



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG**

RIZQI ALGHIFFARY
NRP. 0311174000005

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
(CIVPLAN)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG**

RIZQI ALGHIFFARY
NRP. 0311174000005

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
(CIVPLAN)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – RC14-1501

**SEMUR BRIDGE DESIGN WITH DIAGONAL
STEEL BOX ARCH BRIDGE AS ICON OF
PANGKAL PINANG CITY**

RIZQI ALGHIFFARY
NRP. 0311174000005

Academic Supervisor
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Planning, Environmental, and Geo Engineering
(CIVPLAN)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PERANCANGAN JEMBRAN SEMUJUR DENGAN
JEMBRAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI
ICON KOTA PANGKAL PINANG**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

RIZQI ALGHIFFARY

NRP. 0311174000005

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.



SURABAYA, FEBRUARI 2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL PINANG

Nama Mahasiswa : Rizqi Alghiffary
NRP : 0311174000005
Departemen : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

ABSTRAK

Dalam era globalisasi saat ini, transportasi merupakan bagian penting dalam kehidupan bermasyarakat. Salah satu struktur yang dapat menunjang transportasi adalah Jembatan. Untuk memenuhi dan menunjang kebutuhan transportasi, Pemerintah Kota Pangkal Pinang akan merencanakan pembangunan Jembatan Semujur. Jembatan ini diharapkan menjadi jembatan penghubung baru untuk memangkas waktu perjalanan di Kota Pangkal Pinang.

Jembatan Semujur dengan lebar 20 meter dengan panjang total 100 meter direncanakan menggunakan jembatan busur baja karena jembatan busur dapat mengurangi momen lentur pada jembatan (Martin, B.T, 2016). Jembatan semujur menggunakan penampang box girder karena jembatan busur dengan penampang box baja dinilai lebih ekonomis serta mempunyai kekuatan lentur dan kekakuan torsi yang lebih tinggi (Chen, Wai-Fah, 2014). Jembatan Semujur juga akan didesain dengan busur diagonal. Dengan desain konstruksi yang baru diharapkan menjadi jembatan yang kuat secara struktur, baik terhadap beban gempa maupun beban dinamis jembatan.

Dari analisa yang dilakukan, didapatkan struktur sekunder pada perencanaan ini terdiri atas pelat lantai kendaraan dengan tebal 0,25 m dan aspal dengan tebal 0,05 m, gelagar memanjang

WF 600x300x14x23, gelagar melintang GIRDER 1500x400x30x30, tie beam BOX GIRDER2500x2000x40x40, dan Kabel penggantung Macalloy 520 (M100) dengan diameter 97 mm.

Untuk permodelan struktur utama jembatan busur menggunakan Program Bantu MIDAS. Didapatkan penampang busur profil BOXGIRDER2500x4000x40x40, perletakan yang digunakan untuk Penampang Busur menggunakan perletakan sendi dan untuk Lantai Kendaraan menggunakan perletakan sendi dan rol serta struktur bawah pada Penampang Busur menggunakan pilecap 18 m x 18 m dengan tebal 1,5 m, dan bored pile diameter 1,2 m kedalaman 22 m sebanyak 36 buah.

Kata-kata kunci: Jembatan Busur Baja Diagonal, Girder, Kabel Penggantung, Box Girder.

SEMUJUR BRIDGE DESIGN WITH DIAGONAL STEEL BOX ARCH BRIDGE AS ICON OF PANGKAL PINANG CITY

Student Name : Rizqi Alghiffary

NRP : 0311174000005

Department : Teknik Sipil FTSPK-ITS

Academic Supervisor: Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

ABSTRACT

In the current era of globalization, transportation is an important part of social life. One of the structures that can support transportation is a bridge. To meet and support transportation needs, the Government of Pangkal Pinang will plan the construction of the Semujur Bridge. This bridge is expected to become a new connecting bridge to reduce travel time in Pangkal Pinang City.

The Semujur Bridge with a width of 20 meters with a total length of 100 meters is planned to use a steel arc bridge because the arc bridge can reduce the bending moment on the bridge (Martin, B.T, 2016). The longitudinal bridge uses a box girder section because the arc bridge with a box steel section is more economical and has higher bending strength and torsional stiffness (Chen, Wai-Fah, 2014). The Semujur Bridge will also be designed with a diagonal arc. With the new construction design, it is expected to be a structurally strong bridge, both against earthquake loads and dynamic loads of the bridge.

From the analysis, it was found that the secondary structure in this plan consisted of a vehicle floor plate with a thickness of 0.25 m and asphalt with a thickness of 0.05 m, a longitudinal girder WF 600x300x14x23, transverse girder GIRDER1500x400x30x30,

tie beam BOX GIRDER 2500x2000x40x40, and hanger Macalloy 520 (M100) with a diameter of 97 mm.

For modeling the main structure of the arch bridge using the MIDAS Support Program. Arch section of the BOX GIRDER profile is obtained 2500x4000x40x40, the placement used for the Arch Section uses joint and for Vehicle Floors using joint and rol and the lower structure of the Arch Section using pilecap 18 m x 18 m with a thickness of 1.5 m, and a bored pile of 1.2 diameter. depth of 22 m as many as 36 pieces.

Key words: Diagonal Steel Arch Bridge, Girder, Hanger, Box Girder.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas anugrah, rahmat serta hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini membahas mengenai *“Perancangan Jembatan Semujur dengan Jembatan Busur Box Baja Diagonal sebagai Icon Kota Pangkal Pinang”*. Tugas Akhir ini terselesaikan dengan tepat waktu tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang telak banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada penulis, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga sebagai penyemangat terbesar bagi penulis dan telah banyak memberikan dukungan baik moril maupun materi terutama doa dan perhatian selama kuliah
2. Bapak Dr. Ir. Djoko Irawan, MS. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, petunjuk dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Anak Agung Gde Kartika, ST, M.Sc, selaku dosen wali yang selalu memberikan arahan, petunjuk dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini dan selama perkuliahan sejak dari awal kuliah.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pengajar departemen Teknik Sipil FTSPK ITS yang juga selalu mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Teman-teman Angkatan 2017, S60 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang selalu mendukung serta semua pihak yang telah membantu dan menyemangati saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan oleh karena itu penulis selalu terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi kelengkapan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat

bagi penulis, pembaca, dan semua pihak yang mempelajari tugas akhir ini.

Surabaya, 21 Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Jembatan Busur	5
2.2.1. Lantai Kendaran (<i>Deck Girder</i>)	6
2.2.2. Batang Lengkung (<i>Arch Bridge</i>).....	7
2.2.3. Penggantung (<i>Hanger</i>).....	11
2.2.4. Pemilihan Bentuk Jembatan Busur	14
2.3. Sambungan.....	16
2.3.2. Sambungan Las	16
2.3.3. Sambungan Baut.....	18
2.4. Perletakan (<i>Bearings</i>)	19
2.5. Struktur Bawah Jembatan	22
2.5.1. Kepala Jembatan (<i>Abutment</i>)	22
2.5.2. Pilar Jembatan (<i>Pier</i>)	22
2.5.3. Pondasi	22
BAB III METODOLOGI	25
3.1. Urutan Pekerjaan	25
3.2. Pengumpulan Data.....	28
3.3. Studi Literatur.....	29
3.4. Preliminary Design	30

3.4.1.	Tebal Pelat Lantai Kendaraan	30
3.4.2.	Dimensi Jembatan Busur	30
3.5.	Pembebanan Jembatan.....	32
3.5.1.	Beban Permanen	32
3.5.2.	Beban Lalu Lintas.....	33
3.5.3.	Beban Lingkungan.....	38
3.6.	Perencanaan Struktur Atas Jembatan	43
3.6.1.	Lantai Kendaraan.....	43
3.6.2.	Gelagar Memanjang.....	43
3.6.3.	Gelagar Melintang	44
3.7.	Analisa Struktur dan Penentuan Dimensi	44
3.8.	Kontrol Stabilitas.....	45
3.8.1.	Kontrol Kapasitas Tekan	45
3.8.2.	Kontrol Kapasitas Tarik.....	45
3.8.3.	Kontrol Tekuk Local.....	46
3.8.4.	Kontrol Tekuk Lateral	47
3.8.5.	Kontrol Kapasitas Geser	47
3.8.6.	Kontrol Interaksi.....	48
3.8.7.	Kontrol Lendutan.....	48
3.9.	Kontrol Dinamis	49
3.9.1.	Frekuensi Alami	49
3.9.2.	Efek Pusaran Angin (<i>Vortex-Shedding</i>).....	49
3.9.3.	Efek Ayunan (<i>Flutter</i>)	52
3.10.	Perencanaan Sambungan Struktur	56
3.10.1.	Sambungan Baut.....	56
3.10.2.	Sambungan Las.....	57
3.11.	Perencanaan Kabel	59
3.11.1.	Perencanaan Struktur Bawah Jembatan	59
3.11.2.	Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal	59
3.11.3.	Daya Dukung Gaya Lateral Pondasi Tiang Pancang	61
3.11.4.	Daya Dukung Pondasi Tiang Grup	67
3.12.	Penggambaran Hasil Desain Jembatan	68
3.13.	Jadwal Kegiatan.....	68

BAB IV PRELIMINARY DESIGN	69
4.1. Data Perencanaan	69
4.1.1. Data Umum Jembatan.....	69
4.1.2. Data Penampang Sungai	71
4.2. Preliminary Design	71
4.2.1. Pelat Lantai	71
4.2.2. Lebar Jembatan.....	71
4.2.3. Tinggi Jembatan	71
4.2.4. Tinggi Tampang Busur	72
4.2.5. Panjang Panel	72
4.3. Perencanaan Pelat Lantai	72
4.3.1. Perencanaan Tebal Lantai	72
4.3.2. Pembebanan Pelat Lantai	73
4.3.3. Perhitungan Momen Pelat Lantai.....	76
4.3.4. Perencanaan Penulangan Pelat Lantai.....	77
4.3.5. Kontrol terhadap Kekuatan Geser Pons	80
4.4. Perencanaan Gelagar Memanjang.....	81
4.4.1. Data Perencanaan Gelagar Memanjang	81
4.4.2. Pembebanan Gelagar Memanjang	82
4.4.3. Kontrol Kekuatan Profil terhadap Momen dan Geser	87
4.5. Perencanaan Gelagar Melintang	92
4.5.1. Data Perencanaan Gelagar Melintang	92
4.5.2. Pembebanan Gelagar Melintang	93
4.5.3. Kontrol Profil.....	101
4.5.4. Perhitungan Shear Connector	110
4.6. Perencanaan Ikatan Angin	111
4.6.1. Perhitungan Beban Angin pada Struktur.....	111
4.6.2. Perhitungan Ikatan Angin	114
4.6.3. Kontrol Profil Ikatan Angin.....	115
4.6.4. Kontrol Batang Tekan.....	118
4.7. Perencanaan Tie Beam Box Girder.....	119
4.7.1. Beban Tie Beam Box Girder.....	121
4.7.2. Analisa Kuat Aksial.....	121
4.7.3. Analisa Kuat Geser	123

4.7.4.	Analisa Kuat Lentur.....	124
4.7.5.	Kontrol Interaksi.....	126
4.7.6.	Analisa Kuat Torsi.....	126
4.7.7.	Perencanaan Stiffener (Diafragma).....	127
4.8.	Perencanaan Kabel Penggantung.....	129
4.8.1.	Pembebanan Kabel Penggantung.....	129
4.8.2.	Kontrol Kekuatan Kabel Penggantung.....	133
BAB V PEMODELAN STRUKTUR JEMBATAN		135
5.1.	Pembebanan Jembatan.....	135
5.1.1.	Kombinasi Pembebanan	135
5.1.2.	Beban Mati	135
5.1.3.	Beban Angin.....	137
5.1.4.	Beban Hidup.....	137
5.1.5.	Beban Gempa	139
5.2.	Pemodelan Jembatan	140
5.2.1.	Hasil Analisa Struktur Beban Tie Beam akibat Beban Kombinasi	140
5.2.2.	Hasil Analisa Struktur Beban Busur akibat Beban Kombinasi	141
5.3.	Kontrol Busur, dan Kabel Penggantung.....	141
5.3.1.	Perencanaan Busur Box Girder.....	141
5.3.2.	Perencanaan Kabel Penggantung	151
5.4.	Kontrol Lendutan.....	155
5.4.1.	Lendutan Ijin	155
5.4.2.	Lendutan akibat Beban Hidup Lajur “D”.....	155
5.4.3.	Lendutan akibat Beban Hidup Truk “T”	156
5.5.	Perilaku Aerodinamis	157
5.5.1.	Frekuensi Alami	158
5.5.2.	Efek Pusaran Angin (<i>Vortex-Shedding</i>).....	158
5.5.3.	Efek Ayunan (<i>Flutter</i>)	162
BAB VI SAMBUNGAN DAN PERLETAKAN		165
6.1.	Perencanaan Sambungan	165
6.1.1.	Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang	165
6.1.2.	Sambungan Gelagar Melintang ke Box Girder .	167

6.1.3.	Sambungan Ikatan Angin.....	169
6.1.4.	Sambungan Tie Beam Box Girder	172
6.1.5.	Sambungan Kabel Penggantung	175
6.1.6.	Sambungan Busur Box Girder	176
6.2.	Perencanaan Perletakan	179
6.2.1.	Perencanaan Perletakan Lantai Kendaraan	179
6.2.2.	Perencanaan Perletakan Sendi untuk Busur	186
BAB VII STRUKTUR BANGUNAN BAWAH.....		191
7.1.	Analisis Daya Dukung Tanah	191
7.1.1.	Data Tanah Jembatan.....	191
7.1.2.	Daya Dukung Tanah	192
7.2.	Pilecap untuk Busur.....	193
7.2.1.	Data Pilecap Busur	194
7.2.2.	Pembebanan pada Abutment Busur	194
7.2.3.	Kontrol Stabilitas Abutment Busur	205
7.2.4.	Perencanaan Tiang Pancang Abutment Busur ..	208
BAB VIII PENUTUP		221
8.1.	Kesimpulan.....	221
8.2.	Saran.....	222
DAFTAR PUSTAKA		223
LAMPIRAN.....		225

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe-Tipe Baut berdasarkan Diameter dan Kekuatan .	19
Tabel 2.2 Tipe dan Arah Reaksi Pot Bearing	21
Tabel 3.1 Berat Jenis Material untuk Beban Mati	32
Tabel 3.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	33
Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	33
Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban lajur “D”	34
Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban “T”	35
Tabel 3.6 Faktor Kepadatan Lajur	37
Tabel 3.7 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal	39
Tabel 3.8 Sifat Bahan Rata-Rata akibat Pengaruh Temperatur...	39
Tabel 3.9 Nilai $V_{odan} Z_0$ untuk Kondisi Permukaan Hulu	40
Tabel 3.10 Tekanan Angin Dasar	41
Tabel 3.11 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan	42
Tabel 3.12 Pratarik Baut Minimum dalam Satuan kN.....	57
Tabel 3.13 Ukuran Minimum Las Sudut	58
Tabel 3.14 Koefisien Karakteristik Tanah	60
Tabel 3.15 Nilai Koefisien α	60
Tabel 3.16 Nilai Koefisien β	61
Tabel 3.17 Detail Penjadwalan Kegiatan.....	68
Tabel 4.1 Kecepatan dan Gesekan Angin menurut SNI 1725:2016	112
Tabel 4.2 Tekanan Angin Dasar	113
Tabel 4.3 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan	114
Tabel 5.1 Kontrol Gaya Kabel Kasus 1	152
Tabel 5.2 Kontrol Gaya Kabel Kasus 2	153
Tabel 5.3 Kontrol Gaya Kabel Kasus 3	154
Tabel 5.4 Kontrol Gaya Kabel Kasus 4	155
Tabel 5.5 Frekuensi Alami MIDAS	157
Tabel 6.1 Muller Breslaw	181
Tabel 7.1 Berat Sendiri Struktur Atas.....	194
Tabel 7.2 Berat Sendiri Pilecap	195
Tabel 7.3 Perhitungan Tekanan Tanah Aktif	198

Tabel 7.4 Beban Tekanan Tanah Aktif	198
Tabel 7.5 Periode 0,2 Detik F_a	200
Tabel 7.6 Periode 1 Detik F_v	200
Tabel 7.7 Kinerja Seismik	200
Tabel 7.8 Faktor Modifikasi Respon	201
Tabel 7.9 Distribusi Gempa Arah X	204
Tabel 7.10 Distribusi Gempa Arah Y	204

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lantai kendaraan Jenis Deck Arch.....	6
Gambar 2.2 Lantai Kendaraan Jenis Through Arch.....	6
Gambar 2.3 Lantai Kendaraan Jenis A Half - Through Arch	7
Gambar 2.4 Struktur 3 Sendi	8
Gambar 2.5 Struktur 2 Sendi	8
Gambar 2.6 Struktur Jepit	9
Gambar 2.7 Jenis-Jenis Batang Lengkung.....	9
Gambar 2.8 Hanger Vertikal	12
Gambar 2.9 Hanger Diagonal (Nielsen)	12
Gambar 2.10 Hanger Bersilangan (Network)	12
Gambar 2.11 Kabel dengan Susunan Strand Paralel.....	13
Gambar 2.12 Kabel dengan Susunan Strand Spiral	14
Gambar 2.13 Panjang Bentang untuk Tiap Jenis Jembatan	15
Gambar 2.14 Las Tumpul.....	17
Gambar 2.15 Las Sudut.....	17
Gambar 2.16 Las Baji dan Pasak.....	18
Gambar 2.17 Detail Baut.....	19
Gambar 2.18 Fixed Pot Bearing	20
Gambar 2.19 Guided Pot Bearing.....	21
Gambar 2.20 Free Pot Bearing	21
Gambar 3.1 Tampak Atas Jembatan	28
Gambar 3.2 Tampak Samping Jembatan	29
Gambar 3.3 Preliminary Design Jembatan Busur	30
Gambar 3.4 Ilustrasi untuk Beban Lajur “D”	35
Gambar 3.5 Besar dan Ilustrasi Beban Truk “T”	36
Gambar 3.6 Faktor Beban Dinamis	36
Gambar 3.7 Koefisien C berdasarkan Penampang Deck	50
Gambar 3.8 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Amplitudo	51
Gambar 3.9 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Percepatan Getaran.....	52
Gambar 3.10 Ilustrasi Efek Ayunan	52
Gambar 3.11 Perhitungan Flotter Metode Kloppel.....	53
Gambar 3.12 Koreksi Kecepatan η	55
Gambar 3.13 Kondisi 1	62

Gambar 3.14 Kondisi 2	62
Gambar 3.15 Kondisi 3	63
Gambar 3.16 Koefisien Variasi (f)	64
Gambar 3.17 Koefisien Defleksi (fp) dan Koefisien Momen (fm) Kondisi 1	65
Gambar 3.18 Koefisien Defleksi (fp) Kondisi 2	65
Gambar 3.19 Koefisien Momen (fm) Kondisi 2	66
Gambar 3.20 Koefisien Defleksi (fp) Kondisi 3	66
Gambar 3.21 Koefisien Momen (fm) Kondisi 3	67
Gambar 4.1 Tampak Atas Jembatan	69
Gambar 4.2 Tampak Samping Jembatan	70
Gambar 4.3 Grafik Faktor Beban Dinamis	75
Gambar 4.4 Perhitungan Momen Pelat Lantai	76
Gambar 4.5 Spesifikasi Bondeks yang Digunakan	78
Gambar 4.6 Ilustrasi Geser Ponds pada Pelat	80
Gambar 4.7 Tampak Potongan Melintang	82
Gambar 4.8 Tampak Potongan Memanjang	82
Gambar 4.9 Grafik Faktor Beban Dinamis	85
Gambar 4.10 Ilustrasi Beban Lajur “D”	85
Gambar 4.11 Ilustrasi Beban Truk “T”	86
Gambar 4.12 Ilustrasi Beban Mati Sesudah Komposit	95
Gambar 4.13 Ilustrasi Beban Lajur “D”	96
Gambar 4.14 Grafik Faktor Beban Dinamis	97
Gambar 4.15 Ilustrasi Pembebanan BTR, BGT dan TP	98
Gambar 4.16 Ilustrasi Beban Truk Kondisi 1	99
Gambar 4.17 Ilustrasi Beban Truk Kondisi 2	100
Gambar 4.18 Ilustrasi Beban Truk Kondisi 3	100
Gambar 4.19 Ilustrasi Lendutan dengan Metode Integrasi Ganda	106
Gambar 4.20 Ilustrasi Lendutan akibat Beban Truk	109
Gambar 4.21 Pemasangan Shear Connector	111
Gambar 4.22 Ilustrasi Beban Angin pada Ikatan Angin	114
Gambar 4.23 Profil Box Girder Tie Beam	120
Gambar 4.24 Parameter Penampang Tie Beam	120
Gambar 4.25 Kabel Penggantung Macalloy 520	129

Gambar 4.26 Grafik Faktor Beban Dinamis	132
Gambar 5.1 Grafik Faktor Beban Dinamis	138
Gambar 5.2 Respon Spektrum Gempa Kota Pangkal Pinang ...	140
Gambar 5.3 Pemodelan Jembatan pada MIDAS	140
Gambar 5.4 Profil Box Girder Busur.....	141
Gambar 5.5 Parameter Penampang Busur	142
Gambar 5.6 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 1.....	152
Gambar 5.7 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 2.....	152
Gambar 5.8 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 3.....	153
Gambar 5.9 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 4.....	154
Gambar 5.10 Lendutan akibat Beban Lajur “D” BGT.....	156
Gambar 5.11 Lendutan akibat Beban Lajur “D” BTR.....	156
Gambar 5.12 Lendutan akibat Beban Truk “T”	156
Gambar 5.13 Macam-macam Penampang Deck.....	159
Gambar 5.14 Nilai Koefisien CN	159
Gambar 5.15 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Amplitudo	161
Gambar 5.16 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Percepatan Getaran.....	162
Gambar 5.17 Perhitungan Flotter Metode Kloppel.....	163
Gambar 5.18 Koreksi Kecepatan	164
Gambar 6.1 Perletakan Lantai Kendaraan	179
Gambar 6.2 Perletakan Sendi untuk Lantai Kendaraan	184
Gambar 6.3 Perletakan Rol untuk Lantai Kendaraan.....	186
Gambar 6.4 Perletakan Sendi untuk Busur	189
Gambar 7.1 Data Tanah.....	191
Gambar 7.2 Pilecap untuk Busur Jembatan	193
Gambar 7.3 Respons Spektrum Kota Pangkal Pinang	201
Gambar 7.4 Konfigurasi Tiang Pancang Pilecap Busur.....	209
Gambar 7.5 Koefisien Variasi (f)	212
Gambar 7.6 Koefisien Defleksi ($f\delta$)	213
Gambar 7.7 Koefisien Moment (fm)	213

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam era globalisasi saat ini, transportasi merupakan bagian penting dalam kehidupan bermasyarakat. Sebagian besar aspek kehidupan masyarakat saat ini membutuhkan kegiatan transportasi. Menurut KBBI, transportasi dapat diartikan sebagai kegiatan pengangkutan atau pemindahan manusia atau barang oleh berbagai jenis kendaraan dengan kemajuan teknologi dari suatu tempat ke tempat lainnya. Untuk menunjang hal tersebut, aspek utama yang menunjang proses transportasi adalah prasarana, seperti jalan, jembatan, dan lain-lain. Transportasi sebagai sektor penting selalu membutuhkan pembaharuan guna terus meningkatkan pelayanan keselamatan, keamanan, dan kenyamanan transportasi bagi para penggunanya (Sumadi, Budi Karya, 2018).

Jembatan merupakan struktur yang dibangun untuk menyeberangi atau melewati suatu rintangan yang lebih rendah, seperti selat, sungai, rel kereta api, maupun jalan raya. Jembatan memiliki variasi bentuk desain, material, dan fungsi yang beragam (Struyk, H.J dan Veen, Van Der, 1995). Dengan meningkatnya aktifitas manusia serta memenuhi dan menunjang kebutuhan transportasi, Pemerintah Kota Pangkal Pinang akan merencanakan pembangunan Jembatan Semujur.

Selain untuk menjadi jembatan iconic dan arsitektural di Kota Pangkal Pinang, Jembatan Semujur dianggap strategis karena dapat memangkas waktu perjalanan dan menjadi jembatan penghubung baru di Kota Pangkal Pinang. Pemerintah Kota Pangkal Pinang merencanakan pembangunan Jembatan Semujur bertujuan untuk memajukan daerah di sekitar jembatan yang kurang berkembang dan tertinggal, serta Pemerintah Kota Pangkal Pinang ingin menjadikan daerah tersebut menjadi daerah wisata.

Jembatan Semujur dengan lebar 20 meter dengan panjang total 100 meter direncanakan menggunakan jembatan busur baja

karena jembatan busur dapat mengurangi momen lentur pada jembatan jika dibandingkan dengan jembatan gelagar biasa (Martin, B.T, 2016).

Menurut Namin (2012), jembatan busur baja yang efektif untuk bentang 100 meter menggunakan penampang box baja karena jembatan busur dengan penampang box baja dinilai lebih ekonomis serta mempunyai kekuatan lentur dan kekakuan torsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penampang rangka. Selain itu dari segi arsitektural jembatan busur dengan penampang box baja memiliki nilai lebih tinggi dan dapat menjadi jembatan iconic. (Chen, Wai-Fah, 2014).

Dengan memperhatikan kondisi tanah dasar dan sungai pada Sungai Semujur, perencanaan jembatan busur akan menggunakan lantai kendaraan di bawah. Jembatan Semujur juga akan didesain dengan busur diagonal. Dengan desain konstruksi yang baru diharapkan menjadi jembatan yang kuat secara struktur, baik terhadap beban gempa maupun beban dinamis jembatan.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

- Bagaimana menentukan gambar layout awal struktur jembatan?
- Bagaimana menentukan *Preliminary Design* penampang elemen struktur jembatan?
- Bagaimana menentukan profil yang akan digunakan pada struktur atas jembatan?
- Bagaimana menentukan pembebanan pada jembatan busur?
- Bagaimana memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan software SAP2000 atau MIDAS?
- Bagaimana menentukan struktur bawah jembatan?
- Bagaimana menuangkan hasil bentuk desain dan analisis ke dalam bentuk gambar teknik?

1.3. Tujuan

Dengan rumusan masalah tersebut, tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Menentukan gambar layout awal struktur jembatan
- Menentukan *Preliminary Design* penampang elemen struktur jembatan
- Menentukan profil yang akan digunakan pada struktur atas jembatan
- Menentukan pembebanan pada jembatan busur
- Memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan software SAP2000 atau MIDAS
- Menentukan struktur bawah jembatan
- Menuangkan hasil bentuk desain dan analisis ke dalam bentuk gambar Teknik

1.4. Batasan Masalah

Untuk menghindari adanya penyimpangan pembahasan dalam tugas akhir ini, maka dibuatlah batasan masalah dalam perencanaan. Adapun batasan masalah-masalah yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Tidak merencanakan desain jalan pendekat (approach road)
- Tidak merencanakan tebal perkerasan dan desain jalan
- Tidak menghitung aspek ekonomis dari biaya dan waktu konstruksi jembatan
- Tidak merencanakan metode pelaksanaan di lapangan

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Sebagai solusi untuk menyeberangi sungai di Kota Pangkal Pinang
- Sebagai bahan rekomendasi terkait pembangunan jembatan tersebut
- Sebagai alternative perencanaan jembatan dengan konstruksi jembatan busur diagonal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Jembatan merupakan konstruksi yang berguna untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini dapat berbentuk jalan di atas air atau jalan lalu lintas biasa) Jembatan terdiri atas bagian bawah (substruktur) dan bagian atas (superstruktur). Bagian bawah jembatan memikul atau mendukung bagian atas dan meneruskan beban bagian atas beserta beban lalu lintasnya kepada tanah dasar. Jenis jembatan yang sering digunakan ialah jembatan busur (Struyk, H.J dan Veen, Van Der, 1995).

Jembatan Semujur merupakan jembatan yang direncanakan menggunakan metode busur diagonal dengan box baja dengan tipe lantai kendaraan di bawah (*Through Arch*). Pada perancangan jembatan Semujur ini diperlukan tinjauan khusus terhadap jembatan busur box baja.

2.2. Jembatan Busur

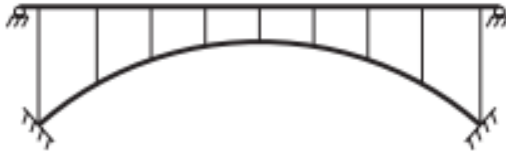
Secara umum, jembatan busur merupakan jembatan lengkung setengah lingkaran dengan abutmen di kedua sisi jembatan. Jembatan busur adalah jembatan yang termasuk jembatan yang baik kontruksi, karena konstruksi busur adalah kontruksi yang dapat memberikan reaksi horizontal akibat beban vertical yang bekerja dan hal tersebut dapat mengurangi momen lentur pada jembatan lebih efisien bila dibandingkan dengan gelagar parallel (Victor, D. Johnson, 1980).

Jembatan busur terdiri dari 3 bagian utama, lantai kendaraan (*deck girder*), penggantung (*hanger*), dan batang lengkung (*arch bridge*). Hubungan ketiga komponen tersebut dapat menghasilkan jembatan yang kuat (Victor, D. Johnson, 1980).

2.2.1. Lantai Kendaraan (*Deck Girder*)

Berdasarkan letak lantai kendaraan, jembatan busur dapat diklasifikasikan seperti pada Gambar 2.1, 2.2, dan 2.3:

- Deck Arch



Gambar 2.1 Lantai kendaraan Jenis Deck Arch

(Sumber : W.-F. Chen & Duan, 2014)

Jenis jembatan busur dengan letak lantai kendaraan di atas yang berfungsi menopang beban lalu lintas secara langsung dan berada pada bagian paling atas busur. Jenis jembatan ini sering digunakan dan paling ideal untuk melintasi lembah dengan jenis tanah batuan pada dindingnya (W.-F. Chen & Duan, 2014).

- Through Arch



Gambar 2.2 Lantai Kendaraan Jenis Through Arch

(Sumber : W.-F. Chen & Duan, 2014)

Jenis jembatan busur dengan lantai kendaraan di bawah atau letak kendaraan berada tepat di springline busur. Jenis jembatan busur ini dapat mengurangi gaya dorong horizontal yang diterima oleh pelengkung dan mendistribusikan menuju

girder jembatan. Oleh karena itu dapat mengakibatkan pondasi jembatan lebih kecil. (W.-F. Chen & Duan, 2014).

- A Half – Through Arch



Gambar 2.3 Lantai Kendaraan Jenis A Half - Through Arch

(Sumber : W.-F. Chen & Duan, 2014)

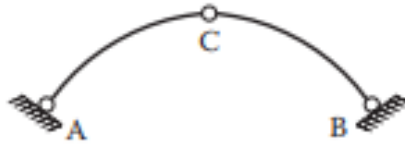
Jenis jembatan busur dengan lantai kendaraan di tengah atau letak lantai kendaraan berada di antara springline dan berada tengah-tengah busur jembatan. Jenis jembatan busur ini merupakan jenis yang memiliki kerja lebih baik dibandingkan dengan jenis lainnya (W.-F. Chen & Duan, 2014).

2.2.2. Batang Lengkung (*Arch Bridge*)

Berdasarkan batang lengkungnya, jembatan busur dapat diklasifikasikan seperti pada Gambar 2.4, 2.5, 2.6:

- Struktur 3 Sendi

Struktur ini merupakan struktur jembatan busur dengan perletakan 3 sendi. Struktur ini dimungkinkan terjadi rotasi pada 2 titik di ujung busur dan 1 titik di puncak busur. Struktur ini dapat diselesaikan dengan metode statis tertentu. Pada struktur yang menggunakan perletakan sendi, beban-beban dapat diminimalkan karena dapat membuat jembatan lebih fleksibel (W.-F. Chen & Duan, 2014).



Gambar 2.4 Struktur 3 Sendi

(Sumber : W.-F. Chen & Duan, 2014)

- Struktur 2 Sendi

Struktur ini merupakan struktur jembatan busur dengan perletakan 2 sendi. Struktur ini hanya dimungkinkan rotasi terjadi di ujung busur saja. Struktur ini dapat diselesaikan dengan metode statis tak tentu dengan 2 derajat kebebasan (*Degree of Freedom*). Untuk jembatan dengan perletakan sendi biasanya jembatan busurnya tebal di tengah karena hanya terdapat komponen gaya horizontal dan vertical di perletakannya (W.-F. Chen & Duan, 2014).



Gambar 2.5 Struktur 2 Sendi

(Sumber : W.-F. Chen & Duan, 2014)

- Struktur Jepit

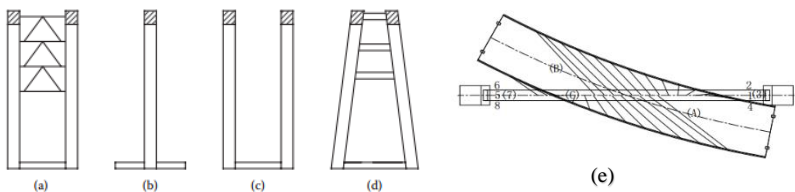
Struktur dengan perletakan jepit tidak memungkinkan untuk mengalami rotasi. Struktur ini dapat diselesaikan dengan metode statis tak tentu dengan 3 derajat kebebasan (*Degree of Freedom*). Untuk jembatan dengan perletakan jepit biasanya jembatan busurnya tebal di ujung-ujung dekat perletakan karena terdapat gaya momen pada perletakannya (W.-F. Chen & Duan, 2014).



Gambar 2.6 Struktur Jepit

Sumber : W.-F. Chen & Duan, 2014

Batang lengkung dari jembatan busur pada umumnya jika dilihat dari arah transversal terdiri dari 2 busur parallel yang diletakkan masing-masing pada sisi jembatan. Namun pada kenyataannya, banyak jembatan modern yang memodifikasi bentuk tersebut agar dapat menambah nilai estetika dari jembatan tersebut (W.-F. Chen & Duan, 2014). Jenis-jenis batang lengkung dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Jenis-Jenis Batang Lengkung

(Sumber : W.-F. Chen & Duan, 2014 dan Wang, 2011)

Terdapat beberapa jenis batang lengkung dari jembatan busur yang telah dibangun saat ini, berikut merupakan jenis-jenis batang lengkung dari jembatan busur :

- a. Batang Paralel
- b. Batang Tunggal
- c. Batang Paralel Terbuka
- d. Batang Non-Paralel
- e. Batang Diagonal

Jembatan busur yang sering dibangun adalah jembatan dengan batang paralel. Namun untuk jembatan through or a half through, terdapat beberapa jembatan dibangun dengan batang tunggal atau sebagai batang parallel terbuka tanpa bracing. Dalam beberapa contoh, jembatan busur harus memiliki kekakuan yang cukup atau meningkatkan stabilitas lateral dengan menggunakan hanger yang kaku dengan lantai kendaraan untuk membentuk setengah kerangka dalam arah transversal. Terdapat juga jembatan busur yang dibangun dimiringkan kedalam yang disebut batang non-paralel (W.-F. Chen & Duan, 2014). Selain itu, juga terdapat jembatan busur special yaitu dengan busur diagonal. Jembatan ini sangat langka karena dibutuhkan analisis gaya lebih kompleks (Peng et al., 2011).

Batang Lengkung (*Arch Bridge*) dapat menggunakan beberapa jenis penampang. Menurut Brockenbrough & Merritt, 2006, penampang batang lengkung yang sering digunakan adalah Plate Girder, Box Girder, dan Rangka Batang.

- Plate Girder

Plate girder merupakan baja berbentuk seperti huruf I dengan penampang *build-up* sesuai dengan yang diinginkan. Kekuatan lentur dari plate girder dapat ditambahkan dengan cara memberi pelat sebagai *cover* di sayap dari plate girder. Plate girder memberikan kebebasan dalam desain dan dapat menghasilkan dimensi sayap dan badan dari plate girder yang

proporsional. Kekuatan geser dan lentur pada plate girder dapat diperkuat dengan cara menggunakan pengaku transversal maupun longitudinal (W.-F. Chen & Duan, 2014). Jika dibandingkan dengan Box Girder, untuk bentang jembatan yang kecil, Plate Girder lebih efektif dibandingkan dengan Box Girder (Brockenbrough & Merritt, 2006).

- Box Girder

Box girder merupakan penampang baja buatan dengan bentuk kotak berongga. Kotak dari box girder biasanya berbentuk persegi panjang atau trapesium. Jika dibandingkan dengan Plate Girder, Box Girder dapat mendistribusikan beban secara efektif dan juga dengan pengembangan teknologi pengelasan Box Girder dapat menahan gaya lentur dan gaya torsi lebih besar (W.-F. Chen & Duan, 2014).

- Rangka Batang

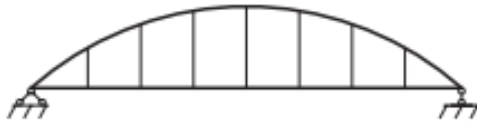
Penampang busur dengan rangka batang lebih efektif apabila digunakan pada jembatan lebih dari 200 m. Penampang rangka batang memiliki kelebihan yaitu sangat mudah untuk dilakukan mobilisasi dan metode pelaksanaan dari jembatan (W.-F. Chen & Duan, 2014). Dengan variasi bentuk rangka batang seperti Vierendeel, membuat penampang busur dengan rangka batang menarik karena sistem pengakunya yang baik (Brockenbrough & Merritt, 2006).

2.2.3. Penggantung (*Hanger*)

Batang penggantung (*Hanger*) berfungsi untuk menyalurkan beban dari lantai kendaraan (*Deck Girder*) ke struktur pemikul utama yaitu batang lengkung (*Arch Bridge*). *Hanger* pada umumnya dapat menggunakan kabel (*Wire*), baja profil bulat, atau baja profil rolled section (W.-F. Chen & Duan, 2014). Konfigurasi pemasangan batang penggantung yang sering digunakan adalah vertical, namun juga terdapat

bentuk lain seperti batang penggantung diagonal dan batang penggantung bersilangan (Pipinato, 2016). Konfigurasi batang penggantung (*Hanger*) seperti pada Gambar 2.8, 2.9, dan 2.10.

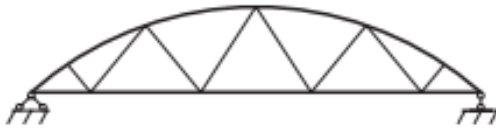
a. Hanger Vertikal



Gambar 2.8 Hanger Vertikal

(Sumber: W.-F. Chen & Duan, 2014)

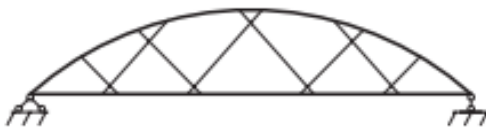
b. Hanger Diagonal (Nielsen)



Gambar 2.9 Hanger Diagonal (Nielsen)

(Sumber: W.-F. Chen & Duan, 2014)

c. Hanger Bersilangan (Network)



Gambar 2.10 Hanger Bersilangan (Network)

(Sumber: W.-F. Chen & Duan, 2014)

Batang penggantung diagonal dapat menghasilkan defleksi yang lebih kecil dan dapat mereduksi momen pada batang lengkung dan rantai kendaraan (Pipinato, 2016). Selain

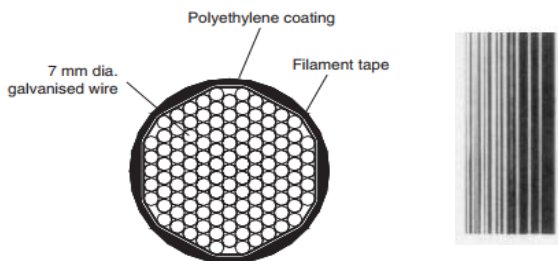
itu batang penggantung diagonal juga dapat mengurangi kecenderungan tekuk pada batang lengkung. Ketika masing-masing batang penggantung diagonal saling bertemu dengan yang lain lebih dari satu kali, batang penggantung itu disebut batang penggantung bersilangan (W.-F. Chen & Duan, 2014).

Batang penggantung dapat berupa kabel yang terbuat dari kawat baja yang ditarik dalam keadaan dingin. Sistem kabel untuk jembatan modern dirancang untuk bertahan selama 100 tahun lebih. Kabel diberi lapisan seng (Zn) sebagai lapisan pertama untuk perlindungan karat atau korosi dengan cara galvanisasi. Lapisan kedua dilakukan pembungkusan kabel dengan kawat galvanis. Lapisan yang terakhir dengan pembungkus pipa high-density polyethylene (HDPE) (Caetano, 2016).

Menurut Caetano, 2016, terdapat dua jenis kabel berdasarkan susunan kawat pada kabel yaitu:

- Kabel dengan Susunan Strand Parallel

Menurut Caetano, 2016, susunan parallel adalah susunan kawat pada kabel yang sering digunakan pada jembatan gantung. Strand parallel disusun sejajar dan mengelilingi inti. Susunan parallel berbentuk segi 6 dan berisi 19, 37, 61, 91, 127 strands seperti pada Gambar 2.11.

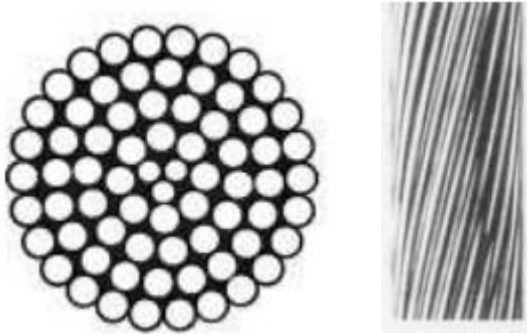


Gambar 2.11 Kabel dengan Susunan Strand Parallel

(Sumber : <https://www.civilengineeringx.com/structural-analysis/structural-steel/cables/>)

- Kabel dengan Susunan Strand Spiral

Menurut Caetano, 2016, susunan spiral adalah susunan kawat pada kabel yang sering digunakan pada batang penggantung jembatan busur dan jembatan kabel stay. Strand spiral disusun melilit dan mengelilingi inti kabel. Susunan spiral berbentuk segi 4 atau lingkaran dan berisi 6 baris atau lebih seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kabel dengan Susunan Strand Spiral

(Sumber : <https://www.civilengineeringx.com/structural-analysis/structural-steel/cables/>)

2.2.4. Pemilihan Bentuk Jembatan Busur

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

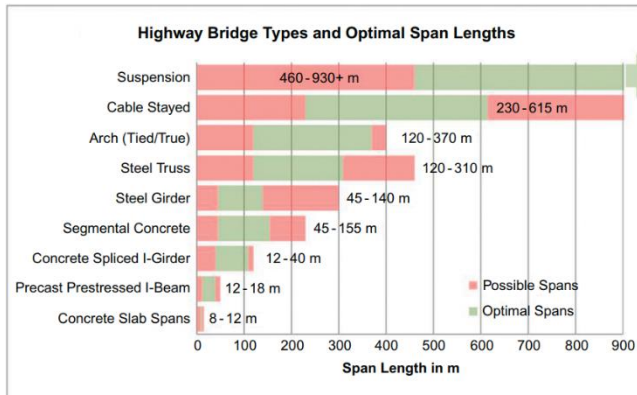
- Kondisi Tanah Dasar

Menurut Martin, 2016, situs yang paling cocok adalah lembah, dengan fondasi lengkung yang terletak di lereng batu kering. Bila kaki busur terendam, dapat dipasang lantai kendaraan ditengah atau dibawah. Bila tanah lunak, bisa dipasang batang tarik pada busur.

- **Beban Jembatan**

Menurut D. Johnson Victor, 1980, untuk beban jembatan dengan beban berat dapat menggunakan busur dengan penampang rangka. Namun apabila beban tidak terlalu berat, dapat digunakan busur dengan penampang plate girder atau box girder.

- **Panjang bentang**



Gambar 2.13 Panjang Bentang untuk Tiap Jenis Jembatan

(Sumber : Martin, 2016)

Menurut Martin, 2016, panjang bentang efektif untuk tiap jenis jembatan terdapat pada Gambar 2.13. Namun menurut D. Johnson Victor, 1980, untuk bentang 60 m sampai dengan 250 m, dapat digunakan busur dengan penampang plate girder atau box girder. Namun untuk bentang melebihi 250 m hingga 600 m, dapat digunakan busur dengan penampang rangka.

- **Estetika**

Menurut D. Johnson Victor, 1980, bentuk busur dapat menjadi jembatan yang paling sukses dari semua jenis jembatan. Rata-rata orang menganggap bentuk busur itu dapat

dimengerti dan ekspresif. Menurut Martin, 2016, bentuk melengkung hampir selalu menyenangkan. Busur dengan penampang tengah lebih kecil, menimbulkan kesan langsing. Busur dengan penampang box memberikan kesan tenang

2.3. Sambungan

Kuat rencana setiap komponen tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi syarat berikut:

- a. Gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan,
- b. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan,
- c. Sambungan dan komponen sambungan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

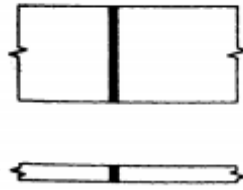
Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (Setiawan, 2008).

2.3.2. Sambungan Las

Sambungan las adalah sambungan dengan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan pemanasinya hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan juga dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi (Setiawan, 2008). Jenis-jenis las yang sering dijumpai seperti pada Gambar 2.14, 2.15, dan 2.16:

- Las Tumpul

Las tumpul (groove welds), lasini dipakai untuk menyambung batang-batang sebidang, karena las ini harus menyalurkan secara penuh beban yang bekerja, maka las ini harus memiliki kekuatan yang sama dengan batang yang disambunginya (Setiawan, 2008). Bentuk las tumpul seperti pada Gambar 2.14.

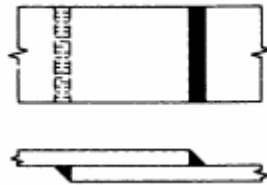


Gambar 2.14 Las Tumpul

(Sumber : Setiawan, 2008)

- Las Sudut

Las sudut (fillet welds), tipe las ini paling banyak dijumpai dibandingkan tipe las yang lain. Jenis las ini tidak memerlukan presisi tinggi dalam pengerjaannya (Setiawan, 2008). Bentuk las sudut seperti pada Gambar 2.15.

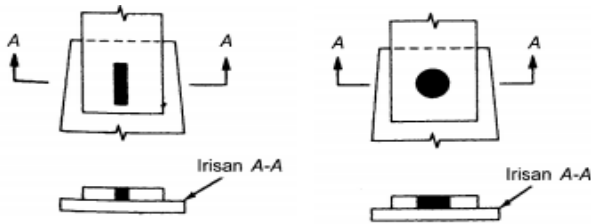


Gambar 2.15 Las Sudut

(Sumber : Setiawan, 2008)

- Las Baji dan Pasak

Las baji dan pasak (slot and plug welds), jenis las ini biasanya digunakan bersama-sama dengan las sudut. Manfaat lain dari las jenis ini adalah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukuran las terbatas panjang yang tersedia pada las sudut (Setiawan, 2008). Bentuk las baji dan pasak seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Las Baji dan Pasak

(Sumber : Setiawan, 2008)

2.3.3. Sambungan Baut

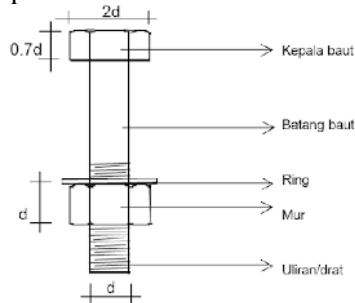
Sambungan baut adalah sambungan dengan alat sambung dengan batang bulat dan berulir yang disebut baut dan salah satu ujungnya dibentuk kepala (umumnya bentuk kepala segi enam) dan ujung lainnya dipasang mur/pengunci (Setiawan, 2008). Terdapat dua jenis baut yang biasa dipakai pada konstruksi baja:

1. Baut biasa yang dipakai pada struktur ringan yang menahan beban statis atau untuk menyambung batang-batang sekunder.
2. 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

Dua tipe dasar baut mutu tinggi yang distandarkan oleh ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut A325 terbuat dari baja karbon yang memiliki kuat leleh 560-630 MPa, sedangkan baut A490 terbuat dari baja alloy dengan kuat leleh 790-900 MPa, tergantung pada diameternya. Diameter baut mutu tinggi berkisar antara $\frac{1}{2}$ – $1\frac{1}{2}$ in (Setiawan, 2008).

Dalam pemasangan baut mutu tinggi memerlukan gaya tarik awal yang cukup yang diperoleh dari pengencangan awal. Gaya ini memberikan friksi sehingga cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja. Gaya ini disebut proof load. \

Proof load diperoleh dengan mengalikan luas daerah tegangan Tarik dengan kuat leleh (Setiawan, 2008). Detail baut dapat dilihat pada Gambar 2.17 dan mutu tinggi baut dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2.17 Detail Baut

(Sumber : Setiawan, 2008)

Tabel 2.1 Tipe-Tipe Baut berdasarkan Diameter dan Kekuatan

Tipe Baut	Diameter (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik Min. (MPa)
A307	6,35-104	-	60
A325	12,7-25,4	585	825
28,6-38,1	510	725	
A490	12,7-38,1	825	1035

(Sumber : Setiawan, 2008)

2.4. Perletakan (Bearings)

Perletakan pada jembatan dapat digunakan untuk menahan beban kendaraan dan beban dari lingkungan. Perletakan juga digunakan untuk menyalurkan beban dari struktur bagian atas ke struktur bagian bawah dan meneruskannya ke tanah (W. F. Chen & Duan, 2014).

Dalam memenuhi fungsi tersebut, perletakan harus dapat mengakomodasi pergerakan horizontal yang disebabkan oleh beban jembatan. Pergerakan pada perletakan harus dirancang sesuai dengan pergerakan yang diizinkan oleh perletakan (W. F. Chen & Duan, 2014). Menurut W. F. Chen & Duan, 2014, terdapat

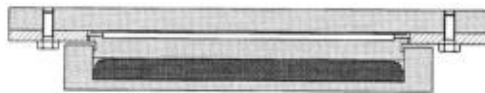
beberapa jenis perletakan yang digunakan untuk jembatan yaitu sebagai berikut:

1. Steel Elastomeric Bearings
2. Fabric Pad Bearings
3. Elastomeric Sliding Bearings
4. Pin Bearings
5. Rocker/Roller Bearings
6. Pot Bearings
7. Disc Bearings
8. Spherical Bearings
9. Seismic Isolation Bearings

Perletakan pada jembatan bentang panjang saat ini banyak menggunakan sistem perletakan *Pot Bearing*. *Pot Bearing* adalah perletakan yang mampu menahan beban vertical lebih besar dibandingkan dengan perletakan elastomer serta koefisien friksi yang cukup dengan deformasi yang cukup besar (Shiau & Wang, 2008). Menurut *Katalog Trelleborg E.S. Australia*, terdapat 3 jenis pot bearing yang diproduksi seperti pada Gambar 2.18, 2.19, dan 2.20 dan terdapat tabel arah dan reaksi pot bearing pada Tabel 2.2.

1. Fixed Pot Bearing

Tipe *fixed* merupakan perletakan yang berperilaku sebagai sendi, dapat menahan beban vertical dan horisontal.

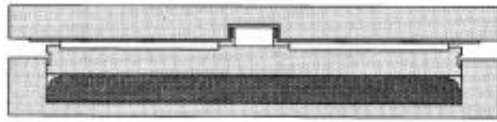


Gambar 2.18 Fixed Pot Bearing

(Sumber : *Katalog Trelleborg E.S. Australia*)

2. Guided Pot Bearing

Tipe *guided* merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertical serta gaya horisontal namun hanya dalam 1 arah (transversal atau longitudinal)

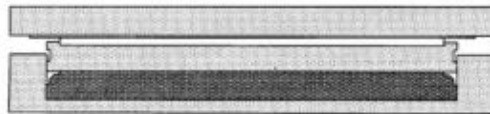


Gambar 2.19 Guided Pot Bearing

(Sumber : Katalog Trelleborg E.S. Australia)

3. Free Pot Bearing

Tipe *free* merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertikal, namun dapat bergerak bebas dalam arah horisontal, perilaku tipe ini menyerupai perletakan rol.



Gambar 2.20 Free Pot Bearing

(Sumber : Katalog Trelleborg E.S. Australia)

Tabel 2.2 Tipe dan Arah Reaksi Pot Bearing

Type	Id	Symbol	Reactions			Relative Movements									
			Loads			Displacement			Rotation						
			N	V _x	V _y	V _x	V _y	V _z	α _x	α _y	α _z				
Fixed	TF					None	None	None							
Longitudinally guided	TGe		N		V _y	Sliding	None	None				Limited	Deformation	Deformation	Deformation
Transversally guided	TGe		N	V _x		None	Sliding					Limited	Deformation	Deformation	Deformation
Free	TGa		N			Sliding	Sliding								

(Sumber : Katalog Trelleborg E.S. Australia)

2.5. Struktur Bawah Jembatan

2.5.1. Kepala Jembatan (*Abutment*)

Abutment terletak diujung dari sebuah jembatan. Selain meneruskan beban-beban dari struktur atas jembatan, *abutment* juga berfungsi sebagai penahan tanah. Umumnya, *abutment* dilengkapi dengan konstruksi dinding sayap (*wing wall*) yang berfungsi menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan (W. F. Chen & Duan, 2014).

2.5.2. Pilar Jembatan (*Pier*)

Berbeda dengan *abutment*, yang selalu ada di setiap jembatan, maka pilar belum tentu ada di suatu konstruksi jembatan. Pilar merupakan suatu struktur yang berfungsi untuk membagi bentang suatu jembatan dan meneruskan beban struktur atas kepada pondasi. Pada umumnya, pilar diletakkan ditengah bentang jembatan sehingga terkena pengaruh aliran sungai. Untuk menanggulangi masalah tersebut maka pada perencanaannya, direncanakan selain segi kekuatannya juga di lihat pula dari segi keamanannya (W. F. Chen & Duan, 2014).

2.5.3. Pondasi

Menurut Yulianti, 2014, pondasi adalah bagian struktur paling bawah dari sebuah bangunan yang tertanam kuat di dalam tanah dan memiliki fungsi sebagai penopang agar bangunan dapat berdiri kokoh. Terdapat beberapa persyaratan dasar pondasi,yaitu:

- a. Memiliki faktor keamanan (2 atau 3) agar aman terhadap kemungkinan keruntuhan geser.
- b. Bila terjadi penurunan pondasi (*settlement*), maka penurunan tersebut harus masih berada dalam batas-batas toleransi.

- c. *Differential settlement* (penurunan sebagian) tidak boleh menyebabkan kerusakan serius atau mempengaruhi struktur bangunan.

Menurut Yulianti, 2014, terdapat beberapa jenis pondasi yang dapat digunakan untuk menopang bangunan di atasnya. Berikut adalah jenis-jenis pondasi:

- Pondasi Dangkal

Menurut Alwalan, 2018, pondasi dangkal atau yang sering disebut sebagai pondasi sebaran atau hanya sebagai pijakan, dapat didefinisikan sebagai pondasi dengan rasio kedalaman dengan lebar efektif (D / B) berkisar antara 0,25 hingga 1,0 tetapi mungkin setinggi 2,5. Menurut Widodo, 2015, terdapat beberapa macam pondasi dangkal seperti:

1. Pondasi tapak setempat (*Individual Footing*)
2. Pondasi tapak gabungan (*Combine Footing*)
3. Pondasi tapak jalur (*Strip Footing*)
4. Pondasi lantai (*Rafi Foundation*)

- Pondasi Dalam

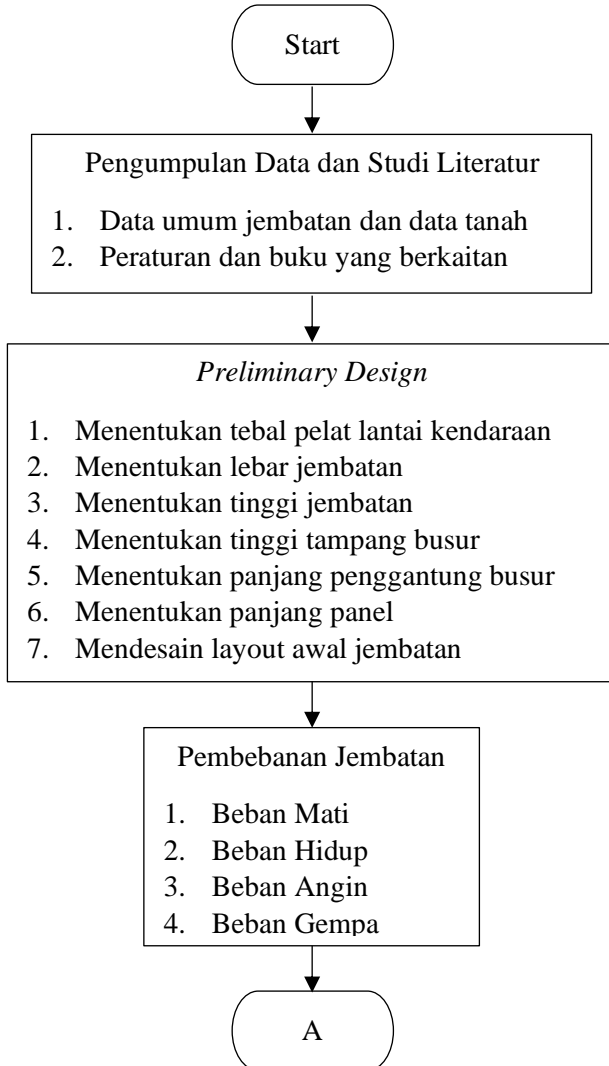
Menurut Toprak et al., 2018, pondasi dalam merupakan pondasi yang rasio kedalaman dengan lebar efektif lebih dari 2,5. Pondasi dalam digunakan apabila tanah dasar sebagai tempat perletakan pondasi tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk menahan beban yang bekerja. Terdapat beberapa jenis pondasi dalam, diantaranya yaitu :

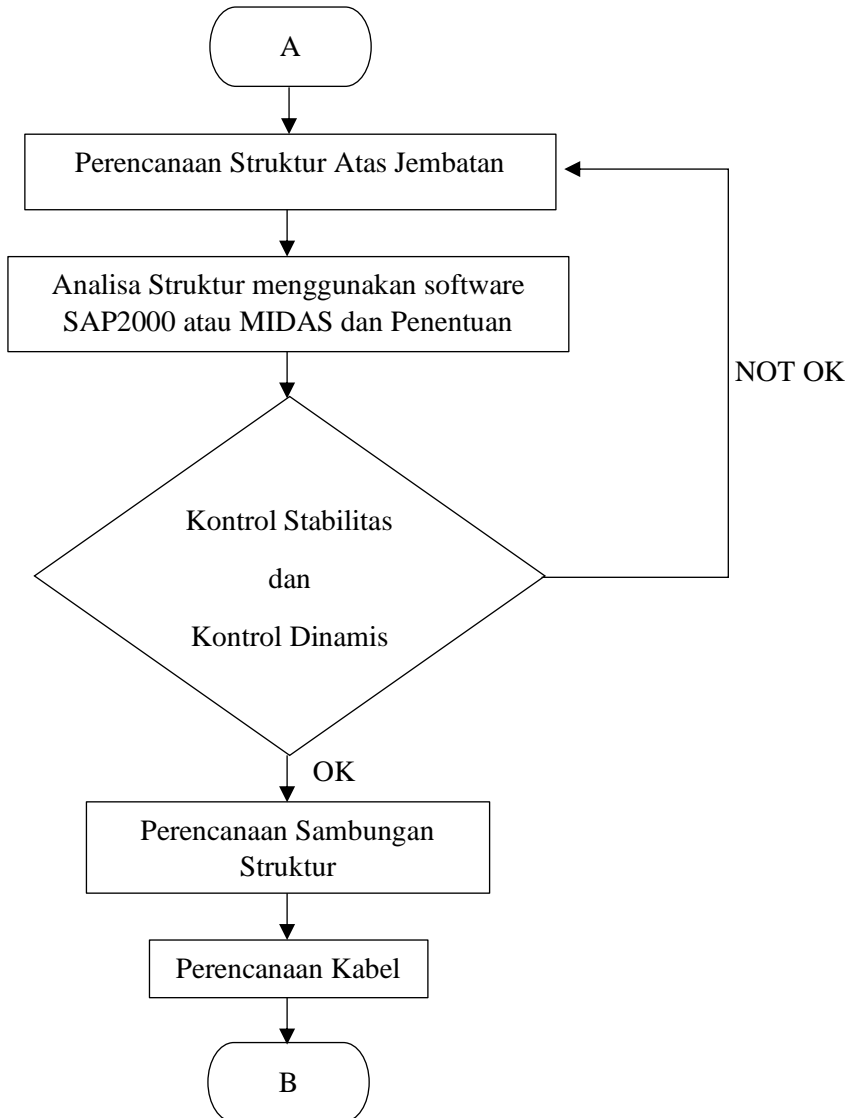
1. Pondasi tiang pancang (*Pile Foundation*), terdapat dua jenis pondasi tiang pancang, yaitu *Driven Pile* dan *Bored Pile*.
2. Pondasi sumuran
3. Pondasi kaisan (Toprak et al., 2018).

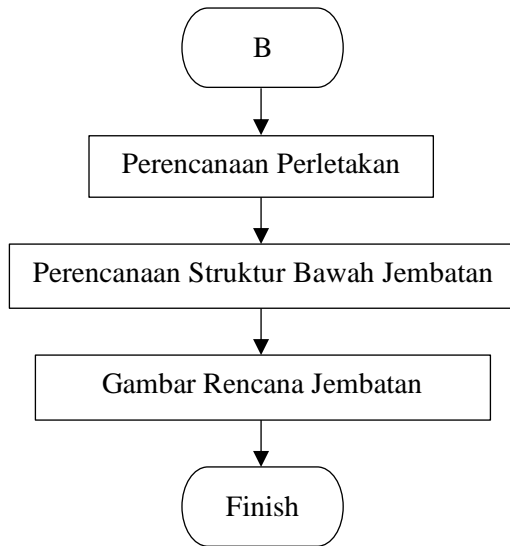
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1. Urutan Pekerjaan







3.2. Pengumpulan Data

Data umum jembatan dan data tanah di sekitar jembatan :

- Nama Jembatan : Jembatan Semujur
- Lokasi : Kota Pangkal Pinang
- Jenis Jembatan : Jembatan Busur Baja Diagonal
- Panjang Jembatan : 100 m
- Lebar Jembatan : 2 x 10 m
- Bangunan Bawah : 2 Abutment
- Zona Gempa : Zona Gempa Kota Pangkal Pinang
- Gambar rencana desain dan data tanah dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 3.1 Tampak Atas Jembatan



Gambar 3.2 Tampak Samping Jembatan

Perencanaan Jembatan Semujur menggunakan jembatan busur dengan batang lengkung diagonal dengan penampang box girder tipe kotak. Menurut Wang, 2011, penampang box girder tipe kotak lebih kuat menahan vertical displacement dan horizontal displacement. Jembatan Semujur direncanakan menggunakan batang lengkung diagonal jembatan busur dengan batang lengkung diagonal sangat langka dan special karena dibutuhkan analisis gaya lebih kompleks (Peng et al., 2011).

3.3. Studi Literatur

Literatur yang digunakan:

- Peraturan Pembebanan Jembatan SNI 1725:2016
- Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD
- Peraturan Struktur Baja SNI 1729:2015
- *Bridge Engineering Handbook*

3.4. Preliminary Design

Menurut W.-F. Chen & Duan, 2014, beberapa aspek untuk merencanakan dimensi jembatan busur adalah sebagai berikut :

3.4.1. Tebal Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , yang memenuhi kedua ketentuan berikut:

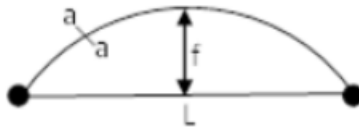
$$t_s \geq 200 \text{ mm dan } t_s \geq 100 + 40.L \text{ (mm)} \quad (3.1)$$

dimana:

L = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter)

3.4.2. Dimensi Jembatan Busur

Dimensi jembatan busur meliputi lebar jembatan, tinggi jembatan, tinggi tampang busur, panjang penggantung busur dan panjang panel sesuai dimensi pada Gambar 3.3:



Gambar 3.3 Preliminary Design Jembatan Busur

(Sumber: W.-F. Chen & Duan, 2014)

- Lebar Jembatan

Lebar jembatan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan 3.2:

$$\frac{b}{L} \leq \frac{1}{20} \quad (3.2)$$

dimana :

b = Lebar jembatan

L = Panjang jembatan

- Tinggi Jembatan

Tinggi jembatan (f) harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan 3.3:

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

dimana :

f = Tinggi jembatan

L = Panjang jembatan

- Tinggi Tampang Busur

Tinggi penampang busur menggunakan rangka baja, maka tinggi penampang busur harus memenuhi persyaratan sesuai Persamaan 3.4:

$$\frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \quad (3.4)$$

dimana :

t = Tinggi penampang busur jembatan

L = Panjang jembatan

- Panjang Penggantung Busur

Panjang penggantung busur ditentukan berdasarkan sumbu geometric busur sesuai Persamaan 3.5:

$$y_n = \frac{4fx(L-x)}{L^2} \quad (3.5)$$

dimana :

Y_n = Panjang penggantung busur

- Panjang Panel

Panjang Panel harus memenuhi persyaratan sesuai Persamaan 3.6:

$$\text{Panjang Panel} \leq \frac{1}{15} L \quad (3.6)$$

3.5. Pembebanan Jembatan

3.5.1. Beban Permanen

- Berat Jenis Material

Berat jenis material untuk beban mati didasarkan pada SNI 1725-2016 Pasal 7.1 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Berat Jenis Material untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (Bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
2	Besi tuang (Cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (Compacted Sand, Silt, or Clay)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (Asphalt concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (Low density)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton F'c < 35 MPa	22,0-25,0	2320
	Beton 35 < F'c < 105 MPa	22 + 0,022 F'c	2240 + 2,20 F'c
8	Baja (Steel)	78,5	7850
9	Kayu (Ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (Hard wood)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 2)

- Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri merupakan berat bagian atau elemen-elemen structural lain yang dipikul oleh jembatan ditambah dengan elemen non-structural yang dianggap tetap. Berat sendiri didasarkan pada SNI 1726-2016 Pasal 7.2. Factor beban untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 3)

- **Beban Mati Tambahan**

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban mati tambahan jembatan didasarkan pada SNI 1726-2016 Pasal 7.3. Factor beban untuk berat mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 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 Tabel 4)

3.5.2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

- Beban Lajur “D”

Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.3, beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban lajur “D”

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 12)

- Beban Terbagi Rata (BTR)

Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.3.1, beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L dapat dilihat pada Persamaan 3.7 dan 3.8:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9 \text{ kPa} \quad (3.7)$$

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

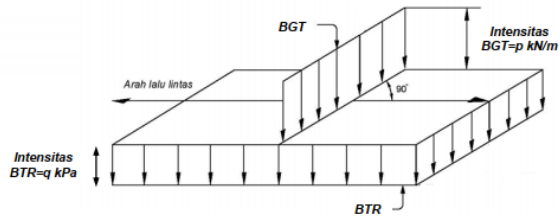
dimana:

q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

- Beban Garis Terpusat (BGT)

Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.3.1, beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Ilustrasi untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ilustrasi untuk Beban Lajur “D”

(Sumber : SNI 1725:2016 Gambar 24)

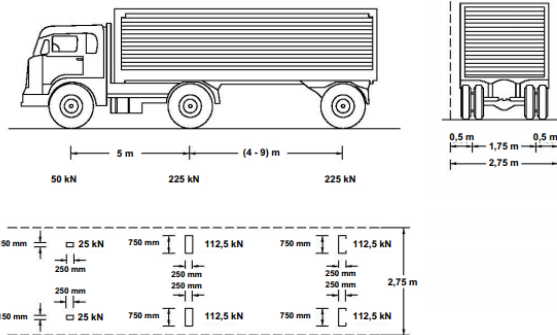
- Beban Truk “T”

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.4, beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” dapat dilihat pada Tabel 3.5. Ilustrasi beban truk “T” dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban “T”

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 13)

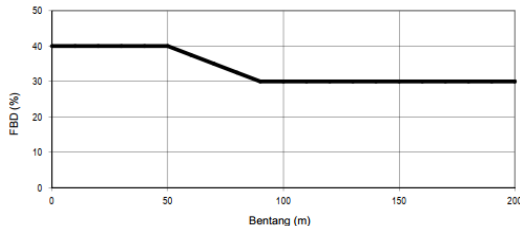


Gambar 3.5 Besar dan Ilustrasi Beban Truk "T"

(Sumber : SNI 1725:2016 Gambar 26)

- Faktor Beban Dinamis

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.6, besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. FBD untuk jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Faktor Beban Dinamis

(Sumber : SNI 1725:2016 Gambar 28)

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah.

- Gaya Rem (TB)

Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.7, gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada Tabel 3.6 berlaku untuk menghitung gaya rem.

Tabel 3.6 Faktor Kepadatan Lajur

Jumlah lajur yang dibebani	Faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥2	1

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 14)

- Pembebanan untuk pejalan kaki (TP)

Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.9, segala 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. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap

bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

3.5.3. Beban Lingkungan

- Beban Suhu

Menurut SNI 1726-2016 Pasal 9.3.1, deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.7. Perbedaan antara temperature minimum atau temperatur maksimum dengan temperature nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 3.7 harus digunakan sebagai $T_{min\ design}$ dan $T_{max\ design}$. Sifat bahan akibat temperature ditentukan dalam Tabel 3.8.

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (ΔT) harus berdasarkan temperature maksimum dan minimum yang didefinisikan berdasarkan Persamaan 3.9.

$$\Delta_T = \alpha L (T_{max\ design} - T_{min\ design}) \quad (3.9)$$

dimana :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

α adalah koefisien muai temperature (mm/mm/°C)

Tabel 3.7 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C

Catatan (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 18)

Tabel 3.8 Sifat Bahan Rata-Rata akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12×10^{-6} per °C	200000
Beton		
Kuat tekan <30 MPa	10×10^{-6} per °C	$4700^{\wedge}(F^{\wedge}c)$
Kuat tekan >30 MPa	11×10^{-6} per °C	$4700^{\wedge}(F^{\wedge}c)$

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 19)

- **Beban Angin**

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan 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. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus diperhitungkan menggunakan Persamaan 3.10.

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \quad (3.10)$$

dimana :

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

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10 m diatas permukaan tanah atau permukaan air rencana (km/jam)

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90-126 (km/jam)

V_o = Kecepatan gesekan angin tergantung kondisi jembatan, ditentukan pada Tabel 3.9 (km/jam)

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau permukaan air dimana beban angin diperhitungkan (mm)

Z_o = Panjang gesekan di hulu jembatan, ditentukan pada Tabel 3.9 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan, dan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam

Tabel 3.9 Nilai V_o dan Z_o untuk Kondisi Permukaan Hulu

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 28)

- Beban Angin pada Struktur (EW_s)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan oleh ketentuan lain. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan 3.11.

$$P_D = P_B \cdot \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.11)$$

dimana :

P_D = Tekanan angin rencana (MPa) sesuai pada Tabel 3.10

Tabel 3.10 Tekanan Angin Dasar

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 29)

- Beban angin pada kendaraan (EW1)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.11 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 3.11 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut	Komponen Tegak Lurus	Komponen Sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0
15	1,28	0,18
30	1,2	0,35
45	0,96	0,47
60	0,5	0,55

(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 31)

- Beban Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan menggunakan Persamaan 3.12.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t \quad (3.12)$$

dimana :

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis

R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

3.6. Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Perencanaan struktur atas jembatan diperhitungkan berdasarkan pembebanan yang terdapat pada jembatan:

3.6.1. Lantai Kendaraan

- Beban Mati
 - Beban Pelat Beton

$$q_1 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{Beton} \times 1 \text{ m}$$
 - Beban Aspal

$$q_2 = \gamma_{MS}^U \text{Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{Aspal} \times 1 \text{ m}$$
 - Beban Trotoar

$$q_3 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Kerb} \times \gamma_{Beton} \times 1 \text{ m}$$
 - Beban Bondeks

$$q_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{Bondex} \times 1$$
- Beban Hidup
 - Beban Lajur “D”
 - Beban Truk “T”

3.6.2. Gelagar Memanjang

- Beban Mati
 - Beban Pelat Beton

$$q_1 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{Beton} \times B$$
 - Beban Aspal

$$q_2 = \gamma_{MS}^U \text{Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{Aspal} \times B$$
 - Beban Sendiri Profil Baja

$$q_3 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{WF}$$
 - Beban Bondex

$$q_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{Bondex} \times B$$
- Beban Hidup
 - Beban Lajur “D”
 - Beban Truk “T”

3.6.3. Gelagar Melintang

- Beban Mati
 - a. Sebelum Komposit
 - Beban Gelagar Memanjang

$$q_1 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times q_{WF} \times \frac{\lambda}{B}$$
 - Beban Pelat Beton

$$q_2 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{Beton} \times \lambda$$
 - Beban Sendiri Gelagar Melintang

$$q_3 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{WF}$$
 - Beban Bondex

$$q_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{Bondex} \times \lambda$$
 - Beban Pelaksanaan

$$q_5 = \gamma_{PL}^U \times 200 \text{ kg/m}$$
 - b. Sesudah Komposit
 - Beban Aspal

$$q_{D \text{ Aspal}} = \gamma_{MS}^U \text{Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{Aspal} \times \lambda$$
 - Beban Kerb

$$q_{D \text{ Kerb}} = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tinggi Beton} \times \gamma_{Beton} \times \lambda$$
- Beban Hidup
 - Beban Lajur "D"
 - Beban Truk "T"

3.7. Analisa Struktur dan Penentuan Dimensi

Analisa struktur pemikul utama yaitu busur jembatan menggunakan bantuan software SAP2000 atau MIDAS untuk mendapatkan gaya dalam dan kebutuhan dimensi profil. Untuk perencanaan menggunakan software SAP2000 yaitu perencanaan hanya dikerjakan dalam satu file.

Berbeda dengan software MIDAS, Software MIDAS dapat digunakan secara luas dalam lingkup konstruksi, rekayasa sipil, tanah, dan mekanik. Untuk perencanaan jembatan bentang

panjang, MIDAS memiliki aplikasi khusus yaitu MIDAS Civil, MIDAS Abutment, MIDAS Pier, dan MIDAS Deck. Software bantuan seperti SAP2000 ataupun MIDAS memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing tergantung dari pengguna.

3.8. Kontrol Stabilitas

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

3.8.1. Kontrol Kapasitas Tekan

Menurut SNI 1729-2015 Pasal E3, kontrol kapasitas tekan harus ditentukan sesuai Persamaan 3.13:

$$N_n = A_g F_{cr} \quad (3.13)$$

dimana :

A_g = Luas Penampang Utuh

F_{cr} = Tegangan Tekan Kritis

Tegangan Tekan Kritis, F_{cr} , ditentukan berdasarkan Persamaan 3.14 dan Persamaan 3.15:

- Bila $\frac{k_c \cdot L}{i} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \quad (3.14)$$

- Bila $\frac{k_c \cdot L}{i} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (3.15)$$

3.8.2. Kontrol Kapasitas Tarik

Menurut SNI 1729-2015 Pasal D2, kontrol kapasitas tarik harus ditentukan sesuai Persamaan 3.16:

$$P_n = F_y A_g \quad (3.16)$$

dimana:

F_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan

A_g = Luas bruto dari komponen struktur

Untuk kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik, terdapat pembatasan kelangsingan menurut SNI 1729-2015 Pasal D1 sesuai Persamaan 3.17.

$$\lambda_{max} = \frac{L}{i} \quad (3.17)$$

dimana :

- Untuk Struktur Primer : $\lambda_{max} < 240$
- Untuk Struktur Sekunder : $\lambda_{max} < 300$

3.8.3. Kontrol Tekuk Lokal

Menurut SNI 1729-2015 Pasal F2, kontrol tekuk lokal harus ditentukan sesuai Persamaan 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, dan 3.23:

- Penampang Kompak

$$\lambda = \frac{bf}{2.tf} \leq \lambda_p \quad (3.18)$$

$$M_n = M_p = Z_x F_y \quad (3.19)$$

- Penampang Tidak Kompak pada Pelat Sayap

$$\lambda_p < \lambda = \frac{bf}{2.tf} \leq \lambda_r \quad (3.20)$$

$$M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (3.21)$$

- Penampang Langsing pada Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2.tf} > \lambda_r \quad (3.22)$$

$$M_n = \frac{0,9 E_{kc} S_x}{\lambda^2} \quad (3.23)$$

dimana :

λ_p, λ_r = Harga batas penampang

3.8.4. Kontrol Tekuk Lateral

Menurut SNI 1729-2015 Pasal F4, kontrol tekuk lokal harus ditentukan sesuai Persamaan 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, dan 3.30:

- Bentang Pendek

$$L_b < L_p \quad (3.24)$$

$$M_n = M_p \leq 1,5 \cdot M_y \quad (3.25)$$

- Bentang Menengah

$$L_p < L_b < L_r \quad (3.26)$$

$$C_b = \frac{12,5.M_{Max}}{2,5.M_{Max}+3.M_a+4.M_b+3.M_c} \leq 2,3 \quad (3.27)$$

$$M_n = C_b \cdot \left[M_p - (M_p - M_r) \cdot \left(\frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right) \right] < M_p \quad (3.28)$$

- Bentang Panjang

$$L_b > L_r \quad (3.29)$$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (3.30)$$

dimana:

L_b = Jarak penahan lateral

L_p, L_r = Harga batas profil

$L_b < L_p \rightarrow$ Bentang Pendek

3.8.5. Kontrol Kapasitas Geser

Menurut SNI 1729-2015 Pasal G2, kontrol kapasitas geser harus ditentukan sesuai Persamaan 3.31.

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad (3.31)$$

Dengan syarat untuk C_v berdasarkan Persamaan 3.32, 3.33, 3.34.

- Pelat badan leleh (Plastis), bila : $\frac{h}{tw} \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$

$$C_v = 1 \quad (3.32)$$

- Pelat badan menekuk inelastis (Inelastis), bila

$$: 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{h}{tw} \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{\frac{h}{tw}} \quad (3.33)$$

- Pelat badan menekuk inelastis (Inelastis), bila : $\frac{h}{tw} \geq$

$$1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1,51 k_v E}{\left(\frac{h}{tw}\right)^2 F_y} \quad (3.33)$$

dimana :

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, \text{ jika tanpa pengaku transversal pelat}$$

$$\text{badan : } k_v = 5 \text{ dengan } \frac{h}{tw} \leq 260$$

3.8.6. Kontrol Interaksi

Menurut SNI 1729-2015 Pasal H1, kontrol interaksi harus ditentukan sesuai Persamaan 3.34:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{u1}}{\phi M_n} + \frac{M_{u2}}{\phi M_n} \right) \leq 1 \quad (3.34)$$

3.8.7. Kontrol Lendutan

Menurut SNI 1729-2002 Pasal 6.4.3, batas-batas lendutan harus ditentukan sesuai Persamaan 3.35 dan 3.36:

- Untuk balok pemikul dinding atau finishing yang getas

$$\Delta_{Ijin} = \frac{L}{3600} \quad (3.35)$$

- Untuk balok biasa

$$\Delta_{Ijin} = \frac{L}{240} \quad (3.36)$$

3.9. Kontrol Dinamis

Dalam jembatan bentang panjang, beban yang mempengaruhi kegagalan struktur adalah efek angin. Kontrol terhadap stabilitas aerodinamis pada jembatan busur perlu dilakukan, analisa stabilitas pada perencanaan akibat beban angin meliputi vortex shedding (tumpahan pusaran angin) dan flutter (efek ayunan).

3.9.1. Frekuensi Alami

Frekuensi balok (f_B) dan frekuensi alam akibat torsi (f_T) harus sesuai dengan persamaan Mathivat pada Persamaan 3.37

$$\frac{f_T}{f_B} \approx 2,5 \text{ (Mathivat)} \quad (3.37)$$

3.9.2. Efek Pusaran Angin (*Vortex-Shedding*)

Pada perhitungan efek pusaran angin, beberapa kecepatan angin akan mengakibatkan turbulensi atau pusaran angin (*Vortex-Shedding*) pada jembatan. Untuk mendapatkan kecepatan angin yang mengakibatkan pusaran angin dapat dihitung dari angka Strouhal dari suatu lantai kendaraan sebagai berikut:

$$V = \frac{f_B \cdot h}{s} \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.11)} \quad (3.38)$$

dimana:

V = Kecepatan angin (m/s)

f_B = Frekuensi balok (Hz)

h = Tinggi lantai kendaraan

s = Angka Strouhal

Dengan kecepatan angin tersebut, dilakukan pengecekan efek pusaran dengan angka Reynold (Re). Angka Reynold harus memenuhi persyaratan yaitu berkisar antara $10^5 - 10^7$ akibat kecepatan angin yang bekerja. Angka Reynold dapat diperhitungkan dengan Persamaan 3.39.

$$R_e = \frac{V \cdot B}{\bar{v}} \quad (3.39)$$

dimana:

V = Kecepatan angin (m/s)

B = Lebar lantai kendaraan (m)

\bar{v} = Viskositas kinematic udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$)

Dengan kecepatan angin tersebut akan menyebabkan gaya angkat (uplift) pada jembatan yang besarnya dapat dihitung dengan Persamaan 3.40.

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} C x h \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 - 7.13}) \quad (3.40)$$

dimana:

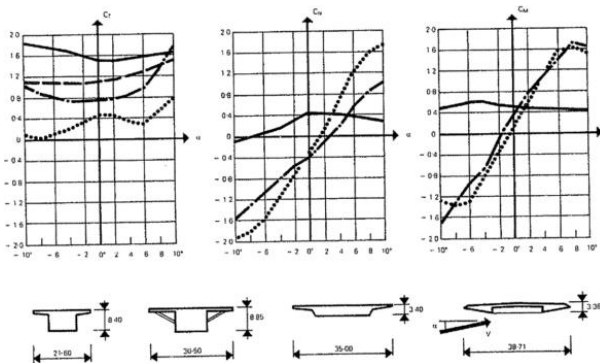
F_o = Gaya angkat

ρ = Berat volume udara

V = Kecepatan angin (m/s)

C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan dapat dilihat pada Gambar 3.7.

h = Tinggi lantai kendaraan (m)



Gambar 3.7 Koefisien C berdasarkan Penampang Deck

(Sumber : Walther et al., 1999)

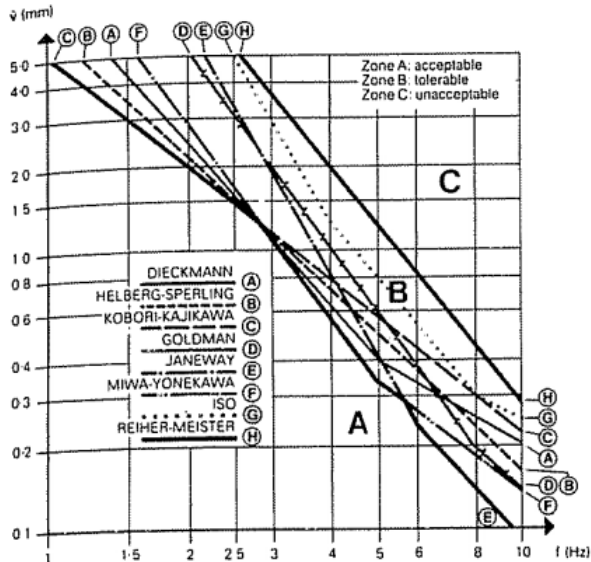
Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung dengan Persamaan 3.41.

$$\hat{v} = \frac{\pi F_o}{\delta m} v_{max} \quad (3.41)$$

Perhitungan dilanjutkan untuk mendapatkan nilai percepatan getaran yang dihasilkan dengan persamaan berikut:

$$\hat{v} = 4\pi^2 x f_B^2 x \hat{v} \quad (3.42)$$

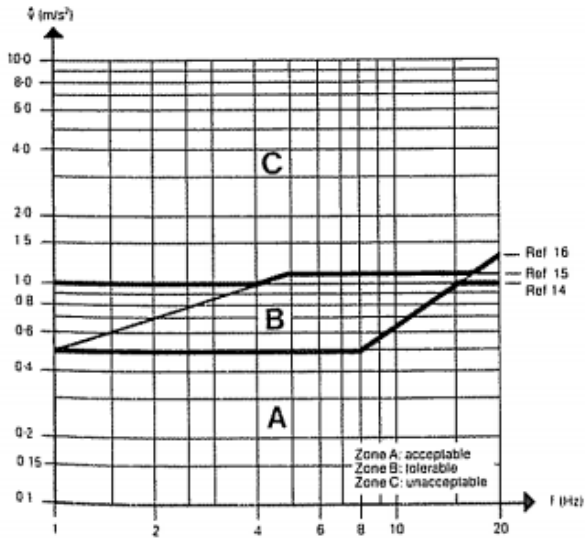
Digunakan f_B maka dapat diketahui klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (\hat{v}) dengan melakukan plot nilai \hat{v} dan f_B pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Amplitudo

(Sumber : Walther et al., 1999)

Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (\hat{v}) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai \hat{v} dan f_B pada Gambar 3.9.

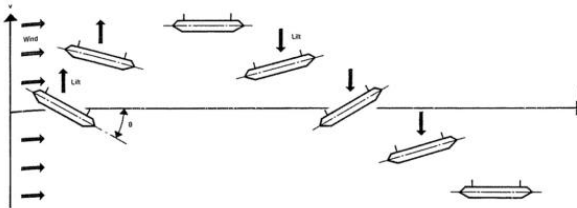


Gambar 3.9 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Percepatan Getaran

(Sumber : Walther et al., 1999)

3.9.3. Efek Ayunan (*Flutter*)

Efek ayunan pada kecepatan kritis (V_{kritis}) akan menimbulkan lenturan dan torsi. Ilustrasi rantai kendaraan yang mengalami efek ayunan dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Ilustrasi Efek Ayunan

(Sumber : Walther et al., 1999)

Hasil akhir perhitungan flutter adalah didapatkannya nilai kecepatan kritis actual struktur ($V_{kritis.aktual}$). Apabila nilai kritis actual struktur lebih besar dari nilai kecepatan angin rencana, maka struktur dinyatakan aman. Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis ($V_{kritis.teoritis}$), dapat digunakan metode Perhitungan flutter menggunakan metode Kloppel sesuai Persamaan 3.43

$$V_{kritis.teoritis} = 2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b \quad (3.43)$$

dimana :

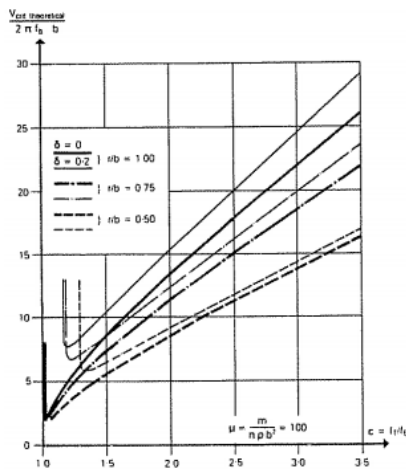
$b = 0,5$ lebar lantai kendaraan

Untuk mendapatkan nilai $V_{kritis.teoritis}$ menggunakan grafik pada Gambar 3.11 dengan menggunakan Persamaan 3.44, 3.45, dan 3.46.

$$1. \mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot \frac{b^2}{2}} \quad (3.44)$$

$$2. \frac{r}{b} \quad (3.45)$$

$$3. \frac{f_T}{f_B} \quad (3.46)$$

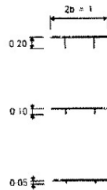
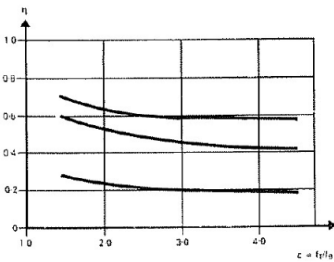
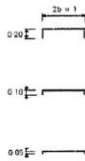
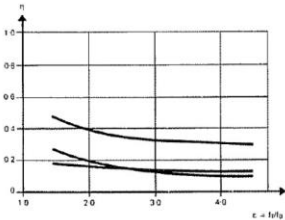
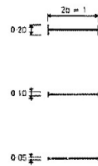
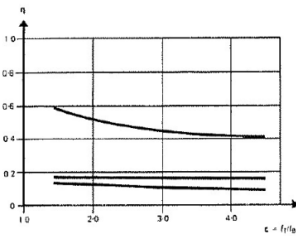
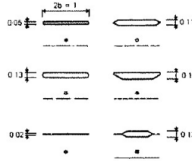
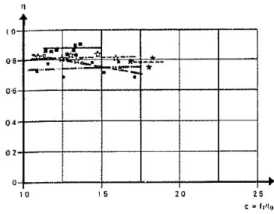


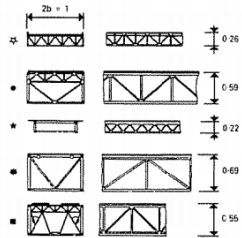
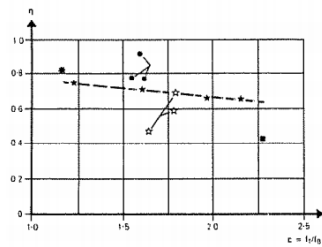
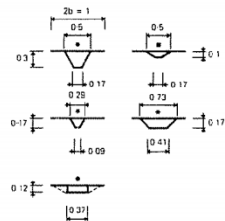
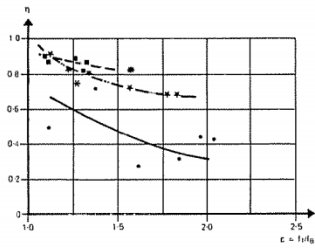
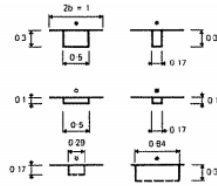
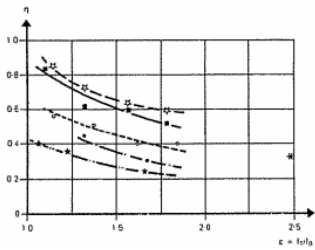
Gambar 3.11 Perhitungan Flotter Metode Kloppel

(Sumber : Walther et al., 1999)

Kecepatan kritis.teoritis dikoreksi menjadi kecepatan kritis.actual sesuai dengan Persamaan 3.47 menggunakan grafik pada Gambar 3.12. Pemilihan grafik berdasarkan penampang lantai kendaraan yang dipakai.

$$V_{kritis.aktual} = \frac{\eta(\alpha=\pm 6^0)}{\eta(\alpha=0^0)} V_{kritis.teoritis} \quad (3.47)$$





Gambar 3.12 Koreksi Kecepatan η
 (Sumber : Walther et al., 1999)

3.10. Perencanaan Sambungan Struktur

Sambungan pada struktur dapat menggunakan sambungan las ataupun sambungan baut sesuai SNI 1729-2015.

3.10.1. Sambungan Baut

Menurut SNI 1729-2015, sambungan baut harus dirancang menggunakan sambungan kritis-slip untuk mencegah slip dan untuk keadaan batas dari sambungan tipe tumpuan. Ketahanan sambungan baut sesuai dengan Persamaan 3.48:

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (3.48)$$

dimana :

μ = Koefisien slip rata-rata

- Kelas A, $\mu = 0,3$ (Permukaan Bersih / Licin)
- Kelas B, $\mu = 0,5$ (Permukaan pada Baja Blast-Cleaned / Kasar)

$D_u = 1,13$, suatu pengali yang mencerminkan rasio dari rata-rata pra-tarik baut terpasang terhadap pra-tarik baut minimum yang disyaratkan

T_b = Gaya tarik minimum sarana penyambung yang diberikan pada Tabel 3.12

h_f = Faktor pengisi,

- Bila tidak ada pengisi atau dimana baut telah ditambahkan untuk mendistribusikan beban pada pengisi, $h_f = 1,00$
- Bila baut tidak ditambahkan untuk mendistribusikan beban pada pengisi antara bagian tersambung, $h_f = 1,00$ (untuk satu pengisi) dan $h_f = 0,85$ (untuk dua atau lebih pengisi)

n_s = Jumlah bidang slip yang diperlukan

$$R_u \leq \phi R_n \quad (3.49)$$

dimana :

- Untuk lubang ukuran standar dan lubang slot-pendek yang tegak lurus terhadap arah dari beban, $\phi = 1$
- Untuk lubang ukuran berlebih dan lubang slot-pendek yang paralel terhadap arah dari beban, $\phi = 0,85$
- Untuk lubang slot-panjang, $\phi = 0,7$

Tabel 3.12 Pratarik Baut Minimum dalam Satuan kN

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

(Sumber : SNI 1729-2015 Tabel J3.1M)

Bila suatu sambungan kritis-slip menahan suatu gaya tarik yang diterapkan maka reduksi gaya penjepit neto, ketahanan slip yang tersedia per baut dari Persamaan 3.50, harus dikalikan dengan factor, k_{sc} , pada Persamaan 3.51.

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \quad (3.50)$$

$$R'_n = k_{sc} R_n \quad (3.51)$$

dimana :

T_u = Gaya tarik yang diperlukan menggunakan kombinasi beban

n_b = Jumlah baut yang menahan gaya tarik yang diterapkan

3.10.2. Sambungan Las

Menurut SNI 1729-2015, sambungan las harus dirancang menggunakan sambungan kritis-slip untuk mencegah slip dan untuk keadaan batas dari sambungan tipe tumpuan. Kekuatan sambungan las harus diambil nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan geser sesuai dengan Persamaan 3.52 dan kekuatan logam las yang ditentukan

menurut keadaan batas dari keruntuhan sesuai dengan Persamaan 3.53.

- Untuk logam dasar

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (3.52)$$

- Untuk logam las

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (3.53)$$

dimana :

F_{nBM} = Tegangan nominal dari logam dasar

F_{nw} = Tegangan nominal dari logam las

A_{BM} = Luas penampang logam dasar

A_{we} = Luas efektif las

Untuk ukuran minimum las sudut menurut SNI 1729-2015 Pasal J2.2b dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, mm	Ukuran Minimum Las Sudut, mm
Sampai dengan 6	3
Lebih besar 6 sampai dengan 13	5
Lebih besar 13 sampai dengan 19	6
Lebih besar dari 19	8

(Sumber : SNI 1729-2015 Tabel J2.4)

Untuk ukuran maksimum las sudut menurut SNI 1729-2015 Pasal J2.2b dari bagian-bagian yang tersambung yaitu:

1. Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, dan tidak lebih besar dari ketebalan material
2. Sepanjang tepi material dengan ketebalan 6 mm atau lebih dan tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm, kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh ketebalan throat-penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 2 mm bila ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

3.11. Perencanaan Kabel

Perencanaan kabel menggunakan beban yaitu 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). Penentuan jenis kabel sebagai penggantung menggunakan brosur kabel yang terdapat di pasaran.

3.11.1. Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

Merencanakan dimensi elemen struktur bawah jembatan yang mencakup *abutment* dan pondasi dengan data tanah yang telah tersedia. Perencanaan yang harus didapatkan meliputi:

3.11.2. Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Luciano Decourt. Luciano Decourt (1996) menyajikan metode perhitungan tiang pancang sesuai dengan Persamaan 3.54.

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3.54)$$

dimana:

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_P = Resistance ultimate di dasar pondasi

Q_S = Resistance ultimate akibat lekatan lateral

Perhitungan resistance ultimate di dasar pondasi sesuai dengan Persamaan 3.55.

$$Q_P = q_p \cdot A_P = \alpha \cdot N_p \cdot K \cdot A_P \quad (3.55)$$

dimana:

N_p = Harga rata-rata SPT di sekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi

$$N_p = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$$

B = Diameter pondasi

K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi sesuai Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Koefisien Karakteristik Tanah

Jenis Tanah	K (ton/m ²)
Lempung (Clay)	12
Lempung Berlanau (Silty Clay)	20
Pasir Berlanau (Silty Sand)	25
Pasir (Sand)	40

(Sumber : Wahyudi, Herman, 2013)

A_P = Luas penampang dasar tiang

q_P = Tegangan di ujung tiang

Perhitungan resistance akibat lekatan lateral sesuai dengan Persamaan 3.56.

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s \quad (3.56)$$

dimana:

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam $\frac{t}{m^2}$

N_s = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam

A_s = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

Nilai-nilai koefisien α dan β menurut Decourt et all (1996) dapat dilihat pada Tabel 3.15 dan 3.16.

Tabel 3.15 Nilai Koefisien α

Soil / Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Pile	Injected Pile (High Pressure)
Clay	1	0,85	0,85	0,3	0,85	1
Intermediate Soils	1	0,6	0,6	0,3	0,6	1
Sands	1	0,5	0,5	0,3	0,5	1

(Sumber : Wahyudi, Herman, 2013)

Tabel 3.16 Nilai Koefisien β

Soil / Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Pile	Injected Pile (High Pressure)
Clay	1	0,85	0,9	1	1,5	3
Intermediate Soils	1	0,6	0,75	1	1,5	3
Sands	1	0,5	0,6	1	1,5	3

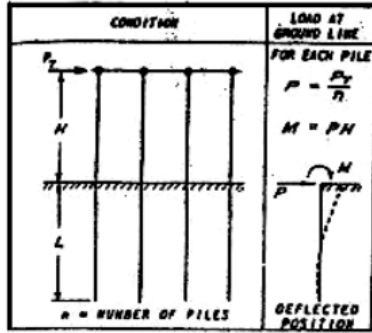
(Sumber : Wahyudi, Herman, 2013)

3.11.3. Daya Dukung Gaya Lateral Pondasi Tiang Pancang

Selain didesain mampu menahan gaya vertical, pondasi tiang pancang juga harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang bekerja padanya. Pada konstruksi jembatan, gaya lateral yang bekerja pada pondasi tiang pancang dapat berupa gaya gesek pada tumpuan bergerak, gaya rem, gaya gempa gaya akibat angin, gaya akibat arus dan gaya akibat tekanan tanah. Perumusan yang dipakai dalam perhitungan gaya lateral yang mampu diterima oleh pondasi tiang pancang dalam tulisan ini diambil dari NAFVAC DM-7 (1971).

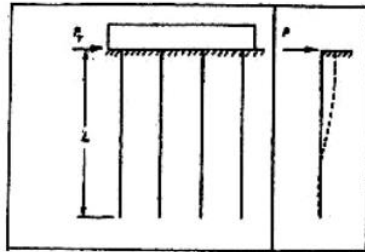
Menurut NAFVAC DM-7 (1971), gaya lateral yang bekerja pada pondasi tiang pancang dibedakan atas tiga kondisi sebagai berikut:

1. Tiang pancang yang poernya fleksibel atau tiang pancang yang terjepit diujungnya (Gambar 3.13).
2. Tiang pancang dengan poer kaku menempel diatas permukaan tanah (Gambar 3.14).
3. Tiang pancang dengan poer kaku terletak pada suatu ketinggian (Gambar 3.15).



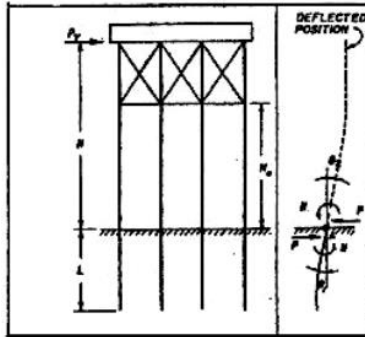
Gambar 3.13 Kondisi 1

(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)



Gambar 3.14 Kondisi 2

(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)



Gambar 3.15 Kondisi 3

(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)

Perhitungan untuk daya dukung gaya lateral pada tiang pancang adalah sebagai berikut:

- Faktor Kekuatan Relative (T)

Faktor kekuatan relative pada tiang pancang diperhitungkan sesuai dengan Persamaan 3.57.

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (3.57)$$

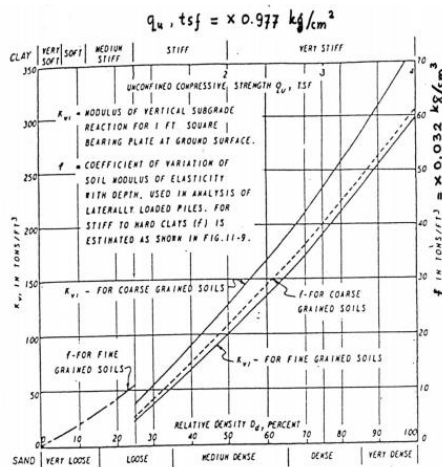
dimana :

T = Faktor Kekuatan Relative

E = Modulus Elastisitas Tiang Pancang

I = Momen Inersia Penampang Tiang Pancang

f = Koefisien Variasi (Didapatkan dari Gambar 3.16)



Gambar 3.16 Koefisien Variasi (f)

(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)

- Kekuatan Defleksi (δ_p) pada Tiang Pancang

Kekuaan defleksi pada tiang pancang diperhitungkan sesuai dengan Persamaan 3.58.

$$\delta_p = f_\delta \times \left(\frac{PT^3}{EI} \right) \quad (3.58)$$

dimana :

P = Beban Lateral untuk Satu Tiang Pancang

f_δ = Koefisien Defleksi berdasarkan Kondisi Tiang Pancang

- Kekuatan Momen (M_p) pada Tiang Pancang

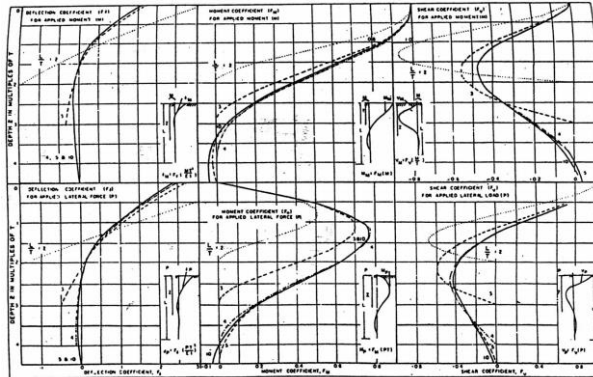
Kekuatan momen pada tiang pancang diperhitungkan sesuai dengan Persamaan 3.59.

$$M_p = f_m \times P \times T \quad (3.59)$$

dimana :

f_m = Koefisien Momen berdasarkan Kondisi Tiang Pancang

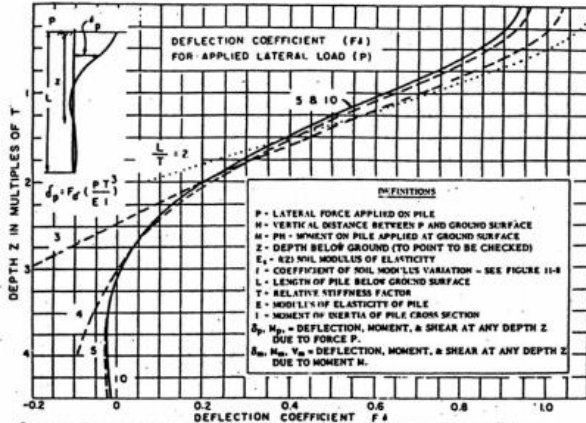
- Koefisien Defleksi dan Koefisien Momen pada Kondisi 1



Gambar 3.17 Koefisien Defleksi (f_p) dan Koefisien Momen (f_m) Kondisi 1

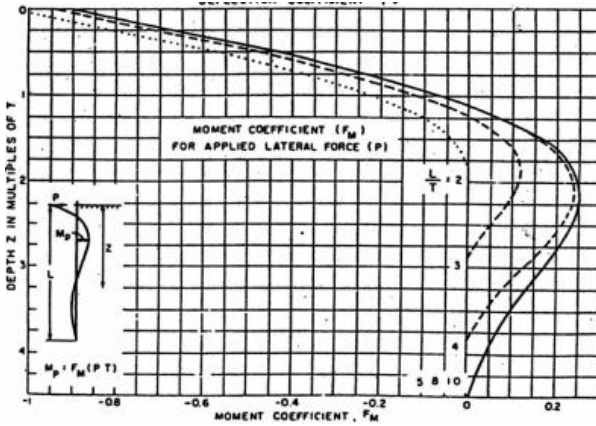
(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)

- Koefisien Defleksi dan Koefisien Momen pada Kondisi 2



Gambar 3.18 Koefisien Defleksi (f_p) Kondisi 2

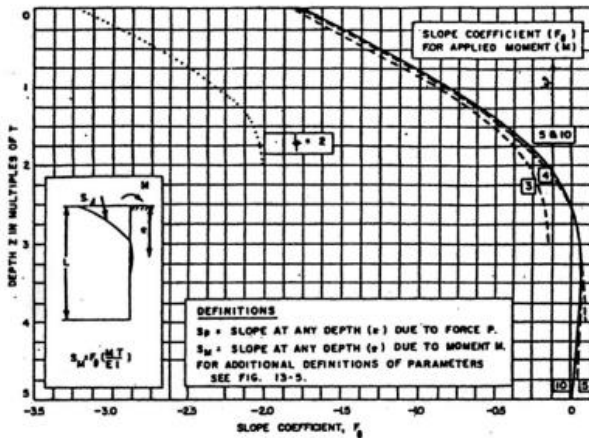
(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)



Gambar 3.19 Koefisien Momen (f_m) Kondisi 2

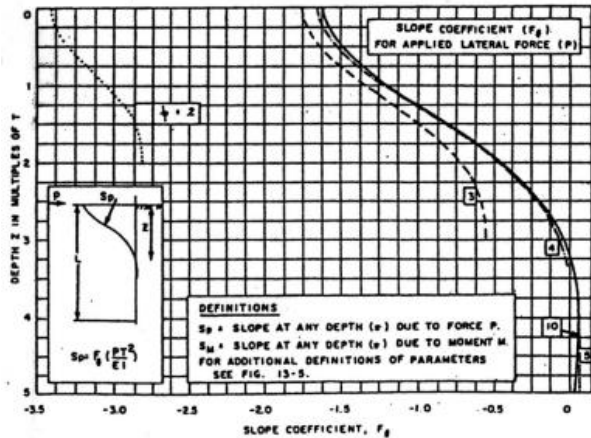
(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)

- Koefisien Defleksi dan Koefisien Momen pada Kondisi 3



Gambar 3.20 Koefisien Defleksi (f_p) Kondisi 3

(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)



Gambar 3.21 Koefisien Momen (f_m) Kondisi 3

(Sumber : NAFDAV DM-7, 1971)

3.11.4. Daya Dukung Pondasi Tiang Grup

Daya dukung group diperhitungkan apabila jarak as ke as antar tiang lebih dari 2 kali diameter dengan maksimal jarak as ke as kurang dari 3 kali diameter. Apabila jarak as ke as antar tiang lebih dari 3 kali diameter, maka group tiang pondasi tidak perlu diperhitungkan. Daya dukung group pondasi harus dikorelasi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi (C_e). Daya dukung group pondasi diperhitungkan sesuai Persamaan 3.60.

$$Q_L(\text{group}) = Q_L(1 \text{ tiang}) \times n \times C_e \quad (3.60)$$

dimana:

n = Jumlah Tiang dalam Group

Koefisien efisiensi menggunakan rumus Convera Labarre diperhitungkan sesuai Persamaan 3.61.

$$C_e = 1 - \left(\frac{\arctan \frac{D}{S}}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \right) \quad (3.61)$$

dimana :

D = Diameter Sebuah Tiang Pondasi

S = Jarak as ke as antar Tiang dalam Group

m = Jumlah Baris Tiang dalam Group

n = Jumlah Kolom Tiang dalam Group

3.12. Penggambaran Hasil Desain Jembatan

Penggambaran hasil desain Jembatan Semujur menggunakan program bantu AutoCAD.

3.13. Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan berisi rincian setiap kegiatan perencanaan yang dirupakan dalam satuan minggu. Rencana pengerjaan maksimal selama 16 minggu. Detail penjadwalan kegiatan dapat dilihat pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Detail Penjadwalan Kegiatan

Kegiatan	Minggu ke-															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Pengumpulan Data	■															
Preliminary Design	■	■														
Pembebanan		■	■	■												
Perencanaan Struktur Atas Jembatan			■	■	■											
Analisa Struktur dan Penentuan Dimensi			■	■	■	■										
Kontrol Stabilitas						■	■									
Perencanaan Sambungan Struktur								■	■							
Perencanaan Kabel										■	■					
Perencanaan Struktur Bawah Jembatan												■	■			
Penggambaran Hasil Desain Jembatan														■	■	■

BAB IV PRELIMINARY DESIGN

4.1. Data Perencanaan

4.1.1. Data Umum Jembatan

Data umum jembatan dan data tanah di sekitar jembatan:

- Nama Jembatan : Jembatan Semujur
- Lokasi : Kota Pangkal Pinang
- Jenis Jembatan : Jembatan Busur Baja Diagonal
- Panjang Jembatan : 100 m
- Lebar Jembatan : 2 x 10 m
- Bangunan Bawah : 2 Abutment
- Zona Gempa : Zona Gempa Kota Pangkal Pinang

Gambar tampak atas dan samping dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4.1 Tampak Atas Jembatan



Gambar 4.2 Tampak Samping Jembatan

Perencanaan Jembatan Semujur menggunakan jembatan busur dengan batang lengkung diagonal dengan penampang box girder tipe kotak. Menurut Wang, 2011, penampang box girder tipe kotak lebih kuat menahan vertical displacement dan horizontal displacement. Jembatan Semujur direncanakan menggunakan batang lengkung diagonal jembatan busur dengan batang lengkung diagonal sangat langka dan special karena dibutuhkan analisis gaya lebih kompleks (Peng et al., 2011).

Jembatan Semujur direncanakan menggunakan perletakan jepit-jepit untuk busurnya dan untuk jembatan akan terdapat abutment di kedua sisi sungai untuk perletakan dari lantai kendaraannya. Struktur ini dapat diselesaikan dengan metode statis tak tentu dengan 3 derajat kebebasan (*Degree of Freedom*). Untuk jembatan dengan perletakan jepit biasanya jembatan busurnya tebal di ujung-ujung dekat perletakan karena terdapat gaya momen pada perletakannya (W.-F. Chen & Duan, 2014).

4.1.2. Data Penampang Sungai

Untuk penampang sungai didapatkan menggunakan Software Global Mapper dapat dilihat pada tampak memanjang jembatan.

4.2. Preliminary Design

4.2.1. Pelat Lantai

Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , yang memenuhi kedua ketentuan berikut:

$$t_s \geq 200 \text{ mm dan } t_s \geq 100 + 40.L \text{ (mm)}$$

Maka digunakan tebal pelat lantai yaitu

$$t_s = 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm}$$

4.2.2. Lebar Jembatan

Lebar jembatan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan 3.2, namun untuk perancangan Jembatan Semujur ditentukan bahwa lebar jembatan yaitu 20 m, dengan spesifikasi 2 jalur kendaraan dan tiap jalur terdapat 2 lajur kendaraan dengan lebar 3,5 m, serta terdapat jalur untuk pejalan kaki selebar 3 m di setiap sisi jembatan.

4.2.3. Tinggi Jembatan

Tinggi jembatan (f) harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan 3.3:

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

Dengan bentang 100 m, didapatkan tinggi jembatan sebagai berikut:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{100} \leq \frac{1}{5}$$

$$16,667 \text{ m} \leq f \leq 20 \text{ m}$$

Maka, digunakan tinggi jembatan busur sebesar 20 m.

4.2.4. Tinggi Tampang Busur

Tinggi penampang busur menggunakan rangka baja, maka tinggi penampang busur harus memenuhi persyaratan sesuai Persamaan 3.4:

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

Dengan bentang 100 m, didapatkan tinggi jembatan sebagai berikut :

$$\frac{1}{40} \leq \frac{t}{100} \leq \frac{1}{25}$$

$$2,5 \text{ m} \leq f \leq 4 \text{ m}$$

Maka, digunakan tinggi penampang jembatan busur sebesar 3 m.

4.2.5. Panjang Panel

Panjang Panel harus memenuhi persyaratan sesuai Persamaan 3.6:

$$\text{Panjang Panel} \leq \frac{1}{15} L$$

$$\text{Panjang Panel} \leq \frac{1}{15} 100$$

$$\text{Panjang Panel} \leq 6,667 \text{ m}$$

Maka, digunakan panjang tiap panel sebesar 4 m

4.3. Perencanaan Pelat Lantai

4.3.1. Perencanaan Tebal Lantai

4.3.1.1. Tebal Pelat Lantai

Tebal minimum pelat lantai mengacu pada RSNI T-12-2004 Pasal 5.5.2 bahwa tebal pelat minimum harus diambil nilai terbesar dari persyaratan berikut:

- $T \geq 200 \text{ mm}$
- $T \geq (100 + 40l)$, dengan l adalah bentang pelat diukur dari pusat ke pusat balok memanjang (dalam m).

Dengan jarak antar balok memanjang = 1.2 meter, maka :

$$T \geq (100 + 40 \times 1.2)$$

$$T \geq 148 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan tebal dari pelat beton adalah $t = 250 \text{ mm}$

Rasio panjang terhadap lebar = $\frac{Ly}{Lx} = \frac{5000}{1200} = 4,167$ (Pelat satu arah)

4.3.1.2. Tebal Lapis Permukaan Aspal dan Trotoar

Tebal dan lapisan aspal mengacu pada SNI 1725:2016 Pasal 7.3.1 yang disyaratkan bahwa semua jembatan harus mampu memikul beban tambahan berupa aspal beton setebal minimal 50 mm. Maka direncanakan tebal aspal adalah 50 mm, sedangkan tinggi trotoar adalah 300 mm.

Tebal dan lapisan aspal mengacu pada SNI 1725:2016 Pasal 7.3.1 yang disyaratkan bahwa semua jembatan harus mampu memikul beban tambahan berupa aspal beton setebal minimal 50 mm. Maka direncanakan tebal aspal adalah 50 mm, sedangkan tinggi trotoar adalah 300 mm.

4.3.2. Pembebanan Pelat Lantai

Beban-beban yang bekerja pada pelat lantai kendaraan terdiri atas beban mati akibat berat sendiri pelat lantai, aspal dan bondeks. Sedangkan untuk beban hidup mengacu pada SNI 1725:2016 Pasal 8.1 menyatakan bahwa untuk perencanaan pelat lantai kendaraan beban hidup yang diperhitungkan adalah beban truk "T".

4.3.2.1. Beban Mati

Beban rencana tersebut harus dikalikan dengan suatu faktor beban yang mengacu pada SNI 1725:2016 Pasal 7.2 dimana:

- γ_{MS}^U Berat Sendiri Beton Cor di Tempat : 1,3
- γ_{MS}^U Berat Sendiri Aspal : 1,3
- γ_{MS}^U Berat Sendiri Profil Baja : 1,1

Berikut merupakan perhitungan beban mati yang dipikul plat:

- Beban Pelat Beton

$$q_1 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{Beton}} \times 1 \text{ m}$$

$$q_1 = 1,3 \times 0,25 \times 2,4 \times 1$$

$$q_1 = 0,78 \text{ ton/m}$$
- Beban Aspal

$$q_2 = \gamma_{MS}^U \text{Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{\text{Aspal}} \times 1 \text{ m}$$

$$q_2 = 1,3 \times 0,05 \times 2,2 \times 1$$

$$q_2 = 0,143 \text{ ton/m}$$
- Beban Kerb

$$q_3 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Kerb} \times \gamma_{\text{Beton}} \times 1 \text{ m}$$

$$q_3 = 1,3 \times 0,3 \times 2,4 \times 1$$

$$q_3 = 0,936 \text{ ton/m}$$
- Beban Bondex

$$q_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{\text{Bondex}} \times 1$$

$$q_4 = 1,1 \times 10,1 \times 1$$

$$q_4 = 0.011 \text{ t/m}$$

4.3.2.2. **Beban Hidup**

Mengacu pada SNI 1725-2016, beban hidup yang bekerja pada elemen struktur jembatan adalah terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”, dimana mengacu pada tabel 12 dan tabel 13, factor beban untuk beban hidup adalah sebagai berikut:

- γ_{TD}^U Beban Lajur “D” untuk Gelagar Baja : 2
- γ_{TT}^U Beban Truk “T” untuk Gelagar Baja : 2

Besarnya beban akibat beban hidup adalah diambil dari pengaruh yang terbesar antara beban lajur “D” dan beban truk “T” dengan perhitungan sebagai berikut:

a. Beban Lajur “D”

- Beban Terbagi Rata (BTR)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya beban terbagi rata adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = 100 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L_{total}} \right) kPa$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{100} \right) kPa = 5,85 kPa = 0,596 \text{ ton/m}^2$$

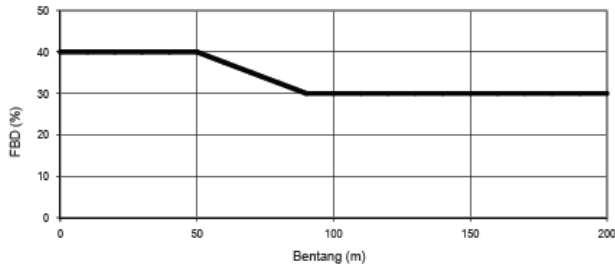
$$q_{L BTR} = \gamma_{TD}^U \times BTR \times \lambda$$

$$q_{L BTR} = 2 \times 0,596 \times 5 = 5,96 \text{ ton/m}$$

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.6, nilai $q_{L BTR}$ tidak perlu dikalikan dengan factor beban dinamis.

- Beban Garis Terpusat (BGT)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya BGT adalah 49 kN/m. BGT harus dikalikan dengan FGD sesuai pasal 8.6 pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Faktor Beban Dinamis

Dari grafik tersebut, dengan panjang bentang jembatan total adalah 100 m didapatkan FBD sebesar 30% dan berikut merupakan perhitungan beban BGT :

$$q_{L BGT} = 49 \text{ kN/m} \times (1 + FBD) \times \gamma_{TD}^U$$

$$q_{L BGT} = 49 \text{ kN/m} \times (1 + 30\%) \times 2 = 127,4 \text{ kN/m} \\ = 12,986 \text{ ton/m}$$

b. Beban Truk “T”

Perhitungan beban truk “T” harus menggunakan metode beberapa kondisi truk agar menghasilkan momen dan gaya geser maksimum. Perhitungan beban gandar truk harus sesuai dengan SNI 1725-2016 Pasal 8.6. Beban dari setiap gandar adalah 112,5 kN. FBD untuk beban truk harus sebesar 30%.

Berikut adalah perhitungan dari beban truk “T”:

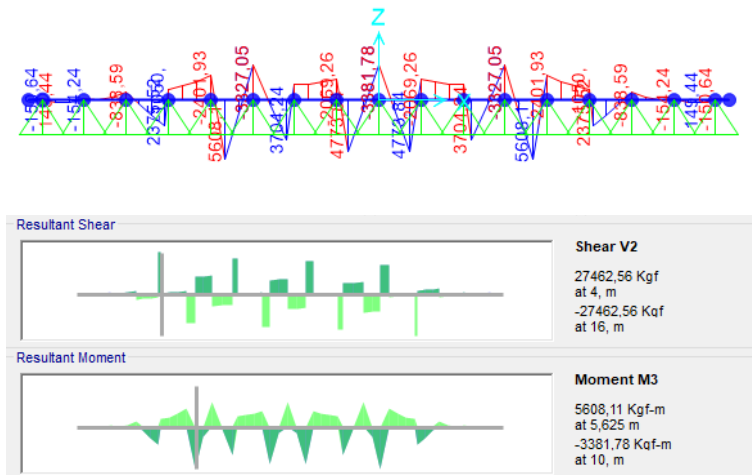
- Beban roda truk = 112,5 kN
- Jarak antara 2 roda truk = 1750 mm

$$P_T = 112,5 \text{ kN} \times (1 + \text{FBD}) \times \gamma_{TT}^U$$

$$P_T = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 30\%) \times 2 = 292,5 \text{ kN} \\ = 29,8165 \text{ ton}$$

4.3.3. Perhitungan Momen Pelat Lantai

Perhitungan momen akibat beban “D” atau beban “T” dan beban mati pada lantai kendaraan menggunakan analisis program bantu SAP2000 didapatkan hasil pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perhitungan Momen Pelat Lantai

Momen terbesar pada tumpuan: - 3381,78 ton.m
 Momen terbesar pada lapangan: + 5608,11 ton.m

4.3.4. Perencanaan Penulangan Pelat Lantai

Tebal Pelat = 250 mm
 Selimut Beton = 20 mm
 Diameter Tulangan = D10
 Mutu Beton = 30 MPa
 Mutu Baja = 390 MPa
 Tinggi efektif (d):

$d = \text{tebal plat} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \text{ dtulangan}$

$$d = 250 - 20 - \frac{1}{2} \times 10$$

$$d = 225 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} = 0,002 \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1)}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (30 - 28)}{7} = 0,836$$

$$\rho_{max} = 0,85 \times \rho_b = 0,85 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,85 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \times \frac{600}{600 + 390} = 0,028$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,3$$

4.3.4.1. Penulangan Daerah Tumpuan (Momen Negatif)

$$M_u = 3381,78 \text{ kg.m} = 33175261,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{33175261,8}{0,9 \times 1000 \times 225^2} = 0,728 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{F_y}} \right] = \frac{1}{15,3} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,728}{390}} \right]$$

$$\rho_{perlu} = 0,001894$$

$$\rho_{perlu} < \rho_{min}$$

$$A_s \text{ Perlu} = \rho_{min} \times b \times d$$

$$A_s \text{ Perlu} = 0,002 \times 1000 \times 225 = 450 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ Tulangan}} = \frac{450}{\pi \times 0,25 \times 10^2} = 5,73 \text{ buah}$$

Digunakan 6 buah

$$S = \frac{0.25 \times \pi \times D_{tulangan}^2 \times 1000}{A_s \text{ Perlu}} = \frac{0.25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{450}$$

$$S = 174,533 \text{ mm}$$

Spasi maksimum adalah $3t_{\text{pelat}}$ (750 mm) atau 450 mm, sehingga tulangan yang dipakai ada D10-150 mm

4.3.4.2. Penulangan Daerah Lapangan (Momen Positif)

Pada daerah lapangan kondisi tarik pada pelat lantai dipikul oleh pemasangan bondeks namun jika kapasitas penampang tidak memenuhi beban yang terjadi maka dilakukan penulangan tambahan. Berikut merupakan perhitungan penampang bondeks.

Digunakan bondeks jenis super floor deck, high tensile steel JIS 3302 (570 N/mm^2), dengan luas penampang 1241 mm^2 seperti pada Gambar 4.5.

TABEL 1 : SIFAT PENAMPANG **Super Floor Deck** PERLEBAR 1000 MM

Tebal Pelat	Berat per satuan luas	Luas penampang	Penampang efektif perunit persatu			Momen lentur positif			Momen lentur negatif			I _x	Gaya reaksi aman untuk perlebaran tepi		Gaya reaksi aman untuk perlebaran tengah		
			Y _e	Y _c	Y ₀	Z _{1c}	Z _{1p}	S _{1c}	Z _{2c}	Z _{2p}	10 mm perlebaran per 10 mm		Perlebaran per 10 mm	10 mm perlebaran per 10 mm	Perlebaran per 10 mm		
mm	kg/m ²	mm ²	mm	mm	mm	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³	10 ³ x mm ³	mm	mm	mm	mm	mm
8.75	18.1	1261	38.8	10.4	8.211	13.13	23.13	0.208	10.21	18.75	8.828	3.76	0.66	8.11	15.31	1.14	16.18

Gambar 4.5 Spesifikasi Bondeks yang Digunakan

Kontrol kapasitas penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1241 \times 570}{0.85 \times 30 \times 1000} = 27,74 \text{ mm}$$

$$d = \text{tebal beton efektif} = 225 - 20 - 10/2 = 200 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1241 \times 570 \left(200 - \frac{27,74}{2} \right)$$

$$M_n = 131662778,1 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 131662778,1 \text{ N.mm}$$

$$= 118496500,3 \text{ N.mm} = 12,08 \text{ ton.m}$$

$$\phi M_n = 12,08 \text{ ton.m} > M_u = 5,608 \text{ ton.m (OK)}$$

Digunakan juga tulangan tarik pada momen positif sebagai berikut:

$$M_u = 5608,11 \text{ kg.m} = 55015559,1 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{55015559,1}{0,9 \times 1000 \times 225^2} = 0,12 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{F_y}} \right] = \frac{1}{15,3} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,12}{390}} \right]$$

$$\rho_{perlu} = 0,0003084$$

$$\rho_{perlu} < \rho_{min}$$

$$A_s \text{ Perlu} = \rho_{min} \times b \times d$$

$$A_s \text{ Perlu} = 0,002 \times 1000 \times 225 = 450 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ Tulangan}} = \frac{450}{\pi \times 0,25 \times 10^2} = 5,73 \text{ buah}$$

Digunakan 6 buah

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D_{tulangan}^2 \times 1000}{A_s \text{ Perlu}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{450}$$

$$S = 174,533 \text{ mm}$$

Spasi maksimum adalah $3t_{pelat}$ (750 mm) atau 450 mm, sehingga tulangan yang dipakai ada D10-150 mm

4.3.4.3. Penulangan Susut dan Suhu

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 24.4

$$\rho_{min} = 0,002 \text{ (Untuk tulangan ulir } < 420 \text{ MPa)}$$

$$D_{tulangan} = 10 \text{ mm}$$

Tinggi Efektif (d)

$$d = 250 - 20 - 16 - 10/2 = 192 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ Perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

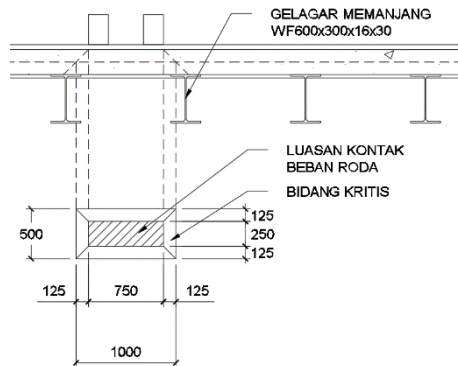
$$A_s \text{ Perlu} = 0,002 \times 1000 \times 192 = 384 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D_{tulangan}^2 \times 1000}{A_s \text{ perlu}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{384} = 204,53 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai tulangan D10-200 mm

4.3.5. Kontrol terhadap Kekuatan Geser Pons

Mengacu pada RSNI T-12-2004 Pasal 5.6.1 bahwa kekuatan terhadap garis keliling kritis yang serupa dengan batas dari luas efektif pelat ($d/2$). Gaya geser yang terjadi pada pelat ditinjau sebagai akibat dari beban roda belakang truk yang menurut SNI 1725:2016 Pasal 8.4.1 memiliki luasan 250 mm x 750 mm dengan beban 112.5 kN, besarnya kuat garis pons dihitung dengan RSNI T-12-2004 Pasal 5.6.2 sesuai Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Ilustrasi Geser Pons pada Pelat

Tebal Efektif (D_3) = 250 mm

Gaya Geser (V_u) = 112,5 kN x (1 + FBD) x γ_{TT}^U

$V_u = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 30\%) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$

Luas Kritis (A_k) = 2 x ($b_0 + d_o$) x d_3

$A_k = 2 \times (750 + 250 + 250 + 250) \times 250$
 $= 750000 \text{ mm}^2$

Tegangan Geser Beton = $\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} A_k$

Tegangan Geser Beton = $\frac{1}{6} \sqrt{35} 750000 = 739509 \text{ N} =$

739,5 kN

$\phi V_c = 0,75 \times 739,5 \text{ kN} = 554,6 \text{ kN} > V_u$

= 292,5 kN (OK)

4.4. Perencanaan Gelagar Memanjang

4.4.1. Data Perencanaan Gelagar Memanjang

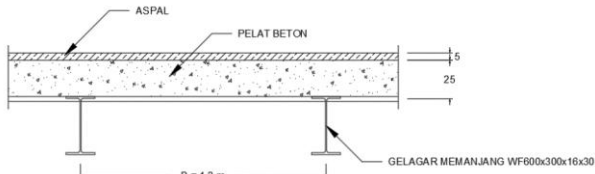
Gelagar memanjang pada struktur jembatan yang akan direncanakan memiliki data-data sebagai berikut :

- Tebal Aspal : 5 cm
- Tebal Pelat Lantai Beton : 25 cm
- Jarak antar Gelagar Memanjang: 1,2 m
- Panjang Gelagar Memanjang : 5 m
- Mutu Baja : BJ-37
- Kuat Leleh Baja (F_y) : 2400 kg/cm²
- Kuat Putus Baja (F_u) : 3700 kg/cm²
- Modulus Elastisitas Baja (E) : 2000000 kg/cm²

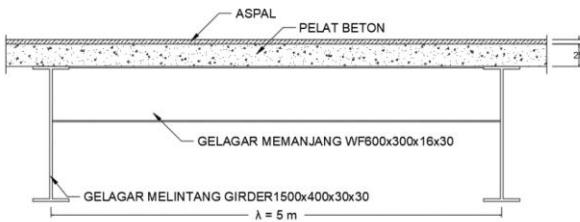
Adapun dimensi awal perencanaan dari gelagar memanjang yang akan digunakan adalah profil WF600x300x14x23 dengan parameter penampang sebagai berikut:

- A : 222,4 cm²
- W : 175 kg/m
- D : 594 mm
- B_f : 302 mm
- T_f : 23 mm
- T_w : 14 mm
- R : 28 mm
- H : $d - 2(t_f+r) = 594 - 2(23+28) = 492$ mm
- i_x : 24,9 cm
- i_y : 6,9 cm
- I_x : 137000 cm⁴
- I_y : 10600 cm⁴
- S_x : 4620 cm³
- S_y : 701 cm³
- Z_x : 5017 cm³
- Z_y : 1076 cm³

Untuk tampak melintang dan memanjang dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Tampak Potongan Melintang



Gambar 4.8 Tampak Potongan Memanjang

4.4.2. Pembebanan Gelagar Memanjang

4.4.2.1. Beban Mati

Pembebanan akibat beban mati yang bekerja pada gelagar memanjang meliputi beban dari pelat beton dan beban dari aspal yang dipikul oleh gelagar memanjang ditambah dengan berat sendiri dari profil. Adapun nilai-nilai factor beban yang dapat dilihat berdasarkan SNI 1725-2016 Tabel 3, factor beban untuk beban mati gelagar melintang adalah sebagai berikut:

- γ_{MS}^U Berat Sendiri Beton Cor di Tempat : 1,3
- γ_{MS}^U Berat Sendiri Aspal : 1,3
- γ_{MS}^U Berat Sendiri Profil Baja : 1,1

Maka, besarnya beban yang dipikul oleh gelagar memanjang akibat beban mati adalah sebagai berikut:

- **Beban Pelat Beton**
 $q_1 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{Beton}} \times B$
 $q_1 = 1,3 \times 0,25 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 \times 1,2 \text{ m}$
 $q_1 = 0,936 \text{ ton/m}$
- **Beban Aspal**
 $q_2 = \gamma_{MS}^U \text{Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{\text{Aspal}} \times B$
 $q_2 = 1,3 \times 0,05 \times 2,2 \text{ ton/m}^3 \times 1,2 \text{ m}$
 $q_2 = 0,1716 \text{ ton/m}^3$
- **Beban Sendiri Profil Baja**
 $q_3 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{WF}$
 $q_3 = 1,1 \times 175 \text{ kg/m}$
 $q_3 = 192,5 \text{ kg/m} = 0,1925 \text{ ton/m}$
- **Beban Bondex**
 $q_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{\text{Bondex}} \times B$
 $q_4 = 1,1 \times 10,1 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m}$
 $q_4 = 13,332 \text{ kg/m} = 0,013 \text{ ton/m}$
- **Beban Mati Total (q_D)**
 $q_D = 0,936 + 0,1716 + 0,1925 + 0,013$
 $q_D = 1,313 \text{ ton/m}$

Dengan besarnya beban mati total sebesar 1,313 ton/m, maka besarnya momen maksimum dan gaya geser maksimum adalah :

- $M_{UD} = \frac{1}{8} \times q_D \times L^2$
 $M_{UD} = \frac{1}{8} \times 1,313 \times 5^2 = 4,1 \text{ ton.m}$
- $V_{UD} = \frac{1}{2} \times q_D \times L$
 $V_{UD} = \frac{1}{2} \times 1,313 \times 5 = 3,28 \text{ ton}$

4.4.2.2. Beban Hidup

Mengacu pada SNI 1725-2016, beban hidup yang bekerja pada elemen struktur jembatan adalah terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”, dimana mengacu pada tabel 12 dan tabel 13, factor beban untuk beban hidup adalah sebagai berikut :

- γ_{TD}^U Beban Lajur “D” untuk Gelagar Baja : 2
- γ_{TT}^U Beban Truk “T” untuk Gelagar Baja : 2

Besarnya beban akibat beban hidup adalah diambil dari pengaruh yang terbesar antara beban lajur “D” dan beban truk “T” dengan perhitungan sebagai berikut:

a. Beban Lajur “D”

- Beban Terbagi Rata (BTR)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya beban terbagi rata adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = 100 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L_{total}} \right) \text{ kPa}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{100} \right) \text{ kPa} = 5,85 \text{ kPa} = 0,596 \text{ ton/m}^2$$

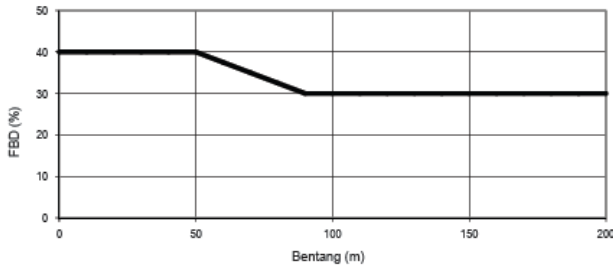
$$q_{LBTR} = \gamma_{TD}^U \times BTR \times B$$

$$q_{LBTR} = 2 \times 0,596 \times 1,2 = 1,431 \text{ ton/m}$$

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.6, nilai q_{LBTR} tidak perlu dikalikan dengan factor beban dinamis.

- Beban Garis Terpusat (BGT)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya BGT adalah 49 kN/m. BGT harus dikalikan dengan FGD sesuai pasal 8.6 pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Faktor Beban Dinamis

Dari grafik tersebut, dengan panjang bentang jembatan total adalah 100 m didapatkan FBD sebesar 30% dan berikut merupakan perhitungan beban BGT:

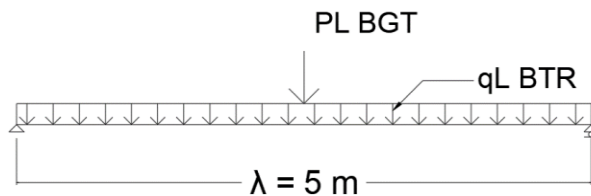
$$P_{L\ BGT} = 49\ \text{kN/m} \times (1 + FBD) \times \gamma_{TD}^U \times B$$

$$P_{L\ BGT} = 49 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (1 + 30\%) \times 2 \times 1,2 = 152,88\ \text{kN}$$

$$= 15,584\ \text{ton}$$

- Momen dan Gaya Geser akibat Beban Lajur “D”

Besarnya momen dan gaya geser maksimum yang terjadi akibat beban lajur “D” merupakan hasil penjumlahan momen akibat BTR dan BGT seperti Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Ilustrasi Beban Lajur “D”

$$M_{UL1} = \left(\frac{1}{8} \times q_{L\ BTR} \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_{L\ BGT} \times L \right)$$

$$M_{UL1} = \left(\frac{1}{8} \times 1,431 \times 5^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times 15,584 \times 5 \right)$$

$$= 23,953\ \text{ton.m}$$

$$V_{UL1} = \left(\frac{1}{2} \times q_{LBTR} \times L\right) + \left(\frac{1}{2} \times P_{LBGT}\right)$$

$$V_{UL1} = \left(\frac{1}{2} \times 1,431 \times 5\right) + \left(\frac{1}{2} \times 15,584\right) = 11,37 \text{ ton}$$

b. Beban Truk "T"

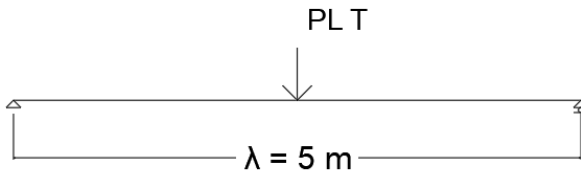
Besarnya beban truk yang diambil untuk perhitungan gelagar memanjang adalah beban dari gandar belakang sebesar 112,5 kN. Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.6, beban truk tersebut harus dikalikan dengan FBD sebesar 30% dan perhitungan beban truk "T" adalah sebagai berikut:

$$P_{LT} = 112,5 \text{ kN} \times (1 + FBD) \times \gamma_{TT}^U$$

$$P_{LT} = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 30\%) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$$

$$= 29,8165 \text{ ton}$$

Besarnya momen maksimum dan gaya geser maksimum dari beban truk "T" seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Ilustrasi Beban Truk "T"

$$M_{UL2} = \frac{1}{4} \times P_T \times L$$

$$M_{UL2} = \frac{1}{4} \times 29,8165 \times 5 = 37,27 \text{ ton.m}$$

$$V_{UL2} = \frac{1}{2} \times P_T$$

$$V_{UL2} = \frac{1}{2} \times 29,8165 = 14,91 \text{ ton}$$

Dari perhitungan terhadap beban hidup didapatkan momen dan gaya geser maksimum adalah sebagai berikut:

$$M_{UL} = 37,27 \text{ ton.m}$$

$$V_{UL} = 14,91 \text{ ton}$$

Maka, selanjutnya perhitungan beban hidup yang bekerja pada gelagar memanjang akan didasarkan pada gaya-gaya tersebut.

4.4.2.3. Momen dan Gaya Geser Total

Momen dan gaya geser total yang terjadi pada gelagar memanjang adalah penjumlahan dari momen dan gaya geser maksimum akibat beban mati dan beban hidup yang diperhitungkan sebagai berikut :

$$M_U = M_{UD} + M_{UL}$$

$$M_U = 4,1 + 37,27 = 41,375 \text{ ton.m}$$

$$V_U = V_{UD} + V_{UL}$$

$$V_U = 3,28 + 14,91 = 18,2 \text{ ton}$$

4.4.3. Kontrol Kekuatan Profil terhadap Momen dan Geser

4.4.3.1. Kontrol terhadap Tekuk Lokal

Perhitungan kuat momen nominal penampang terhadap tekuk lokal mengacu pada RSNI T-03-2005 Pasal 7.2 yang merupakan fungsi λ , λ_p , dan λ_r . Perhitungan control terhadap tekuk lokal adalah sebagai berikut :

- Kontrol Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2 \cdot tf}$$

$$\lambda = \frac{302}{2 \cdot 23} = 6,56$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{2400}} = 10,97$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (Penampang Kompak)}$$

- Kontrol Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda = \frac{492}{14} = 36,43$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{2400}} = 108,44$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (Penampang Kompak)}$$

Dikarenakan penampang kompak, momen nominal tersebut adalah :

$$M_n = M_p \leq 1,5 \cdot M_y$$

$$M_n = Z_x \cdot F_y \leq 1,5 \cdot S_x \cdot F_y$$

$$M_n = 5017 \cdot 2400 \leq 1,5 \cdot 4620 \cdot 2400$$

$$M_n = 12040800 \text{ kgcm} \leq 16632000 \text{ kgcm}$$

$$\emptyset M_n = 0,9 \cdot 12040800 \text{ kgcm} = 10836720 \text{ kgcm}$$

$$\emptyset M_n = 10836720 \text{ kgcm} > M_U \\ = 4137511,72 \text{ kgcm (OK)}$$

4.4.3.2. Kontrol terhadap Tekuk Lateral

Perhitungan kuat momen nominal penampang terhadap tekuk lateral mengacu pada RSNI T-03-2005 Pasal 7.3 yang merupakan fungsi L_b , L_p , dan L_r , dimana nilai L_p dan L_r didapatkan dari tabel profil baja dan merupakan fungsi dari penampang profil. Nilai L_b , L_p , dan L_r untuk WF600x300x16x30 adalah sebagai berikut:

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

$$L_p = 350,567 \text{ cm}$$

$$L_r = 1126,623 \text{ cm}$$

$$L_p < L_b < L_r \text{ (Bentang Menengah)}$$

$$M_a = M_c = \left(\frac{1}{4} \cdot V_U \cdot L \right) - \left(\frac{1}{32} \cdot (q_D + q_{L_{BTR}}) \cdot L^2 \right)$$

$$M_a = M_c = \left(\frac{1}{4} \cdot 18,2 \cdot 5 \right) - \left(\frac{1}{32} \cdot (1,31 + 1,431) \cdot 5^2 \right)$$

$$= 20,6 \text{ ton} \cdot m$$

$$M_a = M_c = 2059555,8 \text{ kgcm}$$

$$M_b = 4137511,72 \text{ kgcm}$$

$$M_{Max} = 4137511,72 \text{ kgcm}$$

$$M_p = Z_x \cdot F_y$$

$$M_p = 5017 \cdot 2400 = 12040800 \text{ kgcm}$$

$$M_r = 0,7 \cdot S_x \cdot F_y$$

$$M_r = 0,7 \cdot 4620 \cdot 2400 = 7761600 \text{ kgcm}$$

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

$$C_b = \frac{12,5 \cdot 4137511,72}{2,5 \cdot 4137511,72 + 3 \cdot 2059555,8 + 4 \cdot 4137511,72 + 3 \cdot 2059555,8}$$

$$\leq 2,3$$

$$C_b = 1,317 \leq 2,3$$

$$C_b = 1,317$$

$$M_n = C_b \cdot \left[M_p - (M_p - M_r) \cdot \left(\frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right) \right] < M_p$$

$$M_n = 1,317 \cdot \left[12040800 - (12040800 - 7761600) \cdot \left(\frac{1126,623 - 500}{1126,623 - 350,567} \right) \right]$$

$$< 12040800 \text{ kgcm}$$

$$M_n = 13189205,23 < 12040800 \text{ kgcm}$$

$$M_n = 12040800 \text{ kgcm}$$

$$\emptyset M_n = 0,9 \cdot 12040800 = 10836720 \text{ kgcm}$$

$$\emptyset M_n = 10836720 \text{ kgcm} > M_U$$

$$= 4137511,72 \text{ kgcm (OK)}$$

4.4.3.3. Kontrol terhadap Gaya Geser

Perhitungan kuat geser nominal penampang mengacu pada RSNI T-03-2005 Pasal 7.8.2, dimana kuat geser nominal penampang merupakan fungsi dari tinggi pelat badan terhadap tebal pelat badan. Untuk profil WF600x300x14x23, maka perhitungan perbandingan tinggi pelat badan terhadap tebal pelat badan adalah sebagai berikut:

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$a = \sim$$

$$K_n = 5$$

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{K_n \cdot E}{F_y}}$$

$$\frac{492}{14} < 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot 2000000}{2400}}$$

$$36,43 < 71,0047 \text{ (Plastis)}$$

$$C_v = 1$$

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

$$V_n = 0,6 \cdot 2400 \cdot (59,4 \cdot 1,4) \cdot 1$$

$$V_n = 119750,4 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 119750,4 \text{ kg} = 107775,36 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 107775,36 \text{ kg} > V_U = 18191,84 \text{ kg (OK)}$$

4.4.3.4. Kontrol Lendutan

Besarnya lendutan yang terjadi akibat beban hidup mengacu pada RSNI T-03-2005 Pasal 4.7.2, disyaratkan tidak melebihi nilai berikut:

$$\Delta_{Ijin} = \frac{L}{800} = \frac{500}{800} = 0,625 \text{ cm}$$

- Lendutan akibat beban lajur "D"

$$\Delta_{\text{Beban Lajur "D"}} = \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{LBGT} \cdot L^3}{EI} + \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{LBTR} \cdot L^4}{EI}$$

$$\Delta_{\text{Beban Lajur "D"}} = \frac{1}{48} \cdot \frac{49 \frac{kN}{m} \times \frac{10}{9,81} \times (1 + 30\%) \times 120 \cdot 500^3}{2000000 \cdot 137000}$$

$$+ \frac{5}{384} \cdot \frac{0,596 \frac{ton}{m^2} \times 0,1 \times 120 \cdot 500^4}{2000000 \cdot 137000}$$

$$\Delta_{\text{Beban Lajur "D"}} = 0,095 \text{ cm}$$

- Lendutan akibat beban truk "T"

$$\Delta_{\text{Beban Truk "T"}} = \frac{1}{48} \cdot \frac{P_T \cdot L^3}{EI}$$

$$\Delta_{\text{Beban Truk "T"}} = \frac{1}{48} \cdot \frac{112,5 \text{ kN} \times (1 + 30\%) \times \frac{1000}{9,81} \cdot 500^3}{2000000 \cdot 137000}$$

$$\Delta_{\text{Beban Truk "T"}} = 0,141 \text{ cm}$$

- Kontrol Lendutan

$$\Delta_{\text{Beban Lajur "D"}} = 0,095 \text{ cm} < \Delta_{\text{Ijin}} = 0,625 \text{ mm (OK)}$$

$$\Delta_{\text{Beban Truk "T"}} = 0,141 \text{ cm} < \Delta_{\text{Ijin}} = 0,625 \text{ mm (OK)}$$

4.5. Perencanaan Gelagar Melintang

4.5.1. Data Perencanaan Gelagar Melintang

Gelagar melintang pada struktur jembatan yang akan direncanakan memiliki data-data sebagai berikut:

- Tebal Aspal : 5 cm
- Tebal Pelat Lantai Beton : 25 cm
- Jarak Antar Gelagar Melintang: 5 m
- Jarak Antar Gelagar Memanjang: 1,2 m
- Lebar Aspal : 14 m
- Lebar Kerb : 3 m
- Tinggi Kerb : 30 cm
- Panjang Gelagar Melintang : 11 m
- Mutu Baja : BJ-37
- Kuat Leleh Baja (F_y) : 2400 kg/cm²
- Kuat Putus Baja (F_u) : 3700 kg/cm²
- Modulus Elastisitas Baja (E) : 2000000 kg/cm²

Adapun dimensi awal perencanaan dari gelagar melintang yang akan digunakan adalah profil Girder 1500x400x30x30 dengan panjang 20 m yang memiliki parameter penampang sebagai berikut:

- B_f : 400 mm
- D : 1500 mm
- T_f : 30 mm
- T_w : 30 mm
- A : 672 cm²
- W : 7850 kg/m³ · 0,0672 m² = 527,52 kg/m
- h : $d - 2(tf) = 1500 - 2(30) = 1440$ mm
- $I_x = \frac{T_w \cdot h^3}{12} + 2 \cdot \frac{b_f \cdot T_f^3}{12} + 2 \cdot b_f \cdot T_f \left(\frac{d}{2} - \frac{T_f}{2} \right)^2$
- $I_x = \frac{30 \cdot 1440^3}{12} + 2 \cdot \frac{400 \cdot 30^3}{12} + 2 \cdot 400 \cdot 30 \left(\frac{1500}{2} - \frac{30}{2} \right)^2 = 20432160000 \text{ mm}^4 = 2043216 \text{ cm}^4$
- $I_y = \frac{h \cdot T_w^3}{12} + 2 \cdot \frac{T_f \cdot b_f^3}{12}$

- $I_y = \frac{1440 \cdot 30^3}{12} + 2 \cdot \frac{30 \cdot 400^3}{12} = 323240000 \text{ mm}^4 = 32324 \text{ cm}^4$
- $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{2043216}{672}} = 55,14 \text{ cm}$
- $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{32324}{672}} = 6,93 \text{ cm}$
- $S_x = \frac{I_x}{d/2} = \frac{20432160000}{750} = 27242900 \text{ mm}^3 = 27242,9 \text{ cm}^3$
- $S_y = \frac{I_y}{d/2} = \frac{323240000}{750} = 430987 \text{ mm}^3 = 430,987 \text{ cm}^3$
- $Z_x = \frac{T_w \cdot h^2}{4} + ((b_f - T_w)(h - T_f) \cdot T_f)$
- $Z_x = \frac{30 \cdot 1500^2}{4} + ((400 - 30)(900 - 30) \cdot 30) = 33192000 \text{ mm}^3 = 33192 \text{ cm}^3$
- $Z_y = \frac{T_f \cdot h^2}{4} + ((b_f - 2 \cdot T_f) \cdot \frac{T_w^2}{4})$
- $Z_y = \frac{30 \cdot 1500^2}{4} + ((400 - 2 \cdot 30) \cdot \frac{30^2}{4}) = 16951500 \text{ mm}^3 = 16951,5 \text{ cm}^3$

4.5.2. Pembebanan Gelagar Melintang

4.5.2.1. Beban Mati

Pembebanan akibat beban mati yang bekerja pada gelagar melintang meliputi beban saat kondisi sebelum komposit dan sesudah komposit. Adapun nilai-nilai factor beban yang dapat dilihat berdasarkan SNI 1725-2016 Tabel 3, factor beban untuk beban mati gelagar melintang adalah sebagai berikut:

- γ_{MS}^U Berat Sendiri Beton Cor di Tempat = 1,3
- γ_{MS}^U Berat Sendiri Aspal = 1,3
- γ_{MS}^U Berat Sendiri Profil Baja = 1,1
- γ_{PL}^U Beban Pengaruh Pelaksanaan = 1

Maka, besarnya beban yang dipikul oleh gelagar melintang akibat beban mati adalah sebagai berikut :

a. Sebelum Komposit

- Beban Gelagar Memanjang

$$q_1 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times q_{WF} \times \frac{\lambda}{B}$$

$$q_1 = 1,1 \times 175 \text{ kg/m} \times \frac{5 \text{ m}}{1,2 \text{ m}}$$

$$q_1 = 802,1 \text{ kg/m} = 0,802 \text{ ton/m}$$

- Beban Pelat Beton

$$q_2 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{Beton}} \times \lambda$$

$$q_2 = 1,3 \times 0,25 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 \times 5 \text{ m}$$

$$q_2 = 3,9 \text{ ton/m}$$

- Beban Sendiri Gelagar Melintang

$$q_3 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{WF}$$

$$q_3 = 1,1 \times 527,52 \text{ kg/m}$$

$$q_3 = 580,3 \text{ kg/m} = 0,58 \text{ ton/m}$$

- Beban Bondex

$$q_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{\text{Bondex}} \times \lambda$$

$$q_4 = 1,1 \times 10,1 \text{ kg/m}^2 \times 5 \text{ m}$$

$$q_4 = 55,55 \text{ kg/m} = 0,055 \text{ ton/m}$$

- Beban Pelaksanaan

$$q_5 = \gamma_{PL}^U \times 200 \text{ kg/m}$$

$$q_5 = 1 \times 200 \text{ kg/m} = 0,2 \text{ ton/m}$$

- Beban Mati Total (q_D)

$$q_D = 0,802 + 3,9 + 0,58 + 0,055 + 0,2$$

$$q_D = 5,54 \text{ ton/m}$$

Dengan besarnya beban mati total sebelum komposit sebesar 5,54 ton/m, maka besarnya momen dan gaya geser maksimum adalah:

- $M_{UD1} = \frac{1}{8} \times q_D \times L^2 = \frac{1}{8} \times 5,54 \times 20^2 = 276,895 \text{ ton.m}$

- $V_{UD1} = \frac{1}{2} \times q_D \times L = \frac{1}{2} \times 5,54 \times 20 = 55,38 \text{ ton}$

b. Sesudah Komposit

- Beban Aspal

$$q_D \text{ Aspal} = \gamma_{MS}^U \text{ Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{Aspal} \times \lambda$$

$$q_D \text{ Aspal} = 1,3 \times 0,05 \times 2,2 \text{ ton/m}^3 \times 5 \text{ m}$$

$$q_D \text{ Aspal} = 0,715 \text{ ton/m}$$

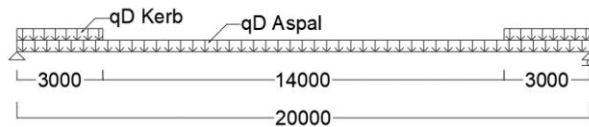
- Beban Kerb

$$q_D \text{ Kerb} = \gamma_{MS}^U \text{ Beton} \times \text{Tinggi Beton} \times \gamma_{Beton} \times \lambda$$

$$q_D \text{ Kerb} = 1,3 \times 0,3 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 \times 5 \text{ m}$$

$$q_D \text{ Kerb} = 4,68 \text{ ton/m}$$

Untuk pembebanan gelagar melintang sesudah komposit dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Ilustrasi Beban Mati Sesudah Komposit

Dengan besarnya beban mati sesudah komposit sesuai ilustrasi diatas, maka besarnya momen dan gaya geser maksimum adalah :

$$V_{UD2} = \frac{1}{2} \times [(q_{Aspal} \times L_{Aspal}) + (q_{Kerb} \times L_{Kerb} \times n_{Kerb})]$$

$$V_{UD2} = \frac{1}{2} \times [(0,715 \times 14) + (4,68 \times 3 \times 2)] = 19,045 \text{ ton}$$

$$M_{UD2} = \left(\frac{1}{2} \times L \times V_{UD1} \right) - \left[q_{Kerb} \times L_{Kerb} \times \left(\frac{L_{Kerb}}{2} + \frac{L_{Aspal}}{2} \right) \right] - \left[q_{Aspal} \times \frac{L_{Aspal}}{2} \times \left(\frac{L_{Aspal}}{4} \right) \right]$$

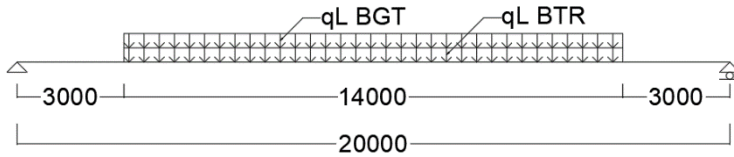
$$M_{UD2} = \left(\frac{1}{2} \times 20 \times 9,45 \right) - \left[5,616 \times 3 \times \left(\frac{3}{2} + \frac{14}{2} \right) \right] - \left[0,858 \times \frac{14}{2} \times \left(\frac{14}{4} \right) \right] = 53,5925 \text{ ton.m}$$

4.5.2.2. Beban Hidup

Mengacu pada SNI 1725-2016, beban hidup yang bekerja pada elemen struktur jembatan adalah terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”, dimana mengacu pada tabel 12 dan tabel 13, factor beban untuk beban hidup adalah sebagai berikut:

- γ_{TD}^U Beban Lajur “D” untuk Gelagar Baja = 2
 - γ_{TT}^U Beban Truk “T” untuk Gelagar Baja = 2
- a. Beban Lajur “D”

Ilustrasi pembebanan beban lajur “D” dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Ilustrasi Beban Lajur “D”

- Beban Terbagi Rata (BTR)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya beban terbagi rata adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = 100 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L_{total}} \right) \text{ kPa}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{100} \right) \text{ kPa} = 5,85 \text{ kPa} = 0,596 \text{ ton/m}^2$$

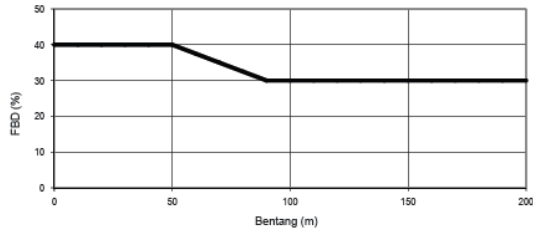
$$q_{LBTR} = \gamma_{TD}^U \times BTR \times \lambda$$

$$q_{LBTR} = 2 \times 0,596 \text{ ton/m}^2 \times 5 \text{ m} = 5,96 \text{ ton/m}$$

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.6, nilai q_{LBTR} tidak perlu dikalikan dengan factor beban dinamis.

- **Beban Garis Terpusat (BGT)**

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya BGT adalah $49 \frac{kN}{m}$. BGT harus dikalikan dengan FGD sesuai pasal 8.6 pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik Faktor Beban Dinamis

Dari panjang bentang total 100 m didapatkan FBD sebesar 30%

$$Q_{L\ BGT} = 49\ kN/m \times (1 + FBD) \times \gamma_{TD}^U$$

$$Q_{L\ BGT} = 49\ kN/m \times (1 + 30\%) \times 2 = 127,4\ kN/m$$

$$= 12,987\ ton/m$$

b. **Beban Pejalan Kaki "P"**

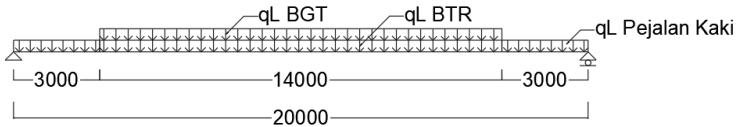
Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.9, segala komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa.

$$TP = 5\ kPa = 0,509\ ton/m^2$$

$$Q_{L\ TP} = TP \times \lambda$$

$$Q_{L\ TP} = 0,509 \times 5\ m = 2,548\ ton/m$$

- Beban Total BTR, BGT dan TP
Ilustrasi pembebanan beban total akibat BTR, BGT dan TP dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Ilustrasi Pembebanan BTR, BGT dan TP

$$\begin{aligned}
 q_L \text{ Lalu Lintas} &= q_L \text{ BTR} + q_L \text{ BGT} \\
 q_L \text{ Lalu Lintas} &= 5,96 + 12,987 = 18,95 \text{ ton/m} \\
 V_{UL1} &= \frac{1}{2} \times q_L \text{ Lalu Lintas} \times L_{Aspal} \\
 &\quad + \frac{1}{2} \times n \times q_L \text{ Pejalan Kaki} \times L_{Kerb} \\
 V_{UL1} &= \frac{1}{2} \times 18,95 \times 14 + \frac{1}{2} \times 2 \times 2,548 \times 3 = 140,295 \text{ ton} \\
 M_{UL1} &= \left(\frac{1}{2} \times V_{UL1} \times L \right) - \left[q_L \text{ Pejalan Kaki} \cdot (L_{Kerb}) \cdot \left(\frac{L_{Aspal}}{2} + \frac{L_{Kerb}}{2} \right) \right] \\
 &\quad - \left[q_L \text{ Lalu Lintas} \cdot \left(\frac{L_{Aspal}}{2} \right) \cdot \left(\frac{L_{Aspal}}{4} \right) \right] \\
 M_{UL1} &= \left(\frac{1}{2} \times 140,295 \times 20 \right) - \left[2,5 \cdot (3) \cdot \left(\frac{14}{2} + \frac{3}{2} \right) \right] \\
 &\quad - \left[18,95 \cdot \left(\frac{14}{2} \right) \cdot \left(\frac{14}{4} \right) \right] = 873,695 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

c. Beban Truk “T”

Perhitungan beban truk “T” harus menggunakan metode beberapa kondisi truk agar menghasilkan momen dan gaya geser maksimum. Perhitungan beban gandar truk harus sesuai dengan SNI 1725-2016 Pasal 8.6. Beban dari setiap gandar adalah 112,5 kN. FBD untuk beban truk harus sebesar 30%. Berikut adalah perhitungan dari beban truk “T”:

- Beban roda truk = 112,5 kN
- Jarak antara 2 roda truk = 1750 mm

$$P_T = 112,5 \text{ kN} \times (1 + FBD) \times \gamma_{TT}^U$$

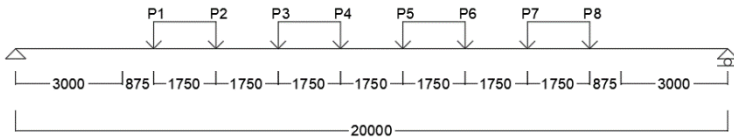
$$P_T = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 30\%) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$$

$$= 29,8165 \text{ ton}$$

Untuk momen dan gaya geser maksimum ditentukan oleh beberapa kondisi letak truk di sepanjang lebar aspal. Berikut beberapa kondisi truk di gelagar melintang:

- Kondisi 1

Pembebanan beban truk kondisi 1 dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Ilustrasi Beban Truk Kondisi 1

Beban total:

$$V_1 = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8}{2}$$

$$V_1 = \frac{8 \cdot 29,8165 \text{ ton}}{2} = 119,266 \text{ ton}$$

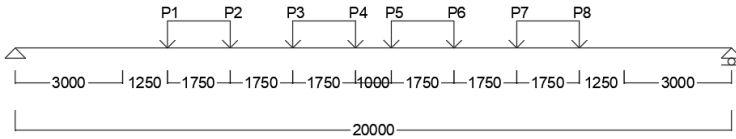
$$M_1 = V_1 \cdot 10 - (P_4 \cdot 0,875 + P_3 \cdot 2,625 + P_2 \cdot 4,375 + P_1 \cdot 6,125)$$

$$M_1 = 119,266 \cdot 10 - (29,8165 \cdot 0,875 + 29,8165 \cdot 2,625 + 29,8165 \cdot 4,375 + 29,8165 \cdot 6,125)$$

$$= 775,23 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

- Kondisi 2

Pembebanan beban truk kondisi 2 dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Ilustrasi Beban Truk Kondisi 2

Beban total:

$$V_2 = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8}{2}$$

$$V_2 = \frac{8 \cdot 29,8165 \text{ ton}}{2} = 119,266 \text{ ton}$$

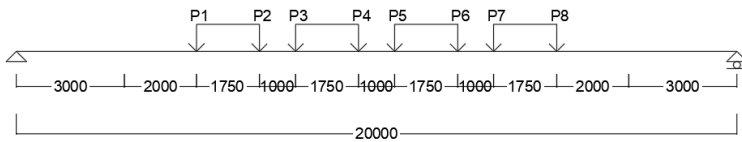
$$M_2 = V_1 \cdot 10 - (P_4 \cdot 0,5 + P_3 \cdot 2,25 + P_2 \cdot 4 + P_1 \cdot 5,75)$$

$$M_2 = 119,266 \cdot 10$$

$$\begin{aligned} & - (29,8165 \cdot 0,5 + 29,8165 \cdot 2,25 \\ & + 29,8165 \cdot 4 + 29,8165 \cdot 5,75) \\ & = 828,0975 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

- Kondisi 3

Pembebanan beban truk kondisi 3 dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Ilustrasi Beban Truk Kondisi 3

Beban total :

$$V_3 = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8}{2}$$

$$V_3 = \frac{8 \cdot 29,8165 \text{ ton}}{2} = 119,266 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 M_3 &= V_1 \cdot 10 - (P_4 \cdot 0,5 + P_3 \cdot 2,25 + P_2 \cdot 3,25 + P_1 \cdot 5) \\
 M_3 &= 119,266 \cdot 10 \\
 &\quad - (29,8165 \cdot 0,5 + 29,8165 \cdot 2,25 \\
 &\quad + 29,8165 \cdot 3,25 + 29,8165 \cdot 5) \\
 &= 871,845 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

Maka, momen maksimum dan gaya geser maksimum adalah sebagai berikut :

$$M_{UL2} = 873,695 \text{ ton.m}$$

$$V_{UL2} = 140,295 \text{ ton}$$

4.5.2.3. Perhitungan Gaya Geser

- Gaya Geser akibat Beban Mati
 $V_{UD} = V_{UD1} + V_{UD2}$
 $V_{UD} = 55,38 + 19,045 = 74,42 \text{ ton}$
- Gaya Geser akibat Beban Hidup
 $V_{UL1} = 140,295 \text{ ton}$
 $V_{UL2} = 119,266 \text{ ton}$
 $V_{UL \text{ MAKS}} = 140,295 \text{ ton}$
- Gaya Geser Total
 $V_U = V_{UD} + V_{UL}$
 $V_U = 74,42 + 140,295 = 214,72 \text{ ton}$

4.5.3. Kontrol Profil

4.5.3.1. Kontrol Geser

Plate girder untuk gelagar melintang digunakan stiffener jarak 1200 mm, dengan tebal 30 mm.

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{h}{tw} \\
 \lambda &= \frac{1440}{30} = 48 \\
 \lambda_p &= \frac{1100}{\sqrt{F_y}}
 \end{aligned}$$

$$\lambda_p = \frac{1100}{\sqrt{2400}} = 71$$

$\lambda < \lambda_p$ (*Penampang Kompak*), maka $C = 1$

Plate girder untuk gelagar melintang digunakan stiffener jarak 1200 mm, dengan tebal 30 mm.

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

$$C_v = C + \frac{0,87(1 - C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} = 1$$

$$V_n = 0,6 \cdot 2400 \cdot (d \cdot t_w) \cdot 1$$

$$V_n = 0,6 \cdot 2400 \cdot (150 \cdot 3) \cdot 1$$

$$V_n = 648000 \text{ kg} = 648 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 648 \text{ ton} = 583,2 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = 583,2 \text{ ton} > V_U = 214,72 \text{ ton}$$

4.5.3.2. Kontrol Momen

a. Sebelum Komposit

- Kontrol Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2 \cdot tf}$$

$$\lambda = \frac{400}{2 \cdot \frac{30}{170}} = 6,66$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{2400}} = 10,97$$

$\lambda < \lambda_p$ (*Penampang Kompak*)

- Kontrol Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda = \frac{1440}{30} = 48$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{2400}} = 108,44$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (Penampang Kompak)}$$

Dikarenakan penampang kompak, momen nominal tersebut adalah :

$$M_n = M_p \leq 1,5 \cdot M_y$$

$$M_n = Z_x \cdot F_y \leq 1,5 \cdot S_x \cdot F_y$$

$$M_n = 33192 \cdot 2400 \leq 1,5 \cdot 27242,9 \cdot 2400$$

$$M_n = 79660800 \text{ kgcm} \leq 98074368 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 79660800 \text{ kgcm} = 71694720 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 71694720 \text{ kgcm} > M_{UD1} = 27689526,7 \text{ kgcm}$$

- Kontrol terhadap Tekuk Lateral

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

$$L_p = 348,535 \text{ cm}$$

$$L_r = 1128,636 \text{ cm}$$

$$L_b < L_p \text{ (Bentang Pendek)}$$

$$M_n = Z_x \cdot F_y \leq 1,5 \cdot S_x \cdot F_y$$

$$M_n = 33192 \cdot 2400 \leq 1,5 \cdot 27242,9 \cdot 2400$$

$$M_n = 79660800 \text{ kgcm} \leq 98074368 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 79660800 \text{ kgcm} = 71694720 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 71694720 \text{ kgcm} > M_{UD1} = 27689526,7 \text{ kgcm}$$

b. Sesudah Komposit

Lebar efektif (B_e) pada lantai yang membentang pada masing-masing dari sumbu balok tidak boleh melebihi, diambil nilai terkecil dari:

$$a. \frac{1}{8} \text{Bentang} = \frac{1}{8} \cdot 20000 = 5000 \text{ mm}$$

$$b. \text{Jarak antar gelagar} = 5000 \text{ mm}$$

$$c. \text{Jarak tepi pelat} = 5000 \text{ mm}$$

Maka digunakan, $B_e = 5000 \text{ mm}$

$$A_c = B_e \cdot t_b$$

$$A_c = 5000 \cdot 250 = 1250000 \text{ mm}^2 = 12500 \text{ cm}^2$$

- Gaya Tekan Beton

C merupakan nilai terkecil dari :

$$a. C_1 = A_s \cdot F_y = 672 \cdot 2400 = 1612800 \text{ kg}$$

$$b. C_2 = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_s = 0,85 \cdot 300 \cdot 672 = 3187500 \text{ kg}$$

Maka digunakan, $C = 1612800 \text{ kg}$

- Jarak-jarak centroid gaya-gaya yang bekerja

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot B_e}$$

$$a = \frac{1612800}{0,85 \cdot 300 \cdot 500} = 12,65 \text{ cm}$$

$$h_r = 53 \text{ mm (Brosur Bondex)}$$

$$d_1 = h_r + t_b - \frac{a}{2} = 53 + 250 - \frac{126,5}{2} = 239,75 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0$$

$$d_3 = \frac{d}{2} = \frac{1500}{2} = 750 \text{ mm}$$

$$M_n = C \cdot (d_1 + d_2) + P_y \cdot (d_3 - d_2)$$

$$M_n = 1612800 \cdot (239,75 + 0) + A_s \cdot F_y \cdot (750 - 0)$$

$$M_n = 1612800 \cdot (239,75 + 0) + 672 \cdot 2400 \cdot (750 - 0) \\ = 159627354 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 159627354 \text{ kgcm} = 143664619 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset M_n &= 143664619 \text{ kgcm} > M_U \\
 &= M_{UD1} + M_{UD2} + M_{UL \text{ Maks}} \\
 &= 120418298 \text{ kgcm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

4.5.3.3. Kontrol Lentutan

- Garis Netral Penampang Komposit :

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

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

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{F'c} \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{30} \text{ MPa} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25742,96} = 7,769$$

$$b_{tr} = \frac{b_{eff}}{n} = \frac{5000}{7,769} = 643,57 \text{ mm}$$

$$A_{tr} = b_{tr} \cdot T_b = 643,57 \cdot 250 = 160893,5 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 67200 \text{ mm}^2$$

$$D_{WF} = 1500 \text{ mm}$$

$$y_{na} = \frac{\frac{a_{tr} \times T_b}{2} + A_s \left(T_b + \frac{D}{2} \right)}{A_{tr} + A_s}$$

$$\begin{aligned}
 y_{na} &= \frac{\frac{160893,5 \times 250}{2} + 67200 \cdot \left(250 + \frac{1500}{2} \right)}{160893,5 + 67200} \\
 &= 382,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Momen Inersia Penampang Komposit

$$I_x = 20432160000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_x + A_s \left[\left(\frac{D}{2} + T_b \right) - y_{na} \right]^2 + \frac{b_{tr} \cdot T_b^3}{12} \\
 &\quad + A_{tr} \left(y_{na} - \frac{T_b}{2} \right)^2
 \end{aligned}$$

$$I_{tr} = 20432160000 + 67200 \left[\left(\frac{1500}{2} + 250 \right) - 382,79 \right]^2$$

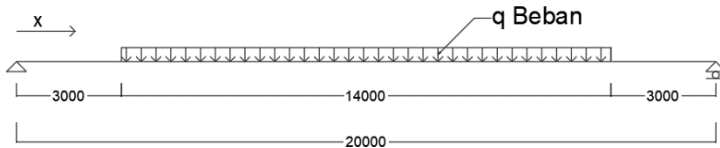
$$+ \frac{643,57 \cdot 250^3}{12}$$

$$+ 160893,5 \left(382,79 - \frac{250}{2} \right)^2$$

$$I_{tr} = 5,756x 10^{10} \text{ mm}^4 = 5756215,265 \text{ cm}^4$$

- a. Perhitungan lendutan menggunakan metode integrase ganda untuk beban merata di aspal.

Ilustrasi perhitungan lendutan dengan menggunakan metode integrase ganda untuk beban merata dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Ilustrasi Lendutan dengan Metode Integrasi Ganda

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A \cdot 20 - q \cdot 14 \cdot \left(\frac{14}{2} + 3 \right) = 0$$

$$R_A = 7 \cdot q$$

$$M_x = R_A \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot (x - 1)^2$$

$$M_x = 7 \cdot q \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2 + q \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q$$

$$M_x = EI \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2 + 8 \cdot q \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q$$

Integral pertama : Gaya Lintang (V)

$$EI \cdot \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{6} \cdot q \cdot x^3 + 4 \cdot q \cdot x^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x + c_1$$

Integral kedua : Deformasi (δ)

$$EI \cdot y = -\frac{1}{24} \cdot q \cdot x^4 + \frac{4}{3} q \cdot x^3 - \frac{1}{4} \cdot q \cdot x^2 + c_1 \cdot x + c_2$$

Syarat batas 1 : $V = 0$, ketika M_{\max} , $x = \frac{L}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ m}$

$$0 = -\frac{1}{6} \cdot q \cdot 10^3 + 4 \cdot q \cdot 10^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot 10 + c_1$$

$$c_1 = -228,33 \cdot q$$

Syarat batas 2 : $\delta = 0$, ketika $x = 0$

$$0 = -\frac{1}{24} \cdot q \cdot 0^4 + \frac{4}{3} q \cdot 0^3 - \frac{1}{4} \cdot q \cdot 0^2 + c_1 \cdot 0 + c_2$$

$$c_2 = 0$$

δ maks terjadi di tengah bentang, yaitu $x = 10 \text{ m}$

$$EI \cdot y = -\frac{1}{24} \cdot q \cdot 10^4 + \frac{4}{3} \cdot q \cdot 10^3 - \frac{1}{4} \cdot q \cdot 10^2$$

$$- 52,7083 \cdot q \cdot 10$$

$$EI \cdot y = -1391,67 \cdot q$$

$$y = \frac{-1391,67 \cdot q}{EI} = \frac{-1391,67 \cdot q}{\frac{2000000 \cdot 5756215,265}{10000}}$$

$$y = \frac{-1391,67 \cdot q}{997945625} = -1,21 \times 10^{-6} \cdot q \text{ kg/m}$$

b. Perhitungan lendutan untuk beban lajur “D” dan Pejalan Kaki

Untuk menghitung lendutan, beban lajur yang digunakan tanpa dikalikan factor beban. Perhitungan beban lajur adalah sebagai berikut:

- Beban Terbagi Rata (BTR)

$$q_{L \text{ BTR}} = BTR \times \lambda$$

$$q_{L \text{ BTR}} = 0,596 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 5 \text{ m} = 2,98 \frac{\text{ton}}{\text{m}} = 2980 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$q_{L\ BGT} = 49\ \text{kN/m} \times (1 + FBD)$$

$$q_{L\ BGT} = 49\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (1 + 30\%) = 63,7\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 6,493\ \frac{\text{ton}}{\text{m}} = 6493,4\ \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Beban Total

$$q_{L\ Lajur} = q_{L\ BTR} + q_{L\ BGT}$$

$$q_{L\ Lajur} = 2980 + 6493,4 = 9473,4\ \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Beban Pejalan Kaki

$$q_{L\ TP} = TP \times \lambda$$

$$q_{L\ TP} = 0,509\ \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 5\ \text{m} = 2,548\ \frac{\text{ton}}{\text{m}} = 2548\ \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Lendutan akibat Beban Merata Sepanjang Gelagar

$$q_L = 2548\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 25,48\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \text{ (Mengikuti pejalan kaki)}$$

$$\Delta_{\text{Beban Merata}} = \frac{5}{384} \frac{q_L \cdot L^4}{EI} = \frac{5}{384} \frac{25,48 \cdot 2000^4}{2000000 \cdot 4989728,125} = 0,532\ \text{cm} = 5,32\ \text{mm}$$

- Lendutan akibat Beban di Aspal

$$\Delta_{\text{Beban di Aspal}} = -1,21 \times 10^{-6} \cdot q_{L\ Lajur} - \text{Pejalan Kaki} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

$$\Delta_{\text{Beban di Aspal}} = -1,21 \times 10^{-6} \cdot (9473,4 - 2548) = 0,00838\ \text{m} = 8,38\ \text{mm}$$

- Lendutan Total

$$\Delta_{\text{Total}} = \Delta_{\text{Beban Merata}} + \Delta_{\text{Beban di Aspal}} = 5,32 + 8,38 = 13,7\ \text{mm}$$

c. Perhitungan lendutan untuk beban truk “T”

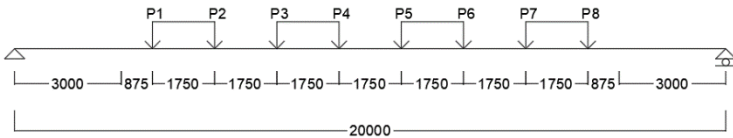
Untuk menghitung lendutan, beban truk yang digunakan tidak perlu dikalikan factor beban. Perhitungan beban truk adalah sebagai berikut :

$$P_T = 112,5 \text{ kN} \times (1 + FBD)$$

$$P_T = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 30\%) = 146,25 \text{ kN} = 14,90825 \text{ ton} \\ = 14908,25 \text{ kg}$$

- Lendutan

Perhitungan lendutan akibat Beban Truk diilustrasikan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Ilustrasi Lendutan akibat Beban Truk

$$\Delta_{(P_1, P_8)} = \frac{P \cdot (a^2 \cdot b^2)}{3 \cdot EI \cdot L}$$

$$\Delta_{(P_1, P_8)} = \frac{14908,25 \cdot (387,5^2 \cdot 1612,5^2)}{3 \cdot 2000000 \cdot 4989728,125 \cdot 2000} = 0,097 \text{ cm} \\ = 0,97 \text{ mm}$$

$$\Delta_{(P_2, P_7)} = \frac{P \cdot (a^2 \cdot b^2)}{3 \cdot EI \cdot L}$$

$$\Delta_{(P_2, P_7)} = \frac{14908,25 \cdot (562,5^2 \cdot 1437,5^2)}{3 \cdot 2000000 \cdot 4989728,125 \cdot 2000} = 0,163 \text{ cm} \\ = 1,63 \text{ mm}$$

$$\Delta_{(P_3, P_6)} = \frac{P \cdot (a^2 \cdot b^2)}{3 \cdot EI \cdot L}$$

$$\Delta_{(P_3, P_6)} = \frac{14908,25 \cdot (737,5^2 \cdot 1262,5^2)}{3 \cdot 2000000 \cdot 4989728,125 \cdot 2000} = 0,216 \text{ cm} \\ = 2,16 \text{ mm}$$

$$\Delta_{(P_4, P_5)} = \frac{P \cdot (a^2 \cdot b^2)}{3 \cdot EI \cdot L}$$

$$\Delta_{(P_4, P_5)} = \frac{14908,25 \cdot (912,5^2 \cdot 1087,5^2)}{3 \cdot 2000000 \cdot 4989728,125 \cdot 2000} = 0,245 \text{ cm}$$

$$= 2,45 \text{ mm}$$

$$\Delta_{Total} = 2(\Delta_{(P_1, P_4)} + \Delta_{(P_2, P_3)} + \Delta_{(P_3, P_6)} + \Delta_{(P_4, P_5)}) =$$

$$2(0,97 + 1,63 + 2,16 + 2,45) = 14,42 \text{ mm}$$

d. Kontrol Lendutan

Lendutan yang diijinkan adalah sebagai berikut :

$$\Delta_{Ijin} = \frac{L}{800} = \frac{20000}{800} = 25 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban lajur "D" dan pejalan kaki:

$$\Delta_{Total} = 13,7 \text{ mm} < \Delta_{Ijin} = 25 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Lendutan akibat beban truk "T":

$$\Delta_{Total} = 14,42 \text{ mm} < \Delta_{Ijin} = 25 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

4.5.4. Perhitungan Shear Connector

Shear Connector direncanakan menggunakan diameter 29 mm dengan mutu baja BJ-37. Perhitungan shear connector adalah sebagai berikut:

$$D = 29 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

$$A_{sc} = \frac{\pi}{4} \cdot 29^2 = 660,52 \text{ mm}^2$$

$$F_u = 370 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot (f'_c \cdot E_c)^{0,5} \leq A_{sc} \cdot F_u$$

$$Q_n = 0,5 \cdot 660,52 \cdot (35 \cdot (4700 \cdot \sqrt{35}))^{0,5} \leq 660,52 \cdot 370$$

$$Q_n = 325804 \text{ N} \leq 244392 \text{ N}$$

$$Q_n = 244392 \text{ N}$$

$$h_r = 53 \text{ mm} \text{ (Brosur Bondex)}$$

$$h_s = h_r + 40 \text{ mm}$$

$$h_s = 53 + 40 \text{ mm} = 93 \approx 130 \text{ mm}$$

$$W_s = 200 \text{ mm} \left(\frac{1}{2} \text{ gelombang bondex} \right)$$

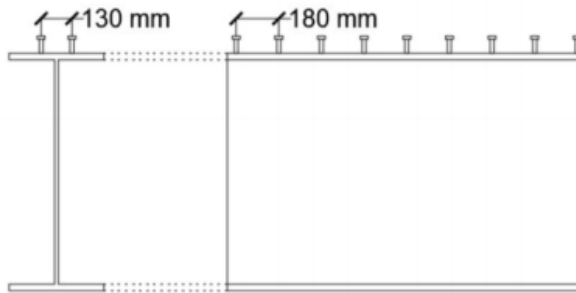
$$V_n = C = 1612800 \text{ kg} = 15821568 \text{ N}$$

$$\text{Jumlah } N = \frac{V_n}{Q_n} = \frac{15821568}{244392} = 64,74 \text{ buah} \sim 65 \text{ buah}$$

Shear connector sebanyak 65 buah dipasang pada setengah bentang gelagar melintang. Shear connector dipasang 2 baris pada penampang gelagar melintang seperti pada Gambar 4.21

Maka untuk jarak shear connector digunakan sebagai berikut:

$$\text{Jarak} = \frac{1200}{65} = 18,46 \approx 18 \text{ cm}$$



Gambar 4.21 Pemasangan Shear Connector

4.6. Perencanaan Ikatan Angin

4.6.1. Perhitungan Beban Angin pada Struktur

Berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 9.6.1, tekanan angin dapat ditentukan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga $126 \frac{\text{km}}{\text{jam}}$. Untuk jembatan dengan elevasi lebih dari 10 m di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin (V_{DZ}), harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right)$$

dimana :

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

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10 m diatas permukaan tanah atau permukaan air rencana (km/jam)

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90-126 (km/jam)

V_o = Kecepatan gesekan angin tergantung kondisi jembatan, Tabel 4.1 (km/jam)

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau permukaan air dimana beban angin diperhitungkan (mm)

Z_o = Panjang gesekan di hulu jembatan, Tabel 4.1 (mm)

Tabel 4.1 Kecepatan dan Gesekan Angin menurut SNI 1725:2016

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

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat ditentukan kriteria untuk perhitungan beban angin dengan jembatan terletak di lahan terbuka adalah sebagai berikut:

$$V_B = 126 \text{ km/jam}$$

$$V_{10} = V_B = 126 \text{ km/jam}$$

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

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

Berdasarkan gambar perencanaan tersebut, elevasi struktur (Z) diukur dari permukaan air adalah 3 m sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right)$$

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot 13,2 \left(\frac{126}{126} \right) \ln \left(\frac{3}{0,07} \right) = 124 \text{ km/jam}$$

Untuk perhitungan beban angin yang terjadi pada struktur (EW_S) dihitung sebagai berikut:

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

$$EW_S = P_D \cdot h \cdot 30\%$$

dimana :

V_{DZ} = 176,68 km/jam (Bagian Atas) dan 163,74 km/jam (Bagian Bawah)

V_B = 126 km/jam

h = 7,3 m

30% = Perkiraan beban angin yang mengenai rangka menurut RSNI T-02-2005

P_D = Tekanan angin rencana (MPa) sesuai Tabel 4.2

Tabel 4.2 Tekanan Angin Dasar

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

Berikut perhitungan tekanan angin pada jembatan :

$$P_B = 0,0024 + 0,0012 = 0,0036$$

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

$$P_D = 0,036 \cdot \left(\frac{124}{126}\right)^2 = 0,0035 \text{ MPa}$$

Dengan tekanan angin tersebut, didapatkan beban angin sebagai berikut :

$$EW_S = P_D \cdot h \cdot 30\%$$

$$EW_S = 0,0035 \cdot 3000 \cdot 30\% = 3,13 \text{ N/mm} = 319,9 \text{ kg/m}$$

Untuk bagian bawah jembatan ditambah dengan beban angin akibat kendaraan sesuai Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

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

EW_1 (Beban angin akibat kendaraan hanya untuk bagian bawah)

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

$$EW_{Total} = EW_S + EW_1$$

$$EW_{Total} = 3,13 + 1,46 = 4,59 \text{ N/mm} = 468,75 \text{ kg/m}$$

4.6.2. Perhitungan Ikatan Angin

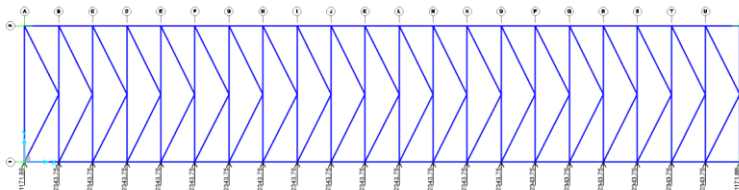
Dengan memasukkan EW_S ke dalam beban ikatan angin menggunakan SAP2000 sesuai Gambar 4.22, didapatkan gaya tarik dan tekan sebagai berikut :

$$W_A (\text{Ujung}) = \frac{1}{2} \cdot EW_S \cdot \lambda$$

$$W_A = \frac{1}{2} \cdot 468,75 \cdot 5 = 1171,875 \text{ kg}$$

$$W_B (\text{Tengah}) = EW_S \cdot \lambda$$

$$W_B = 468,75 \cdot 5 = 2343,75 \text{ kg}$$



Gambar 4.22 Ilustrasi Beban Angin pada Ikatan Angin

Didapatkan gaya tarik dan tekan maksimum sebagai berikut :

- Gaya tarik maksimum = 13519,48 kg
- Gaya tekan maksimum = 13519,65 kg

4.6.3. Kontrol Profil Ikatan Angin

Profil ikatan angin atas menggunakan profil L175x175x15 dengan panjang 11,2 m dengan mutu baja BJ-37 yang memiliki parameter penampang sebagai berikut:

- A : 50,21 cm²
- W : 39,4 kg/m
- B : 175 mm
- H : 175 mm
- t : 15 mm
- ix : 5,35 cm
- iy : 5,35 cm
- Ix : 1440 cm⁴
- Iy : 1440 cm⁴

Diameter baut sambungan : 16 mm

Luas baut : 201,062 mm²

Diameter lubang : 16 + 2 = 18 mm

Mutu baut : A325 (F_{nv} = 4570 kg/cm²)

4.6.3.1. Kontrol Batang Tarik

Beban Pu = 13519,48 kg (Tarik)

Jarak baut ke tepi (sesuai tabel J3.4M) = 22 mm

$l_c = \text{Jarak baut ke tepi} - 0,5 \cdot (\text{Diameter lubang})$

$l_c = 22 - 0,5 \cdot 18 = 13 \text{ mm}$

- Kontrol Kelangsingan

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{11200}{53,5} = 209,35 < 300 \text{ (OK)}$$

- Kontrol Kekuatan Leleh

$$\phi P_n = \phi \cdot F_y \cdot A_g$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 2400 \cdot 50,21 = 108453,6 \text{ kg}$$

- Kuat geser baut

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot m$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 4570 \cdot 2,01062 \cdot 1 = 6891,398 \text{ kg}$$

- Kuat tumpu baut

$$l_c = 1,3 \text{ mm}$$

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,5 \cdot 3700 \leq 2,4 \cdot 1,6 \cdot 1,5 \cdot 3700$$

$$R_n = 8658 \text{ kg} \leq 21312 \text{ kg}$$

$$R_n = 8658 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 8658 \text{ kg} = 6493,5 \text{ kg (Menentukan)}$$

$$n_{min} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{13519,48}{6493,5} = 2,08$$

$$n_{pakai} = 4 \text{ buah}$$

• Kontrol Baut

- Jarak Tepi (S_1)

$$S_1 = 1,5 \text{ Diameter s.d (4tp +100) atau 100 mm}$$

$$S_1 = 1,5 \cdot 16 \text{ s.d (4.15 +100) atau 100 mm}$$

$$S_1 = 24 \text{ mm s.d 160 atau 100 mm}$$

$$S_1 \text{ Pakai} = 25 \text{ mm}$$

- Jarak Tepi (S_2)

$$S_2 = (\text{Tabel J3.4M}) \text{ s.d 12tp atau 150 mm}$$

$$S_2 = 22 \text{ mm s.d 12.15 atau 150 mm}$$

$$S_2 = 24 \text{ mm s.d 180 atau 150 mm}$$

$$S_2 \text{ Pakai} = 25 \text{ mm}$$

- Jarak Baut (S)

$$S = 3 \text{ Diameter s.d 15tp atau 200 mm}$$

$$S = 3 \cdot 16 \text{ s.d 15.15 atau 200 mm}$$

$$S = 48 \text{ mm s.d 225 atau 200 mm}$$

$$S \text{ Pakai} = 50 \text{ mm}$$

- Panjang sambungan

$$\begin{aligned} L_{sambungan} &= S \times \left(\frac{n}{2} - 1 \right) + S_1 = 50 \times \left(\frac{8}{2} - 1 \right) + 25 \\ &= 175 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah baut tiap kolom = 2 buah

- Baut atas = 2 buah

- Baut bawah = 2 buah

- Kontrol Kekuatan Putus

$$A_n = A_g - n \cdot \emptyset \text{Lubang} \cdot t$$

$$A_n = 5021 - 2 \cdot 18 \cdot 15 = 4481 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1 - \frac{x}{L} \leq 0,9$$

$$\mu = 1 - \frac{53,5}{3 \cdot S} = 1 - \frac{53,5}{150} = 0,643 \leq 0,9$$

$$\mu = 0,643$$

$$A_e = \mu \cdot A_n$$

$$A_e = 0,643 \cdot 4481 = 2882,777 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset P_n = \emptyset \cdot A_e \cdot F_u$$

$$\emptyset P_n = 0,75 \cdot 2882,777 \cdot 370 = 799970,6 \text{ N}$$

$$= 81546,43 \text{ kg}$$

$$\emptyset P_n = 81546,43 \text{ kg} > P_u = 13519,48 \text{ kg (OK)}$$

- Kontrol Block Shear

$$A_{gv} = \text{Panjang Sambungan} \times tp$$

$$A_{gv} = 175 \times 15 = 2625 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (175 - (4 - 0,5) \cdot 18) \cdot 15 = 1680 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 25 \times 15 = 375 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (25 - 0,5 \cdot 18) \cdot 15 = 240 \text{ mm}^2$$

$$\text{Putus Bidang Tarik} : U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1 \cdot 3700 \cdot 2,4 = 8880 \text{ kg}$$

$$\text{Putus Bidang Geser} : 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot 3700 \cdot 16,8 = 37296 \text{ kg}$$

Putus Bidang Tarik < Putus Bidang Geser

$$R_n = 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{gt}$$

$$R_n = 0,6 \cdot 3700 \cdot 16,8 + 1 \cdot 2400 \cdot 3,75 = 46296 \text{ kg}$$

$$\emptyset R_n = 0,75 \cdot 46296 \text{ kg} = 34722 \text{ kg} > P_u$$

$$= 13519,48 \text{ kg (OK)}$$

4.6.4. Kontrol Batang Tekan

Beban $P_u = 13519,65$ kg (Tekan)

- Kontrol Penampang

$$\frac{b}{t} < 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{175}{15} < 0,45 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$11,67 < 12,99$ (*Penampang Kompak*)

- Kelangsingan Komponen Struktur

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{11200}{53,5} = 209,35 < 300 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$\lambda_c = \frac{209,35}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2400}{2000000}} = 2,3$$

$$\lambda_c = 2,3 \geq 1,2 \text{ (Batas Elastis)}$$

$$\text{Maka, } w = 1,25 \cdot \lambda_c^2$$

$$w = 1,25 \cdot 2,3^2 = 6,66$$

$$P_n = A_g \frac{F_y}{w}$$

$$P_n = 50,21 \cdot \frac{2400}{6,66} = 19833,12 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 19833,12 \text{ kg} = 17849,81 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 17849,81 \text{ kg} > P_u = 13519,65 \text{ kg (OK)}$$

$$\lambda_e = 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_e = 4,71 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$\lambda_e = 135,966$$

$$\lambda = 209,35 > \lambda_e = 135,966 \text{ (Elastis)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot 2000000}{209,35^2} = 450,403 \text{ kg/cm}^2$$

Dikarenakan ikatan angin atas merupakan batang elastic maka:

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

$$F_{cr} = 0,877 \cdot 450,403 = 395 \text{ kg/cm}^2$$

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

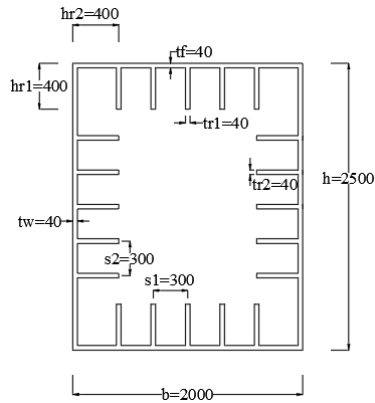
$$P_n = 50,21 \cdot 395 = 19832,95 \text{ kg}$$

$$\emptyset P_n = 0,9 \cdot 19832,95 \text{ kg} = 17849,81 \text{ kg}$$

$$\emptyset P_n = 17849,81 \text{ kg} > P_u = 13519,65 \text{ kg (OK)}$$

4.7. Perencanaan Tie Beam Box Girder

Profil tie beam box girder menggunakan profil box girder 2000x2000x40x65 dengan stiffener menggunakan mutu baja BJ-37 yang memiliki parameter penampang seperti Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.



Gambar 4.23 Profil Box Girder Tie Beam

Xcg	0
Ycg	0
A	6416
J	43452185
I _{B3}	51683259
I _{Z2}	35439659
I _{Z3}	0
AS ₂	2375,7503
AS ₃	2034,9814
S _{33(+face)}	413486
S _{33(-face)}	413486
S _{22(+face)}	354397
S _{22(-face)}	354397
Z ₃₃	514376
Z ₂₂	434176
r ₃₃	89,7517
r ₂₂	74,3212

Gambar 4.24 Parameter Penampang Tie Beam

- Bf : 2000 mm
- D : 2500 mm
- Tf : 40 mm
- Tw : 40 mm
- A : 6416 cm²
- W : 7850 kg/m³ · 0,6146 m² = 5036,56 kg/m
- h : d - 2(tf) = 2500 - 2(40) = 2420 mm
- I_x = 51683259 cm⁴
- I_y = 35439659 cm⁴

- $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{51683259}{6416}} = 89,75 \text{ cm}$
- $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{35439659}{6416}} = 74,32 \text{ cm}$
- $S_x = 413466 \text{ cm}^3$
- $S_y = 354397 \text{ cm}^3$
- $Z_x = 514376 \text{ cm}^3$
- $Z_y = 434176 \text{ cm}^3$

4.7.1. Beban Tie Beam Box Girder

$$P_u = 22403,98 \text{ kN}$$

$$V_{ux} = 7614,91 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 1640,43 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 18151,54 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = 65140,85 \text{ kN.m}$$

$$T_u = 8877,17 \text{ kN.m}$$

4.7.2. Analisa Kuat Aksial

- Analisa Batang Tarik

$$P_n = A_g F_y$$

$$P_n = 6416 \times 2400 = 15398400 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \emptyset P_n &= 0,9 \cdot 15398400 \text{ kg} = 13858560 \text{ kg} \\ &= 135952,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\emptyset P_n = 135952,5 \text{ kN} > P_u = 22403,98 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

- Analisa Batang Tekan

- Sumbu X

$$\frac{h}{t_w} < 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2420}{40} < 5,7 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$60,5 < 164,54 \text{ (Penampang Kompak)}$$

$$i_x = 89,75 \text{ cm}$$

$$L_x = 2000 \text{ cm (Jarak antar Tie Beam)}$$

$$K_x = 1 \text{ (Tumpuan Sendi – Sendi)}$$

$$\lambda_x = \frac{L_x \cdot K_x}{i_x} = \frac{2000 \times 1}{89,75} = 22,28 \text{ (Menentukan)}$$

- Sumbu Y

$$\frac{b}{t_f} < 1,4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2000}{40} < 1,4 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$50 < 40,41 \text{ (Dibutuhkan Stiffener)}$$

$$i_y = 74,32 \text{ cm}$$

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

$$K_y = 1$$

$$\lambda_y = \frac{L_y \cdot K_y}{i_y} = \frac{500 \times 1}{74,32} = 6,72$$

$$\lambda_e = 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_e = 4,71 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$\lambda_e = 135,966$$

$$\lambda_{max} = 22,28 < \lambda_e = 135,966 \text{ (Inelastis)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{maks}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000}{22,28^2} = 39751,66 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}\right) \cdot F_y$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \sqrt{\frac{2400}{39751,66}}\right) \cdot 2400 = 2340,112 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$P_n = 6416 \cdot 2340,112 = 15014159 \text{ kg} = 147288,9 \text{ kN}$$

$$\emptyset P_n = 0,9 \cdot 147288,9 \text{ kN} = 132560 \text{ kN}$$

$$\emptyset P_n = 132560 \text{ kN} > P_u = 22403,98 \text{ kN (OK)}$$

4.7.3. Analisa Kuat Geser

- Sumbu Y (Sayap)

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm}$$

$$b = 2000 \text{ mm}$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{b}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2000}\right)^2} = 122,128$$

$$\frac{b}{t_f} < 1,1 \sqrt{\frac{K_n \cdot E}{F_y}}$$

$$\frac{2000}{40} < 1,1 \sqrt{\frac{122,128 \cdot 2000000}{2400}}$$

$$50 < 292,76 \text{ (Plastis)}, \text{ maka digunakan } C = 1$$

Box Girder untuk tie beam digunakan stiffener jarak 2000 mm, dengan tebal 40 mm.

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

$$C_v = C + \frac{0,87(1 - C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} = 1$$

$$C_v = 1$$

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

$$V_n = 0,6 \cdot 2400 \cdot (200 \cdot 4) \cdot 1$$

$$V_n = 1152000 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \cdot 1152000 \text{ kg} = 864000 \text{ kg} = 8475,84 \text{ kN}$$

$$\emptyset V_n = 8475,84 \text{ kN} > V_{u,y} = 1640,43 \text{ kN (OK)}$$

- Sumbu X (Badan)

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm}$$

$$h = 2420 \text{ mm}$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2420}\right)^2} = 122,13$$

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{K_n \cdot E}{F_y}}$$

$$\frac{2420}{40} < 1,1 \sqrt{\frac{122,13 \cdot 2000000}{2400}}$$

60,5 < 350,92 (*Plastis*), maka digunakan $C = 1$

Box Girder untuk tie beam digunakan stiffener jarak 2000 mm, dengan tebal 40 mm.

$$C_v = 1$$

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

$$V_n = 0,6 \cdot 2400 \cdot (242 \cdot 4) \cdot 1$$

$$V_n = 1393920 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \cdot 1393920 \text{ kg} = 1080000 \text{ kg} = 10594,8 \text{ kN}$$

$$\emptyset V_n = 10594,8 \text{ kN} > V_{ux} = 7614,91 \text{ kN (OK)}$$

4.7.4. Analisa Kuat Lentur

- Kontrol Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{tf}$$

$$\lambda = \frac{2000}{40} = 50$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{2000000}{2400}} = 32,33$$

$\lambda > \lambda_p$ (Penampang Tidak Kompak, Butuh stiffener)

- Kontrol Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda = \frac{2420}{40} = 60,5$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{2000000}{2400}} = 69,86$$

$\lambda < \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Momen nominal dari penampang tersebut adalah :

$$M_n = M_p \leq 1,5 \cdot M_y$$

$$M_n = Z_x \cdot F_y \leq 1,5 \cdot S_x \cdot F_y$$

- Momen Arah X (Sayap)

$$M_n = 514376 \cdot 2400 \leq 1,5 \cdot 413466 \cdot 2400$$

$$M_n = 1234502400 \text{ kgcm} \leq 1488477600 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned} \emptyset M_n &= 0,9 \cdot 1234502400 \text{ kgcm} = 1111052160 \text{ kgcm} \\ &= 108944,22 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\emptyset M_{nx} = 108944,22 \text{ kN.m} > M_{ux} = 18151,54 \text{ kN.m (OK)}$$

- Momen Arah Y (Badan)

$$M_n = 434176 \cdot 2400 \leq 1,5 \cdot 354397 \cdot 2400$$

$$M_n = 1042022400 \text{ kgcm} \leq 1275829200 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned} \emptyset M_n &= 0,9 \cdot 1042022400 \text{ kgcm} = 937820160 \text{ kgcm} \\ &= 92000,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\emptyset M_{ny} = 92000,16 \text{ kN.m} > M_{uy} = 65140,85 \text{ kN.m (OK)}$$

4.7.5. Kontrol Interaksi

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{22403,98}{132560} = 0,17$$

$< 0,2$ (Menggunakan rumus interaksi 2)

$$\frac{P_u}{\phi 2P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{22403,98}{2 \times 132560} + \left(\frac{18151,54}{108944,22} + \frac{65140,85}{92000,16} \right) \leq 1$$

$$0,97 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.7.6. Analisa Kuat Torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang box girder

$$T_u = 8877,17 \text{ kN.m}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{2420}{50} = 60,5$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2420}{40} < 2,45 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$60,5 < 70,725$$

$$F_{cr} = 0,6 \cdot F_y = 0,6 \times 2400 = 1440 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Untuk penampang persegi berongga konstanta torsi C dapat secara konservatif diperhitungkan sebagai berikut:

$$C = (2 \cdot (B - t_f) \cdot (H - t_w) \cdot t_w) - (4,5 \cdot (4 - \pi \cdot t_f) \cdot 3)$$

$$C = (2 \cdot (2000 - 40) \cdot (2420 - 40) \cdot 40) - (4,5 \cdot (4 - \pi \cdot 40) \cdot 3)$$

$$C = 372936779 \text{ mm}^3 = 372936,7 \text{ cm}^3$$

$$\phi T_n = 0,9 \cdot F_{cr} \cdot C$$

$$\phi T_n = 0,9 \times 1440 \times 372936,7 = 483326065,2 \text{ kg.cm}$$

$$= 47414,29 \text{ kN.m}$$

$$\emptyset T_n = 47414,29 \text{ kN.m} > T_u = 8877,17 \text{ kN.m} \text{ (OK)}$$

4.7.7. Perencanaan Stiffener (Diafragma)

4.7.7.1. Web Stiffener

Perencanaan flange stiffener sebagai berikut:

$$b_{ws} \geq \left(2 + \frac{D}{30} \right) \text{ dalam inch}$$

$$b_{ws} \geq \left(2 + \frac{\frac{2500}{25,4}}{30} \right)$$

$$b_{ws} \geq 5,28 \text{ inch} = 134,13 \text{ mm}$$

$$t_{ws} \geq \frac{b_{fs}}{16} = \frac{134,13}{16} = 18,75 \text{ mm}$$

- Kontrol terhadap Inersia

Digunakan stiffener sebagai berikut:

$$b_{ws} = 300 \text{ mm}$$

$$t_{ws} = 40 \text{ mm}$$

$$I_{ws} = \frac{1}{12} t_{ws} b_{ws}^3 = \frac{1}{12} \times 40 \times 300^3 = 90000000 \text{ mm}^4$$

$$I_{ws} \geq I_{t1} = b t_w^3 J$$

$$J = \frac{2,5}{\left(\frac{d_o}{D} \right)^2} - 2,0 \geq 0,5$$

Diasumsikan $J = 0,5$

$$I_{t1} = b t_w^3 J = 2000 \times 40^3 \times 0,5 = 64000000 \text{ mm}^4$$

$$I_{ws} = 90000000 \text{ mm}^4 \geq I_{t1} = 64000000 \text{ mm}^4 \text{ (OK)}$$

$$I_{ws} \geq I_{t2} = \frac{D^4 \rho_t^{1,3} \left(\frac{F_y}{E} \right)^{1,5}}{40}$$

$$I_{t2} = \left(\frac{\left(\frac{2500}{25,4} \right)^4 \times 1}{40} \left(\frac{2400}{2000000} \right)^{1,5} \right) \times 25,4^4$$

$$= 40594941 \text{ mm}^4$$

$$I_{ws} = 90000000 \text{ mm}^4 \geq I_{t2} = 40594941 \text{ mm}^4 \text{ (OK)}$$

4.7.7.2. Flange Stiffener

Perencanaan flange stiffener sebagai berikut:

$$b_{fs} \leq 0,48 t_s \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{b_{fs}}{t_{fs}} \leq 0,48 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$b_{fs} = 500 \text{ mm}$$

$$t_{ws} = 40 \text{ mm}$$

$$\frac{b_{fs}}{t_{fs}} = \frac{500}{40} = 12,5 \leq 0,48 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,48 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$= 13,85 \text{ (OK)}$$

$$I_{fs} = \frac{1}{12} t_{fs} b_{fs}^3 = 2 \times \frac{1}{12} \times 40 \times 500^3$$

$$= 833333333,3 \text{ mm}^4$$

$$I_{fs} > \Psi w t_{fc}^3$$

Dengan jarak tiap diafragma 2000 mm, diperhitungkan sebagai berikut:

$$k = \frac{\left[1 + \left(\frac{a}{b_f} \right)^2 \right]^2 + 87,3}{(n + 1)^2 \left(\frac{a}{b_f} \right)^2 [1 + 0,1(n + 1)]}$$

$$k = \frac{\left[1 + \left(\frac{2000}{2000}\right)^2\right]^2 + 87,3}{(2 + 1)^2 \left(\frac{2000}{2000}\right)^2 [1 + 0,1(2 + 1)]} = 7,8 \leq 4$$

Dipakai $k = 4$

$$I_{fs} > \Psi w t_{fc}^3$$

Dengan terdapat stiffener atas dan bawah, $n = 2$

$$\Psi = 1,12k^3 = 1,12 \times 4^3 = 71,68 \leq 8$$

$$\Psi = 8$$

$$\begin{aligned} \Psi w t_{fc}^3 &= 8 \times (2500 - 2 \times 500) \times 40^3 \\ &= 768000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{fs} &= 833333333,3 \text{ mm}^4 > \Psi w t_{fc}^3 \\ &= 768000000 \text{ mm}^4 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.8. Perencanaan Kabel Penggantung

Pada perencanaan Jembatan Semujur digunakan kabel penggantung tipe tension rods, produksi Macalloy dengan jenis Macalloy 520 (M90), Carbon Steel seperti pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Kabel Penggantung Macalloy 520

4.8.1. Pembebanan Kabel Penggantung

4.8.1.1. Beban Mati

Berikut adalah pembebanan akibat beban mati yang bekerja pada kabel penggantung. Adapun nilai-nilai factor beban yang dapat dilihat berdasarkan SNI 1725-2016 Tabel 3, factor beban untuk beban mati kabel penggantung adalah sebagai berikut:

- γ_{MS}^U Berat Sendiri Beton Cor di Tempat : 1,3
- γ_{MS}^U Berat Sendiri Aspal : 1,3

- γ_{MS}^U Berat Sendiri Profil Baja : 1,1
Maka, besarnya beban yang dipikul oleh kabel penggantungan akibat beban mati adalah sebagai berikut:
- Beban Pelat Beton

$$P_1 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{Beton}} \times \lambda \times \frac{B}{2}$$

$$P_1 = 1,3 \times 0,25 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 \times 5 \times 10 \text{ m}$$

$$P_1 = 39 \text{ ton}$$
- Beban Aspal

$$P_2 = \gamma_{MS}^U \text{Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{\text{Aspal}} \times \lambda \times \frac{B}{2}$$

$$P_2 = 1,3 \times 0,05 \times 2,2 \text{ ton/m}^3 \times 5 \times 10$$

$$P_2 = 7,15 \text{ ton}$$
- Beban Pelat Trotoar

$$P_3 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{Beton}} \times \lambda \times \frac{B}{2}$$

$$P_3 = 1,3 \times 0,3 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 \times 5 \times 3 \text{ m}$$

$$P_3 = 14,04 \text{ ton}$$
- Beban Bondex

$$P_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{\text{Bondex}} \times \lambda \times \frac{B}{2}$$

$$P_4 = 1,1 \times 10,1 \text{ kg/m}^2 \times 5 \times 10$$

$$P_4 = 555,5 \text{ kg} = 0,5555 \text{ ton}$$
- Beban Gelagar Memanjang

$$P_5 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{WF} \times n \times \lambda$$

$$P_5 = 1,1 \times 175 \text{ kg/m} \times 8,5 \times 5$$

$$P_5 = 8181,25 \text{ kg} = 8,18 \text{ ton}$$
- Beban Gelagar Melintang

$$P_6 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{WF} \times n \times \frac{B}{2}$$

$$P_6 = 1,1 \times 527,52 \text{ kg/m} \times 3 \times 10$$

$$P_6 = 17408,16 \text{ kg} = 17,41 \text{ ton}$$
- Beban Ikatan Angin

$$P_7 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_L \times n \times L$$

$$P_7 = 1,1 \times 39,4 \text{ kg/m} \times 2 \times 11,2$$

$$P_7 = 971 \text{ kg} = 0,971 \text{ ton}$$

- **Beban Ikatan Angin**
 $P_8 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_L \times n \times L$
 $P_8 = 1,1 \times 5036,56 \text{ kg/m} \times 5$
 $P_8 = 27701,08 \text{ kg} = 27 \text{ ton}$
- **Beban Total**
 $P_{total} = 39 + 7,15 + 14,04 + 0,5555 + 8,18 + 17,41$
 $\quad \quad \quad + 0,971 + 27 = 114,3 \text{ ton}$
- **Beban Lain** = 10% Total
- **Beban Mati Total (q_D)**
 $q_D = 110\% \times 114,3 \text{ ton}$
 $q_D = 125,73 \text{ ton}$

4.8.1.2. **Beban Hidup**

Mengacu pada SNI 1725-2016, beban hidup yang bekerja pada elemen struktur jembatan adalah terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”, dimana mengacu pada tabel 12 dan tabel 13, factor beban untuk beban hidup adalah sebagai berikut :

- γ_{TD}^U Beban Lajur “D” untuk Gelagar Baja : 2
- γ_{TT}^U Beban Truk “T” untuk Gelagar Baja : 2

Besarnya beban akibat beban hidup adalah diambil dari pengaruh yang terbesar antara beban lajur “D” dan beban truk “T” dengan perhitungan sebagai berikut:

- a. **Beban Lajur “D”**
 - **Beban Terbagi Rata (BTR)**

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya beban terbagi rata adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = 100 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L_{total}} \right) \text{ kPa}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{100} \right) \text{ kPa} = 5,85 \text{ kPa} = 0,596 \text{ ton/m}^2$$

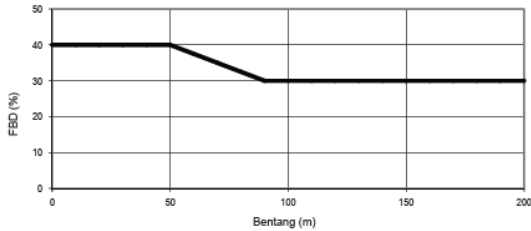
$$q_{L\ BTR} = \gamma_{TD}^U \times BTR \times \lambda \times B$$

$$q_{L\ BTR} = 2 \times 0,596 \times 5 = 5,96 \text{ ton/m}$$

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.6, nilai $q_{L\ BTR}$ tidak perlu dikalikan dengan factor beban dinamis.

- Beban Garis Terpusat (BGT)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya BGT adalah 49 kN/m. BGT harus dikalikan dengan FGD sesuai pasal 8.6 sesuai Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Grafik Faktor Beban Dinamis

Dari grafik tersebut, dengan panjang bentang jembatan total adalah 100 m didapatkan FBD sebesar 30% dan berikut merupakan perhitungan beban BGT:

$$q_{L\ BGT} = 49 \text{ kN/m} \times (1 + FBD) \times \gamma_{TD}^U$$

$$q_{L\ BGT} = 49 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (1 + 30\%) \times 2 = 127,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 12,98 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Beban Pejalan Kaki

Untuk beban pejalan kaki diambil sebesar q_p sebagai berikut:

$$q_p = 5 \text{ kPa} \times \lambda = \frac{5}{9,81} \times 5 \text{ m} = 2,548 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Gaya akibat Beban Lajur “D” dan Pejalan Kaki

$$q_{BTR+BGT} = 5,96 + 12,98 = 18,95 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_p = 2,548 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

Dengan lebar jalan 14 m dan lebar trotoar 3 m di setiap sisinya didapatkan beban di tiap kabel sebagai berikut:

$$R_A = \left(q_{BTR+BGT} \cdot \frac{L_{Jalan}}{2} \right) + (q_P \cdot L_{Trotoar})$$

$$= (18,95 \times 14) + (2,5 \times 3) = 140,15 \text{ ton}$$

b. Beban Truk "T"

Besarnya beban truk yang diambil untuk perhitungan gelagar memanjang adalah beban dari gandar belakang sebesar 112,5 kN. Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.6, beban truk tersebut harus dikalikan dengan FBD sebesar 30% dan perhitungan beban truk "T" adalah sebagai berikut:

$$P_{LT} = 112,5 \text{ kN} \times (1 + FBD) \times \gamma_{TT}^U$$

$$P_{LT} = 112,5 \text{ kN} \times (1 + 30\%) \times 2 = 292,5 \text{ kN}$$

$$= 29,8165 \text{ ton}$$

$$P_{LT} = 29,8165 \times 8 = 238,53 \text{ ton}$$

4.8.2. Kontrol Kekuatan Kabel Penggantung

Data hanger:

Ø batang = 97 mm

W kabel = 46,7 kg/m

Minimum Break Load = 4551 kN = 463,9 ton

Berat Sendiri Hanger = $W_{Kabel} \cdot L \cdot \gamma_{MS}^U$

Berat Sendiri Hanger = $58 \cdot 20 \cdot 1,1 = 1276 \text{ kg} = 1,28 \text{ ton}$

V total = RA Total + Berat Sendiri Hanger

V total = $125,73 + 238,53 + 1,28 = 365,54 \text{ ton}$

Kontrol Kekuatan Hanger:

$$V_{Total} = 365,54 \text{ ton} \leq \text{Minimum Break Load}$$

$$= 463,9 \text{ ton (OK)}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PEMODELAN STRUKTUR JEMBATAN

5.1. Pembebanan Jembatan

5.1.1. Kombinasi Pembebanan

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

- Kuat 1: 1,1 MS + 2MA + 1,8 LL + 1 EUn
- Kuat 2: 1,1 MS + 2MA + 1.4 LL + 1 EUn
- Kuat 3: 1,1 MS + 2MA + 1,4 EWs + 1 EUn
- Kuat 4: 1,1 MS + 2MA + 1 EUn
- Kuat 5: 1,1 MS + 2MA + 0,4 EWs + 1 EUn
- Ekstrem 1: 1,1 MS + 2MA + 0,5 LL + 0,3 Eqx + 1 Eqy
- Ekstrem 2: 1,1 MS + 2MA + 0,5 LL + 1 Eqx + 0.3 Eqy
- Daya layan 1: 1MS + 1MA + 1 LL + 1EWs + 1 EUn
- Daya layan 2: 1MS + 1MA + 1,3 LL + 1 EUn
- Daya layan 3: 1MS + 1MA + 0,8 LL + 1 EUn
- Daya layan 4: 1MS + 1MA + 0,7 EWs + 1 EUn

5.1.2. Beban Mati

Besarnya beban mati yang dipikul oleh jembatan adalah sebagai berikut:

- Beban Pelat Beton

$$q_1 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{Beton}} \times \lambda$$

$$q_1 = 1,3 \times 0,25 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 \times 5$$

$$q_1 = 3,9 \text{ ton/m}$$

$$q_{1 \text{ Tengah}} = 3,9 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{1 \text{ Ujung}} = \frac{3,9}{2} = 1,95 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Beban Aspal

$$q_2 = \gamma_{MS}^U \text{Aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{Aspal} \times \lambda$$

$$q_2 = 1,3 \times 0,05 \times 2,2 \text{ ton/m}^3 \times 5$$

$$q_2 = 0,715 \text{ ton/m}$$

$$q_{2 \text{ Tengah}} = 0,715 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{2 \text{ Ujung}} = \frac{0,715}{2} = 0,3575 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Beban Pelat Trotoar

$$q_3 = \gamma_{MS}^U \text{Beton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{Beton} \times \lambda$$

$$q_3 = 1,3 \times 0,3 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 \times 5$$

$$q_3 = 4,68 \text{ ton/m}$$

$$q_{3 \text{ Tengah}} = 4,68 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{3 \text{ Ujung}} = \frac{4,68}{2} = 2,34 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Beban Bondex

$$q_4 = \gamma_{MS}^U \text{Baja} \times W_{\text{Bondex}} \times \lambda$$

$$q_4 = 1,1 \times 10,1 \text{ kg/m}^2 \times 5$$

$$q_4 = 0,05555 \text{ ton/m}$$

$$q_{4 \text{ Tengah}} = 0,05555 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{4 \text{ Ujung}} = \frac{0,05555}{2} = 0,027775 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Beban akibat Gelagar Memanjang, Gelagar Melintang, Ikatan Angin, dan Tie Beam

Untuk input beban mati akibat beban Beban sendiri langsung diinputkan dimensi pada MIDAS dengan ditambah sambungan sebesar 10%.

5.1.3. Beban Angin

Beban angin digunakan sesuai perhitungan pada ikatan angin:

$$W_A (Ujung) = \frac{1}{2} \cdot EW_S \cdot \lambda$$

$$W_A = \frac{1}{2} \cdot 468,75 \cdot 5 = 1171,875 \text{ kg}$$

$$W_B (Tengah) = EW_S \cdot \lambda$$

$$W_B = 468,75 \cdot 5 = 2343,75 \text{ kg}$$

5.1.4. Beban Hidup

Besarnya beban akibat beban hidup beban lajur “D” dan beban truk “T” adalah sebagai berikut:

a. Beban Lajur “D”

- Beban Terbagi Rata (BTR)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya beban terbagi rata adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = 100 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L_{total}} \right) \text{ kPa}$$

$$BTR = 9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{100} \right) \text{ kPa} = 5,85 \text{ kPa} = 0,596 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q_{LBTR} = BTR \times \lambda$$

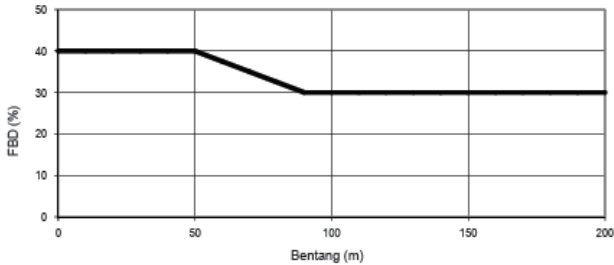
$$q_{LBTR} = 0,596 \times 5 = 2,98 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{BTR \text{ Tengah}} = 2,98 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{BTR \text{ Ujung}} = \frac{2,98}{2} = 1,49 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, besarnya BGT adalah 49 kN/m. BGT harus dikalikan dengan FGD sesuai pasal 8.6 sesuai Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Faktor Beban Dinamis

Dari grafik tersebut, dengan panjang bentang jembatan total adalah 100 m didapatkan FBD sebesar 30% dan berikut merupakan perhitungan beban BGT:

$$q_{L\ BGT} = 49\ kN/m \times (1 + FBD)$$

$$q_{L\ BGT} = 49\ \frac{kN}{m} \times (1 + 30\%) = 127,4\ \frac{kN}{m} = 12,98\ \frac{ton}{m}$$

Beban q_L BGT dijadikan beban terpusat, sehingga dijadikan beban berjalan sebagai berikut:

$$P_{L\ BGT} = 12,98\ \frac{ton}{m} \times 14\ m = 181,72\ ton$$

b. Beban Truk "T"

Besarnya beban truk yang diambil untuk perhitungan gelagar memanjang adalah beban dari gandar belakang sebesar 112,5 kN. Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.6, beban truk tersebut harus dikalikan dengan FBD sebesar 30% dan perhitungan beban truk "T" adalah sebagai berikut:

$$P_{L\ T} = 112,5\ kN \times (1 + FBD) \times \gamma_{TT}^U$$

$$P_{L\ T} = 112,5\ kN \times (1 + 30\%) \times 2 = 292,5\ kN$$

$$= 29,8165\ ton$$

$$P_{L\ T} = 29,8165 \times 8 = 238,53\ ton$$

c. Beban Pejalan Kaki “P”

Menurut SNI 1726-2016 Pasal 8.9, segala komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa

$$q_P = 5 \text{ kPa} \times \lambda = \frac{5}{9,81} \times 5 \text{ m} = 2,548 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{Tengah} = 2,548 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{Ujung} = \frac{2,548}{2} = 1,274 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

d. Beban Rem “B”

Beban rem diambil 5% beban lajur terbagi rata (BTR). Beban rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan

$$q_{Tengah} = 5\% \times 2,98 = 0,15 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$q_{Ujung} = 5\% \times \frac{2,98}{2} = 0,075 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

5.1.5. Beban Gempa

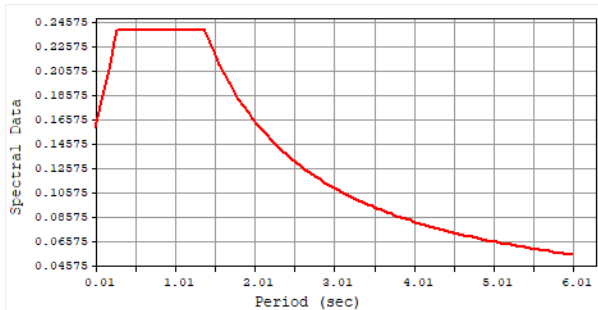
Beban gempa pada Kota Pangkal Pinang sesuai SNI1726-2019 diambil sebagai berikut:

$$S_S = 0,25 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,1 \text{ g}$$

$$PGA = 0,1 \text{ g}$$

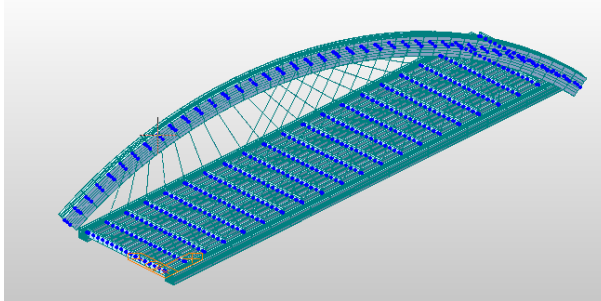
Didapatkan respon spektrum seperti pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Respon Spektrum Gempa Kota Pangkal Pinang

5.2. Pemodelan Jembatan

Pemodelan jembatan menggunakan program bantu MIDAS. Pembebanan pada sub bab 5.1 diinputkan pada program bantu MIDAS. Untuk permodelan dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Pemodelan Jembatan pada MIDAS

5.2.1. Hasil Analisa Struktur Beban Tie Beam akibat Beban Kombinasi

Hasil analisa struktur untuk tie beam akibat beban kombinasi dengan program bantu adalah sebagai berikut:

$$P_u = 22403,98 \text{ kN}$$

$$V_{ux} = 7614,91 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 1640,43 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 18151,54 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = 65140,85 \text{ kN.m}$$

$$T_u = 8877,17 \text{ kN.m}$$

5.2.2. Hasil Analisa Struktur Beban Busur akibat Beban Kombinasi

Hasil analisa struktur untuk busur akibat beban kombinasi dengan program bantu adalah sebagai berikut:

$$P_u = 61600,62 \text{ kN}$$

$$V_{ux} = 6154 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 5810,17 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 90476,16 \text{ kN.m}$$

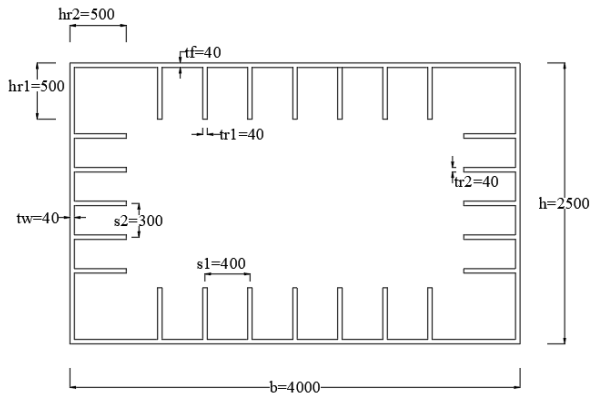
$$M_{uy} = 42895,4 \text{ kN.m}$$

$$T_u = 56193,44 \text{ kN.m}$$

5.3. Kontrol Busur, dan Kabel Penggantung

5.3.1. Perencanaan Busur Box Girder

Profil busur box girder menggunakan profil box girder 2500x4000x40x40 dengan stiffener menggunakan mutu baja BJ-37 yang memiliki parameter penampang seperti Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



Gambar 5.4 Profil Box Girder Busur

Xcg	0
Ycg	0
A	9552
J	1,214E+08
I33	86373984
I22	1,905E+08
I23	0
AS2	2678,3472
AS3	3549,7026
S33(+face)	690992
S33(-face)	690992
S22(+face)	952259
S22(-face)	952259
Z33	829784
Z22	1198656
r33	95,0921
r22	141,2035

Gambar 5.5 Parameter Penampang Busur

- Bf : 4000 mm
- D : 2500 mm
- Tf : 40 mm
- Tw : 40 mm
- A : 9552 cm²
- W : 7850 kg/m³ · 0,9552 m² = 7498,32 kg/m
- h : d - 2(tf) = 2500 - 2(40) = 2420 mm
- I_x = 86373984 cm⁴
- I_y = 190500000 cm⁴
- $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{86373984}{9552}} = 95,09 \text{ cm}$
- $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{190500000}{9552}} = 141,22 \text{ cm}$
- S_x = 690992 cm³
- S_y = 952259 cm³
- Z_x = 829784 cm³
- Z_y = 1198656 cm³

5.3.1.1. Beban Tie Beam Box Girder

$$P_u = 61600,62 \text{ kN}$$

$$V_{ux} = 6154 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 5810,17 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 90476,16 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = 42895,4 \text{ kN.m}$$

$$T_u = 56193,44 \text{ kN.m}$$

5.3.1.2. Analisa Kuat Aksial

- Analisa Batang Tarik

$$P_n = A_g F_y$$

$$P_n = 9552 \times 2400 = 22924800 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \emptyset P_n &= 0,9 \cdot 22924800 \text{ kg} = 20632320 \text{ kg} \\ &= 202403,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\emptyset P_n = 202403,1 \text{ kN} > P_u = 61600,62 \text{ kN (OK)}$$

- Analisa Batang Tekan

- Sumbu X

$$\frac{h}{t_w} < 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2420}{40} < 5,7 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$60,5 < 164,54 \text{ (Penampang Kompak)}$$

$$i_x = 95,09 \text{ cm}$$

$$L_x = 2000 \text{ cm (Jarak antar Kabel)}$$

$$K_x = 1 \text{ (Tumpuan Sendi – Sendi)}$$

$$\lambda_x = \frac{L_x \cdot K_x}{i_x} = \frac{2000 \times 1}{95,09} = 21,03 \text{ (Menentukan)}$$

- Sumbu Y

$$\frac{b}{t_f} < 1,4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{4000}{40} < 1,4 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$100 < 40,41$ (*Dibutuhkan Stiffener*)

$$i_y = 141,12 \text{ cm}$$

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

$$K_y = 1$$

$$\lambda_y = \frac{L_y \cdot K_y}{i_y} = \frac{500 \times 1}{141,12} = 3,54$$

$$\lambda_e = 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_e = 4,71 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$\lambda_e = 135,966$$

$\lambda_{max} = 21,03 < \lambda_e = 135,966$ (*Inelastis*)

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{maks}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000}{21,03^2} = 44622,96 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \right) \cdot F_y$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \sqrt{\frac{2400}{44622,96}} \right) \cdot 2400 = 2346,58 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$P_n = 9552 \cdot 2346,58 = 22414498 \text{ kg} = 219886,23 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 219886,23 \text{ kN} = 197897,6 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 197897,6 \text{ kN} > P_u = 61600,62 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

5.3.1.3. Analisa Kuat Geser

- Sumbu Y (Sayap)

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm}$$

$$b = 4000 \text{ mm}$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{b}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{4000}\right)^2} = 325$$

$$\frac{b}{t_f} < 1,1 \sqrt{\frac{K_n \cdot E}{F_y}}$$

$$\frac{4000}{40} < 1,1 \sqrt{\frac{325 \cdot 2000000}{2400}}$$

100 < 572,46 (*Plastis*), maka digunakan $C = 1$

Box Girder untuk busur digunakan stiffener jarak 2000 mm, dengan tebal 40 mm.

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

$$C_v = C + \frac{0,87(1 - C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} = 1$$

$$C_v = 1$$

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

$$V_n = 0,6 \cdot 2400 \cdot (400 \cdot 4) \cdot 1$$

$$V_n = 2304000 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 2304000 \text{ kg} = 1728000 \text{ kg} = 16951,68 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 16951,68 \text{ kN} > V_{uy} = 5810,17 \text{ kN (OK)}$$

- Sumbu X (Badan)

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm}$$

$$h = 2420 \text{ mm}$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2420}\right)^2} = 122,13$$

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{K_n \cdot E}{F_y}}$$

$$\frac{2420}{40} < 1,1 \sqrt{\frac{122,13 \cdot 2000000}{2400}}$$

60,5 < 350,92 (*Plastis*), maka digunakan $C = 1$

Box Girder untuk busur digunakan stiffener jarak 2000 mm, dengan tebal 40 mm.

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

$$C_v = C + \frac{0,87(1 - C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} = 1$$

$$C_v = 1$$

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

$$V_n = 0,6 \cdot 2400 \cdot (242 \cdot 4) \cdot 1$$

$$V_n = 1393920 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \cdot 1393920 \text{ kg} = 1080000 \text{ kg} = 10594,8 \text{ kN}$$

$$\emptyset V_n = 10594,8 \text{ kN} > V_{ux} = 6154 \text{ kN (OK)}$$

5.3.1.4. Analisa Kuat Lentur

- Kontrol Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{tf}$$

$$\lambda = \frac{2000}{40} = 50$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{2000000}{2400}} = 32,33$$

$\lambda > \lambda_p$ (Penampang Tidak Kompak, Butuh stiffener)

- Kontrol Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda = \frac{2420}{40} = 60,5$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{2000000}{2400}} = 69,86$$

$\lambda < \lambda_p$ (Penampang Kompak)

Momen nominal dari penampang tersebut adalah :

$$M_n = M_p \leq 1,5 \cdot M_y$$

$$M_n = Z_x \cdot F_y \leq 1,5 \cdot S_x \cdot F_y$$

- Momen Arah X (Sayap)

$$M_n = 829784 \cdot 2400 \leq 1,5 \cdot 690992 \cdot 2400$$

$$M_n = 1991481600 \text{ kgcm} \leq 2487571200 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}\emptyset M_n &= 0,9 \cdot 1991481600 \text{ kgcm} = 1792333440 \text{ kgcm} \\ &= 1758279 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset M_{nx} &= 175827,91 \text{ kN.m} > M_{ux} \\ &= 90476,16 \text{ kN.m (OK)}\end{aligned}$$

- Momen Arah Y (Badan)

$$M_n = 1198656 \cdot 2400 \leq 1,5 \cdot 952259 \cdot 2400$$

$$M_n = 2876774400 \text{ kgcm} \leq 3428132400 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}\emptyset M_n &= 0,9 \cdot 2876774400 \text{ kgcm} = 2589096960 \text{ kgcm} \\ &= 2539904 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\emptyset M_{ny} = 2539904 \text{ kN.m} > M_{uy} = 42895,4 \text{ kN.m (OK)}$$

5.3.1.5. Kontrol Interaksi

$$\frac{P_u}{\emptyset P_n} = \frac{61600,62}{197897,6} = 0,311$$

$> 0,2$ (Menggunakan rumus interaksi 1)

$$\frac{P_u}{\emptyset P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\emptyset M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\emptyset M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\begin{aligned}\frac{61600,62}{197897,6} + \frac{8}{9} \left(\frac{90476,16}{175827,91} + \frac{42895,4}{2539904} \right) &\leq 1 \\ 0,92 &\leq 1 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

5.3.1.6. Analisa Kuat Torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang box girder:

$$T_u = 56193,44 \text{ kN.m}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{2420}{50} = 60,5$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2420}{40} < 2,45 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$60,5 < 70,725$$

$$F_{cr} = 0,6 \cdot F_y = 0,6 \times 2400 = 1440 \frac{kg}{cm^2}$$

Untuk penampang persegi berongga konstanta torsi C dapat secara konservatif diperhitungkan sebagai berikut:

$$C = (2 \cdot (B - t_f) \cdot (H - t_w) \cdot t_w) - (4,5 \cdot (4 - \pi \cdot t_f) \cdot 3)$$

$$C = (2 \cdot (4000 - 40) \cdot (2420 - 40) \cdot 40)$$

$$- (4,5 \cdot (4 - \pi \cdot 40) \cdot 3)$$

$$C = 753736779 \text{ mm}^3 = 753736,8 \text{ cm}^3$$

$$\emptyset T_n = 0,9 \cdot F_{cr} \cdot C$$

$$\emptyset T_n = 0,9 \times 1440 \times 753736,8 = 976842865 \text{ kg.cm}$$

$$= 95828,3 \text{ kN.m}$$

$$\emptyset T_n = 95828,3 \text{ kN.m} > T_u = 56193,44 \text{ kN.m (OK)}$$

5.3.1.7. Perencanaan Stiffener (Diafragma)

- Web Stiffener

Perencanaan web stiffener sebagai berikut:

$$b_{ws} \geq \left(2 + \frac{D}{30} \right) \text{ dalam inch}$$

$$b_{ws} \geq \left(2 + \frac{\frac{2500}{25,4}}{30} \right)$$

$$b_{ws} \geq 5,28 \text{ inch} = 134,13 \text{ mm}$$

$$t_{ws} \geq \frac{b_{fs}}{16} = \frac{134,13}{16} = 18,75 \text{ mm}$$

Kontrol terhadap Inersia

Digunakan stiffener sebagai berikut:

$$b_{ws} = 500 \text{ mm}$$

$$t_{ws} = 40 \text{ mm}$$

$$I_{ws} = \frac{1}{12} t_{ws} b_{ws}^3 = \frac{1}{12} \times 40 \times 500^3 = 416666666,7 \text{ mm}^4$$

$$I_{ws} \geq I_{t1} = b t_w^3 J$$

$$J = \frac{2,5}{\left(\frac{d_o}{D}\right)^2} - 2,0 \geq 0,5$$

Diasumsikan $J = 0,5$

$$I_{t1} = b t_w^3 J = 4000 \times 40^3 \times 0,5 = 128000000 \text{ mm}^4$$

$$I_{ws} = 416666666,7 \text{ mm}^4 \geq I_{t1} = 128000000 \text{ mm}^4 \text{ (OK)}$$

$$I_{ws} \geq I_{t2} = \frac{D^4 \rho_t^{1,3} (F_y)^{1,5}}{40}$$

$$I_{t2} = \left(\frac{\left(\frac{2500}{25,4}\right)^4 \times 1 \left(\frac{2400}{2000000}\right)^{1,5}}{40} \right) \times 25,4^4$$

$$= 40594941 \text{ mm}^4$$

$$I_{ws} = 416666666,7 \text{ mm}^4 \geq I_{t2} = 40594941 \text{ mm}^4 \text{ (OK)}$$

- Flange Stiffener

Perencanaan flange stiffener sebagai berikut:

$$b_{fs} \leq 0,48 t_s \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{b_{fs}}{t_{fs}} \leq 0,48 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$b_{fs} = 550 \text{ mm}$$

$$t_{ws} = 40 \text{ mm}$$

$$\frac{b_{fs}}{t_{fs}} = \frac{550}{40} = 13,75 \leq 0,48 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,48 \sqrt{\frac{2000000}{2400}}$$

$$= 13,85 \text{ (OK)}$$

$$I_{fs} = \frac{1}{12} t_{fs} b_{fs}^3 = 2 \times \frac{1}{12} \times 40 \times 550^3$$

$$= 1109166667 \text{ mm}^4$$

$$I_{fs} > \Psi w t_{fc}^3$$

Dengan jarak tiap diafragma 2000 mm, diperhitungkan sebagai berikut:

$$k = \frac{\left[1 + \left(\frac{a}{b_f}\right)^2\right]^2 + 87,3}{(n + 1)^2 \left(\frac{a}{b_f}\right)^2 [1 + 0,1(n + 1)]}$$

$$k = \frac{\left[1 + \left(\frac{2000}{4000}\right)^2\right]^2 + 87,3}{(2 + 1)^2 \left(\frac{2000}{4000}\right)^2 [1 + 0,1(2 + 1)]} = 30,4 \leq 4$$

Dipakai $k = 4$

$$I_{fs} > \Psi w t_{fc}^3$$

Dengan terdapat stiffener atas dan bawah, $n = 2$

$$\Psi = 1,12k^3 = 1,12 \times 4^3 = 71,68 \leq 8$$

$$\Psi = 8$$

$$\Psi w t_{fc}^3 = 8 \times (2500 - 2 \times 550) \times 40^3$$

$$= 716800000 \text{ mm}^4$$

$$I_{fs} = 1109166667 \text{ mm}^4 > \Psi w t_{fc}^3$$

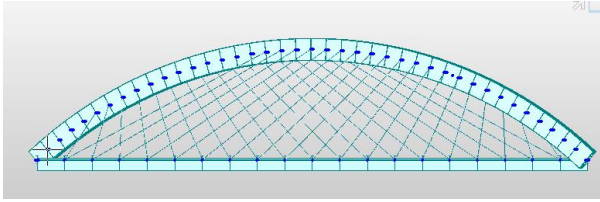
$$= 716800000 \text{ mm}^4 \text{ (OK)}$$

5.3.2. Perencanaan Kabel Penggantung

Dalam perhitungan gaya kabel juga dilakukan simulasi terburuk yaitu jika salah satu kabel mengalami putus (gagal). Berikut adalah analisis gaya kabel sesuai dengan simulasi yang dilakukan.

- Kasus 1 (Seluruh Kabel Bekerja)

Kasus 1 dilakukan kontrol apabila kabel bekerja semua. Untuk control gaya kabel dapat dilihat pada Tabel 5.1 dengan ilustrasi pemasangan kabel dapat dilihat pada Gambar 5.6.



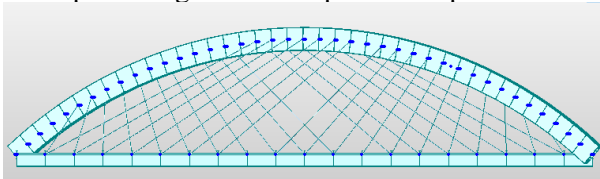
Gambar 5.6 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 1

Tabel 5.1 Kontrol Gaya Kabel Kasus 1

Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL	Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL
882	117,511	OK	901	227,2281	OK
883	206,8329	OK	902	265,4834	OK
884	266,168	OK	903	258,4303	OK
885	295,6001	OK	904	228,3778	OK
886	306,1558	OK	905	189,3056	OK
887	302,2364	OK	908	147,9595	OK
888	293,116	OK	909	112,0424	OK
889	281,6565	OK	910	459,2156	OK
890	268,702	OK	911	431,995	OK
891	254,3168	OK	912	389,1483	OK
892	238,3549	OK	913	337,862	OK
893	220,7057	OK	914	300,7984	OK
894	201,3995	OK	915	265,8064	OK
895	180,7254	OK	916	225,0647	OK
896	159,0899	OK	917	174,3753	OK
897	137,1758	OK	918	112,7898	OK
898	116,2296	OK	919	88,04221	OK
899	98,2515	OK	920	59,50278	OK
900	82,08948	OK	921	23,93852	OK

- Kasus 2 (Kabel Tengah Putus)

Kasus 2 dilakukan kontrol apabila kabel tengah putus, Untuk control gaya kabel dapat dilihat pada Tabel 5.2 dengan ilustrasi pemasangan kabel dapat dilihat pada Gambar 5.7.



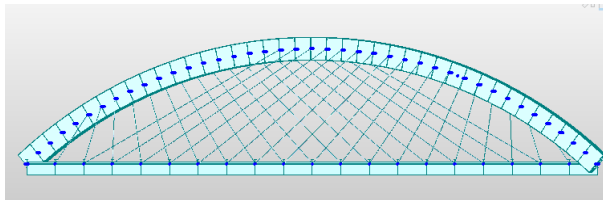
Gambar 5.7 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 2

Tabel 5.2 Kontrol Gaya Kabel Kasus 2

Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL	Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL
882	112,9952	OK	901	228,2026	OK
883	205,5204	OK	902	266,1501	OK
884	268,9194	OK	903	259,0144	OK
885	302,1251	OK	904	229,1086	OK
886	316,1768	OK	905	190,5102	OK
887	315,4263	OK	908	149,9489	OK
888	309,0189	OK	909	114,9451	OK
889	299,8159	OK	910	461,0572	OK
890	288,6086	OK	911	442,9332	OK
891	275,303	OK	912	436,4446	OK
892	259,5752	OK	913	392,7996	OK
894	219,4704	OK	915	312,5712	OK
895	196,0018	OK	916	259,2634	OK
896	171,5067	OK	917	196,29	OK
897	146,9095	OK	918	123,7216	OK
898	123,418	OK	919	98,97644	OK
899	103,335	OK	920	76,72075	OK
900	85,34803	OK	921	38,21975	OK

- Kasus 3 (Kabel Ujung Panjang Putus)

Kasus 3 dilakukan kontrol apabila kabel ujung panjang putus, Untuk control gaya kabel dapat dilihat pada Tabel 5.3 dengan ilustrasi pemasangan kabel dapat dilihat pada Gambar 5.8.



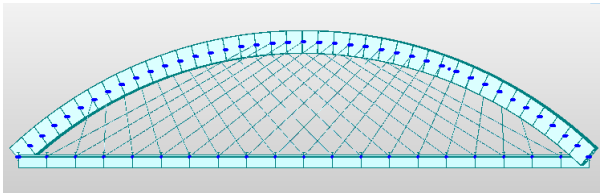
Gambar 5.8 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 3

Tabel 5.3 Kontrol Gaya Kabel Kasus 3

Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL	Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL
882	110,2099	OK	901	237,0321	OK
883	200,8942	OK	902	272,2973	OK
884	262,9129	OK	903	262,3307	OK
885	294,3693	OK	904	230,415	OK
886	306,1838	OK	905	190,3747	OK
887	303,1314	OK	908	148,4288	OK
888	294,5675	OK	909	112,2985	OK
889	283,5306	OK	910	462,8562	OK
890	270,9712	OK	911	452,778	OK
891	257,0087	OK	912	390,7424	OK
892	241,5213	OK	913	338,3992	OK
893	224,4023	OK	914	298,9903	OK
894	205,674	OK	915	260,0773	OK
895	185,5916	OK	916	213,8038	OK
896	164,5512	OK	917	156,0751	OK
897	143,4264	OK	918	89,64349	OK
898	123,7106	OK	919	67,9601	OK
899	106,1924	OK	920	37,59827	OK

- Kasus 4 (Kabel Ujung Pendek Putus)

Kasus 4 dilakukan kontrol apabila kabel ujung pendek putus, Untuk control gaya kabel dapat dilihat pada Tabel 5.4 dengan ilustrasi pemasangan kabel dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Ilustrasi Pemasangan Kabel Kasus 4

Tabel 5.4 Kontrol Gaya Kabel Kasus 4

Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL	Kode Busur	Gaya Tarik ton	KONTROL
883	214,386	OK	902	283,969	OK
884	272,099	OK	903	273,322	OK
885	300,042	OK	904	238,696	OK
886	309,224	OK	905	195,585	OK
887	303,880	OK	908	151,385	OK
888	293,833	OK	909	113,670	OK
889	281,824	OK	910	462,222	OK
890	268,590	OK	911	435,453	OK
891	254,118	OK	912	387,656	OK
892	238,213	OK	913	335,667	OK
893	220,728	OK	914	298,417	OK
894	201,671	OK	915	263,416	OK
895	181,311	OK	916	222,671	OK
896	160,041	OK	917	171,905	OK
897	138,525	OK	918	110,151	OK
898	118,085	OK	919	75,465	OK
899	100,531	OK	920	32,320	OK
900	84,786	OK	921	27,510	OK

5.4. Kontrol Lentutan

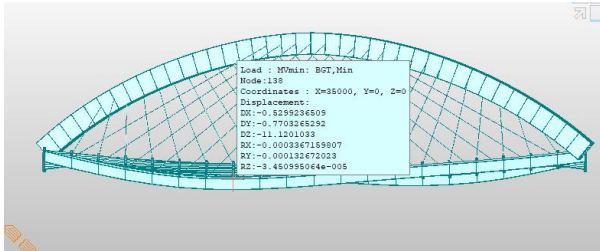
Dalam perencanaan suatu jembatan, salah satu syarat utama yang harus dipenuhi adalah lentutan yang terjadi tidak boleh melebihi lentutan ijin yang disyaratkan.

5.4.1. Lentutan Ijin

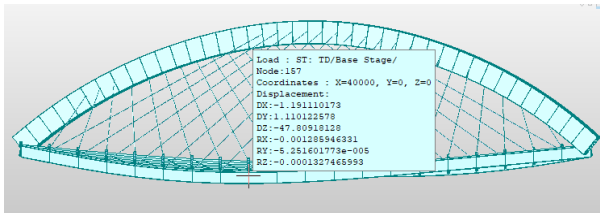
$$\Delta_{Ijin} = \frac{L}{1000} = \frac{100}{1000} = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

5.4.2. Lentutan akibat Beban Hidup Lajur “D”

Dengan program bantu MIDAS, didapatkan lentutan akibat beban hidup Lajur “D” pada Gambar 5.10. dan Gambar 5.11.



Gambar 5.10 Lentutan akibat Beban Lajur “D” BGT



Gambar 5.11 Lentutan akibat Beban Lajur “D” BTR

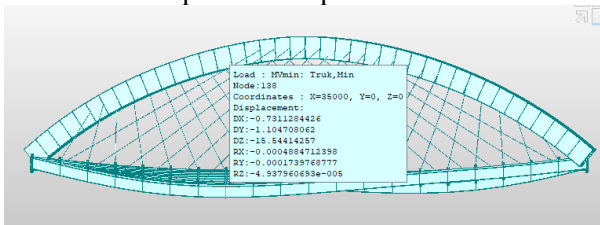
Didapatkan hasil lentutan akibat beban hidup Lajur “D” sebagai berikut:

$$\Delta_{Lajur "D"} = BGT + BTR = 11,12 \text{ mm} + 47,8 \text{ mm} \\ = 58,92 \text{ mm}$$

$$\Delta_{Lajur "D"} = 58,92 < \Delta_{Ijin} = 100 \text{ mm (OK)}$$

5.4.3. Lentutan akibat Beban Hidup Truk “T”

Dengan program bantu MIDAS, didapatkan lentutan akibat beban hidup Truk “T” pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Lentutan akibat Beban Truk “T”

Didapatkan hasil lendutan akibat beban hidup truk "T" sebagai berikut:

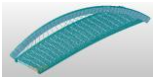
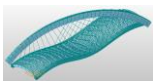
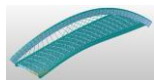
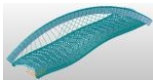
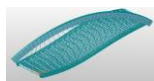
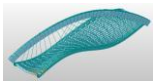
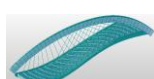
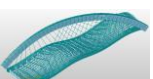
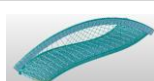

$$\Delta_{Truk "T"} = 15,54 < \Delta_{Ijin} = 100 \text{ mm (OK)}$$

5.5. Perilaku Aerodinamis

Dalam jembatan bentang panjang, beban yang mempengaruhi kegagalan struktur adalah efek angin. Kontrol terhadap stabilitas aerodinamis pada jembatan busur perlu dilakukan, analisa stabilitas pada desain ini meliputi vortexshedding (tumpahan pusaran angin) dan flutter (efek ayunan).

Dengan program bantu MidasCivil nilai frekuensi alami lentur balok (f_B) dan frekuensi alami torsi (f_T) dapat dicari dengan menggunakan modal melalui tahapan mode pada menu result vibration mode shapes seperti pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Frekuensi Alami MIDAS

Mode	Tampak	Frekuensi (Hz)	Keterangan	Mode	Tampak	Frekuensi (Hz)	Keterangan
1		1,111	Lentur Sumbu X (F_B)	6		3,368	Torsi Sumbu Z (F_T)
2		1,516	Torsi Sumbu Z (F_T)	7		4,138	Torsi Sumbu Y (F_B)
3		1,76	Lentur Sumbu Z (F_B)	8		4,225	Torsi Sumbu Z (F_B)
4		2,411	Lentur Sumbu Y (F_B)	9		4,501	Lentur Sumbu Y (F_B)
5		2,655	Torsi Sumbu X (F_T)	10		4,677	Torsi Sumbu Y (F_T)

Berdasarkan hasil analisa MidasCivil diatas didapatkan nilai f_B pada mode ke-1 dan nilai f_T pada mode ke-5 sebesar:

$$f_B = 1,111 \text{ Hz}$$

$$f_T = 2,665 \text{ Hz}$$

5.5.1. Frekuensi Alami

Dengan hasil analisa MidasCivil diatas didapatkan nilai f_B dan nilai f_T sebagai berikut:

$$f_B = 1,111 \text{ Hz}$$

$$f_T = 2,665 \text{ Hz}$$

$$\frac{f_T}{f_B} = \frac{2,665}{1,111} = 2,391 \approx 2,5 \text{ (Mathivat)}$$

5.5.2. Efek Pusaran Angin (Vortex-Shedding)

Pada perhitungan efek pusaran angin, beberapa kecepatan angin akan mengakibatkan turbulensi atau pusaran angin (Vortex-Shedding) pada jembatan. Untuk mendapatkan kecepatan angin yang mengakibatkan pusaran angin dapat dihitung dari angka Strouhal dari suatu lantai kendaraan sebagai berikut:

$$V = \frac{f_B \cdot h}{s} \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.11)}$$

Kecepatan angin (V) diperhitungkan dengan menggunakan angka Strouhal (s) = 0,2 dan tinggi lantai kendaraan (h) = 2. Didapatkan kecepatan angin sebagai berikut:

$$V = \frac{1,111 \cdot 2}{0,2} = 11,1 \frac{m}{s}$$

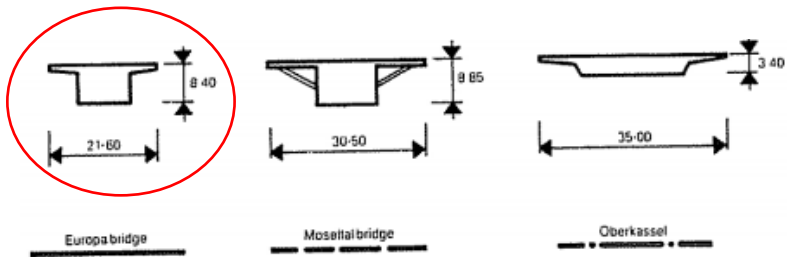
Dengan kecepatan angin tersebut, dilakukan pengecekan efek pusaran dengan angka Reynold (Re). Angka Reynold harus memenuhi persyaratan yaitu berkisar antara $10^5 - 10^7$ akibat kecepatan angin yang bekerja. Angka Reynold dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Re = \frac{V \cdot B}{\bar{\nu}} = \frac{11,1 \times 20}{0,15 \times 10^{-4}} = 1,5 \times 10^7 \text{ (OK)}$$

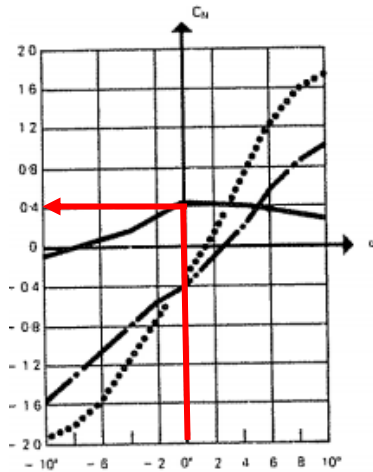
Dengan kecepatan angin tersebut akan menyebabkan gaya angkat (uplift) pada jembatan yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} C x h \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.13)}$$

Besarnya nilai koefisien C dapat dilihat pada Gambar 5.13 dengan menggunakan grafik pada Gambar 5.14.



Gambar 5.13 Macam-macam Penampang Deck



Gambar 5.14 Nilai Koefisien C_N

Grafik koefisien C_N diatas merupakan hasil dari tiga bentuk penampang lantai kendaraan yang pernah dibangun. Berdasarkan desain penampang jembatan busur ini, penampang pertama cukup mewakili bentuk penampang lantai kendaraan yang didesain. Dengan α diambil sebesar 0° , maka akan didapat nilai koefisien C_N sebesar 0,4. Maka, nilai F_o

$$F_o = 1,3 \cdot 10 \cdot \frac{11,1^2}{2} \cdot 0,4 \cdot (2) = 96,104 \text{ kg} = 942,7 \text{ N}$$

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

$$\hat{v} = \frac{\pi F_o}{\delta m} v_{max}$$

Dari hasil analisa program bantu MIDAS didapatkan lendutan yang terjadi akibat beban hidup truk sebesar 0,015 m. Penurunan logaritmik (koefisien peredam) ditentukan 0,05. Berat sendiri lantai kendaraan adalah 174911,6 N. Didapatkan sebagai berikut:

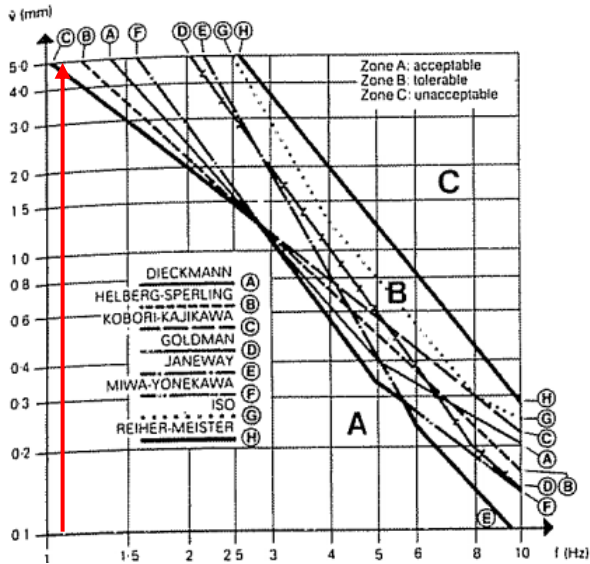
$$\hat{v} = \frac{\pi}{0,05} \times \frac{942,7}{174911,6} \cdot 0,015 = 0,005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$$

Perhitungan dilanjutkan untuk mendapatkan nilai percepatan getaran yang dihasilkan dengan persamaan berikut:

$$\hat{v} = 4\pi^2 \times f_B^2 \times \hat{v}$$

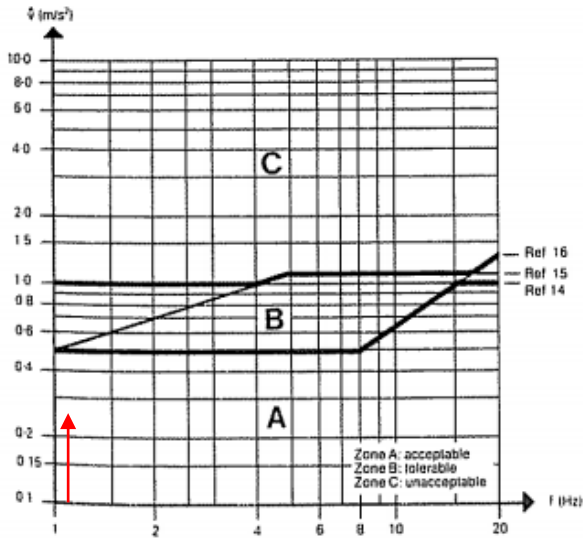
$$\hat{v} = 4\pi^2 \times 1,11^2 \times 0,015 = 0,247 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Digunakan f_B maka dapat diketahui klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (\hat{v}) dengan melakukan plot nilai \hat{v} dan f_B pada Gambar 5.15



Gambar 5.15 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Amplitudo

Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa berdasarkan \hat{v} dan f_B didapatkan hasil di garis antara area (A) dan area (B), maka desain dapat diterima. Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (\hat{v}) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai \hat{v} dan f_B pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Percepatan Getaran

Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa berdasarkan \hat{v} dan f_B didapatkan hasil pada area (A), maka desain dapat diterima.

5.5.3. Efek Ayunan (*Flutter*)

Hasil akhir perhitungan flutter adalah didapaknya nilai kecepatan kritis actual struktur ($V_{kritis.aktual}$). Apabila nilai kritis actual struktur lebih besar dari nilai kecepatan angin rencana, maka struktur dinyatakan aman. Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis ($V_{kritis.teoritis}$), dapat digunakan metode Perhitungan flutter menggunakan metode Kloppel sebagai berikut:

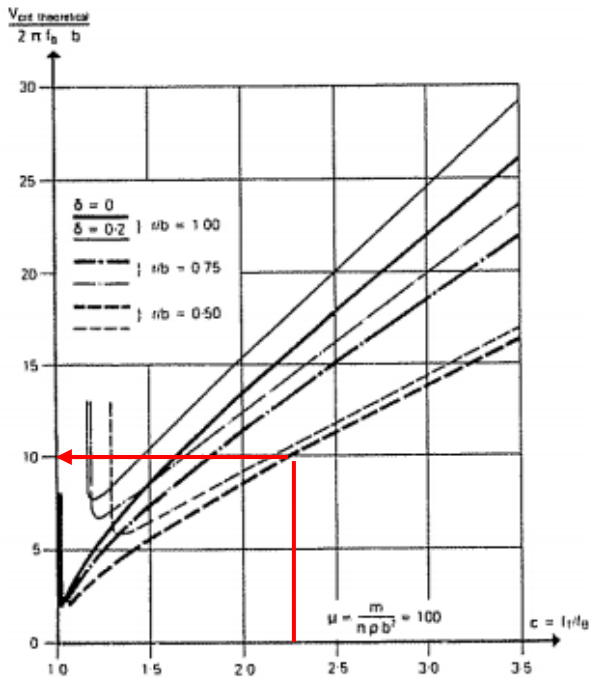
$$V_{kritis.teoritis} = 2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b$$

Untuk mendapatkan nilai $V_{kritis.teoritis}$ menggunakan grafik pada Gambar 5.17 dengan menggunakan persamaan berikut:

$$1. \mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot \frac{b^2}{2}} = \frac{174911,6}{\pi \cdot 1,3 \cdot \left(\frac{20}{2}\right)^2} = 43,65$$

$$2. \frac{r}{b} \text{ diambil terendah yaitu } 0,5$$

$$3. \frac{f_T}{f_B} = \frac{2,665}{1,111} = 2,391$$



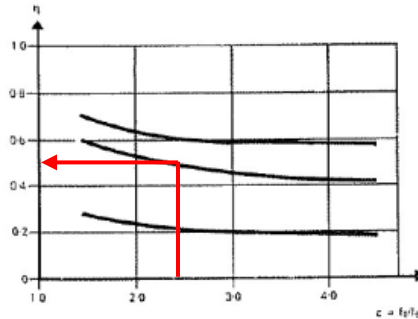
Gambar 5.17 Perhitungan Flotter Metode Kloppel

Dari grafik pada Gambar 5.17 didapatkan nilai :

$$\frac{V_{kritis.teoritis}}{2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b} = 10$$

$$V_{kritis.teoritis} = 10 \times \left(2 \cdot \pi \cdot 1,111 \cdot \frac{20}{2} \right) = 697,43 \frac{m}{s}$$

Kecepatan kritis teoritis dikoreksi menjadi kecepatan kritis actual menggunakan grafik pada Gambar 5.18. Pemilihan grafik berdasarkan penampang lantai kendaraan yang dipakai.



Gambar 5.18 Koreksi Kecepatan

Dengan grafik pada Gambar 5.18, didapatkan nilai koreksi $\eta = 0,5$

$$\begin{aligned} V_{kritis.aktual} &= \eta \times V_{kritis.teoritis} = 0,5 \times 697,43 \\ &= 348,72 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Namun, angin juga tidak menabrak jembatan dalam arah horizontal sempurna, terdapat sudut α dengan rata-rata 6° , dengan itu dilakukan koreksi kembali. Lantai kendaraan menggunakan box girder maka koreksi sebesar 0,33 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta (\alpha = \pm 6^\circ) &= 0,33 \times \eta (\alpha = \pm 6^\circ) = 0,33 \times 0,65 \\ &= 0,2145 \end{aligned}$$

Maka didapatkan $V_{kritis.aktual}$ setelah koreksi sebagai berikut:

$$V_{kritis.aktual \alpha = \pm 6^\circ} = 0,2145 \times 348,72 = 74,8 \frac{m}{s}$$

Sedangkan untuk kecepatan angin rencana pada jembatan busur ini sebesar 119.2 km/jam atau setara 33.1 m/s. Sehingga analisa efek flutter ini memenuhi syarat yang telah disyaratkan yaitu $V_{kritis.aktual} = 74,8 \frac{m}{s} \geq V_{rencana} = 33,1 \frac{m}{s}$ (OK)

BAB VI SAMBUNGAN DAN PERLETAKAN

6.1. Perencanaan Sambungan

6.1.1. Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang

Diameter baut sambungan	: 16 mm
Luas baut	: 201,062 mm ²
Diameter lubang	: 16 + 2 = 18 mm
Mutu baut	: A325 (F _{nv} = 4570 kg/cm ²)
Beban Pu	= 18200 kg
Plat Penyambung	: L100x100x10
A	: 19 cm ²
x	: 3,03 cm

Jarak baut ke tepi (sesuai tabel J3.4M) = 22 mm

$l_c = \text{Jarak baut ke tepi} - 0,5 \cdot (\text{Diameter lubang})$

$$l_c = 22 - 0,5 \cdot 18 = 13 \text{ mm}$$

- Kuat geser baut

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot m$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 4570 \cdot 2,01062 \cdot 1 = 6891,398 \text{ kg}$$

- Kuat tumpu baut

$$l_c = 1,3 \text{ cm}$$

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 3700 \leq 2,4 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 3700$$

$$R_n = 5772 \text{ kg} \leq 14208 \text{ kg}$$

$$R_n = 5772 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 5772 \text{ kg} = 4329 \text{ kg (Menentukan)}$$

$$n_{min} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{18200}{4329} = 4,2 \text{ buah}$$

$$n_{pakai} = 5 \text{ buah}$$

- Kontrol Baut

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s1)} &= 1,5 \text{ Diameter s.d (4tp +100) atau 100} \\ &= 1,5 \cdot 16 \text{ s.d (4.10 +100) atau 100 mm} \\ &= 24 \text{ mm s.d 140 atau 100 mm} \end{aligned}$$

$$S1 \text{ pakai} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s2)} &= (\text{Tabel J3.4M}) \text{ s.d 12tp atau 150 mm} \\ &= 22 \text{ mm s.d 12.10 atau 150 mm} \\ &= 24 \text{ mm s.d 120 atau 150 mm} \end{aligned}$$

$$S2 \text{ pakai} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Baut (s)} &= 3 \text{ Diameter s.d 15tp atau 200 mm} \\ &= 3 \cdot 16 \text{ s.d 15.10 atau 200 mm} \\ &= 48 \text{ mm s.d 150 atau 200 mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang sambungan} &= S x(n - 1) + S_1 = 50 x (5 - 1) + \\ &25 = 225 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kontrol Kekuatan Putus

$$A_n = A_g - n \cdot \emptyset \text{Lubang} \cdot t$$

$$A_n = 1900 - 5 \cdot 18 \cdot 10 = 1000 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1 - \frac{x}{L} \leq 0,9$$

$$\mu = 1 - \frac{3,03}{4 \cdot S} = 1 - \frac{3,03}{200} = 0,85 \leq 0,9$$

$$\mu = 0,85$$

$$A_e = \mu \cdot A_n$$

$$A_e = 0,85 \cdot 1000 = 848,5 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset P_n = \emptyset \cdot A_e \cdot F_u$$

$$\emptyset P_n = 0,75 \cdot 848,5 \cdot 370 = 235458,75 \text{ N} = 24001,91 \text{ kg}$$

$$\emptyset P_n = 24001,91 \text{ kg} > P_u = 18200 \text{ kg (OK)}$$

- Kontrol Block Shear

$$A_{gv} = \text{Panjang Sambungan} \times tp$$

$$A_{gv} = 225 \times 10 = 2250 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (225 - (5 - 0,5) \cdot 18) \cdot 10 = 1440 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 25 \times 10 = 250 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (25 - 0,5 \cdot 18) \cdot 10 = 160 \text{ mm}^2$$

$$\text{Putus Bidang Tarik} : U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1 \cdot 3700 \cdot 1,6 = 5920 \text{ kg}$$

$$\text{Putus Bidang Geser} : 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot 3700 \cdot 14,4 = 31968 \text{ kg}$$

Putus Bidang Tarik < Putus Bidang Geser

$$R_n = 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{gt}$$

$$R_n = 0,6 \cdot 3700 \cdot 14,4 + 1 \cdot 2400 \cdot 2,5 = 37968 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \cdot 37968 \text{ kg} = 28476 \text{ kg} > P_u \\ &= 18200 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

6.1.2. Sambungan Gelagar Melintang ke Box Girder

Diameter baut sambungan : 24 mm

Luas baut : 452,34 mm²

Diameter lubang : 24 + 2 = 26 mm

Mutu baut : A325 (F_{nv} = 4570 kg/cm²)

Beban Pu = 214720 kg

Plat Penyambung : L250x250x25

A : 119,4 cm²

x : 7,63 cm

Jarak baut ke tepi (sesuai tabel J3.4M) = 30 mm

$l_c = \text{Jarak baut ke tepi} - 0,5 \cdot (\text{Diameter lubang})$

$$l_c = 30 - 0,5 \cdot 26 = 17 \text{ mm}$$

- Kuat geser baut

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot m$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 4570 \cdot 4,5234 \cdot 1 = 15505,64 \text{ kg}$$

- Kuat tumpu baut

$$l_c = 1,7 \text{ cm}$$

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 2,5 \cdot 3700 \leq 2,4 \cdot 2,4 \cdot 2,5 \cdot 3700$$

$$R_n = 18870 \text{ kg} \leq 53280 \text{ kg}$$

$$R_n = 18870 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 18870 \text{ kg} = 14152,5 \text{ kg (Menentukan)}$$

$$n_{min} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{214720}{14152,5} = 15,17$$

$$n_{pakai} = 20 \text{ buah}$$

- Kontrol Baut

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s1)} &= 1,5 \text{ Diameter s.d (4tp +100) atau } 100 \\ &= 1,5 \cdot 24 \text{ s.d (4.25 +100) atau } 100 \text{ mm} \\ &= 36 \text{ mm s.d } 200 \text{ atau } 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S1 \text{ pakai} = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s2)} &= (\text{Tabel J3.4M}) \text{ s.d } 12\text{tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 30 \text{ mm s.d } 12.15 \text{ atau } 150 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm s.d } 180 \text{ atau } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S2 \text{ pakai} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Baut (s)} &= 3 \text{ Diameter s.d } 15\text{tp atau } 200 \text{ mm} \\ &= 3 \cdot 24 \text{ s.d } 15.25 \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ &= 72 \text{ mm s.d } 375 \text{ atau } 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang sambungan} &= S \times \left(\frac{n}{2} - 1\right) + S_1 = 80 \times \left(\frac{20}{2} - 1\right) + \\ 50 + 60 &= 830 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah baut tiap kolom = 2 buah
- Baut atas = 10 buah
- Baut bawah = 10 buah

- Kontrol Kekuatan Putus

$$A_n = A_g - n \cdot \phi \text{Lubang} \cdot t$$

$$A_n = 11940 - 2 \cdot 26 \cdot 25 = 10640 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1 - \frac{x}{L} \leq 0,9$$

$$\mu = 1 - \frac{76,3}{830} = 0,908 \leq 0,9$$

$$\mu = 0,9$$

$$A_e = \mu \cdot A_n$$

$$A_e = 0,9 \cdot 10640 = 9576 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= \phi \cdot A_e \cdot F_u \\ \phi P_n &= 0,75 \cdot 9576 \cdot 370 = 2657340 \text{ N} = 270880,7 \text{ kg} \\ \phi P_n &= 270880,7 \text{ kg} > P_u = 214720 \text{ kg} \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Kontrol Block Shear

$$\begin{aligned}A_{gv} &= \text{Panjang Sambungan} \times tp \\ A_{gv} &= 830 \times 25 = 20750 \text{ mm}^2 \\ A_{nv} &= (830 - (10 - 0,5) \cdot 26) \cdot 25 = 14575 \text{ mm}^2 \\ A_{gt} &= 50 \times 25 = 1250 \text{ mm}^2 \\ A_{nt} &= (50 - 0,5 \cdot 26) \cdot 25 = 925 \text{ mm}^2 \\ \text{Putus Bidang Tarik} : U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} &= 1 \cdot 3700 \cdot 9,25 = \\ &= 34225 \text{ kg} \\ \text{Putus Bidang Geser} : 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} &= 0,6 \cdot 3700 \cdot 145,75 = \\ &= 323565 \text{ kg} \\ \text{Putus Bidang Tarik} < \text{Putus Bidang Geser} \\ R_n &= 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{gt} \\ R_n &= 0,6 \cdot 3700 \cdot 145,75 + 1 \cdot 2400 \cdot 12,5 = 353565 \text{ kg} \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 353565 \text{ kg} = 265173,8 \text{ kg} > P_u \\ &= 214720 \text{ kg} \text{ (OK)}\end{aligned}$$

6.1.3. Sambungan Ikatan Angin

$$\begin{aligned}\text{Diameter baut sambungan} &: 16 \text{ mm} \\ \text{Luas baut} &: 201,062 \text{ mm}^2 \\ \text{Diameter lubang} &: 16 + 2 = 18 \text{ mm} \\ \text{Mutu baut} &: A325 (F_{nv} = 4570 \text{ kg/cm}^2) \\ \text{Beban Pu} &= 13519,48 \text{ kg} \\ \text{Plat Penyambung} &: L175 \times 175 \times 15 \\ A &: 50,21 \text{ cm}^2 \\ x &: 5,35 \text{ cm} \\ \text{Jarak baut ke tepi (sesuai tabel J3.4M)} &= 22 \text{ mm} \\ l_c &= \text{Jarak baut ke tepi} - 0,5 \cdot (\text{Diameter lubang}) \\ l_c &= 22 - 0,5 \cdot 18 = 13 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Kuat geser baut

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot m$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 4570 \cdot 2,01062 \cdot 1 = 6891,398 \text{ kg}$$

- Kuat tumpu baut

$$l_c = 1,3 \text{ mm}$$

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,5 \cdot 3700 \leq 2,4 \cdot 1,6 \cdot 1,5 \cdot 3700$$

$$R_n = 8658 \text{ kg} \leq 21312 \text{ kg}$$

$$R_n = 8658 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 8658 \text{ kg} = 6493,5 \text{ kg (Menentukan)}$$

$$n_{min} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{13519,48}{6493,5} = 2,08$$

$$n_{pakai} = 4 \text{ buah}$$

- Kontrol Baut

Jarak Tepi (s1) = 1,5 Diameter s.d (4tp +100) atau 100
 = 1,5 · 16 s.d (4 · 15 +100) atau 100 mm
 = 24 mm s.d 160 atau 100 mm

S1 pakai = 25 mm

Jarak Tepi (s2) = (Tabel J3.4M) s.d 12tp atau 150 mm
 = 22 mm s.d 12 · 15 atau 150 mm
 = 24 mm s.d 180 atau 150 mm

S2 pakai = 25 mm

Jarak Baut (s) = 3 Diameter s.d 15tp atau 200 mm
 = 3 · 16 s.d 15 · 15 atau 200 mm
 = 48 mm s.d 225 atau 200 mm

S pakai = 50 mm

Panjang sambungan = $S \times \left(\frac{n}{2} - 1\right) + S_1 = 50 \times \left(\frac{4}{2} - 1\right) + 25 = 100 \text{ mm}$

- Jumlah baut tiap kolom = 2 buah
- Baut atas = 2 buah
- Baut bawah = 2 buah

- Kontrol Kekuatan Putus

$$A_n = A_g - n \cdot \emptyset \text{Lubang} \cdot t$$

$$A_n = 5021 - 2 \cdot 18 \cdot 15 = 4481 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1 - \frac{x}{L} \leq 0,9$$

$$\mu = 1 - \frac{53,5}{2 \cdot 50} = 1 - \frac{53,5}{100} = 0,465 \leq 0,9$$

$$\mu = 0,465$$

$$A_e = \mu \cdot A_n$$

$$A_e = 0,465 \cdot 5021 = 2083,665 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset P_n = \emptyset \cdot A_e \cdot F_u$$

$$\emptyset P_n = 0,75 \cdot 2083,665 \cdot 370 = 578217,04 \text{ N}$$

$$= 58941,59 \text{ kg}$$

$$\emptyset P_n = 58941,59 \text{ kg} > P_u = 13519,48 \text{ kg (OK)}$$

- Kontrol Block Shear

$$A_{gv} = \text{Panjang Sambungan} \times tp$$

$$A_{gv} = 100 \times 15 = 1500 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (100 - (2 - 0,5) \cdot 18) \cdot 15 = 1095 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 50 \times 15 = 750 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (50 - 0,5 \cdot 18) \cdot 15 = 615 \text{ mm}^2$$

$$\text{Putus Bidang Tarik : } U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1 \cdot 3700 \cdot 6,15 = 22755 \text{ kg}$$

$$\text{Putus Bidang Geser : } 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot 3700 \cdot 10,95 = 24309 \text{ kg}$$

$$\text{Putus Bidang Tarik} < \text{Putus Bidang Geser}$$

$$R_n = 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{gt}$$

$$R_n = 0,6 \cdot 3700 \cdot 10,95 + 1 \cdot 2400 \cdot 7,5 = 42309 \text{ kg}$$

$$\emptyset R_n = 0,75 \cdot 42309 \text{ kg} = 31731,75 \text{ kg} > P_u$$

$$= 13519,48 \text{ kg (OK)}$$

6.1.4. Sambungan Tie Beam Box Girder

Sambungan tie beam box girder berupa sambungan baut dengan pelat baja. Sambungan pada box girder dianggap memikul beban yang sama sebagai berikut:

$$P_u = 22403,98 \text{ kN}$$

$$V_{ux} = 7614,91 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 1640,43 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 18151,54 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = 65140,85 \text{ kN.m}$$

$$T_u = 8877,17 \text{ kN.m}$$

Sambungan direncanakan menggunakan baut tipe tumpu dan pelat penyambung sebagai berikut:

$$\text{Diameter baut} = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut} = 1017,876 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter lubang} = 36 + 2 = 38 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu baut} = \text{A325 (} F_{nv} = 4570 \text{ kg/cm}^2\text{)}$$

$$t_p = 30 \text{ mm (2 Bidang Geser)}$$

$$m = 2$$

$$\text{Mutu pelat} = \text{BJ37}$$

$$F_u = 370 \text{ MPa}$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$r_1 = 0,5$$

$$m = 2$$

Kuat nominal 1 baut

- Kuat Geser

$$\phi V_n = \phi \cdot r_1 \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot m$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 0,5 \cdot 457 \cdot 1017,876 \cdot 2$$

$$= 348877 \text{ N (Menentukan)}$$

- Kuat Tumpu

$$\phi V_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 2,4 \cdot 36 \cdot 30 \cdot 370 = 719280 \text{ N}$$

6.1.4.1. Sambungan Pelat Badan

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s1)} &= 1,5 \text{ Diameter s.d (4tp +100) atau 100} \\ &= 1,5 \cdot 36 \text{ s.d (4. 30 +100) atau 100 mm} \\ &= 54 \text{ mm s.d 220 atau 100 mm} \end{aligned}$$

$$S1 \text{ pakai} = 54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s2)} &= (\text{Tabel J3.4M}) \text{ s.d 12tp atau 150 mm} \\ &= 46 \text{ mm s.d 12.30 atau 150 mm} \\ &= 46 \text{ mm s.d 360 atau 150 mm} \end{aligned}$$

$$S2 \text{ pakai} = 54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Baut (s)} &= 3 \text{ DIiameter s.d 15tp atau 200 mm} \\ &= 3 \cdot 36 \text{ s.d 15.30 atau 200 mm} \\ &= 108 \text{ mm s.d 450 atau 200 mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 108 \text{ mm}$$

$$V_{ux} = 7614,91 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{ux}}{B} = \frac{18151,54}{2} = 9075,77 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{ux} &= P_u \left(\frac{H}{2(B+H)} \right) = 22403,98 \left(\frac{2,5}{2(2+2,5)} \right) \\ &= 4978,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_{ux} = \frac{T_u}{H} \left(\frac{B}{B+H} \right) = \frac{8877,17}{2,5} \left(\frac{2}{2+2,5} \right) = 1578,16 \text{ kN}$$

Resultan Gaya

$$R_s = \sqrt{(V_{ux} + T_{ux})^2 + \left(P_{ux} + \frac{M_{ux}}{B} \right)^2}$$

$$\begin{aligned} R_s &= \sqrt{(7614,91 + 1578,16)^2 + (4978,66 + 9075,77)^2} \\ &= 16794,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$n_{baut} = \frac{16794,04}{348,877} = 48,14$$

$$n_{baut} = 50 \text{ buah}$$

6.1.4.2. Sambungan Pelat Sayap

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s1)} &= 1,5 \text{ Diameter s.d (4tp +100) atau 100} \\ &= 1,5 \cdot 36 \text{ s.d (4. 30 +100) atau 100 mm} \\ &= 54 \text{ mm s.d 220 atau 100 mm} \end{aligned}$$

$$S1 \text{ pakai} = 54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s2)} &= (\text{Tabel J3.4M}) \text{ s.d 12tp atau 150 mm} \\ &= 46 \text{ mm s.d 12.30 atau 150 mm} \\ &= 46 \text{ mm s.d 360 atau 150 mm} \end{aligned}$$

$$S2 \text{ pakai} = 54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Baut (s)} &= 3 \text{ Diameter s.d 15tp atau 200 mm} \\ &= 3 \cdot 36 \text{ s.d 15.30 atau 200 mm} \\ &= 108 \text{ mm s.d 450 atau 200 mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 108 \text{ mm}$$

$$V_{uy} = 1640,43 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{uy}}{B} = \frac{65140,85}{2} = 32570,43 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{uy} &= P_u \left(\frac{H}{2(B+H)} \right) = 22403,98 \left(\frac{2,5}{2(2+2,5)} \right) \\ &= 4978,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_{uy} = \frac{T_u}{H} \left(\frac{B}{B+H} \right) = \frac{8877,17}{2,5} \left(\frac{2}{2+2,5} \right) = 1578,16 \text{ kN}$$

Resultan Gaya

$$\begin{aligned} R_s &= \sqrt{(V_{uy} + T_{uy})^2 + \left(P_{uy} + \frac{M_{uy}}{B} \right)^2} \\ R_s &= \sqrt{(1640,43 + 1578,16)^2 + (4978,66 + 32570,43)^2} \\ &= 37676,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$n_{baut} = \frac{37676,78}{348,877} = 108,02$$

$$n_{baut} = 112 \text{ buah}$$

6.1.5. Sambungan Kabel Penggantung

Sambungan kabel penggantung berupa sambungan baut dengan pelat baja. Sambungan pada kabel penggantung dianggap memikul beban yang sama sebagai berikut:

$$V_u = 4551 \text{ kN} = 463914,4 \text{ kg}$$

Kabel sudut 30° , maka V_u diperhitungkan untuk geser:

$$V_{Geser} = 463914,4 \cdot \cos(30) = 401749,9 \text{ kg}$$

6.1.5.1. Sambungan Gusset Plate dan Pin

Sambungan gusset plate dan pin direncanakan menggunakan spesifikasi pin sebagai berikut:

$$\text{Diameter pin} = 110 \text{ mm}$$

$$\text{Luas pin} = 9503,32 \text{ mm}^2$$

$$\text{Mutu pin} = 660 \text{ MPa}$$

$$r_1 = 0,5$$

$$m = 2$$

Kuat geser pin:

$$\phi V_d = \phi V_n = \phi \cdot r_1 \cdot F_{up} \cdot A_b \cdot m$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 660 \cdot 9503,32 \cdot 2 = 4704142 \text{ N} \\ &= 4704,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 4704,1 \text{ kN} > V_u = 4551 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

6.1.5.2. Sambungan Gusset dan Pelat Buhul

Sambungan gusset plate dan pelat buhul direncanakan menggunakan baut dan pelat sebagai berikut:

$$\text{Diameter baut} = 32 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut} = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter lubang} = 32 + 2 = 34 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu baut} = \text{A325 (Fnv} = 4570 \text{ kg/cm}^2)$$

$$t_p = 30 \text{ mm (2 Bidang Geser)}$$

$$\text{Mutu pelat} = \text{BJ37}$$

$$F_u = 370 \text{ MPa}$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

- Kuat Geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot m \\ \phi V_n &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 457 \cdot 804,25 \cdot 2 \\ &= 330787,1 \text{ N (Menentukan)}\end{aligned}$$

- Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \\ \phi V_n &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 32 \cdot 30 \cdot 370 = 639360 \text{ N} \\ n_{baut} &= \frac{V_{Geser}}{\phi V_n} = \frac{401749,9 \times 9,81}{330787,1} = 11,9 \\ n_{baut} &= 12 \text{ buah}\end{aligned}$$

6.1.6. Sambungan Busur Box Girder

Sambungan tie beam box girder berupa sambungan baut dengan pelat baja. Sambungan pada box girder dianggap memikul beban yang sama sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_u &= 61600,62 \text{ kN} \\ V_{ux} &= 6154 \text{ kN} \\ V_{uy} &= 5810,17 \text{ kN} \\ M_{ux} &= 90476,16 \text{ kN.m} \\ M_{uy} &= 42895,4 \text{ kN.m} \\ T_u &= 56193,44 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Sambungan direncanakan menggunakan baut tipe tumpu dan pelat penyambung sebagai berikut:

Diameter baut	= 36 mm
Luas baut	= 1017,876 mm ²
Diameter lubang	= 36 + 2 = 38 mm
Mutu baut	= A325 (F _{nv} = 4570 kg/cm ²)
t _p	= 30 mm (2 Bidang Geser)
m	= 2
Mutu pelat	= BJ37
F _u	= 370 MPa
F _y	= 240 MPa
r ₁	= 0,5

$$m = 2$$

Kuat nominal 1 baut

- Kuat Geser

$$\emptyset V_n = \emptyset \cdot r_1 \cdot F_{nv} \cdot A_b \cdot m$$

$$\begin{aligned} \emptyset V_n &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 457 \cdot 1017,876 \cdot 2 \\ &= 348877 \text{ N (Menentukan)} \end{aligned}$$

- Kuat Tumpu

$$\emptyset V_n = \emptyset \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \cdot 2,4 \cdot 36 \cdot 30 \cdot 370 = 719280 \text{ N}$$

6.1.6.1. Sambungan Pelat Badan

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s1)} &= 1,5 \text{ Diameter s.d (4tp +100) atau } 100 \\ &= 1,5 \cdot 36 \text{ s.d (4. 30 +100) atau } 100 \text{ mm} \\ &= 54 \text{ mm s.d } 220 \text{ atau } 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{S1 pakai} = 54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi (s2)} &= (\text{Tabel J3.4M}) \text{ s.d } 12\text{tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 46 \text{ mm s.d } 12.30 \text{ atau } 150 \text{ mm} \\ &= 46 \text{ mm s.d } 360 \text{ atau } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{S2 pakai} = 54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Baut (s)} &= 3 \text{ DIiameter s.d } 15\text{tp atau } 200 \text{ mm} \\ &= 3 \cdot 36 \text{ s.d } 15.30 \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ &= 108 \text{ mm s.d } 450 \text{ atau } 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 108 \text{ mm}$$

$$V_{ux} = 6154 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{ux}}{B} = \frac{90476,16}{4} = 22619,04 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{ux} &= P_u \left(\frac{H}{2(B+H)} \right) = 61600,62 \left(\frac{2,5}{2(4+2,5)} \right) \\ &= 18954,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_{ux} = \frac{T_u}{H} \left(\frac{B}{B+H} \right) = \frac{56193,44}{2,5} \left(\frac{4}{4+2,5} \right) = 13832,23 \text{ kN}$$

Resultan Gaya

$$R_s = \sqrt{(V_{ux} + T_{ux})^2 + \left(P_{ux} + \frac{M_{ux}}{B}\right)^2}$$

$$R_s = \sqrt{(6154 + 13832,23)^2 + (18954,04 + 22619,04)^2}$$

$$= 46127,76 \text{ kN}$$

$$n_{baut} = \frac{46127,76}{348,877} = 132,22$$

$$n_{baut} = 144 \text{ buah}$$

6.1.6.2. Sambungan Pelat Sayap

Jarak Tepi (s1) = 1,5 Diameter s.d (4tp +100) atau 100
 = 1,5 . 36 s.d (4. 30 +100) atau 100 mm
 = 54 mm s.d 220 atau 100 mm

S1 pakai = 54 mm

Jarak Tepi (s2) = (Tabel J3.4M) s.d 12tp atau 150 mm
 = 46 mm s.d 12.30 atau 150 mm
 = 46 mm s.d 360 atau 150 mm

S2 pakai = 54 mm

Jarak Baut (s) = 3 Diameter s.d 15tp atau 200 mm
 = 3 . 36 s.d 15.30 atau 200 mm
 = 108 mm s.d 450 atau 200 mm

S pakai = 108 mm

$$V_{uy} = 5810,17 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{uy}}{B} = \frac{42895,4}{4} = 10723,85 \text{ kN}$$

$$P_{uy} = P_u \left(\frac{H}{2(B + H)} \right) = 61600,62 \left(\frac{2,5}{2(4 + 2,5)} \right)$$

$$= 18954,04 \text{ kN}$$

$$T_{uy} = \frac{T_u}{H} \left(\frac{B}{B + H} \right) = \frac{56193,44}{2,5} \left(\frac{4}{4 + 2,5} \right) = 13832,23 \text{ kN}$$

Resultan Gaya

$$R_s = \sqrt{(V_{uy} + T_{uy})^2 + \left(P_{uy} + \frac{M_{uy}}{B}\right)^2}$$

$$R_s = \sqrt{(18954,04 + 13832,23)^2 + (18954,04 + 10723,85)^2}$$

$$= 35589,34 \text{ kN}$$

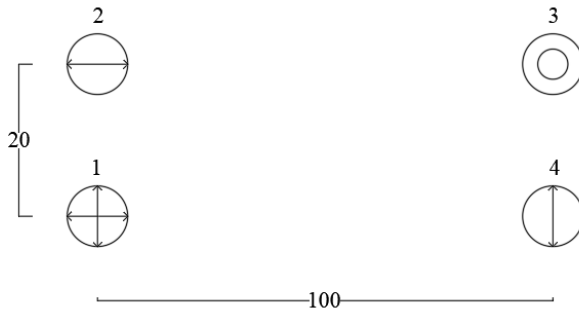
$$n_{baut} = \frac{35589,34}{348,877} = 102,01$$

$$n_{baut} = 108 \text{ buah}$$

6.2. Perencanaan Perletakan

6.2.1. Perencanaan Perletakan Lantai Kendaraan

Perletakan yang digunakan untuk lantai kendaraan pada jembatan ini adalah perletakan sendi dan rol. Perletakan ini didesain untuk mampu menahan beban horizontal dan vertikal akibat beban yang bekerja pada jembatan. Perencanaan perletakan lantai kendaraan diilustrasikan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Perletakan Lantai Kendaraan

6.2.1.1. Perletakan Sendi Lantai Kendaraan

Didapatkan dari MIDAS untuk perletakan sendi kode 1,2, dan 3, direncanakan menggunakan beban sebagai berikut:

$$P_u = 926,89 \text{ ton}$$

$$H_x = 1611,48 \text{ ton}$$

$$H_y = 1579,18 \text{ ton}$$

- Tebal Bantalan (S_1)

Direncanakan:

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$P = 926,89 \text{ ton} = 926890 \text{ kg}$$

Digunakan 2 perletakan pada kode 1,2 dan 3, maka:

$$P = \frac{P}{2} = \frac{926890}{2} = 463450 \text{ kg}$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \cdot P \cdot L}{\phi \cdot F_y \cdot B}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \times 463450 \times 100}{0,9 \cdot 2400 \cdot 100}} = 12,68$$

$$\approx 20 \text{ cm}$$

- Tebal Bantalan (S_2)

$$M_u = \frac{1}{8} \times P \times L = \frac{1}{8} \times 463450 \times 100 = 5793125 \text{ kg.cm}$$

$$W = \frac{M}{\phi \cdot F_y} = \frac{5793125}{0,9 \times 2400} = 2682 \text{ cm}^3$$

Untuk nilai S_2 dan S_3 ditentukan menggunakan persamaan Muller Breslaw seperti pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Muller Breslaw

$\frac{h}{S_2}$	$\frac{b}{a \times S_3}$	W
3	4	$0,2222 a h^2 S_3$
4	4,2	$0,2251 a h^2 S_3$
5	4,6	$0,2286 a h^2 S_4$
6	5	$0,2315 a h^2 S_5$

Diambil :

$$\frac{h}{S_2} = 4$$

$$\frac{b}{a \times S_3} = 4,2$$

$$W = 0,2251 \times a \times h^2 \times S_3$$

Dipakai jumlah rusuk (a) = 4

$$S_3 = \frac{b}{a \times 4,2} = \frac{100}{4 \times 4,2} = 5,95 \approx 6 \text{ cm}$$

$$h = \sqrt{\frac{W}{0,2251 \times a \times S_3}} = \sqrt{\frac{2682}{0,2251 \times 4 \times 6}} = 22,28$$

$$\approx 31,3 \text{ cm}$$

$$S_2 = \frac{h}{4} = \frac{31,3}{4} = 7,825 \approx 8,75 \text{ cm}$$

$$S_4 = \frac{h}{6} = \frac{31,3}{6} = 5,2 \approx 6 \text{ cm}$$

$$S_5 = \frac{h}{9} = \frac{31,3}{9} = 3,47 \approx 4 \text{ cm}$$

• Diameter Tengah Sumbu Sendi

$$\frac{d_1}{2} = \frac{0,8 \cdot P}{\emptyset \cdot F_y \cdot L}$$

$$d_1 = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot P}{\emptyset \cdot F_y \cdot L} = \frac{2 \times 0,8 \times 463450}{0,9 \times 2400 \times 100} = 3,43 \approx 12 \text{ cm}$$

$$d_3 = \frac{1}{4} d_1 = \frac{12}{4} = 3 \text{ cm}$$

$$d_2 = d_1 + (2 \times d_3) = 12 + (2 \times 3) = 18 \text{ cm}$$

- Kekuatan Geser Perletakan

$$H_x = 1611,48 \text{ ton}$$

$$H_y = 1579,18 \text{ ton}$$

$$d_1 = 15 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_1^2 = \frac{\pi}{4} \times 15^2 = 176,71 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kekuatan Geser Nominal Baut} = 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Bidang Geser (m)} = 4$$

$$V_n = 0,6 \times \text{Kuat Geser} \times A_s \times m$$

$$= 0,6 \times 4570 \times 176,71 \times 4$$

$$= 1938155,3 \text{ kg} = 1938,15 \text{ ton}$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 1938,15 = 1453,65 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah Perletakan (n)} = \frac{H_x}{\emptyset V_n} = \frac{1611,48}{1453,65} = 1,1$$

$$\approx 2 \text{ buah}$$

- Kebutuhan Angkur

$$H_x = 1611,48 \text{ ton}$$

$$H_y = 1579,18 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah Perletakan (n)} = 2 \text{ buah}$$

$$d_{\text{Angkur}} = 4,8 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_{\text{Angkur}}^2 = \frac{\pi}{4} \times 4,8^2 = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$\text{Beban tiap perletakan} = \frac{H_x}{n} = \frac{1611,48}{2} = 805,74 \text{ ton}$$

$$\text{Kekuatan Geser Nominal Baut} = 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Bidang Geser (m)} = 1$$

$$V_n = 0,6 \times \text{Kuat Geser} \times A_s \times m = 0,6 \times 4570 \times 18,09 \times 1$$

$$= 49602,78 \text{ kg} = 49,6 \text{ ton}$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 49,6 = 37,2 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah angkur} = \frac{H_x}{\emptyset V_n} = \frac{805,74}{37,2} = 21,65 \approx 24 \text{ buah}$$

- Panjang Angkur

$$d_{\text{Angkur}} = 4,8 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_{\text{Angkur}}^2 = \frac{\pi}{4} \times 4,8^2 = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$L_{db} = 0,06 \cdot d_{\text{Angkur}} \cdot F_y = 0,06 \cdot 48 \cdot 240 = 691,2 \text{ mm}$$

$$L_{db} = 700 \text{ mm} = 70 \text{ cm}$$

$$\text{Beban tiap perletakan} = \frac{H_x}{n} = \frac{1611,48}{2} = 805,74 \text{ ton}$$

$$\text{Kekuatan Geser Nominal Baut} = 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Bidang Geser (m)} = 1$$

$$V_n = 0,6 \times \text{Kuat Geser} \times A_s \times m = 0,6 \times 4570 \times 18,09 \times 1 \\ = 49602,78 \text{ kg} = 49,6 \text{ ton}$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 49,6 = 37,2 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah angkur} = \frac{H_x}{\emptyset V_n} = \frac{805,74}{37,2} = 21,65 \approx 24 \text{ buah}$$

- Panjang Angkur

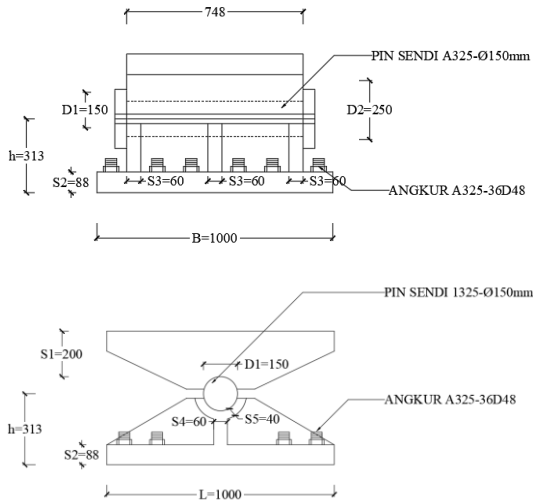
$$d_{\text{Angkur}} = 4,8 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_{\text{Angkur}}^2 = \frac{\pi}{4} \times 4,8^2 = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$L_{db} = 0,06 \cdot d_{\text{Angkur}} \cdot F_y = 0,06 \cdot 48 \cdot 240 = 691,2 \text{ mm}$$

$$L_{db} = 700 \text{ mm} = 70 \text{ cm}$$

Didapatkan perletakan sendi untuk lantai kendaraan dapat dilihat pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Perletakan Sendi untuk Lantai Kendaraan

6.2.1.2. Perletakan Rol Lantai Kendaraan

Didapatkan dari MIDAS untuk perletakan rol kode 4, direncanakan menggunakan beban sebagai berikut:

$$P_u = 311,75 \text{ ton}$$

- Tebal Bantalan (S_1)

Direncanakan :

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$P = 311750 \text{ kg}$$

Digunakan perletakan rol, maka :

$$S_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \cdot P \cdot L}{\phi \cdot F_y \cdot B}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \times 311750 \times 100}{0,9 \cdot 2400 \cdot 100}} = 10,4$$

$$\approx 15 \text{ cm}$$

- Diameter Rol (d_4)

Direncanakan :

$$F_{u\text{ rol}} = 8500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$d_4 = 0,75 \cdot 10^6 \cdot \frac{P}{L \cdot F_{u\text{ rol}}^2}$$

$$d_4 = 0,75 \cdot 10^6 \cdot \frac{311750}{100 \cdot (0,9 \cdot 8500)^2} = 39,95 \approx 40 \text{ cm}$$

$$d_6 = 2,5 \text{ cm}$$

$$d_5 = d_4 + 2d_6 = 40 + 2 \cdot 2,5 = 45 \text{ cm}$$

- Kebutuhan Angkur

Digunakan angkur sama seperti kebutuhan angkur perletakan sendi maka:

$$d_{\text{Angkur}} = 4,8 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_{\text{Angkur}}^2 = \frac{\pi}{4} \times 4,8^2 = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jumlah angkur} = 24 \text{ buah}$$

- Panjang Angkur

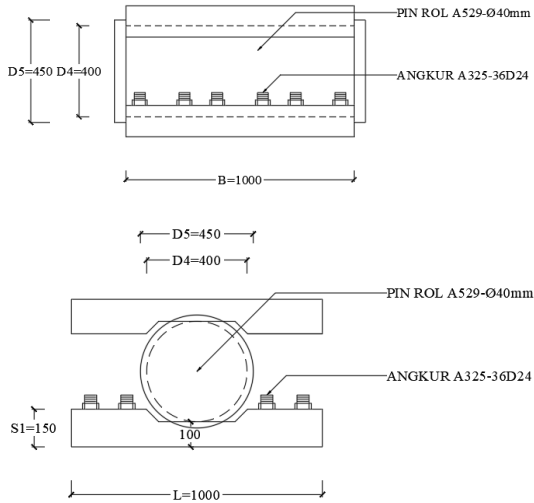
$$d_{\text{Angkur}} = 4,8 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_{\text{Angkur}}^2 = \frac{\pi}{4} \times 4,8^2 = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$L_{db} = 0,06 \cdot d_{\text{Angkur}} \cdot F_y = 0,06 \cdot 48 \cdot 240 = 691,2 \text{ mm}$$

$$L_{db} = 700 \text{ mm} = 70 \text{ cm}$$

Didapatkan perletakan rol untuk lantai kendaraan dapat dilihat pada Gambar 6.3



Gambar 6.3 Perletakan Rol untuk Lantai Kendaraan

6.2.2. Perencanaan Perletakan Sendi untuk Busur

Didapatkan dari MIDAS untuk perletakan sendi pada ujung busur, direncanakan menggunakan beban sebagai berikut:

$$P = 3469,9 \text{ ton}$$

$$H_x = 4635,1 \text{ ton}$$

$$H_y = 1672,9 \text{ ton}$$

- Tebal Bantalan (S_1)

Direncanakan :

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$P = 3469,9 \text{ ton} = 3469900 \text{ kg}$$

Digunakan 4 perletakan tiap pojok, maka :

$$P = \frac{P}{4} = \frac{3469900}{4} = 867477,9 \text{ kg}$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \cdot P \cdot L}{\phi \cdot F_y \cdot B}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \times 867477,9 \times 100}{0,9 \cdot 2400 \cdot 100}} = 17,355$$

$$\approx 20 \text{ cm}$$

- Tebal Bantalan (S_2)

$$M_u = \frac{1}{8} \times P \times L = \frac{1}{8} \times 867477,9 \times 100$$

$$= 10843474,34 \text{ kg.cm}$$

$$W = \frac{M}{\phi \cdot F_y} = \frac{10843474,34}{0,9 \times 2400} = 5020,13 \text{ cm}^3$$

Untuk nilai S_2 dan S_3 ditentukan menggunakan persamaan Muller Breslaw pada Tabel 6.1.

Diambil :

$$\frac{h}{S_2} = 4$$

$$\frac{b}{a \times S_3} = 4,2$$

$$W = 0,2251 \times a \times h^2 \times S_3$$

Dipakai jumlah rusuk (a) = 4

$$S_3 = \frac{b}{a \times 4,2} = \frac{100}{4 \times 4,2} = 5,95 \approx 6 \text{ cm}$$

$$h = \sqrt{\frac{W}{0,2251 \times a \times S_3}} = \sqrt{\frac{5020,13}{0,2251 \times 4 \times 6}} = 30,48$$

$$\approx 35 \text{ cm}$$

$$S_2 = \frac{h}{4} = \frac{35}{4} = 8,75 \approx 12,5 \text{ cm}$$

$$S_4 = \frac{h}{6} = \frac{35}{6} = 5,833 \approx 6 \text{ cm}$$

$$S_5 = \frac{h}{9} = \frac{35}{9} = 3,888 \approx 4 \text{ cm}$$

- Diameter Tengah Sumbu Sendi

$$\frac{d_1}{2} = \frac{0,8 \cdot P}{\phi \cdot F_y \cdot L}$$

$$d_1 = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot P}{\phi \cdot F_y \cdot L} = \frac{2 \times 0,8 \times 867477,9}{0,9 \times 2400 \times 100} = 6,42 \approx 15 \text{ cm}$$

$$d_3 = \frac{1}{4} d_1 = \frac{15}{4} = 3,75 \approx 5 \text{ cm}$$

$$d_2 = d_1 + (2 \times d_3) = 15 + (2 \times 5) = 25 \text{ cm}$$

- Kekuatan Geser Perletakan

$$H_x = 4635,1 \text{ ton}$$

$$H_y = 1672,9 \text{ ton}$$

$$d_1 = 15 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_1^2 = \frac{\pi}{4} \times 15^2 = 176,71 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kekuatan Geser Nominal Baut} = 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Bidang Geser (m)} = 4$$

$$V_n = 0,6 \times \text{Kuat Geser} \times A_s \times m$$

$$= 0,6 \times 4570 \times 176,71 \times 4$$

$$= 1938155,3 \text{ kg} = 1938,15 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 1938,15 = 1453,65 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah Perletakan (n)} = \frac{H_x}{\phi V_n} = \frac{4635,1}{1453,65} = 3,18$$

$$\approx 4 \text{ buah}$$

- Kebutuhan Angkur

$$H_x = 4635,1 \text{ ton}$$

$$H_y = 1672,9 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah Perletakan (n)} = 4 \text{ buah}$$

$$d_{\text{Angkur}} = 4,8 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_{\text{Angkur}}^2 = \frac{\pi}{4} \times 4,8^2 = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$\text{Beban tiap perletakan} = \frac{H_x}{n} = \frac{4635,1}{4} = 1158,77 \text{ ton}$$

$$\text{Kekuatan Geser Nominal Baut} = 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Bidang Geser (m)} = 1$$

$$V_n = 0,6 \times \text{Kuat Geser} \times A_s \times m = 0,6 \times 4570 \times 18,09 \times 1 \\ = 49602,78 \text{ kg} = 49,6 \text{ ton}$$

$$\emptyset V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 49,6 = 37,2 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah angkur} = \frac{H_x}{\emptyset V_n} = \frac{1158,77}{37,2} = 31,15 \approx 36 \text{ buah}$$

- Panjang Angkur

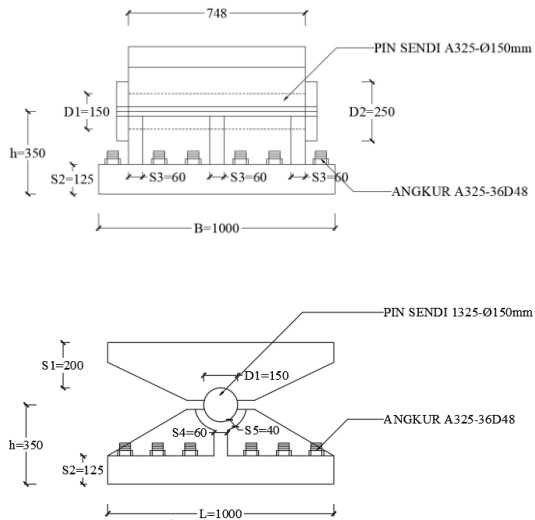
$$d_{\text{Angkur}} = 4,8 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_{\text{Angkur}}^2 = \frac{\pi}{4} \times 4,8^2 = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$L_{db} = 0,06 \cdot d_{\text{Angkur}} \cdot F_y = 0,06 \cdot 48 \cdot 240 = 691,2 \text{ mm}$$

$$L_{db} = 700 \text{ mm} = 70 \text{ cm}$$

Didapatkan perletakan sendi untuk busur dapat dilihat pada Gambar 6.4



Gambar 6.4 Perletakan Sendi untuk Busur

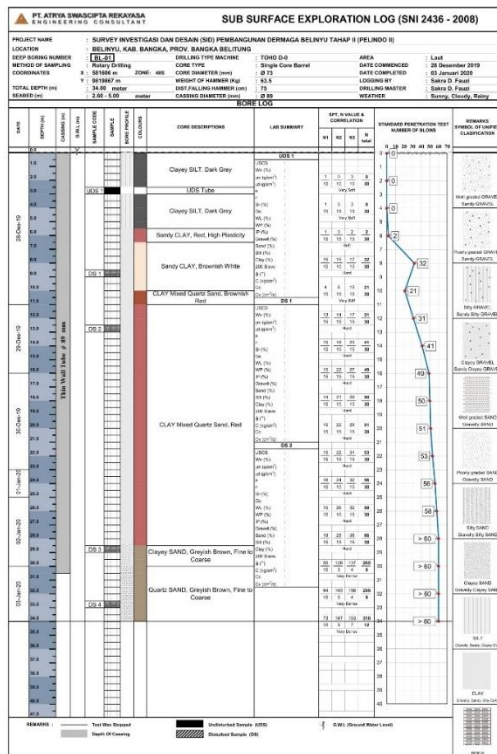
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII STRUKTUR BANGUNAN BAWAH

7.1. Analisis Daya Dukung Tanah

7.1.1. Data Tanah Jembatan

Data tanah jembatan seperti pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Data Tanah

7.1.2. Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah dilakukan dengan mengolah data N-SPT yang didapatkan dari data tanah terlebih dahulu. N-SPT tersebut harus dikoreksi terlebih dahulu menggunakan rumus menurut Terzaghi & Peck sebagai berikut:

Untuk tanah lempung atau pasir berlanau:

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

Untuk tanah gravel atau sandy gravel:

$$N' = 1,25 N$$

Sebagai contoh pada kedalaman 10 m, tanah yang diketahui adalah tanah lempung.

N - SPT pada Kedalaman 10 = 21 > 15

$$N' = 15 + 0,5 \times (21 - 15) = 18$$

Setelah didapatkan N-SPT Koreksi (N') dilakukan perhitungan daya dukung tanah. Sebagai contoh pada kedalaman 10 m, tanah yang diketahui adalah tanah lempung dan direncanakan menggunakan bored pile diameter 120 cm.

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot 120^2 = 11309,73 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{sat} = 1,67 \frac{t}{m^3}$$

$$\gamma' = 1,67 - 1 = 0,67 \frac{t}{m^3}$$

$\alpha = 0,85$ (Clay)

$N_p = \text{Average dari } N_{5,2m} - N_{14,8m}$

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{N_{5,2m} + N_{5,4m} + N_{5,6m} + N_{5,8m} + N_{6m} + \dots + N_{10m} + \dots + N_{14,8m}}{49} \\ &= \frac{1,2 + 1,4 + 1,6 + 1,8 + 2 + \dots + 18 + \dots + 29,6}{49} = 18,918 \end{aligned}$$

$$K = 12 \frac{ton}{m^2}$$

$$Q_P = \alpha \cdot N_P \cdot K \cdot A_P = 0,85 \times 18,918 \times 12 \times \frac{11309,73}{10000}$$

$$= 218,24 \text{ ton}$$

$$\beta = 0,85 \text{ (Clay)}$$

$$N_s = \text{Average dari } N_{0m} - N_{10m}$$

$$N_s = \frac{N_{0m} + N_{0,2m} + N_{0,4m} + N_{0,6m} + \dots + N_{9,2m} + N_{9,4m} + N_{9,6m} + N_{9,8m} + N_{10m}}{51}$$

$$= \frac{0 + 0 + 0 + 0 + \dots + 20 + 19,5 + 19 + 18,5 + 18}{51} = 7,216$$

$$A_s = \pi \cdot D \cdot h = \pi \cdot 1,2 \cdot 10 = 37,699 \text{ m}^2$$

$$Q_s = \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s = 0,85 \cdot \left(\frac{7,216}{3} + 1 \right) \cdot 37,699$$

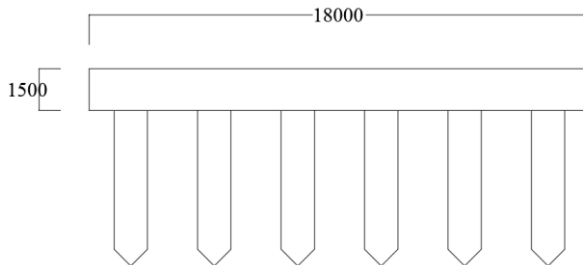
$$= 109,12 \text{ ton}$$

$$Q_L = Q_P + Q_s = 218,24 + 109,12 = 327,36 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_L}{SF} = \frac{327,36}{3} = 109,12 \text{ ton} = 1070,46 \text{ kN}$$

7.2. Pilecap untuk Busur

Pilecap untuk busur jembatan terbebani oleh jembatan busur dengan bentang 100 m, namun analisis pilecap untuk busur dan lantai kendaraan berbeda. Berikut merupakan perhitungan pilecap untuk busur dengan dimensi abutment seperti pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Pilecap untuk Busur Jembatan

7.2.1. Data Pilecap Busur

Berikut merupakan data yang diperlukan untuk perencanaan abutment lantai kendaraan:

1. Tanah Asli

$$\text{Berat jenis tanah, } \gamma_t = 1.44 \frac{t}{m^3}$$

$$\text{Sudut gesek, } \phi = 29^\circ$$

$$\text{Kohesi tanah, } C = 0,68 \frac{kg}{cm^2}$$

2. Tanah Timbunan (Sirtu)

$$\text{Berat jenis tanah, } \gamma_t = 1.8 \frac{t}{m^3}$$

$$\text{Sudut gesek, } \phi = 30^\circ$$

$$\text{Kohesi tanah, } C = 0 \frac{kg}{cm^2}$$

3. Mutu material

$$\text{Mutu beton, } F'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja, } F_y = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat beton} = 2400 \text{ t/m}^3$$

7.2.2. Pembebanan pada Abutment Busur

7.2.2.1. Beban Vertikal

1. Berat Sendiri Struktur Atas

Berat sendiri struktur atas diambil dari MidasCivil dapat dilihat pada Tabel 7.1

Tabel 7.1 Berat Sendiri Struktur Atas

No	Komponen Beban	P Busur (ton)	Busur	
			Hx	Hy
1	Aspal	79,84	106,79	39
2	Pelat Beton	622,07	832,1	303,9
3	Trotoar	223,896	297,35	109,39
4	Bondex	8,86	11,85	4,33
5	Seluruh Baja	1279,62	1604,55	542,8
	Total	2214,286	2852,64	999,42

Momen terhadap titik O :

$$M_x = H_x \times e = 2852,64 \times 1,5 = 4278,96 \text{ ton.m}$$

$$M_y = H_y \times e = 999,42 \times 1,5 = 1499,13 \text{ ton.m}$$

2. Berat Sendiri Pilecap

Beban sendiri abutment diperhitungkan sesuai dimensi dapat dilihat pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Berat Sendiri Pilecap

Section	B (m)	h (m)	Lebar (m)	γ (t/m ³)	W (t)	e (m)	M (ton.m)
Pilecap							
W1	18	1,5	18	2,4	1166,4	0	0
Total					1166,4		0

3. Beban Overlay Aspal

Menurut SNI-1725-2016, semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton tebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari.

$$Q_{aspal} = \gamma_{aspal} \times H = 2,2 \times 0,05 = 0,11 \text{ t/m}^2$$

$$P_A = 0,5 \times (Q_{aspal} \cdot L \cdot B_{jalan}) = 0,5 \times (0,11 \cdot 100 \cdot 20) = 110 \text{ t}$$

Momen terhadap titik O:

$$M = P_A \times e = 110 \times 0 = 0 \text{ tm}$$

4. Beban Aksi Lalu Lintas

a. Beban Lajur "D"

Beban kendaraan yang berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). BTR mempunyai intensitas Q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total jembatan (L) yang dibebani lalu-lintas dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

Karena $L=100 \text{ m} > 30 \text{ m}$, maka

$$Q = 9,0 \times (0,5 + 15 / 100) \text{ kPa}$$

$$Q = 5,85 \text{ kPa} = 0,596 \text{ ton/m}^2$$

$$P_{BTR} = 0,5 \times (Q_{BTR} \cdot L \cdot B_{jalan}) = 0,5 \times (0,596 \cdot 100 \cdot 20) = 596 \text{ ton}$$

BGT mempunyai nilai P sebesar 49 (kN/m) yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani lalu-lintas dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{BGT} = 0,5 \cdot (49 \cdot (1 + FBD)) \cdot B_{jalan}$$

$$= 0,5 \cdot (49 \cdot (1 + 0,3)) \cdot 20 = 637 \text{ kN} = 64,93 \text{ t}$$

Total beban Lajur "D" adalah $q_{BTR} + P_{BGT} = 596 + 64,93 = 660,93 \text{ ton}$

Momen terhadap titik O:

$$M_D = 660,93 \cdot 0 = 0 \text{ tm}$$

b. Beban Pejalan Kaki

Jembatan jalan raya direncanakan mampu memikul beban hidup merata pada trotoar yang besarnya tergantung pada luas bidang trotoar yang didukungnya. Berikut merupakan perumusan beban pejalan kaki berdasarkan RSNI T 02-2005.

- Untuk $A \leq 10 \text{ m}^2$, $q = 5 \text{ kPa}$
- Untuk $10 \text{ m}^2 < A \leq 100 \text{ m}^2$, $q = 5 - 0,033 \times (A - 10) \text{ kPa}$
- Untuk $A > 100 \text{ m}^2$, $q = 2 \text{ kPa}$

A = luas bidang trotoar yang dibebani pejalan kaki (m^2)

q = Beban hidup merata

$L = 100 \text{ m}$

$b = 3 \text{ m}$

$n = 2$

Luas bidang trotoar yang didukung abutment,

$$A = b \times L/2 \times n = 3 \times 100/2 \times 2 = 300 \text{ m}^2$$

$$q = 2 \text{ kPa} = 0,2 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_{tp} = A \times q = 300 \cdot 0,2 = 60 \text{ ton}$$

Momen terhadap titik O:

$$M_p = P_{tp} \cdot e = 60 \cdot 0 = 0 \text{ tm}$$

7.2.2.2. Beban Horizontal

1. Beban Rem

Berdasarkan SNI 1725:2016, gaya rem diambil yang terbesar dari perhitungan, sebagai berikut :

- $5\% \times q_{BTR} = 5\% \times 596 = 29,8 \text{ ton}$

Gaya tersebut harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan.

$$e = H_{abutment} + t_{Perkerasan} + 1,8 \text{ m} \\ = 3,5 + 0,25 + 1,8 = 5,55 \text{ m}$$

Momen terhadap titik O:

$$M_B = T_B \cdot e = 29,8 \cdot 5,55 = 165,39 \text{ tm}$$

2. Beban Angin

Beban angin didapatkan dari perhitungan beban angin pada bab IV sebagai berikut :

$$W_A (Ujung) = \frac{1}{2} \cdot E W_S \cdot \lambda \\ W_A = \frac{1}{2} \cdot 468,75 \cdot 5 = 1171,875 \text{ kg} = 1,17 \text{ ton}$$

Momen terhadap titik O:

$$M_A = W_A \cdot e = 1,17 \cdot 1,5 = 1,755 \text{ tm}$$

3. Tekanan Tanah Aktif

RSNI T-02 Ps.5.4.2 menyebutkan bahwa tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0.6 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi pilecap, H} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Lebar abutment, B} &= 18 \text{ m} \\ \text{Berat volume timbunan, } \gamma &= 1,8 \text{ t/m}^3 \\ \text{Sudut geser, } \emptyset &= 30^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kohesi, } C &= 0 \text{ kPa} \\
 \text{Koefisien tanah aktif, } K_a &= \tan^2(45^\circ - \phi/2) \\
 &= \tan^2(45^\circ - 30/2) = 0,333 \\
 \text{Beban lalin ekivalen} &= 0,6 \cdot \gamma_{\text{timbunan}} = 0,6 \cdot 1,8 \\
 &= 1,08 \text{ t/m}^2 \\
 \text{Q akibat perkerasan} &= t_{\text{perkerasan}} \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \\
 &= 0,25 \cdot 2,4 = 1,08 \text{ t/m}^2 \\
 \text{Q akibat pelat injak} &= t_{\text{perkerasan}} \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot \\
 &= 0,35 \cdot 2,4 = 0,84 \text{ t/m}^2 \\
 \text{q total} &= 1,08 + 1,08 + 0,84 = 3 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\sigma'_v = \gamma \cdot h = (1,8 - 1) \cdot 1,5 = 1,2 \frac{\text{t}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_h = (q + \sigma'_v)K_a$$

$$\sigma'_h \text{ pada } 0 \text{ m} = (q + \sigma'_v)K_a = (3 + 0) \times 0,333 = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^2}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma'_h \text{ pada } 1,5 \text{ m} &= (q + \sigma'_v)K_a = (3 + 1,2) \times 0,333 \\
 &= 1,3986 \frac{\text{t}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan tekanan tanah dan beban akibat tekanan tanah dapat dilihat pada Tabel 7.3 dan Tabel 7.4.

Tabel 7.3 Perhitungan Tekanan Tanah Aktif

Depth (m)	q (t/m ²)	σ'_v (t/m ²)	K_a	σ_h (t/m ²)
0	3	0	0,333	0,999
1,5	3	1,2	0,333	1,3986

Tabel 7.4 Beban Tekanan Tanah Aktif

Type Load	σ_h (t/m ²)	H (m)	Beban (t/m)	Lebar (m)	P (ton)	Lengan (m)	Momen (ton.m)
P1	0,999	1,5	1,4985	24	35,964	0,75	26,973
P2	0,3996	1,5	0,2997	24	7,1928	0,5	3,5964

4. Beban akibat Gesekan pada Perletakan

Menurut PPPJIR 1987 gaya gesekan pada peletakan adalah 5 % dikalikan total beban mati struktur atas (DL) yang membebani abutment. Beban tersebut yaitu :

$$F = 5 \% \cdot DL$$

$$F_B = 0,05 \cdot (M_A + M_S)$$

$$M_A = \text{Beban mati tambahan} = 335,614 \text{ t}$$

$$M_S = \text{Berat sendiri} = 110 \text{ t}$$

$$F_B = 0,05 \cdot (335,614 + 110) = 22,28 \text{ t}$$

Momen terhadap titik O:

$$M_G = F_B \cdot e = 22,28 \cdot 1,5 = 33,42 \text{ tm}$$

5. Beban Suhu

Perhitungan beban temperatur mengacu pada RSNI T-02-2005. Untuk memperhitungkan tegangan maupun deformasi struktur yang timbul akibat pengaruh temperatur, diambil perbedaan temperatur yang besarnya setengah dari selisih antara temperatur maksimum dan temperatur minimum rata-rata pada lantai jembatan.

$$\text{Temperatur maksimum rata-rata } T_{\max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur minimum rata-rata } T_{\min} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Perbedaan temperatur, } LT = (T_{\max} - T_{\min}) / 2 = 12,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Koefisien muai panjang untuk baja, } \alpha = 1,20\text{E-}05 / \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Kekakuan geser untuk tumpuan berupa elastomeric, } k = 1500 \text{ KN/m}$$

$$\text{Panjang bentang } L = 100 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah tumpuan elastomeric } n = 2 \text{ buah}$$

Gaya pada abutment akibat pengaruh temperatur,

$$T_{ET} = \alpha \times LT \times k \times L/2 \times n = 2,3 \text{ ton}$$

$$\text{Momen terhadap titik O} = T_{ET} \times H$$

$$\text{Momen terhadap titik O} = 2,3 \times 1,5 = 3,45 \text{ ton.m}$$

6. Beban Gempa

Lokasi = Pangkal Pinang

Jenis Tanah= Tanah lunak (SE)

$S_s = 0,057$ g (didapat dari puskim)

$S_1 = 0,077$ g (didapat dari puskim)

$F_a = 2,5$ g (Tabel 7.5)

$F_{PGA} = 0,1$ g (didapat dari puskim)

$F_v = 3,5$ g (Tabel 7.6)

$A_s = F_v \cdot F_{PGA} = 0,35$

$S_{DS} = S_s \cdot F_a = 0,1425$ g

$S_{D1} = S_1 \cdot F_v = 0,2695$ g

Kategori kinerja seismik = 2 ($0,15 < S_{D1} < 0,3$) (Tabel 7.7)

Faktor modifikasi respon, $R = 1,5$ (Tabel 7.8)

Tabel 7.5 Periode 0,2 Detik F_a

Kelas situs	PGA ≤ 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 $S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Tabel 7.6 Periode 1 Detik F_v

Kelas situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 7.7 Kinerja Seismik

Koefisien percepatan (S_{D1})	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

Tabel 7.8 Faktor Modifikasi Respon

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

1. Untuk periode lebih kecil dari T_0

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_S) \frac{T}{T_0} + A_S$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s maka $C_{sm} = S_{DS}$

3. Untuk periode lebih besar dari T_s , maka

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dimana :

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,2695}{0,1425} = 1,89 \text{ s}$$

$$T_0 = 0,2 T_s = 0,378 \text{ s}$$

$$A_S = 0,35$$

Kemudian dapat didapatkan grafik respon spektrum seperti pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3 Respon Spektrum Kota Pangkal Pinang

a. Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah X)

$$\text{Lebar, } B = 18 \text{ m}$$

$$\text{Tebal, } h = 1,5 \text{ m}$$

Inersia penampang breast wall:

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 1,5 \cdot 18^3 = 729 \text{ m}^4$$

$$\text{Mutu beton, } f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus Elastisitas, } E_c = 4700 (f_c')^{0,5} = 4700 (30)^{0,5}$$

$$= 25742,96 \text{ MPa}$$

$$= 25742960,2 \text{ Kpa}$$

$$\text{Nilai kekakuan, } K_p = 3 \cdot E_c \cdot I_c / Lb^3$$

$$= 3 \cdot 25742960,2 \cdot 729 / 1,5^3$$

$$= 1,668 \times 10^{10} \text{ kN/m}$$

$$\text{Self weight struktur atas, } W_a = 1646,18 \text{ kN}$$

$$\text{Self weight struktur bawah, } W_b = 15907,67 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total struktur (Wtp) = } W_a + W_b$$

$$= 1646,18 + 15907,67$$

$$= 17553,85 \text{ kN}$$

Waktu getar alami struktur:

$$T = 2 p (Wtp / (g \cdot K_p))^{0,5}$$

$$= 2 p (17553,85 / (9,81 \cdot 1,668 \times 10^{10}))^{0,5}$$

$$= 0,00145 \text{ s}$$

$$\text{Koefisien geser dasar, } C_{sm1} = (S_{DS} - A_S) \frac{T}{T_0} + A_S ;$$

karena $T_0 < T_s$

$$= (0,1425 - 0,35) \frac{0,00145}{0,378} + 0,35$$

$$= 0,349 \text{ g}$$

$$\text{Kh} = C_{sm}/R$$

$$= 0,349 / 1,5 = 0,232 \text{ g}$$

$$\text{Gaya gempa, } T_{eq} = 0,232 \cdot W_t$$

b. Beban Gempa Arah Melintang Jembatan (Arah Y)

$$\text{Lebar, } B = 18 \text{ m}$$

$$\text{Tebal, } h = 1,5 \text{ m}$$

Inersia penampang breast wall

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 1,5^3 = 5,0625 \text{ m}^4$$

$$\text{Mutu beton, } f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Moduus Elastisitas, } E_c = 4700 (f_c')^{0,5} = 4700 (30)^{0,5}$$

$$= 25742,96 \text{ MPa}$$

$$= 25742960,2 \text{ Kpa}$$

$$\text{Nilai kekakuan, } K_p = 3 \cdot E_c \cdot I_c / L_b^3$$

$$= 3 \cdot 25742960,2 \cdot 5,0625 / 1,5^3$$

$$= 130323735 \text{ kN/m}$$

$$\text{Self weight struktur atas, } W_a = 1646,18 \text{ kN}$$

$$\text{Self weight struktur bawah, } W_b = 15907,67 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total struktur (Wtp)} = W_a + W_b$$

$$= 1646,18 + 15907,67$$

$$= 17553,85 \text{ kN}$$

Waktu getar alami struktur

$$T = 2 p (W_{tp} / (g \cdot K_p))^{0,5}$$

$$= 2 p (17553,85 / (9,81 \cdot 130323735))^{0,5}$$

$$= 0,0233 \text{ s}$$

$$\text{Koefisien geser dasar, } C_{sm1} = (S_{DS} - A_S) \frac{T}{T_0} + A_S ;$$

karena $T_0 < T_s$

$$= (0,1425 - 0,35) \frac{0,0233}{0,378} + 0,35$$

$$= 0,337 \text{ g}$$

$$\text{Kh} = C_{sm}/R$$

$$= 0,337 / 1,5 = 0,225 \text{ g}$$

$$\text{Gaya gempa, } T_{eq} = 0,225 \cdot W_t$$

c. Distribusi Beban Gempa

Perhitungan distribusi beban gempa tiap arah dapat dilihat pada Tabel 7.9 dan Tabel 7.10

- Arah X

Tabel 7.9 Distribusi Gempa Arah X

Section	B (m)	h (m)	Lebar (m)	γ (t/m ³)	Berat (t)	Teq (t)	Lengan (m)	Meq (tm)
Struktur Atas								
Beban Mati					2214,286	513,7144	1,5	770,5715
Beban Mati Tambahan					110	25,52	1,5	38,28
Beban Lalu Lintas					660,93	153,3358	1,5	230,0036
Abutment								
W1	18	1,5	18	2,4	1166,4	270,6048	0,75	202,9536
					Teq	963,1749		

- Arah Y

Tabel 7.10 Distribusi Gempa Arah Y

Section	B (m)	h (m)	Lebar (m)	γ (t/m ³)	Berat (t)	Teq (t)	Lengan (m)	Meq (tm)
Struktur Atas								
Beban Mati					2214,286	498,2144	1,5	747,3215
Beban Mati Tambahan					110	24,75	1,5	37,125
Beban Lalu Lintas					660,93	148,7093	1,5	223,0639
Abutment								
W1	18	1,5	18	2,4	1166,4	262,44	0,75	196,83
					Teq	934,1136		1204,34

7. Tekanan Tanah Dinamis

Gaya gempa lateral akibat tekanan tanah dinamis dihitung dengan menggunakan koefisien tekanan tanah dinamis (ΔK_{AG}) sebagai berikut :

$$\theta = \tan^{-1}(K_h)$$

$$K_{AG} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \left(1 + \frac{\sqrt{\sin\phi \cdot \sin(\phi - \theta)}}{\cos\theta} \right)}$$

Data tanah timbunan :

$$W_s = 1,8 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(45 - 30/2) = 0,333$$

Diketahui data gempa sebagai berikut :

$$\text{Tinggi abutment, (H)} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Abutment, (B)} = 18 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien gempa lateral, (K}_H) = 0,232$$

Kemudian dapat dihitung nilai :

$$\theta = \tan^{-1}(K_h) = \tan^{-1}(0,232) = 13,06^\circ$$

$$K_{AG} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \left(1 + \frac{\sqrt{\sin\phi \cdot \sin(\phi - \theta)}}{\cos\theta} \right)}$$

$$K_{AG} = \frac{\cos^2(30 - 13,06)}{\cos^2 13,06 \left(1 + \frac{\sqrt{\sin 30 \cdot \sin(30 - 13,06)}}{\cos 13,06} \right)}$$

$$= 0,695$$

$$\Delta K_{AG} = K_{AG} - K_A = 0,695 - 0,333 = 0,362$$

$$T_{EQ} = 0,5 \cdot H^2 \cdot W_S \cdot \Delta K_{AG} \cdot B = 0,5 \cdot 3,5^2 \cdot 1,8 \cdot 24$$

$$= 264,6 \text{ ton}$$

$$Y_{EQ} = \frac{2}{3} \cdot H = \frac{2}{3} \cdot 3,5 = 2,333 \text{ m}$$

$$M_{EQ} = T_{EQ} \cdot Y_{EQ} = 617,31 \text{ tm}$$

7.2.3. Kontrol Stabilitas Abutment Busur

Pilecap harus dicek stabilitasnya terhadap beberapa aspek untuk mengetahui apakah abutment aman terhadap faktor yang dapat menyebabkan kegagalan. Adapun kestabilan yang harus dicek adalah stabilitas terhadap guling, geser, dan ambles.

7.2.3.1. Stabilitas terhadap Guling

Angka keamanan atau safety factor untuk stabilitas terhadap guling harus didapatkan lebih dari 1,1. Stabilitas terhadap guling dihitung dengan rumus, sebagai berikut:

$$Sf = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Pendorong}} > 1,1$$

$$Sf = \frac{\text{Momen akibat berat sendiri abutment + struktur atas}}{\text{Momen maksimum kombinasi pembebanan}}$$

Arah X

$$Sf = \frac{4278,96}{7378,2} = 0,579 < 1,1 (\text{NOT OK})$$

Arah Y

$$Sf = \frac{1948,9}{2722,8} = 0,715 < 1,1 (\text{NOT OK})$$

Jadi pilecap tidak tahan terhadap guling sehingga perlu perkuatan tambahan berupa tiang pancang

7.2.3.2. Stabilitas terhadap Geser

Abutment harus dikontrol stabilitas gesernya. Angka keamanan stabilitas geser yang dipakai adalah 1,1. Berikut merupakan perhitungan stabilitas geser :

$$\frac{C \times A + \Sigma V \times \tan \emptyset}{\Sigma H} > 1,1$$

Keterangan :

C = Nilai kohesi tanah = 6,8 t/m²

A = Luas dasar abutment = 18 m x 18 m = 288 m²

ΣV = Gaya vertical yang terjadi pada abutmen

ΣH = Gaya horizontal yang terjadi pada abutmen

∅ = Sudut geser tanah = 29°

Arah X

$$\frac{6,8 \times 324 + 5979,8 \times \tan \left(\frac{2}{3} \times 29 \right)}{4705} > 1,1$$

0,9 > 1,1 (NOT OK)

Arah Y

$$\frac{6,8 \times 324 + 5979,8 \times \tan \left(\frac{2}{3} \times 29 \right)}{1876,8} > 1,1$$

2,29 > 1,1 (OK)

Pilecap tidak tahan terhadap geser arah X sehingga perlu perkuatan tambahan berupa tiang pancang.

7.2.3.3. Stabilitas terhadap Ambles

Daya dukung abutment dalam menopang beban harus dicek . Angka keamanan stabilitas ambles yang dipakai adalah 3. Berikut merupakan perhitungan stabilitas geser:

Berikut adalah data tanah asli :

Berat jenis tanah, $\gamma_t = 1,44 \text{ t/m}^3$

$\gamma' = 1,44 - 1 = 0,44 \text{ t/m}^3$

Kohesi tanah, $C = 0,68 \text{ kg/cm}^2$

Sudut geser tanah, $\phi = 29^\circ$, maka diambil $N_c = 30$; $N_q = 18,4$; dan $N_\gamma = 18,1$

$B = 18 \text{ m}$

$L = 18 \text{ m}$

$W = 1/6 L B^2 = 1/6 \cdot 18 \cdot 18^2 = 972 \text{ m}^3$

$A = B \cdot L = 18 \cdot 18 = 324 \text{ m}^2$

$D_f = 1,5 \text{ m}$

$\sum V = 5979,8 \text{ ton}$

$\sum M = 7378,2 \text{ ton.m}$

Berikut adalah tegangan yang terjadi pada pile cap :

$$\sigma = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum M}{W}$$

$$\sigma_{max} = \frac{5979,8}{324} + \frac{7378,2}{972} = 26,05 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{min} = \frac{5979,8}{324} - \frac{7378,2}{972} = 10,86 \text{ t/m}^2$$

Berikut adalah daya dukung tanah atau bearing capacity :

$Q_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$

$Q_{ult} = c \cdot N_c + \gamma' \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$

$Q_{ult} = 6,8 \cdot 30 + 0,44 \cdot 1,5 \cdot 18,4 + 0,5 \cdot 1,4 \cdot 18 \cdot 18,1$

$Q_{ult} = 444,204 \text{ ton/m}^2$

Syarat stabilitas terhadap ambles adalah :

$$\sigma_{max} \leq \frac{Q_{ult}}{SF}$$

$$26,05 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \leq \frac{444,204}{3} = 148,07 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \text{ (NOT OK)}$$

(NOT OK, maka dibutuhkan pondasi dalam)

7.2.4. Perencanaan Tiang Pancang Abutment Busur

7.2.4.1. Daya Dukung Tiang Pancang akibat Beban Vertikal

Berikut merupakan kombinasi beban yang akan digunakan untuk perencanaan tiang pancang.

$$P = 5979,75 \text{ ton}$$

$$H_x = 4705 \text{ ton}$$

$$H_y = 1876,84 \text{ ton}$$

$$M_x = 7378,23 \text{ ton}$$

$$M_y = 2722,8 \text{ ton}$$

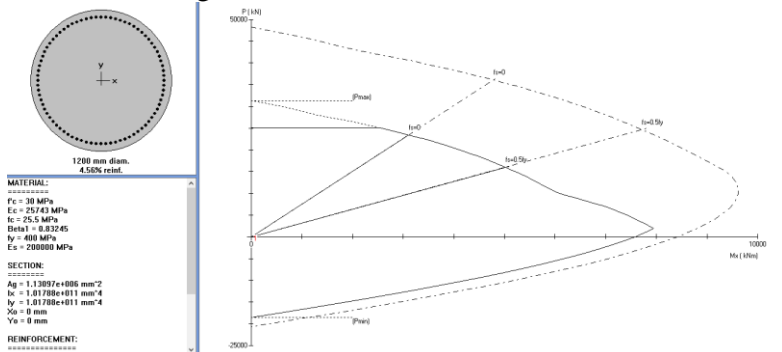
Pile pada abutment busur menggunakan bored pile dengan diameter 1200 mm, berikut adalah spesifikasi dari bored pile:

$$\text{Diameter} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang} = 113,097 \text{ cm}^2$$

$$\text{Inersia tiang} = 10178760,2 \text{ cm}^4$$

Dengan menggunakan SPColumn didapatkan Mnomial sebagai berikut:



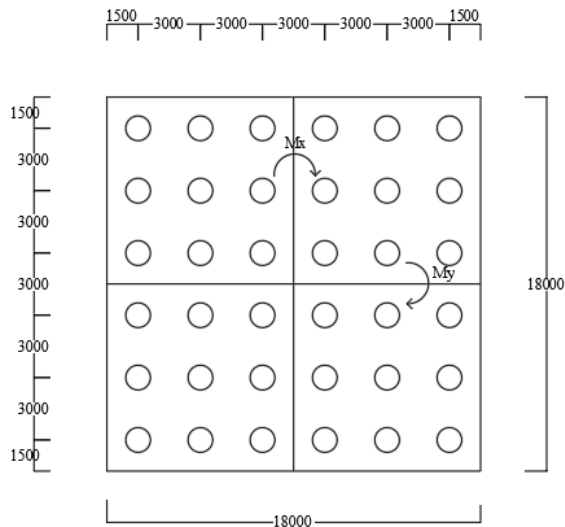
$$M_n = 7574,37 \text{ kN.m}$$

$$\text{Mutu beton, } F_c' = 30 \text{ MPa}$$

Dalam penentuan konfigurasi tiang pancang mengacu SNI 8460 – 2017 Pasal 9.7.1.2 dimana jarak antar tiang pancang :

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar tiang pancang} &= 2,5D < S < 3D \\
 &= 300\text{cm} < S < 360\text{ cm} \\
 \text{Jarak tiang pancang ke tepi} &= D < S < 2D \\
 &= 120\text{ cm} < S < 240\text{ cm} \\
 \text{Jumlah tiang} &= 36 \\
 \text{Jumlah tiang arah Y , m} &= 6 \\
 \text{Jumlah tiang arah X , n} &= 6
 \end{aligned}$$

Konfigurasi tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 7.4.



Gambar 7.4 Konfigurasi Tiang Pancang Pilecap Busur

Berdasarkan kombinasi beban, daya dukung dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{V}{n} + \frac{\sum My \cdot X_{max}}{\sum X^2} + \frac{\sum Mx \cdot Y_{max}}{\sum Y^2}$$

Perhitungan dengan beban terbesar sebagai berikut:

$$R = \frac{5979,75}{36} + \frac{7378,23 \times 7,5}{2 \times 6 \times (1,5^2 + 4,5^2 + 7,5^2)} + \frac{2722,8 \times 7,5}{2 \times 6 \times (1,5^2 + 4,5^2 + 7,5^2)}$$

$$R = 262,48 \text{ t}$$

Kemudian dihitung efisiensi grup pile dengan perumusan Seiler Keeney sebagai berikut:

$$Ef = \left(1 - \frac{36S}{75S^2 - 7} \left(\frac{m + n - 2}{m + n - 1} \right) \right) + \frac{0,3}{m + n}$$

$$Ef = \left(1 - \frac{36.3}{75.3^2 - 7} \left(\frac{6 + 6 - 2}{6 + 6 - 1} \right) \right) + \frac{0,3}{6 + 6} = 0,878$$

Sehingga didapatkan beban untuk 1 tiang bored pile sebagai berikut:

$$Q_{perlu} = \frac{R}{Ef} = \frac{262,48}{0,878} = 298,95 \text{ ton}$$

Dengan beban tersebut, digunakan pondasi bored pile berdiameter 120 cm dengan kedalaman 22 m, dimana berdasarkan perhitungan dengan perumusan Luciano Decourt daya dukung didapatkan Qizin untuk 1 tiang sebesar 298,95 ton.

$$Q_{izin} = 302,101 \text{ ton} > Q_{perlu} = 298,95 \text{ ton (OK)}$$

Maka, digunakan bored pile berjumlah 36 tiang dengan kedalaman 22 m, dan tiang tersebut memenuhi persyaratan perancangan pondasi bored pile pada abutment tersebut.

7.2.4.2. Daya Dukung Tiang Pancang akibat Beban Lateral

Selain didesain mampu menahan gaya vertical, pondasi tiang pancang juga harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang bekerja padanya.

Perencanaan daya dukung tiang pancang akibat beban lateral berdasarkan kombinasi beban terbesar yaitu:

$$H_x = 4705 \text{ ton}$$

$$H_y = 1876,84 \text{ ton}$$

$$H_{Resultan} = \sqrt{4705^2 + 1876,84^2} = 5065,536 \text{ ton}$$

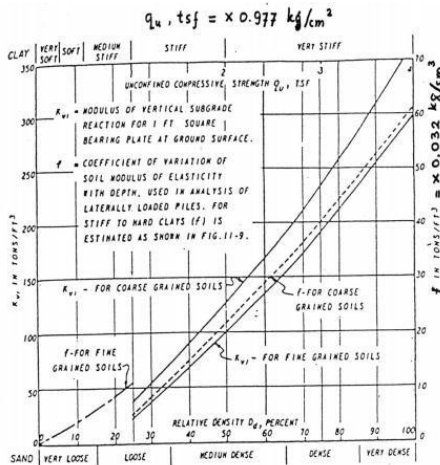
Dengan jumlah tiang sebanyak 36 tiang maka untuk beban 1 tiang adalah sebagai berikut :

$$P_x = \frac{H_x}{36} = \frac{4705}{36} = 130,69 \text{ ton}$$

$$P_y = \frac{H_y}{36} = \frac{1876,84}{36} = 52,13 \text{ ton}$$

$$P_{Resultan} = \frac{H_{Resultan}}{36} = \frac{5065,536}{36} = 140,71 \text{ ton}$$

Menurut NAFVAC DM-7, gaya lateral yang bekerja pada pondasi tiang pancang ini menggunakan kondisi II menggunakan Gambar 7.5, Gambar 7.6, dan Gambar 7.7.



Gambar 7.5 Koefisien Variasi (f)

Dengan $q_u = 2 \times c_u = 2 \times 0,73 = 1,46 \text{ kg/cm}^2$, didapatkan $f = 0,608 \text{ kg/cm}^3$. Setelah didapatkan koefisien variasi (f). Diperhitungkan factor kekakuan relative sebagai berikut :

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Dengan bored pile diameter 120 dengan data material dan penampang bored pile sebagai berikut :

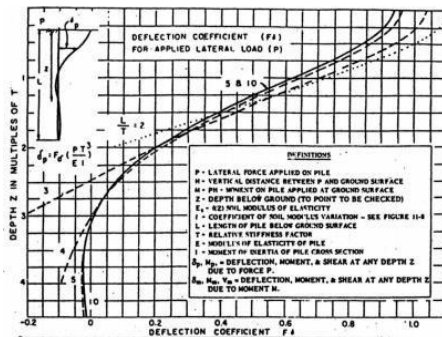
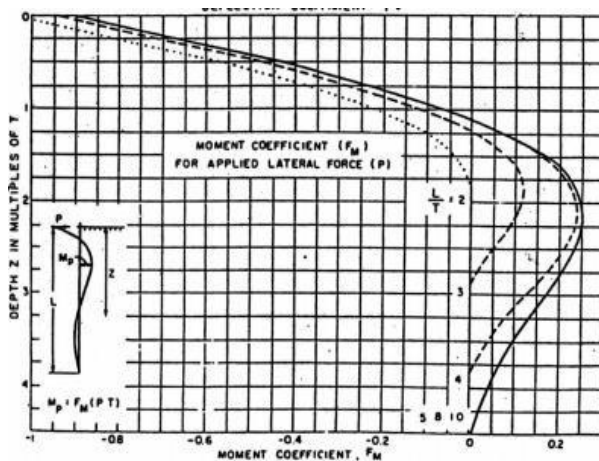
$$E = 4700 \sqrt{F'_c} = 4700 \sqrt{30} = 27805,57 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{64} \pi \cdot D^4 = \frac{1}{64} \pi \times 120^4 = 10178760,2 \text{ cm}^4$$

$$T = \left(\frac{27805,57 \times 10178760,2 \times 10^4}{0,608 \times \frac{9,81}{1000}} \right)^{\frac{1}{5}} = 3429,66 \text{ mm}$$

Dengan kedalaman tiang pancang sebesar 24 m, maka perbandingan L/T adalah sebagai berikut :

$$\frac{L}{T} = \frac{24000}{3429,66} = 12,73$$

Gambar 7.6 Koefisien Defleksi (f_{δ})Gambar 7.7 Koefisien Moment (f_m)

Dengan grafik diatas didapatkan koefisien-koefisien untuk pondasi pada kondisi II dengan asumsi kritis sebagai berikut:

$$f_{\delta} = 0,94$$

$$f_m = 0,9$$

Maka, perhitungan ketahanan tiang terhadap gaya horizontal sebagai berikut :

- Nilai Defleksi (δ_p) pada tiang

$$\delta_p = f_\delta \cdot \left(\frac{PT^3}{EI} \right)$$

$$\delta_{px} = 0,94 \cdot \left(\frac{130,69 \times 1000 \times 9,81 \times 3429,66^3}{27805,57 \times 10178760,2 \times 10^4} \right)$$

$$\delta_{px} = 17,18 \text{ mm} = 1,72 \text{ cm} < 2,54 \text{ cm (OK)}$$

$$\delta_{py} = 0,94 \cdot \left(\frac{52,13 \times 1000 \times 9,81 \times 3429,66^3}{27805,57 \times 10178760,2 \times 10^4} \right)$$

$$\delta_{py} = 6,85 \text{ mm} = 0,685 \text{ cm} < 2,54 \text{ cm (OK)}$$

$$\delta_{pResultan} = 0,94 \cdot \left(\frac{140,71 \times 1000 \times 9,81 \times 3429,66^3}{27805,57 \times 10178760,2 \times 10^4} \right)$$

$$\delta_{pResultan} = 18,49 \text{ mm} = 1,85 \text{ cm} < 2,54 \text{ cm (OK)}$$

- Nilai momen (M_p) pada tiang

$$M_p = f_m \cdot P \cdot T$$

$$M_{px} = 0,9 \times 130,69 \times 1000 \times 9,81 \times 3429,66$$

$$= 3957494145 \text{ N.mm}$$

$$= 3957,49 \text{ kN.m}$$

$$M_{px} = 3957,49 \text{ kN.m} < M_{crack}$$

$$= 7574,37 \text{ kN.m (OK)}$$

$$M_{py} = 0,9 \times 52,13 \times 1000 \times 9,81 \times 3429,66$$

$$= 1080354971 \text{ N.mm}$$

$$= 1080,35 \text{ kN.m}$$

$$M_{py} = 1080,35 \text{ kN.m} < M_{crack}$$

$$= 7574,37 \text{ kN.m (OK)}$$

$$M_{pResultan} = 0,9 \times 140,71 \times 1000 \times 9,81 \times 3429,66$$

$$= 4260742022 \text{ N.mm}$$

$$= 4260,74 \text{ kN.m}$$

$$M_{pResultan} = 4260,74 \text{ kN.m} < M_{crack}$$

$$= 7574,37 \text{ kN.m (OK)}$$

- Kontrol terhadap Kapasitas Gaya Tiang Pancang dengan Titik Jepit Tanah Letak titik jepit tanah (Z_f) :

$Z_f = 1,8 T$ (karena tanah tinjauan merupakan normally consolidated clay)

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$$

$n_h = 500 \frac{kN}{m^3} = 0,0005 \frac{N}{mm^3}$ (Tanah tinjauan merupakan clay dan soft)

$$E = 27805,57 MPa$$

$$I = 10178760,2 cm^4$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{27805,57 \times 10178760,2 \times 10000}{0,0005}} = 5630,82 mm$$

$$Z_f = 1,8 T = 1,8 \times 5630,82 = 10135,47 mm$$

$$= 10,13 m$$

$$P_{Kritis} = \frac{2 \cdot M_n}{Z_f} = \frac{2 \times 772,11}{10,13} = 152,36 ton$$

$$P_x = \frac{H_x}{36} = \frac{4705}{36} = 130,69 ton < P_{Kritis}$$

$$= 152,36 ton (OK)$$

$$P_y = \frac{H_y}{36} = \frac{1876,84}{36} = 52,13 ton < P_{Kritis}$$

$$= 152,36 ton (OK)$$

$$P_{Resultan} = \frac{H_{Resultan}}{36} = \frac{5065,536}{36} = 140,71 ton$$

$$< P_{Kritis} = 152,36 ton (OK)$$

7.2.4.3. Penulangan Pilecap

Penulangan direncanakan terhadap gaya geser ponds akibat pancang saja karena bentuk abutmen menyerupai plat. dan penulangan akibat momen lentur. Data data perencanaan pile cap adalah sebagai berikut.

Pu	= 5979,75 ton
N	= 36 buah
Dimensi Pilecap	= 18 x 18 x 1,5 m
Mutu beton	= 30 MPa
Mutu tulangan	= 390 MPa
Diameter tulangan	= D36 (utama) , D13 (geser) Selimut
Beton	= 50 mm
Tinggi efektif (d):	
Arah y (dy)	= 1500 – 50 – 36 – 36/2 = 1396 mm
Arah x (dx)	= 1500 – 50 – 36/2 = 1432 mm

- Kontrol Geser Ponds akibat Tiang Pancang

Untuk pilecap non prategang, nilai V_c diambil yang paling kecil dari persamaan berikut:

$$b_o = 0.25 \pi (1200 + 1396) = 2338,47 \text{ mm}$$

$$- V_{c1} = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d$$

$$\beta = \text{perbandingan panjang dan lebar pilecap} = 1$$

$$V_{c1} = 0.17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1\sqrt{30} x 2338,47 x 1396$$

$$= 91119016,98 \text{ N} = 9119,02 \text{ kN}$$

$$- V_{c2} = 0.083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d$$

$$\alpha = 20 \text{ (kolom sudut)}$$

$$V_{c2} = 0.083 \left(\frac{20 x 1396}{2338,47} + 2 \right) 1\sqrt{30} x 2338,47 x 1396$$

$$V_{c2} = 20687164,65 \text{ N} = 20687,164 \text{ kN}$$

$$- V_{c3} = 0.33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d$$

$$V_{c3} = 0.33 \cdot 1\sqrt{30} \cdot 2338,47 \cdot 1396 = 5900540,4 \text{ N}$$

$$= 5900,54 \text{ kN (Menentukan)}$$

$$\emptyset V_c = 0,9 \cdot 5900,54 = 5310,49 \text{ kN} > P_u = 298,95 \text{ ton}$$

$$= 2932,7 \text{ kN (OK)}$$

- Penulangan Lentur Pilecap Arah Sumbu X

Tulangan Atas

$$P_u = 441,514 \text{ ton}$$

$$q_d = 18 \cdot 1,5 \cdot 2,4 = 64,8 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$M_u = n P_u - \frac{1}{2} q_d L^2 = 18 \cdot 441,514 - \frac{1}{2} 64,8 \cdot 9^2$$

$$= 5422,852 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{390}{0,85 \cdot 30} = 15,294$$

$$R_n = \frac{M_u}{\emptyset b d^2} = \frac{5422,852 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 18000 \cdot 1432^2} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,2941 \cdot 1,6}{390}} \right) = 0,00432$$

$$\rho = 0,00432 >> \rho_{min} = 0,0018$$

Maka dipakai $\rho = 0,00432$

$$A_{s \text{ Perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,00432 \cdot 18000 \cdot 1432$$

$$= 111352,32 \text{ mm}^2$$

Sehingga dapat dihitung tulangan atas yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$n = \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ Tulangan}}} = \frac{111352,32}{\frac{\pi}{4} 36^2} = 109,4 \approx 110 \text{ buah}$$

$$s = \frac{18000}{110} = 163,63 \approx 150 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai tulangan lentur atas 110D36 (D36-150) untuk arah X

Tulangan Bawah

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{1}{2} A_s \text{ Perlu Tulangan Atas} = \frac{1}{2} 111352,32 \text{ mm}^2 \\ = 55676,16 \text{ mm}^2$$

Sehingga dapat dihitung tulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$n = \frac{A_s \text{ Perlu}}{A_s \text{ Tulangan}} = \frac{55676,16}{\frac{\pi}{4} 36^2} = 54,7 \approx 55 \text{ buah}$$

$$s = \frac{18000}{55} = 327,27 \approx 300 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai tulangan lentur bawah 55D36 (D36-300) untuk arah X.

- Penulangan Pilecap Arah Sumbu Y

Tulangan Atas

$$P_u = 441,514 \text{ ton}$$

$$q_d = 18 \cdot 1,5 \cdot 2,4 = 64,8 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$M_u = n P_u - \frac{1}{2} q_d L^2 = 18 \cdot 441,514 - \frac{1}{2} 64,8 \cdot 9^2 \\ = 5422,852 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{390}{0,85 \cdot 30} = 15,294$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{5422,852 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 18000 \cdot 1432^2} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,2941 \cdot 1,6}{390}} \right) = 0,00432$$

$$\rho = 0,00432 >> \rho_{min} = 0,0018$$

Maka dipakai $\rho = 0,00432$

$$A_{s\text{ Perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,00432 \cdot 18000 \cdot 1432 \\ = 111352,32 \text{ mm}^2$$

Sehingga dapat dihitung tulangan atas yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$n = \frac{A_{s\text{ Perlu}}}{A_{s\text{ Tulangan}}} = \frac{111352,32}{\frac{\pi}{4} 36^2} = 109,4 \approx 110 \text{ buah}$$

$$s = \frac{18000}{110} = 163,63 \approx 150 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai tulangan lentur atas 110D36 (D36-150) untuk arah Y

Tulangan Bawah

$$A_{s\text{ Perlu}} = \frac{1}{2} A_{s\text{ Perlu Tulangan Atas}} = \frac{1}{2} 111352,32 \text{ mm}^2 \\ = 55676,16 \text{ mm}^2$$

Sehingga dapat dihitung tulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$n = \frac{A_{s\text{ Perlu}}}{A_{s\text{ Tulangan}}} = \frac{55676,16}{\frac{\pi}{4} 36^2} = 54,7 \approx 55 \text{ buah}$$

$$s = \frac{18000}{55} = 327,27 \approx 300 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai tulangan lentur bawah 55D36 (D36-300) untuk arah Y

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VIII PENUTUP

8.1. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam Perancangan Jembatan Semujur dengan jembatan box baja diagonal dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bentang Jembatan Semujur sepanjang 100 m dan lebar 20 m. Lebar lantai kendaraan 14 m untuk 4 lajur kendaraan @ 3,5 m dan lebar trotoar @ 3 m di setiap sisi.
2. Berdasarkan perhitungan struktur sekunder jembatan busur, didapatkan:
 - Pelat lantai kendaraan menggunakan beton $f'c$ 35 MPa dengan tebal 0,25 m dengan tulangan untuk momen negative menggunakan D13-300, tulangan untuk momen positif menggunakan bondeks luas penampang 1241 mm², tulangan untuk susut menggunakan D10-200 dan aspal dengan tebal 0,05 m
 - Gelagar memanjang menggunakan baja BJ37 dengan profil WF600x300x14x23
 - Gelagar melintang menggunakan baja BJ37 dengan profil GIRDER1500x400x30x30
 - Tie beam menggunakan baja BJ37 dengan profil BOXGIRDER2500x2000x40x40 dengan pengaku longitudinal dan pengaku transversal.
 - Kabel penggantung menggunakan Macalloy 520 (M100) dengan diameter 97 mm dan minimum break load 4551 kN
3. Permodelan struktur jembatan busru menggunakan Program Bantu MIDAS.
4. Penampang busur menggunakan baja BJ37 dengan profil BOXGIRDER2500x4000x40x40 dengan pengaku longitudinal dan pengaku transversal.

5. Perletakan yang digunakan untuk Penampang Busur menggunakan perletakan sendi dan untuk Lantai Kendaraan menggunakan perletakan sendi dan rol.
6. Struktur bawah pada Penampang Busur menggunakan pilecap 18 m x 18 m dengan tebal 1,5 m, serta menggunakan bored pile diameter 1,2 m kedalaman 22 m sebanyak 36 buah.

8.2. Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, maka dari itu perlu adanya hal-hal yang harus diperhatikan agar perencanaan sejenis dapat lebih baik lagi, hal-hal tersebut antara lain:

1. Dalam desain jembatan agar ketelitian perencanaan lebih baik, dapat menambah konfigurasi pembebanan berupa beban static maupun beban dinamis untuk mendapatkan beban kritis sehingga didapatkan perencanaan lebih baik.
2. Untuk analisa dinamis yang sebenarnya akibat beban angin juga dilakukan menggunakan rumus empiris dan dimodelkan penuh menggunakan terowongan angin (*wind tunnel*) agar ketelitian dalam perencanaan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwalan, M. F. (2018). Interaction of Closely Spaced Shallow Foundations on Sands and Clays: A review. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(9), 101–110. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.9.11>
- Brockenbrough, R. L., & Merritt, F. S. (2006). *Structural Steel Designer ' S Handbook*.
- Caetano, E. (2016). Cables. In *Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800058-8.00021-9>
- Chen, W.-F., & Duan, L. (2014). Bridge Engineering Handbook Super Structure Design. In *Civ. Eng. (N.Y.)* (Vol. 2, Issue 6).
- Chen, W. F., & Duan, L. (2014). Bridge engineering handbook, second edition: Substructure design. In *Bridge Engineering Handbook, Second Edition: Substructure Design*. <https://doi.org/10.1201/b15621>
- Martin, B. T. (2016). Highway bridges. In *Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800058-8.00018-9>
- Namin, A. A. (2012). *Structural Evaluation of Tied-Arch and Truss Bridges Subjected to Wind and Traffic Loading*. June.
- Peng, X., Wang, X., & Gui, X. (2011). 3D finite element analysis of single span special-shape arch bridge with diagonal crossing arch rib and curved girder. *Applied Mechanics and Materials*, 63–64(1), 915–918. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.63-64.915>

- Pipinato, A. (2016). Structural analysis and design of a multispan network arch bridge. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Bridge Engineering*, 169(1), 54–66.
<https://doi.org/10.1680/jbren.14.00013>
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*.
- Shiau, Y., & Wang, M. (2008). *DISCUSSION OF POT BEARING FOR CONCRETE BRIDGE*. 213–223.
- Toprak, B., Sevim, O., & Kalkan, I. (2018). *The Functions of Pile Types and Piles Used in Construction*. September, 34–36.
- Walther, R., Houriet, B., Isler, W., Moia, P., & Klein, J. F. (1999). *Cable-Stayed-Bridges-2nd-Ed-1999.pdf*.
- Wang, Q. (2011). *Model Test Study on a Single Diagonal-span Arch Bridge with Curved Beam*. 47, 2031–2035.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.44-47.2031>
- Widojoko, L. (2015). *ANALISA DAN DESAIN PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN BENTUK TIANG*. 2(26).
- Yulianti, P. (2014). *Studi pemodelan perkuatan pondasi dangkal pada tanah lempung lunak menggunakan kombinasi geotekstil*. 2(3), 320–328.

LAMPIRAN



Macalloy Tensile Structure Systems:

Macalloy 460

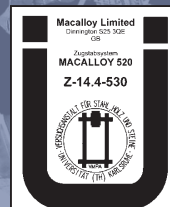
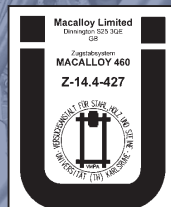
Macalloy 520

Macalloy S460

Macalloy Architectural Compression Strut

Macalloy Standard Compression Strut

Macalloy SC460



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Tensile Structures

A historical overview	P. 2-3	Components for Macalloy 460, S460 and 520 Bar Systems	P. 8-9
Macalloy 460 Bar System	P. 4	Macalloy Connection Plate Solutions	P. 10
Macalloy 520 Bar System	P. 5	Macalloy SC460 Cable System	P. 11
Macalloy S460 Bar System	P. 6	Macalloy 460, S460 and 520 Bar System Assembly	P. 12-13
Macalloy Architectural and Standard Compression Struts	P. 7	Installation and Stressing of Macalloy Tendons	P. 14-15

Since the 1940's Macalloy has been leading the way in the design, manufacture and supply of threaded bar systems.

Macalloy's traditional ethos of consistently serving its markets with experience, innovation and quality, has strengthened the company's reputation as the leading

threaded bar manufacturer in the world. With innovation at the heart of the company's brand, Macalloy developed and introduced the concept of Tensile Structures in the early 1980's, leading to new systems and technology that were to change traditional principles forever.

In recognition of this, the Macalloy portfolio of projects continues to expand with new and exciting opportunities being presented. Throughout its history, Macalloy has gained respect from architects, engineers and contractors. This continues to be the case today.



The Renault building in Swindon, recognised as the world's first tensile structure, is supported using the Macalloy Tension Bar System. This building has now been granted grade 2 listed status, due to its architectural significance.

Renault Building, Swindon, UK
Architect – Foster Associates
Contractor – Tubeworkers
Engineer – Arups

There are many reasons why specifiers and contractors have repeatedly chosen the Macalloy system over the years. Here are but a few. Macalloy:

- was the first to develop a structural tie system with a yield stress of 460N/mm².
- has now developed a new structural tie system with an enhanced yield stress of 520 N/mm².
- only manufactures using rolled threads.
- offers the most comprehensive range of bar and cable systems in both carbon and stainless steel.
- pioneered the art of stressing tendons (see page 14-15)
- was the first to gain approval to BS ENV 1993-1 (EC3)

- has European and German approval for its carbon and stainless steel system.
- has a system tested in fatigue.
- is a CARES approved company.
- celebrated 60 years of experience in threaded bar systems in 2008.
- has an experienced team of engineers, who offer support and advice from specification to construction stage.
- ensures all round customer service.

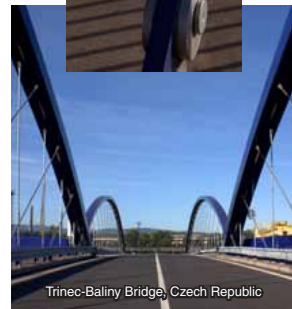
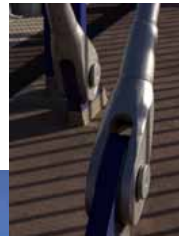


Photo by Vladimír Carbol,
Norsk Sveiseteknikk AS

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Tensile Structures

Macalloy is continually introducing new products to meet the demands of the civil and architectural markets.

The following systems form part of Macalloy's range:

- Macalloy 460 (carbon steel bar system)
- Macalloy 520 (carbon steel bar system)
- Macalloy S460 (stainless steel bar system)

- Macalloy Architectural and Standard Compression Strut
- Macalloy SC460 (stainless steel cable system)
- Macalloy Connection Discs

In addition to the above, Macalloy can offer other bar and cable systems, to suit a specific application. For further information, please contact the sales department.

From the Macalloy 460 to Macalloy 520

As a company that sees itself at the forefront of innovation and new technology, Macalloy's latest product addition is the Macalloy 520. This system presents engineers with the opportunity to use a smaller diameter bar to carry the same load.

Malaga Airport, T3, Spain
 Consultant - W&P Architects Engineers
 © 2010 Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea



Mbombela Stadium, Nelspruit, South Africa
 Client - Mbombela Local Municipality
 Structural Engineer - Mott MacDonald

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy 460 Bar System

Table 1 - Tendon Capacities for Carbon Macalloy 460

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Design Resistance to EC3	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677	2138	2418	3029
Nominal Bar Weight	(kg/m)	0.5	0.75	1.4	2.2	3.0	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58



Macalloy 460 in Application

Engineers all over the world have used Macalloy systems in the most diverse of applications. Among these are bridges, government buildings, stadia, airports, and hotels, to name just a few. The longevity and design again reflect the level of innovation and quality, which have become firm components of Macalloy products.

Macalloy 460 Carbon Bars

Macalloy 460 is a manufactured carbon steel, with excellent mechanical properties. The thread is rolled, rather than cut. This gives rise to the use of smaller diameter bars for a given metric thread, resulting in material cost saving. The carbon Macalloy 460 is also a weldable steel with a maximum carbon equivalent of 0.55%. Arc welding may be carried out using standard techniques and low hydrogen rods.

The Macalloy 460 bar has the following mechanical properties:

Minimum Yield Stress	460 N/mm ²
Minimum Breaking Stress	610 N/mm ²
Minimum Elongation	19%
Minimum Charpy Impact Value	27J @ -20°C
Young's Modulus	205 kN/mm ²

The standard diameter range for this system is from M10 to M100. In addition, other diameters can be supplied but are

subject to longer lead times. Tendons up to and including M16 diameters can be supplied in lengths of 6m. For larger diameters, lengths of up to 11.95m are available. Greater lengths are possible using couplers and turnbuckles. These fittings are designed to take the full load of the bar.

Adjustment

Adjustments within each fork or spade are:
M10 to M56: +/- 1/2 thread diameter
M64 to M100: +/-25mm

Turnbuckles give additional adjustments of:
M10 to M24: +/-25mm
M30 to M100: +/-50mm

Special turnbuckles, with a greater adjustment, are available on request.

Fatigue

Threads are rolled on to the bar and are therefore more resistant to fatigue. Testing a range of diameters has been carried out over 2 million cycles, the results of which are available from the Macalloy technical department.

Corrosion Protection

Macalloy tendons can be supplied in plain carbon steel, primed, or hot dip galvanized finish. If requested at the time of order, hot dip galvanizing can be applied to tendons

after the threading process. The threads are then brushed to remove any excess zinc.

Length permitting, galvanized bars are delivered pre-assembled. This procedure ensures that threads are 100% operational. Connected bars, greater than 12m, are delivered part assembled. Please note that hot dip galvanizing is not comparable with a paint finish. The visual appearance of forks and spades may differ in appearance from that of the bar, by virtue of the different material compositions.

Paint

For architectural purposes, it is recommended a painted finish is applied to the galvanizing. The corrosion resistance of the bar can then be enhanced.

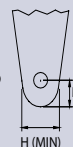
Macalloy offers any kind of paint finish (primer, paint or fire protection) for hot dip galvanized, or self colour tendons. These finishes will be sourced from certified suppliers.

European Approval

The Macalloy 460 system has European CE approval under the ETA number 07/0215 for all standard diameters from M10 and M100. When specifying, always ask for CE approved systems.

Table 2 - Macalloy 460 Gusset Plate Dimensions

	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	
T (Thickness)	mm	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
D	mm	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18	22	30	37	43	56	64	74	84	101	112	132	160	166	196
H (min.)	mm	28	34	48	60	68	90	103	118	135	163	180	211	259	266	317



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy 520 Bar System

Table 3 - Tendon Capacities for Carbon Macalloy 520

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Min. Yield Load	kN	28	41	77	122	176	284	411	566	746	1030	1360	1985	2531	2862	3585
Min. Break Load	kN	35	52	98	155	223	360	522	719	946	1308	1727	2520	3212	3633	4551
Design Resistance to EC3	kN	26	38	71	112	161	257	376	518	682	942	1244	1814	2313	2616	3277
Nominal Bar Weight	(kg/m)	0.5	0.75	1.4	2.2	3	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58



Macalloy 520 Carbon System

The Macalloy 520 follows tradition and offers an alternative bar system with the same geometry, design and technology as the 460 system. The fittings are designed to take the increased capacity of the system, which is available in diameters M10 to M100 in carbon steel.

Mechanical Properties

The Macalloy 520 bar has the following mechanical properties:

Minimum Yield Stress	520 N/mm ²
Minimum Breaking Stress	660 N/mm ²
Minimum Elongation	19%
Minimum Charpy Impact Value	27J @ -20°C
Young's Modulus	205 kN/mm ²

Adjustment

Adjustments within each fork or spade are:

- M10 to M56: +/- ½ thread diameter
- M64 to M100: +/-25mm

Turnbuckles give additional adjustments of:

- M10 to M24: +/-25mm
- M30 to M100: +/-50mm

In addition, special turnbuckles, with a higher adjustment, are available on request.

Corrosion Protection

Macalloy tendons can be supplied in plain carbon steel, primed, painted or dip galvanized finish. If requested at the time of order, hot dip galvanizing can be applied to tendons after the threading process. The threads are then brushed to remove any excess zinc.

Length permitting, galvanized bars are delivered pre-assembled. This procedure ensures that threads are 100% operational. Connected bars, greater than 12m, are delivered part assembled. Please note that hot dip galvanizing is not comparable with a paint finish. The visual appearance of forks and spades may differ in appearance from that of the bar, by virtue of the different material composition.

Paint

For architectural purposes, it is recommended a painted finish is applied to the galvanizing. The corrosion resistance of the bar can then be enhanced.

European Approval

The Macalloy 520 system has European CE approval under the ETA number 07/0215 for all standard diameters from M10 and M100. When specifying, always ask for CE approved systems.

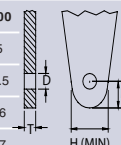
Kolomoen Bridge, Norway



Image Courtesy of BBR Network Member Spenneteknikk

Table 4 - Macalloy 520 Gusset Plate Dimensions

	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	
T (Thickness)	mm	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
D	mm	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18	22	30	37	43	56	64	74	84	101	112	132	160	166	196
H (min)	mm	28	34	48	60	68	90	103	118	135	163	180	211	259	266	317



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy S460 Bar System

Table 5 - Tendon Capacities for Macalloy S460

Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329
Design Resistance to EC3	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677
Nominal Bar Weight	(kg/m)	0.50	0.75	1.40	2.20	3.00	4.80	7.10	9.40	12.50	16.70	22.20	32.00



Macalloy S460 Stainless Bars

Macalloy S460 is an austenitic stainless steel system, selected from high strength stainless steel to provide the optimum balance of strength, ductility and appearance. Austenitic stainless steel has excellent Charpy V notch impact properties.

Macalloy S460 bar has the following mechanical properties:

Minimum Yield Stress	460 N/mm ²
Minimum Breaking Stress	610 N/mm ²
Minimum Elongation	15%
Minimum Charpy Impact Value	27J @ -20°C
Young's Modulus	190 kN/mm ²

The system comes as standard in diameters M10 to M76. Bars are available in standard lengths of 6m. Longer lengths are available by request.

Stainless Finish

All components of the Macalloy S460 bar system are supplied, as standard, with a Grit 220 (N3) polished finish. On request, Macalloy can supply higher quality finishes (electro polished, glass bead finish etc.). Please discuss your requirements with our sales team.

Adjustment

Adjustments within each fork or spade are:
 M10 to M56: +/- 1/2 thread diameter
 M64 to M76: +/-25mm

Turnbuckles give additional adjustments of:
 M10 to M24: +/-25mm
 M30 to M76: +/-50mm

Isolation

When the Macalloy S460 stainless steel system is joined to carbon steel gusset

plates, it is recommended isolation is used. Macalloy can offer isolation sleeves and washers to avoid contact corrosion. See Table 6 and 7 below.

European Approval

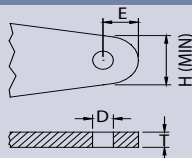
The Macalloy S460 system has European CE approval under the ETA number 07/0215 for all standard diameters from M10 and M76. When specifying, always ask for CE approved systems.

Use of Stainless in Chlorine Environments

Macalloy has considerable experience of using stainless steel in a chlorine environment and can offer advice on specific grades for such applications. For further information, please contact the Macalloy Technical Department.

Table 6 - Macalloy S460 Gusset Plate Dimensions when used with isolation

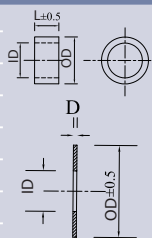
	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
T (Thickness) mm	8	9	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70
D mm	15.5	17.0	21.0	25.5	30.0	36.0	42.0	48.0	55.5	63.5	72.5	85.5
E mm	21	24	31	37	45	56	64	74	85	100	115	136
H (min) mm	34	38	49	58	69	89	108	117	136	160	179	210



The above dimensions should be used when connecting stainless forks to a carbon steel connection plate. This then allows space for isolation sleeves and washers. If connecting to a stainless connection plate where no isolation is required, please use dimensions in table 2.

Table 7 - Isolation Dimensions for Macalloy S460

	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76
Isolation Sleeve	IS10	IS12	IS16	IS20	IS24	IS30	IS36	IS42	IS48	IS56	IS64	IS71
Length mm	9	10	13	16	21	23	31	36	41	46	55	71
ID mm	11.5	13.0	17.0	21.0	25.0	31.0	37.0	43.0	49.0	57.0	64.5	77.5
OD mm	14.5	16.0	20.0	24.5	29.0	35.0	41.0	47.0	54.0	62.0	71.0	84.0
Isolation Washer	IW10	IW12	IW16	IW20	IW24	IW30	IW36	IW42	IW48	IW56	IW64	IW76
D mm	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
OD mm	26	30	41	46	57	74	83	98	110	135	155	190



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Architectural and Standard Compression Strut

Table 8 – Diameter and Maximum Compressive Capacity of Fork

Fork Size	Units	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
CHS OD	mm	33.7	42.2	48.3	60.3	76.1	88.9	114.3	139.7	168.3	193.7	219.1	244.5	273.0	323.9
CHS Wall Thickness	mm	4	4	5	5	5	5	6.3	10	10	10	12.5	16	16	16
Maximum compressive capacity to EC3	kN	12.8	28	46.3	66.2	124.6	202.8	286.2	397	564.8	775.8	1167.9	1634.5	1871.3	2419

Macalloy Compression Strut

Macalloy offers 2 types of Compression Struts. There is the existing Architectural Strut Range and the new Standard Compression Strut System.

Macalloy Compression Struts utilise standard Macalloy 520 fork end fittings and pin sets. These are connected to the CHS (circular hollow section) by a taper cone and threaded stud.

The Macalloy Standard Compression Strut provides the same compressive capacities as the architectural system, however the formal appearance of this strut has a shorter taper cone and no locking collar.

Approved by DIBt Berlin

The Macalloy Compression Strut system has been approved in Germany by the Deutsches Institut für Bautechnik, under approval number Z-14.4-530. For further information, please contact the Macalloy technical department.

Corrosion Protection

As a means of protecting against corrosion, Macalloy can supply the Compression Strut hot dip galvanized, painted or in stainless steel.

Tolerances and Adjustments

The cutting tolerance for a CHS is +/- 3mm. Adjustment within each fork is:
M10 to M56: +/- ½ thread diameter
M64 to M100: +/- 25mm

Project Examples:

Macalloy Compression Struts have been used on many projects including Wembley Stadium in London, Elm Park in Dublin and Credit Suisse in Singapore.

For full details of dimensions, design and specification of the Macalloy Architectural and Standard Compression Strut system, please refer to the new Macalloy Compression Strut brochure.



ITTL Exhibition Areas, Plot 2, Nicosia, Cyprus
Architect – Marathettis Yiannouris Architects
Contractor – Loizos Iordanous Constructions Ltd
Engineer – Redesco slr

Macalloy Standard Compression Strut



Macalloy Architectural Compression Strut



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Components for Macalloy 460, S460 and 520 Bar Systems.

Standard Components

Macalloy offers a range of standard components, including forks, spades, pins, couplers and turnbuckles. These components are designed and tested to exceed the tensile capacity of the bar, which itself is based upon the cross sectional area of the thread form. The design and geometric dimensions are the same for all the systems, enabling the designer to go from one system to another, without making any design changes.

Forks are designed to be connected to a BS EN 10025 grade S355 plate (Grade 50 to BS4360) of the dimensions shown in tables 2 and 4. This will ensure a connection that has yield strength equal to the minimum tendon yield strength.

Spades are designed to be connected to forks or between grade 355 plates, simulating a fork/spade connection.

Pins connect the fork or spade to the gusset plates. Macalloy only offers pins with architectural caps to ensure a more secure connection. We recommend the use of galvanized pins for their superior corrosion protection properties. In heavily corrosive environments, it is recommended that stainless steel pins be used. To avoid bi-metallic corrosion the pins should be fitted with suitable sleeve isolation.

Lock Covers not only help to lock the components in place and hide the remainder of the bar thread form, but they also provide an aesthetic and smooth transition from component to bar. They may be used at each side of a turnbuckle



Bâtiment administratif SYCTOM, France © SYCTOM de l'agglomération parisienne.

or coupler and at the back end of a fork or spade.

Couplers and Turnbuckles are a small and unobtrusive way of joining 2 or more bars together when tendons are longer than the maximum bar length. The turnbuckles can be used to apply a torque or induce a load in to the bar, especially when used in combination with the Macalloy TechnoTensioner.

Lock Cover Sealing In order to avoid corrosion in the thread of carbon steel tendons, a sealant should be applied. The sealant also acts as a mechanism to lock off the lock cover against the fork for both the carbon and stainless systems. Macalloy recommends Loctite, Henkle

Terostat – MS 939 or a sealant of similar viscosity. Care should be taken of possible over painting of the material.

1. All threaded components must be cleaned of grease, oil and other impurities.
2. After completing the assembly (the system is under tension), the open end of the lock cover must be covered with PTFE tape, so that the space between the lock cover and bar is closed. Using a cartridge gun, the sealant is injected into the hole in the lock cover, until the cavity void is completely filled.
3. On completion of the injection, the tape should be removed.
4. Any excess sealant should be removed from the end of the lock cover and around the injection hole immediately.
5. During clean up, the sealant manufacturer's instructions must be followed.



EXPERIENCE

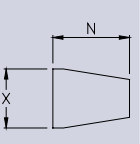
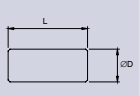
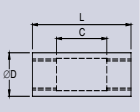
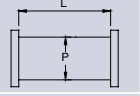
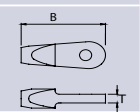
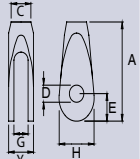
INNOVATION

QUALITY

Components for Macalloy 460, S460 and 520 Bar Systems

Table 9 – Component Dimensions

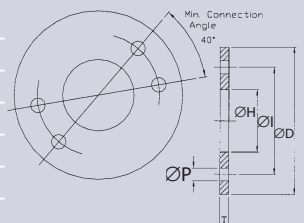
Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Fork Ref.		FA/10	FA/12	FA/16	FA/20	FA/24	FA/30	FA/36	FA/42	FA/48	FA/56	FA/64	FA/76	FA/85	FA/90	FA/100
A	mm	63.0	75.0	99.0	122.0	148.0	178.0	204.0	232.0	266.0	314.0	348.0	410.0	459.0	489.0	555.0
G	mm	11.0	12.0	15.0	19.0	24.0	26.0	34.0	39.0	44.0	49.0	59.0	76.0	78.0	86.0	91.0
C	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	44.0	52.0	60.0	69.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0
D	mm	11.5	13.0	17.0	21.4	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18.0	22.0	29.0	34.0	42.0	53.0	61.0	70.0	81.0	97.0	111.0	132.0	153.0	162.0	188.0
Y	mm	20.0	22.0	28.0	37.0	44.0	50.0	64.0	75.0	87.0	97.0	115.0	146.0	154.0	169.0	174.0
H	mm	30.0	34.0	45.0	53.0	64.0	81.0	94.0	109.0	123.0	147.0	169.0	201.0	236.0	248.0	289.0
Spade ref.		SA/10	SA/12	SA/16	SA/20	SA/24	SA/30	SA/36	SA/42	SA/48	SA/56	SA/64	SA/76	SA/85	SA/90	SA/100
B	mm	78.0	92.0	118.0	147.0	174.0	213.0	249.0	284.0	321.0	364.0	408.0	471.0	524.0	555.0	625.0
T	mm	8.0	9.0	12.0	15.0	20.0	22.0	30.0	35.0	40.0	45.0	55.0	70.0	72.0	80.0	85.0
Architectural Pin Ref.		PA/10	PA/12	PA/16	PA/20	PA/24	PA/30	PA/36	PA/42	PA/48	PA/56	PA/64	PA/76	PA/85	PA/90	PA/100
P Dia.	mm	10.5	12.0	16.0	20.0	24.0	29.0	35.0	41.0	47.0	55.0	63.0	76.0	90.0	93.0	108.0
L	mm	22.0	24.0	30.0	39.0	46.0	52.0	66.0	78.0	91.0	100.0	120.0	151.0	155.0	175.0	180.0
Turnbuckle Ref.		TA/10	TA/12	TA/16	TA/20	TA/24	TA/30	TA/36	TA/42	TA/48	TA/56	TA/64	TA/76	TA/85	TA/90	TA/100
ØD	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	43.0	52.0	60.0	68.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0
C	mm	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
L	mm	74.0	78.0	86.0	90.0	98.0	160.0	172.0	184.0	196.0	212.0	228.0	252.0	270.0	280.0	300.0
Coupler Ref.		CA/10	CA/12	CA/16	CA/20	CA/24	CA/30	CA/36	CA/42	CA/48	CA/56	CA/64	CA/76	CA/85	CA/90	CA/100
ØD	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	43.0	52.0	60.0	68.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0
L	mm	25.0	29.0	37.0	45.0	53.0	65.0	77.0	89.0	101.0	117.0	133.0	157.0	175.0	185.0	205.0
Fork & Coupler Lockcovers		LCF/10	LCF/12	LCF/16	LCF/20	LC/24	LC/30	LCT/36	LC/42	LC/48	LC/56	LC/64	LC/76	LC/85	LC/90	LC/100
X Dia.	mm	16.5	18.5	24	28	34	42	51	59	67	79	90	107	120	128	142
N	mm	29	31	37	43	74	105	111	117	123	136	144	156	165	170	180
Turnbuckle Lockcovers		LCT/10	LCT/12	LCT/16	LCT/20	Note: The above M24-M100 lock covers are universal and can be used for both forks and turnbuckles										
X Dia.	mm	16.5	18.5	24.0	28.0											
N	mm	44.0	44.0	46.0	48.0											



Lock covers for use with TechnoTensioner have a small groove that runs around the body to identify them. Unless requested, standard non-TechnoTensioner lock covers will be quoted and supplied.

Table 10 – Disc Connection

Connection Disc	D/10	D/12	D/16	D/20	D/24	D/30	D/36	D/42	D/48	D/56
System Size	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
ØD	130	164	218	248	294.8	386	444	502	572	694
ØI	96	120	160	180	210	280	320	360	410	500
T	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45
ØP	11.5	13	17	21.5	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5
ØH (optional)	50	70	90	105	115	160	185	205	235	290



To discuss larger dimensions, please contact the Macalloy technical department.

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Connection Plate Solutions

Connection plate solutions for Macalloy 460, 520 and S460

Standard Connection Plates

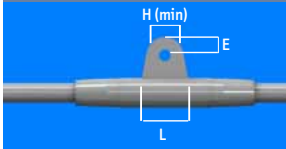
Forks can be connected to either carbon steel or stainless steel connection plates, using material with an equivalent strength to BS EN 10025 grade S355.

If carbon steel connection plates are used with stainless forks or vice versa, isolation sleeves and washers may be required to prevent bi-metallic corrosion.

Coupler Connector

Available in all sizes, these couplers are supplied with a welded lug to create a hanger connection, removing sag in the long span applications. Please contact the Technical Department with your requirements. The dimensions of the gusset plates are found in Tables 2, 4 and 6.

Coupler Connection



Central Connection Plates

These are circular central discs, commonly used in wind bracing applications, where tendons are used to cross each other. Dimensions are given in table 10. A low priced alternative is to use a central node, whereby the bar passes straight through the central connector (as shown below).



Bespoke Connection Plates

Designed to complement the Macalloy bar systems, connection plates can be manufactured to suit your individual application requirements. These are available in both carbon and stainless steel, with a choice of finishes, including painted, powder coated or polished. Your preferred company logo, lettering and designs can be accommodated, using the latest laser cutting, chemical etching, or screen printing techniques. For further support and advice, please contact our technical team.



Gusset Plate Fit

One of the benefits of the Macalloy bar system is the difference between the plate thickness and gap inside the fork. This gap allows a maximum misalignment of 0.5 degrees. The tolerance within the system makes it significantly easier during assembly.

Badly fitted gusset plates can result in asymmetric loading on the fork, which should be avoided. If misalignment of > 0.5 degrees is required, the use of a spherical bearing should be considered within the gusset plate. Please contact the Technical Department for further information.

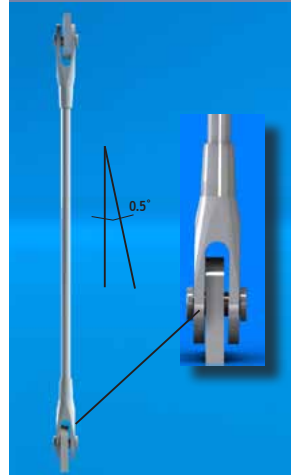
Macalloy Bespoke Systems

In addition to the standard systems, Macalloy can offer special items and systems. Macalloy has an experienced technical department. Our engineers are willing to offer expert advice and solutions for special projects. Macalloy has modern manufacturing facilities, a flexible workforce and 60 years experience in the manufacture of threaded bar. The in-house bar threading facility, means that one-off bar types can be manufactured to individual specifications. The in-house Test Facility is able to check that components and bars meet the initial design requirements, before leaving the premises.

Special Projects include:

- Dubai airport – a special 690 grade bar system was developed, which included special high strength connections to take the full load of the bar.

Gusset Plate Misalignment



- Unique machined and cast components for numerous glass façade projects
- Changi airport – 835 grade stainless bar with special forks to suit
- T5, Heathrow – unique finish to the thread form and polish for the glass wall
- T5 Rail Interchange, Heathrow – special T-connection pieces to allow horizontal and vertical bars to be joined in one threaded connection.

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy SC460 Stainless Cable System

Table 11 – Tendon Capacity for the Macalloy SC460

Cable Dia.	mm	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	19	22	26
Break Load	kN	7.1	12.6	19.6	28.2	34.8	45.5	71.1	102.0	139.0	182.0	212.0	285.0	398.0



Macalloy SC460 Stainless Cable Tendons

The Macalloy SC460 is a logical extension of the Macalloy bar tendon systems.

This specially designed system incorporates cable adapters, which allow standard imperial threaded swaged cables to be connected to the standard Macalloy S460 range of forks.



Macalloy SC460 Stainless Cable

The cables used permit a conventional elongation. The elongation of the cable length can be between 0.10 and 0.75%, depending on the magnitude and frequency of loading. This must always be considered in the design of the structure.

Macalloy offers three types of cable:

1x19 spiral strand has moderate initial stretch properties. All the cable adapter fittings are designed to match the minimum breaking load of the 1x19 cable.

Compact Strand has a higher breaking load, along with a lower initial stretch, than the 1x19 strand cable and is available in most diameters.

7x19 strand is the most flexible cable and is ideal where this property is paramount.

Standard Components SC460 Tendons

The fork and pin components of the system are all made from austenitic or duplex stainless steel. The swaged fittings are factory swaged to both ends of the cable and the strength of the connection exceeds the break load of the cable.

Pin set bodies above SPA24 may be in martensitic stainless steel. The system is designed to match the minimum break load of the 1x19 strand cable. If fittings are required to match the minimum break load of the compact strand, please seek advice from the Macalloy technical department.

Connection Plates

All forks may be connected to either carbon steel or stainless steel connection plates with an equivalent strength to BS EN 10025 grade S275 or Grade 316 to BS 970.

Where carbon steel plates are used, isolation sleeves and washers may be required to prevent bi-metallic corrosion.

Finish

All components are finished in a Grit 220. (N3) polished finish. Other finishes are available on request. Please contact a member of the sales team.

Macalloy Guy Linking Stainless Bar and Cable Systems

The Macalloy Guy Linking systems are a range of stainless steel architectural bar and cable systems. Typical applications include:

- Membrane structures
- Lightweight steel structures
- Footbridges
- Glass Façades

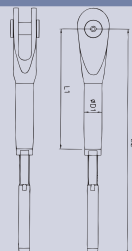
The **Macalloy Guy Linking bar** has a minimum yield stress of 315 N/mm² for the small diameters, falling to 205N/mm² for the larger diameters. Likewise, the minimum breaking stress ranges from 600 N/mm² to 510 N/mm². Minimum elongation is 15%.

The **Macalloy Guy Linking Cable** uses three of the same cable types as the Macalloy SC460. There are three types of standard tendon available.

- The swaged adjustable fork system
- The swaged fork with swaged tensioner system
- The swaged fork with in-line tensioner

Table 12 – Components Dimensions – Macalloy SC460 Stainless Cable Systems

Cable Dia.	mm	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	22	26
Fork Required		M10	M10	M12	M12	M16	M16	M20	M24	M24	M30	M30	M42	M42
L1		90	90	112	122	149	149	201	235	235	288	288	367	383
L2		168.5	168.5	206	233.9	275.7	287.6	378.6	443	461	539	573	689	749.5
Dia 1		17	17	19	19	25	25	29	35	35	44	44	60	60
Adjustment	+	8	8	11	13.7	15	15	22	24.7	24.7	30.7	30.7	37.7	41
	-	16	16	22	27.3	30	30	44	49.3	49.3	61.3	61.3	75.3	82



Note: Design length of tendon taken at zero adjustment. Adjustment per tension +/-

EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy 460, S460 and 520 Bar System Assembly

The following assembly instructions are guidelines only, when in doubt, please seek advice from our technical department.

Fork Assembly

The fork offers an efficient end termination for the bar, allowing easy assembly to a gusset plate via a pinned joint.

1. Establish the thread size of the tendon together with its orientation i.e. left hand or right hand. Note all left hand bars are marked with paint.
2. Screw a lock cover onto the threaded end of the bar with the taper pointing along the bar. Screw the lock cover all the way along the thread length.
3. Screw the fork onto the threaded end of the bar for a distance approximately 1.5 times that of the thread diameter for tendons between M10 and M56, and approximately 25mm plus 1 times the thread diameter for M64 to M100 tendons. Note that in order to achieve a full strength connection, the bar must be engaged by a minimum of 1 times the thread diameter.
4. Screw the lock cover back up the bar and tighten them against the fork end. The thread of the bar should now be covered by the fork and lock cover.

5. The fork is now ready for the pin assembly – see final assembly.

Coupler Assembly

The coupler is designed to connect the same size diameter bars, all coupling threads are right handed.

1. Establish the bars to be coupled. On the first bar, and if required so, screw a lock cover over the threaded end of the bar along the full thread length (as note 2 fork assembly).
2. Screw coupler into the bar until it comes up against the centre stop. The amount of bar screwed into the coupler should be half of the overall length of the coupler.
3. On the other bar to be coupled, if required, screw a lock cover on the thread first. Then thread the bar into coupler, until the bars are butting up to each other inside the coupler.
4. Screw the lock covers on both bars back up the thread and tighten them up against the coupler body.

5. Note in areas where the bars and couplers are cast-in concrete they are not supplied with lock covers.

Turnbuckle Assembly

The turnbuckle connects two bars with a right hand thread at one end and a left hand thread at the other. It also has a chamber allowing the tendon to be adjusted lengthwise.

1. Screw a lock cover onto the threaded end of the bar with the taper pointing along the bar. Screw the lock cover all the way along the thread length.
2. Screw the appropriate handed thread of bar into the turnbuckle. For sizes between M10 and M24, distance should be 12.5mm plus the 1 times the thread diameter. For sizes between M30 and M100, distance should be 25mm plus 1 times the thread diameter.
3. The same procedure should then be carried out for the other bar to be attached to the turnbuckle.
4. Tighten the lock covers up against the turnbuckle body.
5. If the length of the overall tendon needs adjusting, unscrew the lock covers and turn the turnbuckle (whilst preventing the bars from moving). Ensure that a minimum of 1 times the thread diameter of bar is engaged into the turnbuckle after final length adjustment.
6. Re-tighten the lock covers upon completion of adjustment.

Fork Assembly



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy 460, S460 and 520 Bar System Assembly

Final Assembly

1. The full tendon should be assembled on the ground with all the necessary forks, turnbuckles and couplers in place. The pins should not be in place at this stage, but the length of the overall tendon should be set at the required pin-to-pin dimension.

2. The tendon should then be lifted into place. Note that long tendons will tend to sag under their own weight, negatively affecting the ease of connection to the structure. This particularly happens where the tendons are placed horizontally or at a raking angle. To ease connection, a stiff lifting beam should be used to raise the tendon into position. Bends, dents or damage resulting from bar sagging, must be avoided and permanently deformed tendons must be replaced.

3. Once the fork is located over the structural gusset plate, the pin should be placed through the fork. Detach one round end cap of the pin assembly and push the pin through the fork and gusset plate. Replace the round end cap and secure it by tightening the countersunk screw through the end cap and into the pin body.

4. Once the pins are in-place and secured, the tendon is now in a position to be adjusted and tensioned up. If the tendon

includes a turnbuckle, point 6 of the turnbuckle assembly instructions should be followed. If the tendon does not have a turnbuckle, merely a fork at each end, adjustment can still be achieved. To prevent rotation of the fork, screw back the lock covers and rotate the bar. The lock covers should then be tightened back up against the fork, when the correct tendon length is achieved. Ensure that a minimum of 1 times the thread diameter of bar is engaged into the fork, after the final adjustment.

5. After final installation, it is recommended that the lock covers should be injected with sealant. This prevents corrosion and also stops the lock cover from working loose due to any vibrations. Please see our sealant method statement for details.

In Situ Adjustment

1. Tendons with a turnbuckle:

M10 to M24 inclusive: +/-25mm

M30 to M100 inclusive: +/- 50mm

2. Tendons fitted with right or left hand threaded fork:

M10 to M56: +/- 1.0 thread diameter

M64 to M100 +/- 50mm

Spanner Flats

Macalloy discourages the use of spanner flats, as there is a risk that a brittle fracture may occur in the area that it is used.

Macalloy recommends the use of a strap or chain wrench instead. On delicate surfaces, soft-jawed tools should be used.

Use of Turnbuckles

If the adjustment is not sufficient within the fork, turnbuckles should be used. Turnbuckles can be supplied with or without conical lock covers. Special turnbuckles are available on request and can have greater adjustment. The rotation of turnbuckles can be very difficult under load. Macalloy suggests that the tendon end thread be coated with Molykote oil or grease, or similar. The TechnoTensioner allows a much easier rotation of the turnbuckle through the use of hydraulics, with little energy being expended. Please note, if a TechnoTensioner is to be supplied, this must be specified at the ordering stage.



Dubai International Airport, T3
Architect – Paul Audreu
Contractor – Al Habtoor, Murray and Roberts
Engineer – Dar Al-Handasah



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Installation and Stressing of Macalloy Tendons

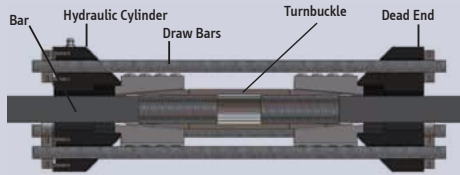
The Macalloy TechnoTensioner is a hydraulic stressing unit that provides for the planned pre-stressing of Macalloy lock covers with an accuracy of +/- 4%.

The TechnoTensioner consists of a hydraulic cylinder, a dead end, hoses, pump and, depending on the size, 2 or 4 high strength rods for the load transfer. All equipment can be hired from Macalloy. A technician can provide training in the use of equipment from Macalloy or Macalloy can offer the stressing of tendons as part of its service.

The installation of the TechnoTensioner assumes that the two-part tendon is correctly fitted with a turnbuckle. To aid this procedure, two lock covers need to be sufficiently screwed back to reveal the thread at each end of the adjoining tendons.

The hydraulic cylinder and dead end are connected together by the high strength threaded rods. Both components are slotted so that prior to assembly, they can be located on the tension bars.

Macalloy TechnoTensioner



It is important that the turnbuckle is positioned mid-way between the hydraulic cylinder and the dead end. The turnbuckle on the threaded part of the tendon should now be tightened by hand.

Lock covers should be positioned, allowing sufficient adjustment between the turnbuckle and the lockcover.

Once the hydraulic unit is connected with the cylinder and hoses, by slowly increasing the hydraulic pressure (operated by hand or pneumatically), the tendon

ends will move towards each other. As the hydraulic pressure increases, the turnbuckle must be turned at the same time. For small tendons a normal wrench can be used, for larger tendons a chain wrench.

To reduce the risk of damage, particularly to painted or stainless steel tendons, a rubber insert with a good grip should be used or a soft jawed tool. If the tendons surfaces are to be finished later (subsequent painting or stainless steel polishing), coating on site is recommended, after successful completion of assembly.

On reaching the specified load, refer to the manometer supplied or use a strain gauge. The load is transferred to the turnbuckle, by slowly reducing the hydraulic pressure. Turning the turnbuckle is no longer possible and the TechnoTensioner can be removed. The two lock covers are tightened, leaving the end thread of the tendon hidden.



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Installation and Stressing of Macalloy Tendons

The use of Strain gauges in controlling tension

Strain gauges are two dimensional strain sensors, which measure the deformation of the tendon by electrical resistance. Strain gauges are installed to check changes (elongation/buckling) on the surface of components. The typical strain gauge is the foil strain gauge.

We recommend the use of a strain gauge with a second thin plastic foil, which is only glued on to its carrier and protects the measuring grid. Strain gauges are electrical resistors, whose resistance changes on elongation. If a strain gauge yields, its resistance increases. If the strain gauge is in compression, its electrical resistance decreases.

Strain gauges are glued with a suitable adhesive to the tendon. Changes transfer through the adhesive, to the mesh support and to the mesh. Longitudinal yield (tension), and buckling (compression) resistance remain in a strict relationship to each other.

Before the strain gauge is glued to the tendon, check the surrounding area is cleaned with a fine abrasive paper. The surface must be free of grease. The strain gauge is glued with a special adhesive (supplied by the manufacturer of the strain gauge) and applied to the tendon. Curing times have to be considered. The instructions of the strain gauge manufacturer must be followed, as otherwise no responsibility will be accepted.

At the pre-tension of the bar tendon system, the strain gauge measurement is started. Once the required tension is reached, the strain gauge can be disconnected. A second measurement is possible, provided that there are no changes in the connection between the strain gauge and the tendon.

Technical experts at Macalloy can advise how to approach strain measurement. Reading equipment can be obtained from the suppliers.



Queen Victoria Building, Sydney, Australia
Architect - Anchor, Mortlock and Wooley



Dubai Metro, UAE
Image taken by
Jovana Obradovic/ITP Images



EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

Macalloy Tensile Structures

Macalloy products have been used all over the world in large tendon structures. As the images highlight, Macalloy continues to use its experience to bring about innovation and offer the highest quality in its services.

Soccer City Stadium, Johannesburg, South Africa
 Architect – Boogertman & Partners and Populous
 Contractor – Cimolai – LTA/BAM International bv.
 Engineer – PDNA Consulting Engineers and Schlaich Bergermann & Partners



One Island East Footbridge and Tower,
 Hong Kong
 Architect – Wong & Ouyang
 Contractor – Gammon Construction
 Developer – Swire Properties



51 Louisiana, Washington, DC, USA
 Architect - Rogers Stirk Harbour and Partners / HKS
 Contractor - Clark Construction Group
 Façade Contractor - Enclos Corp
 Owner - Dweck Properties



Image courtesy of Enclos Corp

This publication provides the technical details currently used by Macalloy in the manufacture of its components.

The company reserves the right to amend technical details as and where necessary in line with its policy of continuous development.

Macalloy, Caxton Way, Dinnington, Sheffield S25 3QE, U.K. Tel: +44 (0)1909 519200. Fax: +44 (0)1909 519201

Website: www.macalloy.com Email: sales@macalloy.com



is a Registered Trade Mark of McCall's Special Products Ltd.

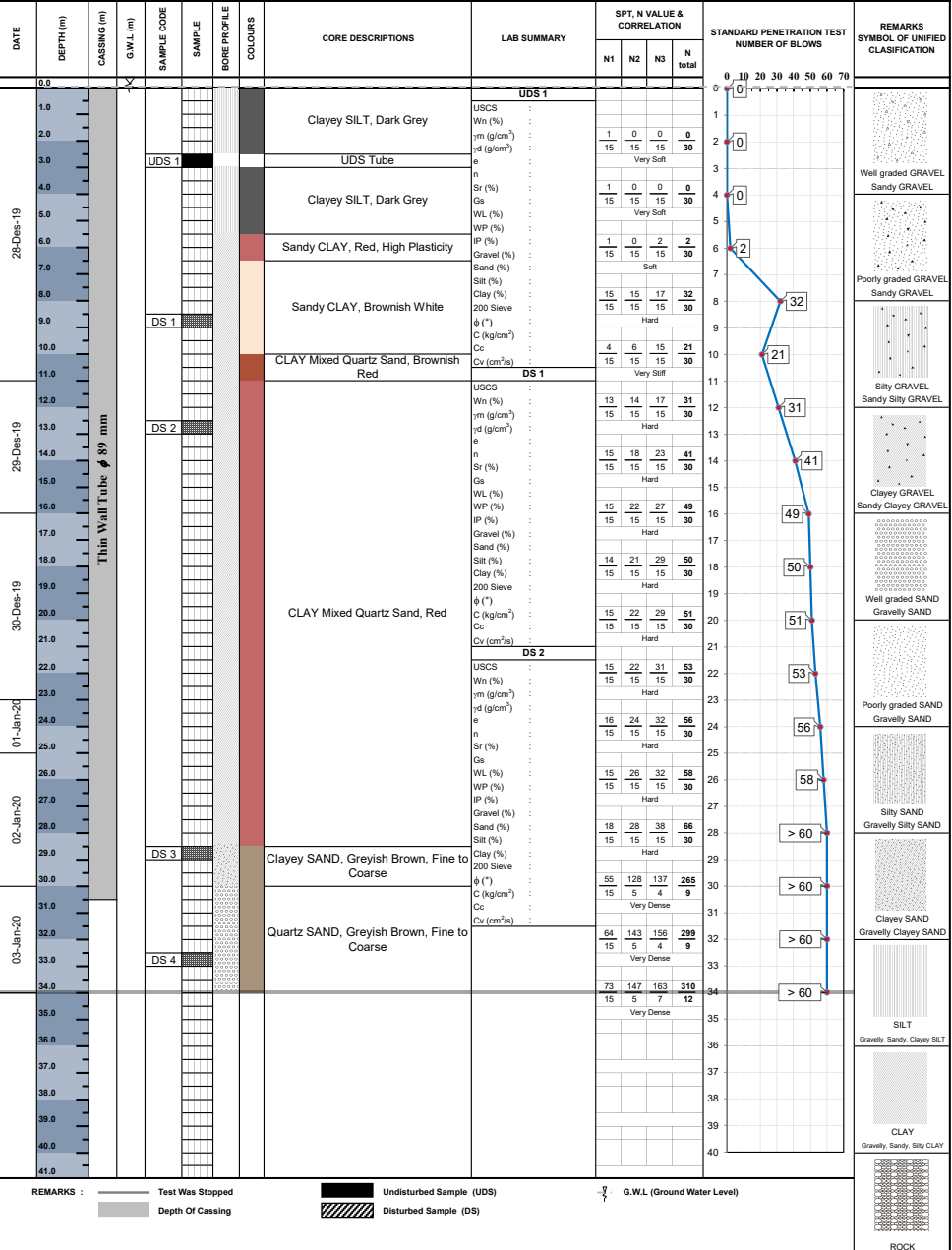
EXPERIENCE

INNOVATION

QUALITY

PROJECT NAME	: SURVEY INVESTIGASI DAN DESAIN (SID) PEMBANGUNAN DERMAGA BELINYU TAHAP II (PELINDO II)			
LOCATION	: BELINYU, KAB. BANGKA, PROV. BANGKA BELITUNG			
DEEP BORING NUMBER	: BL-01	DRILLING TYPE MACHINE	: TOHO D-0	
METHOD OF SAMPLING	: Rotary Drilling	CORE TYPE	: Single Core Barrel	
COORDINATES	X : 581606 m	ZONE: 48S	CORE DIAMETER (mm)	: Ø 73
	Y : 9819867 m		WEIGHT OF HAMMER (Kg)	: 63.5
TOTAL DEPTH (m)	: 34.00	meter	DIST.FALLING HAMMER (cm)	: 75
SEABED (m)	: 2.60 - 5.00	meter	CASSING DIAMETER (mm)	: Ø 89
			DRILLING MASTER	: Sakra D. Fauzi
			WEATHER	: Sunny, Cloudy, Rainy

BORE LOG

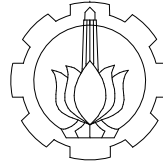


REMARKS : Test Was Stopped
 Depth Of Casing

Undisturbed Sample (UDS)
 Disturbed Sample (DS)

G.W.L. (Ground Water Level)

ROCK



PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NAMA & NRP MAHASISWA

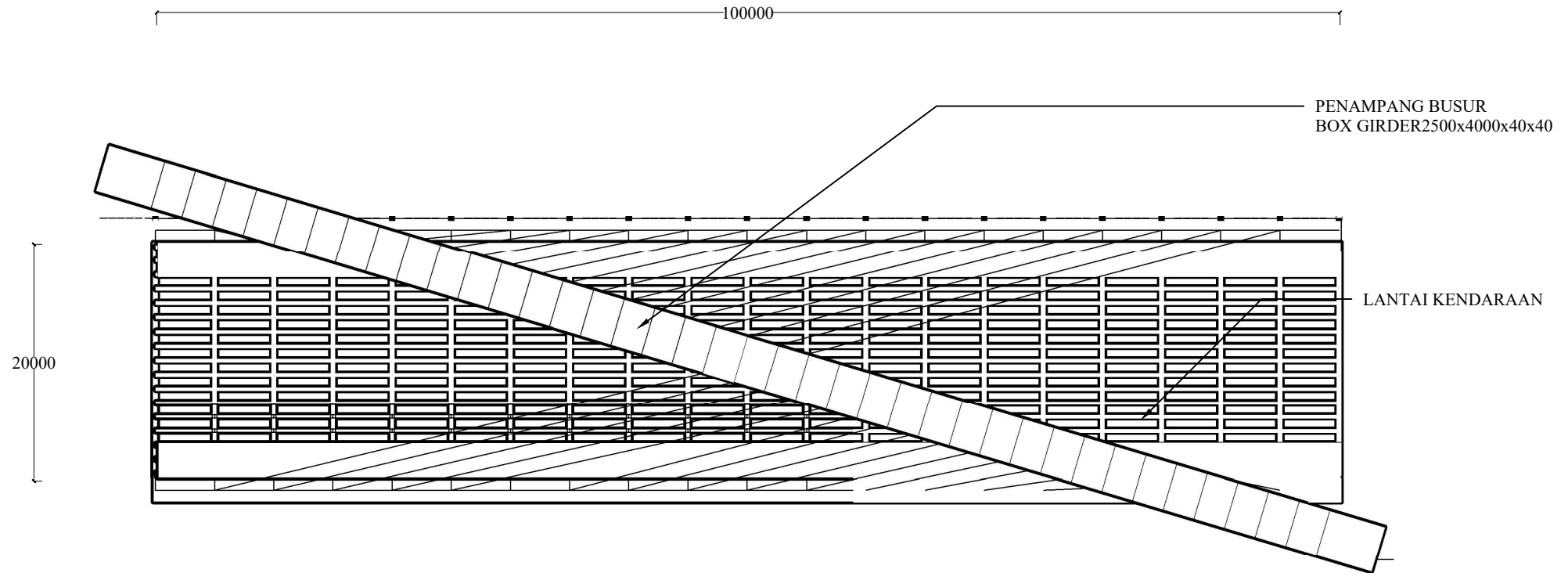
Rizqi Alghiffary
0311174000005

DOSEN PEMBIMBING

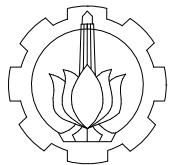
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

DAFTAR GAMBAR

NO.	JUDUL GAMBAR	NO.	JUDUL GAMBAR
1	TAMPAK ATAS JEMBATAN	13	DETAIL SAMBUNGAN KABEL PENGGANTUNG DAN BUSUR
2	TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN	14	SAMBUNGAN KABEL PENGGANTUNG DAN TIE BEAM
3	TAMPAK MELINTANG JEMBATAN	15	DETAIL KABEL PENGGANTUNG
4	LANTAI KENDARAAN JEMBATAN	16	SAMBUNGAN TIE BEAM
5	IKATAN ANGIN JEMBATAN	17	SAMBUNGAN PENAMPANG BUSUR
6	SECTION BUSUR JEMBATAN	18	DETAIL SAMBUNGAN PENAMPANG BUSUR
7	SECTION TIE BEAM JEMBATAN	19	PERLETAKAN SENDI BUSUR
8	SAMBUNGAN GELAGAR MEMANJANG DAN GELAGAR MELINTANG	20	DETAIL PERLETAKAN SENDI BUSUR
9	SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG DAN TIE BEAM	21	PILECAP BUSUR
10	SAMBUNGAN IKATAN ANGIN TENGAH	22	DETAIL PILECAP BUSUR
11	SAMBUNGAN IKATAN ANGIN UJUNG	23	DETAIL PILECAP BUSUR
12	SAMBUNGAN KABEL PENGGANTUNG DAN BUSUR		



TAMPAK ATAS JEMBATAN
SKALA 1:500



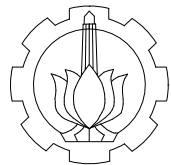
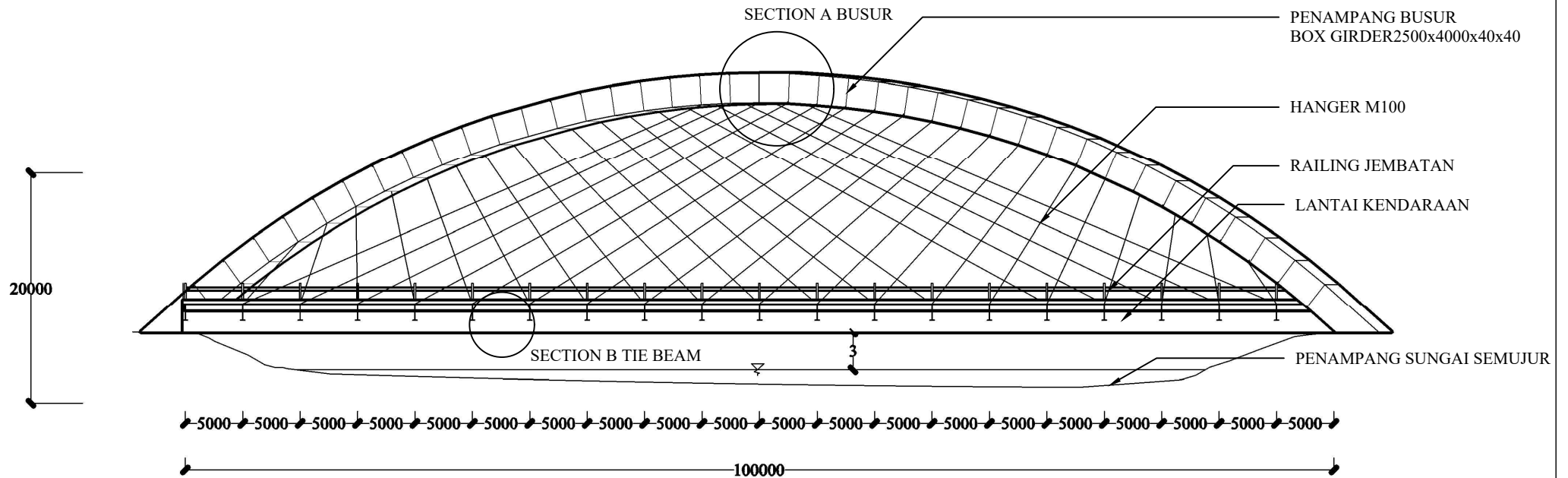
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR	1
JUMLAH	23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



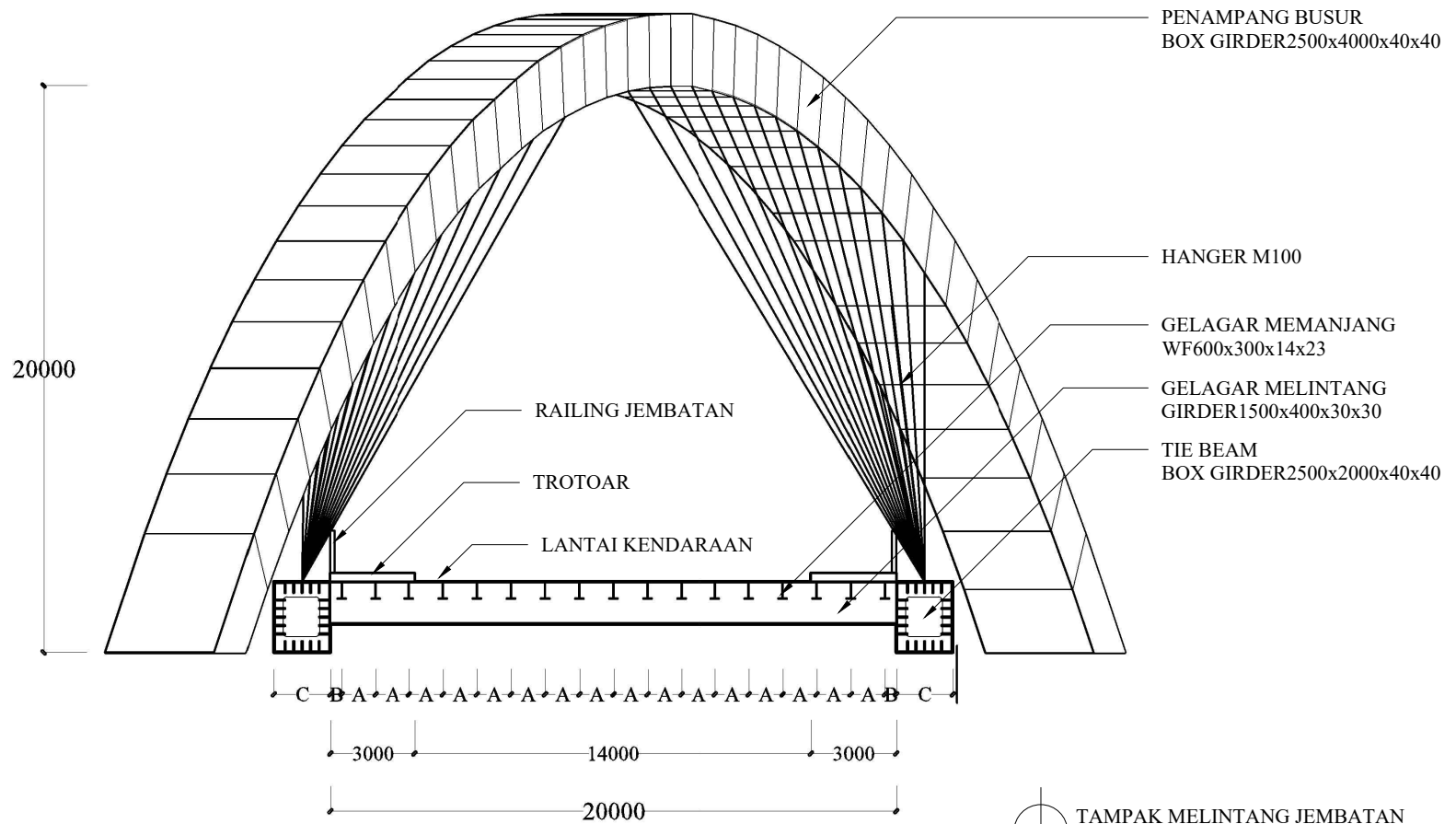
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
2
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

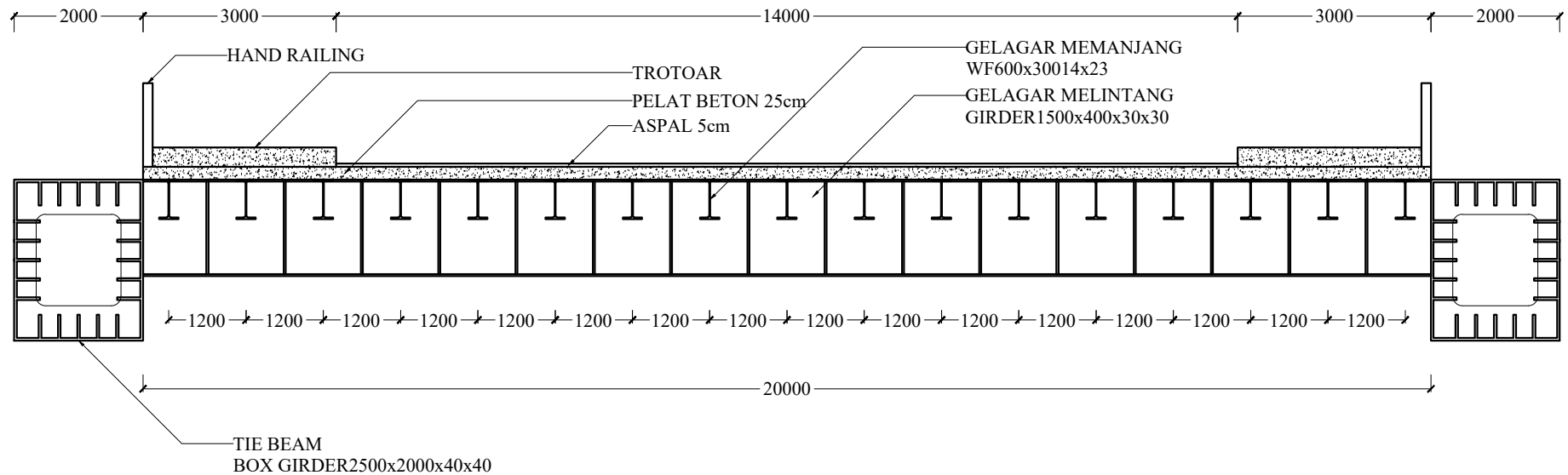
NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



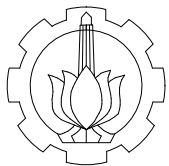
Keterangan:
 A = 1200 mm
 B = 400 mm
 C = 2000 mm

TAMPAK MELINTANG JEMBATAN
 SKALA 1:250

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	NOMOR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL PINANG	3	Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. 1959022131987011001	Rizqi Alghiffary 03111740000005
			JUMLAH		
			23		




 LANTAI KENDARAAN JEMBATAN
 SKALA 1:100



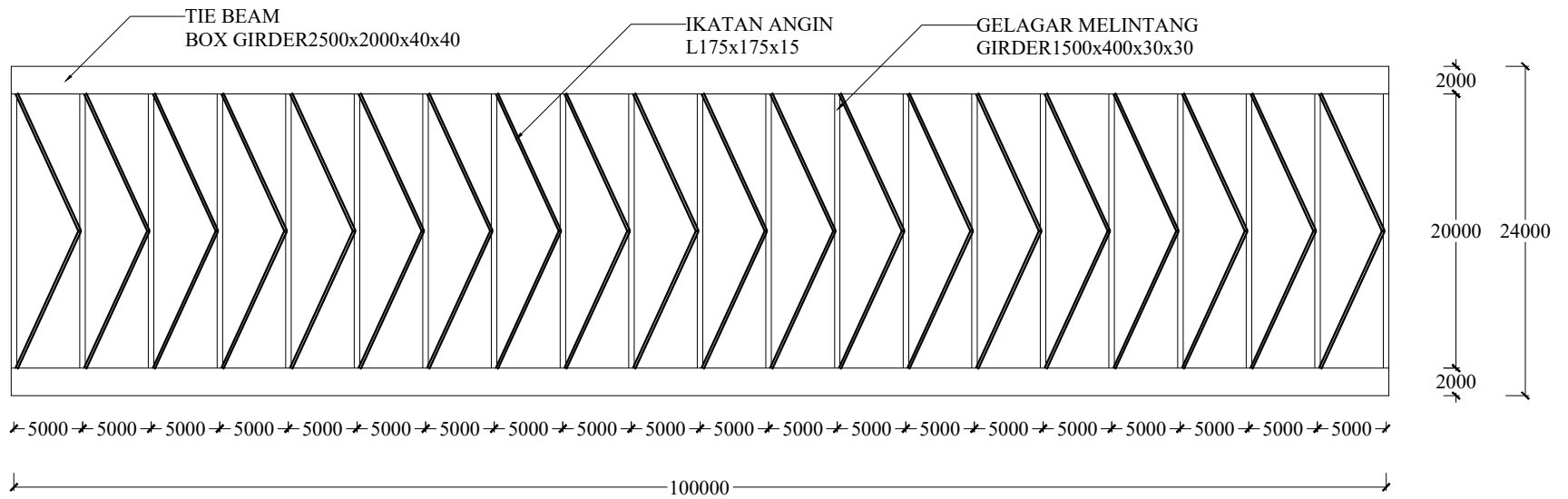
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
 PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
 DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
 DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
 PINANG

NOMOR
 4
 JUMLAH
 23

DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
 1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
 Rizqi Alghiffary
 0311174000005




 IKATAN ANGIN JEMBATAN
 SKALA 1:500



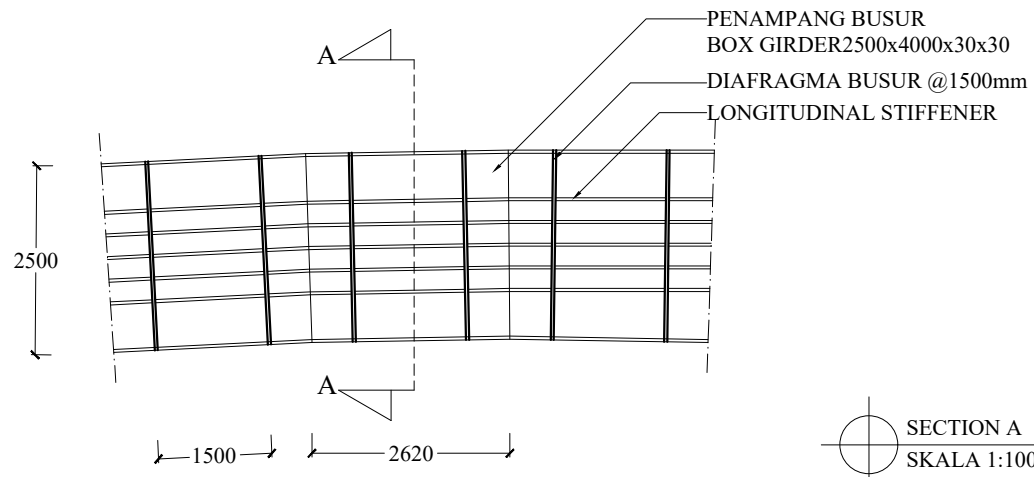
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
 PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
 DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
 DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
 PINANG

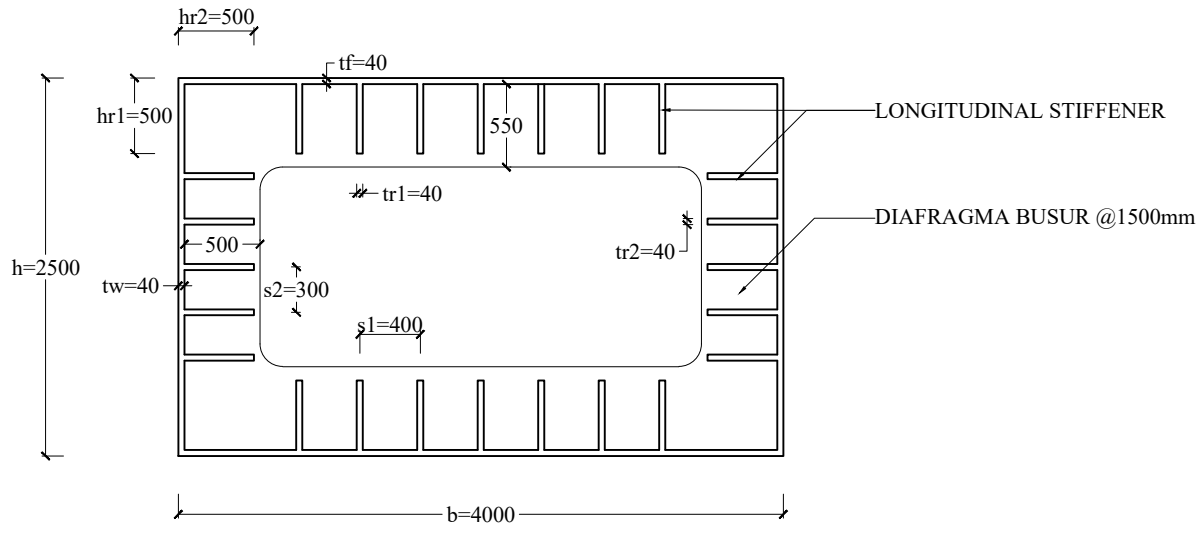
NOMOR	5
JUMLAH	
	23

DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
 1959022131987011001

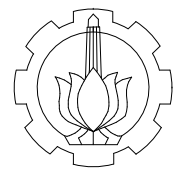
NAMA & NRP MAHASISWA
 Rizqi Alghiffary
 0311174000005



SECTION A
SKALA 1:100

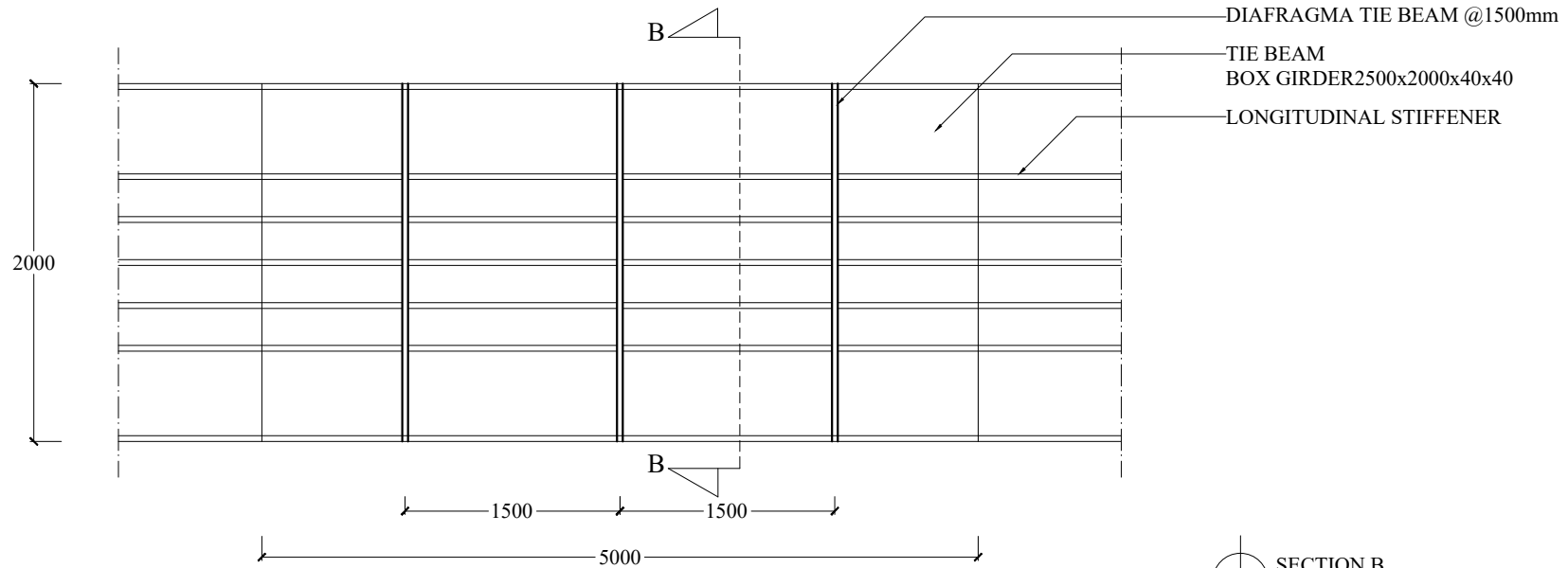


POTONGAN A
SKALA 1:50

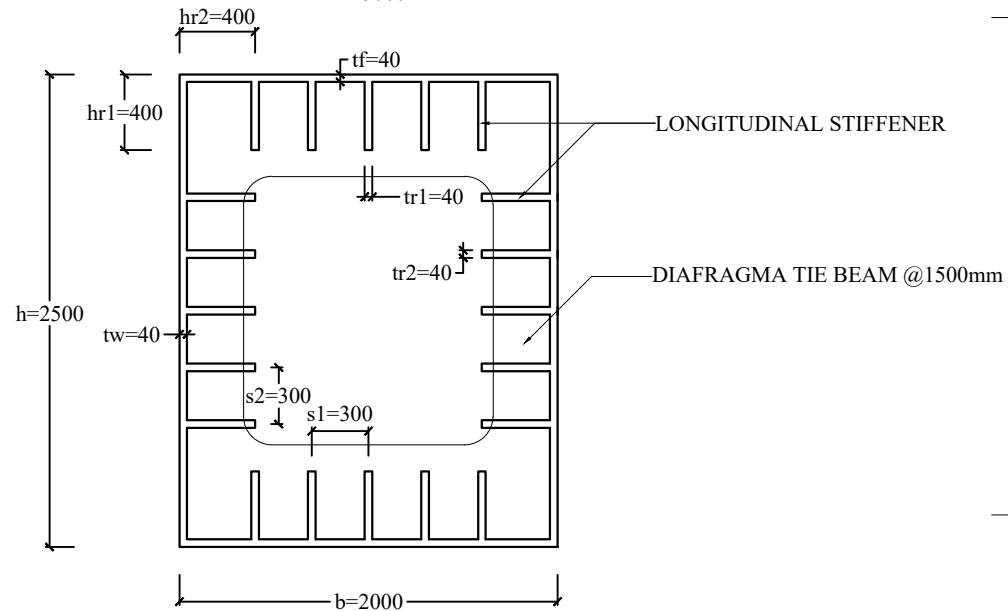


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	NOMOR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL PINANG	6	Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. 1959022131987011001	Rizqi Alghiffary 0311174000005
	JUMLAH		
	23		



SECTION B
SKALA 1:50



POTONGAN B
SKALA 1:40



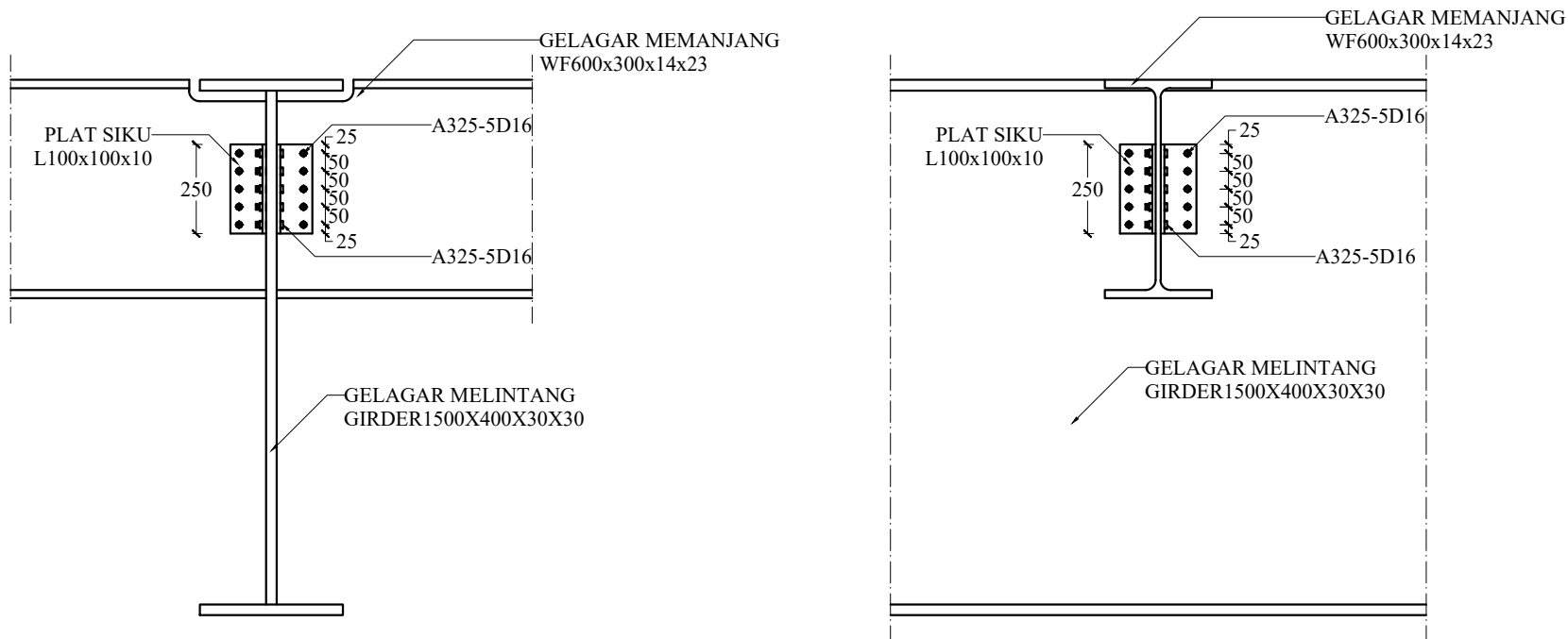
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

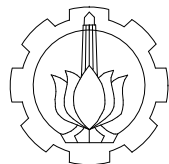
NOMOR
7
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005




 SAMBUNGAN G. MEMANJANG DAN MELINTANG
 SKALA 1:20



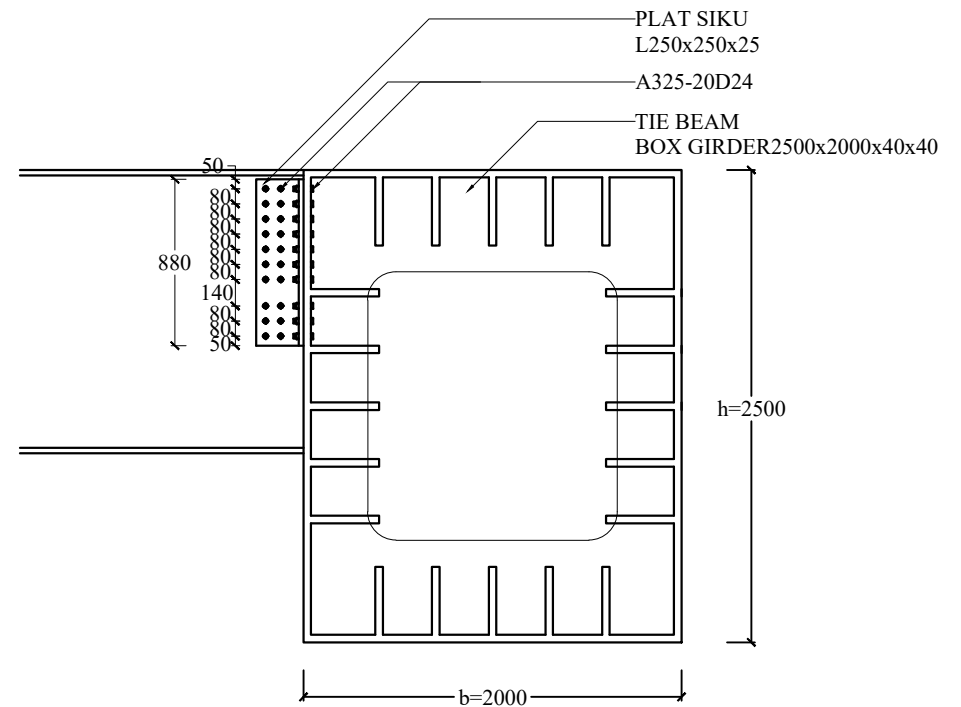
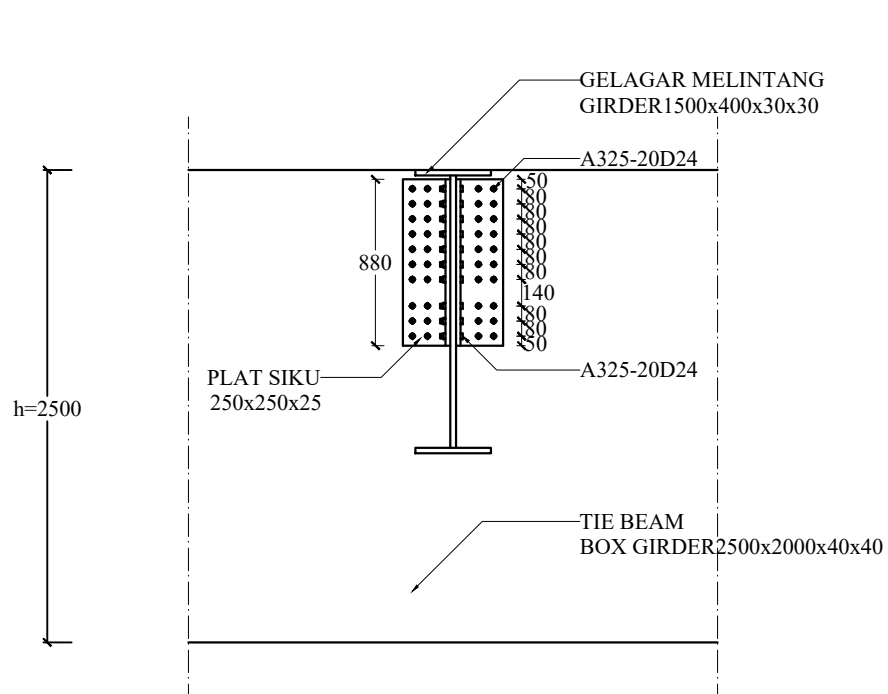
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
 PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
 DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
 DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
 PINANG

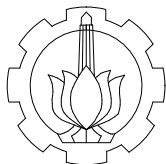
NOMOR
 8
 JUMLAH
 23

DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
 1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
 Rizqi Alghiffary
 0311174000005




 SAMBUNGAN G.MELINTANG DAN TIE BEAM
 SKALA 1:40



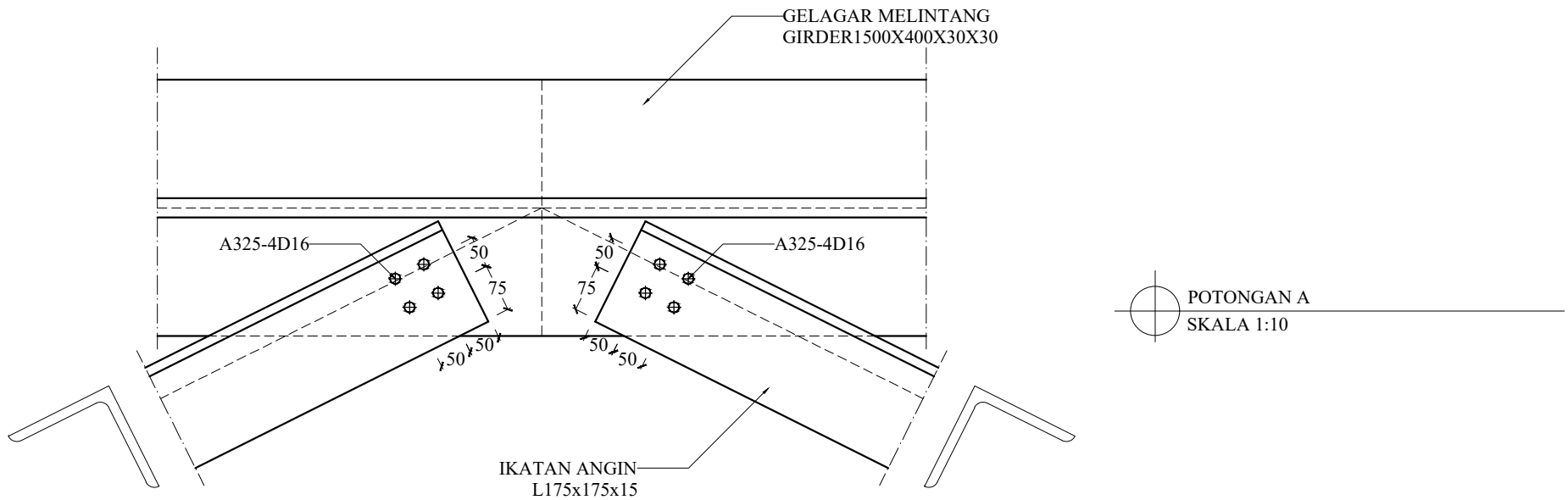
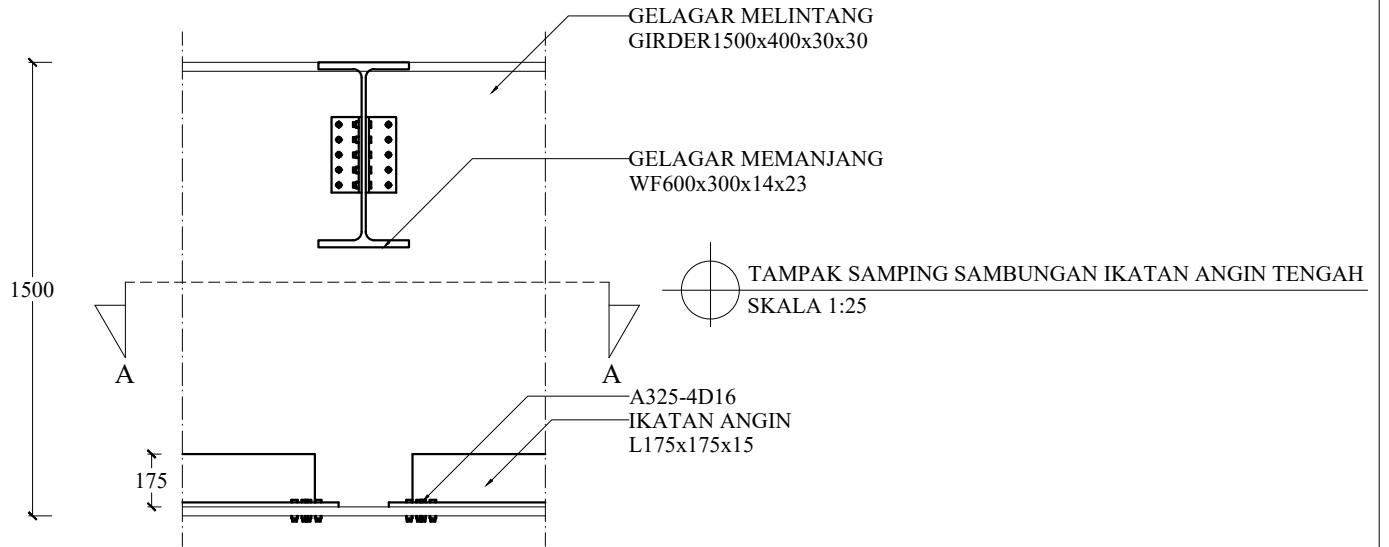
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
 PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
 DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
 DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
 PINANG

NOMOR	9
JUMLAH	
	23

DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
 1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
 Rizqi Alghiffary
 0311174000005



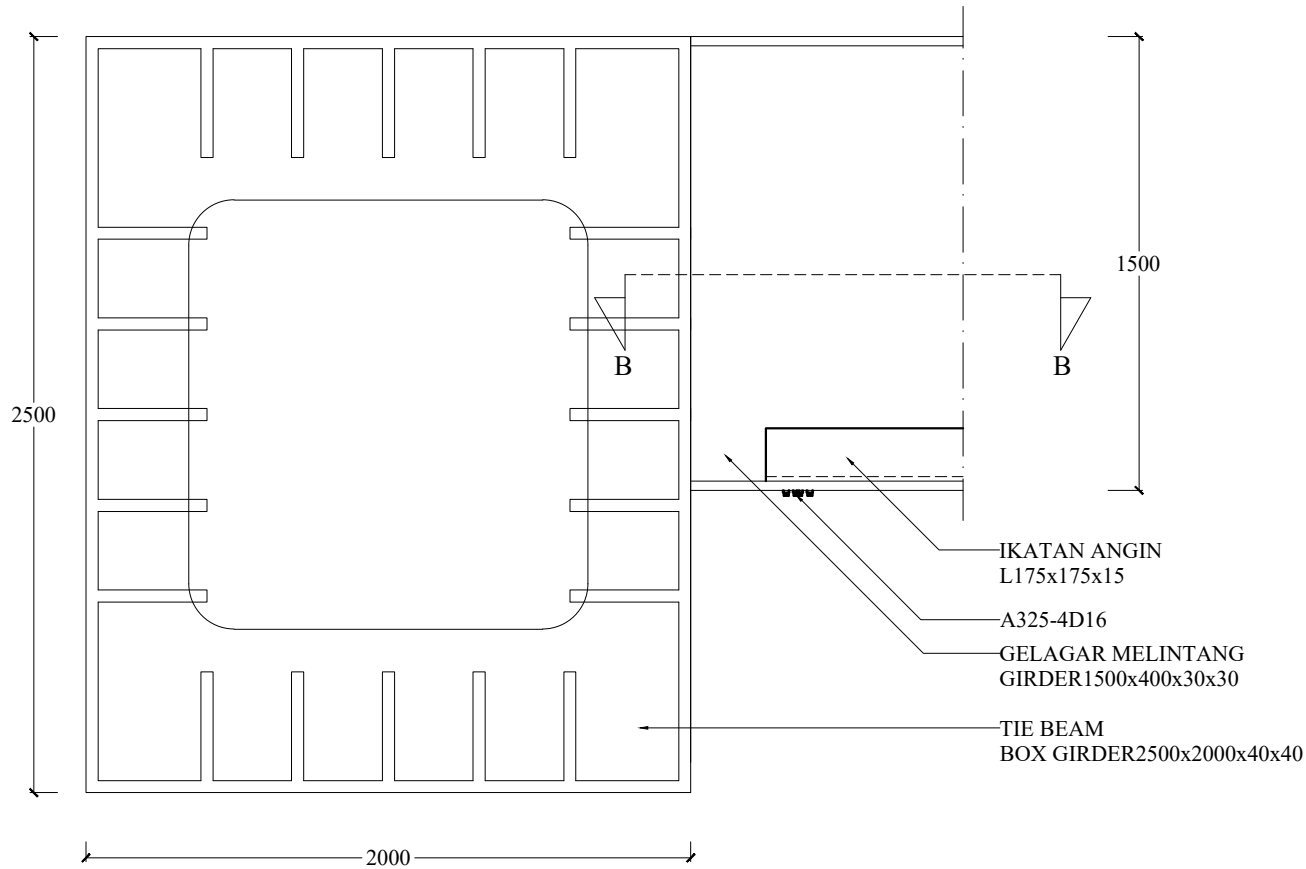
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
 PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
 DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
 DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
 PINANG

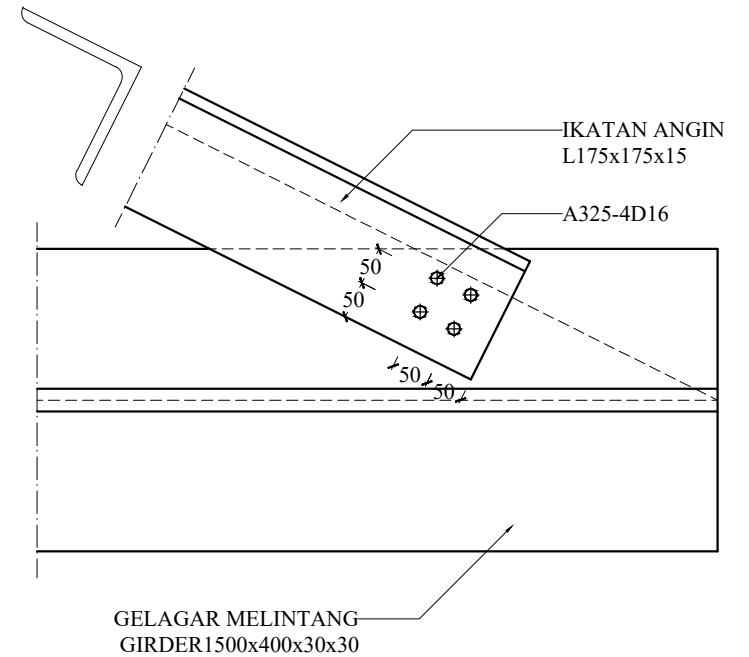
NOMOR
 10
 JUMLAH
 23

DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
 1959022131987011001

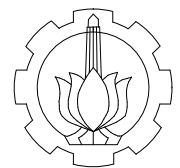
NAMA & NRP MAHASISWA
 Rizqi Alghiffary
 0311174000005



TAMPAK SAMPING SAMBUNGAN IKATAN ANGIN UJUNG
SKALA 1:25



POTONGAN B
SKALA 1:10



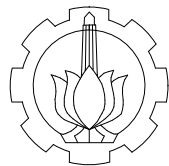
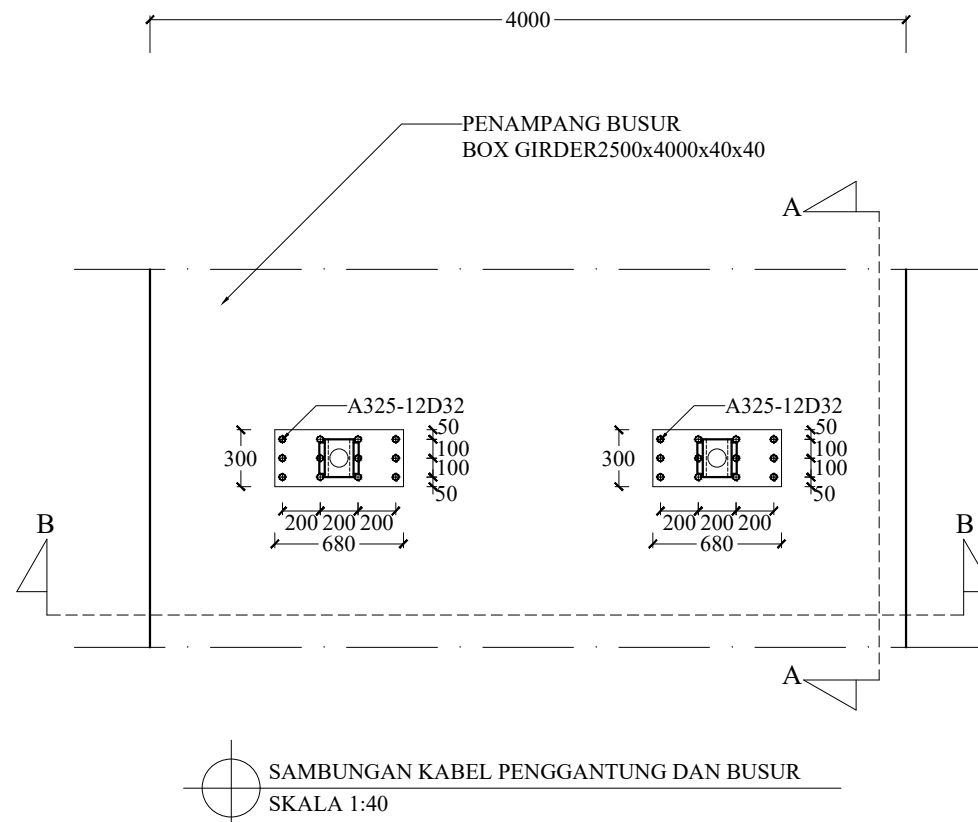
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
11
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN JEMBRAN SEMUJUR
DENGAN JEMBRAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR

12

JUMLAH

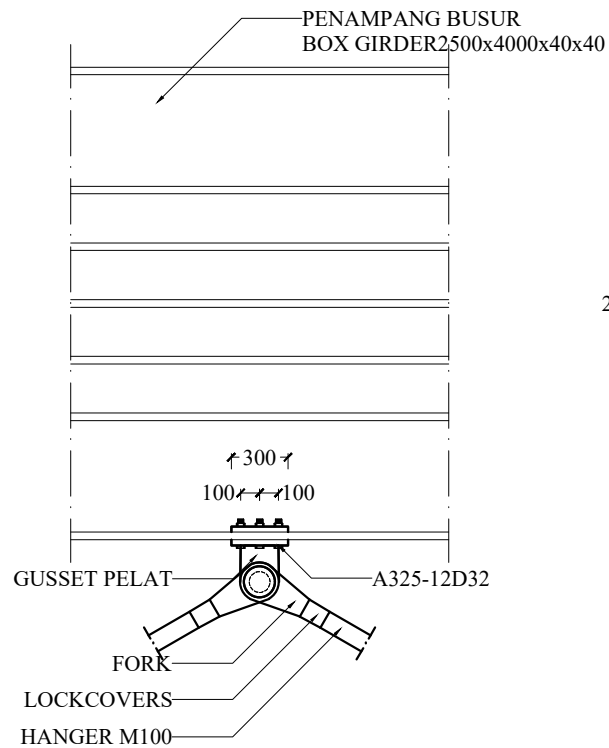
23

DOSEN PEMBIMBING

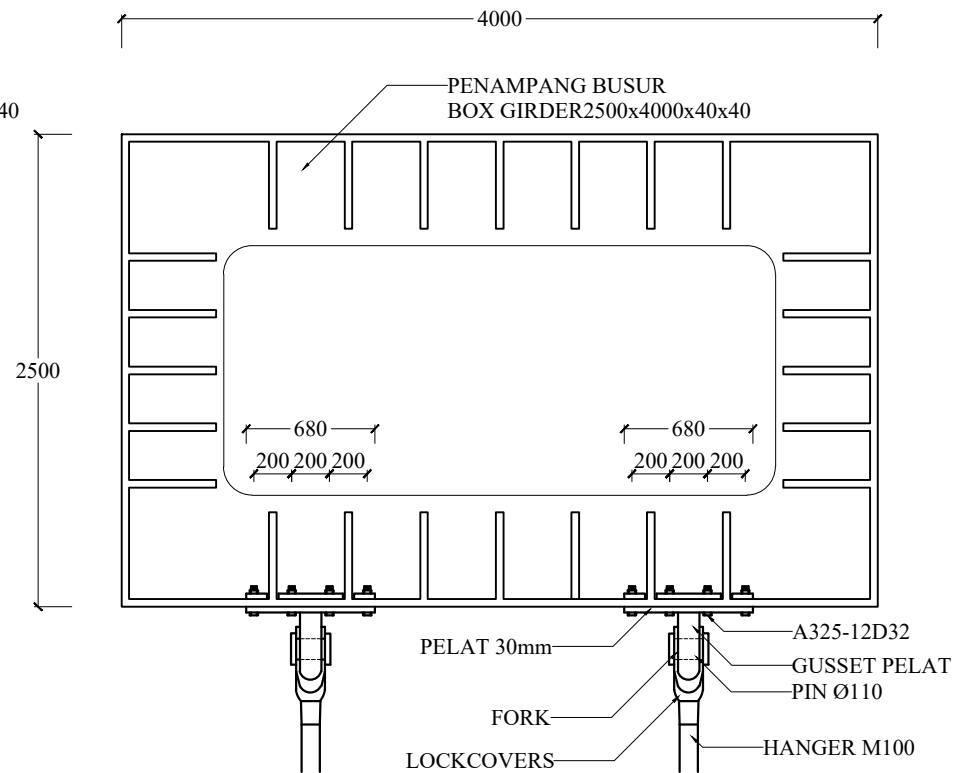
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA

Rizqi Alghiffary
0311174000005



POTONGAN A
SKALA 1:40



POTONGAN B
SKALA 1:40



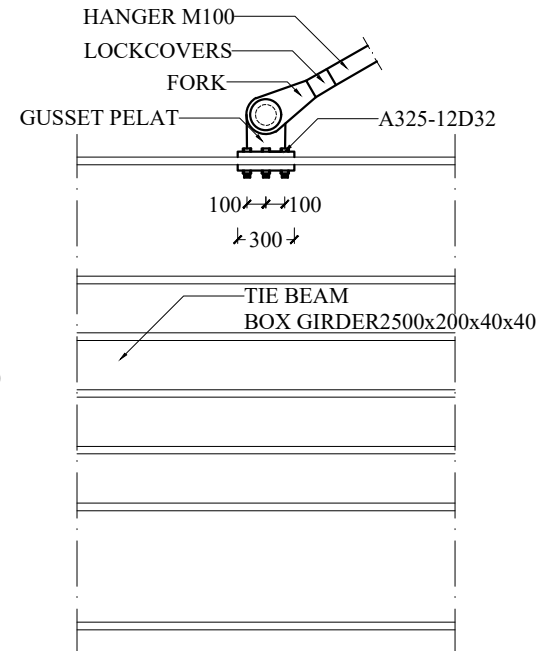
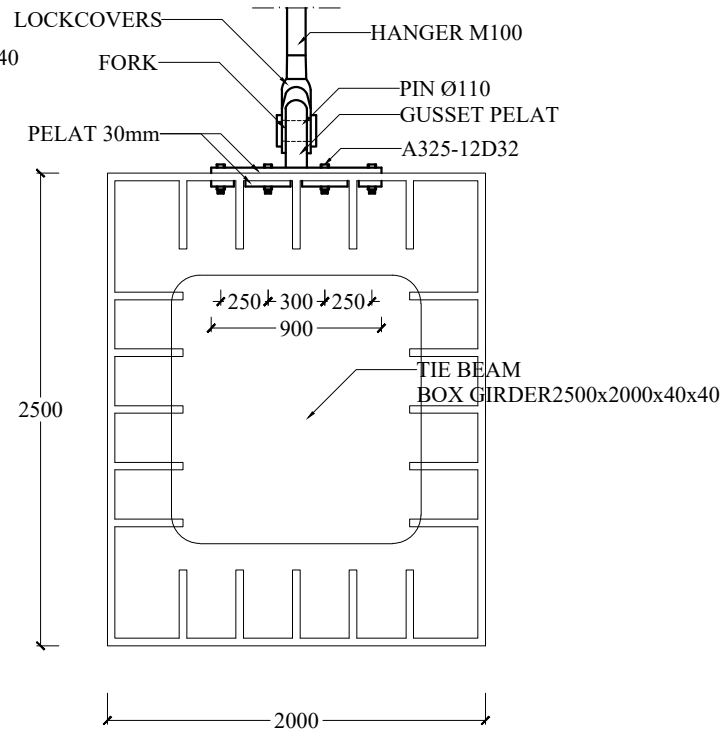
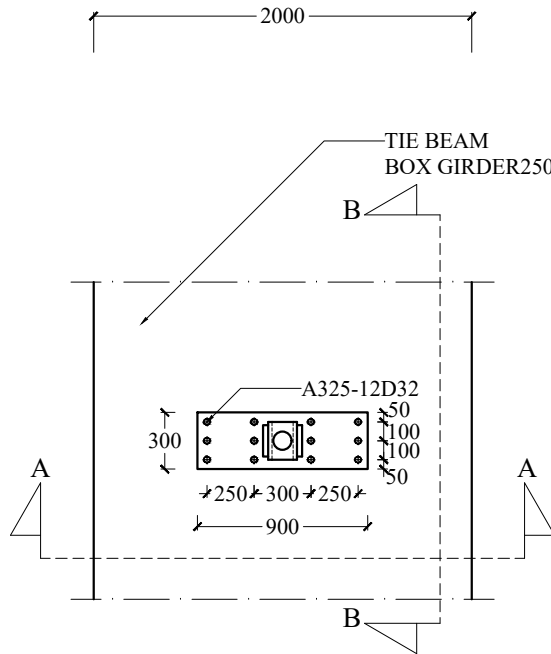
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
13
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

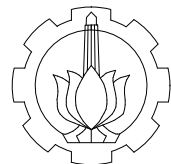
NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



POTONGAN A
SKALA 1:40

POTONGAN B
SKALA 1:40

SAMBUNGAN KABEL PENGGANTUNG DAN TIE BEAM
SKALA 1:40



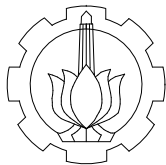
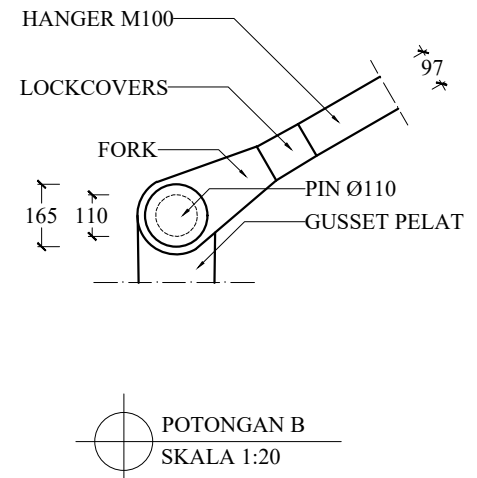
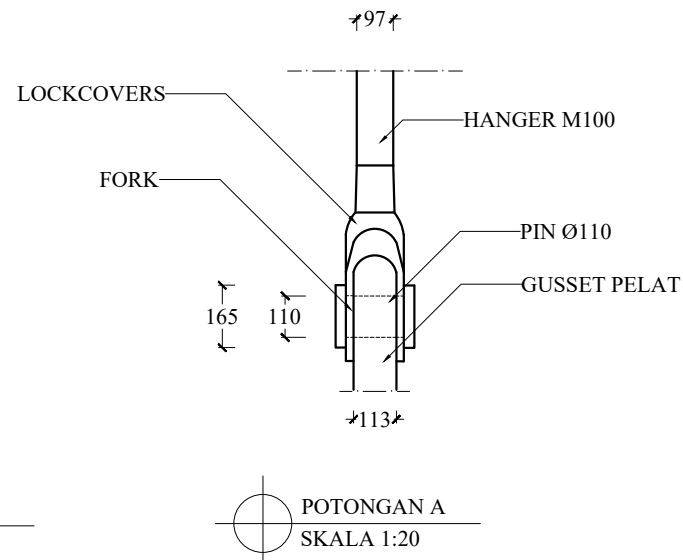
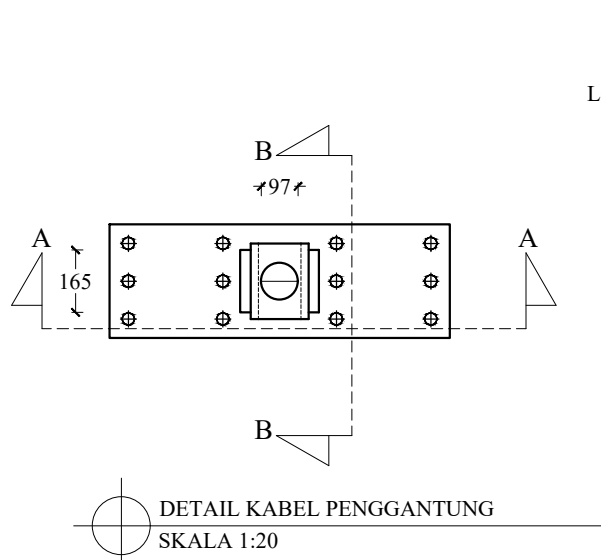
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
14
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



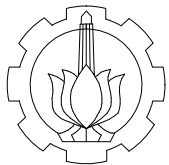
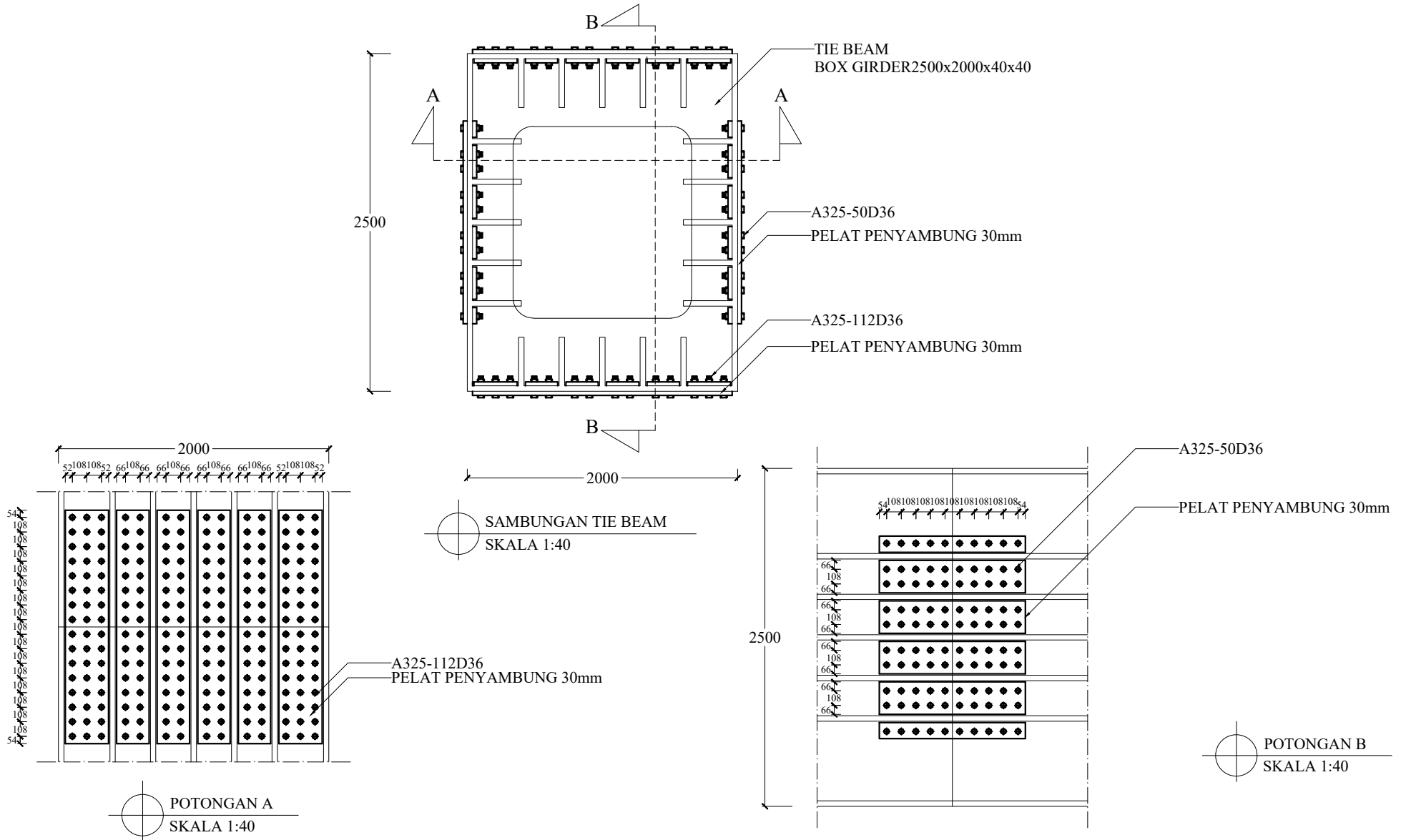
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
15
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



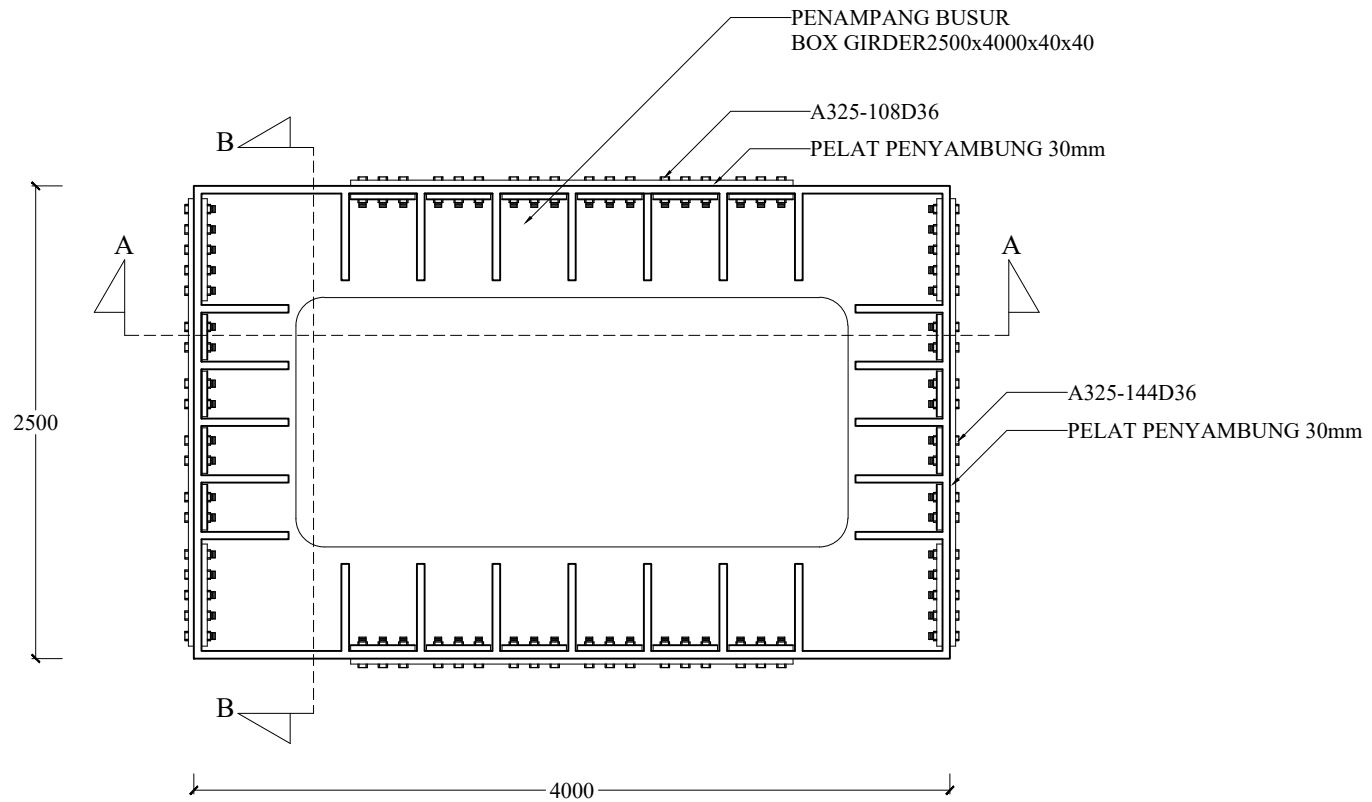
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER


JUDUL TUGAS AKHIR
 PERANCANGAN JEMBRAN SEMUJUR
 DENGAN JEMBRAN BUSUR BOX BAJA
 DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
 PINANG

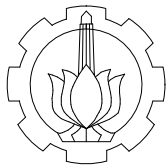
NOMOR
 16
 JUMLAH
 23

DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
 1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
 Rizqi Alghiffary
 0311174000005




 SAMBUNGAN PENAMPANG BUSUR
 SKALA 1:40



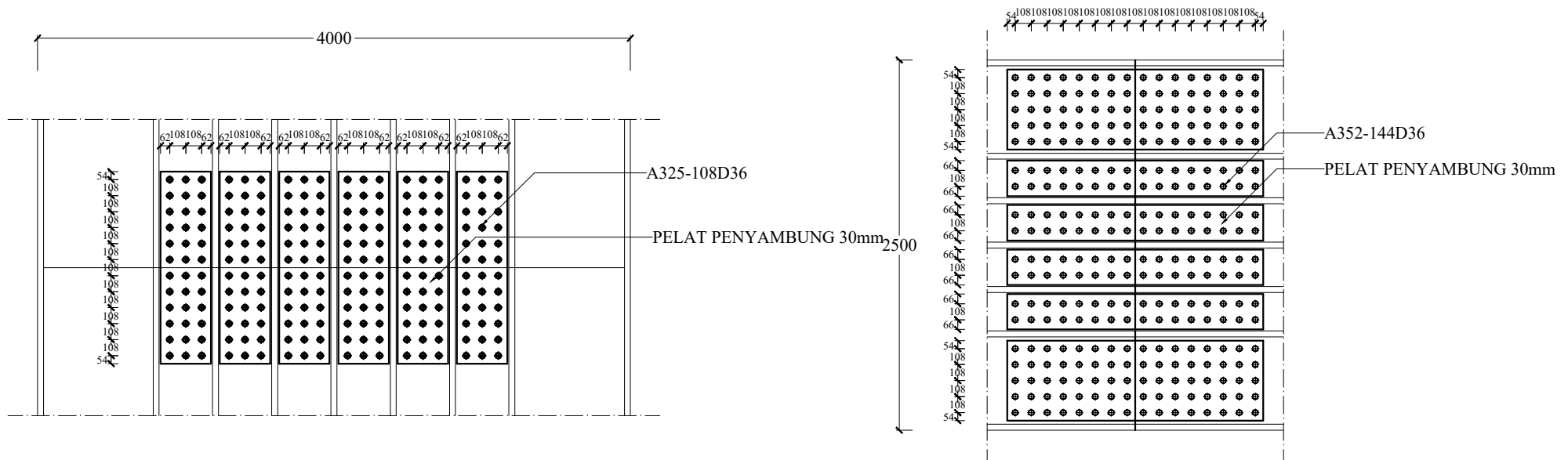
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
 KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
 PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
 DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
 DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
 PINANG

NOMOR
 17
 JUMLAH
 23

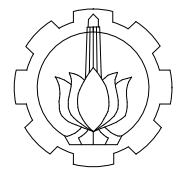
DOSEN PEMBIMBING
 Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
 1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
 Rizqi Alghiffary
 0311174000005



POTONGAN A
SKALA 1:20

POTONGAN B
SKALA 1:20

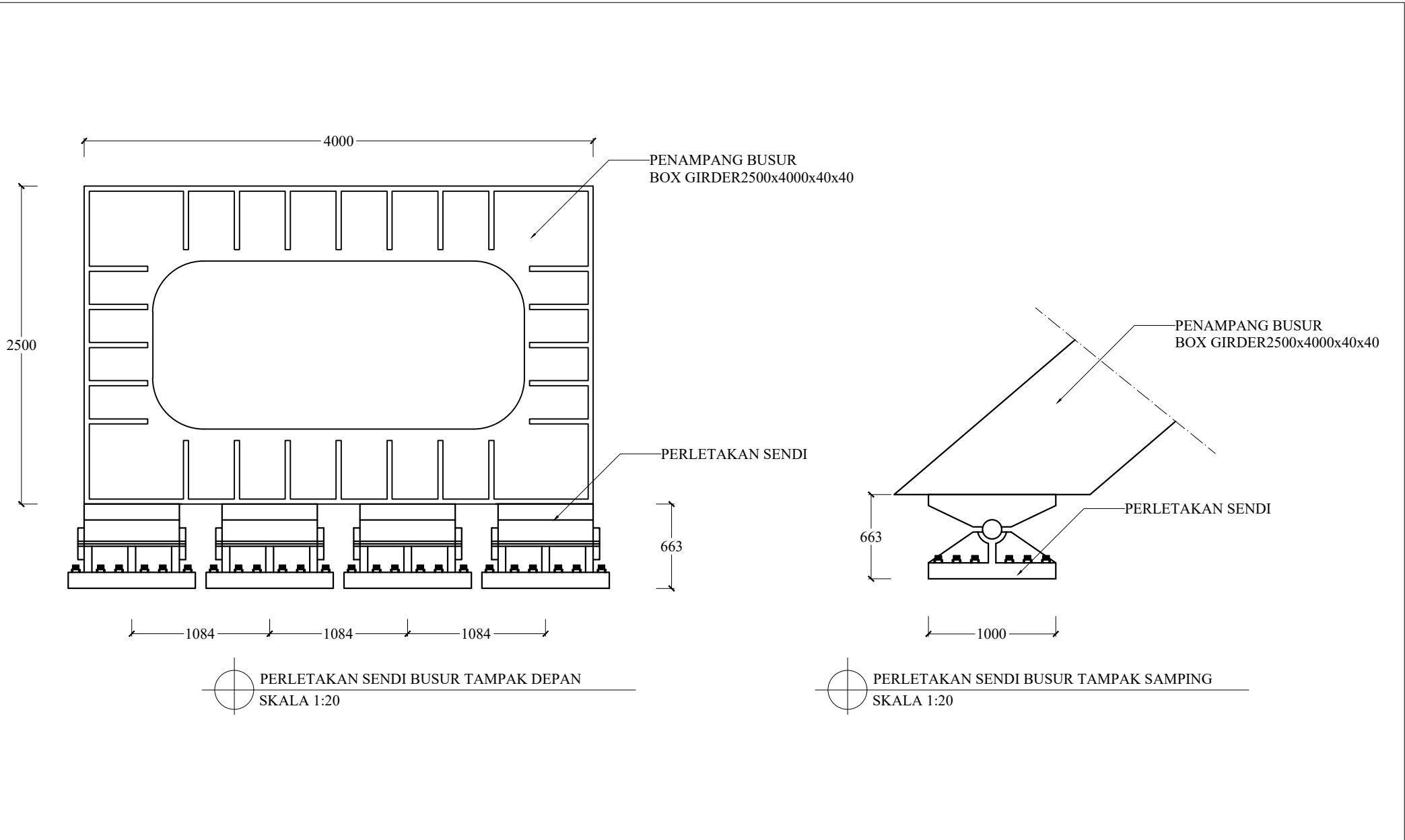


DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

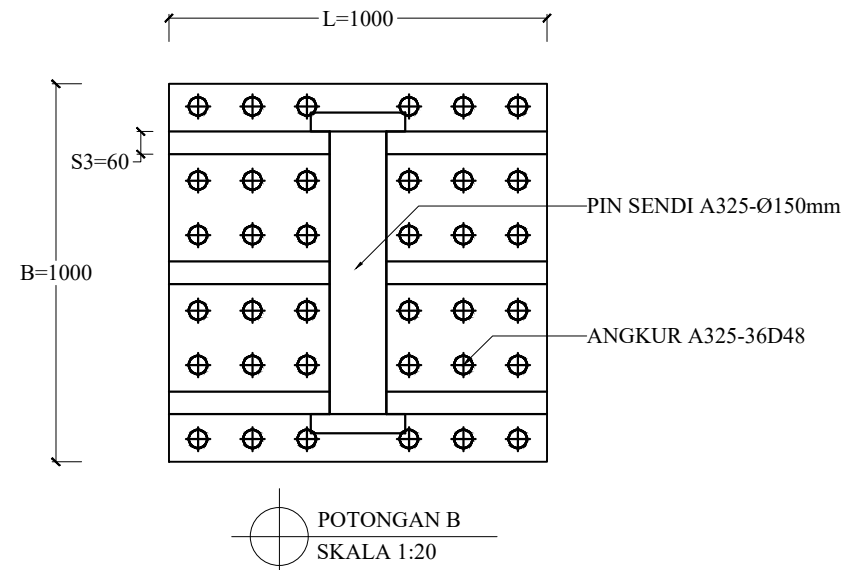
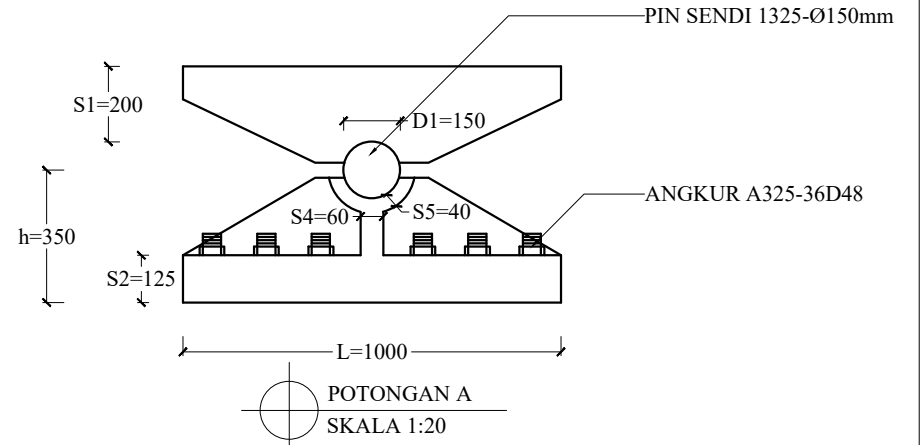
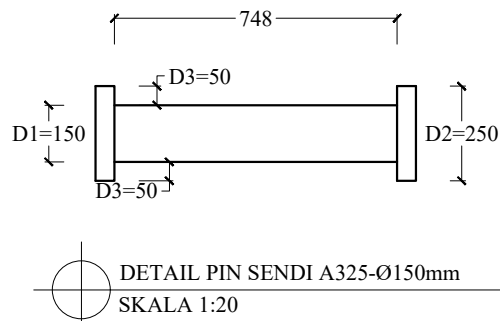
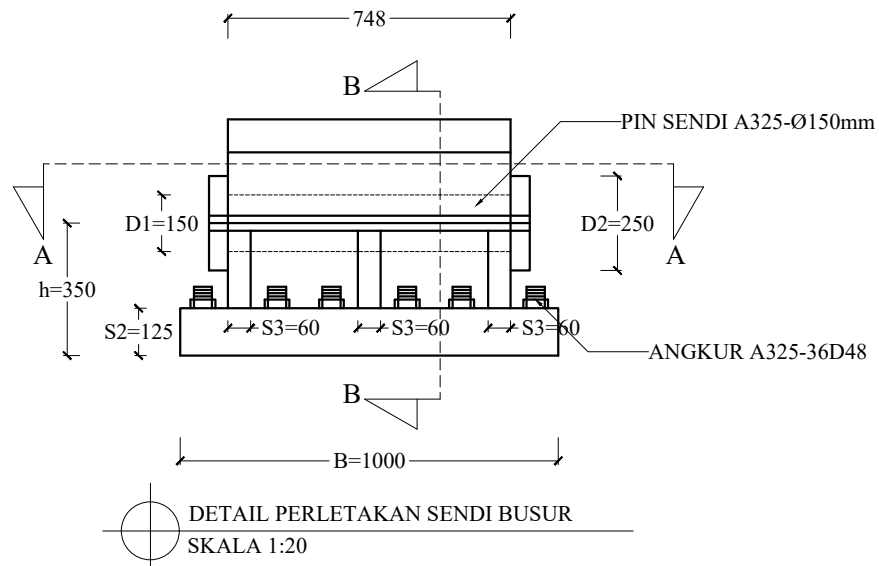
JUDUL TUGAS AKHIR	NOMOR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL PINANG	18	Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. 1959022131987011001	Rizqi Alghiffary 0311174000005
	JUMLAH		
	23		

JUDUL TUGAS AKHIR	NOMOR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL PINANG	18	Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. 1959022131987011001	Rizqi Alghiffary 0311174000005
	JUMLAH		
	23		

JUDUL TUGAS AKHIR	NOMOR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL PINANG	18	Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. 1959022131987011001	Rizqi Alghiffary 0311174000005
	JUMLAH		
	23		



	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	NOMOR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA
		PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL PINANG	19	Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S. 1959022131987011001	Rizqi Alghiffary 0311174000005
			JUMLAH		
		23			



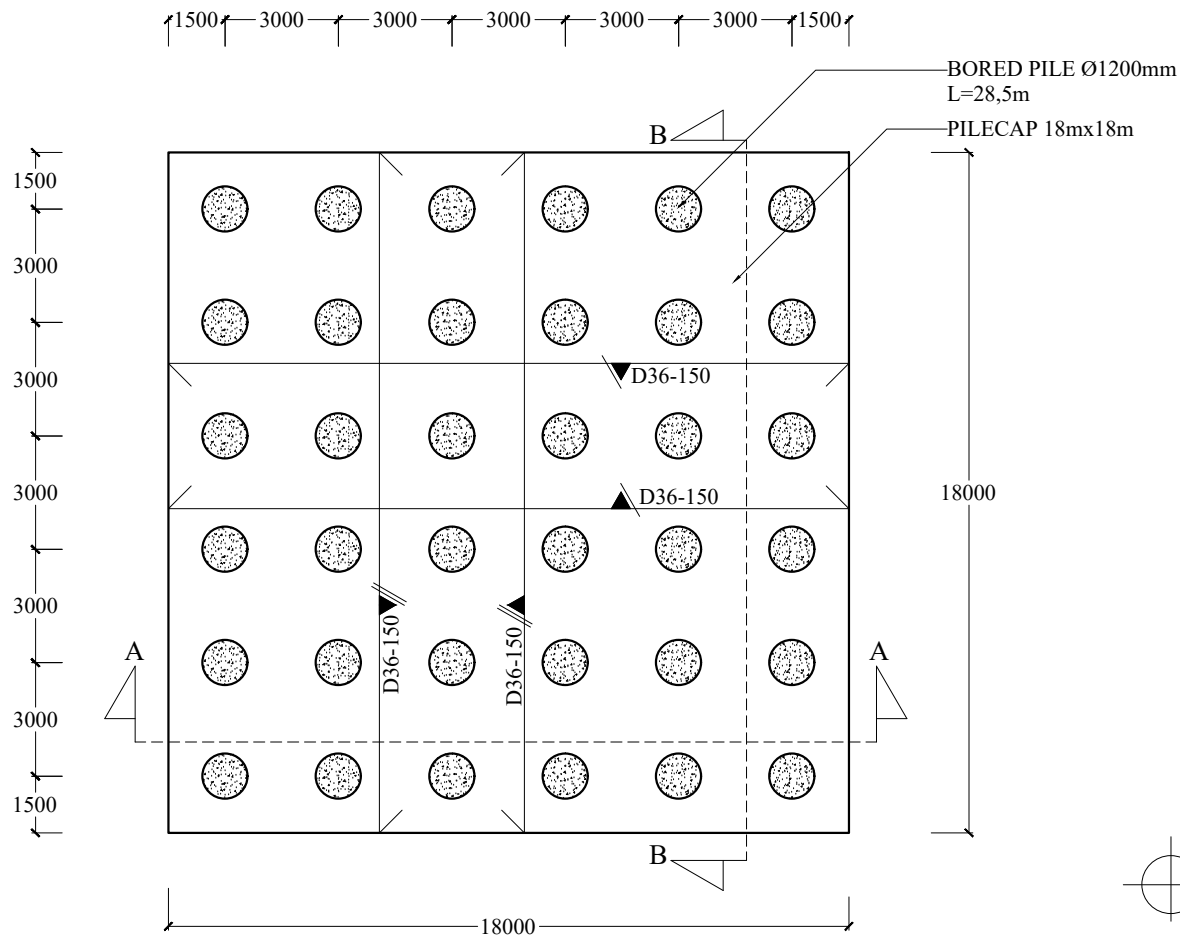
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBRAN SEMUJUR
DENGAN JEMBRAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
20
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR

21

JUMLAH

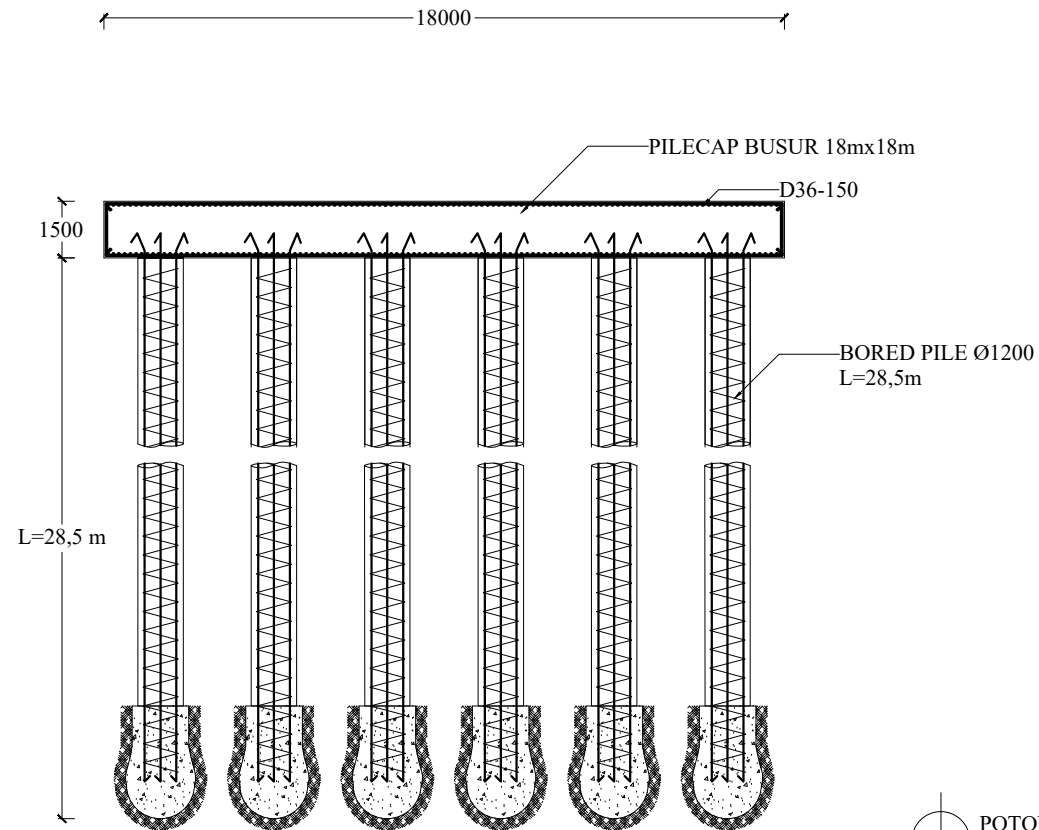
23

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA

Rizqi Alghiffary
0311174000005



POTONGAN A
SKALA 1:200



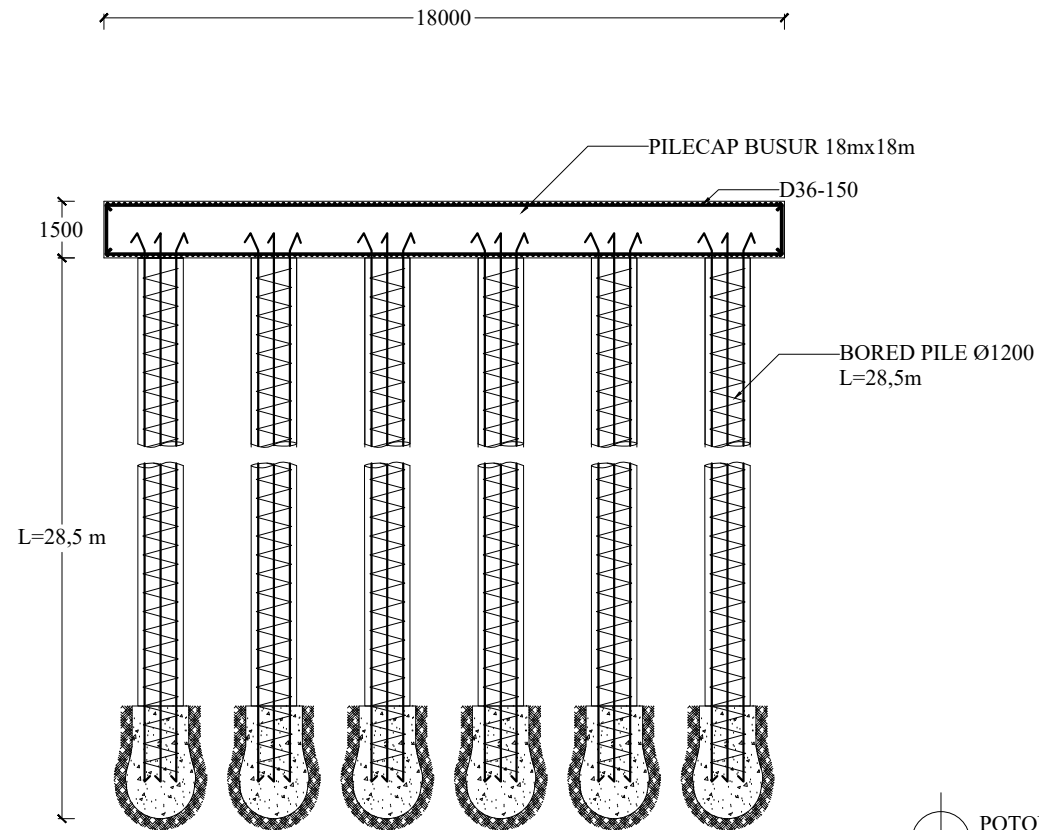
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
22
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005



POTONGAN B
SKALA 1:200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JEMBATAN SEMUJUR
DENGAN JEMBATAN BUSUR BOX BAJA
DIAGONAL SEBAGAI ICON KOTA PANGKAL
PINANG

NOMOR
23
JUMLAH
23

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.
1959022131987011001

NAMA & NRP MAHASISWA
Rizqi Alghiffary
0311174000005

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Rizqi Alghiffary, lahir di Kediri pada tanggal 29 Januari 2000 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SMP Negeri 1 Sidoarjo, dan SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan Pendidikan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil ITS pada tahun 2017 melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 03111740000005. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam bidang organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah menjadi pengurus HMS FTSP ITS pada tahun kedua. Selain itu, penulis juga aktif dalam mengikuti kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh beberapa organisasi mahasiswa seperti ITS OPEN BADMINTON dan UKM EXPO. Jika pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email berikut rizqi.alghiffary@gmail.com