1725:2016.

- Beban mati

$$\text{Pelat beton} = 0,2 \cdot 1,7 \cdot 24 \cdot (1,3) = 10,61 \text{ kN/m}$$

$$\text{Aspal} = 0,05 \cdot 1,7 \cdot 22 \cdot (1,3) = 2,43 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bekisting} = 0,05 \cdot 1,7 \cdot 7,8 \cdot (1,4) = 0,86 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri} = 106 \cdot (1,1) = 116,60 \text{ kg/m} = 1,14 \text{ kN/m}$$

$$q_{D(U)} = 10,61 + 2,43 + 0,86 + 1,14$$

$$= 15,04 \text{ kN/m}$$

- Beban lajur “D”

Beban terbagi rata

$$q_{L(BTR)} = 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot b_1 \cdot \gamma_{TD}^u$$

$$= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 1,7 \cdot (2,0)$$

$$= 20,29 \text{ kN/m}$$

Beban garis terpusat

$$P_{L(BGT)} = (1+FBD) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot b_1 \cdot \gamma_{TD}^u$$

$$= (1+0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot 1,7 \cdot (2,0)$$

$$= 216,58 \text{ kN}$$

- Beban truk “T”

$$\begin{aligned} T_{\text{FBD}} &= (1 + 0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN} \\ T_{(U)} &= T_{\text{FBD}} \cdot \gamma_{\text{TT}}^u \\ &= 146,25 \cdot (2,0) \\ &= 292,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2.2.2. Perhitungan Momen Gelagar Memanjang

Perhitungan momen – momen yang terjadi pada gelagar memanjang akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

- Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned} M_{\text{D}(U)} &= 1/8 \cdot q_{\text{D}(U)} \cdot \lambda^2 \\ &= 1/8 \cdot 15,04 \cdot 5^2 \\ &= 47,01 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban lajur

$$\begin{aligned} M_{\text{L}(U)} &= (1/8 \cdot q_{\text{L}(BTR)} \cdot \lambda^2) + (1/4 \cdot p_{\text{L}(BGT)} \cdot \lambda) \\ &= (1/8 \cdot 20,29 \cdot 5^2) + (1/4 \cdot 216,58 \cdot 5) \\ &= 334,13 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban truk

$$\begin{aligned} M_{\text{T}(U)} &= 1/4 \cdot T_{(U)} \cdot \lambda \\ &= 1/4 \cdot 292,5 \cdot 5 \\ &= 365,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen total

Momen total merupakan hasil penjumlahan dari momen akibat beban mati dan momen akibat beban truk. Momen akibat beban hidup yang dipilih adalah beban truk dikarenakan perbandingan nilai momen akibat beban lajur dan beban truk menunjukkan bahwa nilai dari momen akibat beban truk lebih besar.

$$\begin{aligned} M_{\text{Total}(U)} &= M_{\text{D}(U)} + M_{\text{T}(U)} \\ &= 47,01 + 365,63 \\ &= 412,64 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4.2.2.3. Perhitungan Gaya Geser Gelagar Memanjang

Perhitungan gaya geser yang terjadi pada gelagar memanjang akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut.

- Gaya geser akibat beban mati

$$\begin{aligned} V_{\text{MAX}} &= q_{D(U)} \cdot 0,5 \cdot \lambda \\ &= 15,04 \text{ kN/m} \cdot 0,5 \cdot 5 \\ &= 37,61 \text{ kN} \end{aligned}$$
- Gaya geser akibat beban lajur “D”

$$\begin{aligned} V_{\text{MAX}} &= (p_{L(BGT)} \times 1) + (q_{L(BTR)} \cdot 0,5 \times \lambda) \\ &= (216,58 \text{ kN} \cdot 1) + (20,29 \text{ kN/m} \cdot 0,5 \cdot 5) \\ &= 267,30 \text{ kN} \end{aligned}$$
- Gaya geser akibat beban truk “T”

$$V_{\text{MAX}} = 292,5 \text{ kN}$$
- Gaya geser total

Gaya geser total merupakan hasil penjumlahan dari gaya akibat beban mati dan gaya akibat beban truk. Gaya akibat beban hidup yang dipilih adalah beban truk dikarenakan perbandingan nilai gaya akibat beban lajur dan beban truk menunjukkan bahwa nilai dari gaya akibat beban truk lebih besar.

$$\begin{aligned} V_{\text{Total}} &= 37,61 + 292,5 \\ &= 330,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2.2.4. Kontrol Profil Gelagar Memanjang

Kontrol profil yang dilakukan terhadap profil gelagar memanjang adalah kuat rencana momen lentur, kontrol lateral buckling, kuat rencana geser, dan lendutan yang mengacu pada RSNI-T-03-2005.

- Kuat rencana momen lentur

Kontrol penampang

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{299}{2 \cdot 15} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} \rightarrow 9,97 \leq 10,75 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{356}{10} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow 35,60 \leq 106,25 \text{ (OK)}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 2287 \cdot 2500 \\ &= 5717500 \text{ kg.cm} = 560,89 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 560,89 \\ &= 504,80 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol } \phi M_n > M_{\text{Total}} \rightarrow 504,80 \text{ kN.m} > 412,64 \text{ kN.m (OK)}$$

- Kontrol *lateral buckling*

Dari panjang λ dan profil WF diketahui nilai L_B ,

L_P , dan L_r sebagai berikut:

- $L_B = 500 \text{ cm}$
- $L_P = 350,45 \text{ cm}$
- $L_r = 1023,58 \text{ cm}$

Karena $L_B < L_P < L_r$, maka termasuk bentang menengah, sehingga memiliki nilai M_n sebagai berikut:

$$M_n = C_b \cdot \left[M_R + (M_P + M_R) \frac{L_r - L_B}{L_r - L_P} \right]$$

Untuk mencari M_n , perlu dicari terlebih dahulu nilai dari M_R , M_P , dan C_b .

- Mencari nilai M_R ,

$$\begin{aligned} M_R &= S_x \cdot (f_y - f_r) \\ &= 2160 \cdot (2500 - 700) \\ &= 3888000 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

- Mencari nilai M_P

$$\begin{aligned} M_P &= Z_X \cdot f_y \\ &= 2287 \cdot 2500 \\ &= 5717500 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

- Mencari nilai C_b

$$\begin{aligned} V_a &= V_b \\ &= (q_{D(U)} \cdot \lambda) / 2 + T_{(U)} / 2 \\ &= (15,04 \cdot 5) / 2 + 292,5 / 2 \\ &= 183,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_A &= M_C \\ &= V_a \cdot 1,25 - (0,5 \cdot q_{D(U)} \cdot 1,25^2) \\ &= 183,86 \cdot 1,25 - (0,5 \cdot 15,04 \cdot 1,25^2) \\ &= 218,07 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{MAX} &= M_B \\ &= V_a \cdot 2,5 - (0,5 \cdot q_{D(U)} \cdot 2,5^2) \\ &= 183,86 \cdot 2,5 - (0,5 \cdot 15,04 \cdot 2,5^2) \\ &= 412,64 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5 \cdot M_{MAX}}{2,5 M_{MAX} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3 \\ &= \frac{12,5 \cdot 412,64}{2,5 \cdot 412,64 + 3 \cdot 218,07 + 4 \cdot 412,64 + 3 \cdot 218,07} \leq 2,3 \\ &= 1,293 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan $M_R = 3888000$ kg.cm, $M_P = 5717500$ kg.cm, dan $C_b = 1,293$. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, didapatkan nilai M_n sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \cdot \left[M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P} \right] \\ &= 6864711,747 \text{ kg.cm} = 673,43 \text{ kN.m} \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 673,43 \\ &= 606,09 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol $\phi M_n > M_{Total} \rightarrow 606,09 \text{ kN.m} > 412,64 \text{ kN.m}$ (OK)

- Kuat rencana geser

Kontrol penampang :

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{356}{10} \leq \frac{1100}{\sqrt{250}} \rightarrow 35,6 \leq 69,57 \text{ (OK, Plastis)}$$

Kuat geser nominal (RSNI T-03-2005 ps.7.8.3)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (35,6 \cdot 1,0) \\ &= 53400 \text{ kg} = 523,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol $\phi V_n > V_{a_{\text{Total}}} \rightarrow 523,85 \text{ kN} > 330,11 \text{ kN}$ (OK)

- Kontrol lendutan

Nilai lendutan izin untuk sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah 1/1000 bentang. Dari syarat tersebut didapatkan Δ_{IZIN} dengan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{IZIN}} &= L/1000 \\ &= 500/1000 \\ &= 0,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Beban yang digunakan dalam perhitungan untuk lendutan adalah beban hidup tanpa faktor. Dibawah ini adalah perhitungan beban tanpa faktor.

- Beban lajur “D”

Beban terbagi rata

$$\begin{aligned} q_{L(\text{BTR})} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot b_1 \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 1,7 \text{ m} \\ &= 10,14 \text{ kN/m} = 10,34 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban garis terpusat

$$\begin{aligned} P_{L(\text{BGT})} &= (1+\text{FBD}) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot b_1 \\ &= (1+0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot 1,7 \text{ m} \\ &= 108,29 \text{ kN} = 11039 \text{ kg} \end{aligned}$$

- o Beban truk “T”

$$T_{\text{FBD}} = (1+0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN} = 14908 \text{ kg}$$

Nilai lendutan akibat beban lajur BGT + BTR

$$\begin{aligned} \Delta^{\text{O}}_{(\text{BGT+BTR})} &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{L(BTR)}}}{E} \cdot \frac{\lambda^4}{I_X} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{\text{L(BGT)}}}{E} \cdot \frac{\lambda^3}{I_X} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{10,34}{2 \cdot 10^6} \cdot \frac{500^4}{46800} + \frac{1}{48} \cdot \frac{11039}{2 \cdot 10^6} \cdot \frac{500^3}{46800} \\ &= 0,397 \text{ cm} \end{aligned}$$

Nilai lendutan akibat beban truk “T”

$$\begin{aligned} \Delta^{\text{O}}_{(\text{T})} &= \frac{1}{48} \cdot \frac{T(U)}{E} \cdot \frac{\lambda^3}{I_X} \\ &= \frac{1}{48} \cdot \frac{14908}{2 \cdot 10^6} \cdot \frac{500^3}{46800} \\ &= 0,415 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan lendutan akibat beban yang terjadi diketahui bahwa $\Delta^{\text{O}}_{(\text{BGT+BTR})} > \Delta^{\text{O}}_{(\text{T})}$. Oleh karena itu, lendutan dari beban BGT+ BTR sebesar $\Delta^{\text{O}}_{(\text{BGT+BTR})} = 0,415 \text{ cm}$ harus dikontrol terhadap lendutan izin.

$$\text{Kontrol } \Delta^{\text{O}}_{(\text{BGT+BTR})} \leq \Delta_{\text{IZIN}} \rightarrow 0,415 \text{ cm} \leq 0,5 \text{ cm (OK)}$$

4.3. Perencanaan Gelagar Melintang

Gelagar melintang yang direncanakan pada jembatan ini ada 2 buah, gelagar pada segmen dengan $\lambda = 5,5 \text{ m}$ dan $\lambda = 5 \text{ m}$. Perencanaan gelagar melintang pada Jembatan Sipait yang akan dimodifikasi direncanakan menggunakan baja dengan mutu BJ 41, dengan ketentuan sebagai berikut:

- Tegangan leleh (f_y) = 250 Mpa = 2500 kg/cm²
- Tegangan putus (f_u) = 410 Mpa = 4100 kg/cm²
- Modulus elastisitas (E) = 200000 Mpa = 2000000 kg/cm²

4.3.1. Perencanaan Gelagar Melintang dengan $\lambda = 5,5$ m

Untuk perencanaan gelagar melintang dengan $\lambda = 5,5$ m, dipilih terlebih dahulu profil WF 900x300x15x23 agar dapat menghitung beban mati yang akan bekerja. Profil WF yang digunakan memiliki properti material sebagai berikut:

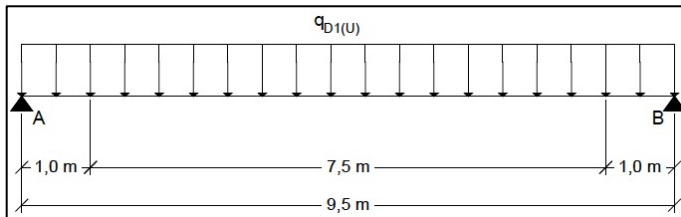
$W = 213 \text{ kg/m}$	$t_f = 23 \text{ mm}$	$S_x = 7760 \text{ cm}^3$
$A = 270,9 \text{ cm}^2$	$I_x = 345000 \text{ cm}^4$	$S_y = 688 \text{ cm}^3$
$d = 890 \text{ mm}$	$I_y = 10300 \text{ cm}^4$	$Z_x = 8634 \text{ cm}^3$
$b_f = 299 \text{ mm}$	$i_x = 35,7 \text{ cm}$	$Z_y = 1076 \text{ cm}^3$
$t_w = 15 \text{ mm}$	$i_y = 6,16 \text{ cm}$	$r = 28 \text{ mm}$
$h = d - 2(t_f + r) = 788 \text{ mm}$		

4.3.1.1. Pembebanan Gelagar Melintang

Pembebanan pada gelagar memanjang sesuai dengan SNI 1725:2016.

- Beban mati sebelum komposit

Beban yang bekerja pada gelagar melintang sebelum komposit adalah beban dari pelat beton, bekisting, berat balok memanjang, dan berat dari balok melintang itu sendiri. Seluruh beban tersebut dijumlahkan menjadi $q_{D1(U)}$ dengan sketsa pembebanan seperti pada Gambar 4.3.



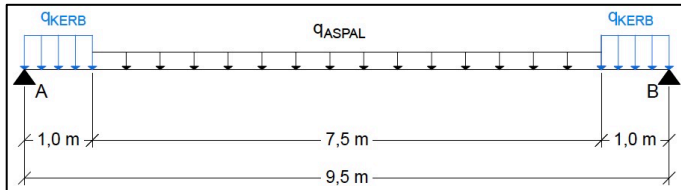
Gambar 4.3 Sketsa Beban Mati Sebelum Komposit

Pelat beton	$= 0,2 \cdot 5,5 \cdot 24 \cdot (1,3) = 34,32 \text{ kN/m}$
Bekisting	$= 0,05 \cdot 5,5 \cdot 7,8 \cdot (1,4) = 3,00 \text{ kN/m}$
Gelagar melintang	$= 213 \cdot (1,1)$
	$= 234,30 \text{ kg/m} = 2,3 \text{ kN/m}$

$$\begin{aligned} \text{Gelagar memanjang} &= \left(\frac{106 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 5,5 \text{ m}}{1,7 \text{ m}} \right) \cdot (1,1) \\ &= 377,24 \text{ kg/m} = 3,70 \text{ kN/m} \\ q_{D1(U)} \text{ (Total)} &= 34,32 + 3,00 + 2,3 + 3,7 \\ &= 43,32 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- **Beban mati setelah komposit**

Beban tambahan yang bekerja pada gelagar melintang setelah komposit adalah tambahan beban dari aspal dan kerb. Sketsa pembebanan dari aspal dan kerb dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Sketsa Beban Mati Setelah Komposit

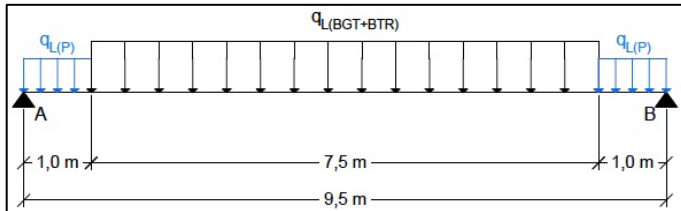
$$\begin{aligned} \text{Aspal} &= 0,05 \cdot 5,5 \cdot 22 \cdot (1,3) = 7,87 \text{ kN/m} \\ \text{Kerb} &= 0,2 \cdot 5,5 \cdot 24 \cdot (1,3) = 34,32 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- **Beban lajur “D” dan pejalan kaki**

Salah satu kombinasi dari beban hidup yang akan dihitung adalah kombinasi dari beban garis terpusat ($q_{L(BGT)}$), beban terbagi rata ($q_{L(BTR)}$), dan beban pejalan kaki ($q_{L(P)}$). Sketsa dari pembebanan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.

- **Beban terbagi rata**

$$\begin{aligned} q_{L(BTR)} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^u \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 5,5 \cdot (2,0) \\ &= 65,64 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Sketsa Beban Lajur “D” dan Pejalan Kaki

- Beban garis terpusat

$$q_{L(BGT)} = (1 + FBD) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot \gamma_{TD}^u$$

$$= (1 + 0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot (2,0)$$

$$= 127,40 \text{ kN/m}$$
- Beban pejalan kaki

$$q_{L(P)} = 5 \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TP}^u$$

$$= 55 \text{ kN/m}$$
- Beban truk “T” dan pejalan kaki

Kombinasi beban lainnya untuk beban hidup adalah kombinasi antara beban truk dan beban pejalan kaki. Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.4.2, beban dari truk harus diletakkan pada tengah – tengah lajur lalu lintas rencana. Sketsa dari pembebanan truk dan pejalan kaki dapat dilihat pada Gambar 4.6.

 - Beban truk “T”

$$T_{FBD} = (1 + 0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN}$$

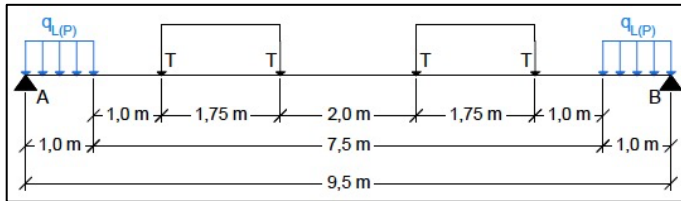
$$T_{(U)} = T_{FBD} \cdot \gamma_{TT}^u$$

$$= 146,25 \cdot (2,0)$$

$$= 292,5 \text{ kN}$$
 - Beban pejalan kaki

$$q_{L(P)} = 5 \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TP}^u$$

$$= 55 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.6 Sketsa Beban Truk dan Pejalan Kaki

4.3.1.2. Perhitungan Momen Gelagar Melintang

Perhitungan momen – momen yang terjadi pada gelagar melintang akibat beban-beban yang bekerja dapat dilihat sebagai berikut:

- Momen akibat beban mati sebelum komposit

$$\begin{aligned} M_{D1(U)} &= 1/8 \cdot q_{D1(U)} \cdot L_{Melintang}^2 \\ &= 488,73 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban mati setelah komposit

Mencari R_A

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot L = M_{Kerb1} + M_{Aspal} + M_{Kerb2}$$

$$\begin{aligned} R_A \cdot 9,5 &= 1 \times 34,32 \times (9) + 7,5 \times 7,87 \times (4,75) \\ &\quad + 1 \times 34,32 \times (0,5) \end{aligned}$$

$$R_A = 63,81 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{D2(U)} &= R_A \cdot (4,75) - q_{Kerb} \cdot 1 \cdot (4,25) \\ &\quad - q_{Aspal} \cdot 3,75 \cdot (1,875) \\ &= 101,95 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot L = M_{L(P)1} + M_{L(BGT+BTR)} + M_{L(P)2}$$

$$\begin{aligned} R_A \cdot 9,5 &= 1 \cdot 55,0 \cdot (9) + 7,5 \cdot (65,64 \\ &\quad + 127,4) \cdot (4,75) + 1 \cdot 55,0 \cdot (0,5) \end{aligned}$$

$$R_A = 778,90 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_{L1} &= R_A \cdot (4,75) - q_{L(P)} \cdot 1 \cdot (4,25) - [q_{L(BGT+BTR)} \\
 &\quad \times 3,75 \cdot (1,875)] \\
 &= 2108,73 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban truk “T” dan pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_B &= 0 \\
 R_A \cdot L &= M_{L(P)1} + M_{T(U)} + M_{L(P)2} \\
 R_A \cdot 9,5 &= 1 \cdot 55,0 \cdot (9) + 292,5 \cdot (2 + 3,75 + 5,75 \\
 &\quad + 7,5) + 1 \cdot 55,0 \cdot (0,5) \\
 R_A &= 640 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{L2} &= R_A \cdot (4,75) - T_{(U)} \cdot (1 + 2,75) \\
 &\quad - q_{L(P)} \cdot 1 \cdot (0,5) \\
 &= 1915,63 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Momen Total

Momen total merupakan hasil penjumlahan dari momen akibat beban mati dan momen akibat beban lajur serta pejalan kaki. Momen akibat beban hidup yang dipilih adalah beban lajur dan pejalan kaki dikarenakan perbandingan nilai momen akibat beban lajur dan beban truk menunjukkan bahwa nilai dari momen akibat beban lajur lebih besar.

$$\begin{aligned}
 M_{Total(U)} &= M_{D1(U)} + M_{D2(U)} + M_{L1} \\
 &= 488,73 + 101,95 + 2108,73 \\
 &= 2581,23 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

4.3.1.3. Perhitungan Gaya Geser Gelagar Melintang

Perhitungan gaya geser yang terjadi pada gelagar melintang akibat beban hidup dan mati yang bekerja dapat dilihat sebagai berikut.

- Gaya geser akibat beban mati sebelum komposit

$$\begin{aligned}
 V_{MAX} &= 0,5 \cdot q_{D(U)} \cdot L_{Melintang} \\
 &= 0,5 \cdot 43,32 \cdot 9,5 \\
 &= 205,78 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser akibat beban mati setelah komposit

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_{MAX} \cdot L = M_{Kerb1} + M_{Aspal} + M_{Kerb2}$$

$$V_{MAX} \cdot 9,5 = 1 \cdot 34,32 \cdot (9) + 7,5 \cdot 7,87 \cdot (4,75) + 1 \cdot 34,32 \cdot (0,5)$$

$$V_{MAX} = 63,81 \text{ kN}$$
- Momen akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_{MAX} \cdot L = M_{L(P)1} + M_{L(BGT+BTR)} + M_{L(P)2}$$

$$R_{MAX} \cdot 9,5 = 1 \cdot 55,0 \cdot (9) + 7,5 \cdot (65,64 + 127,4) \cdot (4,75) + 1 \cdot 55,0 \cdot (0,5)$$

$$V_{MAX} = 778,90 \text{ kN}$$
- Gaya geser akibat beban truk “T” dan pejalan kaki

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_{MAX} \cdot L = M_{L(P)1} + M_{T(U)} + M_{L(P)2}$$

$$V_{MAX} \cdot 9,5 = 1 \cdot 55,0 \cdot (9) + 292,5 \cdot (2 + 3,75 + 5,75 + 7,5) + 1 \cdot 55,0 \cdot (0,5)$$

$$V_{MAX} = 640 \text{ kN}$$
- Gaya geser total

Gaya geser total merupakan hasil penjumlahan dari gaya akibat beban mati sebelum komposit, setelah komposit, dan beban hidup lajur “D” serta pejalan kaki. Gaya akibat beban hidup yang dipilih adalah beban lajur “D” dan pejalan kaki dikarenakan perbandingan nilai gaya akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki dengan beban truk dan pejalan kaki menunjukkan bahwa nilai dari gaya akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki lebih besar.

$$V_{Total} = 205,78 + 63,81 + 778,90$$

$$= 1048,50 \text{ kN}$$

4.3.1.4. Kontrol Profil Gelagar Melintang

Kontrol profil yang dilakukan terhadap profil gelagar melintang adalah kuat rencana momen lentur, kontrol lateral buckling, kuat rencana geser, dan lendutan yang mengacu pada RSNI-T-03-2005.

- Kontrol lendutan

Nilai lendutan izin untuk sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah 1/1000 bentang. Dari syarat tersebut didapatkan Δ_{IZIN} dengan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta_{IZIN} &= L/1000 \\ &= 950/1000 \\ &= 0,95 \text{ cm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 8.4.6.1, beban yang digunakan dalam perhitungan untuk lendutan adalah beban hidup tanpa faktor akibat beban satu truk atau BTR. Di bawah ini adalah perhitungan beban tanpa faktor.

- Beban terbagi rata

$$\begin{aligned}q_{L(BTR)} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot \lambda \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 5,5 \text{ m} \\ &= 32,82 \text{ kN/m} = 3345,63 \text{ kg}\end{aligned}$$

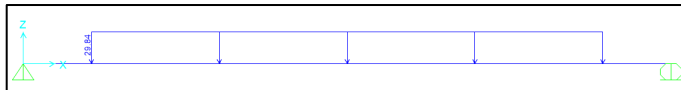
- Beban truk "T"

$$T_{FBD} = (1+0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN} = 14908 \text{ kg}$$

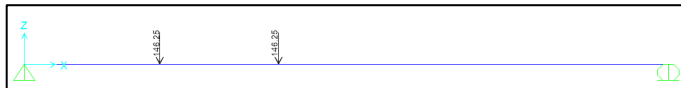
Perhitungan lendutan untuk balok melintang menggunakan program bantu SAP2000. Permodelan untuk beban BTR dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan beban truk pada Gambar 4.8. Hasil lendutan dari program bantu SAP2000 untuk lendutan akibat BTR dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan akibat beban truk pada Gambar 4.10.

Dari hasil tersebut diketahui bahwa lendutan akibat BTR sebesar 0,493 cm dan lendutan akibat beban truk sebesar 0,605 cm. Angka tersebut menunjukkan bahwa lendutan akibat beban truk menjadi lendutan yang perlu dikontrol dengan lendutan izin.

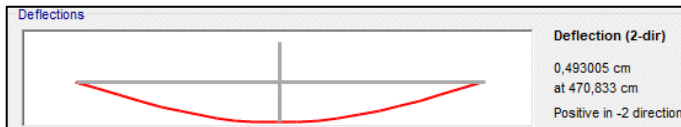
$$\text{Kontrol } \Delta_{T(U)}^0 \leq \Delta_{IZIN} \rightarrow 0,605 \text{ cm} \leq 0,95 \text{ cm (OK)}$$



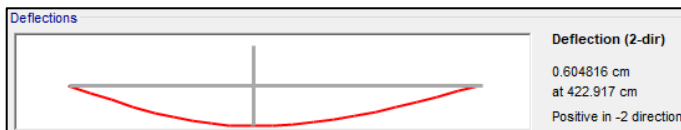
Gambar 4.7 Permodelan Beban Terbagi Rata



Gambar 4.8 Permodelan Beban Truk



Gambar 4.9 Lendutan Akibat Beban BTR



Gambar 4.10 Lendutan Akibat Beban Truk

- Kuat rencana geser
Kontrol Penampang :
$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{788}{15} \leq \frac{1100}{\sqrt{250}} \rightarrow 52,53 \leq 69,57 \text{ (OK, Plastis)}$$

Kuat geser nominal (RSNI T-03-2005 ps.7.8.3)

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (78,8 \cdot 1,5) \\ &= 177300 \text{ kg} = 1739,31 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kontrol $\phi V_n > V_{a_{\text{Total}}} \rightarrow 1739,31 \text{ kN} > 997,61 \text{ kN}$ (OK)

- Kuat rencana momen lentur sebelum komposit

Kontrol Penampang :

$$\text{Sayap: } \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{299}{2 \cdot 23} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} \rightarrow 6,50 \leq 10,75 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan: } \frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{788}{15} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow 52,53 \leq 106,25 \text{ (OK)}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 8634 \cdot 2500 \\ &= 21585000 \text{ kg.cm} = 2117,49 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 2117,49 \\ &= 1905,74 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Kontrol $\phi M_n > M_{\text{Total}} \rightarrow 1905,74 \text{ kN.m} > 488,73 \text{ kN.m}$ (OK)

- Kuat rencana momen lentur setelah komposit

- Perhitungan lebar efektif pelat

Lebar efektif pelat menurut AASHTO pasal 4.6.2.6 diambil yang terkecil dari:

$$b_{\text{eff}} = 5500 \text{ mm (jarak antar balok melintang)}$$

$$\begin{aligned}b_{\text{eff}} &= 12 \cdot d_3 + (b_f/2) = 12 \cdot 200 + (299/2) \\ &= 2549,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$b_{\text{eff}} = L_{\text{Melintang}} / 4 = 9,5 / 4 = 2375 \text{ mm}$$

Maka diambil $b_{\text{eff}} = 2375 \text{ mm} = 2,375 \text{ m}$

- o Perhitungan kapasitas momen setelah komposit
Kontrol kegagalan struktur pada beton:

$$\begin{aligned} C_C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot b_3 \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 2375 \cdot 200 = 16150 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol kegagalan struktur pada baja:

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y = (270,9 \cdot 100) \cdot 250 \\ &= 6772500 \text{ N} = 6772,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menentukan harga a (tinggi *stress block*) pada pelat beton.

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_{\text{eff}}} \\ &= \frac{6772500}{0,85 \cdot 40 \cdot 2375} \\ &= 83,87 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm, artinya hanya} \\ &\text{sebagian saja dari beton yang tertekan.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= T \cdot (d_1 + d_2) \\ &= T \cdot \left(\left(d_3 - \frac{a}{2} \right) + \left(\frac{h}{2} \right) \right) \\ &= 6772,5 \cdot \left(\left(200 - \frac{83,87}{2} \right) + \left(\frac{788}{2} \right) \right) \\ &= 3738,86 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,85 \cdot Mn \\ &= 0,85 \cdot 3738,86 = 3178,03 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol $\phi Mn > M_{\text{Total(U)}} \rightarrow 3178 \text{ kN.m} > 2699 \text{ kN.m}$ (Ok)

- Perhitungan kebutuhan *shear connector*
Menggunakan *shear connector* D-25 dengan $A_s = 490,87 \text{ mm}^2$.

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{40} \\ &= 29725,41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_s \cdot (f'_c \cdot E_c)^{0,5} = 267627,3 \text{ N} \\ &= 267,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_n = T = 6772,5 \text{ kN}$$

$$n = V_n / Q_n = 6772,5 / 267,63 = 25,3$$

$$\approx 26 \text{ buah untuk } \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

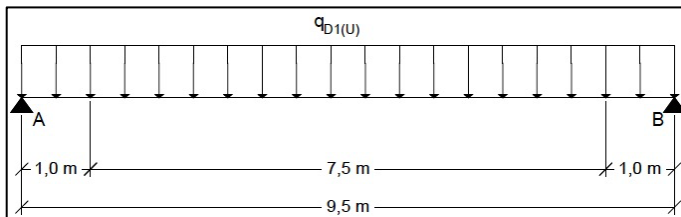
4.3.2. Perencanaan Gelagar Melintang dengan $\lambda = 5 \text{ m}$

Untuk perencanaan gelagar melintang, dipilih terlebih dahulu profil WF 900x300x15x23 agar dapat menghitung beban mati yang akan bekerja. Profil WF yang digunakan memiliki properti material sebagai berikut:

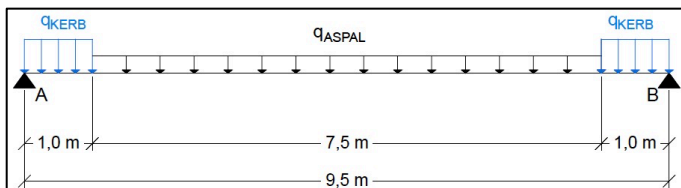
$W = 213 \text{ kg/m}$	$t_f = 23 \text{ mm}$	$S_x = 7760 \text{ cm}^3$
$A = 270,9 \text{ cm}^2$	$I_x = 345000 \text{ cm}^4$	$S_y = 688 \text{ cm}^3$
$d = 890 \text{ mm}$	$I_y = 10300 \text{ cm}^4$	$Z_x = 8634 \text{ cm}^3$
$b_f = 299 \text{ mm}$	$i_x = 35,7 \text{ cm}$	$Z_y = 1076 \text{ cm}^3$
$t_w = 15 \text{ mm}$	$i_y = 6,16 \text{ cm}$	$r = 28 \text{ mm}$
$h = d - 2(t_f + r) = 788 \text{ mm}$		

4.3.2.1. Pembebanan Gelagar Melintang

Pembebanan pada gelagar memanjang sesuai dengan SNI 1725:2016.



Gambar 4.11 Sketsa Beban Mati Sebelum Komposit



Gambar 4.12 Sketsa Beban Mati Setelah Komposit

- Beban mati sebelum komposit

Beban yang bekerja pada gelagar melintang sebelum komposit adalah beban dari pelat beton, bekisting, berat balok memanjang, dan berat dari balok melintang itu sendiri. Seluruh beban tersebut dijumlahkan menjadi $q_{D1(U)}$ dengan sketsa pembebanan seperti pada Gambar 4.11.

$$\text{Pelat beton} = 0,2 \cdot 5 \cdot 24 \cdot (1,3) = 31,20 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bekisting} = 0,05 \cdot 5 \cdot 7,8 \cdot (1,4) = 2,73 \text{ kN/m}$$

$$\text{Gelagar melintang} = 213 \cdot (1,1)$$

$$= 234,30 \text{ kg/m} = 2,3 \text{ kN/m}$$

$$\text{Gelagar memanjang} = \left(\frac{106 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 5 \text{ m}}{1,7 \text{ m}} \right) \cdot (1,1)$$

$$= 342,94 \text{ kg/m} = 3,36 \text{ kN/m}$$

$$q_{D1(U)} \text{ (Total)} = 31,20 + 2,73 + 2,3 + 3,36$$

$$= 39,59 \text{ kN/m}$$

- Beban mati setelah komposit

Beban yang tambahan yang bekerja pada gelagar melintang setelah komposit adalah tambahan beban dari aspal dan kerb. Sketsa pembebanan dari aspal dan kerb dapat dilihat pada Gambar 4.12.

$$\text{Aspal} = 0,05 \cdot 5 \cdot 22 \cdot (1,3) = 7,15 \text{ kN/m}$$

$$\text{Kerb} = 0,2 \cdot 5 \cdot 24 \cdot (1,3) = 31,2 \text{ kN/m}$$

- Beban lajur “D” dan pejalan kaki

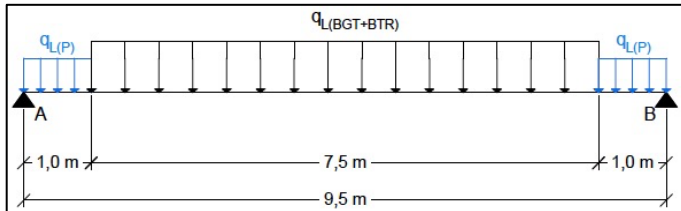
Salah satu kombinasi dari beban hidup yang akan dihitung adalah kombinasi dari beban garis terpusat ($q_{L(BGT)}$), beban terbagi rata ($q_{L(BTR)}$), dan beban pejalan kaki ($q_{L(P)}$). Sketsa dari pembebanan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.13.

- Beban terbagi rata

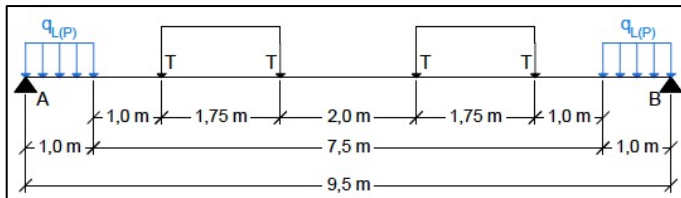
$$q_{L(BTR)} = 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^u$$

$$= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 5 \cdot (2,0)$$

$$= 59,67 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.13 Sketsa Beban Lajur “D” dan Pejalan Kaki



Gambar 4.14 Sketsa Beban Truk dan Pejalan Kaki

- Beban garis terpusat

$$q_{L(BGT)} = (1 + FBD) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot \gamma_{TD}^u$$

$$= (1 + 0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot (2,0)$$

$$= 127,40 \text{ kN/m}$$
- Beban pejalan kaki

$$q_{L(P)} = 5 \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TP}^u$$

$$= 50 \text{ kN/m}$$
- Beban truk “T” dan pejalan kaki

Kombinasi beban lainnya untuk beban hidup adalah kombinasi antara beban truk dan beban pejalan kaki. Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.4.2, beban dari truk harus diletakkan pada tengah – tengah lajur lalu lintas rencana. Sketsa dari pembebanan truk dan pejalan kaki dapat dilihat pada Gambar 4.14.

 - Beban truk “T”

$$T_{FBD} = (1 + 0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN}$$

$$T_{(U)} = T_{FBD} \cdot \gamma_{TT}^u$$

$$\begin{aligned}
 &= 146,25 \cdot (2,0) \\
 &= 292,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Beban pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 q_{L(P)} &= 5 \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TP}^u \\
 &= 50 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4.3.2.2. Perhitungan Momen Gelagar Melintang

Perhitungan momen-momen yang terjadi pada gelagar melintang akibat beban-beban yang bekerja dapat dilihat sebagai berikut.

- Momen akibat beban mati sebelum komposit

$$\begin{aligned}
 M_{D1(U)} &= 1/8 \cdot q_{D1(U)} \cdot L_{Melintang}^2 \\
 &= 446,66 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban mati setelah komposit

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_B &= 0 \\
 R_A \cdot L &= M_{Kerb1} + M_{Aspal} + M_{Kerb2} \\
 R_A \cdot 9,5 &= 1 \times 31,2 \times (9) + 7,5 \times 7,15 \times (4,75) \\
 &\quad + 1 \times 31,12 \times (0,5) \\
 R_A &= 58,01 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{D2(U)} &= R_A \cdot (4,75) - q_{Kerb} \cdot 1 \cdot (4,25) - q_{Aspal} \\
 &\quad \cdot 3,75 \cdot (1,875) \\
 &= 92,69 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_B &= 0 \\
 R_A \cdot L &= M_{L(P)1} + M_{L(BGT+BTR)} + M_{L(P)2} \\
 R_A \cdot 9,5 &= 1 \cdot 50,0 \cdot (9) + 7,5 \cdot (59,7 + 127,4) \cdot (4,75) \\
 &\quad + 1 \cdot 50,0 \cdot (0,5) \\
 R_A &= 751,53 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{L1} &= R_A \cdot (4,75) - q_{L(P)} \cdot 1 \cdot (4,25) - [q_{L(BGT+BTR)} \\
 &\quad \times 3,75 \cdot (1,875)] \\
 &= 2041,89 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban truk “T” dan pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_B &= 0 \\
 R_A \cdot L &= M_{L(P)1} + M_{T(U)} + M_{L(P)2} \\
 R_A \cdot 9,5 &= 1 \cdot 50,0 \cdot (9) + 292,5 \cdot (2 + 3,75 + 5,75 \\
 &\quad + 7,5) + 1 \cdot 50,0 \cdot (0,5) \\
 R_A &= 635 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{L2} &= R_A \cdot (4,75) - T_{(U)} \cdot (1 + 2,75) \\
 &\quad - q_{L(P)} \cdot 1 \cdot (0,5) \\
 &= 1894,38 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Momen Total

Momen total merupakan hasil penjumlahan dari momen akibat beban mati dan momen akibat beban lajur serta pejalan kaki. Momen akibat beban hidup yang dipilih adalah beban lajur dan pejalan kaki dikarenakan perbandingan nilai momen akibat beban lajur dan beban truk menunjukkan bahwa nilai dari momen akibat beban lajur lebih besar.

$$\begin{aligned}
 M_{Total(U)} &= M_{D1(U)} + M_{D2(U)} + M_{L1} \\
 &= 446,66 + 92,69 + 2041,89 \\
 &= 2581,23 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

4.3.2.3. Perhitungan Gaya Geser Gelagar Melintang

Perhitungan gaya geser yang terjadi pada gelagar melintang akibat beban hidup dan mati yang bekerja dapat dilihat sebagai berikut :

- Gaya geser akibat beban mati sebelum komposit

$$\begin{aligned}
 V_{MAX} &= 0,5 \cdot q_{D(U)} \cdot L_{Melintang} \\
 &= 0,5 \cdot 39,59 \cdot 9,5 \\
 &= 188,07 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser akibat beban mati setelah komposit

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_{MAX} \cdot L = M_{Kerb1} + M_{Aspal} + M_{Kerb2}$$

$$V_{MAX} \cdot 9,5 = 1 \cdot 31,2 \cdot (9) + 7,5 \cdot 7,15 \cdot (4,75) + 1 \cdot 31,12 \cdot (0,5)$$

$$V_{MAX} = 58,01 \text{ kN}$$
- Momen akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_{MAX} \cdot L = M_{L(P)1} + M_{L(BGT+BTR)} + M_{L(P)2}$$

$$R_{MAX} \cdot 9,5 = 1 \cdot 50,0 \cdot (9) + 7,5 \cdot (59,7 + 127,4) \cdot (4,75) + 1 \cdot 50,0 \cdot (0,5)$$

$$V_{MAX} = 751,53 \text{ kN}$$
- Gaya geser akibat beban truk “T” dan pejalan kaki

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_{MAX} \cdot L = M_{L(P)1} + M_{T(U)} + M_{L(P)2}$$

$$V_{MAX} \cdot 9,5 = 1 \cdot 50,0 \cdot (9) + 292,5 \cdot (2 + 3,75 + 5,75 + 7,5) + 1 \cdot 50,0 \cdot (0,5)$$

$$V_{MAX} = 635 \text{ kN}$$
- Gaya geser total

Gaya geser total merupakan hasil penjumlahan dari gaya akibat beban mati sebelum komposit, setelah komposit, dan beban hidup lajur “D” serta pejalan kaki. Gaya akibat beban hidup yang dipilih adalah beban lajur “D” dan pejalan kaki dikarenakan perbandingan nilai gaya akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki dengan beban truk dan pejalan kaki menunjukkan bahwa nilai dari gaya akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki lebih besar.

$$V_{Total} = 188,07 + 58,01 + 751,53$$

$$= 997,61 \text{ kN}$$

4.3.2.4. Kontrol Profil Gelagar Melintang

Kontrol profil yang dilakukan terhadap profil gelagar melintang adalah kuat rencana momen lentur, kontrol lateral buckling, kuat rencana geser, dan lendutan yang mengacu pada RSNI-T-03-2005.

- Kontrol lendutan

Nilai lendutan izin untuk sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah 1/1000 bentang. Dari syarat tersebut didapatkan Δ_{IZIN} dengan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta_{IZIN} &= L/1000 \\ &= 950/1000 = 0,95 \text{ cm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 8.4.6.1, beban yang digunakan dalam perhitungan untuk lendutan adalah beban hidup tanpa faktor akibat beban satu truk atau BTR. Di bawah ini adalah perhitungan beban tanpa faktor.

- Beban terbagi rata

$$\begin{aligned}q_{L(BTR)} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot \lambda \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 5 \text{ m} \\ &= 29,84 \text{ kN/m} = 3041,48 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Beban truk "T"

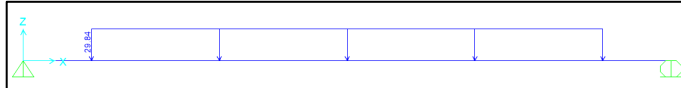
$$T_{FBD} = (1+0,3) \cdot 112,5 = 146,25 \text{ kN} = 14908 \text{ kg}$$

Perhitungan lendutan untuk balok melintang menggunakan program bantu SAP2000. Permodelan untuk beban BTR dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan beban truk pada Gambar 4.16. Hasil lendutan dari program bantu SAP2000 untuk lendutan akibat BTR dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan akibat beban truk pada Gambar 4.18.

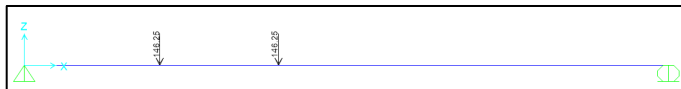
Dari hasil tersebut diketahui bahwa lendutan akibat BTR sebesar 0,448 cm dan lendutan akibat beban truk sebesar 0,605 cm. Angka tersebut

menunjukkan bahwa lendutan akibat beban truk menjadi lendutan yang perlu dikontrol dengan lendutan izin.

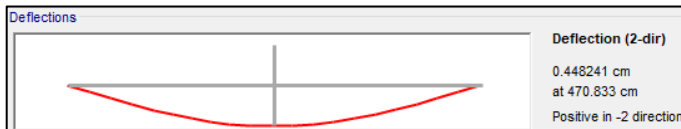
$$\text{Kontrol } \Delta_{T(U)}^O \leq \Delta_{IZIN} \rightarrow 0,605 \text{ cm} \leq 0,95 \text{ cm (OK)}$$



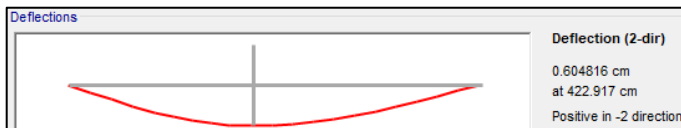
Gambar 4.15 Permodelan Beban Terbagi Rata



Gambar 4.16 Permodelan Beban Truk



Gambar 4.17 Lendutan Akibat BTR



Gambar 4.18 Lendutan Akibat Beban Truk

- Kuat rencana geser
Kontrol Penampang
$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{788}{15} \leq \frac{1100}{\sqrt{250}} \rightarrow 52,53 \leq 69,57 \text{ (OK, Plastis)}$$

Kuat geser nominal (RSNI T-03-2005 ps.7.8.3)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (78,8 \cdot 1,5) \\ &= 177300 \text{ kg} = 1739,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol $\phi V_n > V_{aTotal} \rightarrow 1739,31 \text{ kN} > 997,61 \text{ kN}$
(OK)

- Kuat rencana momen lentur sebelum komposit
Kontrol Penampang

$$\text{Sayap: } \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{299}{2 \cdot 23} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} \rightarrow 6,50 \leq 10,75 \text{ (OK)}$$

$$\text{Badan: } \frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \frac{788}{15} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow 52,53 \leq 106,25 \text{ (OK)}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 8634 \cdot 2500 \\ &= 21585000 \text{ kg.cm} = 2117,49 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 2117,49 \\ &= 1905,74 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol $\phi M_n > M_{Total} \rightarrow 1905,74 \text{ kN.m} > 446,66 \text{ kN.m}$
(OK)

- Kuat rencana momen lentur setelah komposit
 - Perhitungan lebar efektif pelat
Lebar efektif pelat menurut AASHTO pasal 4.6.2.6 diambil yang terkecil dari:

$$\begin{aligned} b_{eff} &= 5000 \text{ mm (jarak antar balok melintang)} \\ b_{eff} &= 12 \cdot d_3 + (b_f/2) = 12 \cdot 200 + (299/2) \\ &= 2549,5 \text{ mm} \\ b_{eff} &= L_{Melintang} / 4 = 9,5 / 4 = 2375 \text{ mm} \end{aligned}$$
 Maka diambil $b_{eff} = 2375 \text{ mm} = 2,375 \text{ m}$
 - Perhitungan kapasitas momen setelah komposit
Kontrol kegagalan struktur pada beton

$$\begin{aligned} C_C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot b_3 \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 2375 \cdot 200 = 16150 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol kegagalan struktur pada baja :

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y = (270,9 \cdot 100) \cdot 250 \\ &= 6772500 \text{ N} = 6772,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menentukan harga a (tinggi *stress block*) pada pelat beton.

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_{\text{eff}}} \\ &= \frac{6772500}{0,85 \cdot 40 \cdot 2375} \\ &= 83,87 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm, artinya hanya} \\ &\text{sebagian saja dari beton yang tertekan.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T \cdot (d_1 + d_2) \\ &= T \cdot \left(\left(d_3 - \frac{a}{2} \right) + \left(\frac{h}{2} \right) \right) \\ &= 6772,5 \cdot \left(\left(200 - \frac{83,87}{2} \right) + \left(\frac{788}{2} \right) \right) \\ &= 3738,86 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,85 \cdot M_n \\ &= 0,85 \cdot 3738,86 = 3178,03 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol $\phi M_n > M_{\text{Total(U)}}$

$$\rightarrow 3178,03 \text{ kN.m} > 2581,23 \text{ kN.m (Ok)}$$

- Perhitungan kebutuhan *shear connector*
Menggunakan *shear connector* D-25 dengan $A_s = 490,87 \text{ mm}^2$
 $E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{40}$
 $= 29725,41 \text{ MPa}$
 $Q_n = 0,5 \cdot A_s \cdot (f'_c \cdot E_c)^{0,5} = 267627,3 \text{ N}$
 $= 267,63 \text{ kN}$
 $V_n = T = 6772,5 \text{ kN}$
 $n = V_n / Q_n = 6772,5 / 267,63 = 25,3$
 ≈ 26 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang

4.4. Perencanaan Ikatan Angin

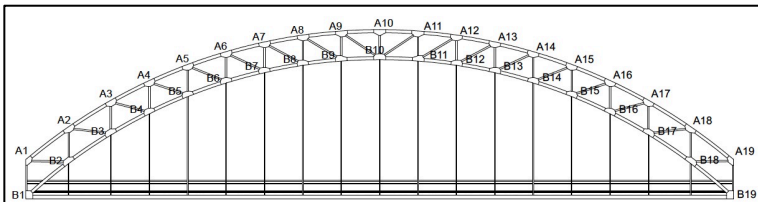
4.4.1. Perhitungan Gaya Angin yang Bekerja

Pada sub-bab ini akan dilakukan perhitungan gaya angin horizontal pada tiap titik buhul yang dapat dilihat pada Gambar 4.19. Perhitungan yang dilakukan mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.6.1. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Setelah mendapatkan nilai V_{DZ} , dilakukan perhitungan lebih lanjut untuk mendapatkan nilai P_D . Nilai P_D dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

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



Gambar 4.19 Penamaan Titik Buhul

Data-data yang digunakan sesuai dengan kondisi lapangan adalah sebagai berikut :

- V_0 adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 4.2 untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam). Kondisi yang digunakan untuk penentuan V_0 adalah sub urban.

- V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm. Pada perhitungan ini digunakan V_B maksimum yaitu 90 km/jam.
- V_{10} adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam). Karena tidak ada data angin untuk perencanaan ini, digunakan $V_{10} = V_B = 90$ km/jam
- Z adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm). Nilai Z yang digunakan pada tiap titik dapat dilihat pada Tabel 4.1.
- Z_0 adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 4.2. Kondisi yang digunakan untuk penentuan Z_0 adalah sub urban.
- P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 4.3. Komponen bangunan atas yang digunakan adalah komponen rangka, kolom, dan pelengkung.

Tabel 4.1 Z Aktual dan Z Pakai

Titik	Z Aktual	Z Pakai	Titik	Z Aktual	Z Pakai
	mm	mm		mm	mm
A1	4350	10000	B1	0	10000
A2	8210	10000	B2	4050	10000
A3	11580	11580	B3	7580	10000
A4	14200	14200	B4	10340	10340
A5	16430	16430	B5	12680	12680
A6	18250	18250	B6	14600	14600
A7	19670	19670	B7	16090	16090
A8	20680	20680	B8	17150	17150
A9	21290	21290	B9	17790	17790
A10	21500	21500	B10	18000	18000
A11	21290	21290	B11	17790	17790
A12	20680	20680	B12	17150	17150
A13	19670	19670	B13	16090	16090

Titik	Z Aktual	Z Pakai	Titik	Z Aktual	Z Pakai
	mm	mm		mm	mm
A14	18250	18250	B14	14600	14600
A15	16430	16430	B15	12680	12680
A16	14200	14200	B16	10340	10340
A17	11580	11580	B17	7580	10000
A18	8210	10000	B18	4050	10000
A19	4350	10000	B19	0	10000

Tabel 4.2 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

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

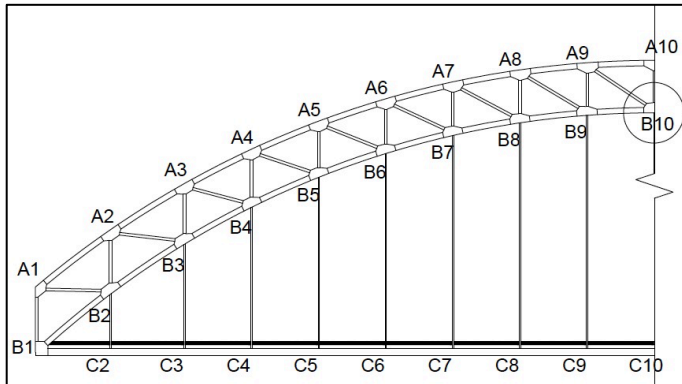
Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 4.3 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, Kolom, dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725:2016

Dari data-data yang telah didapatkan, dapat dilakukan perhitungan terhadap V_{DZ} dan P_D . Di bawah ini merupakan satu contoh perhitungan V_{DZ} dan P_D pada titik B10 yang ditunjukkan pada Gambar 4.20. Perhitungan untuk seluruh titik dapat dilihat pada Tabel 4.5.



Gambar 4.20 Titik B10 pada Rangka Jembatan

Diketahui :

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

$$V_{10} = 90 \text{ km/jam}$$

$$V_B = 90 \text{ km/jam}$$

$$Z = 18000 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 1000 \text{ mm}$$

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

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot 17,6 \cdot \left(\frac{90}{90}\right) \cdot \ln\left(\frac{18000}{1000}\right) = 127,18 \text{ km/jam}$$

$$\begin{aligned} P_{D(\text{luasan})} &= P_B \cdot (V_{DZ} / V_B)^2 \\ &= 0,0024 \cdot (127,18 / 90)^2 \\ &= 0,00479 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_D &= P_{D(\text{luasan})} \cdot \lambda \cdot 30\% \\ &= 0,00479 \text{ N/mm}^2 \cdot 5000 \text{ mm} \cdot 30\% \\ &= 7,19 \text{ N/mm} > 4,4 \text{ N/mm}, \text{ maka } P_D = 7,19 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{D\text{Tekan}} &= P_D \cdot \text{Tinggi Tampang} \cdot 0,5 \\ &= 7,19 \cdot 3500 \cdot 0,5 \\ &= 12580 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai P_D Hisap diambil setengah dari P_D Tekan, maka

$$\begin{aligned} P_{D\text{Hisap}} &= P_{D\text{Tekan}} \cdot 0,5 \\ &= 12580 \cdot 0,5 \\ &= 6290 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk titik simpul pada lantai kendaraan harus ditambahkan gaya angin akibat kendaraan (EW_1). Gaya yang bekerja ditentukan dalam Tabel 4.4. Sehingga didapatkan nilai EW_1 seperti perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned} EW_1 &= 1,46 \text{ N/mm} \cdot \lambda \\ &= 1,46 \text{ N/mm} \cdot 5000\text{mm} \\ &= 7300\text{N} = 7,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena gaya yang terjadi berjarak 1,8 meter dari permukaan jalan, maka gaya tersebut juga menimbulkan momen. Perhitungan momen yang ditimbulkan oleh EW_1 dapat dilihat dibawah ini:

$$\begin{aligned} M_{EW_1} &= 7,3 \text{ kN} \cdot 1,8 \text{ m} \\ &= 13,14 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut	Komponen Tegak Lurus	Komponen Sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber: SNI 1725:2016

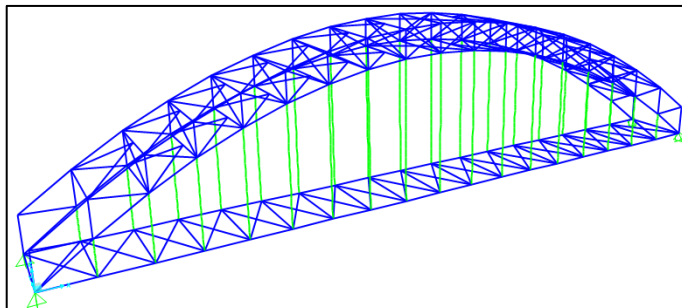
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan V_{DZ} dan P_D

Titik	Z Pakai	V_{DZ}	P_D Luasan	P_D	P_D Pakai	$P_{D\text{Tekan}}$	$P_{D\text{Hisap}}$
	mm	km/jam	N/mm ²	N/mm	N/mm	kN	kN
A1	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
A2	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
A3	11580	107,77	0,00344	5,16	5,16	9,03	4,52
A4	14200	116,74	0,00404	6,06	6,06	10,60	5,30
A5	16430	123,16	0,00449	6,74	6,74	11,80	5,90
A6	18250	127,78	0,00484	7,26	7,26	12,70	6,35
A7	19670	131,08	0,00509	7,64	7,64	13,36	6,68
A8	20680	133,28	0,00526	7,90	7,90	13,82	6,91
A9	21290	134,56	0,00537	8,05	8,05	14,08	7,04
A10	21500	134,99	0,00540	8,10	8,10	14,17	7,09
A11	21290	134,56	0,00537	8,05	8,05	14,08	7,04
A12	20680	133,28	0,00526	7,90	7,90	13,82	6,91
A13	19670	131,08	0,00509	7,64	7,64	13,36	6,68
A14	18250	127,78	0,00484	7,26	7,26	12,70	6,35
A15	16430	123,16	0,00449	6,74	6,74	11,80	5,90
A16	14200	116,74	0,00404	6,06	6,06	10,60	5,30
A17	11580	107,77	0,00344	5,16	5,16	9,03	4,52
A18	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
A19	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
B1	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
B2	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
B3	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
B4	10340	102,78	0,00313	4,70	4,70	8,22	4,11
B5	12680	111,76	0,00370	5,55	5,55	9,71	4,86
B6	14600	117,96	0,00412	6,18	6,18	10,82	5,41
B7	16090	122,24	0,00443	6,64	6,64	11,62	5,81
B8	17150	125,05	0,00463	6,95	6,95	12,16	6,08
B9	17790	126,66	0,00475	7,13	7,13	12,48	6,24
B10	18000	127,18	0,00479	7,19	7,19	12,58	6,29

Titik	Z	V_{DZ}	P_D	P_D	P_D	P_{DTekan}	P_{DHisap}
	Pakai		Luasan		Pakai		
	mm	km/jam	N/mm ²	N/mm	N/mm	kN	kN
B11	17790	126,66	0,00475	7,13	7,13	12,48	6,24
B12	17150	125,05	0,00463	6,95	6,95	12,16	6,08
B13	16090	122,24	0,00443	6,64	6,64	11,62	5,81
B14	14600	117,96	0,00412	6,18	6,18	10,82	5,41
B15	12680	111,76	0,00370	5,55	5,55	9,71	4,86
B16	10340	102,78	0,00313	4,70	4,70	8,22	4,11
B17	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
B18	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99
B19	10000	101,31	0,00304	4,56	4,56	7,98	3,99

4.4.2. Perencanaan Profil Ikatan Angin

Besar dari gaya angin yang mengenai struktur telah dihitung di sub bab sebelumnya. Program bantu SAP 2000 digunakan untuk mencari gaya axial yang bekerja pada ikatan angin. Gambar permodelan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.21. Beban angin yang bekerja sesuai dengan pembebanan yang mengacu pada SNI 1725:2016. Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan Kuat III dan Kuat V, karena kedua kombinasi pembebanan tersebut memiliki komponen gaya angin di dalamnya.



Gambar 4.21 Permodelan SAP2000 3D

4.4.2.1. Ikatan Angin Lantai Kendaraan

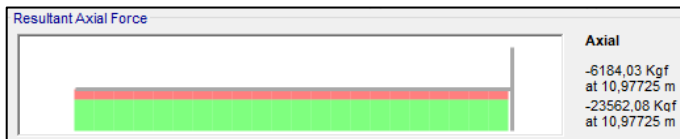
Profil ikatan angin lantai kendaraan pada jembatan ini direncanakan memiliki profil yang sama pada semua segmen. Oleh karena itu, dicari gaya tarik dan tekan terbesar yang bekerja. Perencanaan profil sesuai dengan RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Profil yang digunakan adalah Profil *Circular Hollow* 219,1 x 6 dengan material properti seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Properti Profil Ikatan Angin Lantai Kendaraan

d	219,1 mm	$I_X = I_Y$	2281,95 cm ⁴
A	40,17 cm ²	$Z_X = Z_Y$	208,3 cm ³
t	6 mm	$i_X = i_Y$	7,54 cm
W	31,51 kg/m	F _y	3100 kg/cm ²
E	2.10 ⁶ kg/cm ²	F _u	4500 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Ikatan Angin Lantai Kendaraan

Gaya aksial tekan maksimum (lihat Gambar 4.22) yang diterima oleh ikatan angin lantai kendaraan adalah 23562 kg (tekan).



Gambar 4.22 Gaya Aksial Tekan Ikatan Angin Lantai Kendaraan

Kontrol Kelangsingan

$$d/t = 219,1/6 = 36,52$$

$$22000/f_y = 22000/310 = 70,97 > 36,52 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

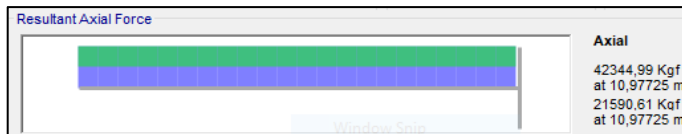
$$\begin{aligned} \text{Panjang batang } (L_x = L_y) &= 1097,7 \text{ cm} \\ \lambda_x = \lambda_y &= \frac{(K_{cx} \cdot L_x)}{(ix)} = \frac{(1 \cdot 1097,7)}{(7,54)} \\ &= 145,58 \\ \lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{145,58}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3100}{2 \cdot 10^6}} \\ &= 1,825 \end{aligned}$$

karena $\lambda_c \geq 1,5$, maka

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{(0,88)}{(\lambda_c^2)} \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 32888,89 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 32888,89 \\ &= 27955,55 \text{ kg} > P_u = 23562 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik Ikatan Angin Lantai Kendaraan
Gaya aksial tarik maksimum (lihat Gambar 4.23) yang diterima oleh ikatan angin lantai kendaraan adalah 42344,99 kg (tarik).



Gambar 4.23 Gaya Aksial Tarik Ikatan Angin Lantai Kendaraan

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 34,15 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 153650,25 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 115237,69 \text{ kg} > 42344,99 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 40,17 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 112074,3 \text{ kg} > 42344,99 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.4.2.2. Ikatan Angin Rangka Bagian Atas

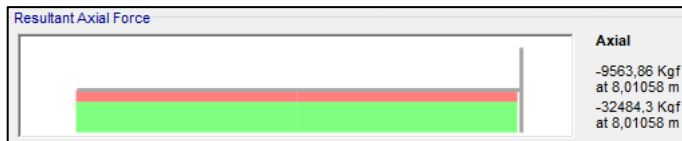
Profil ikatan angin rangka bagian atas pada jembatan ini direncanakan memiliki profil yang sama pada semua segmen. Oleh karena itu, dicari gaya tarik dan tekan terbesar yang bekerja. Perencanaan profil sesuai dengan RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Profil yang digunakan adalah Profil *Circular Hollow* 219,1 x 4,8 dengan material properti seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Properti Profil Ikatan Angin Rangka Bagian Atas

d	219,1 mm	$I_X = I_Y$	1856,78 cm ⁴
A	32,33 cm ²	$Z_X = Z_Y$	169,49 cm ³
t	4,8 mm	$i_X = i_Y$	7,58 cm
W	25,38 kg/m	F_y	3100 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	4500 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Ikatan Angin Rangka Bagian Atas

Gaya aksial tekan maksimum (lihat Gambar 4.24) yang diterima oleh ikatan angin rangka bagian atas adalah 32484,3 kg (tekan).



Gambar 4.24 Gaya Aksial Tekan Ikatan Angin Rangka Atas

Kontrol Kelangsingan

$$d/t = 219,1/4,8 = 45,65$$

$$22000/f_y = 22000/310 = 70,97 > 45,65 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

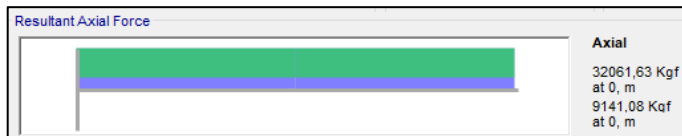
$$\begin{aligned} \text{Panjang batang } (L_x = L_y) &= 801,05 \text{ cm} \\ \lambda_x = \lambda_y &= \frac{(K_{cx} \cdot L_x)}{(ix)} = \frac{(1 \cdot 801,05)}{(7,58)} \\ &= 105,67 \\ \lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{105,67}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3100}{2 \cdot 10^6}} \\ &= 1,325 \end{aligned}$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 48325,69 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 48325,69 \\ &= 41076,84 \text{ kg} > P_u = 32484,3 \text{ kg} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik Ikatan Angin Rangka Bagian Atas
Gaya aksial tarik maksimum (lihat Gambar 4.25) yang diterima oleh ikatan angin rangka bagian atas adalah 32061,6 kg (tarik).



Gambar 4.25 Gaya Aksial Tarik Ikatan Angin Rangka Atas

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 27,48 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 123662,25 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 92746,69 \text{ kg} > 32061,6 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 25,38 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 90200,7 \text{ kg} > 32061,6 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.4.2.3. Ikatan Angin Rangka Bagian Bawah

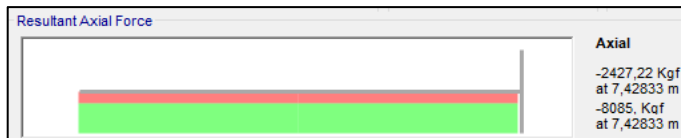
Profil ikatan angin rangka bagian bawah pada jembatan ini direncanakan memiliki profil yang sama pada semua segmen. Oleh karena itu, dicari gaya tarik dan tekan terbesar yang bekerja. Perencanaan profil sesuai dengan RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Profil yang digunakan adalah Profil *Circular Hollow* 165,1 x 4,5 dengan material properti seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Properti Profil Ikatan Angin Rangka Bagian Bawah

d	165,1 mm	$I_X = I_Y$	732,6 cm ⁴
A	22,7 cm ²	$Z_X = Z_Y$	88,74 cm ³
t	4,5 mm	$i_X = i_Y$	5,68 cm
W	17,18 kg/m	Fy	3100 kg/cm ²
E	2.10 ⁶ kg/cm ²	Fu	4500 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Ikatan Angin Rangka Bagian Bawah

Gaya aksial tekan maksimum (lihat Gambar 4.26) yang diterima oleh ikatan angin rangka bagian bawah adalah -8085 kg (tekan).



Gambar 4.26 Gaya Axial Tekan Ikatan Angin Rangka Bawah

Kontrol Kelangsingan

$$d/t = 165,1/4,5 = 36,69$$

$$22000/f_y = 22000/310 = 70,97 > 36,69 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang } (L_x = L_y) = 742,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{(K_{cx} \cdot L_x)}{(ix)} = \frac{(1 \cdot 742,8)}{(5,68)}$$

$$= 130,77$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 130,77 / \pi \cdot \sqrt{3100 / 2.10^6}$$

$$= 1,640$$

karena $\lambda_c \geq 1,5$, maka

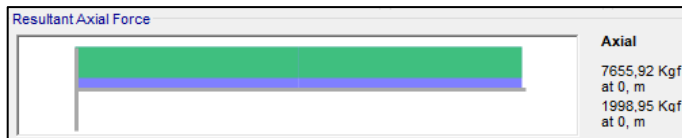
$$P_n = \frac{(0,88)}{(\lambda_c^2)} \cdot A_g \cdot f_y$$

$$= 23033,01 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 23033,01$$

$$= 19578,06 \text{ kg} > P_u = 8085 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Tarik Ikatan Angin Rangka Bagian Bawah
Gaya aksial tarik maksimum (lihat Gambar 4.27) yang diterima oleh ikatan angin rangka bagian bawah adalah 7655,92 kg (tarik).



Gambar 4.27 Gaya Axial Tarik Ikatan Angin Rangka Bawah

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 19,29 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 86827,01 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot P_n = 65120,63 \text{ kg} > 7655,92 \text{ (OK)}$$

Kuat leleh

$$A_g = 22,7 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 63333 \text{ kg} > 7655,92 \text{ (OK)}$$

4.4.2.4. Ikatan Angin Rangka Silang

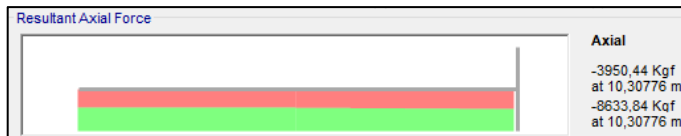
Profil ikatan angin rangka silang pada jembatan ini direncanakan memiliki profil yang sama pada semua segmen. Oleh karena itu, dicari gaya tarik dan tekan terbesar yang bekerja. Perencanaan profil sesuai dengan RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Profil yang digunakan adalah Profil *Circular Hollow* 165,1 x 4,5 dengan material properti seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Properti Profil Ikatan Angin Rangka Silang

d	165,1 mm	$I_X = I_Y$	732,6 cm ⁴
A	22,7 cm ²	$Z_X = Z_Y$	88,74 cm ³
t	4,5 mm	$i_X = i_Y$	5,68 cm
W	17,18 kg/m	F_y	3100 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	4500 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Ikatan Angin Rangka silang

Gaya aksial tekan maksimum (lihat Gambar 4.28) yang diterima oleh ikatan angin rangka silang adalah 8633,84 kg (tekan).



Gambar 4.28 Gaya Aksial Tekan Ikatan Angin Rangka Silang

Kontrol Kelangsingan

$$d/t = 165,1/4,5 = 36,69$$

$$22000/f_y = 22000/310 = 70,97 > 36,69 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang batang } (L_x = L_y) &= 1030,7 \text{ cm} \\ \lambda_x = \lambda_y &= \frac{(K_{cx} \cdot L_x)}{(ix)} = \frac{(1 \cdot 1030,7)}{(5,68)} \\ &= 181,46 \end{aligned}$$

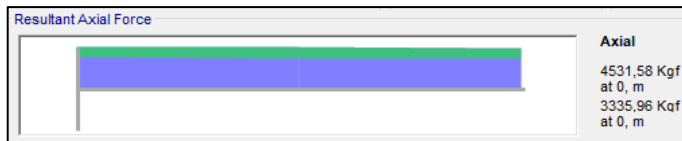
$$\begin{aligned} \lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{f_y/E} = \frac{181,46}{\pi} \cdot \sqrt{3100/2.10^6} \\ &= 2,275 \end{aligned}$$

karena $\lambda_c \geq 1,5$, maka

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{(0,88)}{(\lambda_c^2)} \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 11962,72 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 11962,72 \\ &= 10168,3 \text{ kg} > P_u = 8633,8 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik Ikatan Angin Rangka Silang
Gaya aksial tarik maksimum (lihat Gambar 4.29) yang diterima oleh ikatan angin rangka silang adalah 4531,58 kg (tarik).



Gambar 4.29 Gaya Axial Tarik Ikatan Angin Rangka Silang

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 19,29 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 86827,5 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 65120,63 \text{ kg} > 4531,58 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 22,7 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 63333 \text{ kg} > 4531,58 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.4.2.5. Ikatan Angin Horizontal

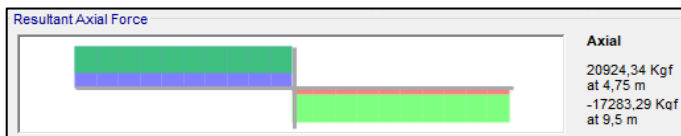
Profil ikatan angin horizontal pada jembatan ini direncanakan memiliki profil yang sama pada semua segmen. Oleh karena itu, dicari gaya tarik dan tekan terbesar yang bekerja. Perencanaan profil sesuai dengan RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Profil yang digunakan adalah Profil *Square Hollow* 180x180x8 dengan material properti seperti pada:

Tabel 4.10 Properti Profil Ikatan Angin Horizontal

d	180 mm	$I_X = I_Y$	2545,86 cm ⁴
A	52,84 cm ²	$Z_X = Z_Y$	282,8 cm ³
t	8 mm	$i_X = i_Y$	6,94 cm
W	41,92 kg/m	Fy	3550 kg/cm ²
E	2.10 ⁶ kg/cm ²	Fu	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Ikatan Angin Horizontal

Gaya aksial tekan maksimum (lihat Gambar 4.30) yang diterima oleh ikatan angin Horizontal adalah -17283,3 kg (tekan).



Gambar 4.30 Gaya Axial Ikatan Angin Horizontal

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 180/8 = 22,5$$

$$625/\sqrt{f_y} = 625/\sqrt{355} = 33,17 > 22,5 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

Faktor tekuk ($K_{cx} = K_{cy}$) = 1

Panjang batang ($L_x = L_y$) = 950 cm

$$\lambda_x = \lambda_y = (K_{cx} \cdot L_x) / (i_x) = (1 \cdot 950) / (6,94)$$

$$= 136,89$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 136,89 / \pi \cdot \sqrt{3550 / 2.10^6}$$

$$= 1,837$$

karena $\lambda_c \geq 1,5$, maka

$$P_n = \frac{(0,88)}{(\lambda_c^2)} \cdot A_g \cdot f_y$$

$$= 48933,5 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 48933,5$$

$$= 41593,5 \text{ kg} > P_u = 17283,3 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Tarik Ikatan Angin horizontal

Gaya aksial tarik maksimum (lihat Gambar 4.30) yang diterima oleh ikatan angin horizontal adalah 20924,3 kg (tarik).

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 44,914 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 253764,1 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot P_n = 190323,08 \text{ kg} > 20924,3 \text{ (OK)}$$

Kuat leleh

$$A_g = 22,7 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 168823,8 \text{ kg} > 20924,3 \text{ (OK)}$$

4.5. Perencanaan Rangka Utama

4.5.1. Permodelan Struktur Jembatan Busur

Permodelan struktur yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah jembatan busur rangka baja. Jembatan yang direncanakan berupa jembatan busur rangka baja dengan bentang 92 meter.

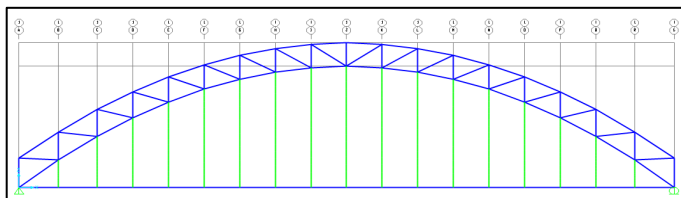
Preliminary design dari jembatan busur yang direncanakan adalah sebagai berikut,

- Tinggi Busur = 18 meter
Syarat : $1/6 \leq f/L \leq 1/5$
 $1/6 \leq 20/100 \leq 1/5$ **OK**
- Tinggi tampang busur = 3,5 meter
Syarat : $1/40 \leq t/L \leq 1/25$
 $1/40 \leq 3,5/92 \leq 1/25$ **OK**
- Lebar Jembatan = 9,5 meter
Syarat : $b/L \leq 1/20$
 $9,5/92 \leq 1/20$ **OK**

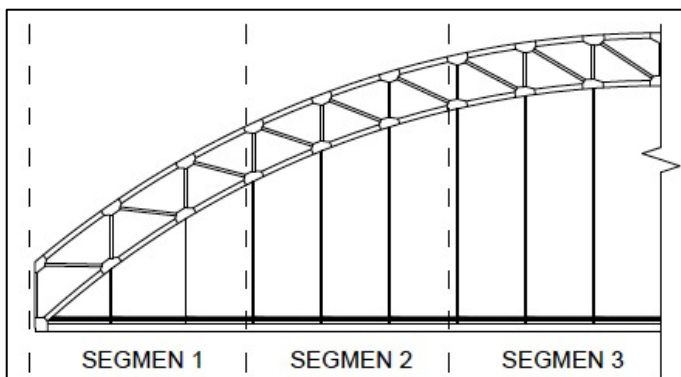
Permodelan struktur pada tugas akhir ini menggunakan program bantu SAP2000. Pada program SAP2000 akan dimasukkan pembebanan yang mengacu pada SNI 1725:2016. Sketsa permodelan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.31.

Pada permodelan struktur dalam tugas akhir ini, dilakukan pembagian jembatan menjadi beberapa segmen untuk mengoptimalkan penggunaan profil pada rangka utama jembatan. Pembagian segmen dikelompokkan sesuai dengan besar gaya yang diterima oleh batang tersebut. Pembagian segmen dapat dilihat pada Gambar 4.32.

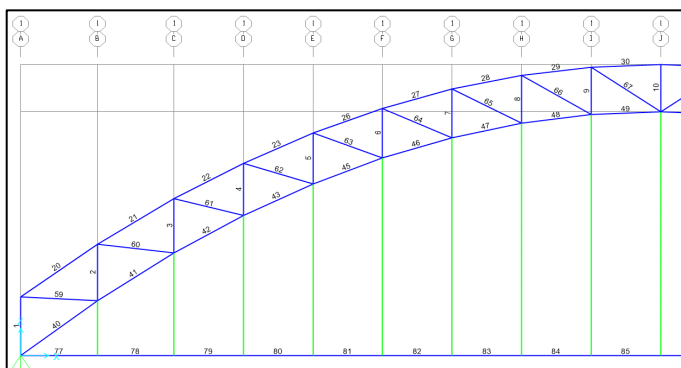
Setelah dilakukan pembagian segmen, dilakukan juga penamaan pada tiap batang yang ditinjau pada tiap segmen. Bagian yang ditinjau antara lain batang rangka busur bagian atas, batang rangka busur bagian bawah, batang diagonal, dan batang vertikal. batang yang dipilih untuk dikontrol adalah batang yang menerima gaya paling besar pada tiap segmen. Penamaan batang yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.31 Permodelan SAP2000



Gambar 4.32 Pembagian Segmen Jembatan



Gambar 4.33 Penamaan Batang pada SAP2000

4.5.2. Pembebanan Beban Mati

Beban mati mengacu pada SNI 1725:2016 dengan faktor beban seperti pada Tabel 4.11. Beban mati yang dijadikan sebagai *input* pada program bantu SAP2000 diantara lain:

- Beban profil baja dengan faktor pengali 1,1
- Beban pelat beton lantai kendaraan dengan faktor pengali 1,3
- Beban perkerasan aspal dengan faktor pengali 1,3
- Beban trotoar dengan faktor pengali 1,3

Setelah input beban mati dilakukan, dapat diketahui besar dari gaya dalam pada batang yang akan ditinjau. Gaya akibat beban mati dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 4.12 Rekapitulasi Gaya Axial Akibat Beban Mati

Segmen	Posisi Batang	Nomor Batang	Gaya Axial Akibat Beban Mati	
			Tekan	Tarik
			kN	kN
Segmen 3	Rangka Atas	30	-2638,7	-
	Rangka Bawah	47	-810,9	-
	Rangka Diagonal	65	-	208,08
	Rangka Vertikal	7	-3,8	40,97
Segmen 2	Rangka Atas	27	-2461,8	-

Segmen	Posisi Batang	Nomor Batang	Gaya Axial Akibat Beban Mati	
			Tekan	Tarik
			kN	kN
	Rangka Bawah	43	-1889,2	-
	Rangka Diagonal	62	-	377,12
	Rangka Vertikal	4	-179,8	-
Segmen 1	Rangka Atas	22	-1640,0	-
	Rangka Bawah 1	40	-3933,0	-
	Rangka Bawah 2	41	-3111,9	-
	Rangka Diagonal	59	-	539,94
	Rangka Vertikal 1	1	-423,1	-
	Rangka Vertikal 2	2	-368,7	-
Batang Tarik		85	-	3134,64

4.5.3. Pembebanan Beban Temperatur

Beban temperatur adalah beban yang terjadi akibat adanya perubahan suhu pada jembatan. Pada SNI T-1725-2016 ditentukan rentang temperatur yang dapat dilihat pada Tabel 4.13. Dari tabel tersebut dapat ditentukan bahwa Δ_T (perubahan temperatur) terbesar yang mungkin terjadi adalah $\Delta_T = 25^\circ\text{C}$ dengan asumsi pemasangan tidak memperhatikan temperatur. Gaya dalam pada tiap batang akibat temperatur dapat dilihat pada Tabel 4.14. Nilai gaya dalam yang didapatkan dari beban temperatur sangat kecil, sehingga tidak dijumlahkan saat kombinasi pembebanan.

Tabel 4.13 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-Rata	
	Minimum	Maksimum
Lantai beton di atas beton	15 $^\circ\text{C}$	40 $^\circ\text{C}$
Lantai beton di atas baja	15 $^\circ\text{C}$	40 $^\circ\text{C}$
Lantai pelat baja di atas baja	15 $^\circ\text{C}$	45 $^\circ\text{C}$

Sumber: SNI 1725:2016

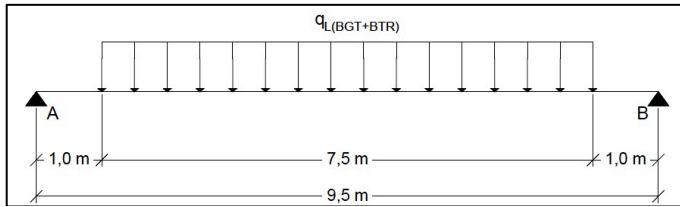
Tabel 4.14 Gaya pada Batang Akibat Pengaruh Temperatur

Segmen	Komponen	Batang	Temperatur	
			$\Delta(+)$	$\Delta(-)$
			kN	kN
Segmen 3	Atas	30	0,00252	-0,00252
	Bawah	47	-0,00939	0,00939
	Diagonal	65	0,00129	-0,00129
	Vertikal	7	-0,00133	0,00133
Segmen 2	Atas	27	0,00713	-0,00713
	Bawah	43	-0,01100	0,01100
	Diagonal	62	-0,00036	0,00036
	Vertikal	4	-0,00024	0,00024
Segmen 1	Atas	22	0,00754	-0,00754
	Bawah 1	40	-0,00762	0,00762
	Bawah 2	41	-0,00954	0,00954
	Diagonal	59	-0,00203	0,00203
	Vertikal 1	1	0,00153	-0,00153
	Vertikal 2	2	0,00078	-0,00078
Batang Tarik		85	-0,01700	0,01700

4.5.4. Pembebanan Beban Hidup

Perhitungan gaxa axial pada tiap batang akibat beban hidup dibantu dengan analisa garis pengaruh dari program bantu SAP 2000. Garis pengaruh yang terbentuk adalah akibat beban berjalan sebesar 1 satuan. Nilai kumulatif digunakan sebagai nilai pengali untuk beban BTR dan hasil maksimum digunakan sebagai nilai pengali untuk beban BGT. Batang yang ditinjau adalah batang – batang yang sama pada saat analisa pembebanan beban mati.

Sketsa pembebanan BGT dan BTR dapat dilihat pada Gambar 4.34. Contoh perhitungan untuk mencari V_a akibat BTR dan BGT dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini.



Gambar 4.34 Sketsa pembebanan BGT dan BTR

- Beban terbagi rata

$$\begin{aligned} q_{L(BTR)} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^u \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 5 \cdot (2,0) \\ &= 59,67 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{aL(BTR)} &= 59,67 \text{ kN/m} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 0,5 \\ &= 223,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{L(BTR)} &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/L)) \text{ kpa} \cdot \lambda \cdot \gamma_{TD}^u \\ &= 9,0 \cdot (0,5 + (15/92)) \text{ kpa} \cdot 5,5 \cdot (2,0) \\ &= 65,64 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{aL(BTR)} &= 59,67 \text{ kN/m} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 0,5 \\ &= 246,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

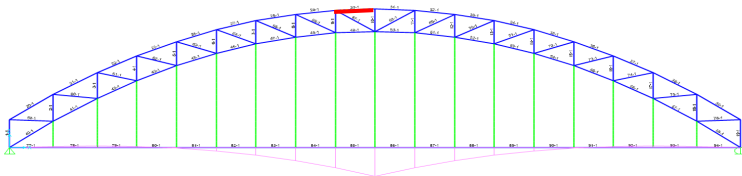
- Beban garis terpusat

$$\begin{aligned} q_{L(BGT)} &= (1+FBD) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot \gamma_{TD}^u \\ &= (1+0,3) \cdot 49,0 \text{ kN/m} \cdot (2,0) \\ &= 127,40 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{aL(BGT)} &= 127,40 \text{ kN/m} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 0,5 \\ &= 447,75 \end{aligned}$$

4.5.4.1. Analisa Garis Pengaruh Batang 30

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 30 dapat dilihat pada Gambar 4.35 dan Tabel 4.15.



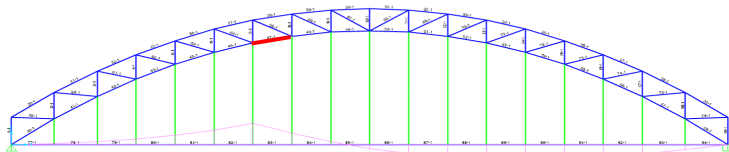
Gambar 4.35 Diagram Garis Pengaruh Batang 30

Tabel 4.15 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 30

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	0,082	246,15	-	20,21	-	-
C3	0,111	234,97	-	26,06	-	52,98
C4	0,067	223,78	-	15,08	-	-
C5	-0,058	223,78	-12,93	-	-	-
C6	-0,277	223,78	-61,94	-	-	-
C7	-0,599	223,78	-134,13	-	-	-
C8	-1,032	223,78	-230,90	-	-	-
C9	-1,578	223,78	-353,21	-	-	-
C10	-2,243	223,78	-501,83	-	-1071,35	-
C11	-1,580	223,78	-353,53	-	-	-
C12	-1,034	223,78	-231,41	-	-	-
C13	-0,602	223,78	-134,81	-	-	-
C14	-0,280	223,78	-62,75	-	-	-
C15	-0,062	223,78	-13,76	-	-	-
C16	0,064	223,78	-	14,30	-	-
C17	0,108	234,97	-	25,38	-	-
C18	0,080	246,15	-	19,77	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan =	-3162,56	Tarik =	173,77

4.5.4.2. Analisa Garis Pengaruh Batang 47

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 47 dapat dilihat pada Gambar 4.36 dan Tabel 4.16.



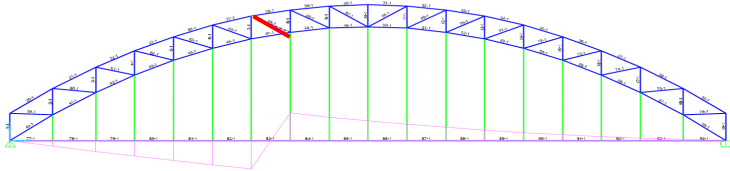
Gambar 4.36 Diagram Garis Pengaruh Batang 47

Tabel 4.16 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 47

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	0,085	246,15	-	20,82	-	-
C3	0,229	234,97	-	53,86	-	-
C4	0,439	223,78	-	98,24	-	-
C5	0,740	223,78	-	165,60	-	-
C6	1,146	223,78	-	256,34	-	-
C7	1,666	223,78	-	372,80	-	795,88
C8	0,881	223,78	-	197,04	-	-
C9	0,221	223,78	-	49,39	-	-
C10	-0,310	223,78	-69,44	-	-	-
C11	-0,729	223,78	-163,11	-	-	-
C12	-1,020	223,78	-228,19	-	-	-
C13	-1,187	223,78	-265,65	-	-	-
C14	-1,236	223,78	-276,59	-	-590,50	-
C15	-1,174	223,78	-262,72	-	-	-
C16	-1,012	223,78	-226,47	-	-	-
C17	-0,764	234,97	-179,40	-	-	-
C18	-0,410	246,15	-100,80	-	-	-
B19	0,000	123,08	0,00	-	-	-
Total			Tekan = -2362,86		Tarik = 2009,96	

4.5.4.3. Analisa Garis Pengaruh Batang 65

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 65 dapat dilihat pada Gambar 4.37 dan Tabel 4.17.



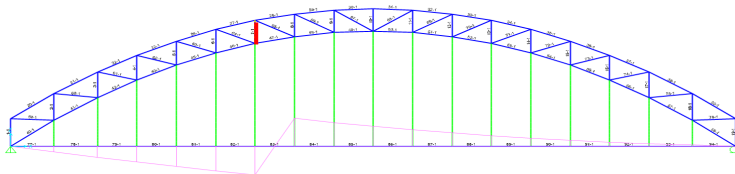
Gambar 4.37 Diagram Garis Pengaruh Batang 65

Tabel 4.17 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 65

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	-0,145	246,15	-35,62	-	-	-
C3	-0,286	234,97	-67,18	-	-	-
C4	-0,410	223,78	-91,66	-	-	-
C5	-0,528	223,78	-118,04	-	-	-
C6	-0,639	223,78	-142,91	-	-	-
C7	-0,742	223,78	-166,04	-	-354,49	-
C8	0,727	223,78	-	162,60	-	347,13
C9	0,619	223,78	-	138,41	-	-
C10	0,519	223,78	-	116,21	-	-
C11	0,428	223,78	-	95,82	-	-
C12	0,347	223,78	-	77,58	-	-
C13	0,274	223,78	-	61,41	-	-
C14	0,211	223,78	-	47,26	-	-
C15	0,157	223,78	-	35,04	-	-
C16	0,110	223,78	-	24,57	-	-
C17	0,070	234,97	-	16,45	-	-
C18	0,033	246,15	-	8,05	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan = -975,94		Tarik = 1130,54	

4.5.4.4. Analisa Garis Pengaruh Batang 7

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 7 dapat dilihat pada Gambar 4.38 dan Tabel 4.18.



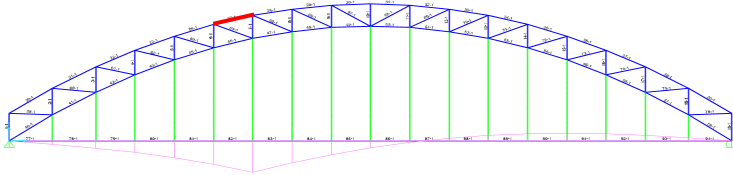
Gambar 4.38 Diagram Garis Pengaruh Batang 7

Tabel 4.18 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 7

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	0,112	246,15	-	27,54	-	-
C3	0,226	234,97	-	53,01	-	-
C4	0,331	223,78	-	74,12	-	-
C5	0,439	223,78	-	98,26	-	-
C6	0,550	223,78	-	122,99	-	-
C7	0,663	223,78	-	148,34	-	316,70
C8	-0,322	223,78	-71,95	-	-153,60	-
C9	-0,304	223,78	-67,94	-	-	-
C10	-0,283	223,78	-63,33	-	-	-
C11	-0,260	223,78	-58,21	-	-	-
C12	-0,235	223,78	-52,54	-	-	-
C13	-0,207	223,78	-46,37	-	-	-
C14	-0,178	223,78	-39,77	-	-	-
C15	-0,146	223,78	-32,72	-	-	-
C16	-0,113	223,78	-25,33	-	-	-
C17	-0,079	234,97	-18,52	-	-	-
C18	-0,040	246,15	-9,80	-	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	-	-
Total			Tekan = -640,05		Tarik = 840,96	

4.5.4.5. Analisa Garis Pengaruh Batang 27

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 27 dapat dilihat pada Gambar 4.39 dan Tabel 4.19.



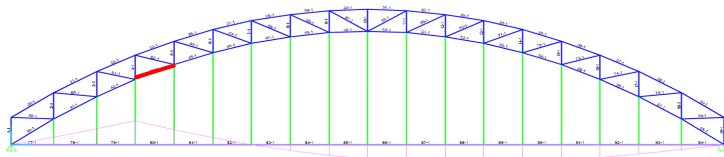
Gambar 4.39 Diagram Garis Pengaruh Batang 27

Tabel 4.19 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 27

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	-0,262	246,15	-64,57	-	-	-
C3	-0,575	234,97	-135,11	-	-	-
C4	-0,925	223,78	-206,95	-	-	-
C5	-1,351	223,78	-302,30	-	-	-
C6	-1,864	223,78	-417,15	-	-	-
C7	-2,473	223,78	-553,41	-	-1181,48	-
C8	-1,731	223,78	-387,43	-	-	-
C9	-1,094	223,78	-244,77	-	-	-
C10	-0,563	223,78	-126,03	-	-	-
C11	-0,126	223,78	-28,17	-	-	-
C12	0,205	223,78	-	45,96	-	-
C13	0,434	223,78	-	97,12	-	-
C14	0,564	223,78	-	126,28	-	-
C15	0,602	223,78	-	134,76	-	287,70
C16	0,557	223,78	-	124,62	-	-
C17	0,440	234,97	-	103,27	-	-
C18	0,243	246,15	-	59,79	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan = -3647,37		Tarik = 979,51	

4.5.4.6. Analisa Garis Pengaruh Batang 43

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 43 dapat dilihat pada Gambar 4.40 dan Tabel 4.20.



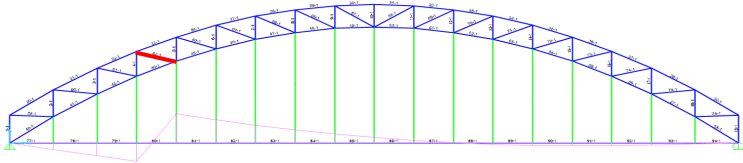
Gambar 4.40 Diagram Garis Pengaruh Batang 43

Tabel 4.20 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 43

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	0,598	246,15	-	147,22	-	-
C3	1,242	234,97	-	291,90	-	-
C4	1,887	223,78	-	422,34	-	901,66
C5	1,171	223,78	-	262,09	-	-
C6	0,533	223,78	-	119,19	-	-
C7	-0,021	223,78	-4,72	-	-	-
C8	-0,486	223,78	-108,69	-	-	-
C9	-0,859	223,78	-192,16	-	-	-
C10	-1,138	223,78	-254,75	-	-	-
C11	-1,337	223,78	-299,17	-	-	-
C12	-1,444	223,78	-323,09	-	-	-
C13	-1,462	223,78	-327,23	-	-698,61	-
C14	-1,397	223,78	-312,51	-	-	-
C15	-1,252	223,78	-280,13	-	-	-
C16	-1,036	223,78	-231,93	-	-	-
C17	-0,760	234,97	-178,58	-	-	-
C18	-0,399	246,15	-98,31	-	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	-	-
Total			Tekan = -3309,89		Tarik = 2144,40	

4.5.4.7. Analisa Garis Pengaruh Batang 62

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 62 dapat dilihat pada Gambar 4.41 dan Tabel 4.21.



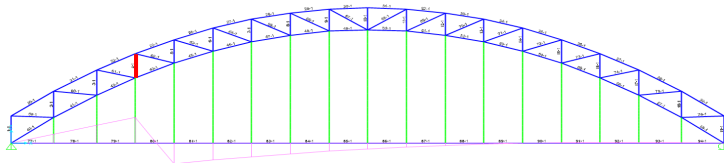
Gambar 4.41 Diagram Garis Pengaruh Batang 62

Tabel 4.21 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 62

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	-0,171	246,15	-42,12	-	-	-
C3	-0,335	234,97	-78,69	-	-	-
C4	-0,474	223,78	-106,05	-	-226,41	-
C5	0,752	223,78	-	168,35	-	359,41
C6	0,599	223,78	-	134,04	-	-
C7	0,460	223,78	-	103,03	-	-
C8	0,338	223,78	-	75,53	-	-
C9	0,231	223,78	-	51,69	-	-
C10	0,141	223,78	-	31,62	-	-
C11	0,066	223,78	-	14,84	-	-
C12	0,008	223,78	-	1,80	-	-
C13	-0,034	223,78	-7,59	-	-	-
C14	-0,060	223,78	-13,49	-	-	-
C15	-0,072	223,78	-16,11	-	-	-
C16	-0,071	223,78	-15,78	-	-	-
C17	-0,058	234,97	-13,51	-	-	-
C18	-0,033	246,15	-8,00	-	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	-	-
Total			Tekan = -527,74		Tarik = 940,31	

4.5.4.8. Analisa Garis Pengaruh Batang 4

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 4 dapat dilihat pada Gambar 4.42 dan Tabel 4.22.



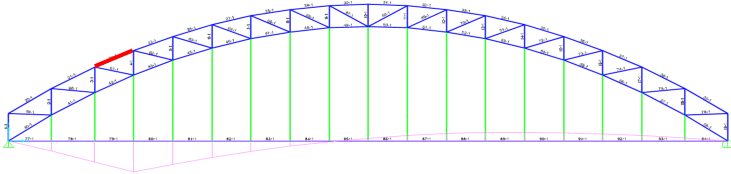
Gambar 4.42 Diagram Garis Pengaruh Batang 4

Tabel 4.22 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 4

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	0,179	246,15	-	43,94	-	-
C3	0,354	234,97	-	83,20	-	-
C4	0,510	223,78	-	114,08	-	243,56
C5	-0,412	223,78	-92,13	-	-196,69	-
C6	-0,339	223,78	-75,93	-	-	-
C7	-0,273	223,78	-61,09	-	-	-
C8	-0,214	223,78	-47,78	-	-	-
C9	-0,161	223,78	-36,03	-	-	-
C10	-0,116	223,78	-25,94	-	-	-
C11	-0,077	223,78	-17,25	-	-	-
C12	-0,046	223,78	-10,20	-	-	-
C13	-0,021	223,78	-4,74	-	-	-
C14	-0,004	223,78	-0,84	-	-	-
C15	0,007	223,78	-	1,64	-	-
C16	0,013	223,78	-	2,80	-	-
C17	0,013	234,97	-	2,96	-	-
C18	0,008	246,15	-	1,96	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan = -568,62		Tarik = 494,14	

4.5.4.9. Analisa Garis Pengaruh Batang 22

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 22 dapat dilihat pada Gambar 4.43 dan Tabel 4.23.



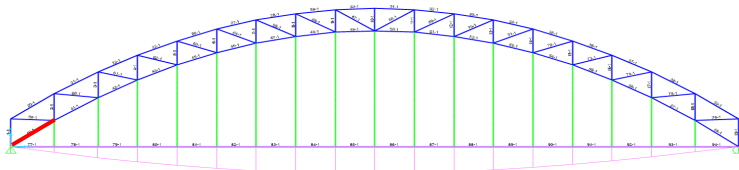
Gambar 4.43 Diagram Garis Pengaruh Batang 22

Tabel 4.23 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 22

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	-0,806	246,15	-198,45	-	-	-
C3	-1,647	234,97	-387,07	-	-	-
C4	-2,457	223,78	-549,74	-	-1173,64	-
C5	-1,855	223,78	-415,13	-	-	-
C6	-1,311	223,78	-293,42	-	-	-
C7	-0,830	223,78	-185,78	-	-	-
C8	-0,415	223,78	-92,91	-	-	-
C9	-0,068	223,78	-15,26	-	-	-
C10	0,210	223,78	-	46,88	-	-
C11	0,427	223,78	-	95,53	-	-
C12	0,576	223,78	-	128,94	-	-
C13	0,660	223,78	-	147,65	-	-
C14	0,680	223,78	-	152,26	-	325,06
C15	0,642	223,78	-	143,73	-	-
C16	0,551	223,78	-	123,37	-	-
C17	0,415	234,97	-	97,44	-	-
C18	0,222	246,15	-	54,62	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan = -3311,40		Tarik = 1315,49	

4.5.4.10. Analisa Garis Pengaruh Batang 40

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 40 dapat dilihat pada Gambar 4.44 dan Tabel 4.24.



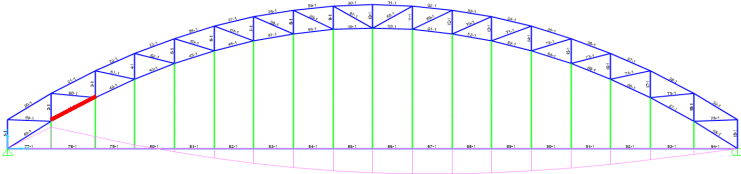
Gambar 4.44 Diagram Garis Pengaruh Batang 40

Tabel 4.24 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 40

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	0,00
C2	-0,223	246,15	-54,77	-	-	-
C3	-0,426	234,97	-100,05	-	-	-
C4	-0,591	223,78	-132,25	-	-	-
C5	-0,734	223,78	-164,21	-	-	-
C6	-0,852	223,78	-190,59	-	-	-
C7	-0,943	223,78	-211,00	-	-	-
C8	-1,006	223,78	-225,19	-	-	-
C9	-1,041	223,78	-233,04	-	-	-
C10	-1,048	223,78	-234,48	-	-500,59	-
C11	-1,030	223,78	-230,40	-	-	-
C12	-0,984	223,78	-220,15	-	-	-
C13	-0,912	223,78	-203,98	-	-	-
C14	-0,814	223,78	-182,20	-	-	-
C15	-0,694	223,78	-155,21	-	-	-
C16	-0,552	223,78	-123,59	-	-	-
C17	-0,393	234,97	-92,41	-	-	-
C18	-0,202	246,15	-49,75	-	-	-
B19	0,000	123,08	0,00	-	-	-
Total			Tekan = -3303,88		Tarik = 0,00	

4.5.4.11. Analisa Garis Pengaruh Batang 41

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 41 dapat dilihat pada Gambar 4.45 dan Tabel 4.25.



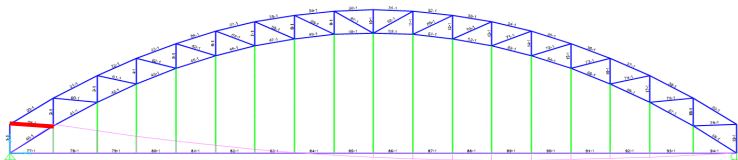
Gambar 4.45 Diagram Garis Pengaruh Batang 41

Tabel 4.25 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 41

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	1,066	246,15	-	262,42	-	509,33
C3	0,590	234,97	-	138,73	-	-
C4	0,194	223,78	-	43,37	-	-
C5	-0,162	223,78	-36,16	-	-	-
C6	-0,471	223,78	-105,42	-	-	-
C7	-0,731	223,78	-163,52	-	-	-
C8	-0,938	223,78	-209,97	-	-	-
C9	-1,093	223,78	-244,55	-	-	-
C10	-1,193	223,78	-267,04	-	-	-
C11	-1,247	223,78	-279,08	-	-	-
C12	-1,248	223,78	-279,34	-	-596,38	-
C13	-1,199	223,78	-268,31	-	-	-
C14	-1,102	223,78	-246,54	-	-	-
C15	-0,960	223,78	-214,76	-	-	-
C16	-0,778	223,78	-174,03	-	-	-
C17	-0,561	234,97	-131,89	-	-	-
C18	-0,291	246,15	-71,73	-	-	-
B19	0,000	123,08	0,00	-	-	-
Total			Tekan = -3288,72		Tarik = 953,84	

4.5.4.12. Analisa Garis Pengaruh Batang 59

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 59 dapat dilihat pada Gambar 4.46 dan Tabel 4.26.



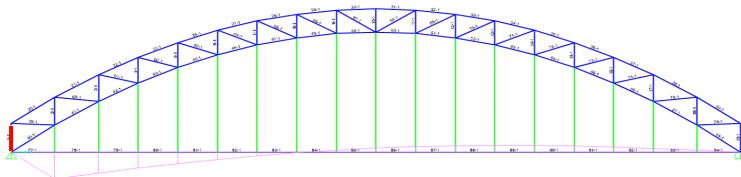
Gambar 4.46 Diagram Garis Pengaruh Batang 59

Tabel 4.26 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 59

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	1,070	246,15	-	263,28	-	511,00
C3	0,834	234,97	-	196,04	-	-
C4	0,634	223,78	-	141,94	-	-
C5	0,451	223,78	-	100,99	-	-
C6	0,287	223,78	-	64,25	-	-
C7	0,143	223,78	-	32,07	-	-
C8	0,021	223,78	-	4,68	-	-
C9	-0,080	223,78	-17,86	-	-	-
C10	-0,158	223,78	-35,40	-	-	-
C11	-0,217	223,78	-48,63	-	-	-
C12	-0,255	223,78	-56,97	-	-	-
C13	-0,271	223,78	-60,67	-	-129,52	-
C14	-0,268	223,78	-59,88	-	-	-
C15	-0,245	223,78	-54,92	-	-	-
C16	-0,207	223,78	-46,21	-	-	-
C17	-0,153	234,97	-36,00	-	-	-
C18	-0,081	246,15	-19,99	-	-	-
B19	0,000	123,08	0,00	-	-	-
Total			Tekan =	-566,04	Tarik =	1314,25

4.5.4.13. Analisa Garis Pengaruh Batang 1

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 1 dapat dilihat pada Gambar 4.47 dan Tabel 4.27.



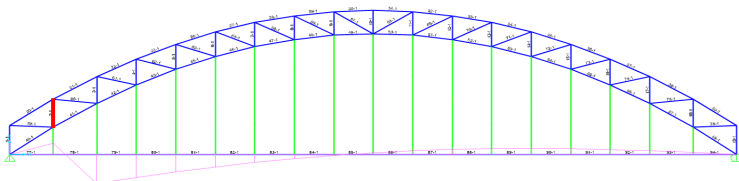
Gambar 4.47 Diagram Garis Pengaruh Batang 1

Tabel 4.27 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 1

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	-0,808	246,15	-198,84	-	-385,93	-
C3	-0,630	234,97	-148,05	-	-	-
C4	-0,479	223,78	-107,21	-	-	-
C5	-0,341	223,78	-76,26	-	-	-
C6	-0,217	223,78	-48,52	-	-	-
C7	-0,108	223,78	-24,21	-	-	-
C8	-0,016	223,78	-3,51	-	-	-
C9	0,060	223,78	-	13,47	-	-
C10	0,120	223,78	-	26,74	-	-
C11	0,164	223,78	-	36,72	-	-
C12	0,192	223,78	-	43,03	-	-
C13	0,205	223,78	-	45,81	-	97,80
C14	0,202	223,78	-	45,23	-	-
C15	0,185	223,78	-	41,49	-	-
C16	0,156	223,78	-	34,91	-	-
C17	0,116	234,97	-	27,19	-	-
C18	0,061	246,15	-	15,09	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan = -992,54		Tarik = 427,47	

4.5.4.14. Analisa Garis Pengaruh Batang 2

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 2 dapat dilihat pada Gambar 4.48 dan Tabel 4.28.



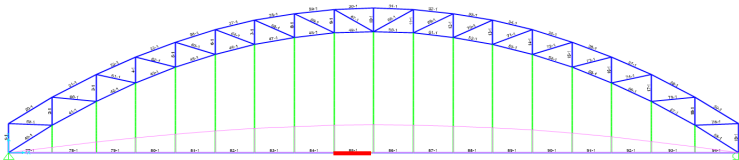
Gambar 4.48 Diagram Garis Pengaruh Batang 2

Tabel 4.28 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 2

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR kN	Tekan kN	Tarik kN	Tekan kN	Tarik kN
B1	0,000	123,08	-	-	-	-
C2	0,232	246,15	-	56,98	-	110,60
C3	-0,618	234,97	-145,21	-	-295,25	-
C4	-0,491	223,78	-109,79	-	-	-
C5	-0,373	223,78	-83,45	-	-	-
C6	-0,266	223,78	-59,61	-	-	-
C7	-0,172	223,78	-38,51	-	-	-
C8	-0,091	223,78	-20,27	-	-	-
C9	-0,022	223,78	-4,99	-	-	-
C10	0,033	223,78	-	7,30	-	-
C11	0,076	223,78	-	16,94	-	-
C12	0,106	223,78	-	23,65	-	-
C13	0,123	223,78	-	27,48	-	-
C14	0,128	223,78	-	28,58	-	-
C15	0,121	223,78	-	27,12	-	-
C16	0,104	223,78	-	23,36	-	-
C17	0,079	234,97	-	18,49	-	-
C18	0,042	246,15	-	10,39	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan =	-757,09	Tarik =	350,89

4.5.4.15. Analisa Garis Pengaruh Batang 85

Diagram garis pengaruh dan gaya aksial pada batang 85 dapat dilihat pada Gambar 4.49 dan Tabel 4.29.



Gambar 4.49 Diagram Garis Pengaruh Batang 85

Tabel 4.29 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Batang 85

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR kN	Tekan kN	Tarik kN	Tekan kN	Tarik kN
B1	0,000	123,08	-	-	0,00	-
C2	0,159	246,15	-	39,24	-	-
C3	0,310	234,97	-	72,86	-	-
C4	0,435	223,78	-	97,41	-	-
C5	0,547	223,78	-	122,32	-	-
C6	0,642	223,78	-	143,55	-	-
C7	0,718	223,78	-	160,67	-	-
C8	0,775	223,78	-	173,38	-	-
C9	0,811	223,78	-	181,42	-	-
C10	0,825	223,78	-	184,57	-	394,05
C11	0,819	223,78	-	183,34	-	-
C12	0,791	223,78	-	177,10	-	-
C13	0,741	223,78	-	165,84	-	-
C14	0,669	223,78	-	149,71	-	-
C15	0,576	223,78	-	128,87	-	-
C16	0,463	223,78	-	103,68	-	-
C17	0,333	234,97	-	78,29	-	-
C18	0,173	246,15	-	42,58	-	-
B19	0,000	123,08	-	0,00	-	-
Total			Tekan =	0,00	Tarik =	2598,91

4.5.5. Kombinasi Pembebanan

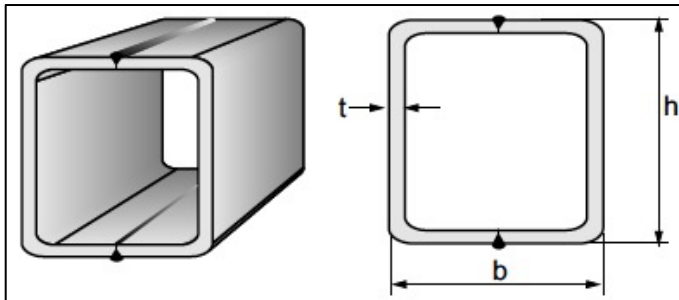
Kombinasi pembebanan untuk mendapatkan gaya aksial akhir tiap batang yang ditinjau menggunakan kombinasi Kuat I sesuai dengan SNI 1725:2016. Kombinasi Kuat I merupakan kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai. Rekapitulasi hasil kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Rekapitulasi Total Gaya Aksial pada Batang

Segmen	Komponen Rangka	Gaya Aksial Akibat Beban					
		Mati	Pejalan	BGT + BTR		Total	
				Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
kN	kN	kN	kN	kN	kN		
3	Atas	-2638,7	-428,2	-3162,6	173,8	-6229,4	173,8
	Bawah	-810,9	-127,4	-2362,9	2010,0	-3301,2	2010,0
	Diagonal	208,1	35,0	-975,9	1130,5	-975,9	1373,6
	Vertikal	-3,8	8,8	-640,1	841,0	-643,8	890,7
2	Atas	-2461,8	-393,7	-3647,4	979,5	-6502,8	979,5
	Bawah	-1889,2	-305,4	-3309,9	2144,4	-5504,5	2144,4
	Diagonal	377,1	61,9	-527,7	940,3	-527,7	1379,3
	Vertikal	-179,8	-26,1	-568,6	494,1	-774,6	494,1
1	Atas	-1640,0	-255,9	-3311,4	1315,5	-5207,3	1315,5
	Bawah 1	-3933,0	-625,6	-3303,9	0,0	-7862,5	0,0
	Bawah 2	-3111,9	-501,0	-3288,7	953,8	-6901,6	953,8
	Diagonal	539,9	80,7	-566,0	1314,2	-566,0	1934,9
	Vertikal 1	-423,1	-60,9	-992,5	427,5	-1476,5	427,5
	Vertikal 2	-368,7	-50,4	-757,1	350,9	-1176,2	350,9
Batang Tarik		3134,6	499,4	0,0	2598,9	0,0	6232,9

4.5.6. Perencanaan Profil Rangka Utama

Perencanaan profil rangka utama menggunakan kontrol sesuai RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. Batang-batang yang dianalisa adalah batang yang telah ditentukan pada sub bab sebelumnya. Profil yang digunakan adalah profil *Square Hollow* mutu GR 50A produk PT. Gunung Raja Paksi dengan sketsa profil seperti pada Gambar 4.50.



Gambar 4.50 Sketsa Profil *Square Hollow*

4.5.6.1. Kontrol Batang 30

Profil yang digunakan untuk batang 30 adalah Profil *Square Hollow* 400x400x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Properti Profil Batang 30

d	400 mm	$I_X = I_Y$	76500 cm ⁴
A	346 cm ²	$Z_X = Z_Y$	3830 cm ³
t	25 mm	$i_X = i_Y$	14,9 cm
W	281,74 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 30

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 30 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -6229,39 kN

atau -635004 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 400/25 = 16$$

$$625/\sqrt{fy} = 625/\sqrt{345} = 33,65 > 16 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 500,4 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 500,4) / (14,9) \\ = 33,58$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{fy / E} = 33,58 / \pi \cdot \sqrt{3450 / 2 \cdot 10^6} \\ = 0,444$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot fy \\ = 1099729,57 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1099729,57 \\ = 934770,13 \text{ kg} > P_u = 635004,09 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

o Kontrol Tarik Batang 30

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 30 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 173,77 kN atau 17714,01 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 294,1 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot fu = 1661665 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot P_n = 124628,75 \text{ kg} > 17714 \text{ kg} \text{ (OK)}$$

Kuat leleh

$$A_g = 346 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 1074330 \text{ kg} > 17714 \text{ kg (OK)}$$

4.5.6.2. Kontrol Batang 47

Profil yang digunakan untuk batang 47 adalah Profil *Square Hollow* 400x400x16 dengan material properti seperti pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Properti Profil Batang 47

d	400 mm	$I_x = I_y$	56200 cm ⁴
A	234,8 cm ²	$Z_x = Z_y$	2810 cm ³
t	16 mm	$i_x = i_y$	15,5 cm
W	187,74 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- **Kontrol Tekan Batang 47**

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 47 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -3301.21 kN atau -336514,38 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 400/16 = 25$$

$$625/\sqrt{f_y} = 625/\sqrt{345} = 33,65 > 25 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 511,1 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (i_x) = (1 \cdot 511,1) / (15,5) = 32,97$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \lambda/\pi \cdot \sqrt{f_y/E} = 32,97/\pi \cdot \sqrt{3450/2.10^6} \\ &= 0,436\end{aligned}$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned}P_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 748495,33 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,85 \cdot 748495,33 \\ &= 636221,03 \text{ kg} > P_u = 336514,38 \text{ kg} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

o Kontrol Tarik Batang 47

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 47 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 2009,96 KN atau 204889,03 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned}A_e &= 0,85 \cdot A_g = 199,58 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 1127627,0 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 845720,3 \text{ kg} > 204889 \text{ kg} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned}A_g &= 234,8 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 729054 \text{ kg} > 204889,0 \text{ kg} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

4.5.6.3. Kontrol Batang 65

Profil yang digunakan untuk batang 65 adalah Profil *Square Hollow* 180x180x10 dengan material properti seperti pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Properti Profil Batang 65

d	180 mm	$I_X = I_Y$	3016,8 cm ⁴
A	64,57 cm ²	$Z_X = Z_Y$	335,2 cm ³
t	10 mm	$i_X = i_Y$	6,84 cm
W	51,36 kg/m	F_y	3550 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- **Kontrol Tekan Batang 65**

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 65 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -975,94 kN atau -99484,33 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 180/10 = 18$$

$$625 / \sqrt{f_y} = 625 / \sqrt{355} = 33,17 > 18 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 559,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (K_{cx} \cdot L_x) / (i_x) = (1 \cdot 559,8) / (6,84)$$

$$= 81,84$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 81,84 / \pi \cdot \sqrt{3550 / 2 \cdot 10^6}$$

$$= 1,098$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

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

$$= 138885,37 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 138885,37$$

$$= 118052,57 \text{ kg} > P_u = 99484,33 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

○ Kontrol Tarik Batang 65

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 65 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 1373,63 KN atau 140023,07 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g &= 54,88 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u &= 3100097,43 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n &= 232573,6 \text{ kg} > 140023 \text{ kg(OK)} \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 64,57 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y &= 206301,2 \text{ kg} > 140023 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

4.5.6.4. Kontrol Batang 7

Profil yang digunakan untuk batang 7 adalah Profil *Square Hollow* 180x180x6,3 dengan material properti seperti pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Properti Profil Batang 7

d	180 mm	$I_X = I_Y$	2095,65 cm ⁴
A	42,41 cm ²	$Z_X = Z_Y$	232,85 cm ³
t	6,3 mm	$i_X = i_Y$	7,03 cm
W	33,56 kg/m	F_y	3550 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

• Kontrol Tekan Batang 7

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 7 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -643,85 kN atau -65631,79 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 180/6,3 = 28,57$$

$$625/\sqrt{fy} = 625/\sqrt{355} = 33,17 > 28,57 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 357,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx)/(ix) = (1 \cdot 357,8)/(7,03) \\ = 50,90$$

$$\lambda_c = \lambda/\pi \cdot \sqrt{fy/E} = 50,90/\pi \cdot \sqrt{3550/2 \cdot 10^6} \\ = 0,683$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ = 124034,21 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 124034,21 \\ = 123034,21 \text{ kg} > P_u = 65631 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

○ **Kontrol Tarik Batang 7**

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 7 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 890,69 kN atau 90794,08 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 36,05 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 203674,03 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot P_n = 152755,52 \text{ kg} > 90794 \text{ kg (OK)}$$

Kuat leleh

$$A_g = 42,41 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 135499,95 \text{ kg} > 90794 \text{ kg (OK)}$$

4.5.6.5. Kontrol Batang 27

Profil yang digunakan untuk batang 27 adalah Profil *Square Hollow* 400x400x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Properti Profil Batang 27

d	400 mm	$I_X = I_Y$	76500 cm ⁴
A	346 cm ²	$Z_X = Z_Y$	3830 cm ³
t	25 mm	$i_X = i_Y$	14,9 cm
W	281,74 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 27

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 27 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -6502,83 kN atau -662877,75 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 400/25 = 16$$

$$625/\sqrt{f_y} = 625/\sqrt{345} = 33,65 > 16 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 519,6 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 519,6) / (14,9)$$

$$= 34,87$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 34,87 / \pi \cdot \sqrt{3450 / 2 \cdot 10^6}$$

$$= 0,461$$

karena $\lambda c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 1092699,81 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 1092699,81 \\ &= 928794,84 \text{ kg} > P_u = 662877 \text{ kg} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

o Kontrol Tarik Batang 27

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 27 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 979,51 kN atau 99847,87 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 294,1 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 1661665 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 124628,7 \text{ kg} > 99847,8 \text{ kg} (\text{OK}) \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 346 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 1074330 \text{ kg} > 99847 \text{ kg} (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.5.6.6. Kontrol Batang 43

Profil yang digunakan untuk batang 43 adalah Profil *Square Hollow* 400x400x19 dengan material properti seperti pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Properti Profil Batang 43

d	400 mm	$I_x = I_y$	63100 cm ⁴
A	271,8 cm ²	$Z_x = Z_y$	3160 cm ³
t	19 mm	$i_x = i_y$	15,2 cm
W	220 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 43

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 43 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -5504,49 kN atau -561109,87 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 400/19 = 21,05$$

$$625 / \sqrt{fy} = 625 / \sqrt{345} = 33,65 > 21,05 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\begin{aligned} \text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} &= 1 \\ \text{Panjang batang (Lx = Ly)} &= 552 \text{ cm} \\ \lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) &= (1 \cdot 552) / (15,2) \\ &= 36,32 \\ \lambda_c &= \lambda / \pi \cdot \sqrt{fy / E} = 36,32 / \pi \cdot \sqrt{3450 / 2 \cdot 10^6} \\ &= 0,480 \end{aligned}$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 851981,80 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 851981,80 \\ &= 724184,53 \text{ kg} > P_u = 662877 \text{ kg} \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

- Kontrol Tarik Batang 43

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 43 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 2144,40 kN atau 218593,22 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 231,03 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 1305319,5 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 978989,6 \text{ kg} > 218593 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 271,8 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 843939 \text{ kg} > 218593 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

4.5.6.7. Kontrol Batang 62

Profil yang digunakan untuk batang 62 adalah Profil *Square Hollow* 180x180x10 dengan material properti seperti pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Properti Profil Batang 62

d	180 mm	$I_x = I_y$	3016,8 cm ⁴
A	64,57 cm ²	$Z_x = Z_y$	335,2 cm ³
t	10 mm	$i_x = i_y$	6,84 cm
W	51,36 kg/m	F_y	3550 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- **Kontrol Tekan Batang 62**

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 62 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -527,74 kN atau -53796,35 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$\begin{aligned} b/t &= 180/10 = 18 \\ 625/\sqrt{f_y} &= 625/\sqrt{355} = 33,17 > 18 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang batang } (L_x = L_y) &= 522,7 \text{ cm} \\
 \lambda_x = \lambda_y &= \frac{(K_{cx} \cdot L_x)}{(ix)} = \frac{(1 \cdot 522,7)}{(6,84)} \\
 &= 76,42 \\
 \lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{f_y/E} = \frac{76,42}{\pi} \cdot \sqrt{3550/2 \cdot 10^6} \\
 &= 1,025
 \end{aligned}$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned}
 P_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\
 &= 148096,03 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,85 \cdot 148096,03 \\
 &= 125881,62 \text{ kg} > P_u = 53796,35 \text{ kg} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

o Kontrol Tarik Batang 62

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 62 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 1379,33 KN atau 140604,05 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned}
 A_e &= 0,85 \cdot A_g = 54,88 \text{ cm}^2 \\
 P_n &= A_e \cdot f_u = 3100097,43 \text{ kg} \\
 \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 232573,6 \text{ kg} > 140604 \text{ kg} (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned}
 A_g &= 64,57 \text{ cm}^2 \\
 P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 206301,2 \text{ kg} > 140604 \text{ kg} (\text{OK})
 \end{aligned}$$

4.5.6.8. Kontrol Batang 4

Profil yang digunakan untuk batang 4 adalah Profil *Square Hollow* 180x180x8 dengan material properti seperti pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Properti Profil Batang 4

d	180 mm	$I_X = I_Y$	2545,86 cm ⁴
A	52,84 cm ²	$Z_X = Z_Y$	282,87 cm ³
t	8 mm	$i_X = i_Y$	6,94 cm
W	41,92 kg/m	F _y	3550 kg/cm ²
E	2.10 ⁶ kg/cm ²	F _u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 4

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 4 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -774,56 kN atau -78956,02 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 180/8 = 22,5$$

$$625/\sqrt{f_y} = 625/\sqrt{355} = 33,17 > 22,5 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 386,4 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 386,4) / (6,94) \\ = 55,68$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 55,68 / \pi \cdot \sqrt{3550 / 2.10^6} \\ = 0,747$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ = 148758,82 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 148758,82 \\ = 126445 \text{ kg} > P_u = 78956,02 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

○ Kontrol Tarik Batang 4

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 4 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 494,14 kN atau 50370,56 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 44,91 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 253764,1 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 190323,08 \text{ kg} > 50370,56 \text{ kg} \\ &\text{(OK)} \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 52,84 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 168823,8 \text{ kg} > 50370 \text{ kg} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.5.6.9. Kontrol Batang 22

Profil yang digunakan untuk batang 22 adalah Profil *Square Hollow* 400x400x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Properti Profil Batang 22

d	400 mm	$I_X = I_Y$	76500 cm ⁴
A	346 cm ²	$Z_X = Z_Y$	3830 cm ³
t	25 mm	$i_X = i_Y$	14,9 cm
W	281,74 kg/m	F _y	3450 kg/cm ²
E	2.10 ⁶ kg/cm ²	F _u	5650 kg/cm ²

• Kontrol Tekan Batang 22

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 22 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -5207,33 kN atau -530818,43 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 400/25 = 16$$

$$625/\sqrt{fy} = 625/\sqrt{345} = 33,65 > 16 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 564,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 564,8) / (14,9)$$

$$= 37,91$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{fy / E} = 37,91 / \pi \cdot \sqrt{3450 / 2 \cdot 10^6}$$

$$= 0,501$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

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

$$= 1075302,08 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1075302,08$$

$$= 914006,77 \text{ kg} > P_u = 530818 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

○ **Kontrol Tarik Batang 22**

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 22 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 1315,49 kN atau 134097,17 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 294,1 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot f_u = 1661665 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot P_n = 1246248 \text{ kg} > 134097 \text{ kg (OK)}$$

Kuat leleh

$$A_g = 346 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 1074330 \text{ kg} > 134097 \text{ kg (OK)}$$

4.5.6.10. Kontrol Batang 40

Profil yang digunakan untuk batang 40 adalah Profil *Square Hollow* 500x500x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40 Properti Profil Batang 40

d	500 mm	$I_X = I_Y$	160900 cm ⁴
A	446 cm ²	$Z_X = Z_Y$	6440 cm ³
t	25 mm	$i_X = i_Y$	19 cm
W	360,24 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 40

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 40 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -7862,48 kN atau -801476,38 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 500/19 = 26,32$$

$$625/\sqrt{f_y} = 625/\sqrt{345} = 33,65 > 26,32 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 683 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 683) / (19,3) \\ = 35,39$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 35,39 / \pi \cdot \sqrt{3450 / 2 \cdot 10^6} \\ = 0,468$$

karena $\lambda c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 1095492,62 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 1095492,62 \\ &= 931168,72 \text{ kg} > P_u = 801476,38 \text{ kg} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

o Kontrol Tarik Batang 40

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 40 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 0 kN. Karena gaya yang terjadi mendekati 0, maka kontrol tarik terhadap batang 40 tidak perlu dilakukan.

4.5.6.11. Kontrol Batang 41

Profil yang digunakan untuk batang 41 adalah Profil *Square Hollow* 400x400x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.41.

Tabel 4.41 Properti Profil Batang 41

d	400 mm	$I_x = I_y$	76500 cm ⁴
A	346 cm ²	$Z_x = Z_y$	3830 cm ³
t	25 mm	$i_x = i_y$	14,9 cm
W	281,74 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

• Kontrol Tekan Batang 41

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 41 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -6901,61 kN atau -703527,79 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 400/25 = 16$$

$$625 / \sqrt{fy} = 625 / \sqrt{345} = 33,65 > 16 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 653,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 653,5) / (14,9) \\ = 43,86$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{fy / E} = 43,86 / \pi \cdot \sqrt{3450 / 2 \cdot 10^6} \\ = 0,580$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$P_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot fy \\ = 1037917,57 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1037917,57 \\ = 882299,94 \text{ kg} > P_u = 703527,79 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

o Kontrol Tarik Batang 41

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 41 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 953,84 kN atau 97231,87 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$A_e = 0,85 \cdot A_g = 294,1 \text{ cm}^2$$

$$P_n = A_e \cdot fu = 1661665 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot P_n = 124624,8 \text{ kg} > 97231,8 \text{ kg (OK)}$$

Kuat leleh

$$A_g = 346 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot fy = 1074330 \text{ kg} > 97231,8 \text{ kg (OK)}$$

4.5.6.12. Kontrol Batang 59

Profil yang digunakan untuk batang 59 adalah Profil *Square Hollow* 180x180x10 dengan material properti seperti pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Properti Profil Batang 59

d	180 mm	$I_X = I_Y$	3016,8 cm ⁴
A	64,57 cm ²	$Z_X = Z_Y$	335,2 cm ³
t	10 mm	$i_X = i_Y$	6,84 cm
W	51,36 kg/m	F_y	3550 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 59

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 59 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -566,04 kN atau -57700,38 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 180/10 = 18$$

$$625/\sqrt{f_y} = 625/\sqrt{355} = 33,17 > 18 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 550,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 550,8) / (6,84) \\ = 80,53$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 80,53 / \pi \cdot \sqrt{3550 / 2 \cdot 10^6} \\ = 1,080$$

karena $\lambda c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 141122,79 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 141122,79 \\ &= 119954,37 \text{ kg} > P_u = 57700,38 \text{ kg} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

o Kontrol Tarik Batang 59

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 59 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 1934,88 KN atau 197235,21 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 54,88 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 3100097,43 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 232573,6 \text{ kg} > 197235 \text{ kg} (\text{OK}) \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 64,57 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 206301 \text{ kg} > 197235,2 \text{ kg} (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.5.6.13. Kontrol Batang 1

Profil yang digunakan untuk batang 1 adalah Profil *Square Hollow* 220x220x10 dengan material properti seperti pada Tabel 4.43.

Tabel 4.43 Properti Profil Batang 1

d	220 mm	$I_x = I_y$	5782,46 cm ⁴
A	80,57 cm ²	$Z_x = Z_y$	525,68 cm ³
t	10 mm	$i_x = i_y$	8,58 cm
W	63,92 kg/m	F_y	3550 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 1

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 1 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -1476,55 kN atau -150514,59 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$b/t = 220/10 = 22,0$$

$$625 / \sqrt{fy} = 625 / \sqrt{355} = 33,17 > 22,0 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

Faktor tekuk ($Kcx = Kcy$) = 1

Panjang batang ($Lx = Ly$) = 434,7 cm

$$\lambda_x = \lambda_y = (Kcx \cdot Lx) / (ix) = (1 \cdot 434,7) / (8,58)$$

$$= 50,66$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{fy / E} = 50,66 / \pi \cdot \sqrt{3550 / 2 \cdot 10^6}$$

$$= 0,680$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

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

$$= 236054 \text{ kg}$$

$$\phi Pn = 0,85 \cdot 236054$$

$$= 200645,95 \text{ kg} > Pu = 150514,59 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

- Kontrol Tarik Batang 1

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 1 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 427,47 kN atau 43575,04 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 68,48 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 386937,43 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 290203,07 \text{ kg} > 43575 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 80,57 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 257421,15 \text{ kg} > 43575 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

4.5.6.14. Kontrol Batang 2

Profil yang digunakan untuk batang 2 adalah Profil *Square Hollow* 500x500x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.44.

Tabel 4.44 Properti Profil Batang 2

d	500 mm	$I_x = I_y$	160900 cm ⁴
A	446 cm ²	$Z_x = Z_y$	6440 cm ³
t	25 mm	$i_x = i_y$	19 cm
W	360,24 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	$2 \cdot 10^6$ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

- Kontrol Tekan Batang 2

Gaya aksial tekan maksimum yang diterima oleh batang 2 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah -1176,16 kN atau -1198,94 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kontrol Kelangsingan

$$\begin{aligned} b/t &= 500/19 = 26,32 \\ 625/\sqrt{f_y} &= 625/\sqrt{345} = 33,65 > 26,32 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Kapasitas Tekan

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang batang (Lx = Ly)} &= 415,9 \text{ cm} \\ \lambda_x = \lambda_y = \frac{(K_{cx} \cdot L_x)}{(ix)} &= \frac{(1 \cdot 415,9)}{(19,3)} \\ &= 21,55 \\ \lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{f_y/E} = \frac{21,55}{\pi} \cdot \sqrt{3450/2.10^6} \\ &= 0,285 \end{aligned}$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 1160079 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 1160079 \\ &= 986067 \text{ kg} > P_u = 119894,2 \text{ kg} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

o Kontrol Tarik Batang 2

Gaya aksial tarik maksimum yang diterima oleh batang 2 sesuai dengan Tabel 4.30 adalah 350,89 kN atau 35768,92 kg. Dengan gaya maksimum tersebut dilakukan kontrol terhadap profil yang direncanakan.

Kuat Putus

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_g = 295,63 \text{ cm}^2 \\ P_n &= A_e \cdot f_u = 1670309,5 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot P_n = 1252732 \text{ kg} > 35768,9 \text{ kg} (\text{OK}) \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned} A_g &= 347,8 \text{ cm}^2 \\ P_n &= 0,9 \cdot A_g \cdot f_y = 1079919 \text{ kg} > 35768,9 \text{ kg} (\text{OK}) \end{aligned}$$

Setelah dilakukan kontrol pada tiap batang yang dipilih, dapat ditentukan profil masing masing batang yang akan digunakan pada tiap segmen. Profil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.45. Batang 40 dan 2 juga merupakan komponen dari

portak akhir. Oleh karena itu akan dikontrol kembali di sub bab perencanaan portal akhir.

Tabel 4.45 Rekapitulasi Kebutuhan Profil Rangka Utama

Segmen	Komponen	Nomor Batang	Profil
			(mm)
Segmen 3	Atas	30	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	47	Box 400 x 400 x 16
	Diagonal	65	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	7	Box 180 x 180 x 6,3
Segmen 2	Atas	27	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	43	Box 400 x 400 x 19
	Diagonal	62	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	4	Box 180 x 180 x 8
Segmen 1	Atas	22	Box 400 x 400 x 25
	Bawah 1	40	Box 500 x 500 x 25
	Bawah 2	41	Box 400 x 400 x 25
	Diagonal	59	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal 1	1	Box 220 x 220 x 10
	Vertikal 2	2	Box 500 x 500 x 25
Batang Tarik		85	Box 500 x 500 x 16

4.6. Perencanaan Portal Akhir

4.6.1. Perencanaan Balok Portal Akhir

Nilai gaya dalam yang terjadi pada balok portal akhir didapatkan dari program bantu SAP2000. Nilai momen dapat dilihat pada Gambar 4.51.



Gambar 4.51 Gaya Dalam Balok Portal Akhir

Nilai momen maksimum didapatkan sebesar 168451 kg.m dan gaya geser maksimum sebesar. Balok portal akhir direncanakan menggunakan profil box 500x500x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.46.

Tabel 4.46 Properti Profil Balok Portal Akhir

d	500 mm	$I_X = I_Y$	160900 cm ⁴
A	446 cm ²	$Z_X = Z_Y$	6440 cm ³
t	25 mm	$i_X = i_Y$	19 cm
W	360,24 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	2.10^6 kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

Kontrol Tekuk Lokal

$$h/t = 500/25 = 20,0$$

$$1680 / \sqrt{f_y} = 1680 / \sqrt{345} = 90,45 > 20,0 \quad (\text{Kompak})$$

$$b/2t = 500/50 = 10,0$$

$$500 / \sqrt{f_y} = 500 / \sqrt{345} = 26,92 > 10,0 \quad (\text{Kompak})$$

Penampang Kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y = 6440 \cdot 3450 = 22218000 \text{ kg.cm} \\ &= 222180 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 199962 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Kontrol Tekuk Lateral

- $L_B = 950 \text{ cm}$
- L_P dihitung sesuai dengan RSNI T-03-2005 Tabel 8

$$\begin{aligned} J &= 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot b \cdot t_3^3 \\ &= 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 50 \cdot 2,5^3 \\ &= 1041,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 0,13 \cdot E \cdot i \cdot \sqrt{J \cdot A} / M_p \\ &= 151,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

- L_R dihitung sesuai dengan RSNI T-03-2005 Tabel 8

$f_r = 115 \text{ MPa}$ (penampang buatan di las)

$$\begin{aligned} M_R &= S_x \cdot (f_y - f_r) \\ &= 5654 \cdot (3450 - 1150) \\ &= 12983500 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_R &= 2 \cdot E \cdot i \cdot \sqrt{J \cdot A} / M_R \\ &= 3988,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$L_P < L_B < L_R$ (Bentang Menengah)

- Perhitungan M_n untuk Bentang Menengah

$$M_A = 8096522 \text{ kg.cm}$$

$$M_B = 189669 \text{ kg.cm}$$

$$M_C = 8582771 \text{ kg.cm}$$

$$M_{\text{Max}} = 16845100 \text{ kg.cm}$$

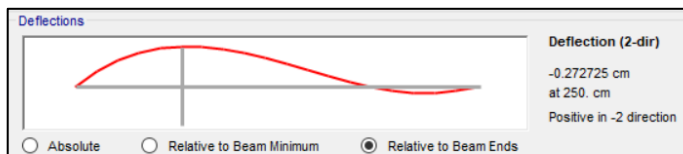
$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{\text{Max}}}{2,5 \cdot M_{\text{max}} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 2,26 \leq 2,3$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \cdot \frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right] \\ &= 459981,44 \text{ kg.m} > \phi M_n = 199962 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

M_n yang digunakan = $199962 \text{ kg.m} > M_u = 168451 \text{ kg.m}$ (OK)

Kontrol Lendutan

Dari program SAP2000 didapatkan lendutan yang terjadi pada balok akibat kombinasi Daya Layan I sebesar 0,27 cm (lihat Gambar 4.52) akibat beban hidup yang bekerja.



Gambar 4.52 Lendutan pada Balok Portal Akhir

Nilai lendutan izin untuk sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah 1/1000 bentang. Dari syarat tersebut didapatkan Δ_{IZIN} dengan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta_{IZIN} &= L/1000 \\ &= 950/1000 \\ &= 0,95 \text{ cm}\end{aligned}$$

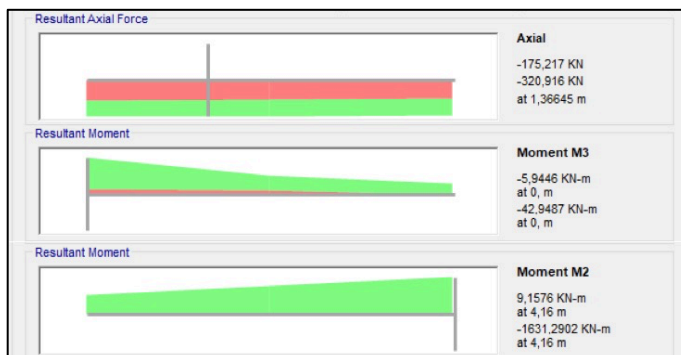
$$\text{Kontrol } \Delta^0 \leq \Delta_{IZIN} \rightarrow 0,27\text{cm} \leq 0,95 \text{ cm (OK)}$$

4.6.2. Perencanaan Kolom Portal Akhir (Batang 2)

Nilai gaya dalam yang terjadi pada kolom portal akhir didapatkan dari program bantu SAP2000. Nilai gaya dan momen dapat dilihat pada Gambar 4.53. Kolom portal akhir direncanakan menggunakan profil box 500x500x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.47.

Tabel 4.47 Properti Profil Kolom Portal Akhir (Batang 2)

d	500 mm	$I_X = I_Y$	160900 cm ⁴
A	446 cm ²	$Z_X = Z_Y$	6440 cm ³
t	25 mm	$i_X = i_Y$	19 cm
W	360,24 kg/m	F _y	3450 kg/cm ²
E	2.10 ⁶ kg/cm ²	F _u	5650 kg/cm ²



Gambar 4.53 Gaya Dalam pada Kolom Portal Akhir

Kontrol Akibat Gaya Axial

Gaya axial yang didapatkan dari program bantu SAP2000 (lihat Gambar 4.53) sebesar -320 kN atau -32619,78 kg (tekan).

- **Kontrol Kelangsingan**

$$b/t = 500/25 = 20,0$$

$$500/\sqrt{f_y} = 500/\sqrt{345} = 26,92 > 20,0 \text{ (OK)}$$

- **Kontrol Kapasitas Tekan**

$$\text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} = 1$$

$$\text{Panjang batang (Lx = Ly)} = 416 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = (K_{cx} \cdot L_x) / (i_x) = (1 \cdot 416) / (19)$$

$$= 21,89$$

$$N_{CRBX} = N_{CRBY}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 446}{21,89^2}$$

$$= 18346139 \text{ kg}$$

$$\lambda_c = \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E}$$

$$= 21,89/\pi \cdot \sqrt{3450/2.10^6}$$

$$= 0,29$$

karena $\lambda c \leq 1,5$, maka,

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

$$= 1486000 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 1486000$$

$$= 1263100 \text{ kg} > P_u = 32619,78 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

Kontrol Akibat Momen Lentur

Nilai momen lentur yang terjadi pada kolom portal akhir didapatkan dari SAP2000. Nilai dari momen tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.54 dan Gambar 4.55. Besaran dari momen tersebut adalah $M_{nty1} = -829,2 \text{ kN.m}$, $M_{nty2} = -1631,3 \text{ kN.m}$, $M_{ntx1} = -42,9 \text{ kN.m}$, $M_{ntx2} = -12,5 \text{ kN.m}$.

- **Nilai Amplifikasi Momen (Kolom Tidak Bergoyang)**

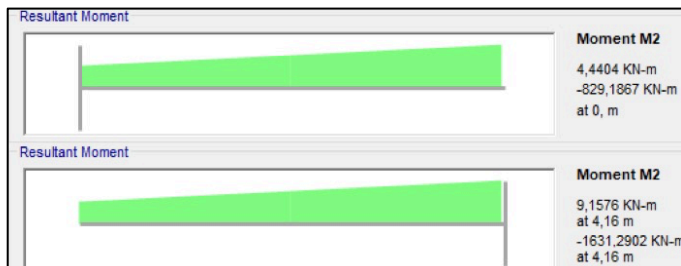
$C_m = 0,85$ (elemen menerima gaya transversal dainggag ujung-ujungnya kaku)

$$\delta_{bx} = \delta_{by} = \frac{C_m}{1 - N_u/N_{crbx}} = \frac{0,85}{1 - 32619/18346139}$$

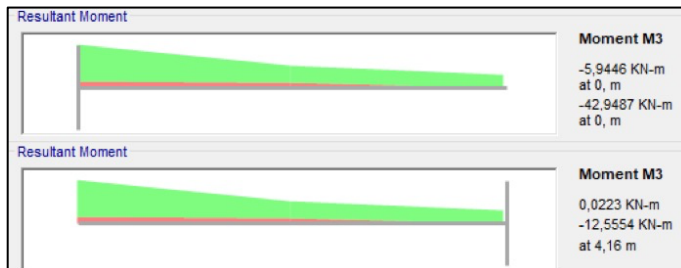
$$= 0,8 < 1, \text{ maka digunakan } 1.$$

$$M_{ux} = \delta_{bx} \cdot M_{utx} = 4373,09 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} = \delta_{by} \cdot M_{uty} = 166258,92 \text{ kg.m}$$



Gambar 4.54 Momen Sumbu Y Kolom Portal Akhir



Gambar 4.55 Momen Sumbu X Kolom Portal Akhir

○ **Kontrol Tekuk Lokal**

$$h/t = 500/25 = 20,0$$

$$1680/\sqrt{f_y} = 1680/\sqrt{345} = 90,4 \quad (\text{Kompak})$$

$$b/2t = 500/50 = 10,0$$

$$500/\sqrt{f_y} = 500/\sqrt{345} = 26,9 \quad (\text{Kompak})$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$M_n = Z_x \cdot f_y = 222180 \text{ kg.m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot M_n = 199962 \text{ kg.m}$$

○ **Kontrol Tekuk Lateral**

$$L_B = 416 \text{ cm}$$

L_P dihitung sesuai dengan RSNI T-03-2005 Tabel 8

$$\begin{aligned} J &= 4 \cdot 1/3 \cdot b \cdot t_3^3 \\ &= 4 \cdot 1/3 \cdot 50 \cdot 2,5^3 \\ &= 1041,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$L_P = 0,13 \cdot E \cdot i \cdot \sqrt{J \cdot A} / M_P$$

$$= 151,5 \text{ cm}$$

L_R dihitung sesuai dengan RSNI T-03-2005 Tabel 8

$f_r = 115 \text{ MPa}$ (penampang buatan di las)

$$M_R = S_x \cdot (f_y - f_r)$$

$$= 5645 \cdot (3450 - 1150)$$

$$= 12983500 \text{ kg.cm}$$

$$L_R = 2 \cdot E \cdot i \cdot \sqrt{J \cdot A} / M_R$$

$$= 3988,5 \text{ cm}$$

$L_P < L_B < L_R$ (Bentang Menengah)

Perhitungan M_n untuk Bentang Menengah

$$M_A = 328409 \text{ kg.cm}$$

$$M_B = 218863 \text{ kg.cm}$$

$$M_C = 173446 \text{ kg.cm}$$

$$M_{Max} = 437954 \text{ kg.cm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{Max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,57 \leq 2,3$$

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

$$= 339900,01 \text{ kg.m} > \phi M_n = 199962 \text{ kg.m}$$

M_n yang digunakan = $199962 \text{ kg.m} > M_u = 166258 \text{ kg.m}$
(OK)

Interaksi Gaya Aksial dan Momen Lentur

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left[\frac{M_{ux}}{0,9 \cdot M_n} + \frac{M_{uy}}{0,9 \cdot M_n} \right] \leq 1$$

$$\frac{32619}{1263100} + \frac{8}{9} \cdot \left[\frac{4373}{0,9 \cdot 199962} + \frac{166258}{0,9 \cdot 199962} \right] \leq 1$$

$$0,87 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.6.3. Perencanaan Kolom Portal Akhir (Batang 40)

Nilai gaya dalam yang terjadi pada kolom portal akhir didapatkan dari program bantu SAP2000. Nilai gaya dan momen dapat dilihat pada Gambar 4.56. Kolom portal direncanakan menggunakan profil box 500x500x25 dengan material properti seperti pada Tabel 4.48.



Gambar 4.56 Gaya Dalam Pada Kolom Portal Akhir

Tabel 4.48 Properti Profil Kolom Portal Akhir (Batang 40)

d	500 mm	$I_X = I_Y$	160900 cm ⁴
A	446 cm ²	$Z_X = Z_Y$	6440 cm ³
t	25 mm	$i_X = i_Y$	19 cm
W	360,24 kg/m	F_y	3450 kg/cm ²
E	2.10 ⁶ kg/cm ²	F_u	5650 kg/cm ²

Kontrol Akibat Gaya Axial

Gaya axial yang didapatkan dari program bantu SAP2000 (lihat Gambar 4.56) sebesar 3823 kN atau -389704 kg (tekan).

- o **Kontrol Kelangsingan**

$$b/t = 500/25 = 20,0$$

$$500 / \sqrt{f_y} = 500 / \sqrt{345} = 26,92 > 20,0 \text{ (OK)}$$

○ **Kontrol Kapasitas Tekan**

$$\begin{aligned} \text{Faktor tekuk (Kcx = Kcy)} &= 1 \\ \text{Panjang batang (Lx = Ly)} &= 683 \text{ cm} \\ \lambda_x = \lambda_y &= (K_{cx} \cdot L_x) / (i_x) = (1 \cdot 683) / (19) \end{aligned}$$

$$= 35,95$$

$$\begin{aligned} N_{CRBX} &= N_{CRBY} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2.10^6 \cdot 446}{35,95^2} \\ &= 6805968 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_c &= \lambda / \pi \cdot \sqrt{f_y / E} = 35,95 / \pi \cdot \sqrt{3450 / 2.10^6} \\ &= 0,475 \end{aligned}$$

karena $\lambda_c \leq 1,5$, maka,

$$\begin{aligned} P_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \\ &= 1400735 \text{ kg} \end{aligned}$$

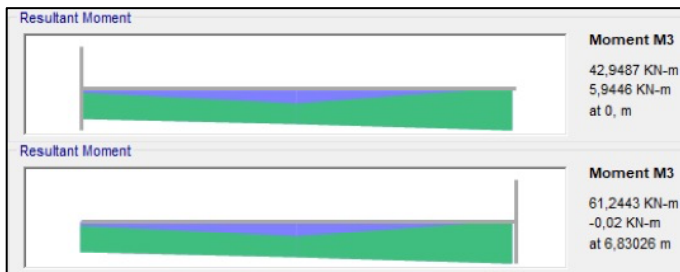
$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,85 \cdot 1400735 \\ &= 1190625,5 \text{ kg} > P_u = 389704,38 \text{ kg} \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Akibat Momen Lentur

Nilai momen lentur yang terjadi pada kolom portal akhir didapatkan dari SAP2000. Nilai dari momen tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.57 dan Gambar 4.58. Besaran dari momen tersebut adalah $M_{nty1} = -1386 \text{ kN.m}$, $M_{nty2} = 100,86 \text{ kN.m}$, $M_{ntx1} = 42,9 \text{ kN.m}$, $M_{ntx2} = 61,2 \text{ kN.m}$.



Gambar 4.57 Momen Sumbu Y Kolom Portal Akhir



Gambar 4.58 Momen Sumbu X Kolom Portal Akhir

- **Nilai Amplifikasi Momen (Kolom Tidak Bergoyang)**
 $C_m = 0,85$ (elemen menerima gaya transversal dainggap ujung-ujungnya kaku)

$$\delta_{bx} = \delta_{by} = \frac{C_m}{1 - N_u / N_{crbx}} = \frac{0,85}{1 - 389704 / 1190625} = 0,8 < 1, \text{ maka digunakan } 1.$$

$$M_{ux} = \delta_{bx} \cdot M_{utx} = 6238,53 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} = \delta_{by} \cdot M_{uty} = 141284,4 \text{ kg.m}$$

- **Kontrol Tekuk Lokal**

$$h/t = 500 / 25 = 20,0$$

$$1680 / \sqrt{fy} = 1680 / \sqrt{345} = 90,4 \quad (\text{Kompak})$$

$$b/2t = 500/50 = 10,0$$

$$500 / \sqrt{fy} = 500 / \sqrt{345} = 26,9 \quad (\text{Kompak})$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$M_n = Z_x \cdot fy = 222180 \text{ kg.m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot M_n = 199962 \text{ kg.m}$$

o **Kontrol Tekuk Lateral**

$$L_B = 683 \text{ cm}$$

L_P dihitung sesuai dengan RSNI T-03-2005 Tabel 8

$$\begin{aligned} J &= 4 \cdot 1/3 \cdot b \cdot t_3 \\ &= 4 \cdot 1/3 \cdot 50 \cdot 2,5^3 \\ &= 1041,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 0,13 \cdot E \cdot i \cdot \sqrt{J \cdot A} / M_p \\ &= 151,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

L_R dihitung sesuai dengan RSNI T-03-2005 Tabel 8

$$f_r = 115 \text{ MPa (penampang buatan di las)}$$

$$\begin{aligned} M_R &= S_x \cdot (fy - f_r) \\ &= 5645 \cdot (3450 - 1150) \\ &= 12983500 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_R &= 2 \cdot E \cdot i \cdot \sqrt{J \cdot A} / M_R \\ &= 3988,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$L_P < L_B < L_R$ (Bentang Menengah)

Perhitungan M_n untuk Bentang Menengah

$$M_A = 6912287 \text{ kg.cm}$$

$$M_B = 7050027 \text{ kg.cm}$$

$$M_C = 3525934 \text{ kg.cm}$$

$$M_{\text{Max}} = 14142182,5 \text{ kg.cm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{\text{Max}}}{2,5 \cdot M_{\text{max}} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,86 \leq 2,3$$

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

$$= 39016577 \text{ kg.m} > \phi M_n = 199962 \text{ kg.m}$$

M_n yang digunakan = 199962 kg.m > $M_u = 141284,4$ kg.m (OK)

Interaksi Gaya Aksial dan Momen Lentur

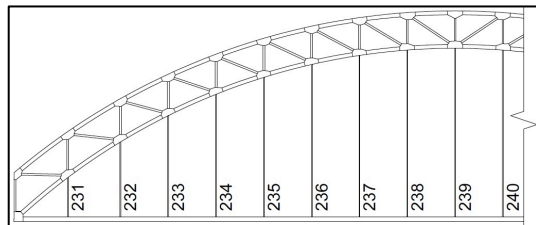
$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left[\frac{M_{ux}}{0,9 \cdot M_n} + \frac{M_{uy}}{0,9 \cdot M_n} \right] \leq 1$$

$$\frac{389704}{1190625} + \frac{8}{9} \cdot \left[\frac{6238,5}{0,9 \cdot 199962} + \frac{141284}{0,9 \cdot 199962} \right] \leq 1$$

$$0,98 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.7. Perencanaan Kabel Penggantung

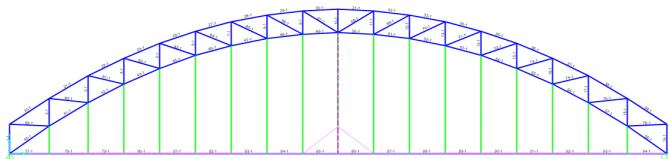
Perencanaan kabel penggantung menggunakan kombinasi Kuat I sesuai dengan SNI 1725:2016. Beban yang diperhitungkan adalah beban mati sendiri dan beban hidup kendaraan. Dalam perhitungan gaya kabel maksimum dilakukan beberapa tahap simulasi. Simulasi berupa kemungkinan terburuk jika salah satu kabel mengalami kegagalan (putus). Sketsa penomoran kabel penggantung dapat dilihat pada Gambar 4.59.



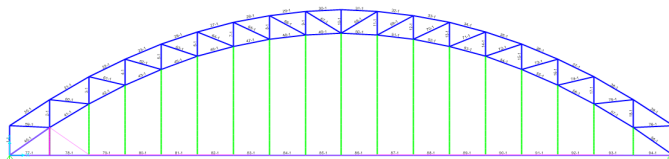
Gambar 4.59 Sketsa Penomoran Kabel Penggantung

4.7.1. Kasus 1 (Seluruh Kabel Bekerja)

Dalam keadaan ideal, dimana semua kabel bekerja, dilakukan kontrol terhadap kabel 239 (tengah bentang) dan kabel 231 (tepi bentang). Dari program bantu SAP2000 diketahui gaya akibat beban mati yang bekerja pada kabel 239 sebesar 264 kN dan pada kabel 231 sebesar 291,7 kN. Sedangkan untuk gaya akibat beban hidup dapat dilihat diagramnya pada Gambar 4.60 dan Gambar 4.61, serta perhitungannya pada Tabel 4.49 dan Tabel 4.50.



Gambar 4.60 Diagram Garis Pengaruh Kabel 239



Gambar 4.61 Diagram Garis Pengaruh Kabel 231

Tabel 4.49 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 239

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	0,00	-
C2	0,001	246,15	-	0,25	-	-
C3	0,003	234,97	-	0,76	-	-
C4	0,005	223,78	-	1,15	-	-
C5	0,006	223,78	-	1,39	-	-
C6	0,006	223,78	-	1,34	-	-
C7	0,005	223,78	-	1,03	-	-

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
C8	0,003	223,78	-	0,58	-	-
C9	0,001	223,78	-	0,17	-	-
C10	1,000	223,78	-	223,74	-	477,65
C11	0,001	223,78	-	0,23	-	-
C12	0,003	223,78	-	0,60	-	-
C13	0,005	223,78	-	1,05	-	-
C14	0,006	223,78	-	1,36	-	-
C15	0,006	223,78	-	1,41	-	-
C16	0,005	223,78	-	1,17	-	-
C17	0,003	234,97	-	0,77	-	-
C18	0,001	246,15	-	0,25	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	0,00	-
Total			Tekan = 0,00		Tarik = 714,89	

Tabel 4.50 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 231

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	0,00	-
C2	1,012	246,15	-	249,20	-	483,67
C3	0,023	234,97	-	5,43	-	-
C4	0,025	223,78	-	5,53	-	-
C5	0,020	223,78	-	4,52	-	-
C6	0,013	223,78	-	2,86	-	-
C7	0,006	223,78	-	1,28	-	-
C8	0,001	223,78	-	0,26	-	-
C9	0,000	223,78	-	0,01	-	-
C10	0,002	223,78	-	0,47	-	-
C11	0,006	223,78	-	1,45	-	-
C12	0,012	223,78	-	2,57	-	-
C13	0,015	223,78	-	3,45	-	-

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
C14	0,017	223,78	-	3,83	-	-
C15	0,016	223,78	-	3,58	-	-
C16	0,012	223,78	-	2,75	-	-
C17	0,007	234,97	-	1,72	-	-
C18	0,002	246,15	-	0,54	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	0,00	-
Total			Tekan = 0,00		Tarik = 773,12	

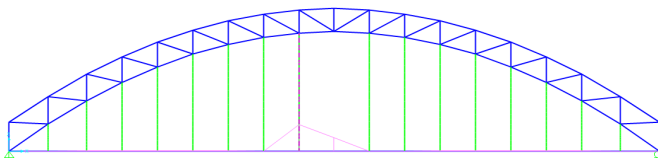
Dari gaya-gaya yang telah diketahui, dapat dihitung total gaya aksial yang terjadi pada kabel 239 dan 231.

$$Pu_{(239)} = 264 + 714,89 = 981,89 \text{ kN}$$

$$Pu_{(231)} = 291,7 + 773,12 = 1064,8 \text{ kN}$$

4.7.2. Kasus 2 (Kabel 239 Putus)

Dalam kasus 2 dilakukan simulasi apabila kabel 239 putus. Pada kasus ini dilakukan kontrol terhadap kabel 238. Dari program bantu SAP2000 diketahui gaya akibat beban mati yang bekerja sebesar 400,42 kN. Sedangkan untuk gaya akibat beban hidup dapat dilihat diagramnya pada Gambar 4.62 dan perhitungannya pada Tabel 4.51.



Gambar 4.62 Diagram Garis Pengaruh Kabel 238 (Kasus 2)

Tabel 4.51 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 238 (Kasus 2)

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR kN	Tekan kN	Tarik kN	Tekan kN	Tarik kN
B1	0,000	123,08	-	-	0,00	-
C2	0,001	246,15	-	0,28	-	-
C3	0,004	234,97	-	0,85	-	-
C4	0,006	223,78	-	1,29	-	-
C5	0,007	223,78	-	1,55	-	-
C6	0,007	223,78	-	1,49	-	-
C7	0,005	223,78	-	1,13	-	-
C8	0,003	223,78	-	0,61	-	-
C9	1,001	223,78	-	223,89	-	477,99
C10	0,500	223,78	-	111,91	-	-
C11	0,001	223,78	-	0,20	-	-
C12	0,003	223,78	-	0,58	-	-
C13	0,005	223,78	-	1,01	-	-
C14	0,006	223,78	-	1,31	-	-
C15	0,006	223,78	-	1,36	-	-
C16	0,005	223,78	-	1,13	-	-
C17	0,003	234,97	-	0,74	-	-
C18	0,001	246,15	-	0,24	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	0,00	-
Total			Tekan = 0,00		Tarik = 827,57	

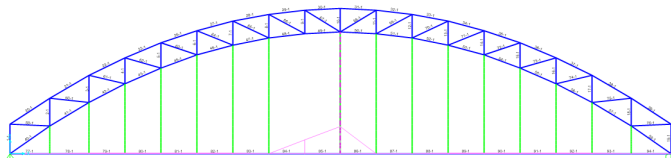
Dari gaya-gaya yang telah diketahui, dapat dihitung total gaya aksial yang terjadi pada kabel 238.

$$P_u = 400,42 + 827,57 = 1227,99 \text{ kN}$$

4.7.3. Kasus 3 (Kabel 238 Putus)

Dalam kasus 3 dilakukan simulasi apabila kabel 238 putus. Pada kasus ini dilakukan kontrol terhadap kabel 239. Dari program bantu SAP2000 diketahui gaya akibat beban mati yang bekerja sebesar 400,42 kN. Sedangkan untuk gaya akibat beban hidup

dapat dilihat diagramnya pada Gambar 4.63 dan perhitungannya pada Tabel 4.52.



Gambar 4.63 Diagram Garis Pengaruh Kabel 239 (Kasus 3)

Tabel 4.52 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 239 (Kasus 3)

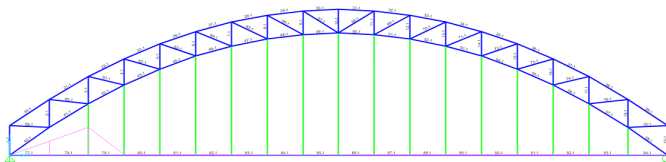
Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	0,00	-
C2	0,001	246,15	-	0,25	-	-
C3	0,003	234,97	-	0,76	-	-
C4	0,005	223,78	-	1,16	-	-
C5	0,006	223,78	-	1,39	-	-
C6	0,006	223,78	-	1,34	-	-
C7	0,005	223,78	-	1,03	-	-
C8	0,003	223,78	-	0,58	-	-
C9	0,501	223,78	-	112,00	-	-
C10	1,000	223,78	-	223,76	-	477,70
C11	0,001	223,78	-	0,23	-	-
C12	0,003	223,78	-	0,60	-	-
C13	0,005	223,78	-	1,05	-	-
C14	0,006	223,78	-	1,37	-	-
C15	0,006	223,78	-	1,41	-	-
C16	0,005	223,78	-	1,17	-	-
C17	0,003	234,97	-	0,77	-	-
C18	0,001	246,15	-	0,25	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	0,00	-
Total			Tekan = 0,00		Tarik = 826,83	

Dari gaya-gaya yang telah diketahui, dapat dihitung total gaya aksial yang terjadi pada kabel 238.

$$P_u = 400,42 + 826,83 = 1227,25 \text{ kN}$$

4.7.4. Kasus 4 (Kabel 231 Putus)

Dalam kasus 4 dilakukan simulasi apabila kabel 231 putus. Pada kasus ini dilakukan kontrol terhadap kabel 232. Dari program bantu SAP2000 diketahui gaya akibat beban mati yang bekerja sebesar 425,17 kN. Sedangkan untuk gaya akibat beban hidup dapat dilihat diagramnya pada Gambar 4.64 dan perhitungannya pada Tabel 4.53.



Gambar 4.64 Diagram Garis Pengaruh Kabel 232 (Kasus 4)

Tabel 4.53 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 232 (Kasus 4)

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR kN	Tekan kN	Tarik kN	Tekan kN	Tarik kN
B1	0,000	123,08	-	-	0,00	-
C2	0,505	246,15	-	124,40	-	-
C3	1,022	234,97	-	240,09	-	488,16
C4	0,025	223,78	-	5,55	-	-
C5	0,021	223,78	-	4,70	-	-
C6	0,014	223,78	-	3,13	-	-
C7	0,007	223,78	-	1,53	-	-
C8	0,002	223,78	-	0,41	-	-
C9	0,000	223,78	-	0,00	-	-
C10	0,001	223,78	-	0,28	-	-
C11	0,005	223,78	-	1,08	-	-

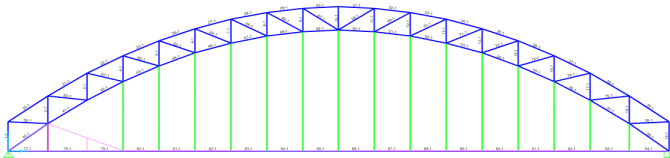
Titik	Nilai GP	Beban		Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik	
		kN	kN	kN	kN	kN	
C12	0,009	223,78	-	2,07	-	-	
C13	0,013	223,78	-	2,91	-	-	
C14	0,015	223,78	-	3,29	-	-	
C15	0,014	223,78	-	3,13	-	-	
C16	0,011	223,78	-	2,44	-	-	
C17	0,007	234,97	-	1,53	-	-	
C18	0,002	246,15	-	0,49	-	-	
B19	0,000	123,08	-	-	0,00	-	
Total			Tekan = 0,00		Tarik = 885,21		

Dari gaya-gaya yang telah diketahui, dapat dihitung total gaya aksial yang terjadi pada kabel 232.

$$P_u = 425,17 + 885,21 = 1310,38 \text{ kN}$$

4.7.5. Kasus 5 (Kabel 232 Putus)

Dalam kasus 5 dilakukan simulasi apabila kabel 232 putus. Pada kasus ini dilakukan kontrol terhadap kabel 231. Dari program bantu SAP2000 diketahui gaya akibat beban mati yang bekerja sebesar 424,44 kN. Sedangkan untuk gaya akibat beban hidup dapat dilihat diagramnya pada Gambar 4.65 dan perhitungannya pada Tabel 4.54.



Gambar 4.65 Diagram Garis Pengaruh Kabel 231 (Kasus 5)

Tabel 4.54 Gaya Axial Akibat Beban Hidup Kabel 231 (Kasus 5)

Titik	Nilai GP	Beban	Gaya Akibat BTR		Gaya Akibat BGT	
		BTR	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
		kN	kN	kN	kN	kN
B1	0,000	123,08	-	-	0,00	-
C2	1,013	246,15	-	249,23	-	483,72
C3	0,495	234,97	-	116,26	-	-
C4	0,025	223,78	-	5,57	-	-
C5	0,020	223,78	-	4,54	-	-
C6	0,013	223,78	-	2,89	-	-
C7	0,006	223,78	-	1,29	-	-
C8	0,001	223,78	-	0,26	-	-
C9	0,000	223,78	-	0,01	-	-
C10	0,002	223,78	-	0,47	-	-
C11	0,007	223,78	-	1,45	-	-
C12	0,012	223,78	-	2,57	-	-
C13	0,016	223,78	-	3,47	-	-
C14	0,017	223,78	-	3,85	-	-
C15	0,016	223,78	-	3,58	-	-
C16	0,012	223,78	-	2,77	-	-
C17	0,007	234,97	-	1,73	-	-
C18	0,002	246,15	-	0,54	-	-
B19	0,000	123,08	-	-	0,00	-
Total			Tekan = 0,00		Tarik = 884,21	

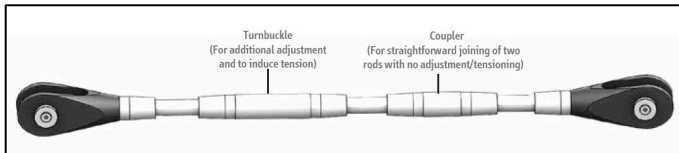
Dari gaya-gaya yang telah diketahui, dapat dihitung total gaya aksial yang terjadi pada kabel 231.

$$Pu = 424,44 + 884,21 = 1308,65 \text{ kN}$$

Dari kelima simulasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa pada kasus 4 memiliki gaya yang terbesar yaitu 1310,38 kN. Gaya tersebut adalah gaya axial yang dipakai untuk menentukan jenis dan kekuatan kabel yang akan dipasang.

4.7.6. Penentuan Jenis Kabel

Kabel yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini menggunakan produk *tension rod* dari perusahaan Macalloy. Sketsa dari *tension rod* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.66. Sedangkan tabel untuk properti material dan kapasitas dapat dilihat pada Tabel 4.55 dan Tabel 4.56.



Gambar 4.66 *Tension Rod* Macalloy

Tabel 4.55 Properti Material Kabel

Product name	Material	Minimum Yield Stress N/mm ²	Min. Breaking Stress N/mm ²	Min. Elongation %	Min. Charpy Impact Value J@ -20°C	Nominal Youngs Modulus kN/mm ²
Macalloy 460	Carbon Steel	460	610	19	27	205
Macalloy S460	Stainless Steel	460	610	15	27	205
Macalloy 520	Carbon Steel	520	690	19	27	205
Macalloy S520	Stainless Steel	520	690	15	27	205

Tabel 4.56 Kapasitas Kabel

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	28	41	77	122	176	284	411	566	746	1030	1360	1985	2531	2862	3585	3979
Min. Break Load	kN	35	52	98	155	223	360	522	719	946	1308	1727	2520	3212	3633	4551	5279
Design Resistance to EC3 $N_{k,d}$	kN	26	38	71	112	161	257	376	518	682	942	1244	1814	2313	2616	3277	3801
Nominal Bar Weight	(kg/m)	0.5	0.75	1.4	2.2	3	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

Digunakan kabel Macalloy M64 diameter 60mm dengan minimal *yield load* sebesar 1360 kN > $P_u = 1310,38$ kN (OK)

4.8. Analisa Lentutan Jembatan

Lentutan yang terjadi pada jembatan merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam mendesain jembatan. Pada perencanaan jembatan ini nilai dari lentutan yang terjadi didapatkan dari beban BGT dan BTR. Nilai dari lentutan dapat dilihat pada Tabel 4.57. Sedangkan lentutan izin menggunakan

nilai $L_{Total}/1000$ karena jembatan digunakan sebagian oleh pejalan kaki.

Tabel 4.57 Lendutan pada Jembatan

Titik	Lendutan (cm)
A10	3,863
B10	3,913
C10	5,002

$$\begin{aligned}\Delta_{IZIN} &= 9200/1000 \\ &= 9,2 \text{ cm} > 5,002 \text{ cm (OK)}\end{aligned}$$

4.9. Perencanaan Sambungan

Dalam mendesain sambungan pada jembatan ini mengacu pada peraturan sambungan baja RSNI T-03 2005. Beberapa sistem sambungan yang digunakan terdiri dari sambungan baut dan las dengan bantuan pelat sambung dengan ketentuan dan spesifikasi seperti pada Tabel 4.58, Tabel 4.59, dan Tabel 4.60.

Tabel 4.58 Gaya Tarik Baut Minimum

Diameter Nominal Baut (mm)	Gaya Tarik Minimum (kN)
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

Sumber: SNI 1729-2002

Tabel 4.59 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal Bagian Paling Tebal t [mm]	Tebal Minimum Las Sudut t_w [mm]
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Sumber: SNI 1729-2002

Tabel 4.60 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum f_y (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: SNI 1729-2002

4.9.1. Sambungan Balok Memanjang dan Melintang

Sambungan untuk balok memanjang dan melintang terdiri dari sambungan balok memanjang ke melintang dan balok melintang ke memanjang. Perhitungan untuk sambungan tersebut adalah sebagai berikut.

o Sambungan Memanjang ke Melintang

Gaya geser total maksimum yang terjadi pada gelagar memanjang akibat beban sebesar 34034 kg. Dari beban tersebut direncanakan sambungan sebagai berikut:

- Profil gelagar memanjang : WF 450x300x10x15
- Pelat sambung L siku : 150 x 150 x 14 BJ55
- Diameter dan mutu baut : D16 (95kN = 9683kg)
- Jumlah bidang geser : 2
- Nilai ϕ : 1 (Lubang standart)
- Koefisien Geser (μ) : 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ \phi V_n &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 9683 \\ \phi V_n &= 7660 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi V_n} = \frac{34034}{7660} = 4,4 \approx 5 \text{ buah}$$

○ **Sambungan Melintang ke Memanjang**

Gaya geser total maksimum yang terjadi pada gelagar memanjang akibat beban sebesar 34034 kg. Dari beban tersebut direncanakan sambungan sebagai berikut:

Profil gelagar melintang	: WF 900x300x15x23
Pelat sambung L siku	: 150 x 150 x 14 BJ50
Diameter dan mutu baut	: D16 (95kN = 9683kg)
Jumlah bidang geser	: 1
Nilai ϕ	: 1 (Lubang standart)
Koefisien Geser (μ)	: 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ \phi V_n &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 9683 \\ \phi V_n &= 3830 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi V_n} = \frac{34034}{3830} = 8,9 \approx 10 \text{ buah}$$

○ **Jarak Pemasangan Baut**

Jarak Antar Baut (S)

$$\begin{aligned}3db &\leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 3.16 &\leq S \leq 15.14 \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 48 &\leq S \leq 210 \text{ atau } 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

maka, $S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm}$

Jarak Baut ke Tepi Terluar (S_1)

$$\begin{aligned}1,5db &\leq S_1 \leq (4tp + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 1,5.16 &\leq S_1 \leq (4.14 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 24 &\leq S_1 \leq 156 \text{ atau } 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

maka, $S_{1\text{pakai}} = 70 \text{ mm}$

○ **Kontrol Pelat Penyambung**

$$A_g = 40,3 \text{ cm}^2$$

$$U = 0,75$$

$$A_e = A_g \cdot U = 40,3 \cdot 0,75 = 30,23 \text{ cm}^2$$

Kontrol Leleh

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \cdot f_y \cdot A_g \\ &= 0,9 \cdot 4100 \cdot 40,3 \\ &= 148707 \text{ kg} > V_u = 34034 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

Kontrol Putus

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \cdot f_u \cdot A_e \\ &= 0,75 \cdot 5500 \cdot 30,23 \\ &= 124678 \text{ kg} > V_u = 34034 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

4.9.2. Sambungan Ikatan Angin Rangka Atas, Bawah, Silang, dan Lantai Kendaraan.

Sambungan ikatan angin rangka atas, rangka bawah, rangka silang, dan lantai kendaraan memiliki bentuk sambungan yang serupa. Oleh karena itu keempatnya dihitung dengan cara yang sama juga. Pada sub bab ini ikatan angin rangka atas dijadikan contoh perhitungan untuk ketiga sambungan lainnya. Sedangkan untuk perhitungan ikatan angin lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.61, Tabel 4.62, dan Tabel 4.63.

Gaya maksimum yang terjadi pada ikatan angin rangka atas diambil dari kontrol ikatan angin pada sub bab sebelumnya, yaitu 32061,6 kg. Contoh perhitungan sambungannya adalah sebagai berikut:

Profil batang	: <i>Circular Hollow</i> 219,1x4,8
Pelat sambung	: 12 mm BJ55
Diameter dan mutu baut	: D20 (145kN = 14780,83kg)
Jumlah bidang geser	: 1
Nilai ϕ	: 1 (Lubang standart)
Koefisien Geser (μ)	: 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ \phi V_n &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14780,83 \\ \phi V_n &= 5845,82 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{32061,6}{5845,82} = 5,5 \approx 6 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

o Jarak Antar Baut (S)

$$3db \leq S \leq 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3.20 \leq S \leq 15.14 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$60 \leq S \leq 210 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm}$$

o Jarak Baut ke Tepi Terluar (S₁)

$$1,5db \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5.20 \leq S_1 \leq (4.14 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$30 \leq S_1 \leq 156 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } S_{1\text{pakai}} = 50 \text{ mm}$$

Kontrol Pelat Penyambung

$$A_g = 21,91 \cdot 1,2 = 26,29 \text{ cm}^2$$

$$U = 0,75$$

$$A_e = A_g \cdot U = 26,29 \cdot 0,75 = 19,72 \text{ cm}^2$$

o Kontrol Leleh

$$\phi T_n = \phi \cdot f_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 4100 \cdot 26,29$$

$$= 97017,5 \text{ kg} > V_u = 32061,6 \text{ kg (OK)}$$

o Kontrol Putus

$$\phi T_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

$$= 0,75 \cdot 5500 \cdot 19,72$$

$$= 81340,9 \text{ kg} > V_u = 32061,6 \text{ kg (OK)}$$

Kontrol Las

Mutu las yang digunakan adalah 80xx. Sambungan las harus mampu menahan beban sebesar 32061,6 kg.

$$t_{\text{pelat}} = 12 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Min}} = 5 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Max}} = 12 - 1,6 \text{ mm} = 10,4 \text{ mm}$$

$$t_e = 0,707 \cdot a_{\text{Max}}$$

$$= 0,707 \cdot 10,4 = 7,35 \text{ mm}$$

Kuat las per satuan panjang

$$\begin{aligned} Ru &= \phi \cdot te \cdot 0,6 \cdot FE80xx \\ &= 0,75 \cdot 0,735 \cdot 0,6 \cdot 80 \cdot 70,3 \\ &= 1860,85 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang las minimum} = Pu / Ru = 17,23 \text{ cm}$$

Tabel 4.61 Jumlah Penggunaan Baut Sambungan Ikatan Angin

Nama Sambungan Ikatan Angin	tp	db	m	Tb	ϕVn	Vu	n	n _{Pakai}
	mm	mm		kN	kg	kg		
Rangka Atas	12	20	1	145	5845,82	32061,63	5,5	6
Rangka Bawah	12	16	1	95	3830,02	7655,92	2,0	4
Rangka Silang	12	16	1	95	3830,02	4531,58	1,2	4
Lantai Kendaraan	12	20	1	145	5845,82	42344,99	7,2	8

Tabel 4.62 Kontrol Pelat Penyambung Ikatan Angin

Nama Sambungan Ikatan Angin	Ag	Ae	ϕTn Leleh	ϕTn Putus	Cek
		Ag.U	$0,9 \cdot Fy \cdot Ag$	$0,75 \cdot Fu \cdot Ae$	
	cm ²	cm ²	kg	kg	
Rangka Atas	26,29	19,72	97017,5	81340,9	OK
Rangka Bawah	19,81	14,86	73106,3	61293,4	OK
Rangka Silang	19,81	14,86	73106,3	61293,4	OK
Lantai Kendaraan	26,29	19,72	97017,5	81340,9	OK

Tabel 4.63 Kontrol Las Sambungan Ikatan Angin

Nama Sambungan	a			te	Ru	L _{Las Min}	Profil		Cek
	Min	Max	Pakai		$\phi \cdot Te \cdot 0,6 \cdot F_{exx}$		2 x D	Keliling	
	mm				kg/cm	cm	cm	cm	
Rangka Atas	5	10,4	10,4	7,35	1860,85	17,23	43,8	68,8	OK
Rangka Bawah	5	10,4	10,4	7,35	1860,85	4,11	33,02	51,8	OK
Rangka Silang	5	10,4	10,4	7,35	1860,85	2,44	33,02	51,8	OK
Lantai Kendaraan	5	10,4	10,4	7,35	1860,85	22,76	43,8	68,8	OK

4.9.3. Sambungan Ikatan Angin Horizontal

Perhitungan sambungan ikatan angin horizontal terhadap pelat buhul adalah sebagai berikut:

Profil balok Horizontal : Box 180x180x8

Pelat sambung L siku : 150 x 150 x 14 BJ55

Diameter dan mutu baut: D20 (145kN = 14780,84kg)

Jumlah bidang geser : 1

Nilai ϕ : 1 (Lubang standart)

Koefisien Geser (μ) : 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\phi V_n = \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b$$

$$\phi V_n = 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 14780,84$$

$$\phi V_n = 5845,82 \text{ kg}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi V_n} = \frac{20924,34}{5845,82} = 3,6 \approx 4 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

- **Jarak Antar Baut (S)**

$$3db \leq S \leq 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3.20 \leq S \leq 15.14 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$60 \leq S \leq 210 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm}$$

- **Jarak Baut ke Tepi Terluar (S₁)**

$$1,5db \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5.20 \leq S_1 \leq (4.14 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$30 \leq S_1 \leq 156 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } S_{1\text{pakai}} = 70 \text{ mm}$$

Kontrol Pelat Penyambung

$$A_g = 40,3 \text{ cm}^2$$

$$U = 0,75$$

$$A_e = A_g \cdot U = 40,3 \cdot 0,75 = 30,23 \text{ cm}^2$$

- **Kontrol Leleh**

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \cdot f_y \cdot A_g \\ &= 0,9 \cdot 4100 \cdot 40,3 \\ &= 148707 \text{ kg} > V_u = 20924,34 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

- **Kontrol Putus**

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \cdot f_u \cdot A_e = 0,75 \cdot 5500 \cdot 30,23 \\ &= 124678 \text{ kg} > V_u = 20924,34 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

4.9.4. Sambungan Gelagar Melintang ke Rangka Utama

Gaya geser total maksimum yang terjadi pada gelagar melintang akibat beban sebesar 106880,6 kg. Dari beban tersebut direncanakan sambungan sebagai berikut:

Profil gelagar melintang: WF 900x300x15x23

Pelat sambung L siku : 150 x 150 x 16 BJ55

Diameter dan mutu baut: D30 (335kN = 34148kg)

Jumlah bidang geser : 1

Nilai ϕ : 1 (Lubang standart)

Koefisien Geser (μ) : 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ \phi V_n &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 34148 \\ \phi V_n &= 13505,86 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{106880,6}{13505,86} = 7,9 \approx 8 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

Jarak Antar Baut (S)

$$3db \leq S \leq 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3.30 \leq S \leq 15.16 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$90 \leq S \leq 240 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

Jarak Baut ke Tepi Terluar (S_1)

$$1,5db \leq S_1 \leq (4tp + 100) \quad \text{atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5.30 \leq S_1 \leq (4.16 + 100) \quad \text{atau } 200 \text{ mm}$$

$$45 \leq S_1 \leq 164 \quad \text{atau } 200 \text{ mm}$$

maka, $S_{1\text{Pakai}} = 50 \text{ mm} \ \& \ 70 \text{ mm}$

Kontrol Pelat Penyambung

$$A_g = 75 \text{ cm}^2$$

$$U = 0,75$$

$$A_e = A_g \cdot U = 475 \cdot 0,75 = 56,25 \text{ cm}^2$$

Kontrol Leleh

$$\phi T_n = \phi \cdot f_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 2900 \cdot 75$$

$$= 276750 \text{ kg} > V_u = 106880,6 \text{ kg (OK)}$$

Kontrol Putus

$$\phi T_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

$$= 0,75 \cdot 5000 \cdot 56,25$$

$$= 232031,3 \text{ kg} > V_u = 106880,6 \text{ kg (OK)}$$

Kontrol Las

Mutu las yang digunakan adalah 80xx. Sambungan las harus mampu menahan beban sebesar 106880,6 kg.

$$t_{\text{Pelat}} = 25 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Min}} = 5 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Max}} = 25 - 1,6 \text{ mm} = 23,4 \text{ mm}$$

$$t_e = 0,707 \cdot a$$

$$= 0,707 \cdot 10 = 7,07 \text{ mm}$$

Kuat las per satuan panjang

$$R_u = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot FE80xx$$

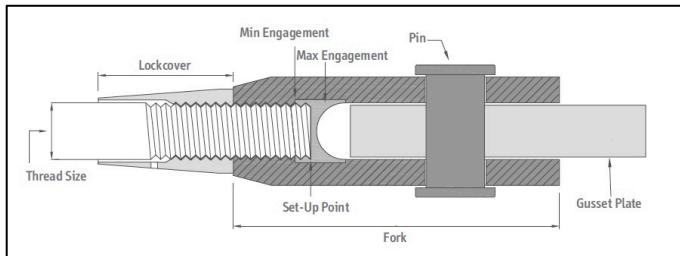
$$= 0,75 \cdot 0,707 \cdot 0,6 \cdot 80 \cdot 70,3$$

$$= 1789,28 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Panjang las minimum} = P_u / R_u = 59,73 \text{ cm}$$

4.9.5. Sambungan Kabel Penggantung

Kabel yang dipasang sebagai penggantung adalah *tension rod* dari perusahaan Macalloy. Sebagai penyambung dengan rangka utama digunakan juga *fork* dari perusahaan Macalloy dengan sketsa seperti pada Gambar 4.67. *Fork* tersebut akan terpasang pada rangka utama dengan alat sambung berupa pelat siku. Gaya terbesar yang harus dapat dipikul oleh sambungan terjadi pada kasus 4 yang dapat dilihat pada sub bab 4.7.4.



Gambar 4.67 *Fork* dari Perusahaan Macalloy

Gaya tarik yang terjadi pada kabel penggantung sesuai dengan kekuatan *yield load* kabel yaitu sebesar 1360 kN atau 138634 kg. Perhitungan sambungan adalah sebagai berikut:

Tebal pelat sambung : 20 mm BJ50
 Pelat sambung L siku : L 120 x 120 x 20 BJ50
 Diameter dan mutu baut: D30 (335kN = 34148kg)
 Jumlah bidang geser : 2
 Nilai ϕ : 1 (Lubang standart)
 Koefisien Geser (μ) : 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b \\ \phi V_n &= 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 34148 \\ \phi V_n &= 13505,86 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{Vu}{\phi V_n} = \frac{138634}{13505,86} = 10,26 \approx 12 \text{ buah}$$

Jarak Pemasangan Baut

Jarak Antar Baut (S)

$$3db \leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3.30 \leq S \leq 15.16 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$90 \leq S \leq 240 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka, $S_{\text{pakai}} = 90 \text{ mm}$

Jarak Baut ke Tepi Terluar (S_1)

$$1,5db \leq S_1 \leq (4tp + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

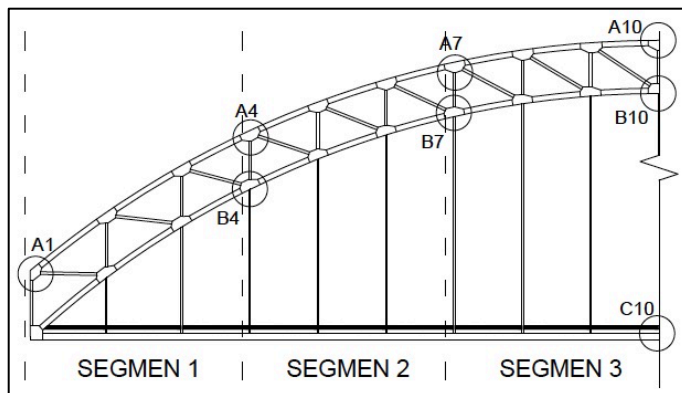
$$1,5.30 \leq S_1 \leq (4.16 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$45 \leq S_1 \leq 164 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka, $S_{1\text{pakai}} = 50 \text{ mm} \ \& \ 70 \text{ mm}$

4.9.6. Sambungan Rangka Utama

Sambungan pada rangka utama dihitung pada beberapa titik yang dipilih berdasarkan perubahan segmen batang. Titik yang dipilih adalah A1, A4, B4, A7, B7, A10, B10, dan C10 yang letaknya dapat dilihat pada Gambar 4.68. Contoh perhitungan dilakukan pada titik A10. Sedangkan hasil perhitungan titik lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.64, Tabel 4.65, dan Tabel 4.66.



Gambar 4.68 Penamaan Titik Kontrol Sambungan

o Sambungan Batang Rangka Atas Segmen 3 Titik A10

Gaya maksimum yang terjadi pada batang atas pada titik A10 sebesar 17714,01 kg tarik dan 635004 kg tekan. Dari beban tersebut direncanakan sambungan sebagai berikut:

Profil batang : Box 400x400x25
 Tebal pelat sambung : 20 mm BJ55
 Diameter dan mutu baut: D30 (335kN = 34148kg)
 Jumlah bidang geser : 1
 Nilai ϕ : 1 (Lubang standart)
 Koefisien Geser (μ) : 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\phi V_n = \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b$$

$$\phi V_n = 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 34148$$

$$\phi V_n = 13505,86 \text{ kg}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{6350004}{13505,86} = 47,0 \approx 48 \text{ buah}$$

Kontrol Pelat Penyambung

$$A_g = 160 \text{ cm}^2$$

$$U = 0,75$$

$$A_e = A_g \cdot U = 160 \cdot 0,75 = 120 \text{ cm}^2$$

Kontrol Leleh

$$\phi T_n = \phi \cdot f_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 4100 \cdot 160$$

$$= 590400 \text{ kg} > V_u = 17714,01 \text{ kg (OK)}$$

Kontrol Putus

$$\phi T_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

$$= 0,75 \cdot 5500 \cdot 120$$

$$= 495000 \text{ kg} > V_u = 17714,01 \text{ kg (OK)}$$

o Sambungan Batang Vertikal Segmen 3 Titik A10

Gaya maksimum yang terjadi pada batang vertikal pada titik A10 sebesar 90794 kg tarik dan 65631,79 kg tekan. Dari beban tersebut direncanakan sambungan sebagai berikut:

Profil batang : Box 180x180x6,3
 Tebal pelat sambung : 20 mm BJ55
 Diameter dan mutu baut: D24 (210 kN = 21406 kg)
 Jumlah bidang geser : 1
 Nilai ϕ : 1 (Lubang standart)
 Koefisien Geser (μ) : 0,35 (Keadaan bersih)

Kuat Geser

$$\phi V_n = \phi \cdot 1,13 \cdot \mu \cdot m \cdot T_b$$

$$\phi V_n = 1 \cdot 1,13 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 21406$$

$$\phi V_n = 8466,36 \text{ kg}$$

Jumlah Baut

$$\text{Jumlah Baut (n)} = \frac{V_u}{\phi V_n} = \frac{90794,08}{8466,36} = 10,7 \approx 12 \text{ buah}$$

Kontrol Pelat Penyambung

$$A_g = 72 \text{ cm}^2$$

$$U = 0,75$$

$$A_e = A_g \cdot U = 72 \cdot 0,75 = 54 \text{ cm}^2$$

Kontrol Leleh

$$\phi T_n = \phi \cdot f_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 4100 \cdot 72$$

$$= 265680 \text{ kg} > V_u = 90794,08 \text{ kg (OK)}$$

Kontrol Putus

$$\phi T_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

$$= 0,75 \cdot 5500 \cdot 54$$

$$= 222750 \text{ kg} > V_u = 90794,08 \text{ kg (OK)}$$

Batang vertikal pada titik A10 memiliki dimensi yang lebih kecil bila dibandingkan dengan batang atas. Perbedaan dimensi membuat diperlukannya penggunaan *fill plate* sebagai pengisi selisih dimensi dari batang atas dan vertikal. Perhitungan kebutuhan las *fill plate* ke pelat buhul adalah sebagai berikut:

Kontrol Las

Mutu las yang digunakan adalah 80xx. Sambungan las harus mampu menahan beban sebesar 90974 kg.

$$t_{\text{Pelat}} = 20 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Min}} = 6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{Max}} = 20 - 1,6 \text{ mm} = 18,4 \text{ mm}$$

$$t_e = 0,707 \cdot a$$

$$= 0,707 \cdot 18,4 = 13,01 \text{ mm}$$

Kuat las per satuan panjang

$$R_u = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot F_{E80xx}$$

$$= 0,75 \cdot 1,301 \cdot 0,6 \cdot 80 \cdot 70,3$$

$$= 3292,27 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Panjang las minimum} = P_u / R_u = 27,58 \text{ cm}$$

o Jarak Pemasangan Baut

Tebal Pelat 20mm, Baut Diameter 30mm

Jarak Antar Baut (S)

$$3db \leq S \leq 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3.30 \leq S \leq 15.20 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$90 \leq S \leq 300 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } S_{\text{Pakai}} = 100 \text{ mm \& } 125 \text{ mm}$$

Jarak Baut ke Tepi Terluar (S₁)

$$1,5db \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5.30 \leq S_1 \leq (4.20 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$45 \leq S_1 \leq 180 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } S_{1\text{Pakai}} = 50 \text{ mm}$$

Tebal Pelat 20mm, Diameter Baut 24mm**Jarak Antar Baut (S)**

$$3db \leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3.24 \leq S \leq 15.20 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$72 \leq S \leq 300 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka, $S_{\text{pakai}} = 80 \text{ mm} \& 90\text{mm}$

Jarak Baut ke Tepi Terluar (S_1)

$$1,5db \leq S_1 \leq (4tp + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5.24 \leq S_1 \leq (4.20 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$36 \leq S_1 \leq 180 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka, $S_{1\text{pakai}} = 45 \text{ mm} \& 60\text{mm}$

Tebal Pelat 22mm, Diameter Baut 30mm**Jarak Antar Baut (S)**

$$3db \leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3.30 \leq S \leq 15.22 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$90 \leq S \leq 330 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka, $S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Jarak Baut ke Tepi Terluar (S_1)

$$1,5db \leq S_1 \leq (4tp + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5.30 \leq S_1 \leq (4.22 + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$45 \leq S_1 \leq 188 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

maka, $S_{1\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Tabel 4.64 Jumlah Baut pada Sambungan Rangka Utama

Titik	Batang	tp	db	m	Tb	ϕVn	Vu_{Max}	n	n_{Pakai}
		mm	mm		kN	kg	kg		
A10	Atas Segmen 3	20	30	1	335	13505,9	635004,1	47,0	48
	Vertikal Segmen 3	20	24	1	210	8466,4	90794,1	10,7	12
B10	Bawah Segmen 3	20	30	1	335	13505,9	336514,4	24,9	28
	Diagonal Segmen 3	20	24	1	210	8466,4	140023,1	16,5	20
	Vertikal Segmen 3	20	24	1	210	8466,4	90794,1	10,7	12
A7	Atas Segmen 3	20	30	1	335	13505,9	635004,1	47,0	48
	Atas Segmen 2	20	30	1	335	13505,9	662877,7	49,1	56

Titik	Batang	tp	db	m	Tb	ϕV_n	V_{uMax}	n	n _{Pakai}
		mm			kN	kg	kg		
	Diagonal Segmen 3	20	24	1	210	8466,4	140023,1	16,5	20
	Vertikal Segmen 3	20	24	1	210	8466,4	90794,1	10,7	12
B7	Bawah Segmen 3	20	30	1	335	13505,9	336514,4	24,9	28
	Bawah Segmen 2	20	30	1	335	13505,9	561109,9	41,5	44
	Diagonal Segmen 2	20	24	1	210	8466,4	140604,1	16,6	20
	Vertikal Segmen 3	20	24	1	210	8466,4	90794,1	10,7	12
A4	Atas Segmen 2	20	30	1	335	13505,9	662877,7	49,1	56
	Atas Segmen 1	20	30	1	335	13505,9	530818,4	39,3	40
	Diagonal Segmen 2	20	24	1	210	8466,4	140604,1	16,6	20
	Vertikal Segmen 2	20	24	1	210	8466,4	78956,0	9,3	12
B4	Bawah Segmen 2	20	30	1	335	13505,9	561109,9	41,5	44
	Bawah Segmen 1	20	30	1	335	13505,9	703527,8	52,1	56
	Diagonal Segmen 1	20	24	1	210	8466,4	197235,2	23,3	24
	Vertikal Segmen 2	20	24	1	210	8466,4	78956,0	9,3	12
A1	Atas Segmen 1	20	30	1	335	13505,9	530818,4	39,3	40
	Diagonal Segmen 1	20	24	1	210	8466,4	197235,2	23,3	24
	Vertikal Segmen 1	20	24	1	210	8466,4	78956,0	9,3	12
C10	Batang Tarik	22	30	1	335	13505,9	635364,6	47,0	48

Tabel 4.65 Kontrol Pelat Penyambung

Titik	Batang	A _g	A _e	ϕT_n Leleh	ϕT_n Putus	V _u	Cek
			A _g ·U	0,9·F _y ·A _g	0,75·F _u ·A _e		
		cm ²	cm ²	kg	kg		
A10	Atas Segmen 3	160	120	590400	495000	17714,0	OK
	Vertikal Segmen 3	72	54	265680	222750	90794,1	OK
B10	Bawah Segmen 3	160	120	590400	495000	336514,4	OK
	Diagonal Segmen 3	72	54	265680	222750	140023,1	OK
	Vertikal Segmen 3	72	54	265680	222750	90794,1	OK
A7	Atas Segmen 3	160	120	590400	495000	17714,0	OK
	Atas Segmen 2	160	120	590400	495000	99847,9	OK
	Diagonal Segmen 3	72	54	265680	222750	140023,1	OK
	Vertikal Segmen 3	72	54	265680	222750	90794,1	OK

Titik	Batang	Ag	Ae	ϕ Tn Leleh	ϕ Tn Putus	Vu	Cek
			Ag.U	0,9.Fy.Ag	0,75.Fu.Ae		
		cm ²	cm ²	kg	kg		
B7	Bawah Segmen 3	160	120	590400	495000	336514,4	OK
	Bawah Segmen 2	160	120	590400	495000	218593,2	OK
	Diagonal Segmen 2	72	54	265680	222750	140604,1	OK
	Vertikal Segmen 3	72	54	265680	222750	90794,1	OK
A4	Atas Segmen 2	160	120	590400	495000	99847,9	OK
	Atas Segmen 1	160	120	590400	495000	134097,2	OK
	Diagonal Segmen 2	72	54	265680	222750	140604,1	OK
	Vertikal Segmen 2	72	54	265680	222750	50370,6	OK
B4	Bawah Segmen 2	160	120	590400	495000	218593,2	OK
	Bawah Segmen 1	160	120	590400	495000	97231,9	OK
	Diagonal Segmen 1	72	54	265680	222750	197235,2	OK
	Vertikal Segmen 2	72	54	265680	222750	50370,6	OK
A1	Atas Segmen 1	160	120	590400	495000	134097,2	OK
	Diagonal Segmen 1	72	54	265680	222750	197235,2	OK
	Vertikal Segmen 1	88	66	324720	272250	43575,0	OK
C10	Batang Tarik	220	165	811800	680625	635364,6	OK

Tabel 4.66 Perhitungan Kebutuhan Las Fill Plate

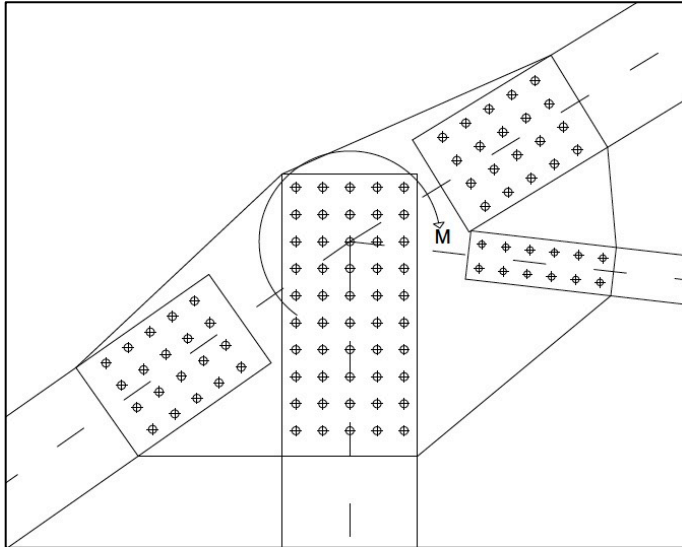
Titik	Batang	a			te	Ru	L Las Min
		Min	Max	Pakai		ϕ .Te.0,6.F _{exx}	
		mm	mm	mm	mm	kg/cm	cm
A10	Vertikal Segmen 3	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	27,58
B10	Diagonal Segmen 3	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	42,53
	Vertikal Segmen 3	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	27,58
A7	Diagonal Segmen 3	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	42,53
	Vertikal Segmen 3	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	27,58
B7	Diagonal Segmen 2	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	42,71
	Vertikal Segmen 3	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	27,58
A4	Diagonal Segmen 2	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	42,71
	Vertikal Segmen 2	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	23,98
B4	Diagonal Segmen 1	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	59,91
	Vertikal Segmen 2	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	23,98
A1	Diagonal Segmen 1	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	59,91
	Vertikal Segmen 1	6	18,4	18,4	13,01	3292,27	23,98

4.9.7. Sambungan Portal Akhir

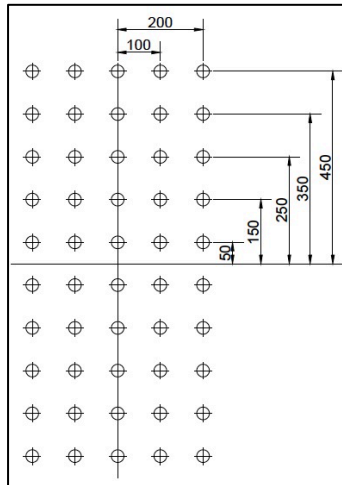
Jumlah baut yang digunakan tiap batang sesuai dengan perencanaan batang tepi atas segmen satu yaitu dengan jumlah 20 baut pada setiap sisinya.

4.9.7.1. Kelompok Baut Pembebanan Sebidang

Pada perhitungan kelompok baut pembebanan sebidang menggunakan analisa KUAT III dan V sesuai SNI 1725:2016. Besar momen yang didapatkan dari program bantu SAP 2000 sebesar 166258,9 kgm. Konfigurasi baut pembebanan sebidang dapat dilihat pada Gambar 4.69 dan Gambar 4.70.



Gambar 4.69 Konfigurasi Baut Pembebanan Sebidang



Gambar 4.70 Jarak Antar Baut Pembebanan Sebidang

$$\begin{aligned}\Sigma_{\text{Total}} &= \Sigma y^2 + \Sigma x^2 \\ &= 4,15 + 1 = 5,15 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Gaya vertikal tiap baut akibat momen yang terjadi

$$\begin{aligned}P_V &= \frac{M_u \cdot x_{\text{Max}}}{\Sigma_{\text{Total}}} \\ &= \frac{166258,9 \cdot 0,2}{5,15} \\ &= 6456,6 \text{ kg}\end{aligned}$$

Gaya horizontal tiap baut akibat momen yang terjadi

$$\begin{aligned}P_H &= \frac{M_u \cdot y_{\text{Max}}}{\Sigma_{\text{Total}}} \\ &= \frac{166258,9 \cdot 0,45}{5,15} \\ &= 14527,48 \text{ kg}\end{aligned}$$

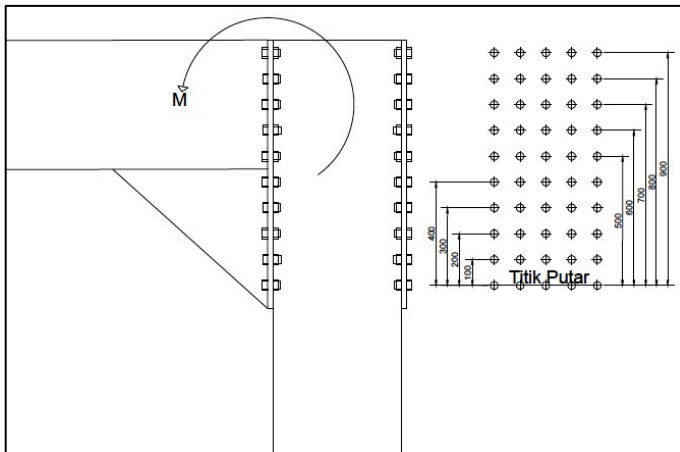
Gaya geser total yang diterima tiap baut

$$P_U = \sqrt{P_V^2 + P_H^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{6456,6^2 + 14527,48^2} \\
 &= 15897,67 \text{ kg} > V_n = 27011,7 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

4.9.7.2. Kelompok Baut Pembebanan Tak Sebidang

Pada perhitungan kelompok baut pembebanan tak sebidang menggunakan analisa KUAT III dan V sesuai SNI 1725:2016. Besar momen yang terjadi didapatkan dari program bantu SAP2000 yaitu sebesar 168451 kgm. Perhitungan gaya tarik yang diterima oleh tiap baut menggunakan cara pendekatan (titik putar). Konfigurasi sambungan baut pembebanan tak sebidang dapat dilihat pada Gambar 4.71.



Gambar 4.71 Konfigurasi Baut Pembebanan Tak Sebidang

$$\begin{aligned}
 \Sigma y^2 &= 5 \cdot (0,1^2 + 0,2^2 + 0,3^2 + 0,4^2 + 0,5^2 + 0,7^2 + 0,8^2 + 0,9^2) \\
 &= 14,2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya tarik yang diterima baut akibat momen tak sebidang

$$\begin{aligned}
 T_{UMax} &= \frac{M_u \cdot y_{Max}}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{168451 \cdot 0,9}{14,2} \\
 &= 10676,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat tarik nominam baut ulir diameter 30mm

$$f_{u_{\text{baut}}} = 5500 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{\text{baut}} = 7,065 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} T_{d_{\text{ulir}}} &= 0,75 \cdot \phi \cdot f_{u_{\text{baut}}} \cdot A_{\text{baut}} \\ &= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 5500 \cdot 7,065 \\ &= 21857,3 \text{ kg} > T_{u_{\text{Max}}} = 10676,47 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Baut Menerima Kombinasi Geser dan Tarik

Pada saat geser dan tarik bekerja bersamaan maka akan timbul reduksi pada kemampuan geser baut. Berikut adalah rencana perhitungannya:

$$V_n = 27011,72 \text{ kg}$$

$$T_{u_{\text{Max}}} = 10676,47 \text{ kg}$$

$$T_{\text{baut}} = 34148,83 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_n \text{ koreksi} &= V_n \cdot (1 - T_u / (1,13 \cdot T_b)) \\ &= 19538,19 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_u \text{ akibat beban sebidang} = 15897,67 < V_n \text{ koreksi (OK)}$$

4.10. Perencanaan Perletakan

Jembatan Sipait yang telah dimodifikasi, direncanakan menggunakan perletakan berupa *Pot Bearing*. *Pot Bearing* didesain untuk mampu menahan reaksi horizontal dan vertikal akibat beban yang bekerja pada jembatan. Permbebanan vertikal menggunakan kombinasi Kuat I sesuai SNI 1725:2016, sedangkan pembebanan horizontal menggunakan kombinasi Ekstrim I sesuai SNI 1725:2016.

Pada pembebanan horizontal yang sesuai dengan kombinasi Ekstrim I, beban yang bekerja adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Gaya horizontal yang terjadi akibat beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 2833:2008 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan.

4.10.1. Pembebanan Horizontal Perletakan

Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus yang mengacu pada SNI 1725:2016. sedangkan untuk koefisien-koefisien yang digunakan dalam perhitungan mengacu pada SNI

2833:2016. Rumus yang digunakan untuk mencari gaya horizontal statis adalah sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{SM}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan:

E_Q : Gaya gempa horizontal statis

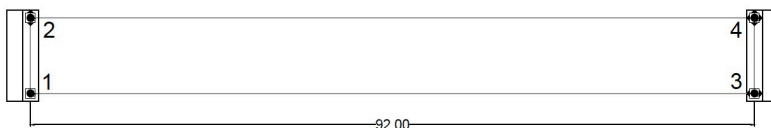
C_{SM} : Koefisien Respons gempa elastis

R_d : Faktor modifikasi respon gempa elastis

W_t : Berat total struktur

o Mencari Nilai W_t

Nilai W_t didapatkan dari program bantu SAP2000. Nilai tersebut didapatkan dengan melihat reaksi tiap perletakan yang diakibatkan oleh beban mati dan hidup dengan faktor pembebanan sesuai dengan kondisi Ekstrim I. Sketsa tata letak perletakan dapat dilihat pada Gambar 4.72. Sedangkan, nilai reaksi gaya yang timbul pada masing-masing perletakan dapat dilihat pada Tabel 4.68. Kemudian reaksi tiap perletakan tersebut ditambah 10% dari beban mati total struktur. Besar beban total struktur dapat dilihat pada Tabel 4.67.



Gambar 4.72 Sketsa Tata Letak Perletakan

Tabel 4.67 Beban Mati Total Struktur

OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN
Berat Struktur	Combination	0,052	-0,0001546	9438,701

Tabel 4.68 Reaksi Vertikal pada Perletakan (Ekstrim I)

Perletakan	Kombinasi	Vertikal
		kN
1	Ekstrim I	3616,88
2	Ekstrim I	3616,88
3	Ekstrim I	3616,88
4	Ekstrim I	3616,88
Sambungan (10% dari DL)		943,80
Berat Total		15411,32

○ **Mencari Nilai C_{SM}**

Berdasarkan SNI 2833:2016, nilai C_{SM} dibagi menjadi tiga berdasarkan periode struktur seperti dibawah ini:

$$\text{untuk } T \leq T_0 : C_{SM} = (S_{DS} - A_s) \cdot (T/T_0) + A_s$$

$$\text{untuk } T_0 \leq T \leq T_S : C_{SM} = S_{DS}$$

$$\text{untuk } T > T_S : C_{SM} = S_{D1}/T$$

Oleh karena itu, terlebih dahulu dicari nilai dari koefisien yang ada pada rumus tersebut sebelum mendapatkan nilai dari C_{SM} . Langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan nilai – nilai tersebut adalah sebagai berikut:

○ Menentukan Nilai PGA, S_S dan S_1

Nilai PGA, S_S dan S_1 dari Kota Pekalongan didapatkan dengan melihat peta respon spektra dari SNI 2833:2016 yang dapat dilihat pada Gambar 4.73, Gambar 4.74, dan Gambar 4.75. Dari peta tersebut didapatkan nilai PGA = 0,288, S_S = 0,580, dan S_1 = 0,250.

○ Mencari Nilai A_s , S_{DS} , dan S_{D1}

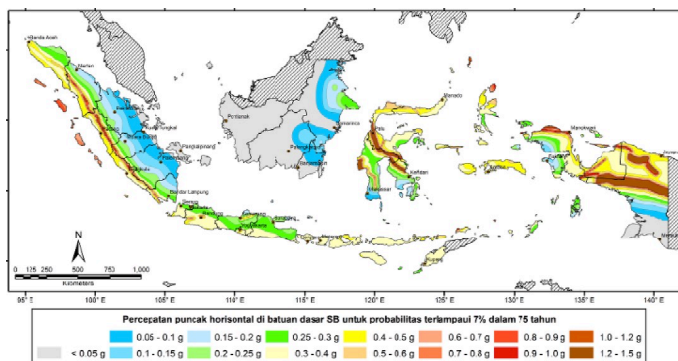
Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA, S_S dan S_1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v yang dapat dilihat pada Tabel 4.69 dan Tabel 4.70. Nilai dari F_{PGA} , F_a , dan F_v bisa didapatkan dengan cara

interpolasi linier. Kelas situs yang digunakan adalah SD sesuai dengan Tabel 4.71 karena nilai SPT pada data tanah menunjukkan rata-rata $15 \leq N \leq 50$. Perumusan respons spektra adalah sebagai berikut:

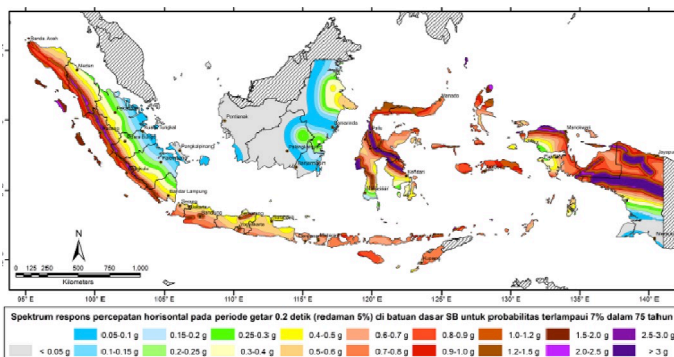
$$A_S = F_{PGA} \times PGA = 1,224 \times 0,288 = 0,353$$

$$S_{DS} = F_a \times S_S = 1,336 \times 0,580 = 0,775$$

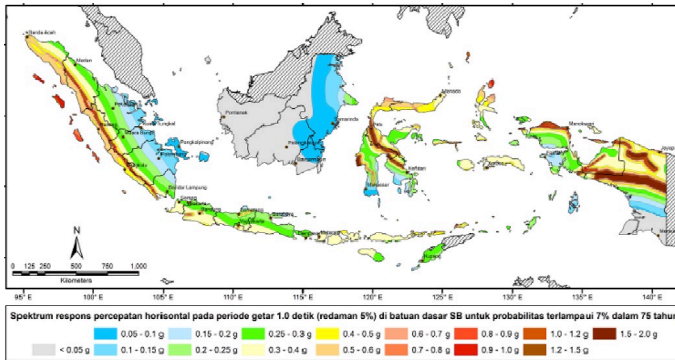
$$S_{D1} = F_V \times S_1 = 1,8 \times 0,250 = 0,450$$



Gambar 4.73 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar
(Sumber: SNI 2833:2016)



Gambar 4.74 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar (S_S)
(Sumber: SNI 2833:2016)



Gambar 4.75 Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 Detik di Batuan Dasar (S_1)
(Sumber: SNI 2833:2016)

Tabel 4.69 Faktor Amplifikasi untuk Periode 0 detik dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	$PGA = 0,2$ $S_s = 0,5$	$PGA = 0,3$ $S_s = 0,75$	$PGA = 0,4$ $S_s = 1,0$	$PGA > 0,5$ $S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 2833:2016

Tabel 4.70 Nilai Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik (F_V)

Kelas Situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 2833:2016

Tabel 4.71 Kelas Situs

Kelas Situs	\bar{V}_z (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_z \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_z \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_z \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_z \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$

Sumber: SNI 2833:2016

- o Mencari Nilai T, T₀, dan T_s

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. Nilai dari periode alami struktur dapat dilihat pada Tabel 4.72 yaitu sebesar 1,898 detik pada mode 1. Nilai dari T₀ dan T_s dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,450}{0,755} = 0,581$$

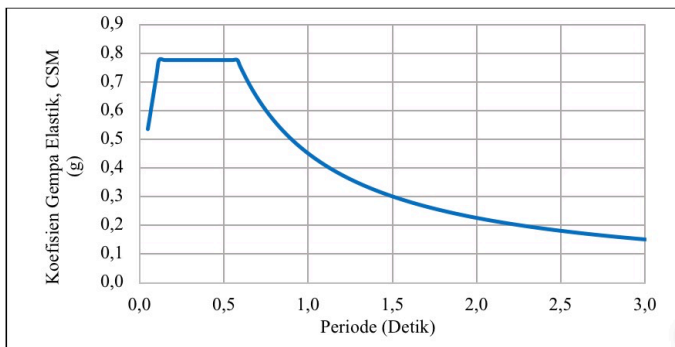
$$T_0 = 0,2 T_s = 0,116$$

Setelah nilai T, T_s, dan T₀ diketahui, dapat dilakukan penggambaran grafik respon spektra dengan nilai-nilai yang telah diketahui. Grafik respon spektra dapat dilihat pada Gambar 4.76.

Tabel 4.72 Periode Alami Struktur

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
Output Case	Step Type	Step Num	Period	Frequency	Circ Freq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1,898	0,527	3,311	10,963
MODAL	Mode	2	0,778	1,285	8,073	65,180
MODAL	Mode	3	0,412	2,428	15,255	232,726
MODAL	Mode	4	0,355	2,819	17,711	313,683
MODAL	Mode	5	0,274	3,652	22,947	526,574

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
Output Case	Step Type	Step Num	Period	Frequency	Circ Freq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	6	0,262	3,814	23,966	574,356
MODAL	Mode	7	0,232	4,316	27,119	735,416
MODAL	Mode	8	0,231	4,337	27,249	742,507
MODAL	Mode	9	0,227	4,397	27,627	763,271
MODAL	Mode	10	0,226	4,424	27,798	772,742
MODAL	Mode	11	0,225	4,435	27,868	776,644
MODAL	Mode	12	0,225	4,446	27,932	780,203



Gambar 4.76 Grafik Respon Spektra

Nilai C_{SM} yang digunakan dapat diketahui karena semua koefisien yang ada dalam rumus C_{SM} telah diketahui, karena nilai dari T lebih dari T_s , maka digunakan rumus C_{SM} sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C_{SM} &= S_{D1}/T \\
 &= 0,45 / 1,898 = 0,237
 \end{aligned}$$

o Mencari Nilai 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 4.73. Dari tabel tersebut diketahui untuk struktur penghubung berupa *abutment* memiliki nilai R 0,8.

Tabel 4.73 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Hubungan Antar Elemen Struktur

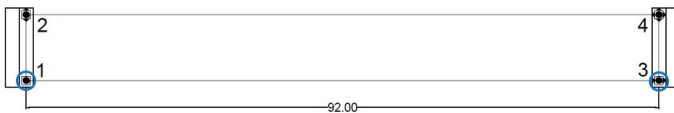
Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Sumber: SNI 2833:2016

- o Menghitung Gaya Gempa Horizontal Statis Arah Y

Gaya gempa horizontal arah y diterima oleh 2 buah *pot bearing* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.77. Besar gaya yang diterima oleh masing-masing *pot bearing* tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E_Q &= \frac{C_{SM}}{R_d} \times W_t \\
 &= \frac{0,237}{0,8} \times \frac{15411,32}{2} \\
 &= 2283,69 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.77 *Pot Bearing* Penerima Gaya Horizontal Arah Y

- o Menghitung Gaya Gempa Horizontal Statis Arah X

Gaya gempa horizontal arah x diterima oleh 2 buah *pot bearing* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.78. Besar gaya yang diterima oleh masing-masing *pot bearing* tersebut adalah sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{SM}}{R_d} \times W_t$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,237}{0,8} \times \frac{15411,32}{2} \\
 &= 2283,69 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.78 *Pot Bearing* Penerima Gaya Horizontal Arah X

4.10.2. Pembebanan Vertikal Perletakan

Pembebanan vertikal menggunakan kombinasi Kuat I sesuai dengan SNI 1725:2016. Untuk menghitung gaya vertikal yang terjadi pada perletakan digunakan program bantu SAP 2000. Gaya vertikal yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.74. dari tabel tersebut didapatkan gaya total yang diterima tiap perletakan adalah $24545,8/4 = 6136,45$ kN.

Tabel 4.74 Reaksi Vertikal pada Perletakan (Kuat I)

Perletakan	Kombinasi	Vertikal
		kN
1	Kuat I	5900,50
2	Kuat I	5900,50
3	Kuat I	5900,50
4	Kuat I	5900,50
Sambungan (10% dari DL)		943,80
Berat Total		24545,80

4.10.3. Pemilihan Perletakan

Pada sub bab sebelumnya telah didapatkan gaya vertikal dan horizontal yang diterima oleh tiap perletakan. Rekapitulasi gaya – gaya yang diterima oleh perletakan dapat dilihat pada Tabel 4.75. Dari gaya tersebut dicari produk *pot bearing* dari VSL yang memenuhi kapasitas beban yang dibutuhkan. Brosur *pot bearing* dari VSL dapat dilihat pada lampiran. Pemilihan *pot bearing* yang digunakan pada tiap titik dapat dilihat pada Tabel 4.76.

Tabel 4.75 Rekapitulasi Gaya pada Perletakan

Titik	Gaya (kN)		
	Vertikal	Arah-Y (E_{QY})	Arah-X (E_{QX})
1	6136,45	2283,69	2283,69
2	6136,45	0	2283,69
3	6136,45	2283,69	0
4	6136,45	0	0

Tabel 4.76 Tipe *Pot Bearing* yang Digunakan

No	Tipe <i>Pot Bearing</i>		Gaya Perletakan (kN)		Kapasitas Pot Bearing (kN)	
			V	H	V	H
1	Fixed	PF 1700/1200/H2 AA	6136,5	2283,7	12000	2400
2	Guided	PU 1700/1200/H2 AA	6136,5	2283,7	12000	2400
3	Guided	PU 1700/1200/H2 AA	6136,5	2283,7	12000	2400
4	Free	PL 1000/600 AA	6136,5	0	7000	210

BAB V PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH

5.1. Analisa Data Tanah

Pada tugas akhir ini didapatkan data tanah berupa hasil uji SPT (*Standart Penetration Test*) pada Jembatan Sipait. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data N-SPT Jembatan Sipait

Kedalaman	Jenis Tanah	N
3	Lanau Kelempungan	6
6	Pasir Halus	16
9	Lempung	5
12	Humus Kelempungan	4
16	Lempung Kepasiran	4
18	Lempung Kepasiran	6
21	Lempung	20
24	Lempung	25
27	Lanau Kepasiran	22
30	Pasir	60
33	Pasir Kelanauan	56
36	Pasir Kelanauan	38
39	Pasir	52

5.2. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah pada tugas akhir ini menggunakan data tanah hasil *Standart Penetration Test* yang ada pada lokasi proyek. Daya dukung pondasi tiang pancang tunggal ditentukan oleh perlawanan tanah pada ujung tiang (Q_p) dan unsur lekatan lateral tanah (Q_s). Tahapan untuk menentukan daya dukung tanah dilakukan sesuai dengan sub bab 3.9.1 (Kapasitas Daya Dukung *Driven Pile*)

Harga N untuk lempung atau pasir berlanau di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan persamaan

3.39 (Terzaghi dan Peck). Hasil dari N yang telah dikoreksi dapat dilihat pada Tabel 5.2.

$$N' = 15 + 0,5 (N-15), \text{ untuk } N > 15$$

Tabel 5.2 Nilai N -SPT Koreksi

Kedalaman	Jenis Tanah	N	N'
3	Lanau Kelempungan	6	6
6	Pasir Halus	16	15,5
9	Lempung	5	5
12	Humus Kelempungan	4	4
16	Lempung Kepasiran	4	4
18	Lempung Kepasiran	6	6
21	Lempung	20	17,5
24	Lempung	25	20
27	Lanau Kepasiran	22	18,5
30	Pasir	60	37,5
33	Pasir Kelanauan	56	35,5
36	Pasir Kelanauan	38	26,5
39	Pasir	52	33,5

Perhitungan untuk mendapat kan nilai Q_p dan Q_s menggunakan tiga diameter tiang pancang yang berbeda. Perhitungan tersebut bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi tiang pancang yang paling efektif untuk digunakan. Diameter tiang pancang yang akan dihitung yaitu 0,5 m, 0,6 m, dan 0,8 m. Masing-masing perhitungan akan menggunakan nilai $SF=3$. Tabel perhitungan daya dukung dapat dilihat pada Tabel 5.3, Tabel 5.4, dan Tabel 5.5. Sedangkan grafik hubungan daya dukung tanah dengan kedalaman tanah dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Tabel 5.3 Daya Dukung Tiang Pancang Diameter 0,5m

Kedalaman	Jenis Tanah	N	N'	K ton / m ²	ab	m ²		Np	Ns	ton			
						AP	AS			QP	QS	QL	QL / SF
0	Lanau Kelempungan	0	0	20	11	0,196	0,00	2,00	0,00	7,9	0,0	7,9	2,6
1	Lanau Kelempungan	2	2	20	11	0,196	1,57	3,0	1,0	11,8	2,1	13,9	4,6
2	Lanau Kelempungan	4	4	20	11	0,196	3,14	4,2	2,0	16,5	5,2	21,7	7,2
3	Lanau Kelempungan	6	6	20	11	0,196	4,71	6,6	3,0	25,9	9,4	35,3	11,8
4	Lanau Kelempungan	9	9	20	11	0,196	6,28	9,3	4,2	36,5	15,1	51,6	17,2
5	Pasir Kelempungan	12	12	30	11	0,196	7,85	10,9	5,5	64,2	22,2	86,4	28,8
6	Pasir Halus	16	15,5	40	11	0,196	9,42	11,3	6,9	88,7	31,2	119,9	40,0
7	Pasir Halus	12	12	40	11	0,196	10,99	10,5	7,6	82,4	38,7	121,1	40,4
8	Pasir Halus	8	8	40	11	0,196	12,56	9,1	7,6	71,4	44,4	115,9	38,6
9	Lempung	5	5	12	11	0,196	14,13	7,0	7,4	16,5	48,7	65,2	21,7
10	Lempung	5	5	12	11	0,196	15,70	5,4	7,1	12,7	53,0	65,8	21,9
11	Lempung	5	5	12	11	0,196	17,27	4,6	7,0	10,8	57,3	68,2	22,7
12	Humus Kelempungan	4	4	15	11	0,196	18,84	4,4	6,7	13,0	61,1	74,1	24,7
13	Humus Kelempungan	4	4	15	11	0,196	20,41	4,2	6,5	12,4	64,9	77,2	25,7
14	Lempung	4	4	12	11	0,196	21,98	4,0	6,4	9,4	68,6	78,0	26,0
15	Lempung	4	4	12	11	0,196	23,55	4,2	6,2	9,9	72,4	82,3	27,4
16	Lempung Kepasiran	4	4	22	11	0,196	25,12	4,6	6,1	19,9	76,1	96,0	32,0
17	Lempung Kepasiran	5	5	22	11	0,196	26,69	6,0	6,0	25,9	80,3	106,2	35,4
18	Lempung Kepasiran	6	6	22	11	0,196	28,26	8,3	6,0	35,8	85,0	120,9	40,3
19	Lempung Kepasiran	11	11	22	11	0,196	29,83	11,0	6,3	47,5	92,2	139,7	46,6

Kedalaman	Jenis Tanah	N	N'	K ton / m ²	a _b	A _p m ²	A _s	N _p	N _s	ton			
										Q _p	Q _s	Q _L	Q _L /SF
20	Lempung Kepasiran	16	15,5	22	1	0,196	31,40	13,7	6,7	59,1	101,7	160,8	53,6
21	Lempung	20	17,5	12	1	0,196	32,97	16,4	7,2	38,6	112,1	150,8	50,3
22	Lempung	22	18,5	12	1	0,196	34,54	18,2	7,7	42,9	123,1	166,0	55,3
23	Lempung	24	19,5	12	1	0,196	36,11	19,0	8,2	44,7	134,7	179,4	59,8
24	Lempung	25	20	12	1	0,196	37,68	19,3	8,7	45,5	146,4	191,9	64,0
25	Lempung Kelanauan	24	19,5	15	1	0,196	39,25	19,3	9,1	56,8	158,0	214,8	71,6
26	Lanau Kepasiran	23	19	25	1	0,196	40,82	20,4	9,4	100,1	169,3	269,4	89,8
27	Lanau Kepasiran	22	18,5	25	1	0,196	42,39	22,7	9,8	111,4	180,4	291,8	97,3
28	Pasir	35	25	40	1	0,196	43,96	26,3	10,3	206,5	194,8	401,2	133,7
29	Pasir	48	31,5	40	1	0,196	45,53	29,9	11,0	234,7	212,5	447,2	149,1
30	Pasir	60	37,5	40	1	0,196	47,10	33,4	11,9	262,2	233,2	495,4	165,1
31	Pasir	59	37	40	1	0,196	48,67	35,5	12,6	278,7	253,7	532,4	177,5
32	Pasir	57	36	40	1	0,196	50,24	35,7	13,3	280,2	273,8	554,0	184,7
33	Pasir Kelanauan	56	35,5	35	1	0,196	51,81	34,1	14,0	234,2	293,6	527,8	175,9
34	Pasir Kelanauan	50	32,5	35	1	0,196	53,38	32,0	14,5	219,8	311,9	531,7	177,2
35	Pasir Kelanauan	44	29,5	35	1	0,196	54,95	30,6	14,9	210,2	328,7	538,9	179,6
36	Pasir Kelanauan	38	26,5	35	1	0,196	56,52	29,8	15,3	204,7	344,0	548,6	182,9
37	Pasir	43	29	40	1	0,196	58,09	30,0	15,6	235,5	360,5	596,0	198,7
38	Pasir	48	31,5	40	1	0,196	59,66	30,1	16,0	236,5	378,4	614,8	204,9
39	Pasir	52	33,5	40	1	0,196	61,23	31,3	16,5	246,0	397,2	643,2	214,4

Tabel 5.4 Daya Dukung Tiang Pancang Diameter 0,6m

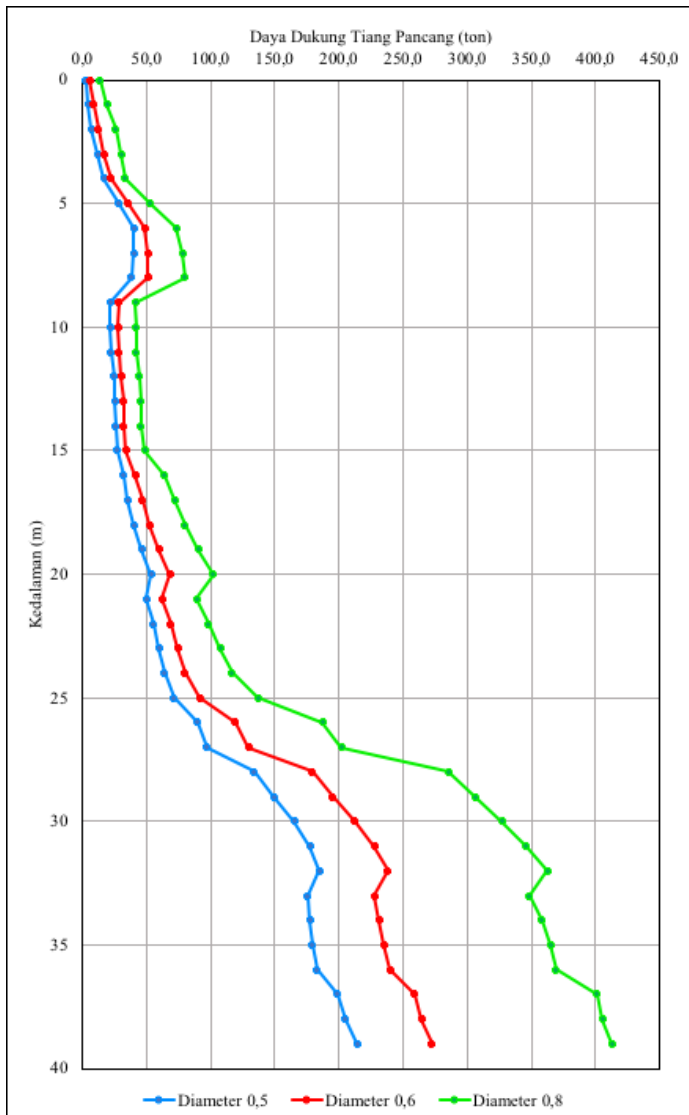
Kedalaman	Jenis Tanah	N	N'	K ton / m ²	ab	m ²		Np	Ns	ton			
						AP	AS			QP	QS	QL	QL / SF
0	Lanau Kelempungan	0	0	20	11	0,283	0,00	3,0	0,0	17,0	0,0	17,0	5,7
1	Lanau Kelempungan	2	2	20	11	0,283	1,88	4,2	1,0	23,7	2,5	26,3	8,8
2	Lanau Kelempungan	4	4	20	11	0,283	3,77	5,5	2,0	31,1	6,3	37,4	12,5
3	Lanau Kelempungan	6	6	20	11	0,283	5,65	6,9	3,0	39,2	11,3	50,5	16,8
4	Lanau Kelempungan	9	9	20	11	0,283	7,54	8,6	4,2	48,8	18,1	66,9	22,3
5	Pasir Kelempungan	12	12	30	11	0,283	9,42	9,5	5,5	80,5	26,7	107,2	35,7
6	Pasir Halus	16	15,5	40	11	0,283	11,30	9,6	6,9	109,0	37,4	146,4	48,8
7	Pasir Halus	12	12	40	11	0,283	13,19	9,5	7,6	107,4	46,4	153,8	51,3
8	Pasir Halus	8	8	40	11	0,283	15,07	8,9	7,6	100,9	53,3	154,2	51,4
9	Lempung	5	5	12	11	0,283	16,96	7,8	7,4	26,4	58,5	84,9	28,3
10	Lempung	5	5	12	11	0,283	18,84	6,1	7,1	20,8	63,7	84,5	28,2
11	Lempung	5	5	12	11	0,283	20,72	5,0	7,0	17,0	68,8	85,7	28,6
12	Humus Kelempungan	4	4	15	11	0,283	22,61	4,4	6,7	18,8	73,3	92,1	30,7
13	Humus Kelempungan	4	4	15	11	0,283	24,49	4,3	6,5	18,2	77,8	96,0	32,0
14	Lempung	4	4	12	11	0,283	26,38	4,3	6,4	14,5	82,4	96,9	32,3
15	Lempung	4	4	12	11	0,283	28,26	4,4	6,2	15,0	86,8	101,9	34,0
16	Lempung Kepasiran	4	4	22	11	0,283	30,14	5,4	6,1	33,8	91,3	125,1	41,7
17	Lempung Kepasiran	5	5	22	11	0,283	32,03	7,1	6,0	44,0	96,4	140,3	46,8
18	Lempung Kepasiran	6	6	22	11	0,283	33,91	9,0	6,0	56,0	102,0	158,0	52,7
19	Lempung Kepasiran	11	11	22	11	0,283	35,80	11,1	6,3	68,8	110,7	179,5	59,8

Kedalaman	Jenis Tanah	N	N'	K ton / m ²	a _b	A _p m ²	A _s	N _p	N _s	ton			
										Q _p	Q _s	Q _L	Q _L /SF
20	Lempung Kepasiran	16	15,5	22	1	0,283	37,68	13,3	6,7	82,6	122,0	204,6	68,2
21	Lempung	20	17,5	12	1	0,283	39,56	15,4	7,2	52,3	134,6	186,9	62,3
22	Lempung	22	18,5	12	1	0,283	41,45	17,4	7,7	58,9	147,8	206,6	68,9
23	Lempung	24	19,5	12	1	0,283	43,33	18,5	8,2	62,7	161,6	224,3	74,8
24	Lempung	25	20	12	1	0,283	45,22	18,9	8,7	64,2	175,7	239,9	80,0
25	Lempung Kelanauan	24	19,5	15	1	0,283	47,10	20,0	9,1	84,8	189,6	274,4	91,5
26	Lanau Kepasiran	23	19	25	1	0,283	48,98	21,9	9,4	154,4	203,2	357,6	119,2
27	Lanau Kepasiran	22	18,5	25	1	0,283	50,87	24,4	9,8	172,6	216,5	389,1	129,7
28	Pasir	35	25	40	1	0,283	52,75	26,9	10,3	303,6	233,7	537,3	179,1
29	Pasir	48	31,5	40	1	0,283	54,64	29,2	11,0	330,2	255,0	585,2	195,1
30	Pasir	60	37,5	40	1	0,283	56,52	31,6	11,9	356,9	279,9	636,7	212,2
31	Pasir	59	37	40	1	0,283	58,40	33,6	12,6	379,5	304,5	684,0	228,0
32	Pasir	57	36	40	1	0,283	60,29	34,2	13,3	386,8	328,5	715,3	238,4
33	Pasir Kelanauan	56	35,5	35	1	0,283	62,17	33,5	14,0	331,3	352,3	683,7	227,9
34	Pasir Kelanauan	50	32,5	35	1	0,283	64,06	32,3	14,5	319,3	374,3	693,6	231,2
35	Pasir Kelanauan	44	29,5	35	1	0,283	65,94	31,5	14,9	311,6	394,4	706,0	235,3
36	Pasir Kelanauan	38	26,5	35	1	0,283	67,82	31,1	15,3	308,0	412,7	720,8	240,3
37	Pasir	43	29	40	1	0,283	69,71	30,4	15,6	343,8	432,6	776,4	258,8
38	Pasir	48	31,5	40	1	0,283	71,59	30,0	16,0	339,1	454,0	793,1	264,4
39	Pasir	52	33,5	40	1	0,283	73,48	30,1	16,5	340,5	476,7	817,2	272,4

Tabel 5.5 Daya Dukung Tiang Pancang Diameter 0,8m

Kedalaman	Jenis Tanah	N	N'	K ton / m ²	ab	m ²			Ns	Qp	Qs	QL	QL / SF
						Ap	As	Np					
0	Lanau Kelempungan	0	0	20	11	0,502	0,00	4,20	0,00	42,2	0,0	42,2	14,1
1	Lanau Kelempungan	2	2	20	11	0,502	2,51	5,50	1,00	55,3	3,3	58,6	19,5
2	Lanau Kelempungan	4	4	20	11	0,502	5,02	6,93	2,00	69,6	8,4	78,0	26,0
3	Lanau Kelempungan	6	6	20	11	0,502	7,54	7,56	3,00	76,0	15,1	91,1	30,4
4	Lanau Kelempungan	9	9	20	11	0,502	10,05	7,61	4,20	76,5	24,1	100,6	33,5
5	Pasir Kelempungan	12	12	30	11	0,502	12,56	8,17	5,50	123,1	35,6	158,7	52,9
6	Pasir Halus	16	15,5	40	11	0,502	15,07	8,50	6,93	170,8	49,9	220,7	73,6
7	Pasir Halus	12	12	40	11	0,502	17,58	8,61	7,56	173,0	61,9	235,0	78,3
8	Pasir Halus	8	8	40	11	0,502	20,10	8,39	7,61	168,6	71,1	239,7	79,9
9	Lempung	5	5	12	11	0,502	22,61	7,83	7,35	47,2	78,0	125,2	41,7
10	Lempung	5	5	12	11	0,502	25,12	6,94	7,14	41,9	84,9	126,7	42,2
11	Lempung	5	5	12	11	0,502	27,63	5,67	6,96	34,2	91,7	125,9	42,0
12	Humus Kelempungan	4	4	15	11	0,502	30,14	4,78	6,73	36,0	97,8	133,8	44,6
13	Humus Kelempungan	4	4	15	11	0,502	32,66	4,44	6,54	33,5	103,8	137,3	45,8
14	Lempung	4	4	12	11	0,502	35,17	4,56	6,37	27,5	109,8	137,3	45,8
15	Lempung	4	4	12	11	0,502	37,68	5,22	6,22	31,5	115,8	147,3	49,1
16	Lempung Kepasiran	4	4	22	11	0,502	40,19	6,39	6,09	70,6	121,8	192,4	64,1
17	Lempung Kepasiran	5	5	22	11	0,502	42,70	7,89	6,03	87,2	128,5	215,7	71,9
18	Lempung Kepasiran	6	6	22	11	0,502	45,22	9,50	6,03	105,0	136,0	241,0	80,3
19	Lempung Kepasiran	11	11	22	11	0,502	47,73	11,22	6,28	124,0	147,6	271,6	90,5

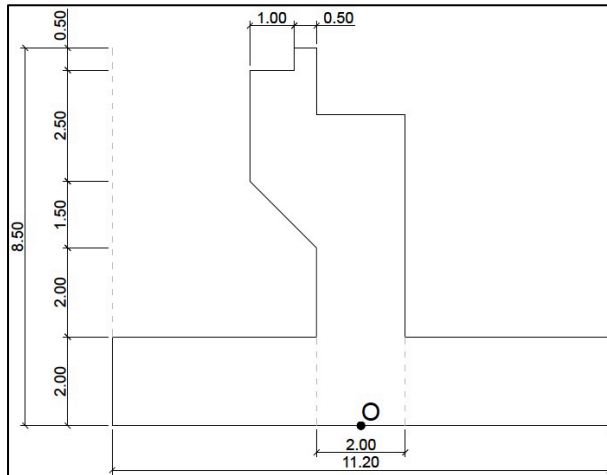
Kedalaman	Jenis Tanah	N	N'	K ton / m ²	ab	Ap		Np	Ns	ton			
						As	m ²			Qp	Qs	QL	QL/SF
20	Lempung Kepasiran	16	15,5	22	11	0,502	50,24	13,00	6,71	143,7	162,7	306,4	102,1
21	Lempung	20	17,5	12	11	0,502	52,75	14,72	7,20	88,8	179,4	268,2	89,4
22	Lempung	22	18,5	12	11	0,502	55,26	16,28	7,70	98,1	197,0	295,2	98,4
23	Lempung	24	19,5	12	11	0,502	57,78	17,67	8,19	106,5	215,5	322,0	107,3
24	Lempung	25	20	12	11	0,502	60,29	19,22	8,66	115,9	234,3	350,2	116,7
25	Lempung Kelanauan	24	19,5	15	11	0,502	62,80	21,00	9,08	158,3	252,8	411,1	137,0
26	Lanau Kepasiran	23	19	25	11	0,502	65,31	23,22	9,44	291,7	270,9	562,6	187,5
27	Lanau Kepasiran	22	18,5	25	11	0,502	67,82	25,28	9,77	317,5	288,7	606,1	202,0
28	Pasir	35	25	40	11	0,502	70,34	27,11	10,29	544,8	311,7	856,5	285,5
29	Pasir	48	31,5	40	11	0,502	72,85	28,83	11,00	579,4	340,0	919,4	306,5
30	Pasir	60	37,5	40	11	0,502	75,36	30,28	11,85	608,5	373,2	981,6	327,2
31	Pasir	59	37	40	11	0,502	77,87	31,44	12,64	631,9	406,0	1037,9	346,0
32	Pasir	57	36	40	11	0,502	80,38	32,33	13,35	649,8	438,1	1087,8	362,6
33	Pasir Kelanauan	56	35,5	35	11	0,502	82,90	32,78	14,00	576,4	469,7	1046,1	348,7
34	Pasir Kelanauan	50	32,5	35	11	0,502	85,41	32,78	14,53	576,4	499,0	1075,4	358,5
35	Pasir Kelanauan	44	29,5	35	11	0,502	87,92	32,33	14,94	568,5	525,9	1094,4	364,8
36	Pasir Kelanauan	38	26,5	35	11	0,502	90,43	31,75	15,26	558,3	550,3	1108,6	369,5
37	Pasir	43	29	40	11	0,502	92,94	31,14	15,62	625,8	576,8	1202,7	400,9
38	Pasir	48	31,5	40	11	0,502	95,46	30,42	16,03	611,3	605,4	1216,6	405,5
39	Pasir	52	33,5	40	11	0,502	97,97	30,00	16,46	602,9	635,6	1238,4	412,8



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Kedalaman dengan Daya Dukung

5.3. *Preliminary Design Abutment*

Sebelum menghitung beban-beban yang akan diterima oleh *abutment*, maka harus ditentukan terlebih dahulu rencana dimensi *abutment* yang akan dibangun. Dimensi yang direncanakan akan digunakan untuk *abutment* dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 *Preliminary Design Abutment*

5.4. **Pembebanan Struktur Bawah**

Pembebanan pada struktur bawah terdiri dari beban dari struktur atas, berat sendiri, berat tanah timbunan, beban rem, dan beban akibat tanah aktif.

5.4.1. **Beban dari Struktur Atas**

Beban-beban yang bekerja pada struktur atas akan disalurkan ke *abutment* melalui perletakan. Oleh karena itu, untuk mengetahui beban yang bekerja pada *abutment* akibat bangunan atas diambil dari reaksi-reaksi perletakan. Perletakan yang ditinjau adalah perletakan nomor 1 dan 2. Rekapitulasi gaya yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.6.

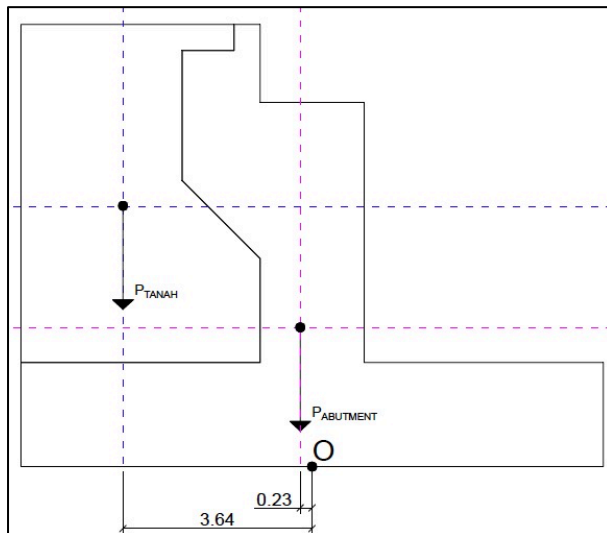
Tabel 5.6 Rekapitulasi Gaya pada Perletakan 1 dan 2 (kN)

Titik	Vertikal			Horizontal X		Horizontal Y	
	Kuat			Kuat		Kuat	
	I*	III	V	III	V	III	V
Pot Bearing 1	5900,5	2370,6	2683,8	-1709,5	-622,4	-985,5	-362,5
Pot Bearing 2	5900,5	3765,8	3269,9	1709,6	622,5	0	0

*Gaya horizontal akibat Kuat I = 0

5.4.2. Beban Akibat Berat Sendiri dan Tanah Timbunan

Berat sendiri dan tanah timbunan dibelakang *abutment* dihitung dengan menggunakan program AutoCAD untuk mencari nilai luasannya. Sketsa dari beban sendiri *abutment* dan tanah timbunan serta titik beratnya dapat dilihat pada Gambar 5.3. Sedangkan hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.7.



Gambar 5.3 Sketsa Beban Sendiri *Abutment* dan Tanah Timbunan

Tabel 5.7 Beban Sendiri *Abutment* dan Tanah Timbunan

Nama	Luas	Lebar	Berat Jenis	W
	m ²	m	kN/m ³	kN
<i>Abutment</i>	38,125	13,6	24	12444
Timbunan	25,75	13,6	16	5603

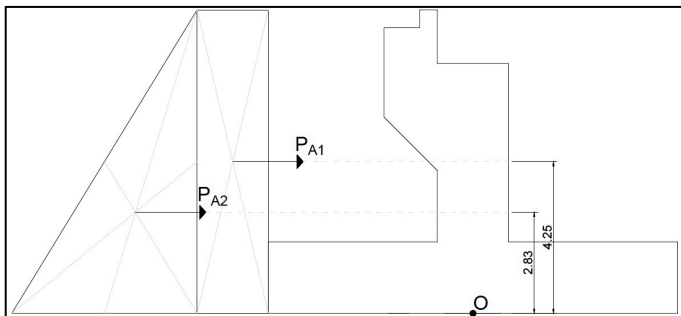
5.4.3. Beban Rem

Perhitungan gaya akibat beban Rem sesuai dengan SNI 1725:2016. Gaya rem yang dipakai sebesar 25% dari berat gandar truk desain. Untuk desain kritis dianggap jalan adalah jalan dua lajur satu arah. Jalur satu arah mengakibatkan perletakan menerima dua beban rem truk searah. Gaya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Beban gandar truk sesuai SNI} &= 225 \text{ kN} \\
 25\% \text{ beban gandar} &= 56,25 \text{ kN} \\
 2 \text{ beban truk searah} &= 2 \times 56,25 = 112,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.4.4. Beban Akibat Tekanan Tanah Aktif dan Lalu Lintas

Gaya yang diakibatkan oleh tanah dapat membuat geser pada struktur bangunan bawah jembatan. Sketsa gaya aktif tanah yang bekerja dan lengan gayanya dapat dilihat pada Gambar 5.4. P_{A1} sebagai gaya akibat beban lalu lintas dan P_{A2} akibat tanah.

**Gambar 5.4** Sketsa Pembebanan Tanah Aktif dan Lalu Lintas

Beban kendaraan lalu lintas diekivalensikan dengan $0,6 \times \gamma_{\text{Timbunan}}$ dan beban akibat kendaraan tersebut sama di sepanjang kedalaman *abutment*.

$$H_{\text{Abutment}} = 8,5 \text{ m}$$

$$L_{\text{Abutment}} = 13,6 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{Timbunan}} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{Tanah}} = 16 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$q_{\text{Kendaraan}} = 0,6 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 10,8 \text{ kN/m}^2$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = 0,333$$

$$\begin{aligned} P_{A1} &= K_a \cdot q_{\text{Kendaraan}} \cdot H \cdot L \\ &= 0,33 \cdot 10,8 \cdot 8,5 \cdot 13,6 \\ &= 416,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{A2} &= 0,5 \cdot K_a \cdot (\gamma_{\text{Tanah}} \cdot H) \cdot H \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,33 \cdot (16 \cdot 8,5) \cdot 8,5 \cdot 13,6 \\ &= 2620,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.4.5. Beban Akibat Gempa

Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus yang mengacu pada SNI 1725:2016. sedangkan untuk koefisien-koefisien yang digunakan dalam perhitungan mengacu pada SNI 2833:2016. Rumus yang digunakan untuk mencari gaya horizontal statis adalah sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{SM}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan:

E_Q : Gaya gempa horizontal statis

C_{SM} : Koefisien Respons gempa elastis

R_d : Faktor modifikasi respon gempa elastis

W_t : Berat total struktur

o Mencari Nilai W_t

Nilai W_t didapatkan dari program bantu SAP2000. Nilai tersebut didapatkan dengan melihat reaksi tiap perletakan yang

diakibatkan oleh beban mati dan hidup dengan faktor pembebanan sesuai dengan kondisi Ekstrim I.

Wt dari struktur atas = 7705,66 kN

Wt akibat berat sendiri = 12444 kN

Wt total pada *abutment* = 20149,66 kN

o **Mencari Nilai C_{SM}**

Berdasarkan SNI 2833:2016, nilai C_{SM} dibagi menjadi tiga berdasarkan periode struktur seperti dibawah ini:

untuk $T \leq T_0$: $C_{SM} = (S_{DS} - A_s) \cdot (T/T_0) + A_s$

untuk $T_0 \leq T \leq T_S$: $C_{SM} = S_{DS}$

untuk $T > T_S$: $C_{SM} = S_{D1}/T$

Untuk mendapatkan hasil nilai E_Q terbesar, diambil nilai C_{SM} maksimum, yaitu $C_{SM} = S_{DS} = 0,775$.

o **Mencari Nilai R_d**

Faktor modifikasi respon untuk bangunan bawah memiliki nilai faktor yang berbeda sesuai dengan jenis strukturnya. Nilai modifikasi tersebut dapat dilihat pada tabel . Dari tabel tersebut diketahui untuk struktur *abutment* dengan kategori kepentingan sangat penting memiliki nilai R 1,5.

Tabel 5.8 Faktor Modifikasi Respons untuk Bangunan Bawah

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya
Pilar Tipe Dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/Kolom Beton Bertulang			
Tiang Vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom Tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang Baja dan komposit			
Tiang Vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang Miring	1,5	2,0	3,0
Kolom Majemuk	1,5	3,5	5,0

Dari nilai-nilai yang sudah didapatkan, dapat dihitung gaya gempa horizontal statis. perhitungannya sebagai berikut:

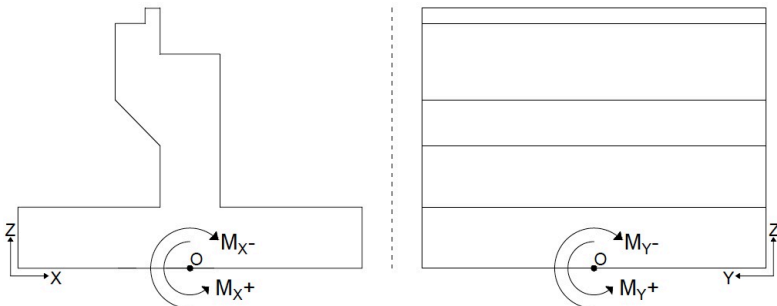
$$\begin{aligned} E_Q &= \frac{C_{SM}}{R_d} \times W_t \\ &= \frac{0,775}{1,5} \times 20150 \\ &= 10410,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.5. Perencanaan Tiang Pancang

Dalam perencanaan tiang pancang, perlu dicari terlebih dahulu beban yang bekerja pada tiang pancang. Dari beban yang ada ditentukan kedalaman minimal tiang pancang yang dibutuhkan. Tiang pancang yang digunakan kemudian dikontrol untuk mengetahui kapasitas maksimal yang dapat diterima.

5.5.1. Kombinasi Pembebanan Tiang Grup

Setelah mendapatkan semua komponen beban yang bekerja pada jembatan, dilakukan penggabungan dengan kombinasi pembebanan. Kombinasi yang digunakan adalah Kuat I, Kuat III, Kuat V, Ekstrem I gempa x, dan Ekstrem I gempa y. Dari masing – masing kombinasi beban dicari besar dari P, M_x, dan M_y maksimum yang bekerja. Arah negatif dan positif momen yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 5.5. Sedangkan untuk perhitungan gaya dan momen dapat dilihat pada Tabel 5.9 sampai Tabel 5.13.



Gambar 5.5 Arah Momen Positif dan Negatif

Tabel 5.9 Kombinasi Kuat I

Beban	Gaya Terfaktor (kN)			Lengan Gaya	Momen (kN.m)	
	V	Hx	Hy		My	Mx
POT 1	5900,5			4,75	-28027,5	
POT 2	5900,5			4,75	28027,5	
<i>Abutment</i>	12444,0			0,23		2862,1
Berat Tanah	5603,2			3,64		20395,6
PA1		416,2		4,25		-1768,7
PA2		2620,3		2,83		-7415,4
Beban Rem		112,5		8,5		956,3
Total	29848,3	3148,9	0,0		0,0	15030,0

Tabel 5.10 Kombinasi Kuat III

Beban	Gaya Terfaktor (kN)			Lengan Gaya	Momen (kN.m)	
	V	Hx	Hy		My	Mx
POT 1	2370,61			4,75	-11260,4	
		1709,57		7		11967,0
			985,58	7	-6899,1	
POT 2	3765,83			4,75	17887,7	
		1709,64		7		-11967,5
<i>Abutment</i>	12444			0,23		2862,1
Berat Tanah	5603			3,64		20395,6
PA1		416,16		4,25		-1768,7
PA2		2620,27		2,83		-7415,4
Total	24183,6	6455,6	985,6		-271,8	14073,2

Tabel 5.11 Kombinasi Kuat V

Beban	Gaya Terfaktor (kN)			Lengan	Momen (kN.m)	
	V	Hx	Hy	Gaya	My	Mx
POT 1	2683,85			4,75	-12748,3	
		622,45		7		4357,2
			362,59	7	-2538,1	
POT 2	3269,98			4,75	15532,4	
		622,52		7		-4357,6
<i>Abutment</i>	12444,00			0,23		2862,1
Berat Tanah	5603,20			3,64		20395,6
PA1		416,16		4,25		-1768,7
PA2		2620,27		2,83		-7415,4
Total	24001,03	4281,40	362,59		246,0	14073,2

Tabel 5.12 Kombinasi Ekstrem I Gempa X

Beban	Gaya Terfaktor (kN)			Lengan	Momen (kN.m)	
	V	Hx	Hy	Gaya	My	Mx
POT 1	3852,8			4,75	-18300,9	
POT 2	3852,8			4,75	18300,9	
<i>Abutment</i>	12444,0			0,23		2862,1
Berat Tanah	5603,2			3,64		20395,6
PA1		416,2		4,25		-1768,7
PA2		2620,3		2,83		-7415,4
Beban Rem		112,5		8,5		956,3
Eqx Bawah		10410,7		2,65		27588,2
Eqy Bawah			3123,2	2,65	8276,5	
Eqx Atas		2283,7		7		15985,8
Eqy Atas			685,1	7	4795,7	
Total	25752,9	15843,3	3808,3		13072,2	58604,1

Tabel 5.13 Kombinasi Ekstrem I Gempa Y

Beban	Gaya Terfaktor (kN)			Lengan	Momen (kN.m)	
	V	Hx	Hy	Gaya	My	Mx
POT 1	3852,8			4,75	-18300,9	
POT 2	3852,8			4,75	18300,9	
<i>Abutment</i>	12444,0			0,23		2862,1
Berat Tanah	5603,2			3,64		20395,6
PA1		416,2		4,25		-1768,7
PA2		2620,3		2,83		-7415,4
Beban Rem		112,5		8,5		956,3
Eqx Bawah		3123,2		2,65		8276,5
Eqy Bawah			10410,7	2,65	27588,2	
Eqx Atas		685,1		7		4795,7
Eqy Atas			2283,7	7	15985,8	
Total	25752,9	6957,2	12694,3		43574,1	28102,2

5.5.2. Analisa Pembebanan Tiang Kelompok

Perencanaan tiang pancang perlu memperhatikan konfigurasi tata letak dari tiang pancang, kedalaman, dan juga diameter dari tiang pancang yang digunakan. perbedaan tata letak tiang pancang akan menghasilkan gaya maksimum yang berbeda pada tiang pancang tersebut. Gambar sketsa konfigurasi tata letak tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 5.6. *Driven pile* yang digunakan merupakan *prestressed concrete spun pile* dari PT. Wijaya Karya Beton dengan diameter 0,8 m.

Jika tiang pancang disatukan menjadi sebuah kelompok pada kepala tiang dan bekerja beban vertikal (V), horizontal (H), serta momen (M). Maka besar beban vertikal ekuivalen (Pv) yang bekerja sebagai berikut :

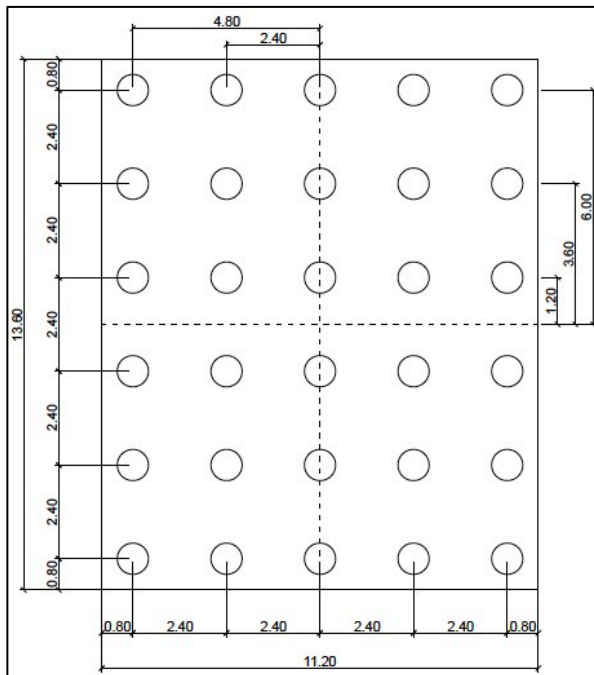
$$P_v = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y_{Max}}{\Sigma Y^2} \pm \frac{M_y \cdot X_{Max}}{\Sigma X^2}$$

Dimana :

Pv = Beban vertikal ekuivalen tiang pancang

- ΣP = Total beban aksial yang bekerja pada tiang
 M_x = Momen terhadap sumbu X
 M_y = Momen terhadap sumbu Y
 X_{Max} = Abis tiang pancang terjauh terhadap garis berat tiang
 Y_{Max} = Ordinat tiang pancang terjauh terhadap garis berat tiang
 ΣX^2 = Jumlah kuadrat abis tiang pancang terhadap garis berat kelompok tiang
 Σy^2 = Jumlah kuadrat ordinat tiang pancang terhadap garis berat kelompok tiang
 n = Banyaknya tiang pancang

Hasil Perhitungan P_v dari tiap kombinasi pembebanan yang ada dapat dilihat pada Tabel 5.14. Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan nilai P_v maksimum sebesar 1798,17 kN.



Gambar 5.6 Konfigurasi Letak Tiang Pancang

Tabel 5.14 Perhitungan Pv Tiang Pancang

$Y_{\max} = 6,00 \text{ m}$	$\Sigma y^2 = 504 \text{ m}^2$
$X_{\max} = 4,80 \text{ m}$	$\Sigma x^2 = 345,6 \text{ m}^2$
Persamaan Beban Vertikal Ekuivalen (Pv)	
$P_v = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\Sigma x^2}$	
Kuat I	
$P_v = \frac{29848,26}{30,00} \pm \frac{90179,90}{504,00} \pm \frac{0,00}{345,60}$	
$= 994,94 + 178,93 + 0,00 = 1173,87 \text{ kN}$	
$= 994,94 - 178,93 - 0,00 = 816,01 \text{ kN}$	
Kuat III	
$P_v = \frac{24183,64}{30,00} \pm \frac{84439,46}{504,00} \pm \frac{1304,47}{345,60}$	
$= 806,12 + 167,54 + 3,77 = 977,43 \text{ kN}$	
$= 806,12 - 167,54 - 3,77 = 634,81 \text{ kN}$	
Kuat V	
$P_v = \frac{24001,03}{30,00} \pm \frac{84439,46}{504,00} \pm \frac{1180,74}{345,60}$	
$= 800,03 + 167,54 + 3,42 = 970,99 \text{ kN}$	
$= 800,03 - 167,54 - 3,42 = 629,08 \text{ kN}$	
Kombinasi Ekstrem I Gempa X	
$P_v = \frac{25752,86}{30,00} \pm \frac{351624,34}{504,00} \pm \frac{62746,66}{345,60}$	
$= 858,43 + 697,67 + 181,56 = 1737,65 \text{ kN}$	
$= 858,43 - 697,67 - 181,56 = -20,80 \text{ kN}$	
Kombinasi Ekstrem I Gempa Y	
$P_v = \frac{25752,86}{30,00} \pm \frac{168613,23}{504,00} \pm \frac{209155,55}{345,60}$	
$= 858,43 + 334,55 + 605,20 = 1798,17 \text{ kN}$	
$= 858,43 - 334,55 - 605,20 = -81,32 \text{ kN}$	

5.5.3. Daya Dukung Tiang Dalam Grup

Daya dukung tiang pancang dalam grup harus dikoreksi dengan koefisien efisiensi (C_e). Menurut Converse-Labarre, C_e dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{S_1}{S}\right)}{90} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\text{Jumlah baris (m)} = 5$$

$$\text{Jumlah kolom (n)} = 6$$

Jarak antar tiang (S)

$$2D \leq S \leq 3D$$

$$1,6 \leq S \leq 2,4$$

$$S_{\text{pakai}} = 2,4 \text{ m}$$

Jarak tiang ke tepi terluar (S_1)

$$S_1 \geq D$$

$$S_1 \geq 0,8$$

$$S_{1\text{pakai}} = 0,8 \text{ m}$$

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{0,8}{2,4}\right)}{90} \cdot \left(2 - \frac{1}{5} - \frac{1}{6}\right)$$

$$C_e = 0,665$$

Nilai C_e yang didapatkan dikalikan dengan daya dukung tiang pancang pada tiap kedalaman sehingga dapat diketahui kedalaman minimum yang diperlukan. Nilai daya dukung yang digunakan adalah tiang pancang dengan diameter 80 cm pada Tabel 5.5. Setelah dikalikan dengan nilai C_e , daya dukung izin tiang pancang menjadi seperti pada Tabel 5.15. P_v yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya adalah 1798,17 kN. Maka dari itu, untuk memenuhi kebutuhan daya dukung tersebut, tiang pancang minimal dipasang hingga kedalaman 28 m.

Tabel 5.15 P_{Izin} Tiang Grup (Diameter 0,8m)

Kedalaman	P Izin		Kedalaman	P Izin	
	1 Tiang	Grup		1 Tiang	Grup
	kN	kN		kN	kN
0	138,00	91,83	20	1001,82	666,65
1	191,67	127,54	21	876,99	583,59
2	255,03	169,71	22	965,19	642,27
3	297,77	198,15	23	1052,83	700,59
4	328,93	218,89	24	1145,17	762,04
5	518,87	345,27	25	1344,19	894,48
6	721,68	480,23	26	1839,69	1224,20
7	768,32	511,27	27	1982,09	1318,96
8	783,70	521,50	28	2800,71	1863,70
9	409,48	272,48	29	3006,41	2000,59
10	414,45	275,79	30	3209,88	2135,98
11	411,65	273,93	31	3393,92	2258,45
12	437,46	291,10	32	3557,18	2367,09
13	448,95	298,75	33	3420,77	2276,32
14	448,86	298,69	34	3516,53	2340,04
15	481,58	320,46	35	3578,82	2381,49
16	629,06	418,60	36	3625,20	2412,35
17	705,34	469,36	37	3932,73	2617,00
18	788,22	524,51	38	3978,36	2647,36
19	888,12	590,99	39	4049,72	2694,85

5.5.4. Kontrol Tiang Pancang

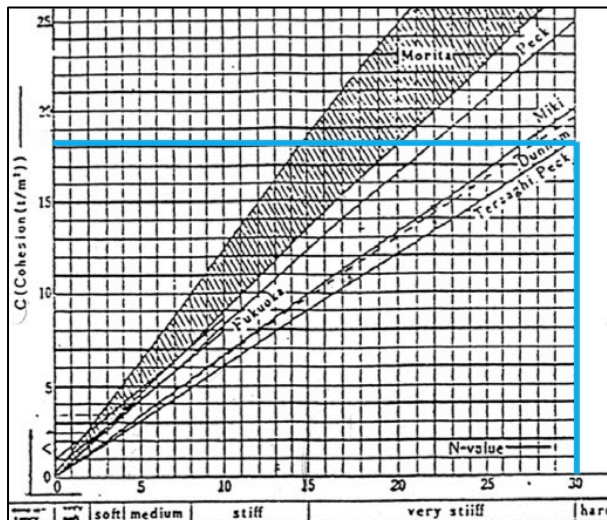
Tiang Pancang yang digunakan merupakan *prestressed concrete spun pile class A1* dari PT. Wijaya Karya Beton dengan diameter 0,8 m dengan spesifikasi sebagai berikut,

Momen crack	= 40 ton.m
Momen ultimate	= 60 ton.m
Allowable compression	= 415 ton
Unit weight	= 641 kg/m

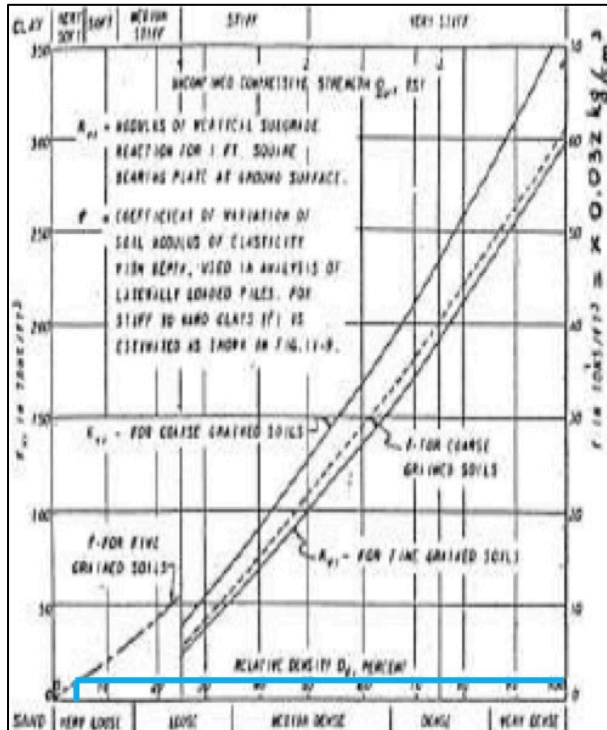
Dalam menghitung defleksi dan momen, nilai C_u perlu dicari terlebih dahulu dengan menggunakan grafik korelasi antara nilai C_u dan NSPT pada Gambar 5.7. Dari grafik tersebut didapatkan nilai $C_u = 18 \text{ t/m}^2$. Maka dapat dihitung nilai Q_u sebagai berikut:

$$Q_u = 18 \cdot 2 = 36 \text{ t/m}^2 = 3,6 \text{ kg/m}^2 = 3,6847 \text{ ton/ft}^2$$

Untuk mendapatkan nilai f , digunakan grafik pada Gambar 5.8. Dari grafik tersebut didapatkan nilai f sebesar $3 \text{ ton/ft}^3 = 0,096 \text{ kg/cm}^3 = 96 \text{ ton/m}^3$.



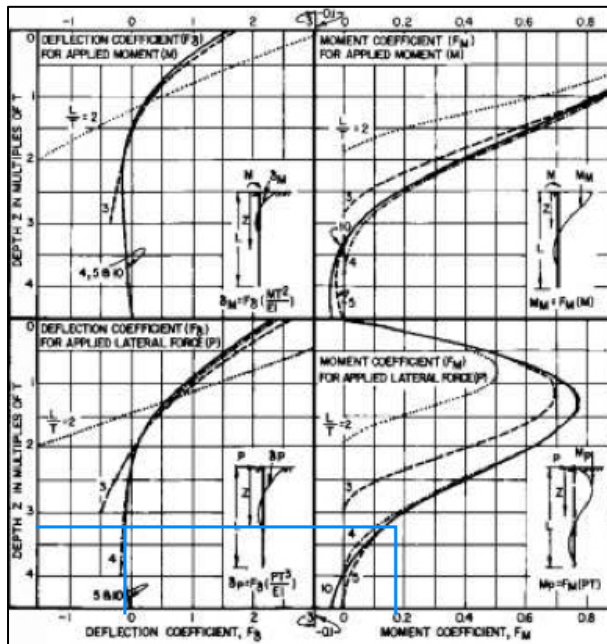
Gambar 5.7 Grafik Korelasi C_u dan NSPT
(Sumber: Terzaghi, 1943)



Gambar 5.8 Grafik Korelasi f dan Q_u
(Sumber: NAFVAC, 1971)

Nilai L/T perlu dicari untuk mendapatkan nilai F_δ dan F_M dari Gambar 5.9.

$$\begin{aligned}
 E &= 4700 \sqrt{f c} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{52} = 33892,18 \text{ MPa} = 3389218 \text{ t/m}^2 \\
 I &= 1/64 \cdot \pi \cdot (0,8^4 - 0,68^4) \\
 &= 0,0096 \text{ m}^4 \\
 T &= \left(\frac{E \cdot I}{f} \right)^{0,2} = \left(\frac{3389218 \cdot 0,0096}{96} \right)^{0,2} \\
 &= 3,21 \text{ m} \\
 L/T &= 28 \text{ m} / 3,21 \text{ m} \\
 &= 8,73
 \end{aligned}$$



Gambar 5.9 Grafik antara L/T dengan F_δ dan F_M
(Sumber: NAFVAC, 1971)

Dari grafik pada Gambar 5.9 didapatkan nilai $F_\delta = 0,15$ dan $F_M = 0,18$. Maka dihitung lendutan yang terjadi sebagai berikut:

$$P_H = 58381,6 \text{ kN} / 30 = 528,11 \text{ kN} = 53,83 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \delta &= F_\delta \cdot \frac{P \cdot T^3}{E \cdot I} \\ &= 0,15 \cdot \frac{53,83 \cdot 3,21^3}{3389218,2 \cdot 0,0096} \\ &= 0,0082 \text{ m} = 0,92 \text{ cm} < 2,54 \text{ cm (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{P\text{Max}} &= F_M \cdot P \cdot T \\ &= 0,18 \cdot 53,83 \cdot 3,21 \\ &= 31,07 \text{ t.m} < M_{\text{Crack}} = 40 \text{ t.m (OK)} \end{aligned}$$

5.6. Penulangan *Abutment* Jembatan

Penulangan yang dihitung pada *abutment* jembatan adalah tulangan dinding *abutment* dan tulangan *pile cap*.

5.6.1. Penulangan Dinding *Abutment*

Penulangan dinding *abutment* terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan transversal/geser.

5.6.1.1. Penulangan Longitudinal Dinding *Abutment*

Perhitungan untuk penulangan dinding *abutment* menggunakan kombinasi pembebanan Ekstem I Gempa X karena kombinasi tersebut menghasilkan momen terbesar pada dinding *abutment*. Perhitungan tulangan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_u &= 58604 \text{ kN.m} \\ &= 58604000000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_c &= 40 \text{ Mpa} \\ f_y &= 420 \text{ Mpa} \\ A_s \text{ D29} &= 660,185 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi} &= 8500 \text{ mm} \\ \text{Lebar} &= 13600 \text{ mm} \\ \text{Tebal} &= 2000 \text{ mm} \\ \text{Selimut} &= 100 \text{ mm} \\ d &= h - s - (0,5 \cdot D_{\text{Longitudinal}}) - D_{\text{Transversal}} \\ &= 2000 - 100 - (0,5 \cdot 29) - 29 \\ &= 1856,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Min}} &= 0,0025 \\ \rho_{\text{Max}} &= 0,025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{58604000000}{0,85 \cdot 13600 \cdot 1856,5^2} \\ &= 1,471 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 40}{420} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,1,471}{0,85 \cdot 40}}\right)$$

$$= 0,0036 \text{ (Pakai)}$$

$$A_{SPakai} = \rho_{Pakai} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0036 \cdot 13600 \cdot 1856,5$$

$$= 90422,92 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{SPakai} / A_{Tulangan}$$

$$= 90422,92 / 660,185$$

$$= 136,96 \approx 137 \text{ buah}$$

$$S_{Perlu} = [13600 - (2 \times 100) - (2 \times 29)] / 130$$

$$= 97,81 \text{ mm} \approx 90 \text{ mm (Pakai)}$$

Maka, digunakan tulangan D29-90mm

5.6.1.2. Penulangan Geser Dinding *Abutment*

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2 perhitungan kuat geser beton bila ikut berkontribusi menahan geser yaitu:

$$N_u = 25753 \text{ kN} = 25753000 \text{ N}$$

$$V_u = 6957,23 \text{ kN} = 6957230 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{25753000}{14 \cdot 27200000}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{40} \cdot 2 \cdot 13,5$$

$$= 30893083 \text{ N} = 30893,08 \text{ kN} > V_u \text{ (OK)}$$

Kuat nominal geser akibat beton sudah melebihi beban geser yang ada. Akan tetapi, tulangan geser yang akan dipasang tetap perlu dihitung. Direncanakan tulangan sengkang 2 D22-250.

$$A_v = 759,88 \text{ mm}^2$$

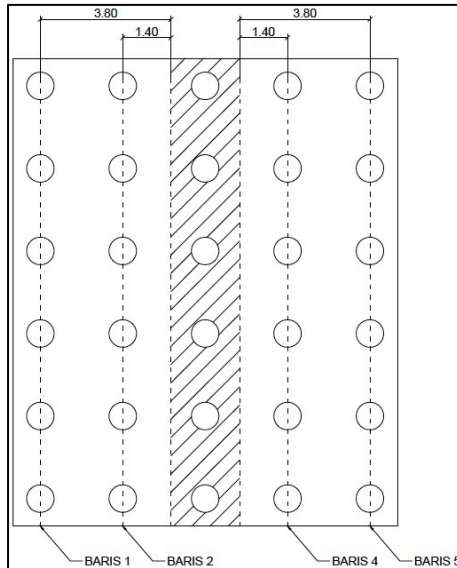
$$S = 250 \text{ mm}$$

$$d = 1856,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left(\frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right) \\
 &= \left(\frac{759,88 \cdot 420 \cdot 1856,5}{250} \right) \\
 &= 2370004 \text{ N} = 2370 \text{ kN} \\
 V_n &= \phi (V_c + V_s) \\
 &= 0,75 (28415,03 + 2370) \\
 &= 23088,77 \text{ kN} > V_u \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

5.6.2. Penulangan *Pile Cap* Jembatan

Perhitungan penulangan *pile cap* menggunakan kombinasi pembebanan pada Tabel 5.9 sampai Tabel 5.13 yang menghasilkan gaya maksimal. Dari nilai yang sudah dihitung, digunakan kombinasi Ekstrem I Gempa X untuk mencari kebutuhan tulangan *pile cap*. Perhitungan momen ultimate akibat reaksi tiang dapat dilihat pada Tabel 5.16. Sketsa jarak tiang pancang yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Sketsa Jarak Tiang Pancang pada *Pile Cap*

Tabel 5.16 Perhitungan Momen pada *Pile Cap* Arah X

Nama	Jumlah	Lengan Momen	Pu (kN)	Mu (kN.m)
Baris 1	6	3,8	1798,17	40998,37
Baris 2	6	1,4	1798,17	15104,66
Berat sendiri	1	2,3	-4066,40	-9352,72
Total				46750,31

Dari data-data yang telah didapatkan, dilakukan perhitungan tulangan utama arah x bagian bawah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 46750,31 \text{ kN.m} \\ &= 46750,310000 \text{ N.mm} \\ f'c &= 40 \text{ Mpa} \\ f_y &= 420 \text{ Mpa} \\ A_s \text{ D29} &= 660,185 \text{ mm}^2 \\ \text{Lebar} &= 13600 \text{ mm} \\ \text{Tebal} &= 2000 \text{ mm} \\ d &= 2000 - 100 - (0,5 \cdot 29) \\ &= 1885,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Min}} &= 0,0025 \\ \rho_{\text{Max}} &= 0,025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{\text{Mu}}{\phi b d^2} = \frac{46750310000}{0,85 \cdot 13600 \cdot 1885,5^2} \\ &= 1,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 40}{420} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,14}{0,85 \cdot 40}} \right) \\ &= 0,0028 \text{ (Pakai)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{Pakai}} &= \rho_{\text{Pakai}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0028 \cdot 13600 \cdot 1885,5 \\ &= 70655,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_{SPakai} / A_{Tulangan} \\
 &= 70655,24 / 660,185 \\
 &= 107,02 \approx 108 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{Perlu} &= [13600 - (2 \times 100)] / 108 \\
 &= 124,07 \text{ mm} \approx 100\text{mm (Pakai)} \\
 &\text{Maka, digunakan tulangan D29-100mm.}
 \end{aligned}$$

Tulangan *pile cap* arah x bagian atas dihitung menggunakan nilai ρ minimum. Sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_S \text{ D29} &= 660,185\text{mm}^2 \\
 A_{SPakai} &= \rho_{Min} \cdot b \cdot d = 0,0025 \cdot 13600 \cdot 1885,5 \\
 &= 64107 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_{SPakai} / A_{Tulangan} \\
 &= 64107 / 660,185 \\
 &= 97,1 \approx 98 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{Perlu} &= [13600 - (2 \times 100)] / 98 = 136,7 \text{ mm} \approx 100\text{mm (Pakai)} \\
 &\text{Maka, digunakan tulangan D29-100mm.}
 \end{aligned}$$

Tulangan *pile cap* arah y dihitung menggunakan nilai ρ minimum. Sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_S \text{ D29} &= 660,185\text{mm}^2 \\
 A_{SPakai} &= \rho_{Min} \cdot b \cdot d = 0,0025 \cdot 13600 \cdot 1885,5 \\
 &= 64107 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_{SPakai} / A_{Tulangan} \\
 &= 64107 / 660,185 \\
 &= 97,1 \approx 98 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{Perlu} &= [13600 - (2 \times 100)] / 98 = 136,7 \text{ mm} \approx 100\text{mm (Pakai)} \\
 &\text{Maka, digunakan tulangan D29-100mm.}
 \end{aligned}$$

BAB VI

KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut:

1. Pelat lantai kendaraan menggunakan beton f^c 40 MPa dengan ketebalan 0,2 m yang dilapisi aspal dengan ketebalan 0,05 m.
2. Gelagar memanjang menggunakan profil dengan mutu BJ41. Ikatan angin menggunakan profil *Circular Hollow* dengan mutu YST310 dari Tata Steel dan profil Box dengan mutu GR50A dari PT. Gunung Raja Paksi. Profil yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Gelagar memanjang : WF 450x300x10x15
 - Gelagar melintang : WF 900x300x15x23
 - Ikatan angin lantai : *Circular Hollow* 219,1 x 6
 - Ikatan angin atas : *Circular Hollow* 219,1 x 4,8
 - Ikatan angin bawah : *Circular Hollow* 165,1 x 4,5
 - Ikatan angin silang : *Circular Hollow* 165,1 x 4,5
 - Ikatan angin horizontal : Box 180x180x8
3. Rangka utama menggunakan profil baja dari PT. Gunung Raja Paksi dengan mutu GR50A. profil yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Segmen 1 batang atas : Box 400x400x25
 - Segmen 1 batang bawah : Box 400x400x25
 - Segmen 1 batang diagonal : Box 180x180x10
 - Segmen 1 batang vertikal : Box 220x220x10
 - Segmen 2 batang atas : Box 400x400x25
 - Segmen 2 batang bawah : Box 400x400x19
 - Segmen 2 batang diagonal : Box 180x180x10
 - Segmen 2 batang vertikal : Box 180x180x8
 - Segmen 3 batang atas : Box 400x400x25
 - Segmen 3 batang bawah : Box 400x400x16

- Segmen 3 batang diagonal : Box 180x180x10
 - Segmen 3 batang vertikal : Box 180x180x6,3
 - Batang tarik : Box 500x500x16
 - Kolom portal akhir : Box 500x500x25
 - Balok portal akhir : Box 500x500x25
4. Kabel penggantung menggunakan tipe Macalloy 520 M64 dari perusahaan Macalloy.
 5. Perletakan menggunakan *Pot Bearing* dari perusahaan VSL dengan pemilihan sebagai berikut:
 - Perletakan 1 : PF 1700/1200/H2 AA (*Fixed*)
 - Perletakan 2 : PU 1700/1200/H2 AA (*Guided*)
 - Perletakan 3 : PU 1700/1200/H2 AA (*Guided*)
 - Perletakan 4 : PL 1000/600 AA (*Free*)
 6. Dimensi *abutment* didesain dengan tinggi 8,5 m, lebar 13,6 m, dan tebal 2 m. Jumlah tiang pancang 30 buah dengan kedalaman 28 m.
 7. Tiang pancang yang digunakan merupakan *prestressed concrete spun pile class A1* dari PT. Wijaya Karya Beton dengan diameter 0,8 m dan mutu beton f'c 52 MPa.

6.2. Saran

Saran untuk perencanaan jembatan busur adalah:

1. Program bantu lebih baik memakai MIDAS CIVIL atau Csi Bridge yang memang dikhususkan untuk jembatan.
2. Saat kondisi kabel putus, tidak hanya dilakukan kontrol terhadap kabel penggantung dan sambungannya, tetapi juga perlu dilakukan kontrol terhadap batang rangka utama beserta sambungannya.
3. Pemilihan batang yang dijadikan portal akhir perlu lebih mempertimbangkan posisi dari ikatan angin dan juga panjang kolom yang lebih kritis.
4. Perlu ditinjau bentuk lengkung dari busur rangka utama yang efektif antara kurva parabolik atau hiperbolik.

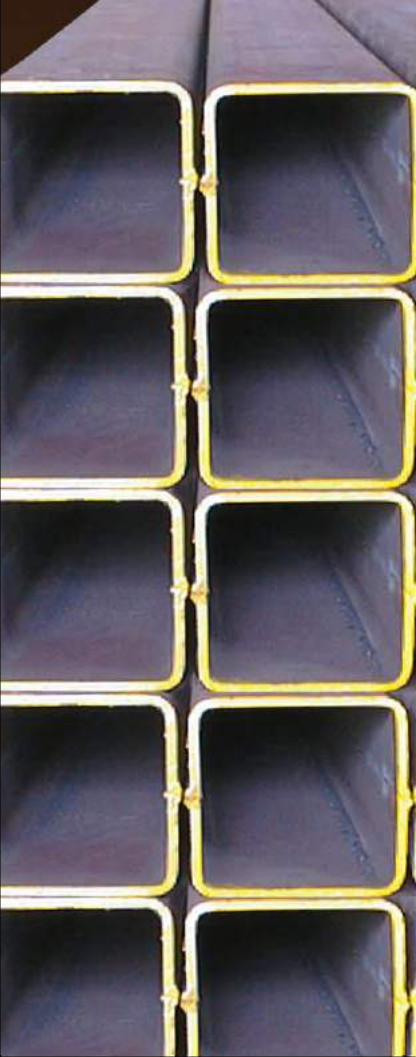
DAFTAR PUSTAKA

- Amon, R., Knobloch, B., & Mazumder, A. 2000. **Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur dan Arsitek (3rd Edition ed.)**. Diterjemahkan oleh R. Handoyo. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. **Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. **Standar Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan (RSNI-T-12-2004)**. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. **Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03-2005)**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. **Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016)**. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. **Standar Perencanaan Gempa Untuk Jembatan (SNI 2833:2016)**. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Bowles, J. 1997. **Analisis dan Desain Pondasi**. Diterjemahkan oleh P. Silababan. Jakarta: Erlangga.
- Chen, W.-F., & Duan, L. 2003. **Bridge Engineering: Substructure Design**. London: CRC Press LCC.
- Civeng, M. **Artikel Jembatan *Abutment* Teknik Sipil**, <<http://www.ilmutekniksipilindonesia.com/2015/04/artikel-jembatan-abutment-teknik-sipil.html>>
- Dien, Aristadi. **Analisis Sistem Rangka Baja pada Struktur Jembatan Busur Rangka Baja**, <<http://www.pu.go.id/bapekin/hasil%20kajian//kajian2.html>>

- Harwiyono, Soegihardjo, H., & Irawan, J. 2007. **Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Irawan, R., & Trisanto, L. 2010. **Kajian Dasar Perencanaan dan Pelaksanaan Jembatan Pelengkung Beton**. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Marwan, & Isdarmanu. 2006. **Struktur Baja 1**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Wahjudi, H. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Struyk, H., & Van Deer Veen, K. 1995. **Jembatan (Vol. 4)**. Diterjemahkan oleh Soemargono. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syarvina, & Terunajaya. 2013. **Mekanisme Gerusan Lokal pada Pilar Silinder Tunggal dengan Variasi Debit**. Medan: Jurnal Teknik Sipil USU.

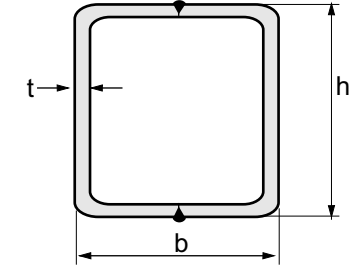
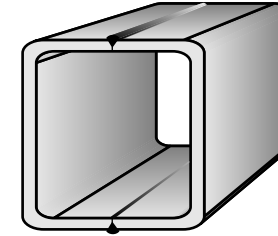
LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



METRIC SIZE

DIMENSION	t	R	WEIGHT	AREA	MOMENT OF INERTIA	MOMENT OF RESISTANT	RADIUS OF GYRATION	
					$I_x = I_y$	$Z_x = Z_y$	$i_x = i_y$	
H	B				cm^4	cm^3	cm	
mm	mm	mm	kg/m	cm^2				
180	180	6.30	18	33.56	42.41	2,095.65	232.85	7.03
180	180	8.00	18	41.92	52.84	2,545.86	282.87	6.94
180	180	10.00	18	51.36	64.57	3,016.80	335.20	6.84
220	220	6.30	18	41.48	52.49	3,939.93	358.18	8.66
220	220	8.00	18	51.96	65.64	4,828.01	438.91	8.58
220	220	10.00	18	63.92	80.57	5,782.46	525.68	8.47
200	200	8.00	18	46.94	59.24	3,566.25	356.63	7.76
200	200	9.00	18	52.34	66.67	3,990.00	399.00	7.73
200	200	10.00	18	57.64	72.57	4,251.06	425.11	7.65
200	200	12.00	18	67.92	86.53	4,980.00	498.00	7.59
250	250	8.00	18	59.50	75.24	7,229.20	578.34	9.80
250	250	9.00	18	66.48	84.67	8,090.00	647.00	9.78
250	250	10.00	18	73.34	92.57	8,706.67	696.53	9.70
250	250	12.00	18	86.76	110.50	10,300.00	820.00	9.63
250	250	16.00	45	112.38	138.80	12,000.00	964.00	9.32
260	260	6.30	18	49.38	62.57	6,634.95	510.38	10.30
260	260	8.00	18	62.00	78.44	8,178.02	629.08	10.21
260	260	10.00	18	76.48	96.57	9,864.65	758.82	10.11
260	260	11.00	18	83.56	105.41	10,656.87	819.76	10.06
300	300	8.00	18	72.06	91.24	12,800.69	853.38	11.84
300	300	9.00	18	80.60	102.70	14,300.00	956.00	11.80
300	300	10.00	18	89.04	112.57	15,519.37	1,034.62	11.74
300	300	12.00	18	105.60	134.50	18,300.00	1,220.00	11.70
300	300	16.00	45	137.50	170.80	22,100.00	1,470.00	11.40
350	350	9.00	18	94.74	120.70	23,200.00	1,320.00	13.90
350	350	12.00	18	124.44	158.50	29,800.00	1,700.00	13.70
350	350	16.00	45	162.62	202.80	36,500.00	2,090.00	13.40
350	350	19.00	45	190.18	233.80	40,700.00	2,320.00	13.20
400	400	12.00	18	143.28	180.10	44,300.00	2,220.00	15.70
400	400	16.00	45	187.74	234.80	56,200.00	2,810.00	15.50
400	400	19.00	45	220.02	271.80	63,100.00	3,160.00	15.20
400	400	22.00	75	251.34	300.20	66,200.00	3,310.00	14.80
400	400	25.00	75	281.74	346.00	76,500.00	3,830.00	14.90
450	450	12.00	18	162.12	204.10	64,200.00	2,850.00	17.70
450	450	16.00	45	212.86	266.80	81,800.00	3,640.00	17.50
450	450	19.00	45	249.84	309.80	92,600.00	4,120.00	17.30
450	450	22.00	75	285.88	344.20	98,500.00	4,380.00	16.90
450	450	25.00	75	321.00	396.00	113,600.00	5,050.00	16.90
500	500	12.00	18	180.96	228.10	89,300.00	3,570.00	19.80
500	500	16.00	45	237.98	298.80	114,000.00	4,570.00	19.60
500	500	19.00	45	279.68	347.80	130,000.00	5,200.00	19.30
500	500	22.00	75	320.42	388.20	140,000.00	5,590.00	19.00
500	500	25.00	75	360.24	446.00	160,900.00	6,440.00	19.00
550	550	12.00	18	199.80	252.10	120,100.00	4,370.00	21.80
550	550	16.00	45	263.10	330.80	154,500.00	5,620.00	21.60
550	550	19.00	45	309.50	388.10	178,500.00	6,490.00	21.40
550	550	22.00	75	354.96	443.90	200,800.00	7,300.00	21.30
550	550	25.00	75	399.50	496.00	219,800.00	7,990.00	21.00
600	600	12.00	18	218.64	276.10	157,300.00	5,240.00	23.80
600	600	16.00	45	288.22	362.80	203,000.00	6,770.00	23.70
600	600	19.00	45	339.34	426.10	235,100.00	7,840.00	23.50
600	600	22.00	75	389.50	487.90	265,200.00	8,840.00	23.30
600	600	25.00	75	438.74	546.00	291,400.00	9,710.00	23.10
650	650	12.00	18	237.48	300.10	201,500.00	6,200.00	25.90
650	650	16.00	45	313.34	394.80	260,800.00	8,020.00	25.70
650	650	19.00	45	369.16	464.10	302,500.00	9,310.00	25.50
650	650	22.00	75	424.04	531.90	342,100.00	10,520.00	25.40
650	650	25.00	75	478.00	596.00	377,000.00	11,600.00	25.10
700	700	12.00	18	256.32	324.10	253,300.00	7,240.00	28.00
700	700	16.00	45	338.46	426.80	328,500.00	9,380.00	27.70
700	700	19.00	45	399.00	502.10	381,800.00	10,910.00	27.60
700	700	22.00	75	458.58	575.90	432,500.00	12,360.00	27.40
700	700	25.00	75	517.24	646.00	477,900.00	13,650.00	27.20



CHEMICAL COMPOSITION

GRADE	C (%) Max	Mn (%)	Si (%)	P (%) Max	S (%) Max
SS 400	-	-	-	0.040	0.040
A 36	0.25	1.40	1.40	0.040	0.040
SM 490 A & B	0.20	1.60 Max	0.55Max	0.035	0.035
GR 50 A	0.23	1.60 Max	0.55Max	0.050	0.050

MECHANICAL PROPERTIES

GRADE	Y.S (Mpa)			T.S (Mpa)	E (%)
	t ≤ 16 mm	16 mm ≤ t ≤ 40 mm	t ≤ 40 mm		
SS 400	245	235	215	400 - 510	21
A 36	250	250	250	400 - 550	20
SM 490 A & B	325	315	295	490 - 610	17
GR 50 A	355	345	340	490 - 640	18

NOTE :

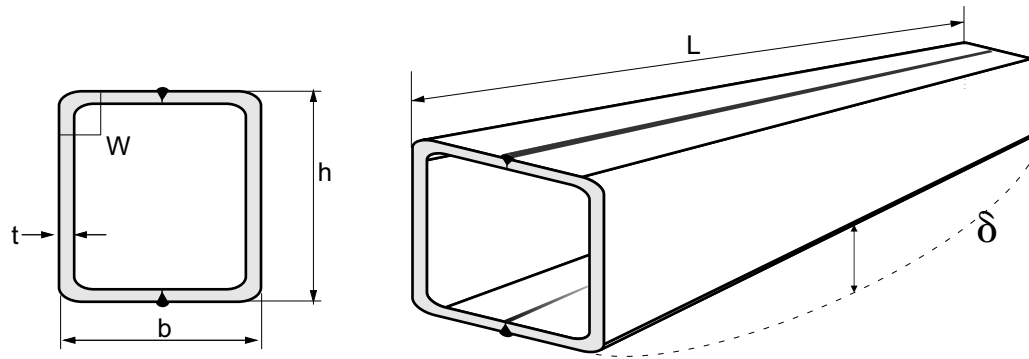
- Standard length 6 m and 12 m
- Thickness Max. 25 mm
- Other specification/standard size on request can also be supplied
- Size 100 x 100 S/d 1000 x 1000 mm

continue.....>>

HEAD OFFICE & FACTORY
Jl. Imam Bonjol 4, Warung Bongkok,
Sukadanau, Cikarang Barat,
Bekasi 17520, West Java, INDONESIA
Forming Department
Phone DID : (62-21) 898 38 291 - 296
Phone Flexy : (021) 7085 3154 - 158
Fax : (62-21) 898 38 298
e-mail : pji01@grdsteel.com
pji02@grdsteel.com



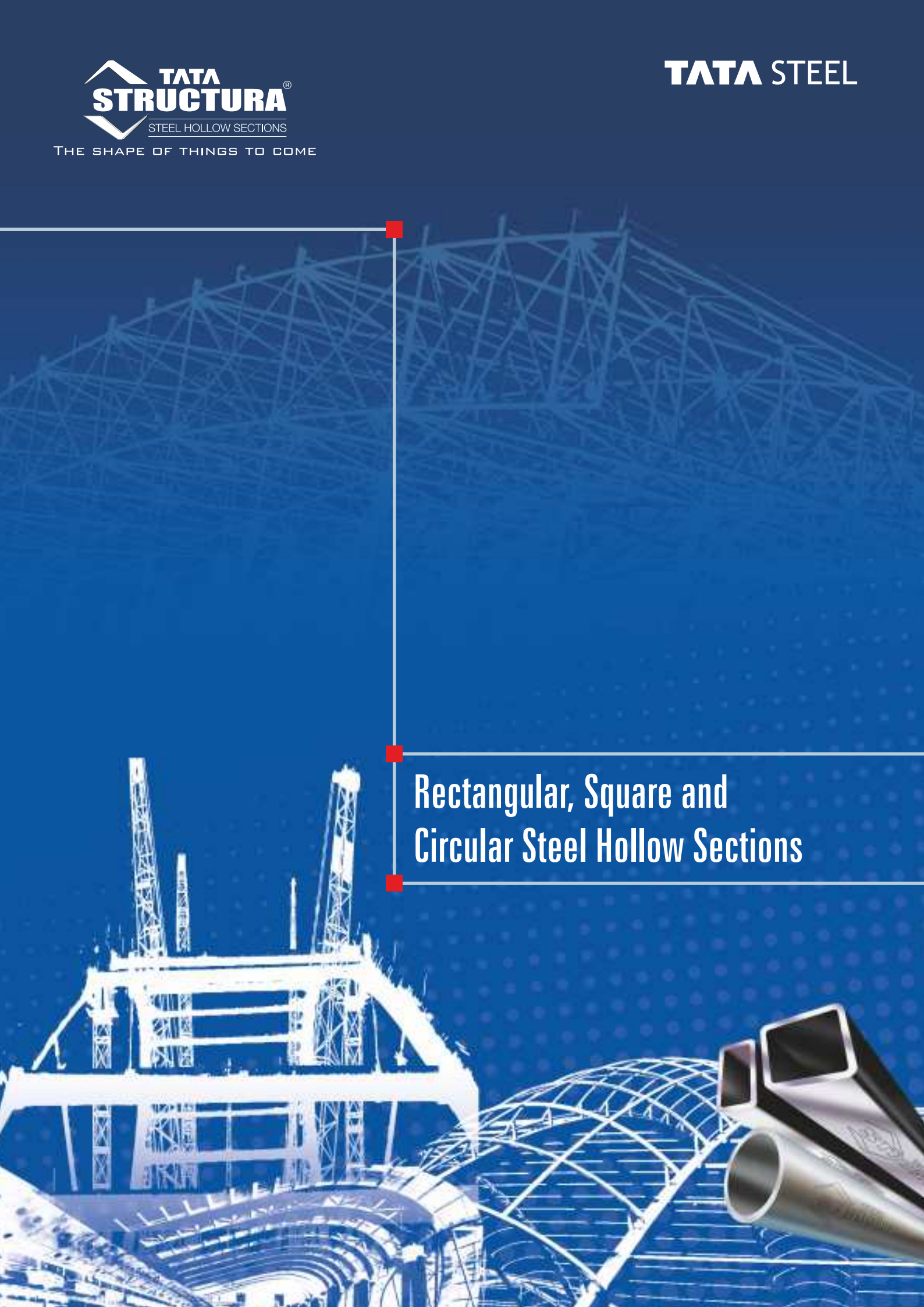
SHAPED AND TOLERANCE



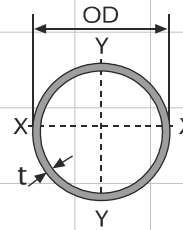
DESCRIPTION	TOLERANCE
Length (L)	- 0 + 50 mm
Cross-Section (B)	JIS G 3466
Depletion (δ)	1/1000 length max
Squareness (W)	± 20
Twisting	± 4 mm
Thickness	JIS G 3193

Standard :

- Specification standard JIS & ASTM
- Material Standard SS 400, A36 & GR 50 A, B, C
- Bigger dimension will be produced, if there confirm before
- Semi Welding joint, partial penetration (AWS - D1.1 - 96)



**Rectangular, Square and
Circular Steel Hollow Sections**



Specification:
IS : 1161

Section Properties

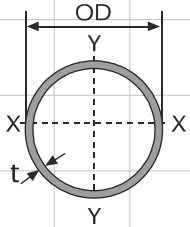
Properties of Tata Structura (Circular Hollow Sections)

YST 310 Grade

Nominal Bore	Outside Diameter	Thickness	Weight	Area of Cross Section	Outer Surface Area/m	Moment of Inertia	Section Modulus	Radius of Gyration
mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ² /m	cm ⁴	cm ³	cm
15	21.3	2.00	0.95	1.21	669	0.57	0.54	0.69
		2.60	1.21	1.53		0.69	0.64	0.66
		3.20	1.44	1.82		0.75	0.70	0.65
20	26.9	2.30	1.38	1.78	845	1.36	1.01	0.87
		2.60	1.56	1.98		1.48	1.10	0.86
		3.20	1.87	2.38		1.70	1.26	0.84
25	33.7	2.60	1.98	2.54	1059	3.09	1.83	1.10
		3.20	2.41	3.06		3.61	2.14	1.08
		4.00	2.93	3.73		4.19	2.48	1.05
32	42.4	2.60	2.54	3.25	1332	6.47	3.05	1.41
		3.20	3.01	3.94		7.62	3.59	1.39
		4.00	3.79	4.82		8.99	4.24	1.36
40	48.3	2.90	3.23	4.13	1517	10.70	4.43	1.61
		3.20	3.56	4.53		11.59	4.80	1.59
		4.00	4.37	5.56		13.77	5.70	1.57
50	60.3	2.90	4.08	5.23	1895	21.59	7.16	2.03
		3.60	5.03	6.41		25.88	8.59	2.00
		4.50	6.19	7.88		30.90	10.20	1.98
65	76.1	3.20	5.71	7.32	2391	48.79	12.82	2.58
		3.60	6.42	8.20		54.02	14.20	2.57
		4.50	7.93	10.10		65.12	17.10	2.54
80	88.9	3.20	6.72	8.61	2793	79.23	17.82	3.03
		4.00	8.36	10.70		96.36	21.68	3.00
		4.80	9.90	12.70		112.52	25.31	2.98
100	114.3	3.60	9.75	12.50	3591	192.03	33.60	3.92
		4.50	12.20	15.50		234.30	41.00	3.89
		5.40	14.50	18.50		274.50	48.00	3.85
125	139.7	4.50	15.00	19.10	4389	437.20	62.60	4.78
		4.80	15.90	20.30		463.44	66.35	4.77
		5.40	17.90	22.80		514.50	73.70	4.75
150	165.1	4.50	17.80	22.70	5187	732.60	88.74	5.68
		4.80	18.90	24.20		777.32	94.16	5.67
		5.40	21.30	27.10		864.70	105.00	5.65
200	219.1	4.80	25.38	32.33	6886	1856.78	169.49	7.58
		6.00	31.51	40.17		2281.95	208.30	7.54
		8.00	41.67	53.08		2960.82	270.27	7.47
		10.00	51.59	65.72		3599.89	328.61	7.40
250	273	6.00	39.51	50.30	8580	4487.08	328.72	9.44
		8.00	52.30	66.63		5854.07	428.87	9.37
		10.00	64.89	82.66		7156.97	524.32	9.31
300	323.9	6.30	49.36	62.88	10180	7932.09	489.79	11.23
		8.00	62.35	79.43		9914.07	612.17	11.17
		10.00	77.44	98.65		12163.24	751.05	11.10

Orange box sizes are for large diameter sections

Product Range Availability



Specification:
IS : 1161

Product Range : Circular Hollow Sections (CHS)

	Tube Dimension (mm)		Wall Thickness (mm) = t															
	NB	OD	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	4.5	4.8	5.0	5.4	6.0	6.3	8.0	10.0	
Nominal Bore/Outside Diameter	15	21.3	■		■		■											
	20	26.9		■	■		■											
	25	33.7			■		■		■									
	32	42.4			■		■		■									
	40	48.3				■	■		■									
	50	60.3				■		■		■								
	65	76.1					■	■		■								
	80	88.9					■		■		■							
	100	114.3						■		■			■					
	125	139.7							■	■			■					
	150	165.1								■	■		■					
	200	219.1									■			■		■	■	
	250	273												■		■	■	
	300	323.9													■	■	■	

Orange box sizes are for large diameter sections



Indicates presently rolled sections

General Technical Specifications and Tolerances

PERMISSIBLE AXIAL COMPRESSIVE STRESS (Yst 310 Grade)																											
1/r	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	300	350
Ac	186	183	178	169	157	143	128	113	99	87	77	67	60	53	47	42	38	34	31	28	26	23	22	20	18	13	10

*Source: IS Standards

OTHER ALLOWABLE STRESS VALUES (IN Mpa)							
Steel Grade	Minimum Yield Stress	Minimum UTS	Axial Stress in Tension	Bending Stress In Ten. Or Compn.	Shear Stress	Bearing Stress	Equivalent Stress
Yst 310	310	450	186	205	140	232	279

*Source: IS Standards

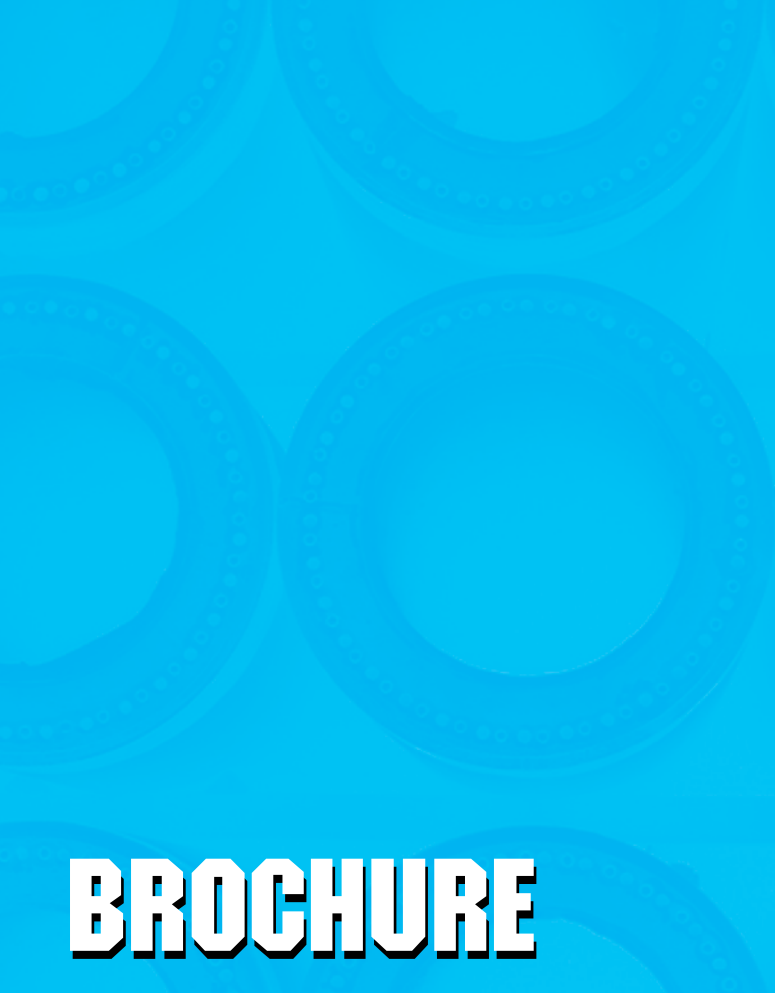
Section Type	Grade	Mechanical Properties				Dimensional Tolerance					
		YST MPa	UTS MPa	% of Elongation		Outside dimension	Thickness	Squareness	Corner radius	Weight	
				< 25.4 mm	> 25.4 mm					Individual Lengths	On lot of 10 MT
RHS/SHS IS : 4923	YST 210	210	330	12	20	+/-1% with a minimum of +/-0.50 mm	+/-10%	90 deg. +/-2 deg.	3t max	10% -8%	+/-7.5%
	YST 240	240	410	10	15						
	YST 310	310	450	8	10						
CHS IS : 1161	YST 210	210	330	12	20	OD upto and incl 48.3+0.4/-0.8mm. Over 48.3 mm +/-1.0%	+ no limit -10%	NA	NA	L +10%, -8%	L +/-5%
	YST 240	240	410	12	17					M & H +/-10%	M & H +/-7.5%
	YST 310	310	450	12	14						

* YST 210 and YST 240 are also manufactured

* Galvanized sections can also be manufactured

Length	6.0 m ± 0.05 m Customized length ranging from 6 m to 11 m may be supplied.
Straightness	Minimum 1 : 200 th of any length measured along the centre line (mill straightened condition) unless otherwise specifically arranged.
Twist Tolerance	Maximum 2 mm ± 0.05 mm/m length-measured relative vertical shift of any adjacent corner of the section, measured by keeping one side on flat surface.
End Finish	Plain ended-Mechanically sheared, mill-cut finish without further machining.
Surface Finish / Chemical Properties	Black without any surface treatment of oiling or varnishing.
Raw Material	Sulphur content : 0.05% max, phosphorus content : 0.05% max, equivalent carbon percentage well within specified weldability limits with matching physical properties. For corrosion resistant steel in Cu-bearing variety, refer to the WRS section of this brochure.
Weldability	Tata Structura Steel Hollow Sections are weldable with standard M.S. Electrodes without any pre-heating.
Packing	Bundled by sealing metal strap and each bundle is labelled for size, measurement, lot number etc. Approximate weight of each bundle is 1.5 Mt (+/-500 kg).
Identification	Marking of 'TATA STRUCTURA' emblem on surface, punched/stenciled/sticker pasted, on all Steel Hollow Sections. Standard BIS mark is also put on the sections.
Note	Tata Structura Hollow Sections in customized size, grade, length, surface finish and end finish may be delivered as per agreed supply conditions.

*Conditions apply.



Innovation and Trust

BROCHURE

THE PRECAST CONCRETE MANUFACTURER



PC PILES

DESCRIPTION

Type of Piles	Prestressed Concrete Square Piles Prestressed Concrete Spun Piles Prestressed Concrete Spun Square Piles Prestressed Concrete Triangular Piles
System of Joints	Welded at steel joint plate
Type of Shoe	Concrete Pencil Shoe (Standard) for PC Spun Piles, Spun Square Pile & Square Piles Mamira Shoe (Special Order) for PC Spun Pile
Method of Driving	Dynamic Pile Driving : Diesel Hammer and Hydraulic Hammer Static Pile Driving : Hydraulic Static Pile Driver (Jacking Pile)

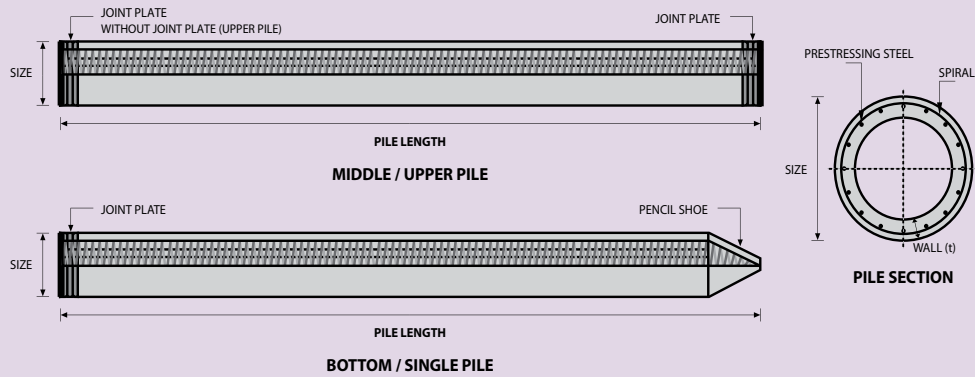
DESIGN & MANUFACTURING REFERENCE

Design	ACI 543R	Design, Manufactured and Installation of Concrete Piles Chapter-4 Structural design requirement for piles with no seismic loading (In case pile is consider to seismic loading, piles detail should re-design refer to ACI 543R Chapter-5)
	SNI 2847 - 2013	Indonesian Standard Code for Concrete
Manufacturing	WB - PRD - PS - 16	Production Manufacturing Procedure

MATERIAL SPECIFICATION

ITEM	REFERENCE	DESCRIPTION	SPECIFICATION
Aggregate	ASTM C 33 / C 33M-11a	Standard Specification for Concrete Aggregates	
Cement	SNI 2049 - 2015	Portland Cement	Standard Product Type I Special Order : Type II or V
Admixture	ASTM C 494 / C 494M - 99a	Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete	Type F : High Range Water Reducing Admixture
Concrete	SNI 2834 - 2000 SNI 2493 - 2011	Concrete Mix Design Making and Curing Concrete Sample	
PC Strand	ASTM A 416 / A 416M - 99	Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete	Grade 270 (Low Relaxation Type)
PC Wire	JIS G 3536 - 2014	Uncoated Stress-Relieved Steel Wires and Strands for Prestressed Concrete	SWPD1 (Deformed Wire Type)
PC Bar	JIS G 3137 - 2008	Small Size-Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	Grade D - Class 1 - SBPD 1275/1420
Rebar	SNI 2052 - 2014	Reinforcement Steel for Concrete	Steel Class : BjTS 40 (Deformed) Steel Class : BjTP 24 (Round)
Spiral Wire	JIS G 3532 - 2011	Low Carbon Steel Wires	SWM-P (Round Type) Cold-reduced steel wire for the reinforcement of concrete and the manufacture of welded fabric.
Joint Plate	JIS G 3101 - 2004	Rolled Steels for General Structure	SS400 (Tensile Strength 400 N/mm ²) Applicable steel product for steel plates and sheets, steel strip in coil, sections, flats and bars.
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 900	Structural Welding Code Steel	AWS A5.1/E6013 NIKKO STEEL RB 26 / RD 260, LION 26, or equivalent.

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)
 **) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position
 ***) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe



Macalloy Tension Structures

Macalloy Tension Rods

Macalloy Compression Struts

Macalloy Stainless Cables

Macalloy Connection Solutions

Macalloy Site Services



For Tension Rod System only



ETA 17/0849

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Table 1 - Material Properties

Product name	Material	Minimum Yield Stress N/mm ²	Min. Breaking Stress N/mm ²	Min. Elongation %	Min. Charpy Impact Value J@ -20°C	Nominal Youngs Modulus kN/mm ²
Macalloy 460	Carbon Steel	460	610	19	27	205
Macalloy S460	Stainless Steel	460	610	15	27	205
Macalloy 520	Carbon Steel	520	690	19	27	205
Macalloy S520	Stainless Steel	520	690	15	27	205

Table 2 - Tendon Capacities for Carbon and Stainless Macalloy 460

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172	3520
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206	4667
Design Resistance to EC3 N _{R,d}	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677	2138	2418	3029	3360
Nominal Bar Weight	(kg/m)	0.5	0.75	1.4	2.2	3.0	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

Table 3 - Tendon Capacities for Carbon and Stainless Macalloy 520

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	28	41	77	122	176	284	411	566	746	1030	1360	1985	2531	2862	3585	3979
Min. Break Load	kN	35	52	98	155	223	360	522	719	946	1308	1727	2520	3212	3633	4551	5279
Design Resistance to EC3 N _{R,d}	kN	26	38	71	112	161	257	376	518	682	942	1244	1814	2313	2616	3277	3801
Nominal Bar Weight	(kg/m)	0.5	0.75	1.4	2.2	3	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

M85 to M105 in stainless is not covered by an ETA but is available by special request.

Table 4 - Maximum Length of Individual Bar Lengths

Diameter	Stainless Steel	Carbon	Galvanised
M10 - M16	6.0m	11.8m	6.0m
M20 - M30	6.0m	11.8m	8.0m
M36 - M105	6.0m	11.8m	11.8m

Longer lengths can be supplied as made to order if required

M105 Carbon is not covered by an ETA

Corrosion Protection

Carbon steel tension bars can be supplied primed ready for an appropriate paint covering or galvanised. Galvanising can be applied prior to, or after, bar threading as required. Please note that all standard carbon Macalloy fittings (forks, pins and lockcovers etc.) are provided with a hot dipped galvanised coating in accordance with BS EN 1461: 2009

Final Assembly Example

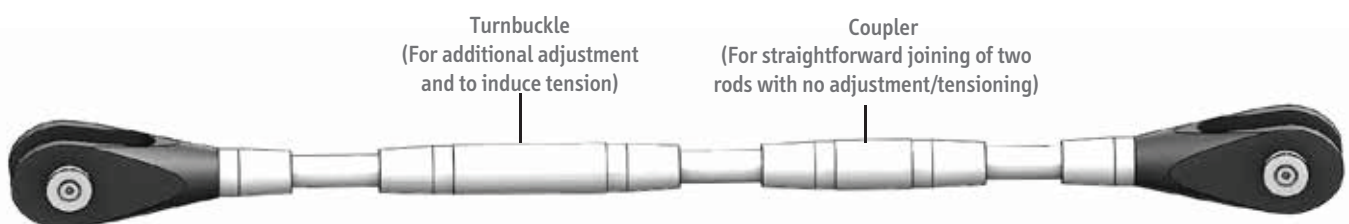


Table 5: Capacity and Lengths of Architectural and Standard Compression Struts

System Ref		M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Maximum compressive capacity to EN1993	kN	14.0	28.1	44.7	69.3	121.6	189.6	274.0	369.7	530.0	728.7	1063.9	1395.3	1588.6	2031.3
Maximum pin to pin length on EN1993 standard*	mm	2369	2663	2671	3105	3357	3367	4498	6397	7097	7420	8188	9323	10291	11679
Carbon CHS OD	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
Carbon CHS Wall Thickness	mm	4	5	5	5	5	5	6.3	10	10	10	12.5	16	16	16
Stainless CHS OD	mm	33.40	42.16	48.30	60.33	73.03				Contact Macalloy for details					
Stainless CHS Wall thickness	mm	4.50	4.85	5.08	5.08	5.16				Contact Macalloy for details					

*Maximum lengths are based on carbon steel strut taking compressive capacity. For lower compressive loads longer lengths can be used.

Alternative wall thicknesses are available. Contact Macalloy for details regarding maximum length of stainless steel struts.

Compression Strut Examples

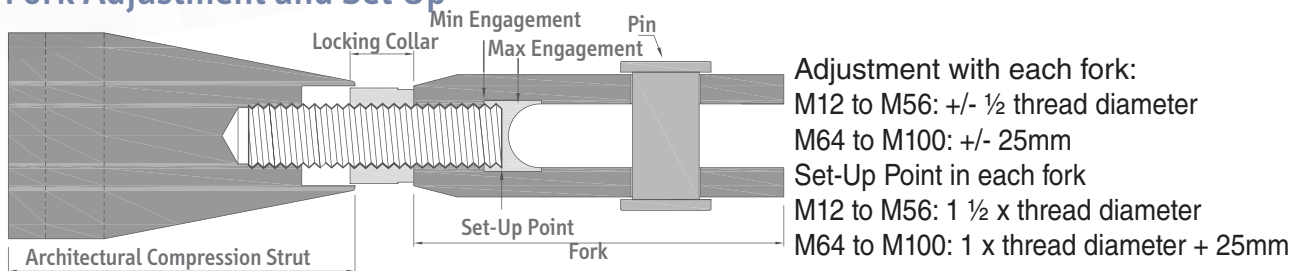


Architectural Compression Strut



Standard Compression Strut

Fork Adjustment and Set Up



Corrosion Protection

Compression Struts can be supplied galvanised, or in stainless steel.

Assembly and Installation

1 Remove pins using an allen key, position the strut in place and secure with pins, tightening using an allen key.



2 Screw the locking collar in to the strut so only a small part of the locking collar is left visible, then turn the strut to the required position.



3 Screw the locking collar back against the fork. All the thread should be covered. The forks should be sealed as per the diagram on page 7.



Table 6: Capacity of Macalloy CHS Fork Ends

Macalloy Product Ref	Units	CSF 12	CSF 16	CSF 20	CSF 24	CSF 30	CSF 36	CSF 42	CSF 48	CSF 56	CSF 64	CSF 76	CSF 85	CSF 90	CSF 100	
CHS Size to fit	Outer Diameter	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
	Wall thickness	mm	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.3	10.0	10.0	10.0	12.5	16.0	16.0	16.0
Compressive Capacity to EN 1993	kn	52	99	122	174	272	374	534	735	1048	1437	2127	2723	3110	3686	
Equivalent Macalloy Fork Size		M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	
Gusset Plate Thickness	mm	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85	
Weight	kg	0.25	0.51	1.0	1.4	2.4	3.7	6.2	10.8	15.8	20.5	40.3	59.3	74.0	100.0	

Macalloy CHS Fork End



Corrosion Protection

Can be galvanised and or painted and supplied in stainless steel to special order.

Assembly and Installation

1 Insert Macalloy CHS Fork End into CHS / tube, ensuring it is fully inserted and that the forks are perpendicular to each other.



2 Weld directly to CHS with full penetration butt weld and clean weld as required (ensuring forks are perpendicular to each other)



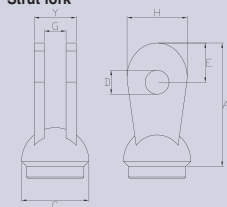
3 Position complete strut in place and secure using pins.



Architectural pins can be supplied by Macalloy. Please refer to table number 12 on page 13 for further information.

Table 7: Macalloy CHS Fork End Dimensions

System Ref	Product Ref.	Units	CSF 12	CSF 16	CSF 20	CSF 24	CSF 30	CSF 36	CSF 42	CSF 48	CSF 56	CSF 64	CSF 76	CSF 85	CSF 90	CSF 100
Fixed End Compression Strut fork	A	mm	75	95	109	130	161	185	218	255	303	340	398	462	495	574
	G (min.)	mm	13	16	20	25	30	35	40	45	49.5	59.5	76	76	86	91
	C Dia.	mm	33.7	42.4	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273	323.9
	D Dia.	mm	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
	E	mm	22	29	34	42	52	61	70	81	97	111	132	153	162	189
	Y	mm	22	28	37	44	53	64	75	87	97.5	115.5	146	153	169	174
	H	mm	34	45	53	64	81	93	109	123	147	169	201	236	248	289



VSL – CTT POT BEARINGS

Type PF

Bearings type PF can support horizontal loads in both longitudinal and transverse directions and don't allow any movement.

H2



Bearings according to AASHTO

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PF 140/100/H2 AA	1395	300	1000	200	500	62
PF 280/200/H2 AA	2790	600	2000	400	1000	150
PF 420/300/H2 AA	4185	900	3000	600	1500	208
PF 560/400/H2 AA	5580	1200	4000	800	2000	267
PF 700/500/H2 AA	6975	1500	5000	1000	2500	366
PF 840/600/H2 AA	8370	1800	6000	1200	3000	523
PF 1000/700/H2 AA	9765	2100	7000	1400	3500	648
PF 1100/800/H2 AA	11160	2400	8000	1600	4000	750
PF 1250/900/H2 AA	12555	2700	9000	1800	4500	804
PF 1400/1000/H2 AA	13950	3000	10000	2000	5000	1037
PF 1535/1100/H2 AA	15345	3300	11000	2200	5500	1123
PF 1700/1200/H2 AA	16740	3600	12000	2400	6000	1217
PF 1800/1300/H2 AA	18135	3900	13000	2600	6500	1295
PF 1950/1400/H2 AA	19530	4200	14000	2800	7000	1453
PF 2100/1500/H2 AA	20925	4500	15000	3000	7500	1728
PF 2200/1600/H2 AA	22320	4800	16000	3200	8000	1828
PF 2400/1700/H2 AA	23715	5100	17000	3400	8500	1855
PF 2500/1800/H2 AA	25110	5400	18000	3600	9000	2075
PF 2650/1900/H2 AA	26505	5700	19000	3800	9500	2718
PF 2800/2000/H2 AA	27900	6000	20000	4000	10000	2928
PF 3100/2200/H2 AA	30690	6600	22000	4400	11000	3107
PF 3350/2400/H2 AA	33480	7200	24000	4800	12000	3571
PF 3600/2600/H2 AA	36270	7800	26000	5200	13000	4108
PF 3900/2800/H2 AA	39060	8400	28000	5600	14000	4512
PF 4200/3000/H2 AA	41850	9000	30000	6000	15000	5032

Bearings have been designed with the following parameters :

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 10% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

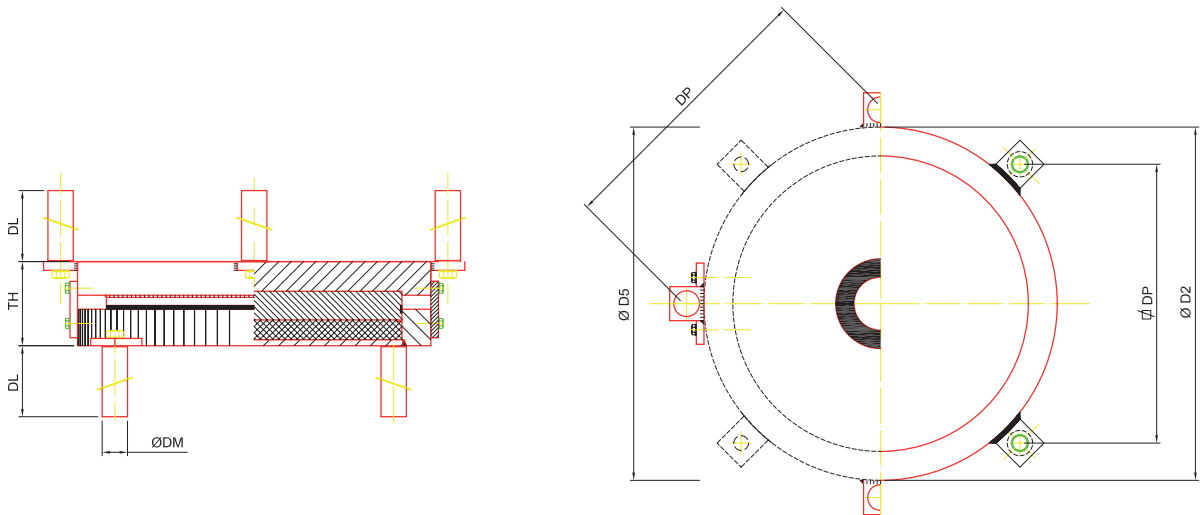
Rotation 0,015 rad

Other models are available under request



Main Dimensions

PART NUMBER	Pot Ø D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pilar Ø (mm)	DM Ø (mm)	DL (mm)	DP (mm)
PF 140/100/H2 AA	295	94	295	472	40	200	251
PF 280/200/H2 AA	395	110	395	632	60	300	336
PF 420/300/H2 AA	474	124	474	758	60	300	392
PF 560/400/H2 AA	543	132	543	869	60	300	441
PF 700/500/H2 AA	606	139	606	970	70	350	492
PF 840/600/H2 AA	678	158	678	1085	80	400	550
PF 1000/700/H2 AA	714	164	714	1142	90	450	576
PF 1100/800/H2 AA	782	167	782	1251	90	450	624
PF 1250/900/H2 AA	814	173	814	1302	90	450	646
PF 1400/1000/H2 AA	853	190	853	1365	90	450	674
PF 1535/1100/H2 AA	896	192	896	1434	90	450	704
PF 1700/1200/H2 AA	938	199	938	1501	90	450	734
PF 1800/1300/H2 AA	974	200	974	1558	90	450	759
PF 1950/1400/H2 AA	1018	207	1018	1629	90	450	791
PF 2100/1500/H2 AA	1068	219	1068	1709	90	450	826
PF 2200/1600/H2 AA	1102	226	1102	1763	90	450	850
PF 2400/1700/H2 AA	1112	226	1112	1779	90	450	857
PF 2500/1800/H2 AA	1162	233	1162	1859	90	450	892
PF 2650/1900/H2 AA	1176	274	1176	1882	90	450	902
PF 2800/2000/H2 AA	1224	281	1224	1958	90	450	936
PF 3100/2200/H2 AA	1266	283	1266	2026	90	450	966
PF 3350/2400/H2 AA	1328	290	1328	2125	90	450	1010
PF 3600/2600/H2 AA	1432	300	1432	2291	90	450	1083
PF 3900/2800/H2 AA	1442	315	1442	2307	90	450	1090
PF 4200/3000/H2 AA	1514	319	1514	2422	90	450	1141



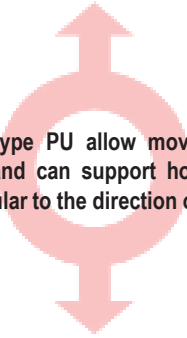
The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.



VSL – CTT POT BEARINGS

Type PU

Bearings type PU allow movement in one direction and can support horizontal loads perpendicular to the direction of movement.



H2



Bearings according to AASHTO

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PU 140/100/H2 AA	1395	300	1000	200	500	81
PU 280/200/H2 AA	2790	600	2000	400	1000	194
PU 420/300/H2 AA	4185	900	3000	600	1500	286
PU 560/400/H2 AA	5580	1200	4000	800	2000	400
PU 700/500/H2 AA	6975	1500	5000	1000	2500	541
PU 840/600/H2 AA	8370	1800	6000	1200	3000	644
PU 1000/700/H2 AA	9765	2100	7000	1400	3500	858
PU 1100/800/H2 AA	11160	2400	8000	1600	4000	962
PU 1250/900/H2 AA	12555	2700	9000	1800	4500	1051
PU 1400/1000/H2 AA	13950	3000	10000	2000	5000	1347
PU 1535/1100/H2 AA	15345	3300	11000	2200	5500	1458
PU 1700/1200/H2 AA	16740	3600	12000	2400	6000	1573
PU 1800/1300/H2 AA	18135	3900	13000	2600	6500	1766
PU 1950/1400/H2 AA	19530	4200	14000	2800	7000	2044
PU 2100/1500/H2 AA	20925	4500	15000	3000	7500	2283
PU 2200/1600/H2 AA	22320	4800	16000	3200	8000	2410
PU 2400/1700/H2 AA	23715	5100	17000	3400	8500	2511
PU 2500/1800/H2 AA	25110	5400	18000	3600	9000	2726
PU 2650/1900/H2 AA	26505	5700	19000	3800	9500	3571
PU 2800/2000/H2 AA	27900	6000	20000	4000	10000	3650
PU 3100/2200/H2 AA	30690	6600	22000	4400	11000	4182
PU 3350/2400/H2 AA	33480	7200	24000	4800	12000	5008
PU 3600/2600/H2 AA	36270	7800	26000	5200	13000	5356
PU 3900/2800/H2 AA	39060	8400	28000	5600	14000	6815
PU 4200/3000/H2 AA	41850	9000	30000	6000	15000	7803

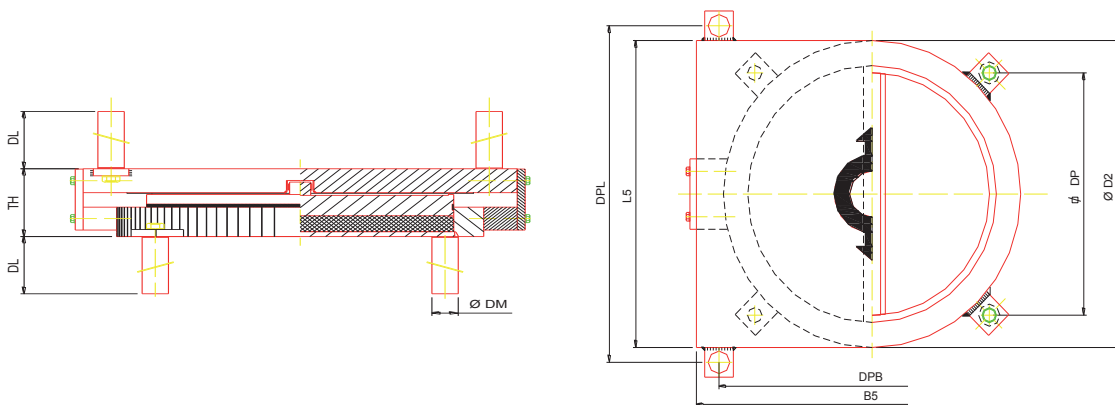
Bearings have been designed with the following parameters :

- Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)
- Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)
- Maximum Horizontal load is 20% of the Vertical load
- Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS
- Movement ± 100 mm
- Rotation 0,015 rad
- Other models are available under request



Main Dimensions

BEARING TYPE	Pot \varnothing D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier \varnothing (mm)	DM \varnothing (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PU 140/100/H2 AA	313	92	495 x 313	501	40	200	405	373	264
PU 280/200/H2 AA	405	119	587 x 405	648	60	300	477	485	343
PU 420/300/H2 AA	488	137	660 x 488	781	60	300	550	568	402
PU 560/400/H2 AA	556	150	720 x 556	890	70	350	600	646	457
PU 700/500/H2 AA	616	168	772 x 616	986	80	400	642	716	506
PU 840/600/H2 AA	678	176	825 x 678	1085	80	400	695	778	550
PU 1000/700/H2 AA	730	193	870 x 730	1168	90	450	740	830	587
PU 1100/800/H2 AA	784	195	916 x 784	1254	90	450	786	884	625
PU 1250/900/H2 AA	824	202	950 x 824	1318	90	450	820	924	653
PU 1400/1000/H2 AA	856	228	975 x 856	1370	90	450	845	956	676
PU 1535/1100/H2 AA	898	230	1010 x 898	1437	90	450	880	998	706
PU 1700/1200/H2 AA	938	237	1045 x 938	1501	90	450	915	1038	734
PU 1800/1300/H2 AA	976	248	1077 x 976	1562	90	450	947	1076	761
PU 1950/1400/H2 AA	1.016	255	1114 x 1016	1626	90	450	984	1116	789
PU 2100/1500/H2 AA	1.072	268	1164 x 1072	1715	90	450	1034	1172	829
PU 2200/1600/H2 AA	1.102	274	1189 x 1102	1763	90	450	1059	1202	850
PU 2400/1700/H2 AA	1.128	275	1209 x 1128	1805	90	450	1079	1228	868
PU 2500/1800/H2 AA	1.164	281	1242 x 1164	1862	90	450	1112	1264	894
PU 2650/1900/H2 AA	1.198	323	1272 x 1198	1917	90	450	1142	1298	918
PU 2800/2000/H2 AA	1.224	329	1293 x 1224	1958	90	450	1163	1324	936
PU 3100/2200/H2 AA	1.282	342	1344 x 1282	2051	90	450	1214	1382	977
PU 3350/2400/H2 AA	1.388	351	1442 x 1388	2221	90	450	1312	1488	1052
PU 3600/2600/H2 AA	1.434	368	1479 x 1434	2294	90	450	1349	1534	1085
PU 3900/2800/H2 AA	1.594	381	1629 x 1594	2550	90	450	1499	1694	1198
PU 4200/3000/H2 AA	1.696	401	1726 x 1696	2714	90	450	1596	1796	1270



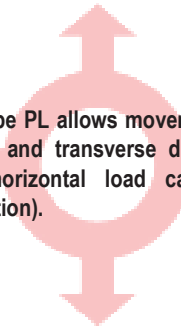
The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.



VSL – CTT POT BEARINGS

Type PL

Bearings type PL allows movements in both longitudinal and transverse directions and have no horizontal load capacity (only nominal friction).



Bearings according to AASHTO

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PL 140/100 AA	1395	42	1000	30	500	76
PL 280/200 AA	2790	84	2000	60	1000	126
PL 420/300 AA	4185	126	3000	90	1500	171
PL 560/400 AA	5580	167	4000	120	2000	234
PL 700/500 AA	6975	209	5000	150	2500	298
PL 840/600 AA	8370	251	6000	180	3000	370
PL 1000/700 AA	9765	293	7000	210	3500	452
PL 1100/800 AA	11160	335	8000	240	4000	559
PL 1250/900 AA	12555	377	9000	270	4500	607
PL 1400/1000 AA	13950	419	10000	300	5000	678
PL 1535/1100 AA	15345	460	11000	330	5500	801
PL 1700/1200 AA	16740	502	12000	360	6000	879
PL 1800/1300 AA	18135	544	13000	390	6500	1003
PL 1950/1400 AA	19530	586	14000	420	7000	1129
PL 2100/1500 AA	20925	628	15000	450	7500	1203
PL 2200/1600 AA	22320	670	16000	480	8000	1340
PL 2400/1700 AA	23715	711	17000	510	8500	1372
PL 2500/1800 AA	25110	753	18000	540	9000	1488
PL 2650/1900 AA	26505	795	19000	570	9500	1678
PL 2800/2000 AA	27900	837	20000	600	10000	1911
PL 3100/2200 AA	30690	921	22000	660	11000	2096
PL 3350/2400 AA	33480	1004	24000	720	12000	2294
PL 3600/2600 AA	36270	1088	26000	780	13000	2630
PL 3900/2800 AA	39060	1172	28000	840	14000	2815
PL 4200/3000 AA	41850	1256	30000	900	15000	3218

Bearings have been designed with the following parameters :

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

Movements $\pm 100 / \pm 10$ mm

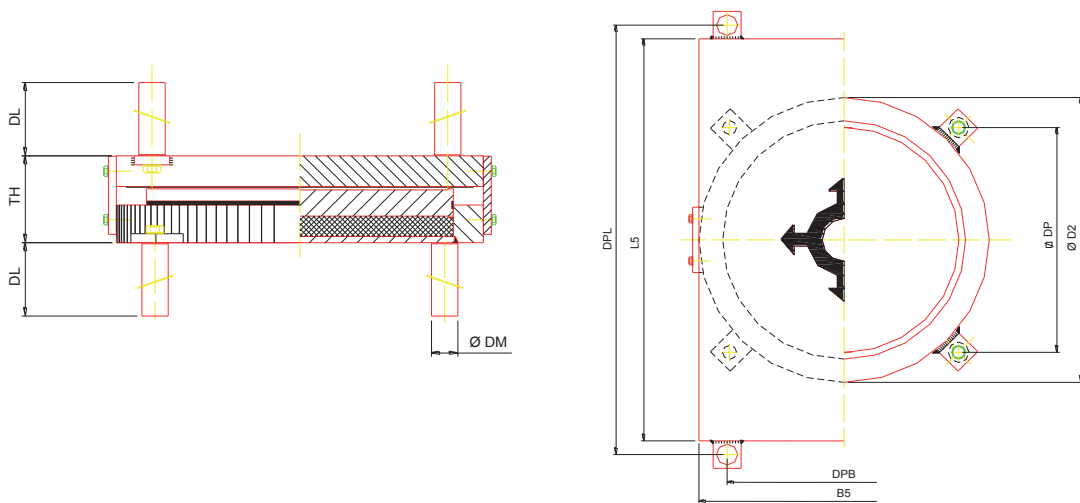
Rotation 0,015 rad

Other models are available under request



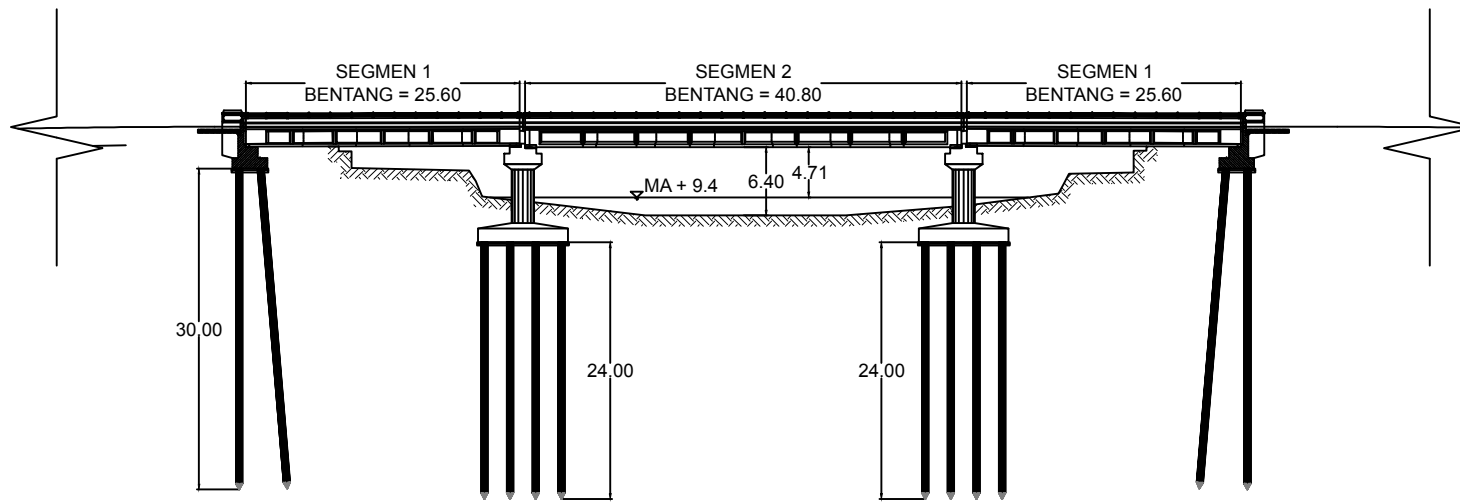
Main Dimensions

BEARING TYPE	Pot \varnothing D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier \varnothing (mm)	DM \varnothing (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PL 140/100 AA	295	92	487 x 307	472	40	200	547	217	251
PL 280/200 AA	395	103	587 x 407	632	40	200	647	317	322
PL 420/300 AA	476	107	658 x 478	762	40	200	718	388	379
PL 560/400 AA	546	120	717 x 546	874	40	200	777	456	429
PL 700/500 AA	608	127	770 x 608	973	40	200	830	518	472
PL 840/600 AA	680	131	835 x 680	1088	40	200	895	590	523
PL 1000/700 AA	720	147	864 x 720	1152	40	200	924	630	552
PL 1100/800 AA	784	155	926 x 784	1254	40	200	986	694	597
PL 1250/900 AA	818	156	950 x 818	1309	40	200	1010	728	621
PL 1400/1000 AA	864	158	989 x 864	1382	40	200	1049	774	653
PL 1535/1100 AA	900	175	1020 x 900	1440	40	200	1080	810	679
PL 1700/1200 AA	942	177	1055 x 942	1507	40	200	1115	852	709
PL 1800/1300 AA	979	183	1087 x 979	1566	40	200	1147	889	735
PL 1950/1400 AA	1020	185	1124 x 1020	1632	60	300	1204	910	778
PL 2100/1500 AA	1054	186	1152 x 1054	1686	60	300	1232	944	802
PL 2200/1600 AA	1106	194	1199 x 1106	1770	60	300	1279	996	839
PL 2400/1700 AA	1120	194	1206 x 1120	1792	60	300	1286	1010	849
PL 2500/1800 AA	1166	196	1252 x 1166	1866	60	300	1332	1056	881
PL 2650/1900 AA	1182	212	1260 x 1182	1891	60	300	1340	1072	892
PL 2800/2000 AA	1218	213	1292 x 1218	1949	90	450	1392	1088	932
PL 3100/2200 AA	1273	221	1337 x 1273	2037	90	450	1437	1143	971
PL 3350/2400 AA	1334	223	1392 x 1334	2134	90	450	1492	1204	1014
PL 3600/2600 AA	1400	231	1452 x 1400	2240	90	450	1552	1270	1061
PL 3900/2800 AA	1448	233	1489 x 1448	2317	90	450	1589	1318	1095
PL 4200/3000 AA	1516	252	1556 x 1516	2426	90	450	1656	1386	1143



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.



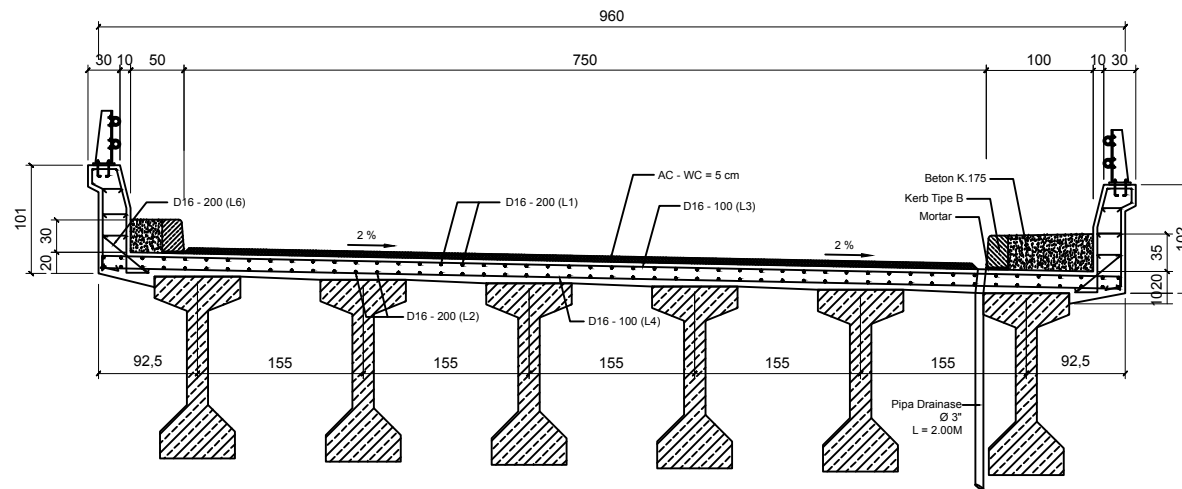


POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN EKSISTING
SKALA 1:500



PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN EKSISTING	1	23
NRP	NIP			
0311144000011	1970020111995122001			



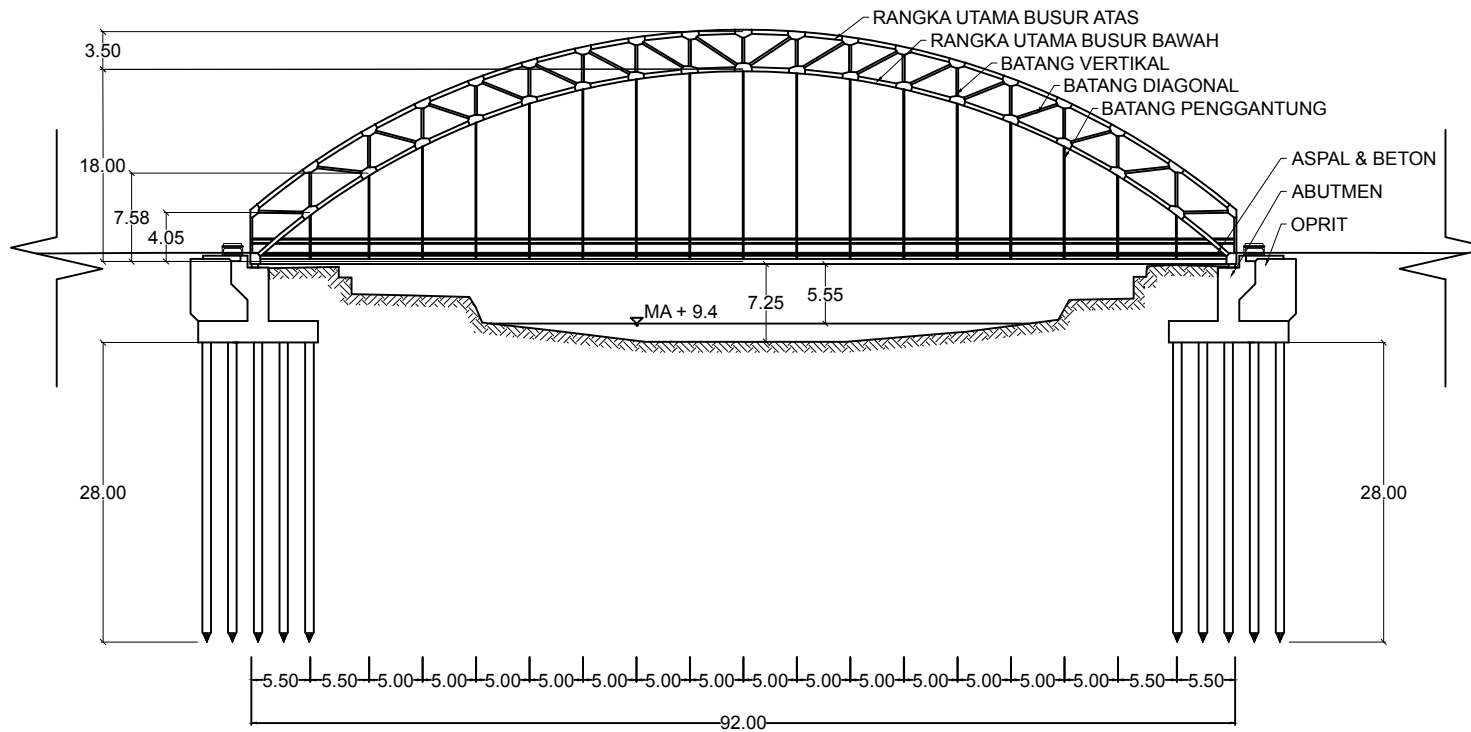
POTONGAN MELINTANG JEMBATAN EKSTING
SKALA 1:50



PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
POTONGAN MELINTANG JEMBATAN EKSTING	2	23



TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN
SKALA 1:500

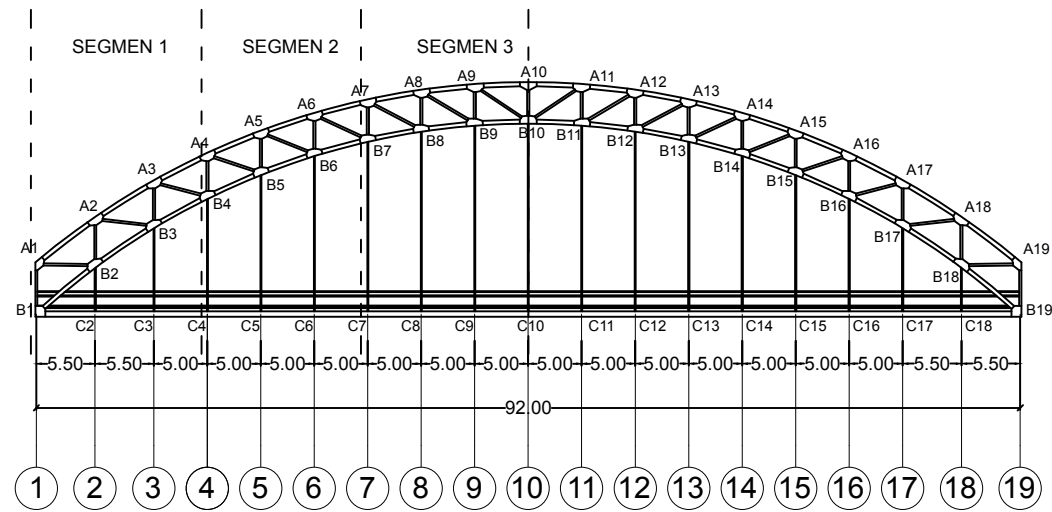


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN

No. Gambar	Jml. Gambar
3	23



POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN
SKALA 1:500

Segmen	Komponen	Nomor Batang	Profil
			(mm)
Segmen 3	Atas	30	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	47	Box 400 x 400 x 16
	Diagonal	65	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	7	Box 180 x 180 x 6,3
Segmen 2	Atas	27	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	43	Box 400 x 400 x 19
	Diagonal	62	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	4	Box 180 x 180 x 8
Segmen 1	Atas	22	Box 400 x 400 x 25
	Bawah	41	Box 400 x 400 x 25
	Diagonal	59	Box 180 x 180 x 10
	Vertikal	1	Box 220 x 220 x 10
Batang Tarik		85	Box 500 x 500 x 16



PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA

DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR

NRP

03111440000011

DOSEN KONSULTASI

ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D

NIP

1970020111995122001

NAMA GAMBAR

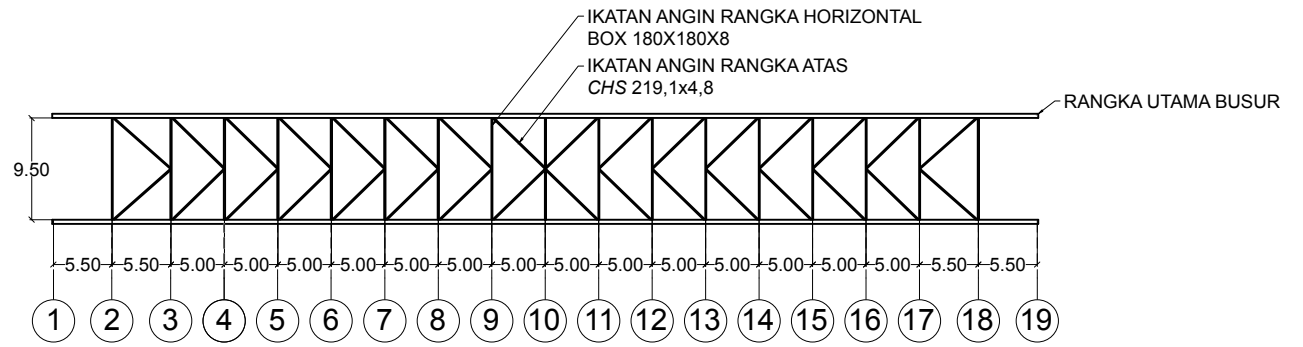
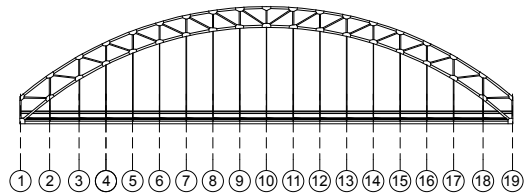
POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN

No. Gambar

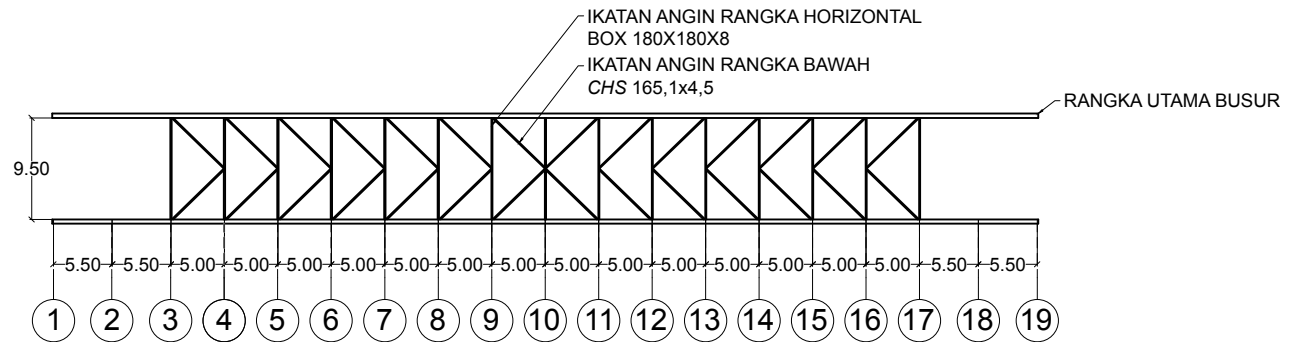
4

Jml. Gambar

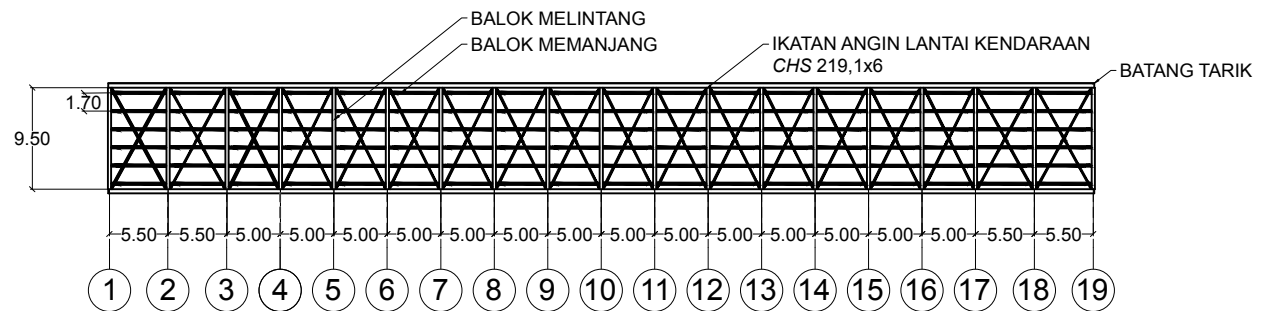
23



IKATAN ANGIN RANGKA ATAS
SKALA 1:500



IKATAN ANGIN RANGKA BAWAH
SKALA 1:500

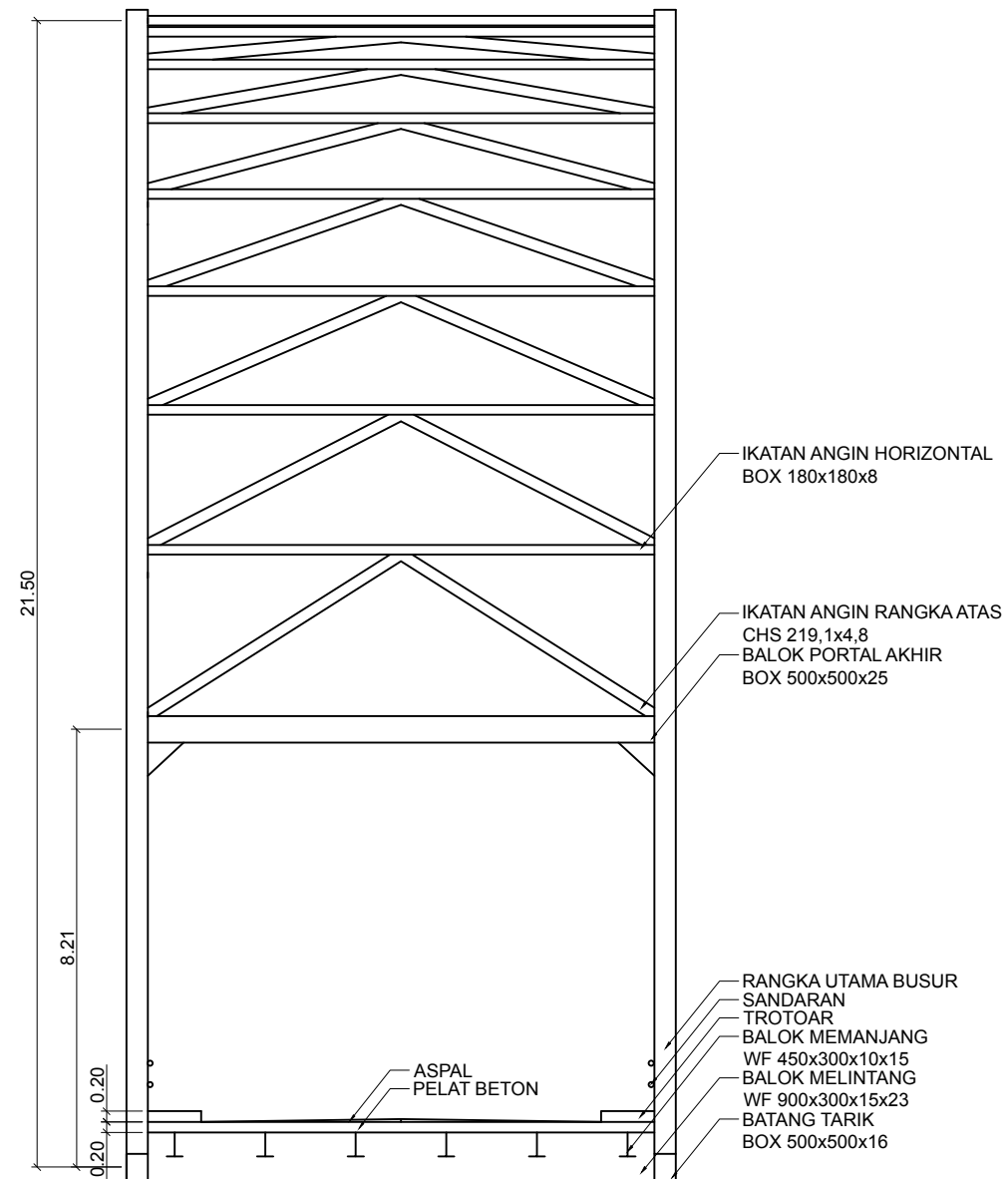
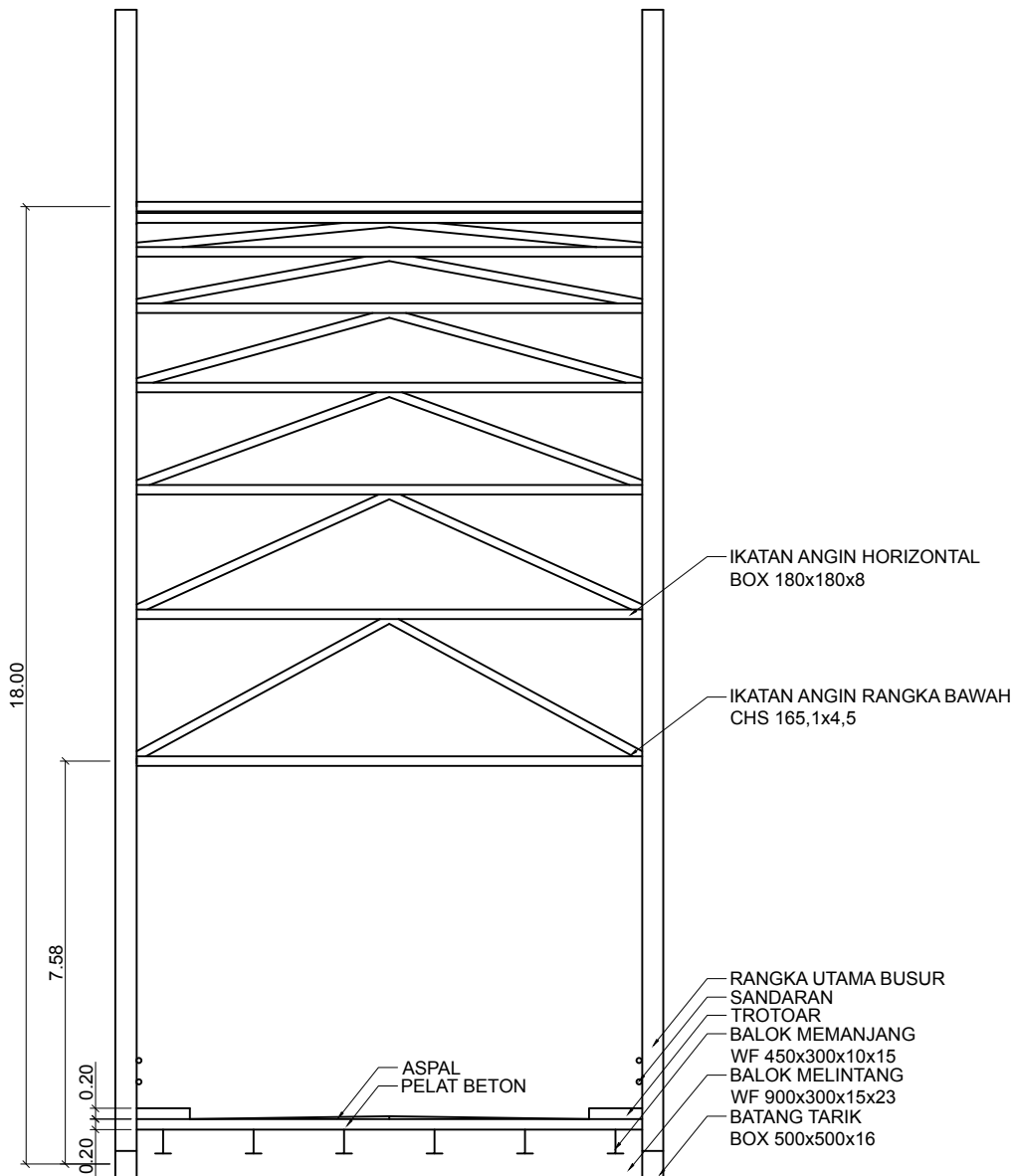


IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN
SKALA 1:500



PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	DENAH PEMBALOKAN LANTAI KENDARAAN	5	23
NRP	NIP			
0311144000011	1970020111995122001			



POTONGAN MELINTANG (IKATAN ANGIN RANGKA BAWAH)
SKALA 1:100

POTONGAN MELINTANG (IKATAN ANGIN RANGKA ATAS)
SKALA 1:100

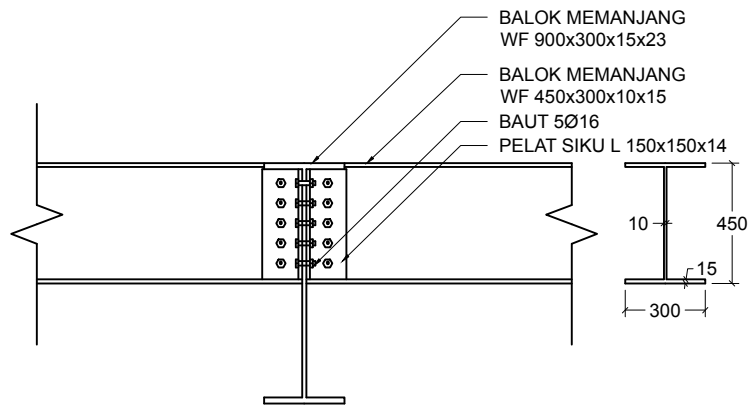


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

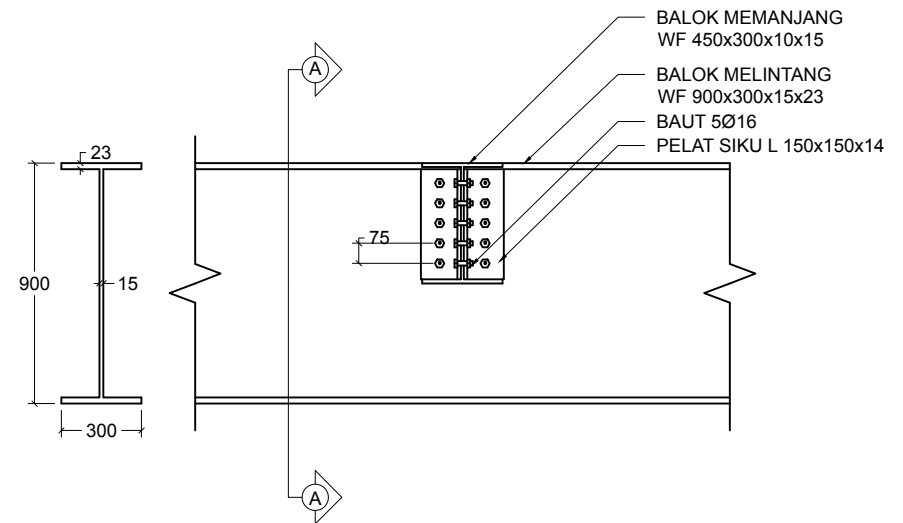
NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
POTONGAN MELINTANG JEMBATAN

No. Gambar	Jml. Gambar
6	23



POTONGAN A-A
SKALA 1:20

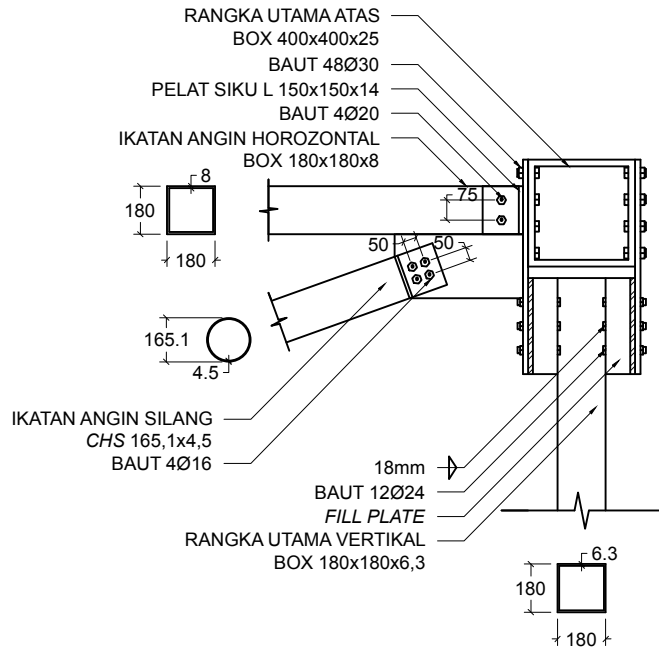
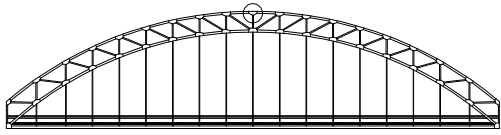


SAMBUNGAN BALOK MEMANJANG DAN MELINTANG
SKALA 1:20

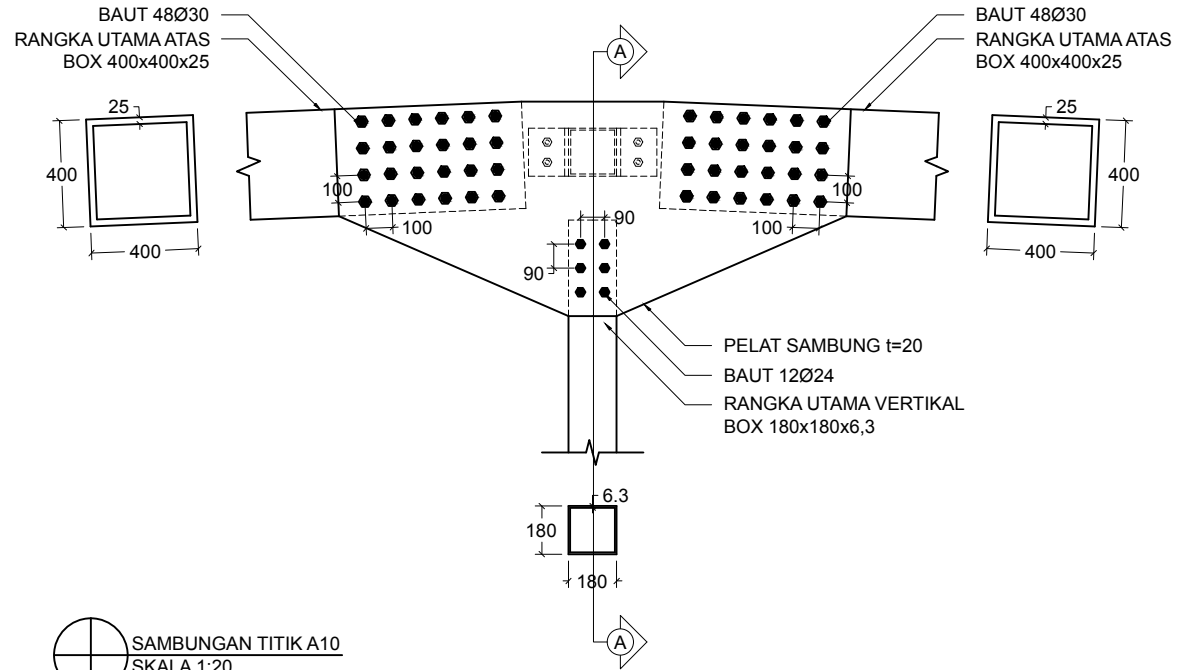


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	SAMBUNGAN BALOK MEMANJANG DAN MELINTANG	7	23
NRP	NIP			
0311144000011	1970020111995122001			



POTONGAN A-A
SKALA 1:20

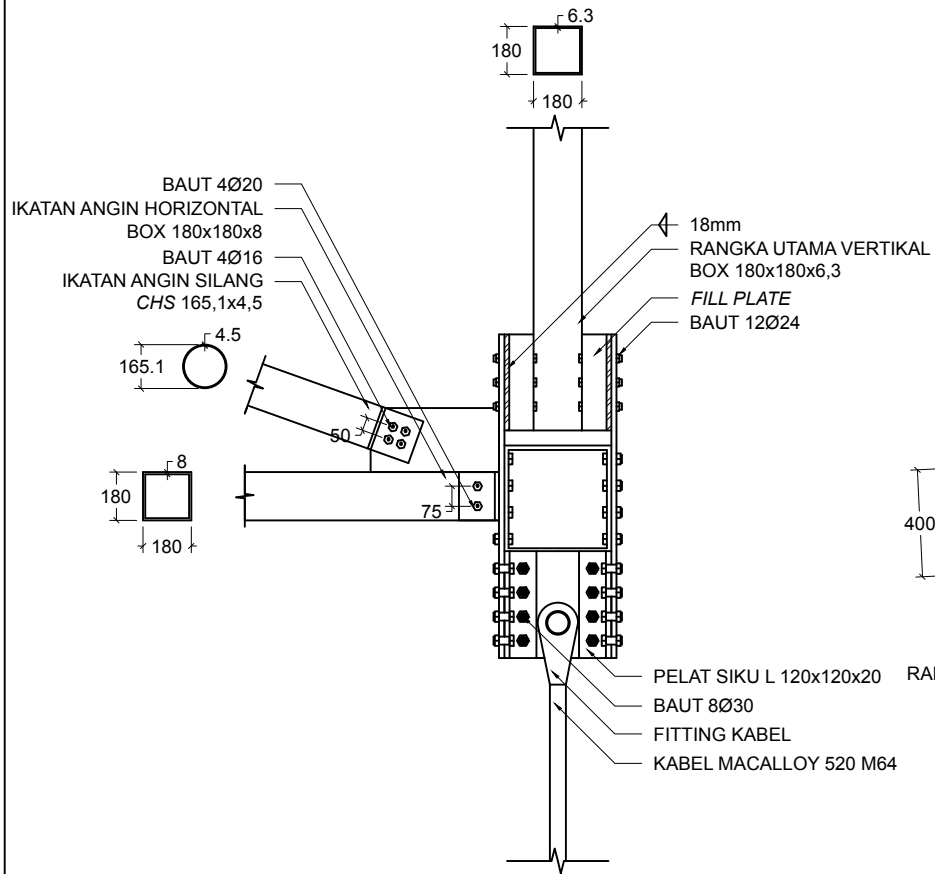
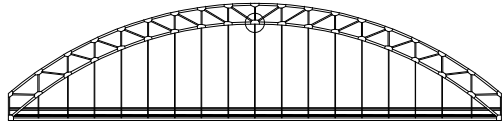


SAMBUNGAN TITIK A10
SKALA 1:20

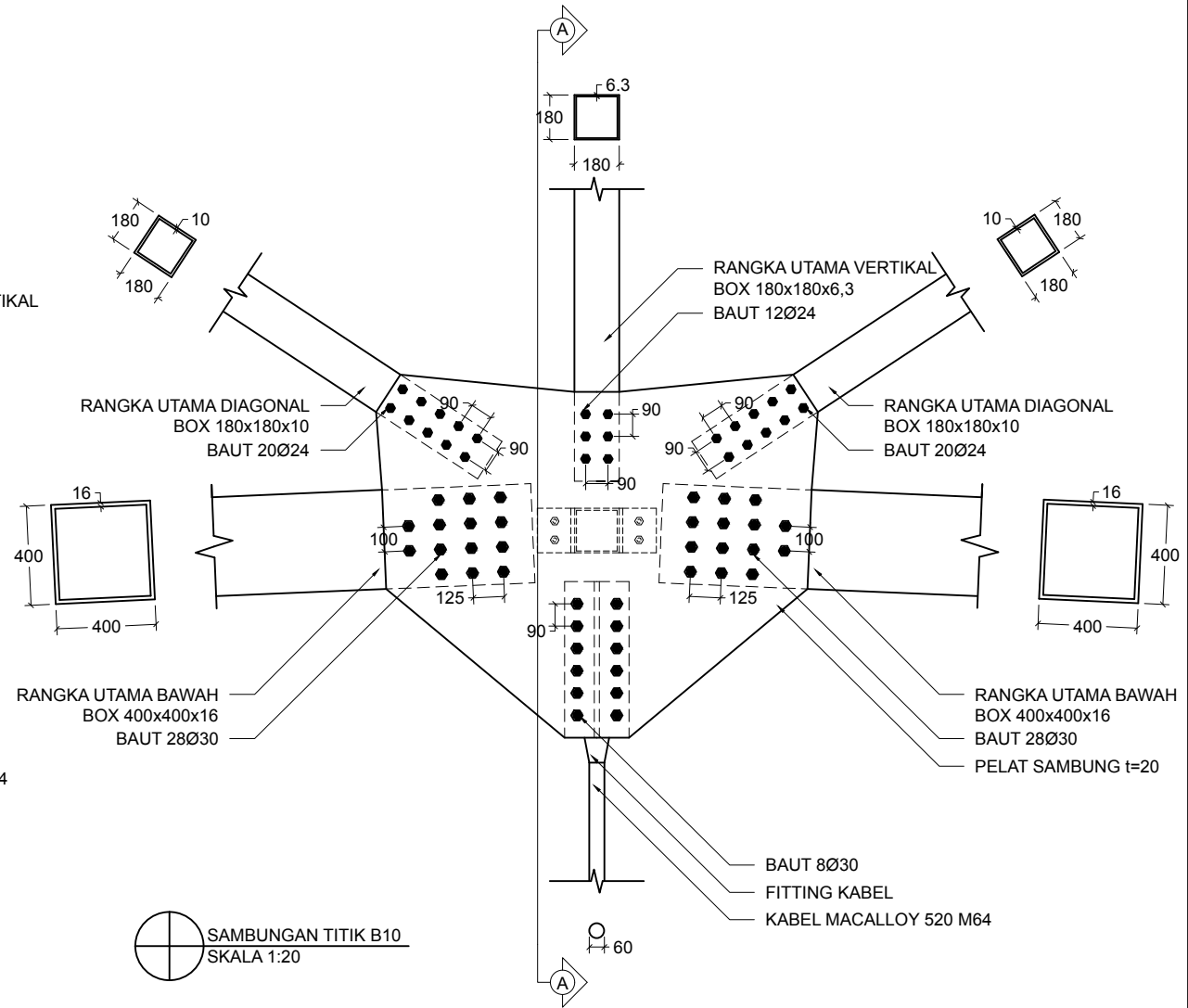


PROGRAM SARJANA
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	SAMBUNGAN TITIK A10	8	23
NRP	NIP			
0311144000011	1970020111995122001			



POTONGAN A-A
SKALA 1:20

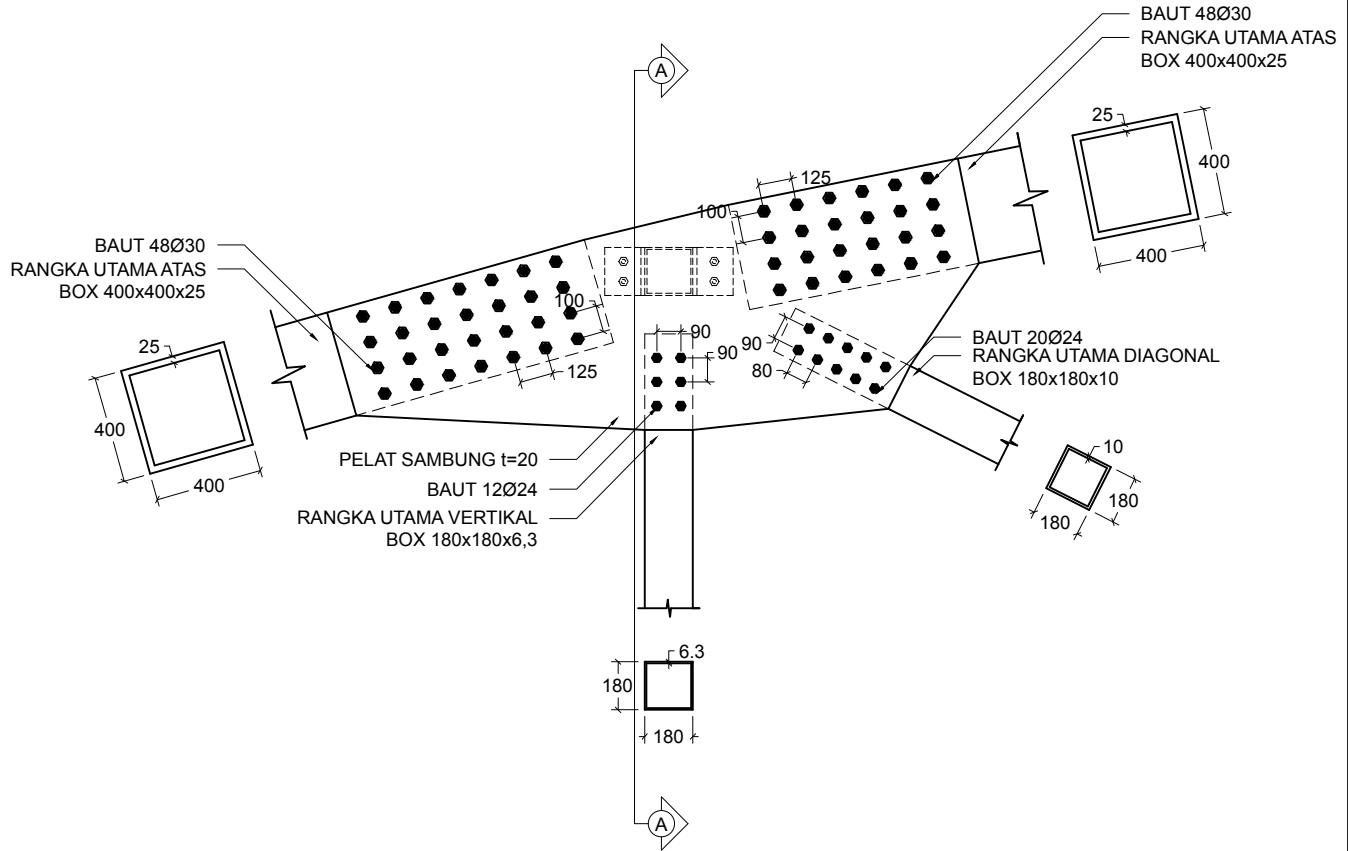
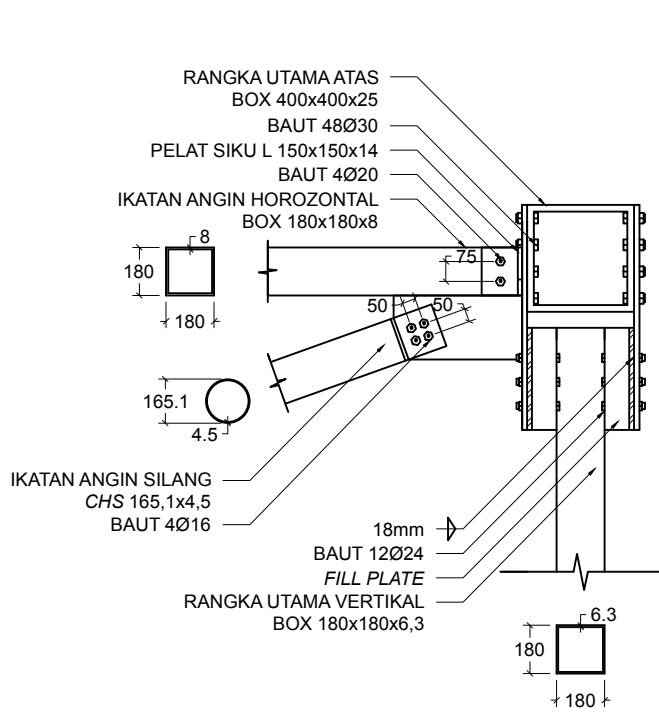
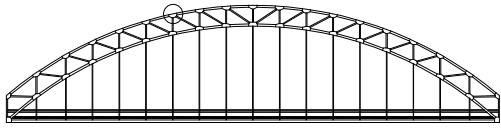


SAMBUNGAN TITIK B10
SKALA 1:20



PROGRAM SARJANA
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	SAMBUNGAN TITIK B10	9	23
NRP	NIP			
0311144000011	1970020111995122001			



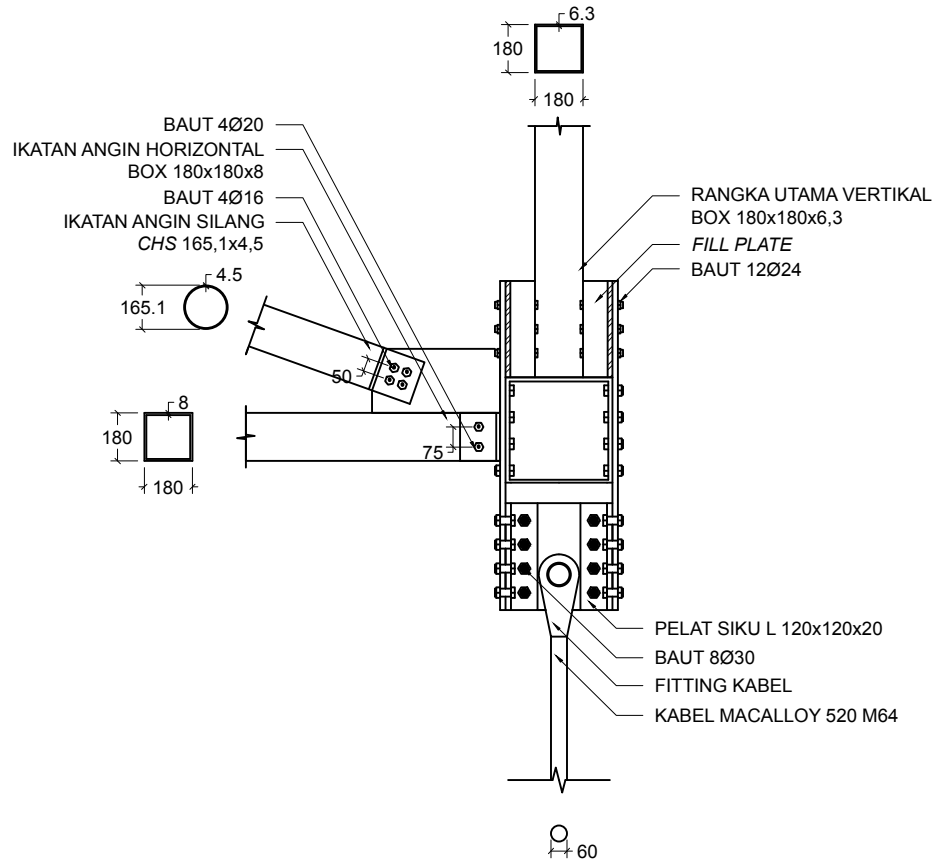
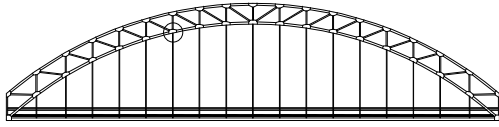
POTONGAN A-A
SKALA 1:20

SAMBUNGAN TITIK A7
SKALA 1:20

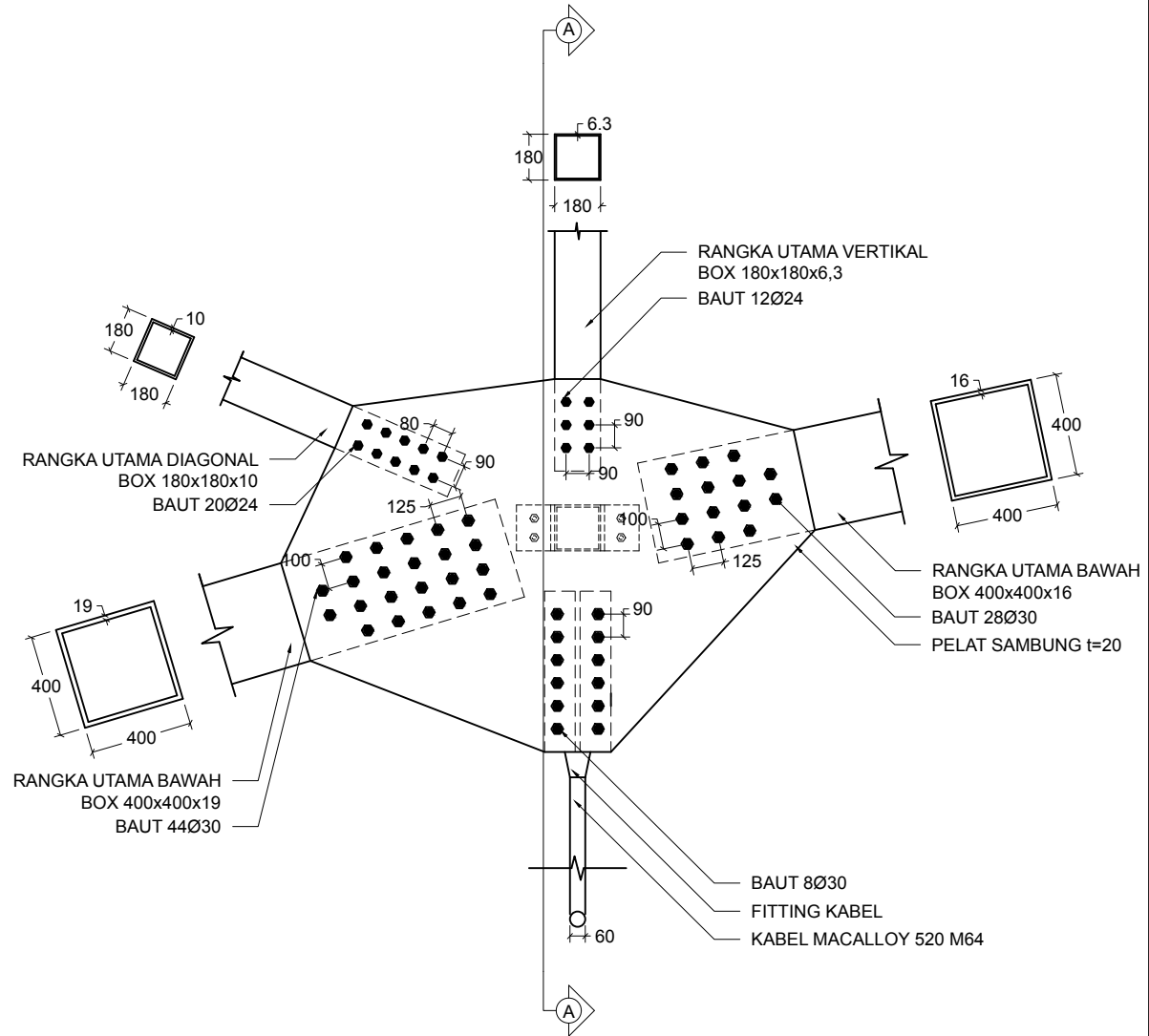


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	SAMBUNGAN TITIK A7	10	23
NRP	NIP			
03111440000011	1970020111995122001			



POTONGAN A-A
SKALA 1:20

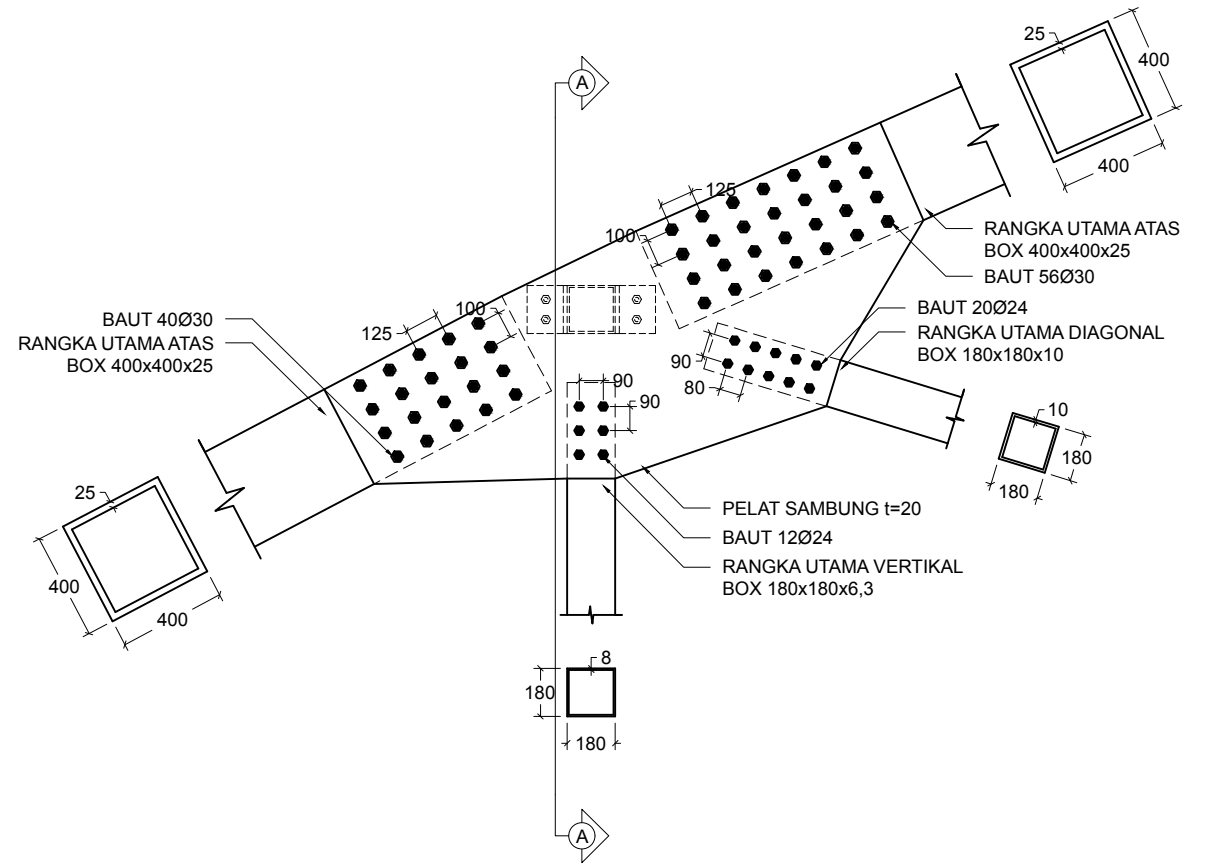
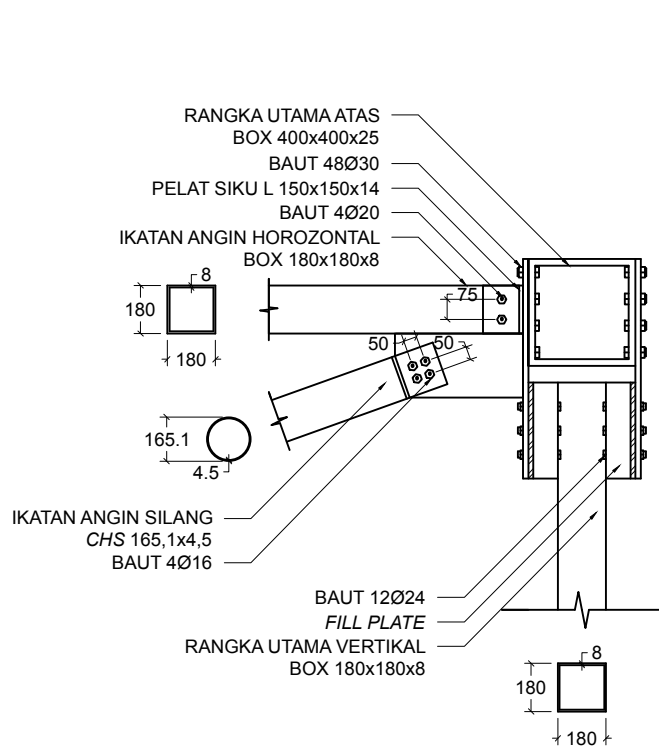
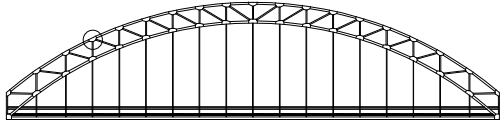


SAMBUNGAN TITIK B7
SKALA 1:20



PROGRAM SARJANA
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	SAMBUNGAN TITIK B7	11	23
NRP	NIP			
0311144000011	1970020111995122001			



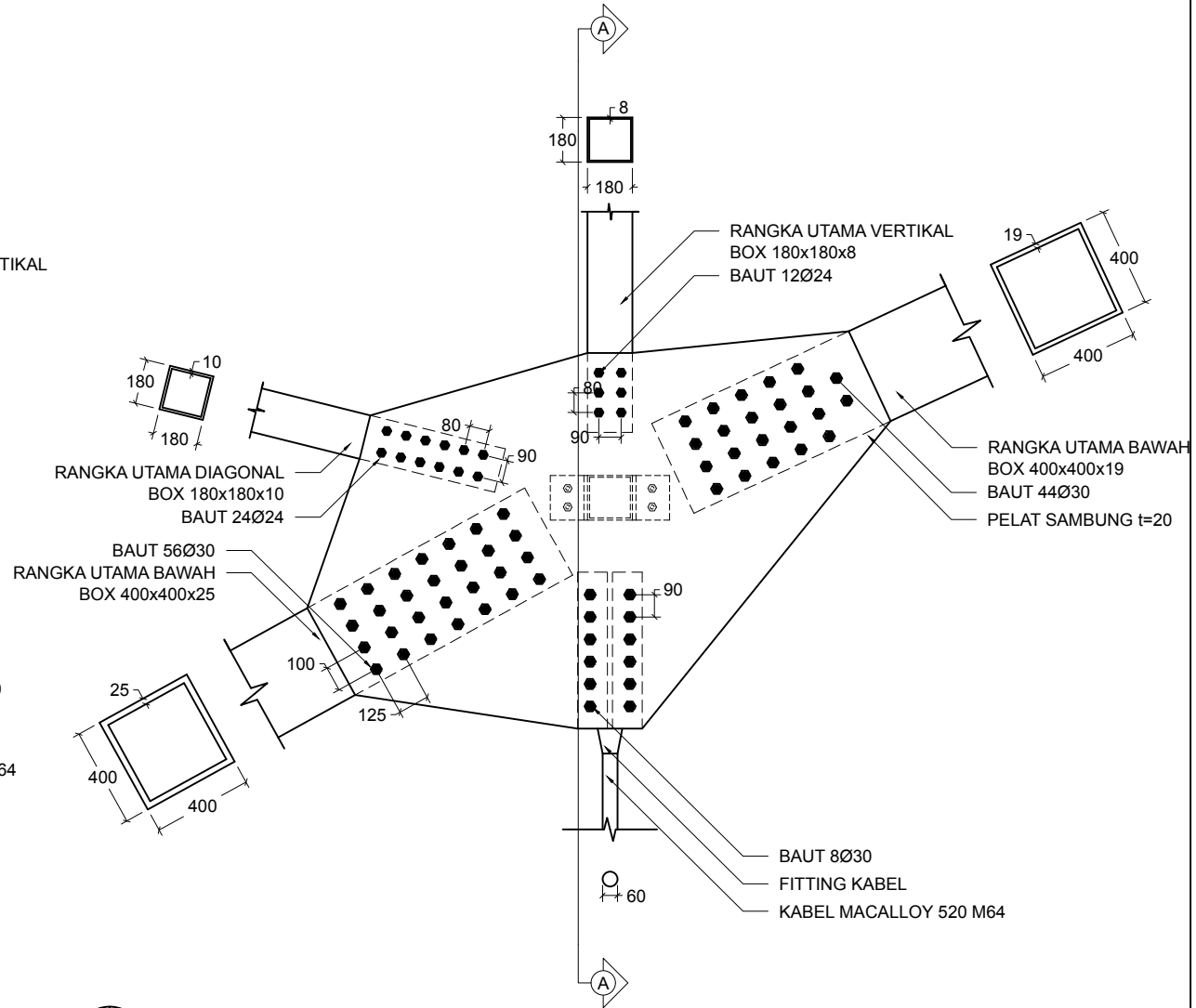
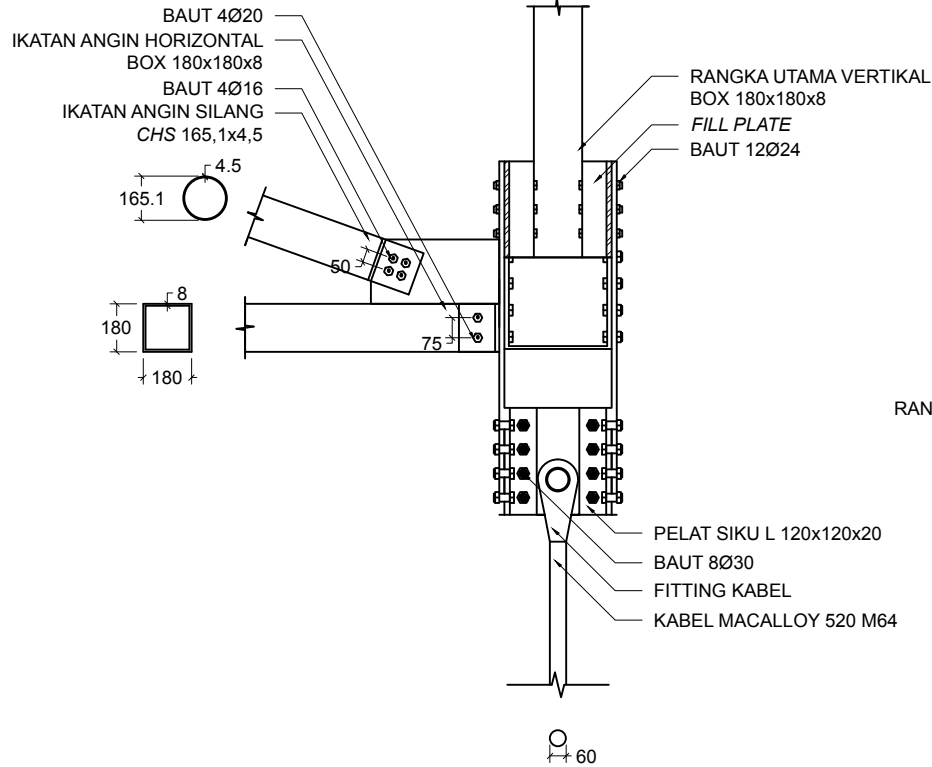
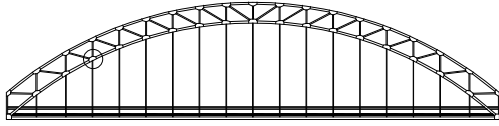
POTONGAN A-A
SKALA 1:20

SAMBUNGAN TITIK A4
SKALA 1:20



PROGRAM SARJANA
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI	NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D	SAMBUNGAN TITIK A4	12	23
NRP	NIP			
0311144000011	1970020111995122001			



POTONGAN A-A
SKALA 1:20

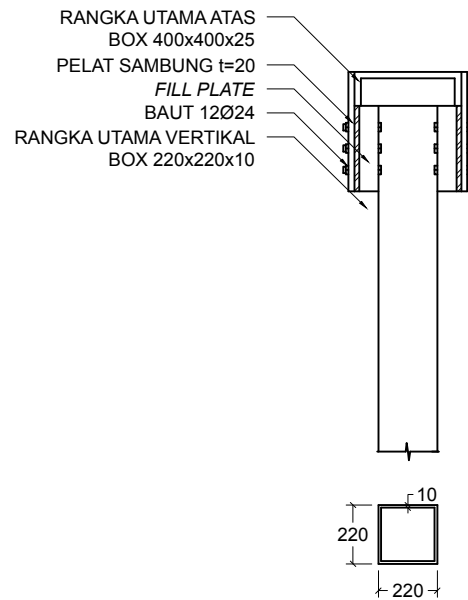
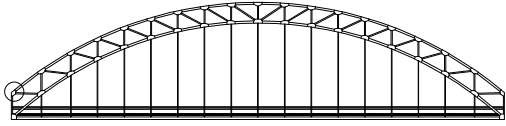
SAMBUNGAN TITIK B4
SKALA 1:20



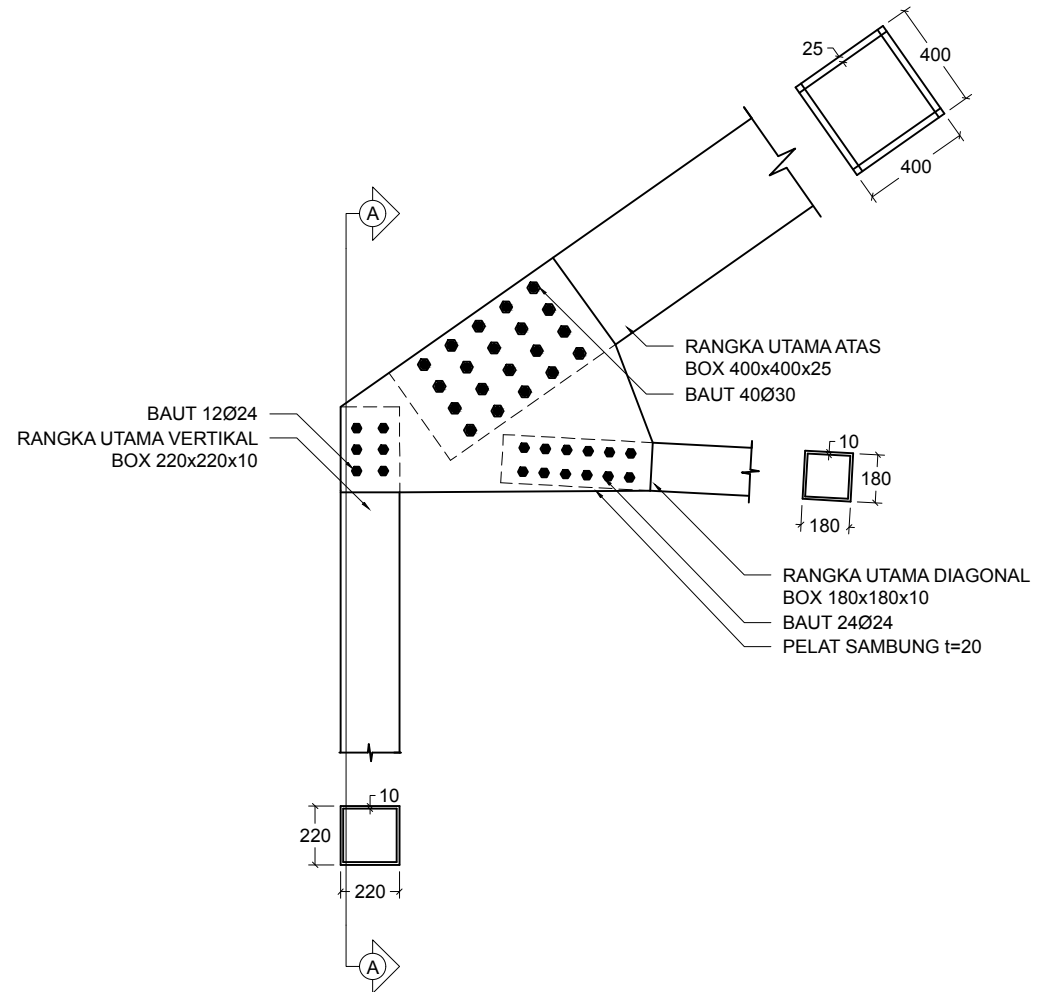
PROGRAM SARJANA
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
03111440000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
SAMBUNGAN TITIK B4	13	23



POTONGAN A-A
SKALA 1:20



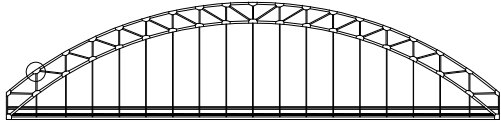
SAMBUNGAN TITIK A1
SKALA 1:20



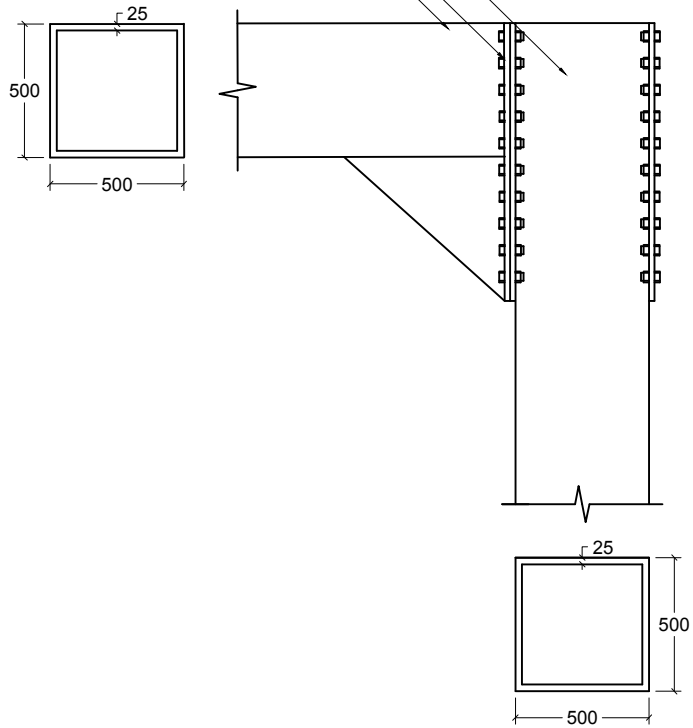
PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
SAMBUNGAN TITIK A1	14	23

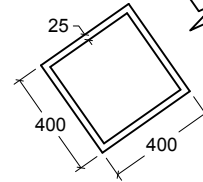


KOLOM PORTAL AKHIR
BOX 500x500x25
BAUT 100Ø30
BALOK PORTAL AKHIR
BOX 500x500x25

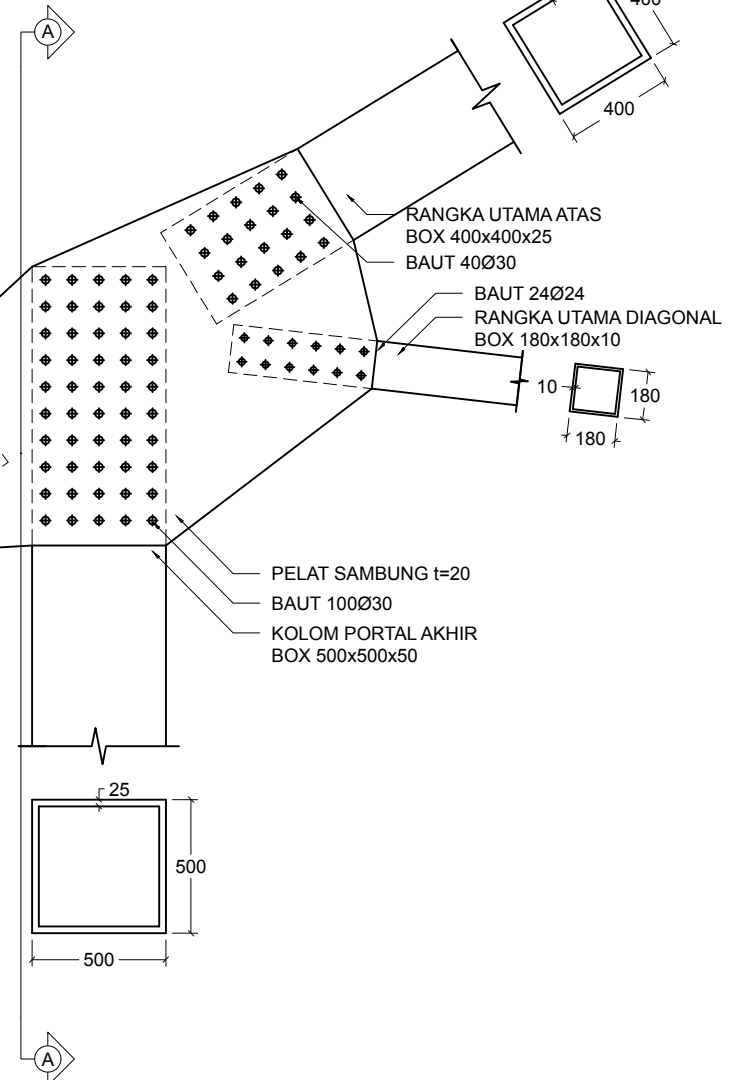


POTONGAN A-A
SKALA 1:20

BAUT 40Ø30
RANGKA UTAMA BAWAH
BOX 400x400x25



SAMBUNGAN PORTAL AKHIR
SKALA 1:20



PELAT SAMBUNG t=20
BAUT 100Ø30
KOLOM PORTAL AKHIR
BOX 500x500x50

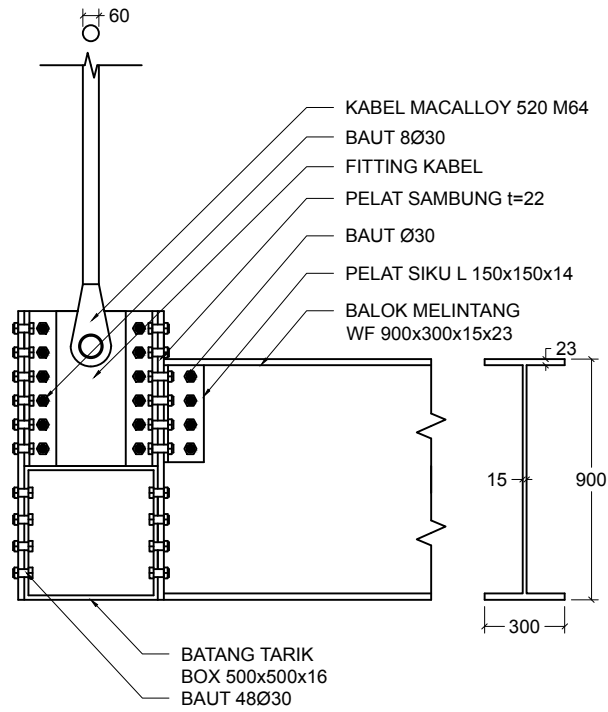
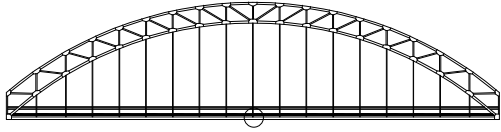


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

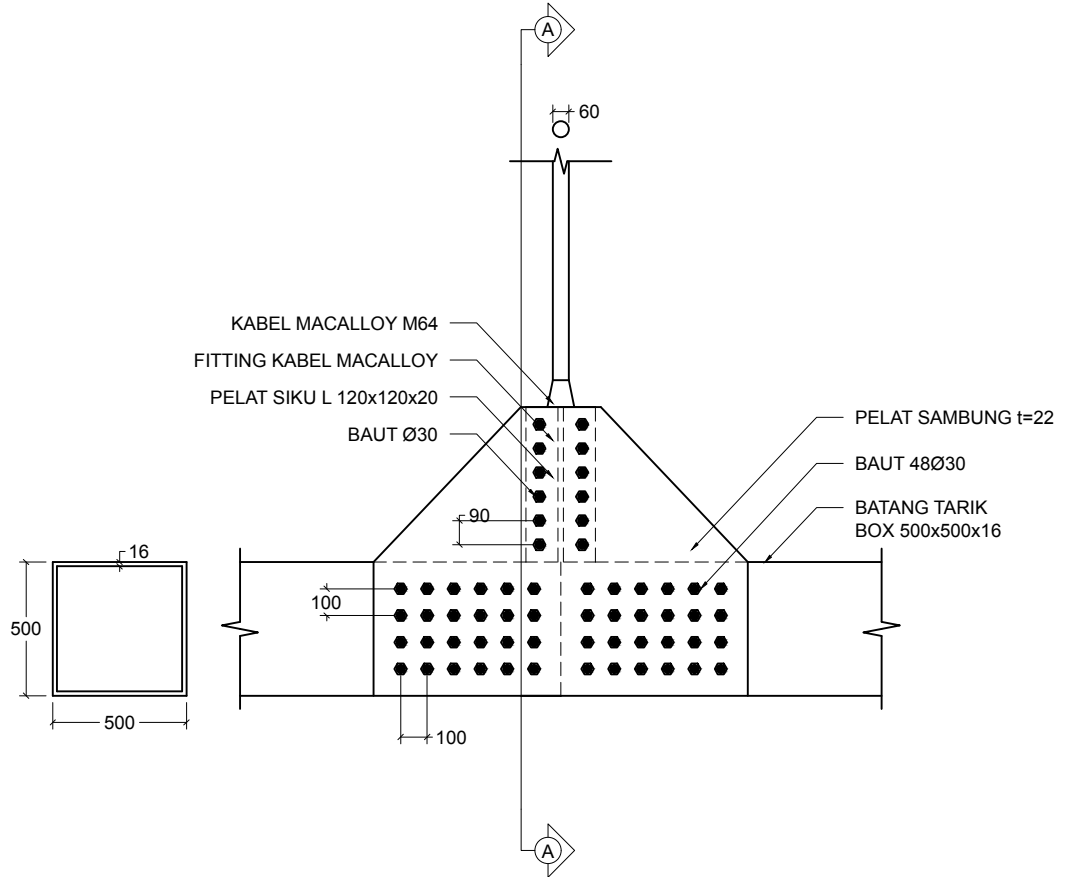
NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
SAMBUNGAN PORTAL AKHIR

No. Gambar	Jml. Gambar
15	23



POTONGAN A-A
SKALA 1:20



SAMBUNGAN TITIK C10
SKALA 1:20

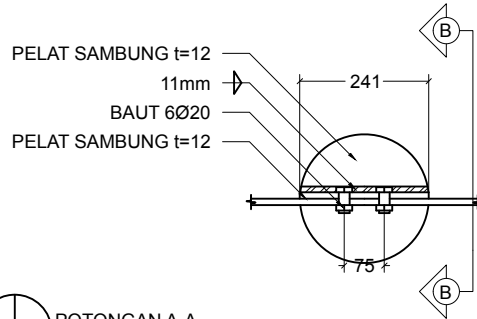
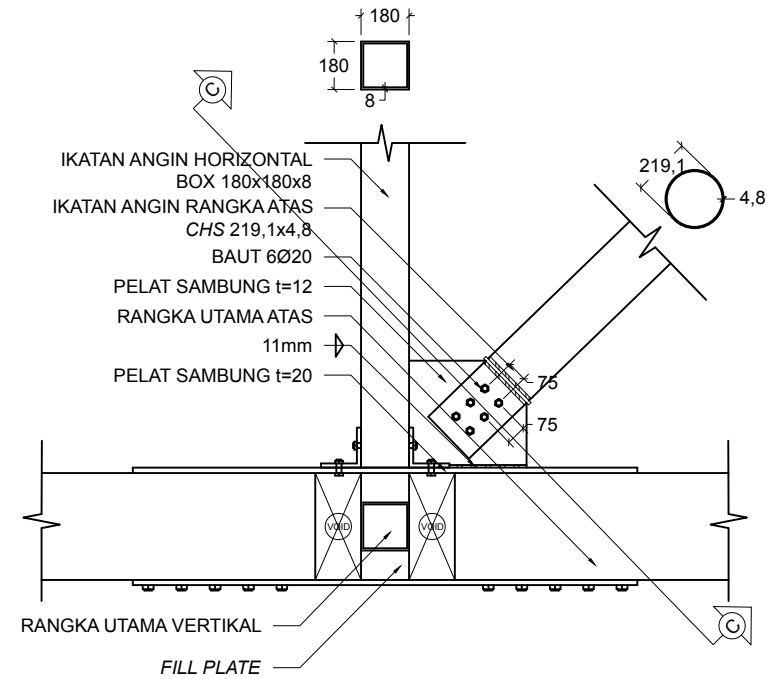
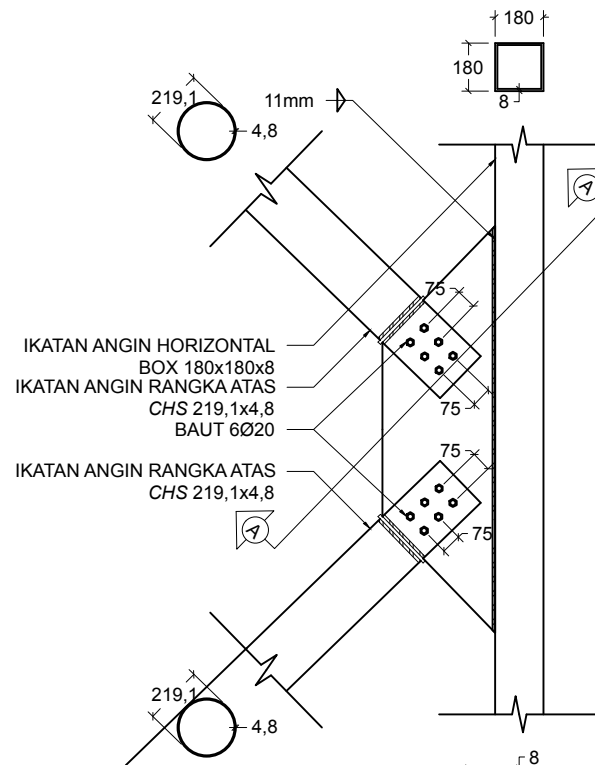
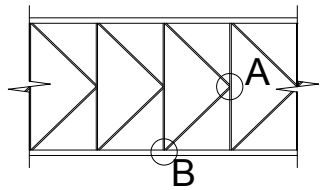


PROGRAM SARJANA
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
SAMBUNGAN TITIK C10

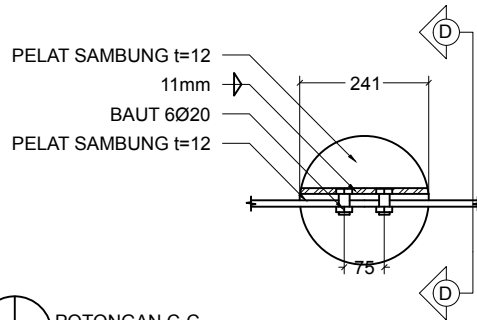
No. Gambar	Jml. Gambar
16	23



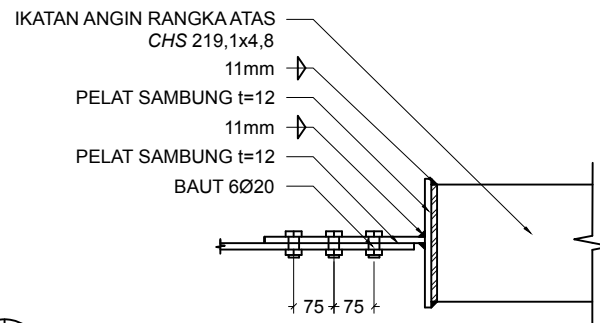
POTONGAN A-A
SKALA 1:10

SAMBUNGAN IKATAN ANGIN RANGKA ATAS (A)
SKALA 1:20

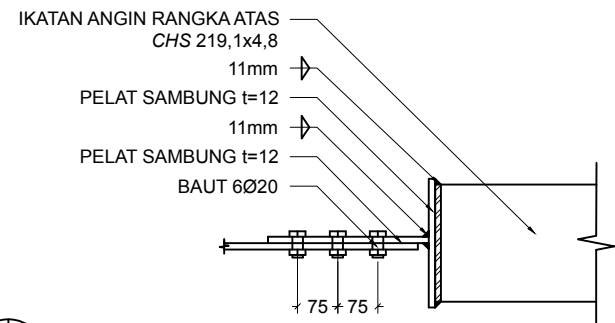
SAMBUNGAN IKATAN ANGIN RANGKA ATAS (B)
SKALA 1:20



POTONGAN C-C
SKALA 1:10



POTONGAN B-B
SKALA 1:10



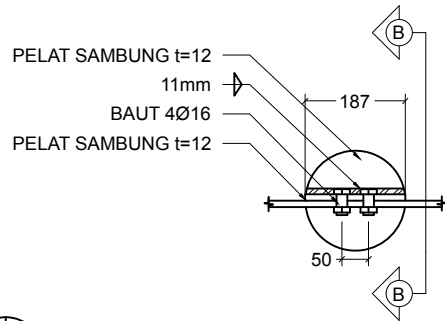
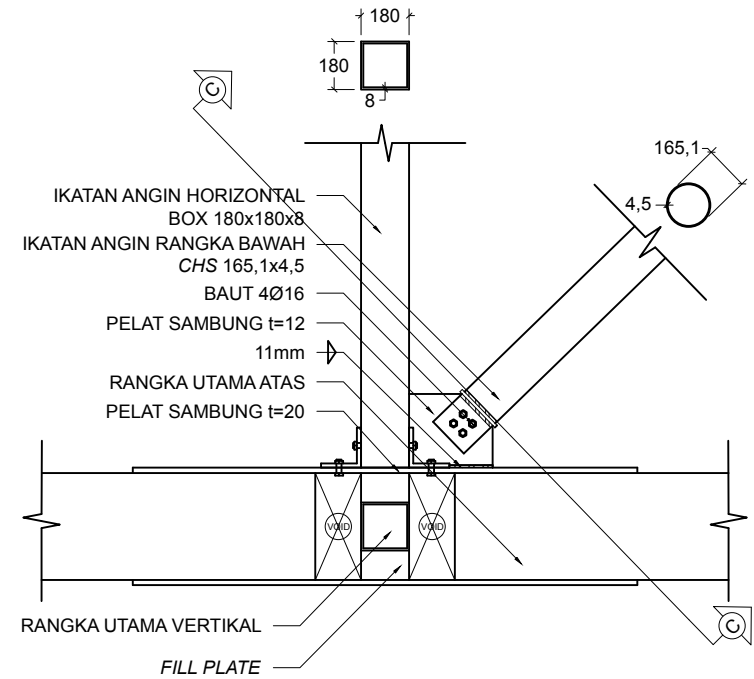
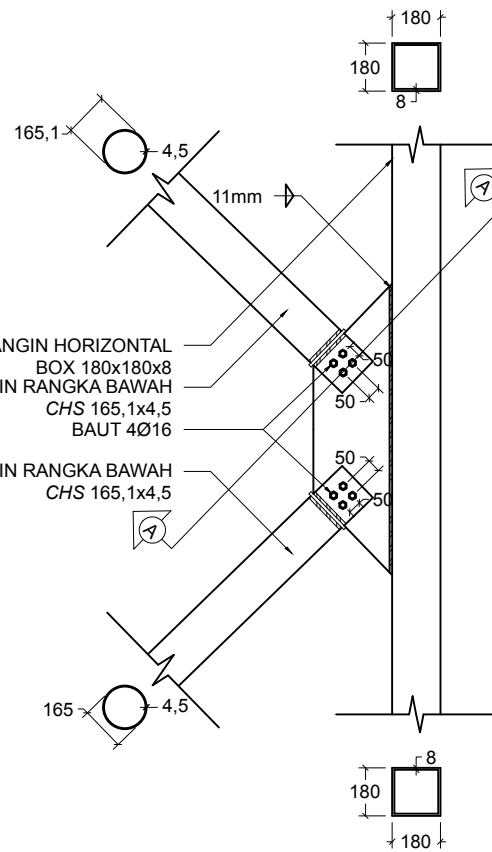
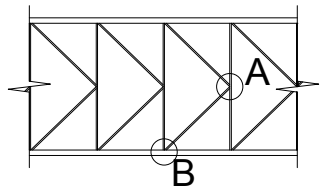
POTONGAN D-D
SKALA 1:10



PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

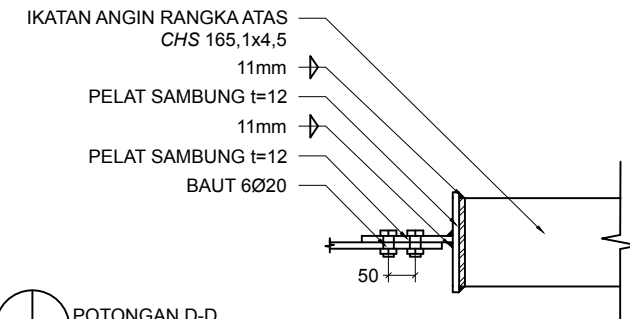
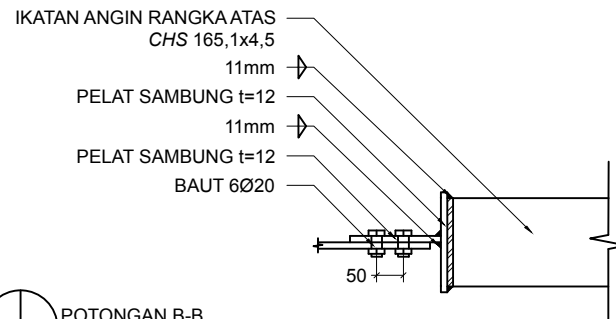
NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
SAMBUNGAN IKATAN ANGIN RANGKA ATAS	17	23



SAMBUNGAN IKATAN ANGIN RANGKA BAWAH (A)
SKALA 1:20

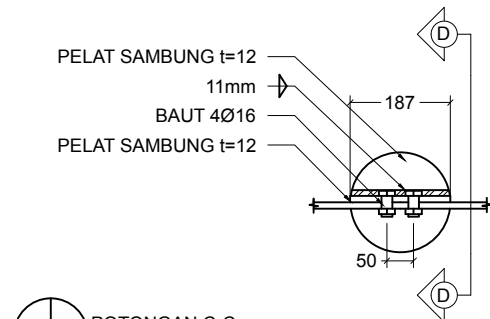
SAMBUNGAN IKATAN ANGIN RANGKA BAWAH (B)
SKALA 1:20

POTONGAN A-A
SKALA 1:10



POTONGAN B-B
SKALA 1:10

POTONGAN D-D
SKALA 1:10



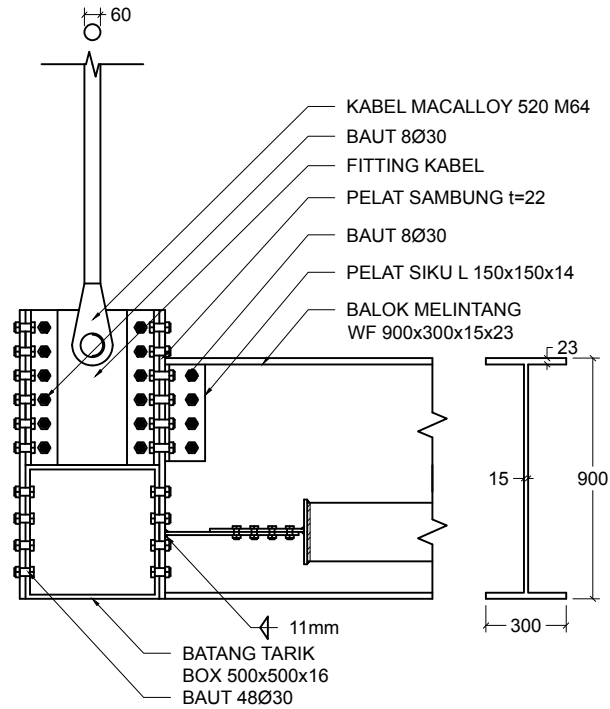
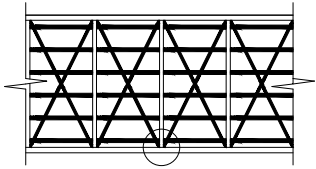
POTONGAN C-C
SKALA 1:10



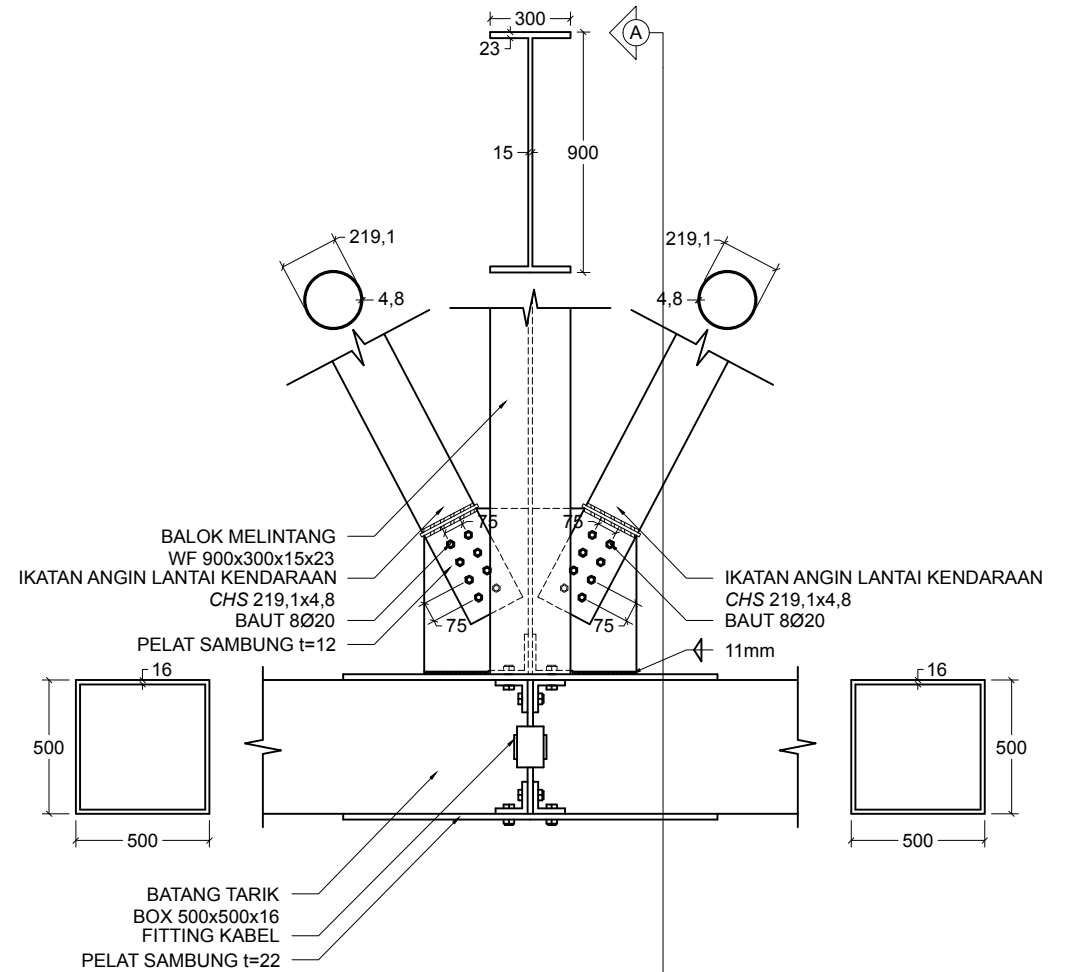
PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR	No. Gambar	Jml. Gambar
SAMBUNGAN IKATAN ANGIN RANGKA BAWAH	18	23



POTONGAN A-A
SKALA 1:20



SAMBUNGAN IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN
SKALA 1:20

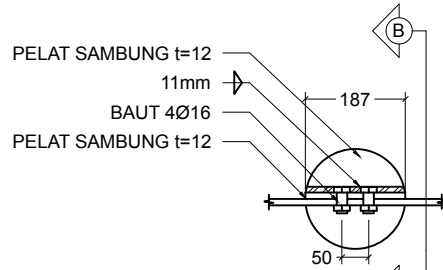
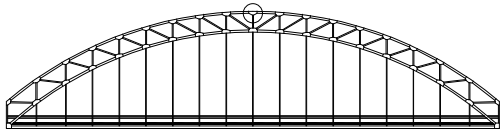


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

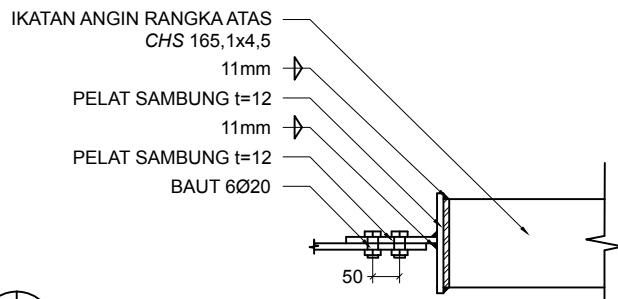
NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
SAMBUNGAN IKATAN ANGIN LANTAI KENDARAAN

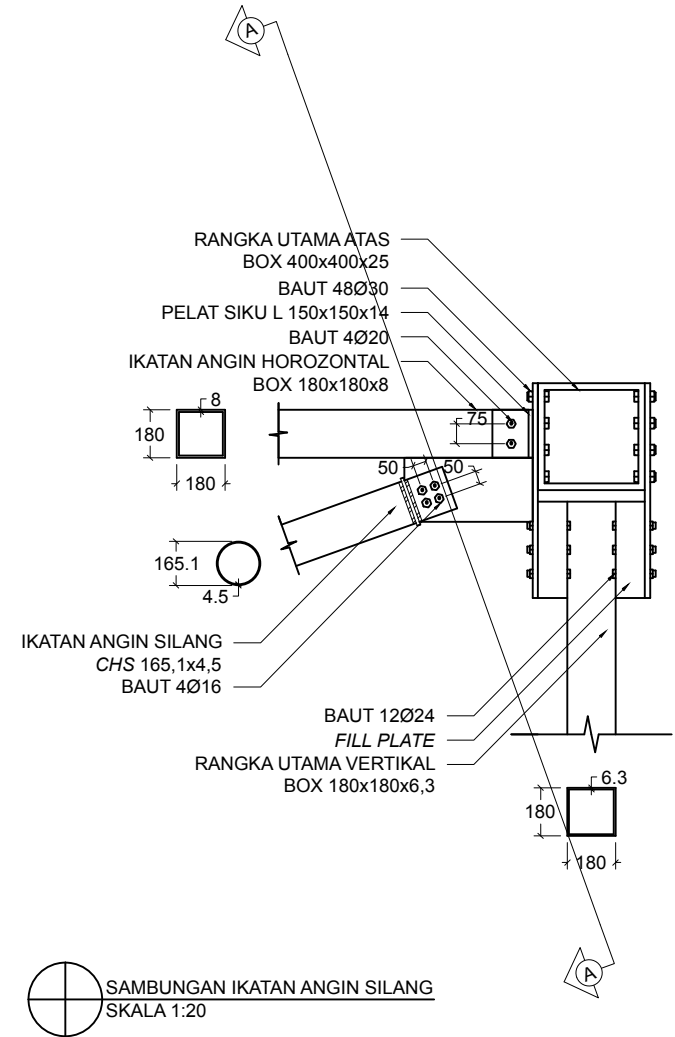
No. Gambar	Jml. Gambar
19	23



POTONGAN A-A
SKALA 1:10



POTONGAN B-B
SKALA 1:10



SAMBUNGAN IKATAN ANGIN SILANG
SKALA 1:20

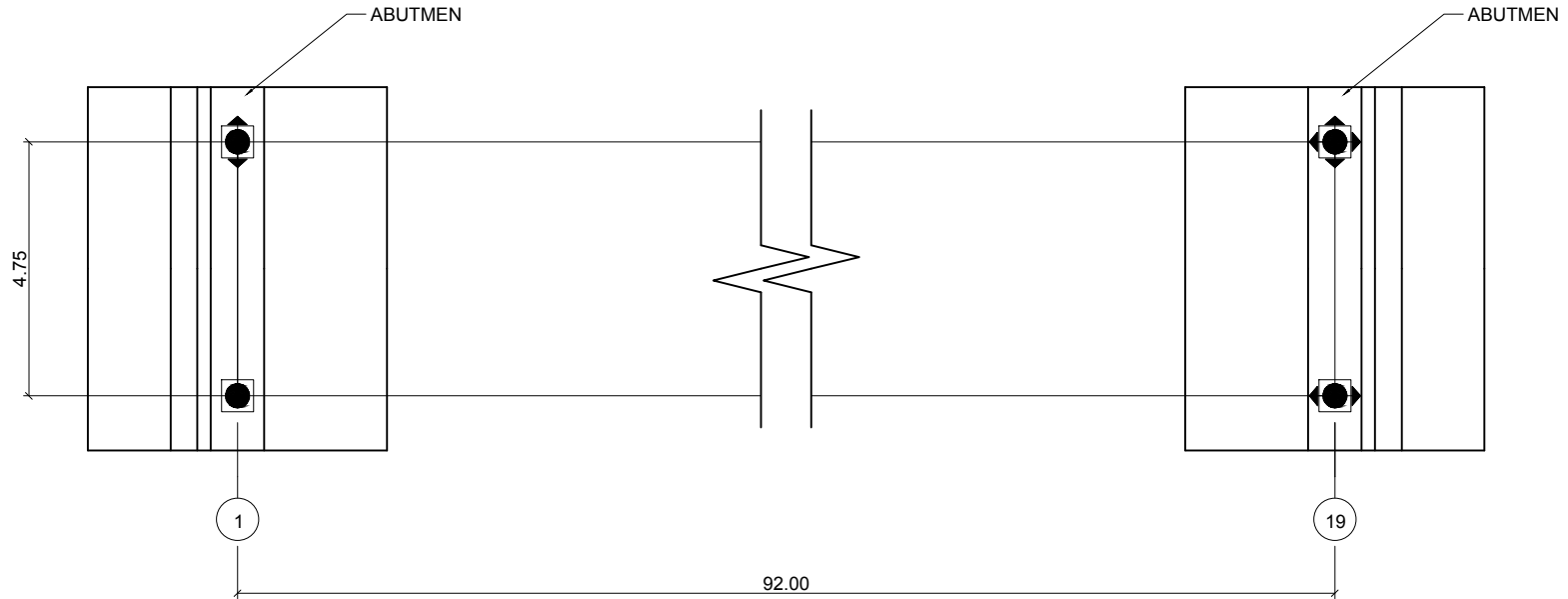
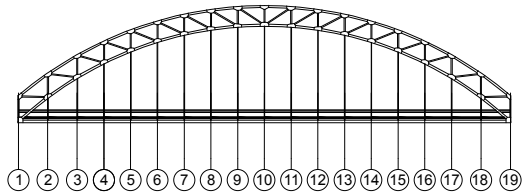


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
SAMBUNGAN IKATAN ANGIN SILANG

No. Gambar	Jml. Gambar
20	23



- KETERANGAN :
- POT Bearing Tipe Fixed
 - ◄◄ POT Bearing Tipe Guided
 - ◄◄◄ POT Bearing Tipe Free

DENAH PERLETAKAN POT BEARING
SKALA 1:200

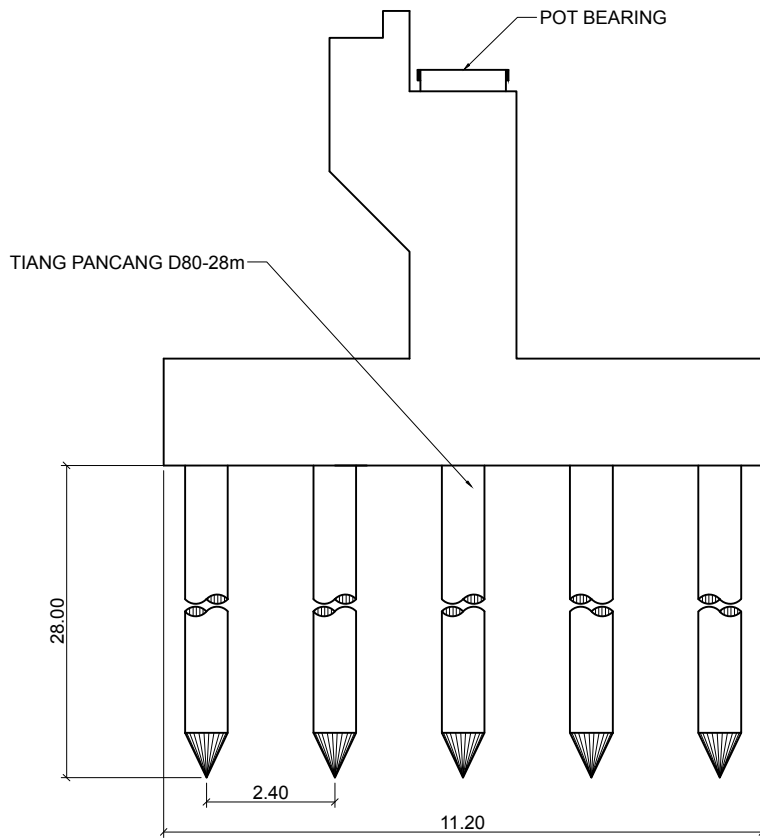


PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

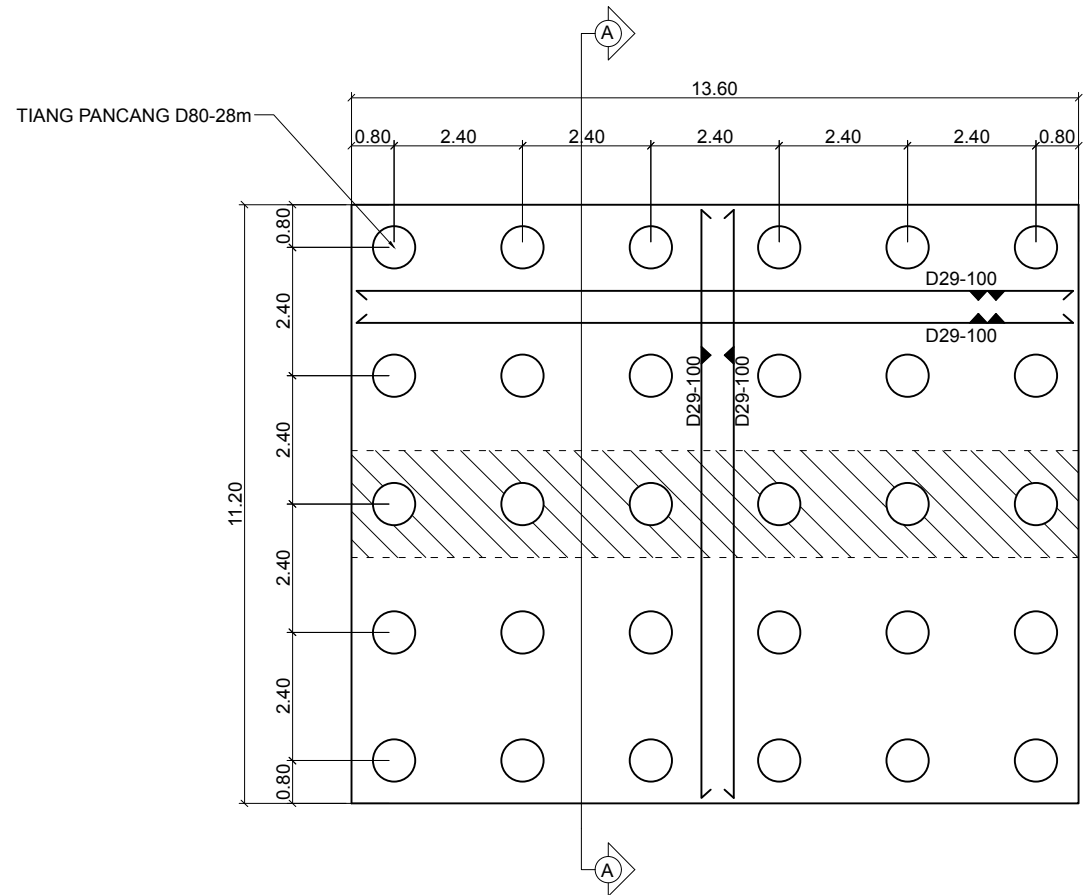
NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
DENAH PERLETAKAN POT BEARING

No. Gambar	Jml. Gambar
21	23



POTONGAN A-A
SKALA 1:100



KONFIGURASI TIANG PANCANG
SKALA 1:100

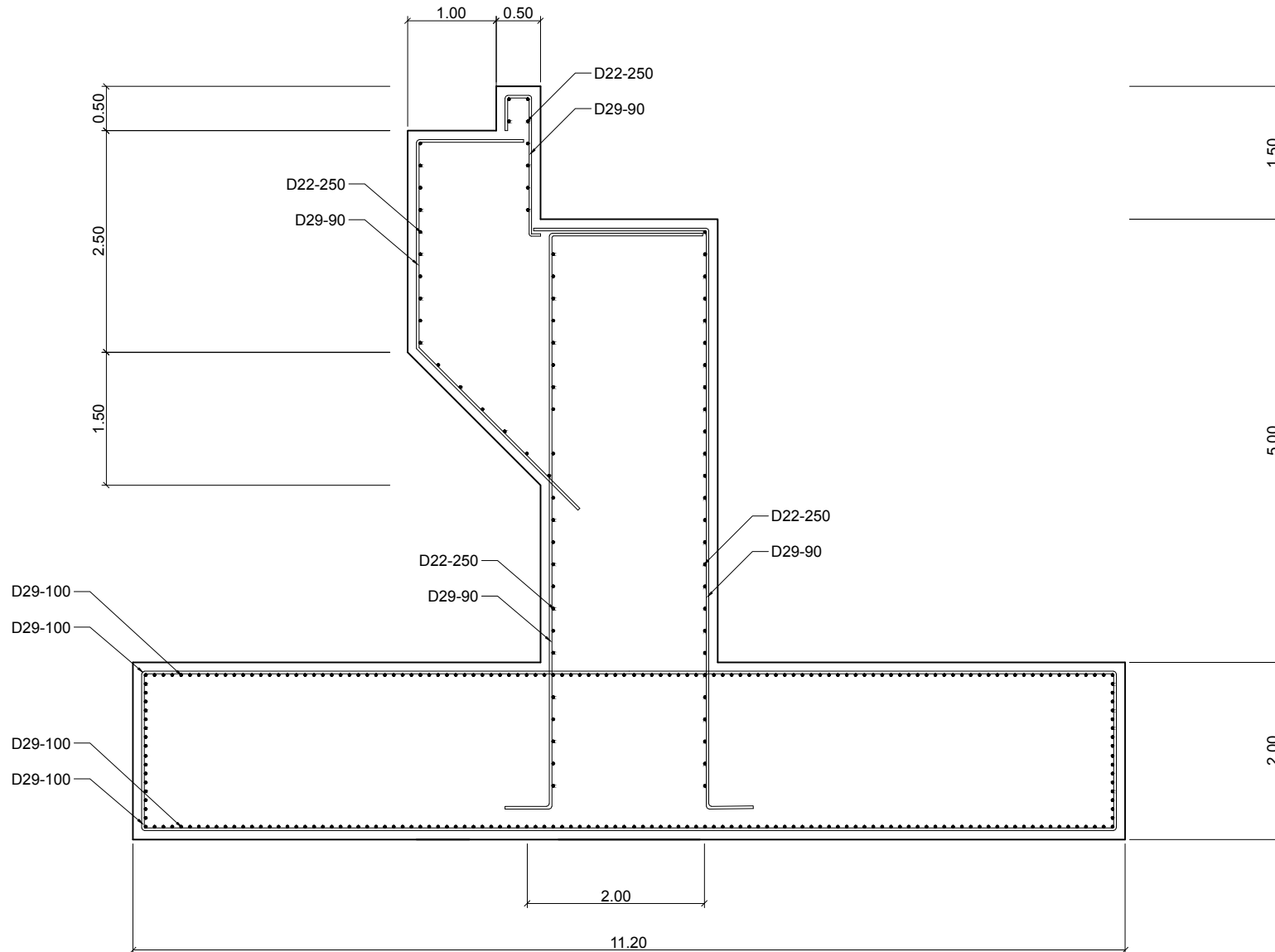



PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
KONFIGURASI TIANG PANCANG

No. Gambar	Jml. Gambar
22	23




 PENULANGAN ABUTMEN JEMBATAN
 SKALA 1:200



PROGRAM SARJANA
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

NAMA MAHASISWA	DOSEN KONSULTASI
DARYL JULIAN MUHAMMAD AKBAR	ENDAH WAHYUNI, S.T., M.Sc., Ph.D
NRP	NIP
0311144000011	1970020111995122001

NAMA GAMBAR
PENULANGAN ABUTMEN JEMBATAN

No. Gambar	Jml. Gambar
23	23



Date	Depth (m)	Depth (m)	Thickness (m)	sample	Symbol	Layer Type	DESCRIPTION	Field Test SPT	
								Depth (m)	N
Juni 2009	1	0.00							
	2	5.00	5.00			LANAU Kelempungan	lunak sampai teguh, warna coklat	2.55	6
	3							3.00	
	4	4.00	1.00	4.50		PASIR Kelempungan	lepas, warna coklat		
	5	5.00	3.00	5.00		PASIR Halus	lepas, warna abu-abu	5.55	16
	6							6.00	
	7	8.00							
	8								
	9	9.00	3.00	9.50		LEMPUNG	lunak campur kulit kerang, warna abu-abu	8.55	5
	10			10.00				9.00	
	11	11.00	2.00			HUMUS Kelempungan	sangat lunak sampai lunak, warna hitam kecoklatan	11.55	4
	12	13.00						12.00	
	13								
	14	14.00	2.00	14.00		LEMPUNG	lunak, warna abu-abu kehitaman	14.55	4
	15	15.00		14.50				15.50	
	16								
	17	20.00	5.00	19.50		LEMPUNG Kepasiran	lunak, warna abu-abu	17.55	8
	18							18.00	
	19								
	20	20.00	4.00	20.00		LEMPUNG Kepasiran	kaku sampai sangat kaku, warna abu-abu	20.00	20
	21							21.00	
	22								
	23	24.00	1.00	24.50		LEMPUNG Kelasanau	kaku, warna abu-abu kecoklatan	23.55	25
	24	25.00		25.00				24.00	
	25								
	26	26.00	2.00	26.00		LANAU Kepasiran	kaku, warna abu-abu	26.55	22
	27	27.00						27.00	
	28								
	29	29.00	5.00	29.00		PASIR Kerikilan	padat, warna abu-abu tua	29.55	> 60
	30							30.00	
	31								
	32	32.00	4.00	32.00		PASIR Kelasanau	setengah padat sampai padat, warna abu-abu tua	32.55	56
	33							33.00	
	34								
	35	34.50	4.00	34.50		PASIR (terural)	padat, campur kerikil, warna abu-abu tua	35.55	38
	36	35.00		35.00				36.00	
	37								
	38	40.00	4.00	39.50		PASIR (terural)	padat, campur kerikil, warna abu-abu tua	38.55	52
	39							39.00	
	40	40.00		40.00				28.00	

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM SARJANA (S1)
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR

Pada hari ini **Senin** tanggal **16 Juli 2018** jam **09.00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:



NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111440000011	Daryl Julian Muhammad Akbar	Modifikasi Perencanaan Jembatan Sipait Pekalongan dengan Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja

Dengan Hasil :

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- Plat buhul dihitung pd waktu putus?
- Cek portal akhir
- Sambungan yg dengan las di ikatan angin di cek dan digbr.
- Fill plate ditukarkan kesalah satu elemen.

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS. PhD	
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS	

Surabaya, 16 Juli 2018
 Dosen Pembimbing I
 (Ketua)


Endah Wahyuni, ST. MSc. PhD

Dosen Pembimbing 2
 (Sekretaris)



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	: Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D
NAMA MAHASISWA	: Daryl Julian Muhammad Akbar
NRP	: 03111440000011
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Jembatan Sipait Pekalongan dengan Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja
TANGGAL PROPOSAL	: 24 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 020259 / ITZ.VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	20/03	Pelat lantai	Balok memanjang	
2.	29/03	Balok memanjang	Balok melintang	
3.	12/04	Balok melintang	Pembebaran angin	
4.	18/04	Pembebaran angin	Permodelan SAP 2000	
5.	03/05	Permodelan SAP2000	IKATAN ANGIN & Garis Pengaruh	
6.	31/05	Ikatan angin & Garis pengaruh	Rangka utama	
7.	4/06	Kontrol rangka utama	Sambungan	
8.	7/06	Perencanaan sambungan	Bangunan bawah	
9.	21/06	• Perletakan abutment & tiang pancang	Gambar perencanaan	
10	22/06	Gambar Perencanaan		

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Daryl Julian Muhammad Akbar ini dilahirkan di Jakarta pada 20 Juli 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Pekayon Jaya 4 Kota Bekasi, SMPN 1 Pekalongan, dan SMAN 1 Pekalongan. Setelah lulus dari SMAN 1 Pekalongan, penulis melanjutkan pendidikan S1 di jurusan Teknik Sipil FTSLK-ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2014.

Dijurusan Teknik Sipil, penulis mengambil bidang studi struktur. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis pernah beberapa kali menjadi finalis lomba seperti *Estimation Project Simulation* (2016) yang diadakan oleh Universitas Katolik Parahyangan dan *The 2ND National Green Concrete Competition* (2017) yang diadakan oleh Universitas Negeri Malang. Penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil sebagai Staff Divisi CITRA (2015/2016) dan Wakil Ketua Divisi CITRA (2016/2017).

Daryl Julian Muhammad Akbar
Civil Engineering Student
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
dj.daryl07@gmail.com
(+62) 813 3520 3967