



TUGAS AKHIR - RC184803

# **MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KALI KENDENG DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *STEEL BOX THROUGH ARCH***

Dita Adelia Anggraini  
NRP 03111745000038

Dosen Pembimbing 1  
Bambang Piscesa, ST.,MT.,Ph.D  
NIP 198403182008121002

Dosen Pembimbing 2  
Dr.Ir.Hidayat Soegihardjo M,MS  
NIP 195503251980031004

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



TUGAS AKHIR – RC184803

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KALI  
KENDENG DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM  
*STEEL BOX THROUGH ARCH***

Dita Adelia Anggraini  
NRP. 03111745000038

Dosen Pembimbing I  
Bambang Piscesa, ST.,MT.,Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Dr.Ir.Hidayat Soegihardjo M,MS

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

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KALI  
KENDENG DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *STEEL  
BOX THROUGH ARCH***

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**DITA ADELIA ANGGRAINI**  
Nrp. 03111745000038

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Bambang Piscesa, ST.,MT (Ph.D)
2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M.Eng



**SURABAYA  
JULI 2019**

# **MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN KALI KENDENG DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *STEEL BOX THROUGH ARCH***

Nama Mahasiswa : Dita Adelia Anggraini  
NRP : 03111745000038  
Departemen : Teknik Sipil FTSLK – ITS  
Dosen Konsultasi : 1. Bambang Piscesa, ST.,MT.,Ph.D  
2. Dr. Ir. Hidajat Soegihardjo M,MS

## **Abstrak**

*Jembatan merupakan sarana penghubung antara dua daratan yang dipisahkan oleh rintangan-rintangan seperti sungai, jurang, lembah dan lain sebagainya. Direncanakannya jembatan Kendeng ini dikarenakan adanya bentangan sungai-sungai pada Jalan Tol Solo – Semarang seksi 4 yaitu ruas Salatiga – Boyolali (STA 48+375 – 54+000). Agar berjalan sesuai dengan fungsi utama jalan tersebut maka direncanakanlah jembatan penghubung.*

*Dalam perencanaan ini, struktur lama jembatan yang semula menggunakan prestress girder akan dimodifikasi menjadi jembatan busur dengan sistem steel box through arch. Total panjang jembatan adalah 490 meter yang akan dibagi menjadi tiga bentang dengan panjang masing-masing secara berurutan adalah 150 meter, 190 meter dan 150 meter. Dengan lebar jembatan yaitu 11 meter. Material-material penyusun jembatan diantaranya berupa pelat beton untuk lantai kendaraan, profil baja WF untuk gelagar memanjang dan melintang, steel box untuk struktur pelengkung, pot bearing dari TETRON CD untuk perletakan, sedangkan untuk kabel dan angkernya akan digunakan rod hanger dari DYWIDAG.*

*Program bantu yang akan digunakan adalah SAP2000 v14.2.2 untuk pemodelan dan analisa struktur baik primer maupun*

*sekunder. Hasil akhir perhitungan akan dituangkan dalam gambar dengan menggunakan program bantu AutoCAD.*

*Kata kunci: Jembatan Busur Rangka Baja, Through Arch, Pot Bearing, Kali Kendeng, Accidental Load*

## **DESIGN MODIFICATION OF KALI KENDENG BRIDGE BY USING STEEL BOX THROUGH ARCH SYSTEM**

Name : Dita Adelia Anggraini  
NRP : 03111745000038  
Department : Teknik Sipil FTSLK – ITS  
Advisor : 1. Bambang Pisceca, ST.,MT.,Ph.D  
2. Dr. Ir. Hidajat Soegihardjo M, MS

### **Abstract**

*Bridge is an important public facility that can connect between two lands which are separated by some obstacles such as rivers, roads, cliffs, valleys and etc. Kali Kendeng bridge was constructed since some rivers become a constructions obstacle to section 4 of Solo – Semarang toll road (STA 48+375 – 54+000). Hence, Kali Kendeng Bridge was designed and constructed in order to functionate the toll road which can be connected by the bridge.*

*In this design modification, the existing bridge structure will be redesigned from prestressed girder system into through arch bridge with steel box system. Total length of the brige is 490 meters and will be divided into three spans with length 150 meters, 190 meters and 150 meters. Width of the bridge is 11 meters and the materials that will be used as the structural components are wide flange steel (WF) for transversal and longitudinal beams, steel box for ribs and other primary/secondary structures, pot bearing from FREYSSINET - TETRON CD. For the hanger and threaded rod will be using the products from DWIDAG.*

*Software that will be used for modelling and structure analysis is SAP2000 v14.2.5. The output of structure calculation for the capability checked and connections will be drawn by using AutoCAD program software.*

*Keywords: Jembatan Busur Rangka Baja, Through Arch, Pot Bearing, Kali Kendeng, Accidental Load*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT Karena Dengan Rahmat, Hidayah, Serta Karunia-Nya Penulis Dapat Menyelesaikan Proposal Tugas Akhir Ini Dengan Judul Modifikasi Perencanaan Jembatan Kali Kendeng Dengan Menggunakan Sistem *Steel Box Through Arch* dengan baik dan tepat waktu.

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

1. Orang tua yang selalu memberikan dukungan penuh dan tidak pernah lelah dalam memberi nasihat kepada penulis.
2. Bapak Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D dan bapak Dr. Ir. Hidajat Soegihardjo Masiran, MS sebagai dosen konsultasi yang telah memberi masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen dan Teknik Sipil ITS yang secara tidak langsung memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
4. Seluruh teman-teman ITS khususnya kelas Lintas Jalur 2017 jurusan Teknik Sipil ITS.

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

Surabaya, Juli 2019

Penulis





## DAFTAR ISI

1.1.	Latar Belakang .....	18
1.2.	Rumusan Masalah .....	20
1.3.	Tujuan .....	20
1.4.	Batasan Masalah .....	21
1.5.	Manfaat .....	21
2.1.	Umum .....	22
2.2.	Pengertian Jembatan .....	22
2.2.1.	Jenis-Jenis Jembatan .....	22
2.3.	Jembatan Busur .....	23
2.3.1.	Jenis-Jenis Jembatan Busur .....	23
2.3.2.	Pertimbangan Pemilihan Konstruksi dan Bentuk Busur .....	27
2.4.	Sambungan .....	28
2.4.1.	Sambungan Baut .....	28
2.4.2.	Sambungan Las .....	29
2.5.	Perletakan .....	31
2.5.1.	<i>Fixed Pot Bearing</i> .....	32
2.5.2.	<i>Guided Pot Bearing</i> .....	32
2.5.3.	<i>Free Pot Bearing</i> .....	33
2.6.	Perencanaan Struktur Bangunan Bawah .....	33
2.6.1.	Abutmen .....	33
2.6.2.	Pilar ( <i>Piers</i> ) .....	33
2.6.3.	Pondasi .....	34
3.1.	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	36
3.2.	Pengumpulan Data .....	37
3.3.	Studi Literatur .....	37
3.4.	<i>Preliminary Design</i> Jembatan Busur .....	38
3.4.1.	Material yang Digunakan .....	38
3.4.2.	Tebal Pelat Lantai Kendaraan .....	38
3.4.3.	Dimensi Rangka Busur .....	39
3.5.	Pembebanan Jembatan .....	41
3.5.1.	Beban Permanen .....	41
3.5.2.	Beban Lalu Lintas .....	44

3.5.3. Gaya Rem .....	47
3.5.4. Beban Pejalan Kaki (TP) .....	47
3.5.5. Beban Angin .....	47
3.5.6. Pengaruh Gempa.....	50
3.6. Permodelan dan Analisa Struktur Utama Jembatan Busur Menggunakan Progam SAP2000.....	50
3.7. Kontrol Material Struktur Utama .....	50
3.7.1. Kontrol Kapasitas Tekan .....	50
3.7.2. Kontrol Kapasitas Tarik.....	52
3.7.3. Kontrol Kapasitas Lentur.....	52
3.7.4. Kontrol Kapasitas Geser .....	54
3.8. Perencanaan Sambungan.....	54
3.8.1. Jarak Pemasangan Baut .....	54
3.8.2. Kuat Rencana Sambungan Baut.....	55
3.9. Perencanaan Perletakan.....	58
3.10. Perencanaan Kabel Penggantung .....	58
3.11. Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Jembatan ....	59
3.11.1. Kapasitas Daya Dukung <i>Driven Pile</i> .....	59
3.11.2. Efisiensi Tiang Grup ( <i>Conferse-Labare</i> ).....	61
3.11.3. Konstanta Pegas ( <i>Spring</i> ) Tiang Pancang.....	61
3.11.4. Perencanaan Poer .....	63
3.12. Penggambaran Hasil Perencanaan .....	65
3.13. Jadwal Kegiatan .....	65
4.1 Perencanaan Struktur Sekunder .....	66
4.1.1 Perencanaan Tebal Pelat Lantai Kendaraan.....	66
4.1.2 Perhitungan Penulangan .....	68
4.1.3 Perencanaan Balok Memanjang.....	73
4.1.4 Perencanaan Balok Melintang .....	83
4.1.5 Ikatan Angin Busur Bawah.....	97
4.1.6 Ikatan Angin Busur Atas .....	99
4.1.7 Batang Horizontal Busur .....	102
4.1.8 Ikatan Angin Portal.....	106
4.2 Perencanaan Struktur Primer.....	109
4.2.1 Perhitungan Pembebanan.....	109
4.2.2 Perencanaan Batang Penggantung .....	119

4.2.3	Perencanaan Penampang Busur .....	124
4.3	Kontrol Lentutan pada Jembatan .....	150
4.4	Perencanaan Sambungan .....	151
4.4.1	Sambungan Gelagar Memanjang dan Melintang	151
4.4.2	Sambungan Gelagar Melintang dan Tie Beam....	153
4.4.3	Sambungan Ikatan Angin Busur .....	157
4.4.4	Sambungan Batang Horizontal Portal .....	161
4.4.5	Sambungan Ikatan Angin Lantai .....	163
4.4.6	Sambungan Ikatan Angin Portal .....	165
4.4.7	Sambungan Rangka Busur.....	169
4.4.8	Sambungan Box Busur dan Peggantung ( <i>Hanger</i> ).. .....	189
4.4.9	Sambungan Base Plate ke Box Busur.....	192
4.4.10	Sambungan Angkur ke Beton Pier Head.....	192
4.5	Perencanaan Perletakan .....	195
4.5.1	Lay out Penempatan Perletakan Jembatan .....	195
4.5.2	Kontrol Desain Perletakan Pot Bearing .....	196
4.6	Perhitungan Bangunan Bawah .....	202
4.6.1	Perhitungan Kolom Pilar .....	205
4.6.2	Perhitungan Pier Head .....	211
4.6.3.	Perhitungan Pondasi .....	214
4.6.4.	Perhitungan Pile Cap (Poer) .....	227
5.1	Kesimpulan .....	234
5.2	Saran .....	236



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Eksisting Jembatan Kali Kendeng .....	18
Gambar 2.1 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Atas .....	24
Gambar 2.2 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Tengah .....	25
Gambar 2.3 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Bawah .....	26
Gambar 2.4. Contoh Sambungan Baut .....	29
Gambar 2.5 Las Tumpul ( <i>Groove Welds</i> ) .....	29
Gambar 2.6 Las Sudut ( <i>Fillet Welds</i> ) .....	30
Gambar 2.7 Ukuran Las Sudut .....	31
Gambar 2.8 Ukuran Las Sudut Sela Akar .....	31
Gambar 2.9 <i>Fixed Pot Bearing</i> .....	32
Gambar 2.10 <i>Guided Pot Bearing</i> .....	32
Gambar 2.11 <i>Free Pot Bearing</i> .....	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	36
Gambar 3.2 Sketsa Pembebanan BGT dan BTR .....	44
Gambar 3.3 Pembebanan truk “T” (500 kN) .....	46
Gambar 3.4 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D” .....	47
Gambar 3.5 Tata Letak Baut .....	54
Gambar 3.6 Konfigurasi Perletakan <i>Pot Bearing</i> .....	58
Gambar 4.1. Potongan Melintang Pelat Lantai Kendaraan .....	66
Gambar 4.2 Momen Balok Menerus Potongan Melintang .....	68
Gambar 4.3 Bidang Kritis Pada Pelat Lantai Kendaraan .....	71
Gambar 4.4 Profil Balok Memanjang .....	73
Gambar 4.5 Pembebanan (beban mati) pada gelagar memanjang	74
Gambar 4.6 Pembebanan BGT dan BTR pada gelagar memanjang .....	74
Gambar 4.7 Pembebanan Truk .....	75
Gambar 4.8 Bidang momen pada gelagar memanjang .....	78
Gambar 4.9 Profil Balok Melintang .....	83
Gambar 4.10 Pembebanan gelagar melintang .....	85
Gambar 4.11 Pembebanan akibat beban BTR dan BGT .....	86
Gambar 4.12 Pembebanan akibat beban Truk (Kondisi 1) .....	87
Gambar 4.13 Pembebanan akibat beban Truk (Kondisi 2) .....	88

Gambar 4.14 Beban merata geser sebelum komposit.....	90
Gambar 4.15 Beban merata geser setelah komposit .....	91
Gambar 4.16 Gaya geser akibat BTR dan BGT tidak simetris....	91
Gambar 4.17 Distribusi gaya pada penampang .....	94
Gambar 4.18 Denah Ikatan Angin Lantai.....	97
Gambar 4.19 Denah Ikatan angin atas.....	99
Gambar 4.20 Portal BN .....	103
Gambar 4.21 Ikatan Angin Portal.....	106
Gambar 4.22 Grafik FBD .....	110
Gambar 4.23 Tampak Samping Jembatan Bentang 190m.....	112
Gambar 4.24 Tampak Samping Jembatan Bentang 150m.....	114
Gambar 4.25 Grafik Response Spectrum .....	116
Gambar 4.26 Skala Gaya Gempa pada Pemrograman SAP .....	117
Gambar 4.27 Pemodelan 3D Jembatan Kali Kendeng dengan program bantu SAP2000.....	118
Gambar 4.28 Konstruksi Pemikul Utama.....	119
Gambar 4.29 Pu max pada <i>normal load</i> .....	120
Gambar 4.30 Konstruksi Pemikul Utama.....	120
Gambar 4.31 Pu max pada <i>normal load</i> .....	121
Gambar 4.32 Grafik Beban Aksial Thread Rod .....	123
Gambar 4.33 Konstruksi Pemikul Utama.....	124
Gambar 4.34 Momen M3 dan M2 Maksimal .....	126
Gambar 4.35 Konstruksi Pemikul Utama.....	129
Gambar 4.36 Nu Maksimal .....	129
Gambar 4.37 Momen M3 dan M2 Maksimal .....	130
Gambar 4.38 Konstruksi Pemikul Utama.....	134
Gambar 4.39 Nu Tekan Maksimal .....	134
Gambar 4.40 Konstruksi Pemikul Utama.....	136
Gambar 4.41 Nu Tarik Maksimal.....	136
Gambar 4.42 Portal Akhir .....	139
Gambar 4.43 Gaya Dalam pada Balok Portal Akhir .....	139
Gambar 4.44 Konstruksi Pemikul Utama.....	143
Gambar 4.45 Gaya Dalam pada Kolom Penyangga .....	143
Gambar 4.46 Konstruksi Pemikul Utama.....	147
Gambar 4.47 Nu Tarik Maks.....	147

Gambar 4.48 Lendutan Terjadi .....	150
Gambar 4.49 Kegagalan Tarik Angkur Baja.....	193
Gambar 4.50 Kegagalan Geser Angkur Baja .....	194
Gambar 4.51 Layout Penempatan Pot Bearing .....	195
Gambar 4.52 Type Perletakan Unidirectional .....	196
Gambar 4.53 Type Perletakan Multidirectional .....	198
Gambar 4.54 Type Perletakan Fixed .....	200
Gambar 4.55.Pemodelan Bangunan Bawah Jembatan .....	202
Gambar 4.56. Dimensi Pilar dan Konfigurasi Penulangan.....	207
Gambar 4.57 Diagram Interaksi Aksial Lentur (Run X) .....	208
Gambar 4.58 Diagram Interaksi Aksial Lentur (Run Y) .....	208
Gambar 4.59 Denah Perletakan Jembatan.....	214
Gambar 4.60 Konfigurasi Bore Pile .....	215
Gambar 4.61 Denah Konfigurasi Pile .....	221
Gambar 4.62. Diagram Interaksi Aksial Lentur Pile 1,2 m.....	224
Gambar 4.63. Diagram Interaksi Aksial Lentur Pile 1,2 m.....	225





## DAFTAR TABEL

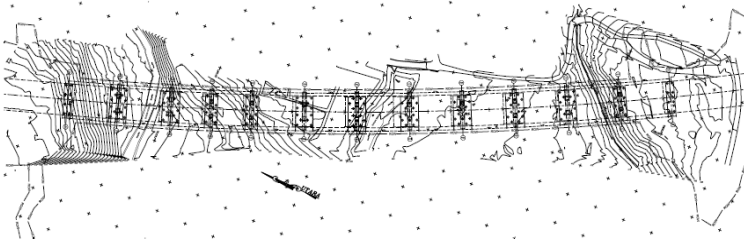
Tabel 3.1. Hasil Perhitungan $Y_n$ untuk bentang 190 m .....	39
Tabel 3.2 Berat Isi untuk Beban Mati .....	42
Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri .....	43
Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan.....	43
Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D” .....	45
Tabel 3.6 Faktor Beban untuk Beban “T” .....	45
Tabel 3.7 Nilai $V_0$ dan $Z_0$ untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu .....	49
Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar .....	49
Tabel 3.9 <i>Base Coefficient a Decourt Et All (1996)</i> .....	60
Tabel 3.10 <i>Base Coefficient <math>\beta</math> Decourt Et All (1996)</i> .....	61
Tabel 3.11. Tabel Persamaan Modulus Tarik Tekan menurut Bowles .....	62
Tabel 3.12. Tabel Poisson’s Ratio (Bowles,1996) .....	62
Tabel 4.1 Rekapitulasi pembebanan gelagar memanjang .....	76
Tabel 4.2 Rekapitulasi Perhitungan Beban Angin Bentang 190 m .....	113
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Beban Angin Bentang 150 m .....	114
Tabel 4.4 Tabel Beban Aksial pada Thread Rod.....	121
Tabel 4.5 Dimensi Unidirectional Pot Bearing .....	197
Tabel 4.6 Dimensi Multiidirectional Pot Bearing .....	199
Tabel 4.7 Dimensi Fixed Pot Bearing .....	201
Tabel 4.8 Penyelidikan Tanah dari N-SPT menurut Bowles.....	203
Tabel 4.9 Poisson Ratio berdasar table Bowles.....	203
Tabel 4.10 Rekapitulasi Spring Tiang Pancang .....	204
Tabel 4.11 Output Pilar Hasil Kombinasi pada SAP2000 .....	205
Tabel 4.12 Data Klasifikasi Tanah .....	214
Tabel 4.13 Rekapitulasi Tahanan Ujung Tiang .....	216
Tabel 4.14 Rekapitulasi Tahanan Selimut Tiang .....	217
Tabel 4.15 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang .....	218
Tabel 4.16 Koefisien Dasar Tiang dan Koefisien Shaft .....	220
Tabel 4.17 Gaya Reaksi Group Tiang Akibat Beban Layan .....	221

Tabel 4.18 Output SAP2000 pada Elemen Tiang.....	223
--	-----

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pembangunan jalan tol Solo – Semarang yang menjadi bagian dari jalur Trans Jawa dengan panjang 72,64 km memiliki fungsi sebagai akses yang dapat memperlancar transportasi di Pulau Jawa dan menunjang sistem perekonomian. Jalan tol Solo-Semarang sendiri memiliki beberapa seksi jalan diantaranya yaitu terdapat seksi 4 yaitu ruas Salatiga – Boyolali (STA 48+375 – 54+000) yang dipisahkan oleh bentangan sungai-sungai yaitu Kali Kendeng dan Kali Serang sepanjang 490 m. Untuk dapat meneruskan ruas jalan tersebut diperlukan suatu struktur penghubung yaitu Jembatan Aquaduct. Gambar 1.1 menunjukkan lokasi eksisting jembatan Kali Kendeng.



Gambar 1.1 Lokasi Eksisting Jembatan Kali Kendeng

Dalam penulisan ini akan direncanakan Jembatan Kali Kendeng menggunakan sistem busur baja dengan lantai kendaraan di bawah (*Through Arch Bridge*). Pemilihan sistem jembatan busur baja pada perencanaan ini didasari karena besarnya rentangan untuk konstruksi busur mampu mencapai panjang bentang 60-600 meter. Bentuk busur pada jembatan berguna untuk mengurangi momen lentur di lapangan, sehingga lebih efisien dibandingkan dengan gelagar paralel (Hidajat,2007).

Pemilihan penampang box material baja sebagai pemikul utama didasari oleh kekuatan penampang box baja yang cukup tinggi dengan luas penampang lebih efisien dibandingkan dengan material beton. Sifat daktilitas baja yang mampu berdeformasi dengan baik di bawah pengaruh tegangan tarik tinggi. Struktur busur juga mampu mengurangi kebutuhan pilar jembatan.

Pada perencanaan Jembatan Kali Kendeng digunakan sistem busur baja dengan lantai kendaraan dibawah.atau dapat disebut dengan istilah *Through Arch Bridge*. Jembatan Kali Kendeng ini direncanakan untuk dibagi dalam tiga bentang dengan panjang masing-masing bentang secara berurutan yaitu 150 m, 190 m dan 150 m. Dengan adanya desain Jembatan Kali Kendeng yang baru ini diharapkan mampu menjawab sebuah tantangan dalam merancang sebuah jembatan yang dapat memenuhi standar perencanaan serta mampu meningkatkan nilai estetika dan dapat dijadikan sebagai *landmark* kota.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Dari penjelasan di atas dapat ditinjau permasalahan pokok, yakni bagaimana merencanakan suatu konstruksi Jembatan Kali Kendeng dengan menggunakan sistem *Through Arch Bridge*. Detail permasalahan yang akan ditinjau dari perencanaan jembatan yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan desain awal struktur Jembatan Kali Kendeng tersebut?
2. Bagaimana menentukan asumsi pembebanan pada jembatan mengacu pada SNI 1725:2016?
3. Bagaimana merencanakan profil baja yang akan digunakan pada struktur jembatan tersebut?
4. Bagaimana menganalisa gaya-gaya dalam pada struktur jembatan tersebut menggunakan aplikasi bantu SAP 2000?
5. Bagaimana mengontrol desain profil baja terhadap kekuatan dan kestabilan struktur?
6. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan dan analisa ke dalam bentuk gambar rencana?

## **1.3. Tujuan**

Adapun tujuan dari penyusunan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan dan memodelkan jembatan *through arch* yang cocok untuk kondisi saat ini di Kali Kendeng.
2. Merencanakan lantai kendaraan, yang sesuai dengan kondisi yang ada dengan ketentuan dari standard yang sudah ada.
3. Menganalisa struktur jembatan *through arch* dengan permodelan yang direncanakan.
4. Mengontrol desain jembatan akibat dari pemberian beban yang ada.
5. Merencanakan struktur bangunan bawah jembatan

6. Menuangkan hasil akhir perhitungan dan analisa kedalam bentuk gambar desain.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Mengetahui akan luasnya bidang perencanaan dan keterbatasan waktu dalam penyusunan tugas akhir ini, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Perencanaan hanya pada kontruksi jembatan rangka baja sistem busur *through arch* dan bangunan bawah jembatan
2. Perencanaan yang dilakukan tidak menganalisa dari segi biaya dan waktu.
3. Perhitungan sambungan dibatasi pada bagian-bagian tertentu, yang mewakili secara keseluruhan (terutama untuk bagian yang kritis).
4. Perencanaan yang dilakukan hanya melingkupi perhitungan struktur, tidak termasuk metode pelaksanaan.
5. Tidak merencanakan perkerasan jalan dan desain approach road (oprit).

#### **1.5. Manfaat**

Adapun beberapa manfaat yang dapat dirasakan tidak hanya bagi penulis namun juga bagi pembaca adalah :

1. Sebagai referensi dalam merencanakan desain jembatan dengan menggunakan sistem *through arch*.
2. Merencanakan jembatan *through arch* dengan baik.
3. Sebagai pembelajaran dalam penguasaan ilmu ketekniksipilan terkait desain jembatan selama kuliah.
4. Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan bentang panjang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

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

#### **2.2. Pengertian Jembatan**

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

##### **2.2.1. Jenis-Jenis Jembatan**

1. Menurut kegunaannya :
  1. Jembatan jalan raya (higway bridge)
  2. Jembatan pejalan kaki (footh path) dan penyebrangan
  3. Jembatan kereta api (railway bridge)
  4. Jembatan jalan pipa
  
2. Menurut Jenis Materialnya :
  1. Jembatan kayu
  2. Jembatan baja
  3. Jembatan beton pratekan
  4. Jembatan beton bertulang
  5. Jembatan komposit
  
3. Menurut Jenis Strukturalnya :
  1. Jembatan Pelat (Slab Bridge)
  2. Jembatan Lengkung/Busur (Arch Bridge)
  3. Jembatan Rangka Batang (Truss Bridge)



4. Jembatan Gantung (Suspension Bridge)
5. Jembatan Gelagar (Girder Bridge)
6. Jembatan Kabel (Cable Stayed Bridge)
7. Jembatan Kantilever

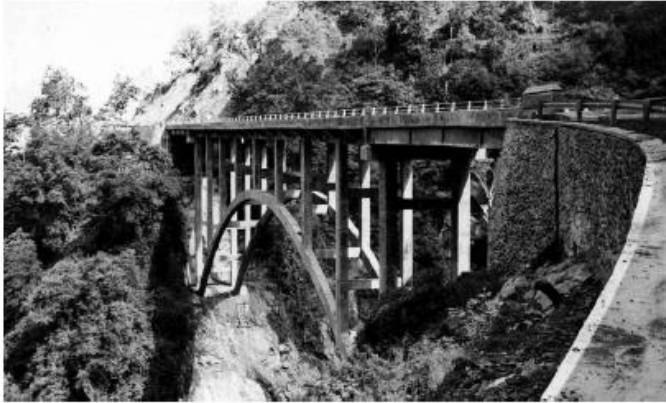
### **2.3. Jembatan Busur**

Jembatan busur merupakan sebuah jembatan yang memiliki struktur utama berbentuk pelengkung / kurva setengah lingkaran. Pada pembebanannya, beban vertikal akan memberikan reaksi perletakan dalam arah horizontal. Desain lengkung akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergerak ke samping. Selain itu, bentuk busur dimaksudkan untuk dapat mengurangi momen lentur pada jembatan, sehingga lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan gelagar paralel.

#### **2.3.1. Jenis-Jenis Jembatan Busur**

Jenis-jenis jembatan busur berdasarkan masing-masing aspek tinjauan adalah sebagai berikut:

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



Gambar 2.1 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Atas  
*Sumber: Duan dan Chen. 2000. Handbook of International Bridge Engineering*

- Jembatan Busur Lantai Kendaraan Tengah (*Half Through Arch*)  
Jembatan busur yang memiliki letak lantai diantara springline dan bagian busur jembatan, atau berada di tengah-tengah seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Tengah  
*Sumber: Duan dan Chen. 2000. Handbook of Bridge Engineering*

- Jembatan Busur Lantai Kendaraan Bawah (Through Arch)  
Jembatan busur yang memiliki letak lantai tepat di springline busur, atau lantainya berada dibawah seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jembatan Busur Lantai Kendaraan Bawah  
*Sumber: Duan dan Chen.2000. Handbook of International Bridge Engineering*

2. Berdasarkan Perletakan (Jumlah Sendi)
  1. Busur Terjepit
  2. Busur Dua Sendi
  3. Busur Tiga Sendi
  
3. Berdasarkan Sifat Gaya Horizontal
  - Busur Asli  
Gaya horizontal pada busur diterima oleh perletakan, diteruskan ke abutmen atau pilar.
  - Busur dengan Batang Tarik  
Gaya horizontal pada busur diterima oleh bagian konstruksi busur, yaitu batang tarik.
  
4. Berdasarkan Struktur Pemikul Utama
  - Busur Dinding Penuh
  - Busur Rangka Batang
  
5. Berdasarkan Ukuran Penampang Busur

- Penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal. Umumnya digunakan untuk busur yang memiliki perletakan jepit-jepit.
  - Tinggi penampang sama untuk seluruh bagian busur. Umumnya digunakan untuk busur dinding penuh, termasuk juga bentuk box.
  - Penampang puncak lebih besar dari penampang pangkal. Umumnya digunakan untuk busur dua sendi.
6. Pembagian Beban antara Busur dengan Batang Tarik (Khusus Busur dengan Batang Tarik)
- Busur sangat kaku dibandingkan dengan batang tarik sehingga momen sebagian besar dipikul busur, bentuk busur umumnya memiliki penampang puncak lebih kecil dari penampang pangkal.
  - Busur sangat lemah dibandingkan dengan batang tarik yang sangat kaku dengan batang tarik memikul sebagian besar momen, bentuk penampang busur sama untuk seluruh bagian busur.
  - Diantara kedua keadaan diatas, momen dibagi antara busur dan batang tarik.

### **2.3.2. Pertimbangan Pemilihan Konstruksi dan Bentuk Busur**

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

1. Kondisi Tanah Dasar
  - Tebing yang curam, kokoh dan tinggi lebih cocok untuk menggunakan busur dengan lantai kendaraan diatas.
  - Bila pada lantai kendaraan diatas pangkal busur terkena muka air, maka digunakan busur dengan lantai kendaraan di tengah.
  - Bila tanah kurang kuat untuk menerima rekasi horizontal, jembatan dapat diberikan batang tarik.

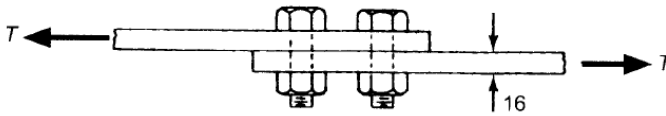
- Besarnya gaya horizontal dari perletakan dapat dikurangi dengan pembuatan jembatan busur berseri (rangkaian beberapa busur).
2. Besarnya Beban
    - Beban ringan : Busur dinding penuh
    - Beban berat : Busur rangka batang.
  3. Estetika
    - Busur dengan penampang kecil memeberikan kesan langsing
    - Busur dengan penampang dinding penuh memeberikan kesan tenang.

## **2.4. Sambungan**

Setiap komponen baja merupakan gabungan dari beberapa komponen batang yang digabungkan dengan alat pengencang. Sambungan merupakan bagian paling kritis pada struktur baja. Jika terjadi kegagalan akan pada sambungan maka akan berakibat fatal pada struktur tersebut. Maka dari itu keandalan sambungan harus diperhatikan. Adapun beberapa cara penyambungan adalah dengan menggunakan sambungan las, sambungan baut ataupun kombinasi keduanya.

### **2.4.1. Sambungan Baut**

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya dibentuk kepala baut dan ujung lainnya dipasang mur / pengunci. Terdapat dua jenis baut yang biasa dipakai pada kontruksi baja. Pertama adalah baut biasa atau baut mutu normal yang digunakan pada struktur ringan untuk menahan beban statis atau menyambung batang-batang sekunder. Jenis yang kedua adalah baut tegangan tinggi (*High Tensioned Bolt*) yang memerlukan gaya tarik awal dari pengencangan awal. Contoh sambungan baut ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



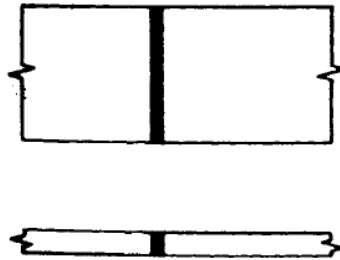
Gambar 2.4. Contoh Sambungan Baut  
*sumber: Setiawan, 2008 , Struktur Baja dengan Metode LRFD*

### 2.4.2. Sambungan Las

Proses pengelasan merupakan proses penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan cara memanaskannya hingga suhu yang tepat, dengan atau tanpa bahan pengisi (Setiawan,2008). Pada pelaksanaannya terdapat beberapa tipe sambungan las antara lain las tumpul dan las sudut.

#### a. Las Tumpul

Las tumpul (*Groove Welds*) digunakan untuk menyambung batang-batang sebidang. Maka dari itu mutu yang dipergunakan harus sama atau bahkan lebih dari batang yang disambung. Contoh dari las tumpul dapat dilihat pada Gambar 2.5.

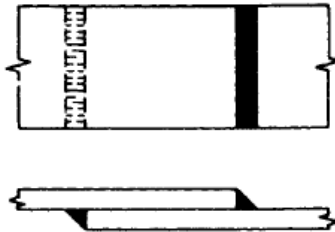


Gambar 2.5 Las Tumpul (*Groove Welds*)  
*sumber: Setiawan, 2008 , Struktur Baja dengan Metode LRFD*

## b. Las Sudut

Las sudut (*Fillet Welds*) merupakan tipe las yang paling banyak dijumpai dibandingkan dengan jenis las lainnya, dikarenakan pengerjaannya tidak memerlukan presisi tinggi. Las sudut digunakan untuk menyambung batang-batang tidak sebidang atau dengan menggunakan *lap splice* pada penyambungannya. Bentuk las sudut ditunjukkan pada Gambar 2.6.

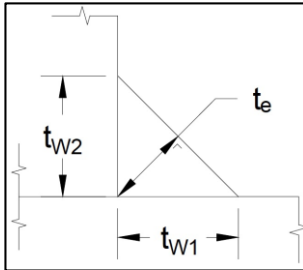
Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang  $t_{w1}$ ,  $t_{w2}$ , dari sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las (lihat Gambar 2.7). Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah  $t_w$  (Setiawan, 2008). Bila terdapat sela akar, ukuran  $t_w$  diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.8 (SNI 03-1729-2002).



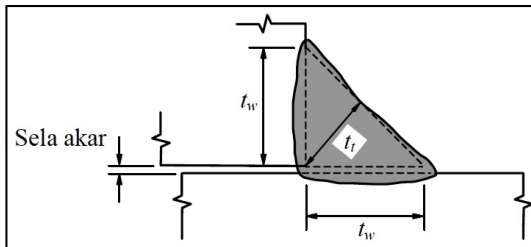
Gambar 2.6 Las Sudut (*Fillet Welds*)

sumber: Setiawan, 2008 , *Struktur Baja dengan Metode LRFD*





Gambar 2.7 Ukuran Las Sudut  
sumber: SNI 1729:2002



Gambar 2.8 Ukuran Las Sudut Sela Akar  
sumber: SNI 1729:2002

## 2.5. Perletakan

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

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

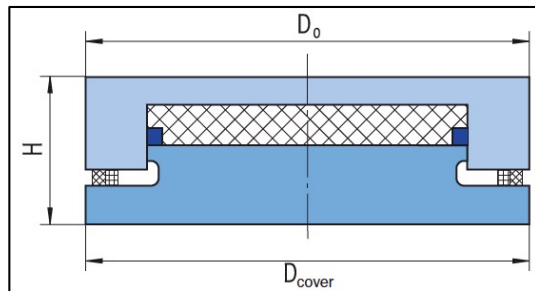
Perletakan pada jembatan bentang panjang saat ini banyak menggunakan sistem perletakan pot bearing. Pot bearing adalah

perletakan yang mampu menahan beban vertikal lebih besar dibanding dengan perletakan elastomer.

Pada saat ini, pot bearing diproduksi menjadi 3 tipe. Tipe *fixed*, *guided*, dan *free*.

### 2.5.1. Fixed Pot Bearing

Tipe *fixed* seperti pada Gambar 2.9 merupakan perletakan yang berperilaku sebagai sendi, dapat menahan beban vertikal dan horizontal.

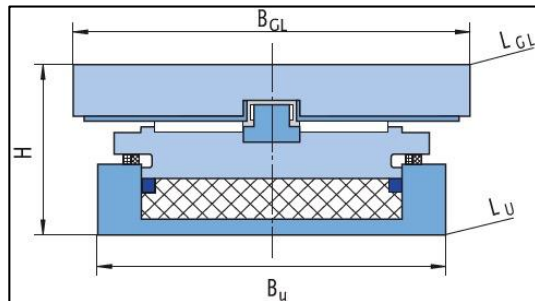


Gambar 2.9 Fixed Pot Bearing

sumber: Brosur Trelleborg Engineered Products

### 2.5.2. Guided Pot Bearing

Tipe *guided* seperti pada Gambar 2.10 merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertikal serta gaya horizontal namun hanya dalam 1 arah (transversal atau longitudinal).

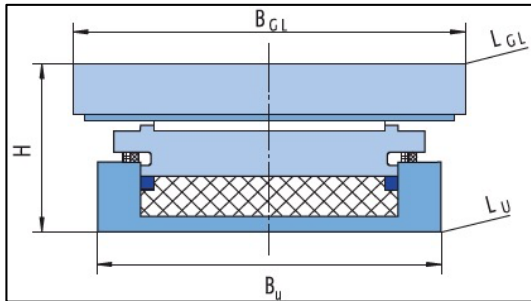


Gambar 2.10 Guided Pot Bearing

sumber: Brosur Trelleborg Engineered Products

### 2.5.3. Free Pot Bearing

Tipe *free* seperti pada Gambar 2.11 merupakan perletakan yang dapat menahan gaya vertikal, namun dapat bergerak bebas dalam arah horizontal.



Gambar 2.11 Free Pot Bearing

sumber: Brosur Trelleborg Engineered Products

## 2.6. Perencanaan Struktur Bangunan Bawah

### 2.6.1. Abutmen

Abutmen merupakan penopang jembatan yang terletak pada bagian paling akhir jembatan. Struktur abutment terdiri dari *breastwall*, *wingwall*, *backwall* dan *footing*.. Umumnya, abutment dilengkapi dengan konstruksi dinding sayap (*wing wall*) yang berfungsi sebagai penahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan.

### 2.6.2. Pilar (*Piers*)

Pilar merupakan bagian penopang jembatan yang dipergunakan apabila terdapat beberapa bentang dalam total panjang jembatan. Pilar memiliki fungsi yang sama dengan abutmen yaitu meneruskan beban dari struktur atas kepada pondasi. Namun, pilar tidak memiliki fungsi untuk menahan tanah seperti bagian *wingwall* pada abutmen.

### 2.6.3. Pondasi

Pondasi merupakan suatu struktur penopang dari struktur bangunan yang berfungsi meneruskan dan menyebarkan beban yang diterima dari struktur atas bangunan kepada lapisan tanah. Fungsi utamanya adalah untuk menahan beban bangunan yang ditimbulkan oleh konstruksi tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*).

#### a. Pondasi Dangkal

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

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

#### b. Pondasi Dalam

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

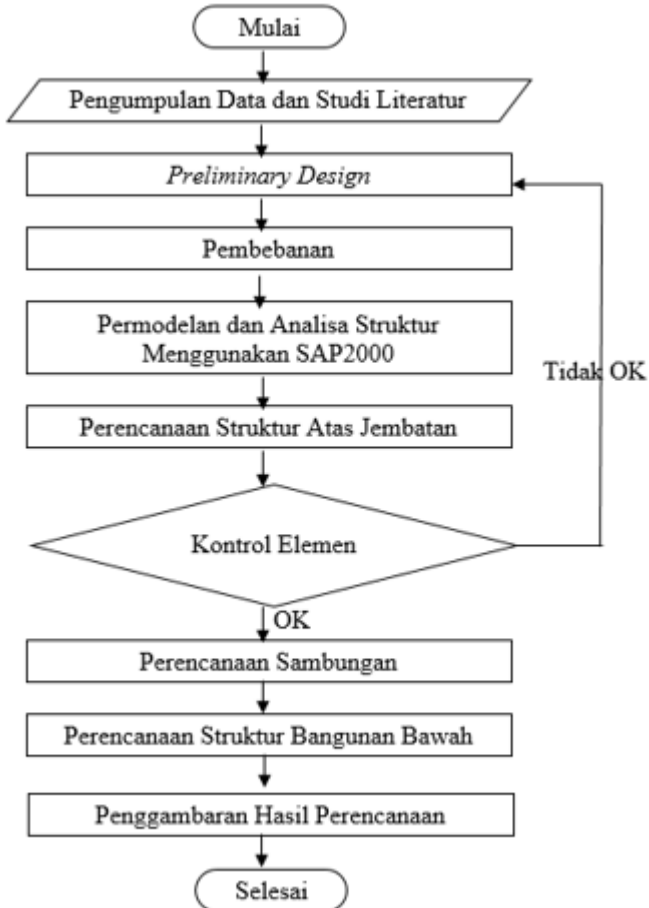
- Pondasi Sumuran (Pier Foundation)
- Pondasi Kaison
- Pondasi Tiang

*“halaman sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

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



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2. Pengumpulan Data

Data umum jembatan saat ini adalah sebagai berikut :

1. Nama Jembatan : Jembatan Kali Kendeng
2. Lokasi Jembatan : Seksi-4 : Ruas Salatiga Boyolali  
Jalan Tol Semarang– Solo
3. Jenis Jembatan : Jembatan Beton Prategang
4. Fungsi Jembatan : Viaduct dan Aquaduct
5. Panjang Jembatan : 490 m
6. Lebar Jembatan : 32,7 m
7. Bangunan Bawah : 11 Pilar dan 2 Abutmen

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

1. Nama Jembatan : Jembatan Kali Kendeng
2. Lokasi Jembatan : Seksi-4 : Ruas Salatiga Boyolali  
Jalan Tol Semarang– Solo
3. Jenis Jembatan : Jembatan Busur Baja  
(Through Arch) 3 Bentang  
dengan urutan panjang bentang  
150 m, 190 m dan 150 m
4. Fungsi Jembatan : Viaduct dan Aquaduct
5. Panjang Jembatan : 490 m
6. Lebar Jembatan : 11 m
7. Bangunan Bawah : 2 Pilar dan 2 Abutment

### 3.3. Studi Literatur

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

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

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

### 3.4. Preliminary Design Jembatan Busur

*Preliminary design* dilakukan untuk merencanakan dimensi-dimensi awal struktur yang akan dikontrol dengan beberapa persyaratan sesuai dengan standar yang berlaku. Jika dimensi *preliminary* tidak memenuhi persyaratan standar, maka haruslah diganti dengan dimensi lain. Hal ini ditunjukkan oleh sekuens pekerjaan sesuai pada Gambar 3.1

#### 3.4.1. Material yang Digunakan

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

- Mutu Beton ( $f'c$ ) = 35 MPa
- Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Struktur Sekunder = BJ 41
  - Tegangan Leleh Minimum ( $f_y$ ) = 250 Mpa
  - Tegangan Putus Minimum ( $f_u$ ) = 410 Mpa
- Struktur Primer = BJ 50
  - Tegangan Leleh Minimum ( $f_y$ ) = 290 Mpa
  - Tegangan Putus Minimum ( $f_u$ ) = 500 Mpa
- Mutu baut menggunakan ASTM A325 dan ASTM A490 untuk sambungan baut antar profil

#### 3.4.2. Tebal Pelat Lantai Kendaraan

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

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

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

Dimana :

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



### 3.4.3. Dimensi Rangka Busur

Dimensi dari rangka memiliki dua komponen geometri utama, yaitu panjang (L) dan tinggi (f). Panjang busur didapatkan dari panjang horizontal yang dilalui. Sedangkan ukuran dari komponen geometri lainnya didapatkan berdasarkan syarat-syarat sebagai berikut dan contoh perhitungan menggunakan jembatan dengan bentang 190 meter:

1. Tinggi Busur (f)

Syarat :

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

$$\frac{1}{6} \leq \frac{32 \text{ m}}{190 \text{ m}} \leq \frac{1}{5} \quad (3.3)$$

$$0,167 \leq 0,168 \leq 0,200 \text{ (Memenuhi)}$$

2. Panjang Penggantung Busur (yn)

Panjang penggantung busur didapatkan dari persamaan geometrik busur berikut ini:

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

$$y_2 = \frac{4 \cdot 32 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \cdot (190 \text{ m} - 5 \text{ m})}{(190 \text{ m})^2} \quad (3.4)$$

$$y_2 = 3,28 \text{ m}$$

Untuk perhitungan yn yang lain dapat dilihat pada Tabel

3.1.

Tabel 3.1. Hasil Perhitungan Yn untuk bentang 190 m

AS	x (m)	Yn (m)	AS	x (m)	Yn (m)
1	0	0,00	21	100	31,91
2	5	3,28	22	105	31,65
3	10	6,38	23	110	31,20

4	15	9,31
5	20	12,06
6	25	14,63
7	30	17,02
8	35	19,24
9	40	21,27
10	45	23,14
11	50	24,82
12	55	26,33
13	60	27,66
14	65	28,81
15	70	29,78
16	75	30,58
17	80	31,20
18	85	31,65
19	90	31,91
20	95	32,00

24	115	30,58
25	120	29,78
26	125	28,81
27	130	27,66
28	135	26,33
29	140	24,82
30	145	23,14
31	150	21,27
32	155	19,24
33	160	17,02
34	165	14,63
35	170	12,06
36	175	9,31
37	180	6,38
38	185	3,28
39	190	0,00

3. Tinggi Tampang Busur (t)

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

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

$$\frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \tag{3.5}$$

$$0,025 \leq 0,025 \leq 0,04 \text{ (Memenuhi)}$$

4. Lebar Jembatan (b)

Syarat :

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

$$\frac{11 \text{ m}}{190 \text{ m}} \geq \frac{1}{20} \quad (3.6)$$

$$0,058 \geq 0,05 \text{ (Memenuhi)}$$

5. Panjang Panel ( $\lambda$ )

$$\lambda \leq \frac{1}{15} L$$

$$5 \text{ m} \leq \frac{1}{15} 190 \text{ m}$$

$$5 \text{ m} \leq 12,7 \text{ m (Memenuhi)}$$

Dimana :

t = Tinggi tampang busur

$y_n$  = Panjang penggantung busur

x = Jarak horizontal penggantung dari penggantung ujung

f = Tinggi busur

b = Jarak perletakan kiri-kanan paling luar

L = Bentang busur

### 3.5. Pembebanan Jembatan

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

#### 3.5.1. Beban Permanen

##### Berat Jenis Material

Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk beberapa jenis material dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi	Kerapatan Massa
		(kN/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surface</i> )	22,0	2245
2	Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton, $f'_c < 35$ Mpa	22,0 – 15,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ Mpa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja ( <i>steel</i> )	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )	11,0	1125

Sumber: SNI 1725:2016

### Faktor Akibat Berat Sendiri (MS)

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

Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

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

Sumber: SNI 1725:2016

### Faktor Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

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

Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

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

Sumber: SNI 1725:2016

### 3.5.2. Beban Lalu Lintas

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

#### Beban Lajur “D” (TD)

Beban Lajur “D” terdiri dari komponen beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Sketsa pembebanan dari BTR dan BGT dapat dilihat pada Gambar 3.2.

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

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

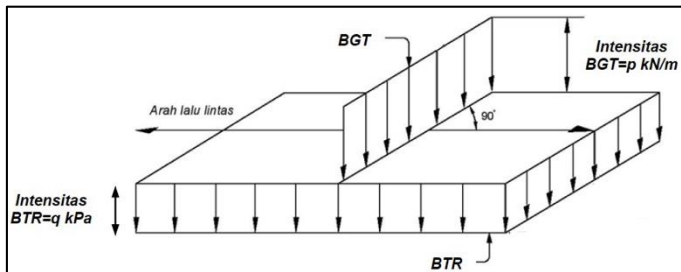
$$\text{jika } L > 30 \text{ m, maka } q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (3.8)$$

Dimana :

$q$  = intensitas BTR dalam arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  = panjang total jembatan yang dibebani (m)

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



Gambar 3.2 Sketsa Pembebanan BGT dan BTR

Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

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

Sumber: SNI 1725:2016

### Beban Truk “T” (TT)

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 3.6.

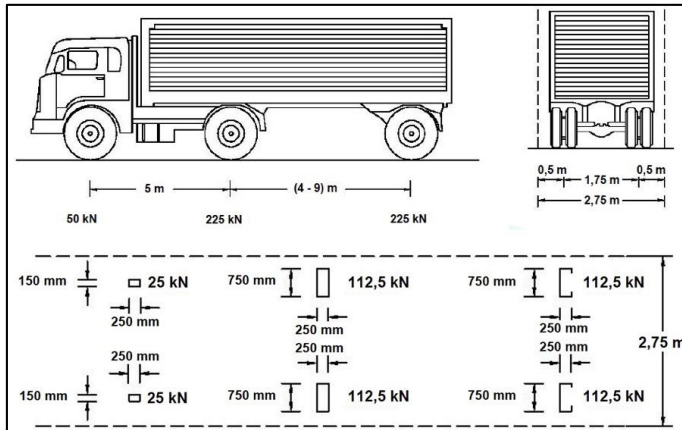
Tabel 3.6 Faktor Beban untuk Beban “T”

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

Sumber: SNI 1725:2016

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 3.3. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar

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



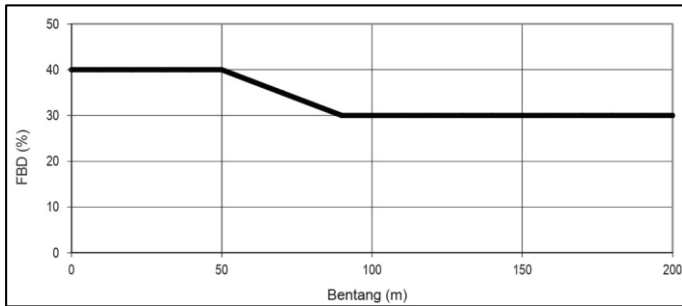
Gambar 3.3 Pembebanan truk "T" (500 kN)

Sumber: SNI 1725:2016

### Faktor Beban Dinamis

Beban statis Truk dan BGT rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 3.4. Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.





Gambar 3.4 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”

Sumber: SNI 1725:2016

### 3.5.3. Gaya Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

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

### 3.5.4. Beban Pejalan Kaki (TP)

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

### 3.5.5. Beban Angin

Beban angin yang perlu dipikul oleh jembatan ini adalah beban angin yang mengenai struktur secara langsung ( $EW_S$ ), dan beban angin yang tersalurkan melalui kendaraan ( $EW_1$ ).

## Tekanan Angin Horizontal

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

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

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

Dimana :

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

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

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

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

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

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

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- survei angin pada lokasi jembatan,

- jika tidak ada data yang lebih baik, asumsikan  $V_{10} = V_B = 90$  s/d 126 km/jam.

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

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

Sumber: SNI 1725:2016

### Beban Angin pada Struktur ( $EWS$ )

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

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

Dimana :

$P_B$  = Tekanan angin dasar, dapat dilihat pada Tabel 3.8

Tabel 3.8 Tekanan Angin Dasar

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

Sumber: SNI 1725:2016

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

### **Beban Angin dari Kendaraan ( $EW_1$ )**

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.

### **3.5.6. Pengaruh Gempa**

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

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

Dimana :

$E_Q$  = Gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{SM}$  = Koefisien respons gempa elastis

$R_d$  = Faktor modifikasi respons

$W_t$  = Berat total struktur (kN)

### **3.6. Permodelan dan Analisa Struktur Utama Jembatan Busur Menggunakan Program SAP2000**

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

### **3.7. Kontrol Material Struktur Utama**

#### **3.7.1. Kontrol Kapasitas Tekan**

- Kontrol kelangsingan :

$$\lambda = \left( \frac{K_C \cdot L}{i} \right) \quad (3.12)$$
$$\lambda < 140$$

Dimana :

- Kc = Faktor panjang tekuk
- L = Panjang batang Struktur (m)
- i = Jari-jari girasi (cm)
- $\lambda$  = Angka kelangsingan

- Menghitung parameter kelangsingan baja :

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

Setelah didapatkan nilai dari  $\lambda_c$ , gunakan salah satu rumus yang ada dibawah ini untuk mendapatkan nilai  $\omega$ .

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

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

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

Dimana :

- $\lambda$  = Angka kelangsingan
- $\lambda_c$  = Parameter kelangsingan baja
- $f_y$  = kuat leleh baja (Mpa)
- E = modulus elastisitas baja (Mpa)

- Kuat Nominal :

untuk  $\lambda_c < 1,5$

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

untuk  $\lambda_c > 1,5$

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

- Syarat kuat rencana :

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

Dimana :

$N_n$  = Kuat nominal (kg)

$P_u$  = Beban ultimate (kg)

$A_g$  = Luas penampang kotor ( $\text{cm}^2$ )

$\phi$  = faktor reduksi

$f_u$  = kuat putus (Mpa)

### 3.7.2. Kontrol Kapasitas Tarik

- Kontrol kelangsingan

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

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

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

- Kuat nominal

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

Dimana :

$P_n$  = Kuat nominal (kg)

$A_g$  = Luas penampang kotor ( $\text{cm}^2$ )

$f_y$  = Kuat leleh (Mpa)

$P_u$  = Beban Ultimate (kg)

$L$  = Panjang bentang batang (m)

$i_y$  = jari jari girasi (cm)

### 3.7.3. Kontrol Kapasitas Lentur

- Kontrol kelangsingan elemen penampang

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

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

- Kontrol kapasitas tekuk lokal

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

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

Dimana :

- b = lebar sayap profil (mm)
- tf = tebal sayap profil (mm)
- h = tinggi badan profil (mm)
- tw = tebal badan profil (mm)
- f<sub>y</sub> = kuat leleh baja (Mpa)
- E = modulus elastisitas (Mpa)
- i = jari-jari girasi (cm)
- f<sub>r</sub> = tegangan residu (Mpa)
- L<sub>B</sub> = Jarak penahan lateral
- L<sub>B</sub> < L<sub>R</sub> (bentang pendek)
- L<sub>P</sub> ≤ L<sub>B</sub> ≤ L<sub>R</sub> (bentang menengah)
- L<sub>B</sub> > L<sub>R</sub> (bentang panjang)

- Kontrol Kapasitas Lentur

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

Kapasitas lentur untuk bentang pendek:

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

Kapasitas lentur untuk bentang menengah:

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

Kapasitas lentur untuk bentang panjang

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

Dimana :

- M<sub>cr</sub> = Momen Kritis
- M<sub>n</sub> = Momen Nominal

### 3.7.4. Kontrol Kapasitas Geser

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

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

Cek kapasitas:

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

Dimana :

$\phi$  = faktor reduksi

$A_w$  = luas penampang badan profil ( $\text{cm}^2$ )

$f_y$  = kuat leleh baja (Mpa)

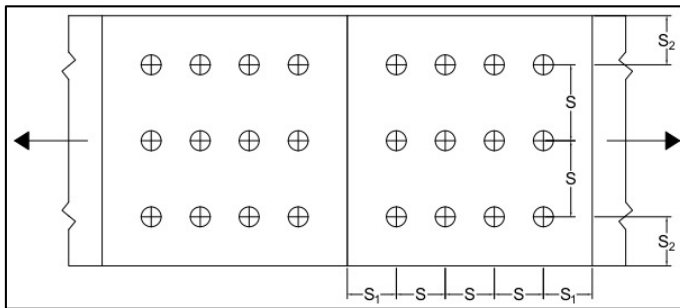
$V_u$  = Gaya geser ultimate (kg)

### 3.8. Perencanaan Sambungan

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

#### 3.8.1. Jarak Pemasangan Baut

Pemasangan baut pada sambungan memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi. sketsa pemasangan baut dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tata Letak Baut



- Jarak antar baut (S)
  - $3d_b \leq S \leq 15t_p$
  - $S \leq 200 \text{ mm}$
- Jarak Baut ke Tepi Pelat yang Terbebani ( $S_1$ )
  - $1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$
  - $S_1 \leq 200\text{mm}$
- Jarak Baut ke Tepi Pelat yang Tidak Terbebani ( $S_2$ )
  - jarak minimum
    - Tepi dipotong dengan tangan 1,75 db
    - Tepi dipotong dengan mesin 1,50 db
    - Tepi profil bukan hasil potongan 1,25 db
  - jarak maksimum
    - $S_2 \leq 12 \text{ tp}$
    - $S_2 \leq 150\text{mm}$

Dimana:

$t_p$  = Tebal pelat tertipis

$d_b$  = Diameter nominal baut

### 3.8.2. Kuat Rencana Sambungan Baut

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

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

Dimana:

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

$\phi$  = Faktor reduksi kuat sambungan baut = 0,75

### Kekuatan Baut Memikul Gaya Geser

Kuat geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut:

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

Dimana:

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

$r_1$  = 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser  
 $\phi_f$  = 0,75 adalah faktor reduksi kekuatan fraktur  
 $f_u^b$  = Tegangan tarik putus baut  
 $A_b$  = Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir  
 $V_n$  = Gaya geser nominal

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

### **Kekuatan Baut Memikul Gaya Tarik**

Kuat tarik rencana satu baut dihitung sebagai berikut :

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

Dimana:

$\phi_f$  = 0,75 adalah faktor reduksi kekuatan fraktur  
 $f_u^b$  = tegangan tarik putus baut  
 $A_b$  = luas kotor penampang baut pada daerah tak berulir

### **Baut pada Sambungan Tipe Tumpu yang Memikul Kombinasi**

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

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

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

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

Dimana:

$\phi_f$  = 0,75 adalah faktor reduksi kekuatan fraktur  
 $f_{uv}$  = Tegangan geser pada baut

n = jumlah baut  
m = jumlah bidang geser

untuk baut mutu tinggi :

f1 = 807 MPa

f2 = 621 MPa

r2 = 1,9 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

r2 = 1,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

untuk baut mutu normal :

f1 = 410 MPa

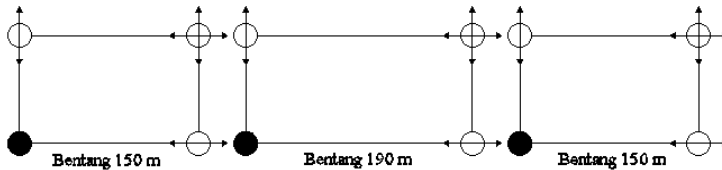
f2 = 310 MPa

r2 = 1,9

### 3.9. Perencanaan Perletakan

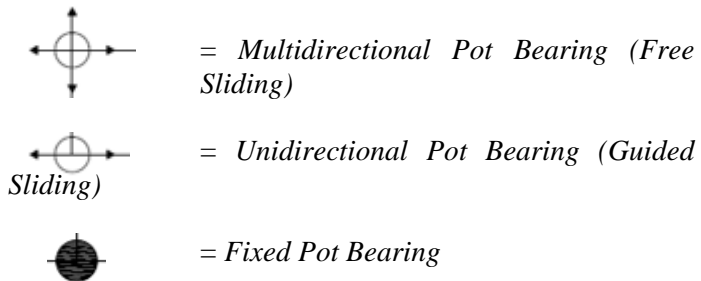
Perletakan didapat dari reaksi-reaksi tumpuan struktur, dimana beban dan dimensi seluruh struktur atas jembatan telah bekerja. Penentuan perletakan berdasarkan dimensi yang telah umum digunakan pada perencanaan jembatan. Jembatan Kali Kendeng yang telah dimodifikasi direncanakan menggunakan perletakan *pot bearing*. Pada perencanaan perletakan ini akan digunakan pot bearing pabrikan dari *Freyssinet- Tetron CD*.

Konfigurasi *pot bearing* yang digunakan pada perencanaan Jembatan Kali Kendeng dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Konfigurasi Perletakan *Pot Bearing*

Keterangan :



### 3.10. Perencanaan Kabel Penggantung

Hanger/penggantung direncanakan menggunakan tipe rod (baja bulat berulir). Dalam perencanaannya, akan digunakan spesifikasi hanger pabrikan *DYWIDAG Prestressing System using Bars*. Pada perhitungan kabel penggantung akan diuji coba dengan beban dalam kategori *Normal* dan *Accidental Load*. *Accidental Load* yang berarti diumpamakan bahwa satu kabel dengan beban

terberat ( $P_u$  Max) dalam keadaan terputus. Dan seluruh kabel yang masih tersisa harus tetap memenuhi syarat  $P_u < \phi P_n$ .

### 3.11. Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Jembatan

#### 3.11.1. Kapasitas Daya Dukung *Driven Pile*

*Standard Penetration Test* (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* ke dalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah ( $\Phi$ ) berdasarkan jumlah pukulan ( $N$ ). Harga  $N$  untuk lempung atau pasir berlanau di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi  $N'$  berdasarkan persamaan 3.39 (Terzaghi dan Peck).

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

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

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

Dimana :

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_P$  = Resistance Ultimate di dasar pondasi

$Q_S$  = Resistance Ultimate akibat tekanan lateral

Sedangkan,

$$Q_P = q_p \cdot A_p = \alpha \cdot N_p \cdot K \cdot A_p \quad (3.41)$$

Dimana :

$N_p$  = Harga rata-rata SPT disekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang

$K$  = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi

12 t/m<sup>2</sup>, untuk lempung

20 t/m<sup>2</sup>, untuk lanau berlempung

25 t/m<sup>2</sup> , untuk lanau berpasir  
 40 t/m<sup>2</sup> , untuk pasir

Sedangkan,

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \beta \cdot \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s \quad (3.42)$$

Dimana :

$q_s$  = Tegangan akibat lekukan lateral dalam t/m<sup>2</sup>

$A_s$  = Keliling dikali panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

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

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

Tabel 3.9 Base Coefficient a Decourt Et All (1996)

Soil / Pile	Drive n Pile	Bore d Pile	Bored Pile (bentonik )	Continou s Hollow Anger	Root Pile	Infected pile (High Pressure )
Clay	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Intermediat e Soil	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Sands	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

Sumber : Wahjudi, 1999

Tabel 3.10 *Base Coefficient  $\beta$  Decourt Et All (1996)*

Soil / Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (bentonik)	Continuous Hollow Anger	Root Pile	Infected pile (High Pressure)
Clay	1,0	0,80	0,90	1,0	1,5	3,0
Intermediate Soil	1,0	0,65	0,70	1,0	1,5	3,0
Sands	1,0	0,50	0,60	1,0	1,5	3,0

Sumber : Wahjudi, 1999

### 3.11.2. Efisiensi Tiang Grup (*Conferse-Labare*)

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

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

Jarak antar tiang,

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

Jarak tiang ke tepi luar,

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

Dimana:

$m$  = Jumlah baris

$n$  = Jumlah kolom

$S$  = Jarak antar tiang

$S_1$  = Jarak tiang ke tepi luar

### 3.11.3. Konstanta Pegas (*Spring*) Tiang Pancang

Konstanta pegas lateral (*spring constant*) harus diaplikasikan pada elemen tiang pondasi pada saat

permodelan. Hal tersebut diperlukan untuk memodelkan daya dukung dinamis lateral dari tanah terhadap permukaan tiang pancang. Kekakuan dari konstanta pegas diperlukan untuk mengevaluasi struktur khususnya pada saat terjadi gempa. Untuk perhitungannya dapat digunakan rumus empiris yang diambil dari persamaan 3.46 (Glick,1948).

$$ks' = \frac{22,4 Es(1-\mu)}{(1+\mu)(3-4\mu)\left(2 \ln\left(\frac{2LP}{B}\right)-0,433\right)} \quad (3.46)$$

$Es$  merupakan modulus tarik tekan yang nilainya dapat dihitung berdasarkan data *SPT* (*Standard Penetration Test*) ataupun *CPT* (*Cone Penetration Test*). Pada tugas akhir ini akan digunakan perumusan berdasarkan data *SPT* tanah eksisting. Perumusannya dapat dilihat sesuai dengan Tabel 3.11.

Tabel 3.11. Tabel Persamaan Modulus Tarik Tekan menurut Bowles

Tipe Tanah	Es (kPa)
Pasir (Terkonsolidasi Normal)	500 (N+15)
Pasir (Kondisi Jenuh)	250 (N+15)
Pasir Berbatu	1200 (N+16)
Pasir Kelempungan	320 (N+15)
Lanau, Lanau Kepasiran, Lanau Kelempungan	300 (N+6)

$\mu$  = Poisson's Ratio (nilai dapat dilihat pada Tabel 3.12)

Tabel 3.12. Tabel Poisson's Ratio (Bowles,1996)

Tipe Tanah	$\mu$
Lempung Jenuh	0,4 – 0,5
Lempung Tidak Jenuh	0,1 - 0,3
Lempung Kepasiran	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir, Pasir berbatu	0,3 – 0,4
Batu	0,1 – 0,4



<b>ks input</b>	= ks' x Lp x B
Lp	= panjang segmen tiang pancang per konstanta pegas (m)
B	= lebar pancang (m)

### 3.11.4. Perencanaan Poer

#### 1. Perencanaan Ketebalan Poer

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

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.47)$$

$$V_c = \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \quad (3.48)$$

$$V_c = \left(\frac{1}{3}\right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.49)$$

Dimana :

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek dari kolom

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

$f'_c$  = kuat tekan karakteristik beton (Mpa)

$d$  = ketebalan poer (mm)

#### 2. Kontrol Geser Satu Arah

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3.50)$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

Dimana :

$\phi$  = 0,75

$V_u$  =  $\sigma_u \cdot B \cdot bo$

$d$  = ketebalan poer (mm)

### 3. Kontrol Geser Dua Arah

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

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3.51)$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

Dimana :

$$\phi = 0,75$$

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

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

### 4. Menghitung Penulangan

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.52)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} \quad (3.53)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad (3.54)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}}\right) \quad (3.55)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot s \quad (3.56)$$

Dimana :

$f_y$  = kuat leleh baja (Mpa)

$f_c$  = kuat tekan karakteristik beton (Mpa)

### 3.12. Penggambaran Hasil Perencanaan

Seluruh hasil perhitungan, hasil akhirnya akan dituangkan dalam bentuk gambar teknik dengan menggunakan program bantu AutoCAD.

### 3.13. Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan berisi rincian dan penjadwalan dari setiap kegiatan perencanaan yang ditampilkan dalam satuan minggu. Detail jadwal kegiatan adalah sebagai berikut.

Kegiatan	Minggu Ke -															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Preliminary design	■	■														
Pembebanan		■	■													
Permodelan SAP2000			■	■	■	■										
Perencanaan struktur atas					■	■	■									
Kontrol elemen								■	■							
Perencanaan sambungan										■	■					
Perencanaan Struktur bawah												■	■	■		
Penggambaran hasil perencanaan										■	■	■	■	■	■	■
Penulisan Laporan		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Perencanaan Struktur Sekunder

#### 4.1.1 Perencanaan Tebal Pelat Lantai Kendaraan

##### a. Perencanaan Dimensi Pelat

➤ Data Perencanaan:

- Bentang sumbu panjang ( $l_y$ ) = 5,00 m
- Bentang sumbu pendek ( $l_x$ ) = 1,5 m

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{5}{1,5} = 3,3 \geq 2 \text{ (one way slab)}$$

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 5.5.2. Pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum  $t_s$  memenuhi ketentuan dibawah ini:

- $t_s \geq 200 \text{ mm}$
- $t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm}$   
 $\geq (100 + 40 \cdot 1,50) \text{ mm}$   
 $\geq 160 \text{ mm}$

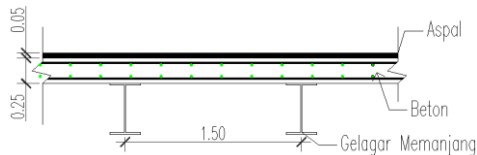
Dengan pengertian :

$l$  = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan  
(dalam satuan meter)

$t_s$  = tebal slab/pelat

Sehingga direncanakan :

- Tebal = 200 mm
- Tebal aspal = 50 mm (SNI 1725:2016 Psl. 7.3.1)



Gambar 4.1. Potongan Melintang Pelat Lantai Kendaraan

**b. Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan**

Pembebanan pada pelat lantai kendaraan menggunakan kombinasi antara beban mati dan beban hidup.

➤ **Faktor Beban**

- Beton cor ditempat →  $K_{MS}^u = 1,3$   
(Tabel 3-SNI 1725:2016)
- Muatan Truk →  $K_{TT}^u = 2$   
(Tabel 13-SNI 1725:2016)
- $\gamma$  Beton 35 MPa =  $22+0,022fc' = 22,77 \text{ kN/m}^3$   
(Tabel 2-SNI 1725:2016)
- $\gamma$  Baja =  $78,5 \text{ kN/m}^3$   
(Tabel 2-SNI 1725:2016)
- $\gamma$  Aspal =  $22 \text{ kN/m}^3$   
(Tabel 2-SNI 1725:2016)

➤ **Pembebanan**

**a. Beban mati (dihitung per 1 m panjang)**

- Berat sendiri pelat =  $t_s \times \gamma_{\text{beton}} \times 1\text{m} \times K_{MS}^u$   
 $= 0,2 \text{ m} \times 2277 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m}$   
 $\times 1,3$   
 $= 592,02 \text{ kg/m}$
- Berat aspal =  $t_{\text{aspal}} \times \gamma_{\text{aspal}} \times 1\text{m} \times K_{MS}^u$   
 $= 0,05\text{m} \times 2200\text{kg/m}^3 \times 1\text{m}$   
 $\times 1,3$   
 $= 143,00 \text{ kg/m}$

Total Beban mati ( $q_D$ ) =  $735,02 \text{ kg/m}$

**b. Beban hidup**

Menurut SNI 1725:2016 ps. 8.4.1

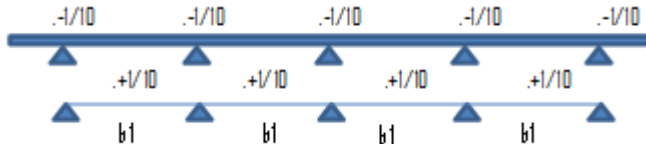
- Beban truk "T" =  $112,5 \text{ kN} = 11,25 \text{ Ton} = 11250 \text{ kg}$
- Faktor kejut (DLA = *Dynamic Load Allowance*)  
 $= 0,3 \dots$  (SNI 1725:2016 Gambar 28) untuk  
bentang  $L \geq 90 \text{ m}$   
 $T_u = 11250 \text{ kg} \times (1+0,3) \times 2$

$$= 29250 \text{ kg}$$

$$\text{Total Beban Hidup } (q_L) = 29250 \text{ kg}$$

**c. Perhitungan Momen**

Untuk balok menerus, rumus sederhana perhitungan momen adalah sbb



Gambar 4.2 Momen Balok Menerus Potongan Melintang

➤ **Momen akibat beban mati**

$$M_D = (1/10) \times q_D \times b1^2$$

$$= (1/10) \times 735,02 \text{ kg/m} \times (1,5 \text{ m})^2$$

$$= 165,38 \text{ kg.m}$$

➤ **Momen akibat beban hidup**

$$M_L = 0,8 \times (b1 + 0,6) \times Tu / 10$$

$$= 0,8 \times (1,5\text{m} + 0,6) \times 29250 \text{ kg} / 10$$

$$= 4914 \text{ kg.m}$$

$$M_u = M_D + M_L$$

$$= 165,38 \text{ kg.m} + 4914 \text{ kg.m} = 5079,38 \text{ kg.m}$$

**4.1.2 Perhitungan Penulangan**

➤ **Data Perencanaan:**

- $f_y$  = 390 Mpa
- $f_c'$  = 35 Mpa
- $\beta_1$  =  $0,85 - 0,008(f_c' - 30)$   
 $= 0,85 - 0,008(35 - 30) = 0,85$   
(RSNI T-12-2004 Pasal 5.1.1) dan tidak boleh diambil kurang dari 0,65
- $d'$  = 40 mm (RSNI T-12-2004 Tabel 4.6-7)
- $t_s$  = 200 mm
- $\phi_{lentur}$  = 0,8 (RSNI T-12-2004 Tabel 4.5-2)

- $\phi_{geser} = 0,7$  (RSNI T-12-2004 Tabel 4.5-2)
- $b = 1000$  mm
- Diameter tulangan  $\rightarrow D = 16$  mm  
 $\rightarrow \emptyset = 13$  mm
- $dx = ts - d' - (1/2) D$   
 $= 200$  mm -  $40$  mm -  $(1/2)16$  mm  
 $= 152$  mm
- $dy = ts - d' - D - (1/2) D$   
 $= 200$  mm -  $40$  mm -  $16$  mm -  $(1/2) 16$  mm  
 $= 136$  mm

**a. Perhitungan Penulangan Melintang**

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 f_c' \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81 \left( \frac{600}{600 + 390} \right)}{400}$$

$$= 0,0391$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 390 = 0,0036$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,5 \times 0,0391 = 0,0293$$

(SNI 2847:2013 Pasal B.8.4.2)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \cdot 35} = 13,1$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{50793795}{0,8} = 63492243,75 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot dx^2} = \frac{63492243,75 \text{ Nmm}}{1000 (152 \text{ mm})^2} = 2,75 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{12,1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12,1 \cdot 2,78}{360}} \right) = 0,0074$$

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

$$0,0036 < 0,0074 < 0,0293 \text{ (OK)}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x \\ = 0,0074 \times 1000 \times 152 = 1125,7 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\text{max}} \leq 2 \cdot h \\ \leq 2 \cdot 200 \text{ mm} \\ \leq 400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D16, sehingga jarak antar tulangan:

$$S = \frac{0,25 \pi D^2 b}{A_{S_{\text{perlu}}}} = \frac{0,25 \pi 16^2 1000}{1125,7 \text{ mm}} = 178,7 \text{ mm}$$

$$S = 178,7 \text{ mm} < 500 \text{ mm (OK)}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai D16-150 mm

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \pi D^2 b}{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \pi 16^2 1000}{150 \text{ mm}} = 1340,42 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = 1340,42 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 1125,7 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

## b. Perhitungan Penulangan Memanjang

Tulangan susut dan suhu

$$A_s = 0,0018 \times b \times d_y \\ = 0,0018 \times 1000 \times 136 \text{ mm} = 244,8 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan yang diperlukan

$$S_{\text{perlu}} = \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{A_s} = \frac{0,25 \pi 13^2 1000}{244,8 \text{ mm}^2} = 542,4 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} \leq 5 h \text{ atau } \leq 450 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.2)

$$S_{\text{max}} \leq 5 h \\ \leq 5 \times 200 \text{ mm} \\ \leq 1000 \text{ mm}$$

$$S_{\text{perlu}} = 542 \text{ mm} < S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$



$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan  $\text{Ø}13\text{-}200\text{mm}$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \pi 13^2 1000}{200 \text{ mm}} = 663,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = 663,66 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 244,8 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

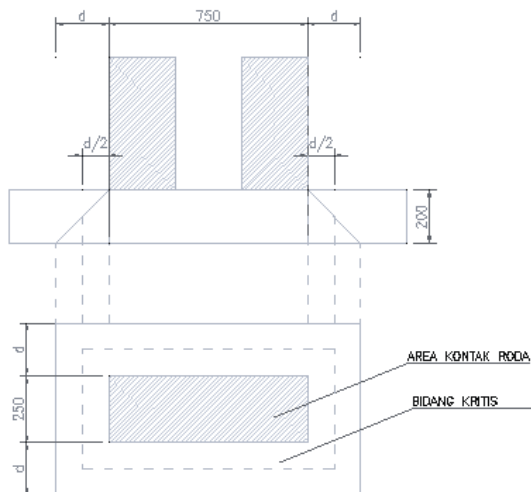
### c. Kontrol Geser (Pons) Pelat Lantai

Perencanaan penampang akibat geser didasarkan pada roda tengah. Dengan  $V_n < \phi V_c$  Dimana:

$V_n$  = gaya geser nominal terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_c$  = kuat geser nominal beton tanpa memperhitungkan tulangan geser

Muatan 'T' diambil sebesar  $P = 112,5\text{kN}$  dengan luas bidang kontak roda  $500\text{mm} \times 200\text{mm}$  seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.3 Bidang Kritis Pada Pelat Lantai Kendaraan

- Keliling Kritis

$$\begin{aligned}
 U &= 2 (b_0 + d_0) \\
 &= \left( 2 \frac{d}{2} + 250 \right) + \left( 2 \frac{d}{2} + 750 \right) \\
 &= \left( 2 \frac{200}{2} + 250 \right) + \left( 2 \frac{200}{2} + 750 \right) \\
 &= 2800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Gaya Geser Ultimate

$$\begin{aligned}
 V_U &= K_{TT}^U \times 'T' \times (1 + DLA) \\
 &= 2 \times 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \\
 &= 292,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= (1/6) \sqrt{f_c} \times b_w \times d = (1/6) \sqrt{35} \times 2800 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \\
 &= 552167 \text{ N} = 552,167 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,7 \times 552,167 \text{ N} = 386,52 \text{ kN}$$

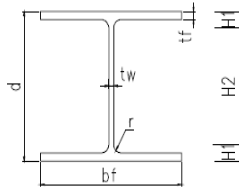
- Kontrol

$$\begin{aligned}
 V_U &< \phi V_c \\
 292,5 \text{ kN} &< 386,52 \text{ kN} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa perhitungan diatas, didapat bahwa besarnya beban  $\phi V_c > V_U$ , maka pelat lantai kendaraan cukup kuat untuk menerima beban roda truk terpusat pada tengah bentang pelat lantai kendaraan.

### 4.1.3 Perencanaan Balok Memanjang

- Direncanakan menggunakan Profil: WF 450.200.9.14



Gambar 4.4 Profil Balok Memanjang

$$\begin{aligned} A &= 96,76 \text{ cm}^2 \\ w &= 76 \text{ kg/m} = 0,760 \text{ kN/m} \\ Z_x &= 1490 \text{ cm}^3 \\ Z_y &= 187 \text{ cm}^3 \\ I_x &= 33500 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 1870 \text{ cm}^4 \\ i_x &= 18,6 \text{ cm} \\ i_y &= 4,4 \text{ cm} \\ r &= 18 \text{ mm} \\ d &= 450 \text{ mm} \\ t_w &= 9 \text{ mm} \\ t_f &= 14 \text{ mm} \\ h &= d - 2(t_f + r) = 386 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Data Bahan:

$$\begin{aligned} \text{BJ} &= 50 \\ f_y &= 2900 \text{ kg/cm}^2 \\ f_u &= 5000 \text{ kg/cm}^2 \\ E &= 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Pembebanan:

a. Beban mati

- Beban pelat beton

$$= t_{\text{plat}} \times \gamma_{\text{beton}} \times b_l$$

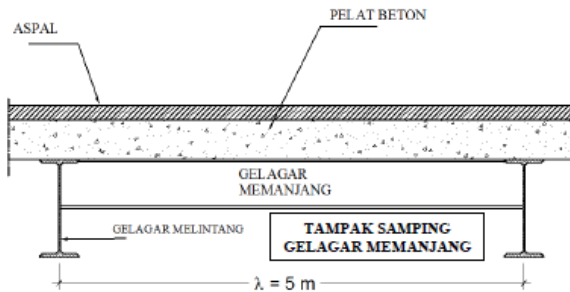
$$= 0,20 \text{ m} \times 22,77 \text{ kN/m}^3 \times 1,5 \text{ m}$$

$$= 6,83 \text{ kN/m}$$

→ Faktor beban = 1,3

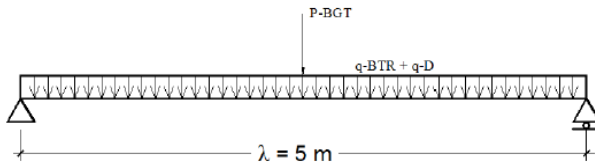
(SNI 1725:2016 Tabel 3)

- Beban aspal  
Lapisan aspal harus direncanakan untuk pelapisan kembali setebal 50 mm yang ditambahkan pada lapisan awal (RSNI T-02 2005 p. 5.3.2).  
 $= t_{\text{aspal}} \times \gamma_{\text{aspal}} \times b1$   
 $= 0,05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 1,5 \text{ m}$   
 $= 1,65 \text{ kN/m}$  → Faktor beban = 1,3
- Beban bekisting  
 $= 0,5 \text{ kN/m} \times b1$   
 $= 0,5 \text{ kN/m}^2 \times 1,5 \text{ m}$   
 $= 0,75 \text{ kN/m}$  → Faktor beban = 1,4
- Beban sendiri profil  
 $= 0,760 \text{ kN/m}$  → Faktor beban = 1,1



Gambar 4.5 Pembebanan (beban mati) pada gelagar memanjang

b. Beban hidup



Gambar 4.6 Pembebanan BGT dan BTR pada gelagar memanjang

- Beban Terbagi Rata (BTR)

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

$$q \text{ BTR} = 9 \times \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kN/m}^2$$

$$q \text{ BTR} = 9 \times \left( 0,5 + \frac{15}{190} \right) = 5,21 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} q &= q \text{ BTR} \times b_1 \\ &= 5,21 \text{ kN/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\ &= 7,82 \text{ kN/m} \quad \rightarrow \text{Faktor Beban} = 2 \end{aligned}$$

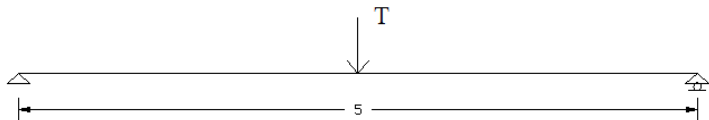
- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$\text{DLA} = 30 \% \text{ untuk } L > 90 \text{ m}$$

$$P \text{ BGT} = 49 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} P &= P_{\text{BGT}} (1 + \text{DLA}) \times b_1 \\ &= 49 \text{ kN/m} (1 + 0,3) \times 1,5 \text{ m} \\ &= 95,55 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Faktor Beban} = 2 \end{aligned}$$

- Truk (T)



Gambar 4.7 Pembebanan Truk

$$\text{DLA} = 0,3$$

$$T = 112,5 \text{ kN (SNI 1725:2016)}$$

Menurut SNI 1725:2016 Pasal 8.4.1 tentang besarnya beban truk "T" di tentukan:

$$\begin{aligned} T_u &= T \times (1 + \text{DLA}) \\ &= 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \\ &= 146,25 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Faktor beban} = 2 \end{aligned}$$

- Rekapitulasi pembebanan

Tabel 4.1 Rekapitulasi pembebanan gelagar memanjang

Jenis Beban	Nilai	LF	Total
<b>Beban Mati (DL)</b>			
Beban Pelat beton	6,83 kN/m	1,3	8,88 kN/m
Beban Aspal	1,65 kN/m	1,3	2,15 kN/m
Beban Bekisting	0,75 kN/m	1,4	1,05 kN/m
Beban sendiri profil	0,76 kN/m	1,1	0,84 kN/m
<b>Beban Hidup (DL)</b>			
Beban BTR	7,82 kN/m	2	15,64kN/m
Beban BGT	95,55 kN	2	191,1 kN
Beban Truk	146,25 kN	2	292,5 kN

**a. Hasil Analisa Perhitungan Momen**

➤ Momen akibat beban mati :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Total}} &= 8,88 \text{ kN/m} + 2,15 \text{ kN/m} + 1,05 \text{ kN/m} + \\
 &\quad 0,84 \text{ kN/m} \\
 &= 12,92 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{DL}} &= \frac{1}{8} \times Q_{\text{total}} \times \lambda^2 = \frac{1}{8} \times 12,92 \text{ kN/m} \times (5\text{m})^2 \\
 &= 40,375 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

➤ Momen akibat beban hidup :

Momen akibat beban BGT dan BTR :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{L}} &= \frac{1}{8} \times q \times \lambda^2 + \frac{1}{4} \times P \times \lambda \\
 &= \frac{1}{8} \times 15,64 \text{ kN/m} \times (5\text{m})^2 + \frac{1}{4} \times 191,1 \text{ kN} \times 5 \text{ m} \\
 &= 288,25 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

➤ Momen akibat beban Truk :

$$M_T = \frac{1}{4} \times P \times \lambda = \frac{1}{4} \times 292,5 \text{ kN} \times 5 \text{ m} = 365,625 \text{ kNm}$$

Karena  $M_L < M_T$ , maka dipakai momen akibat beban Truk yaitu sebesar  $M_T = 365,63 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= M_T + M_D \\ &= 365,63 \text{ kNm} + 40,375 \text{ kNm} \\ &= 406,005 \text{ kNm} \end{aligned}$$

## b. Analisa Kapasitas Penampang Balok Memanjang

Analisa kapasitas penampang untuk mengetahui kuat lentur, geser dan lendutan.

➤ Tekuk lokal :

- Sayap : (RSNI T-03-2005 tabel B4.1b)

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{200 \text{ mm}}{2 \times 14 \text{ mm}} = 7,140$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,983$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

- Badan : (RSNI T-03-2005 ps.7.7.1)

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{386 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 42,9$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,658$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  (penampang kompak) maka kuat lentur nominal penampang adalah  $M_n = M_{px} = Z_x f_y$

$$\begin{aligned} M_{px} = M_n &= Z_x f_y = 1621000 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ &= 470090000 \text{ Nmm} = 470,090 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,90 \times 470,09 \text{ kNm} \\ &= 423,081 \text{ kNm} > \text{Mu} = 406,005 \text{ kNm} \end{aligned}$$

➤ Tekuk lateral :

$$L_b = 500 \text{ cm} = 5000 \text{ mm}$$

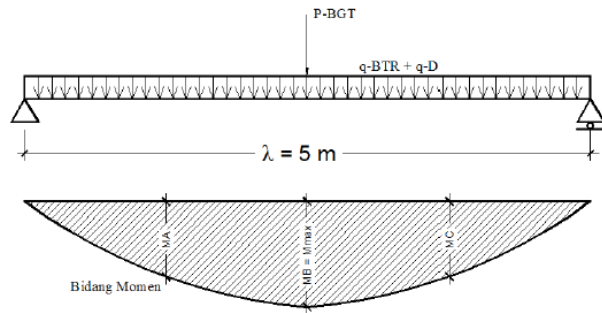
$$L_p = 1,76 \times i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 4,4 \text{ cm} \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2900}}$$

$$= 2033,67 \text{ mm}$$

$$L_R = 564,535 \text{ cm} = 5645,35 \text{ mm}$$

$L_p < L_b < L_R$ : termasuk dalam bentang menengah.

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



Gambar 4.8 Bidang momen pada gelagar memanjang

$$M_a = M_c = \left( \left( \frac{q \times L}{2} + \frac{P}{2} \right) \times \frac{L}{4} \right) - \left( \frac{1}{2} \times q \times \frac{L}{4} \right)^2 =$$

$$\left( \left( \frac{15,64 \text{ kN/m} \times 5 \text{ m}}{2} + \frac{292,5 \text{ kN}}{2} \right) \times \frac{5 \text{ m}}{4} \right) - \left( \frac{1}{2} \times 15,64 \text{ kN/m} \times \left( \frac{5 \text{ m}}{4} \right)^2 \right)$$

$$M_a = M_c = 180,37 \text{ kN/m}$$

$$M_b = M_{\max} = \left( \left( \frac{q \times L}{2} + \frac{P}{2} \right) \times \frac{L}{2} \right) - \left( \frac{1}{2} \times q \times \frac{L}{2} \right)^2 =$$



$$\left( \left( \frac{15,64 \text{ kN/m} \times 5 \text{ m}}{2} + \frac{292,5 \text{ kN}}{2} \right) \times \frac{5 \text{ m}}{2} \right) - \left( \frac{1}{2} \times 15,64 \text{ kN/m} \times \left( \frac{5 \text{ m}}{2} \right)^2 \right)$$

$$M_b = M_{\max} = 336,3 \text{ kN/m}$$

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

$$= \frac{12,5(336,3)}{2,5(336,3) + 3(180,37) + 4(336,3) + 3(180,37)}$$

$$= 1,29$$

$$M_r = S_x (f_y - f_r) = 1490000 \text{ mm} (290 - 70)$$

$$= 327800000 \text{ Nmm} = 327,8 \text{ kNm}$$

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

$$= 1,29 \left[ 327,8 + (470,09 - 327,8) \frac{(5645,35 - 5000)}{(5645,35 - 2033,67)} \right]$$

$$= 707,23 \text{ kNm}$$

Dari tekuk lokal dan lateral, dipilih  $M_n$  (tekuk lokal) = 470,09 kNm

Kapasitas momen :

$$\phi M_n = 0,90 \times 470,09 \text{ kNm}$$

$$= 423,081 \text{ kNm} > M_u = 399,7 \text{ kNm}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

### c. Kontrol Kapasitas Geser

Gaya geser maksimum terjadi apabila beban hidup berada dekat dengan perletakan.

a. Untuk beban hidup (UDL + KEL) :

$$V_{a \max} = (P \times 1) + \left( Q_L \times \frac{1}{2} \times \lambda \right)$$

$$= (191,1 \text{ kN} \times 1) + \left( 15,64 \text{ kN/m} \times \frac{1}{2} \times 5 \right)$$

$$= 230,2 \text{ kN}$$

b. Untuk beban T :

$$V_{a \text{ max}} = T \times (1 + DLA) \times 1 \times LF$$

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

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

c. Untuk beban Qd :

$$V_{a \text{ max}} = \left( Qd \times \frac{1}{2} \times \lambda \right) Qd \text{ tanpa dikalikan LF}$$

$$= \left( 9,99 \text{ kN/m} \times \frac{1}{2} \times 5 \text{ m} \right)$$

$$= 24,975 \text{ kN}$$

Jadi  $V_a$  yang digunakan adalah  $V_a$  akibat beban truk sebesar 292,5 kN (yang terbesar yang menentukan), maka kuat geser sebagai berikut (RSNI T-03-2005 ps.7.8):

Luas penampang badan

$$\frac{h}{tw} = \frac{386}{9} = 42,89$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \left( \frac{5}{(96,76 \text{ cm}^2 / 38,6 \text{ cm})} \right) = 5,796$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_n \times E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5,796 \times 2 \times 10^5}{290}} = 68,968$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n \times E}{f_y}}, \text{ maka kuat geser :}$$

$$\phi V_n = \phi \times 0,6 \times f_y \times A_w$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 290 \text{ N/mm}^2 \times (450 \text{ mm} \times 9 \text{ mm})$$

$$= 634230 \text{ N} = 634,23 \text{ kN}$$

$$= 634,23 \text{ kN} \geq 292,5 \text{ kN}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan geser yang terjadi.

**d. Interaksi Geser dan Lentur**

Jika momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang, maka gelagar harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser (RSNI T-03-2005 ps.7.9.3), yaitu :

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{406,005 \text{ kNm}}{423,081 \text{ kNm}} + 0,625 \frac{292,5 \text{ kN}}{634 \text{ kN}} \leq 1,375$$

$$1,247 < 1,375$$

Maka penampang telah memenuhi interaksi geser dan lentur.

**e. Kontrol Lenturan**

Lenturan dianalisa berdasarkan kemampuan layan akibat beban hidup untuk gelagar memanjang. Menurut RSNI T-03-2005 ps.4.7.2 menyatakan lenturan maksimum gelagar diatas dua tumpuan adalah L/800.

$$\delta_{\text{ijin}} = 500/800 = 0,63 \text{ cm}$$

a. Lenturan akibat beban hidup ( BGT+ BTR):

$$\delta_{\text{(udl + kel)}} = \frac{5}{384} \times \frac{q_L \lambda^4}{E I_x} + \frac{1}{48} \times \frac{P_1 \lambda^3}{E I_x}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{7,82 \times (500)^4}{2 \times 10^6 \times 33500} + \frac{1}{48} \times \frac{9555 \times (500)^3}{2 \times 10^6 \times 33500}$$

$$= 0,466 \text{ cm}$$

b. Lenturan akibat beban truck :

$$\delta_{\text{(T)}} = \frac{1}{48} \times \frac{P_T \lambda^3}{E I_x}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{48} \times \frac{14625 \times (500)^3}{2 \times 10^6 \times 33500} \\
 &= 0,568 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

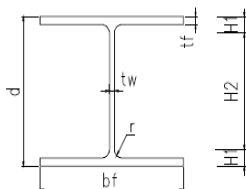
Dipakai beban dari lendutan yang lebih besar yaitu akibat beban Truk = 0,568 cm

Syarat:  $\delta_{(T)} \leq \delta_{\text{ijin}}$

$$0,568 \leq 0,63 \text{ (OK)}$$

#### 4.1.4 Perencanaan Balok Melintang

- Direncanakan menggunakan Profil: WF 900.400.16.38



Gambar 4.9 Profil Balok Melintang

A	= 438,34 cm <sup>2</sup>
w	= 344,1 kg/m = 3,44 kN/m
Z <sub>x</sub>	= 14215,02 cm <sup>3</sup>
Z <sub>y</sub>	= 2028,1 cm <sup>3</sup>
I <sub>x</sub>	= 639676,1 cm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	= 40561,5 cm <sup>4</sup>
i <sub>x</sub>	= 38,2 cm
i <sub>y</sub>	= 9,62 cm
r	= 11,2 mm
d	= 900 mm
b	= 400 mm
tw	= 16 mm
tf	= 38 mm
h	= d - 2 (tf + r) = 801,6 mm

- Data Bahan:

BJ	50
f <sub>y</sub>	= 2900 kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>u</sub>	= 5000 kg/cm <sup>2</sup>
E	= 2 x 10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>

**a. Hasil Analisa Perhitungan Momen**

➤ Pembebanan:

Sebelum komposit

a. Beban mati

- Balok memanjang

$$= ( W \times \lambda / b1 ) \times LF$$

$$= ( 0,76 \times 5 / 1,5 ) \times 1,1 = 2,78 \text{ kN/m}$$

- Beban sendiri profil (balok melintang)

$$= \text{berat profil} \times LF$$

$$= 3,44 \text{ kN/m} \times 1,1 = 3,78 \text{ kN/m}$$

- Beban pelat beton

$$= t_{\text{plat}} \times \gamma_{\text{beton}} \times \lambda \times Ku^{MS}$$

$$= 0,20 \text{ m} \times 22,77 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m} \times 1,3 = 29,6 \text{ kN/m}$$

- Beban bekisting

$$= 0,5 \text{ kN/m} \times \lambda \times LF$$

$$= 0,5 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} \times 1,4 = \underline{3,5 \text{ kN/m}}$$

$$Q_{D1} = \underline{39,66 \text{ kN/m}}$$

$$= 3966 \text{ kg/m}$$

$$M_{Q1} = 1/8 \times Q_{D1} \times B^2$$

$$= 1/8 \times 39,66 \text{ kN/m} \times (11\text{m})^2$$

$$= 599,86 \text{ kNm} = 59986 \text{ kg.m}$$

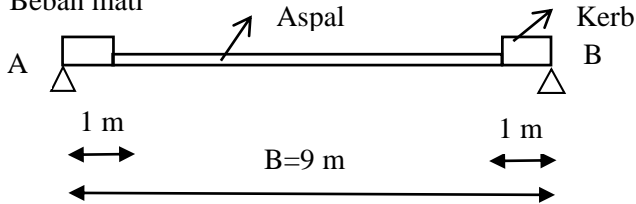
$$V_{Q1} = 1/2 \times Q_{D1} \times B$$

$$= 1/2 \times 39,66 \text{ kN/m} \times 11\text{m}$$

$$= 218,13 \text{ kN} = 21813 \text{ kg}$$

Setelah komposit

a. Beban mati



Gambar 4.10 Pembebanan gelagar melintang

- Berat Aspal

$$= t_{\text{aspal}} \times \gamma_{\text{aspal}} \times \lambda \times LF$$

$$= 0,05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m} \times 1,3 = 7,15 \text{ kN/m}$$

- Berat kerb

$$= t_{\text{kerb}} \times \gamma_{\text{beton}} \times \lambda \times LF$$

$$= 0,2 \text{ m} \times 22,77 \text{ kN/m}^3 \times 5 \text{ m} \times 1,3 = \underline{29,6 \text{ kN/m}} +$$

$$Q_{B2} = 36,75 \text{ kN/m}$$

$$= 3675 \text{ kg/m}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$V_a \cdot 11 \text{ m} = ((q_{\text{kerb}} \times L_{\text{kerb}}) \times \text{Jarak ke titik B}) + (q_{\text{aspal}} \times L_{\text{aspal}} \times \text{Jarak ke Titik B}) + ((q_{\text{kerb}} \times L_{\text{kerb}}) \times \text{Jarak ke titik B})$$

$$= (29,6 \text{ kN/m} \times 1 \text{ m}) \times 10,5 \text{ m} + (7,15 \text{ kN/m} \times 9 \text{ m}) \times 5,5 \text{ m} + (29,6 \text{ kN/m} \times 1 \text{ m}) \times 0,5 \text{ m}$$

$$V_a \cdot 11 \text{ m} = 310,8 \text{ kN.m} + 353,925 \text{ kN.m} + 14,8 \text{ kN.m}$$

$$V_a \cdot 11 \text{ m} = 679,525 \text{ kN.m}$$

$$V_a = 61,775 \text{ kN} = 6177,5 \text{ kg}$$

$$M_{Q2} = (V_a \times 0,5 L_{\text{Bentang}}) - (q_{\text{kerb}} \times L_{\text{Kerb}} \times (0,5 L_{\text{Kerb}} + 0,5 L_{\text{Aspal}})) - (q_{\text{Aspal}} \times 0,5 L_{\text{Aspal}} \times L_{\text{aspal}})$$

$$= (V_a \times 5,5 \text{ m}) - (29,6 \text{ kN/m} \times 1 \text{ m} \times 5 \text{ m}) - (7,15 \text{ kN/m} \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 2,25 \text{ m})$$

$$= (61,775 \text{ kN} \times 5,5 \text{ m}) - 148 \text{ kN.m} - 72,39 \text{ kN.m}$$

$$= 119,37 \text{ kN.m} = 119,37 \text{ kg.m}$$

b. Beban Hidup

- Beban hidup merata (BTR)

(SNI 1725:2016 ps. 8.3.1)

$L > 30$  m ;

$$q_{\text{BTR}} = 9 \times \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

$L = 150$  m, maka :

$$q_{\text{BTR}} = 9 \times \left( 0,5 + \frac{15}{150} \right) = 5,4 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} q &= q_{\text{BTR}} \times \lambda \times K_u^{\text{TD}} \\ &= 5,4 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} \times 2 \\ &= 54 \text{ kN/m} = 5400 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

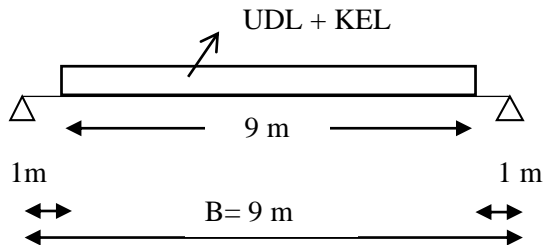
- Beban hidup Garis (BGT)

DLA = 30 % untuk  $L = 150$  m

(SNI 1725:2016 Gambar 28)

P BGT = 49 kN/m

$$\begin{aligned} P &= \text{PBGT} (1 + \text{DLA}) \times K_u^{\text{TD}} \\ &= 49 \text{ kN/m} (1 + 0,3) \times 2 \\ &= 127,4 \text{ kN/m} = 12740 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 4.11 Pembebanan akibat beban BTR dan BGT

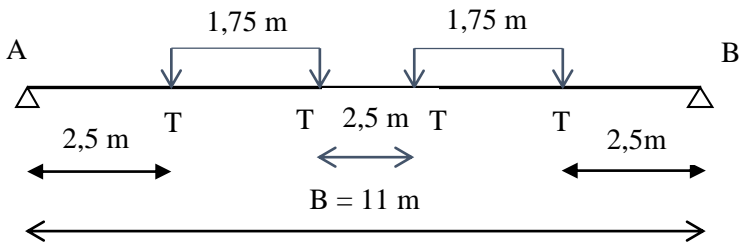
Beban D (q) = Beban BTR + Beban BGT

$$= 54 \text{ kN/m} + 127,4 \text{ kN/m} = 181,4 \text{ kN/m}$$



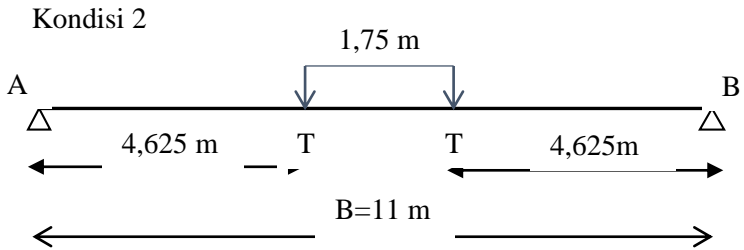
$$\begin{aligned}
 V_a &= q \times 9 \text{ m} \times 0,5 \\
 &= 181,4 \text{ kN/m} \times 9 \text{ m} \times 0,5 \\
 &= 816,3 \text{ kN} \\
 M_{\max} &= (V_a \times 5,5 \text{ m}) - (q \times 4,5 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}) \\
 &= (816,3 \text{ kN} \times 5,5 \text{ m}) - (181,4 \text{ kN/m} \times 4,5 \text{ m} \\
 &\quad \times 2,25 \text{ m}) \\
 &= 2652,975 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Beban Truk "T"  
Kondisi 1



Gambar 4.12 Pembebanan akibat beban Truk (Kondisi 1)

$$\begin{aligned}
 T &= 112,5 \text{ kN} \\
 T_u &= T \times (1+0,3) \times K_{TT}^u \\
 &= 112,5 \text{ kN} \times (1+0,3) \times 2 = 292,5 \text{ kN} \\
 \sum M_B &= 0 \\
 V_a \cdot 11 \text{ m} &= T_u (8,5 \text{ m} + 6,75 \text{ m} + 4,25 \text{ m} + 2,5 \text{ m}) \\
 V_a \cdot 11 \text{ m} &= 292,5 \text{ kN} \times 22 \text{ m} \\
 V_a &= (6435 \text{ kN.m} / 11 \text{ m}) \\
 &= 585 \text{ kN} \\
 M_{\max} &= (V_a \times 5,5 \text{ m}) - T_u (0,5 \times 2,5 \text{ m} + (0,5 \\
 &\quad \times 2,5 \text{ m}) + 1,75 \text{ m}) \\
 &= (585 \text{ kN} \times 5,5 \text{ m}) - (292,5 \text{ kN} \times (1,25 \\
 &\quad \text{m} + 3 \text{ m})) \\
 M_{\max} &= 2652,975 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.13 Pembebanan akibat beban Truk (Kondisi 2)

$$\begin{aligned}
 \sum M_B &= 0 \\
 V_a \cdot 11 \text{ m} &= T_u (4,625 \text{ m} + 6,375 \text{ m}) \\
 V_a \cdot 11 \text{ m} &= 292,5 \text{ kN} \times 11 \text{ m} \\
 V_a &= 292,5 \text{ kN} \\
 M_{\max} &= (V_a \times 5,5 \text{ m}) - (T_u \times (0,5 \times 1,75 \text{ m})) \\
 &= (292,5 \text{ kN} \times 5,5 \text{ m}) - (292,5 \text{ kN} \times 0,875 \text{ m}) \\
 M_{\max} &= 1352,813 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Dari perbandingan momen setelah komposit didapatkan beban hidup yang menghasilkan momen terbesar adalah kondisi 1 beban truk yaitu sebesar  $2652,975 \text{ kNm}$ . Maka momen ultimate dapat dihitung dari penjumlahan momen akibat beban mati sebelum komposit ( $M_{Q1}$ ), beban mati setelah komposit ( $M_{Q2}$ ) dan beban hidup setelah komposit ( $M_T$ )

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_{Q1} + M_{Q2} + M_T \\
 &= 599,86 \text{ kNm} + 119,37 \text{ kN.m} + 2652,975 \\
 &\quad \text{kN.m} \\
 &= 3372,2 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

**b. Analisa Kapasitas Penampang Balok Melintang**

Analisa kapasitas penampang untuk mengetahui kuat lentur, geser dan lendutan.

Kontrol kapasitas lentur

➤ Tekuk lokal :

- Sayap : (RSNI T-03-2005 ps.7.4.2)

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \times 34} = 4,42$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{fy}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,98$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{fy - fr}} = \frac{370}{\sqrt{290 - 70}} = 24,945$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

- Badan : (RSNI T-03-2005 ps.7.7.1)

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{776 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} = 43,11$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,653$$

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{fy}} = \frac{2550}{\sqrt{290}} = 132,12$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  (penampang kompak) maka kuat lentur nominal penampang adalah  $M_n = M_p = Z_x f_y$

$$Z_x = 14215,02 \text{ cm}^3 = 14215020 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = Z_x \times f_y = 14215020 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ = 4122355800 \text{ Nmm} = 4122,3 \text{ kNm}$$

- Tekuk lateral : (RSNI T-03-2005: tabel 8)

$$L = 1500 \text{ mm}$$

$$fr = 70 \text{ Mpa}$$

$$fL = fy - fr = 290 \text{ Mpa} - 70 \text{ Mpa} = 220 \text{ Mpa}$$

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$L_p = 1,76 \times i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,76 \times 6,56 \text{ mm} \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2900}} = 303,2 \text{ cm}$$

$$= 3032 \text{ mm}$$

$$L_R = 898,71 \text{ cm} = 8987,1 \text{ mm}$$

$L_b < L_p$  : termasuk dalam bentang pendek.

Maka kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur :

$$M_n = M_p$$

(RSNI T-03-2005 Pasal 7.3.3)

$$M_n = M_p = Z_x \times f_y = 14215020 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4122355800 \text{ Nmm} = 4122,35 \text{ kNm}$$

Kapasitas momen :

$$\phi M_n = 0,90 \times 4122,35 \text{ kNm}$$

$$= 3710,1 \text{ kNm} > M_u = 3372,2 \text{ kNm}$$

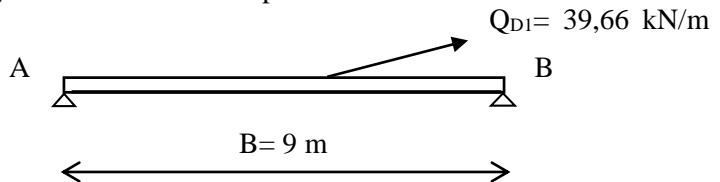
Cek Rasio balok :

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{3372,2}{3710,1} = 0,91 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

### c. Kontrol kapasitas geser

1. Gaya Geser sebelum komposit

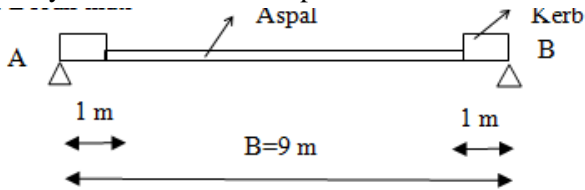


Gambar 4.14 Beban merata geser sebelum komposit

$$V_{D1} = 0,5 \times Q_{D1} \times B$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,5 \times 39,66 \text{ kN/m} \times 9 \text{ m} \\
 &= 178,47 \text{ kN} = 17847 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

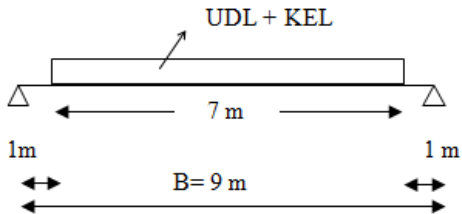
2. Gaya Geser setelah komposit



Gambar 4.15 Beban merata geser setelah komposit

$$\begin{aligned}
 V_{D2} &= 0,5 \times ((Q_{Aspal} \times 9\text{m}) + (Q_{Kerb} \times 1\text{m} \times 2)) \\
 V_{D2} &= 0,5 \times ((7,15 \text{ kN/m} \times 9 \text{ m}) + (29,6 \text{ kN/m} \times \\
 &\quad 1 \text{ m} \times 2)) \\
 V_{D2} &= 61,775 \text{ kN} = 6177,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

3. Gaya geser akibat BTR dan BGT



Gambar 4.16 Gaya geser akibat BTR dan BGT tidak simetris

$$\begin{aligned}
 V_a &= q \times 9 \text{ m} \times 0,5 \\
 &= 181,4 \text{ kN/m} \times 9 \text{ m} \times 0,5 \\
 &= 816,3 \text{ kN} \\
 \text{Maka } V_u &= V_{D1} + V_{aBTR+KEL} \\
 &= 178,47 \text{ kN} + 816,3 \text{ kN} \\
 V_u &= 994,77 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Jadi V yang digunakan adalah  $V_u$  akibat beban BTR + BGT + beban mati sebelum komposit sebesar 994,77 kN, maka kuat geser sebagai berikut (LRFD 5.21):

Luas penampang badan

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

$$\frac{776}{18} \leq \frac{1100}{\sqrt{290}}$$

$$43,11 \leq 64,59 \text{ (Geser Plastis)}$$

maka kuat geser :

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \times 0,6 \times f_y \times d \times t_w \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 290 \times (900 \times 16) \\ &= 2255040 \text{ N} \\ &= 2255,04 \text{ kN} \geq 994,77 \text{ kN}\end{aligned}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan geser yang terjadi.

**d. Interaksi Geser dan Lentur**

Jika momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang, maka gelagar harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser (RSNI T-03-2005 ps.7.9.3), yaitu :

$$\begin{aligned}\frac{Mu}{\phi Mn} + 0,625 \frac{Vu}{\phi V_n} &\leq 1,375 \\ \frac{3372,2}{4122,3} + 0,625 \frac{994,77}{2255,04} &\leq 1,375 \\ 1,09 &< 1,375\end{aligned}$$

Maka penampang telah memenuhi interaksi geser dan lentur.

**e. Kontrol Lentutan**

Lentutan dianalisa berdasarkan kemampuan layan akibat beban hidup untuk gelagar melintang. Menurut RSNI T-03-2005 ps. 4.7.2 menyatakan lentutan maksimum gelagar diatas dua tumpuan adalah  $L/800$

$$\delta_{ijin} = 1100/800 = 1,375 \text{ cm}$$

a. Lentutan akibat beban hidup(BTR + BGT):

$$\begin{aligned}\delta_{(\text{udl} + \text{kel})} &= \frac{5}{384} \times \frac{q_L \lambda^4}{E I_x} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{(9,05 \text{ kg/cm}) \times (900 \text{ cm})^4}{2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \times 49800 \text{ cm}^4} \\ &= 0,776 \text{ cm}\end{aligned}$$

b. Lentutan akibat beban truck :

$$\begin{aligned}\delta_{(T)} &= \frac{1}{48} \times \frac{P_T \lambda^3}{E I_x} \\ &= \frac{1}{48} \times \frac{14625 \times (900)^3}{2 \times 10^6 \times 49800} \\ &= 0,22 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dipakai beban dari lentutan yang lebih besar yaitu akibat beban BTRBGT=0,797cm

$$\begin{aligned}\text{Syarat: } \delta_{(\text{UDL} + \text{KEL})} &\leq \delta_{\text{ijin}} \\ 0,776 &\leq 1,375 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

**f. Kontrol Kapasitas Lentur (Sesudah Komposit)**

Menurut SNI T-03-2005 ps. 8.2.1 lebar efektif pelat beton diambil nilai terkecil dari:

- 1/5 Bentang gelagar
- Jarak antar gelagar

Dimana:

L = 1100 m (panjang bentang)

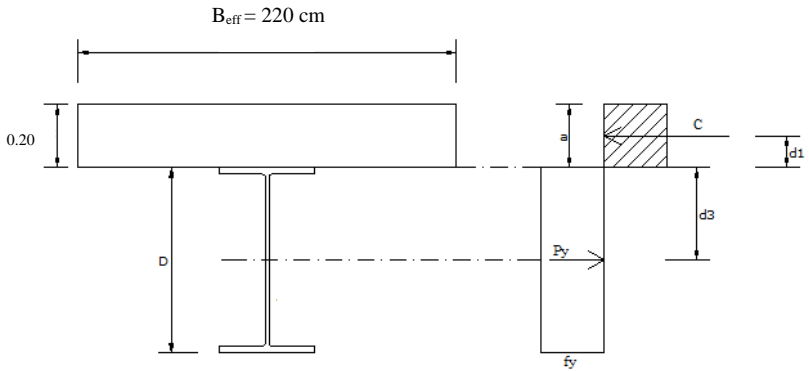
$\lambda$  = 5 m (jarak antar gelagar melintang)

Lebar efektif pelat beton:

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{L}{5} = \frac{1100}{5} = 220 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} \leq \lambda = 500 \text{ cm}$$

diambil yang terkecil,  $b_{\text{eff}} = 220 \text{ cm}$



Gambar 4.17 Distribusi gaya pada penampang

- Kontrol kriteria penampang :

$$\frac{h}{tw} = \frac{776}{18} = 43,1$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,65$$

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \rightarrow \text{penampang kompak}$$

Karena (penampang kompak) maka kapasitas momen dapat penampang dapat dianalisa dengan distribusi tegangan plastis.

- Menentukan garis netral :

$$A_c = b_{eff} \times t_b = 2200 \times 200 = 440000 \text{ cm}^2$$

$$T = A \times f_y = 36400 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2 = 10556000 \text{ N}$$

$$C_1 = A_s \times f_y = 438,8 \text{ cm}^2 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 = 1055600 \text{ kg}$$

$$C_2 = 0.85 f'_c \times A_c = 0.85 \times 350 \text{ N/cm}^2 \times 4400 \text{ cm}^2 = 1309000 \text{ kg}$$

Sehingga nilai c diambil yang terkecil yaitu



$$C1 = 1055600 \text{ N}$$

$$a = \frac{c}{0,85 \times f'c \times b_{\text{eff}}} = \frac{1055600}{0,85 \times 350 \times 220}$$

$$= 16,1 \text{ cm}$$

karena  $a < t$  maka sumbu netral berada pada plat beton.

➤ Kapasitas momen :

$$d_1 = t - a/2 = 20 - \frac{16,1}{2} = 11,95 \text{ cm}$$

$d_2 = 0 \text{ mm}$  (Profil baja tidak mengalami tekan)

$$d_3 = d/2 = 90/2 = 45 \text{ cm}$$

$$M_n = C (d_1 + d_2) + T (d_3 - d_2)$$

$$= 1055600 \text{ kg} (10,15 + 0) + 1055600 \text{ kg} (45 - 0)$$

$$= 58216340 \text{ kg.cm}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 58216340 \text{ kg.cm}$$

$$= 42751800 \text{ kg.cm}$$

$$= 4275,18 \text{ kN.m} > M_u = 2282,98 \text{ kNm (OK)}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan lentur yang terjadi sesudah penampang komposit.

### g. Shear Connector balok melintang

➤ Data-data

Tebal slab  $h_c = 20 \text{ cm}$

Jarak  $\lambda = b_o = 500 \text{ cm}$

Panjang bentang  $L = 11 \text{ m}$

➤ Data Material

a. Beton

Kuat tekan beton  $f'c = 35 \text{ Mpa}$

Modulus Elastisitas ( $E_c$ )  $= 4700\sqrt{f'c} = 27805,5 \text{ Mpa}$

Berat Beton bertulang  $W_c = 22,77 \text{ kN/m}^3$

b. Shear Connector

Tegangan leleh baja  $f_y = 410 \text{ Mpa}$

Tegangan putus baja  $f_u = 550 \text{ Mpa}$

Diameter tulangan  $D = 22 \text{ mm}$

Luas shear connector

$$A_{sc} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2$$

➤ Perhitungan Kemampuan Shear connector

$$Q_n \leq A_{sc} \times f_u$$

$$\begin{aligned} A_{sc} \times f_u &= 380,13 \times 550 \\ &= 209072,99 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \times A_{sc} \times (f_c' \times E_c)^{0,5} \\ &= 0,5 \times 380,13 \times (35 \times 27805,5)^{0,5} \\ &= 187500 \text{ N} < 209072 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kebutuhan Shear Connector

Perhitungan kebutuhan shear connector 2 sisi

$$n = \frac{T}{Q_n} = \frac{10556000 \text{ N}}{2 \times 187500 \text{ N}} = 28,1 = 30 \text{ buah}$$

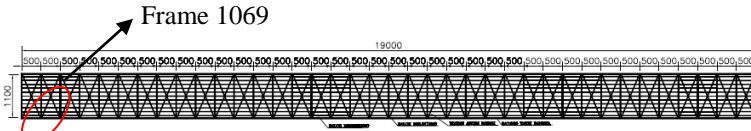
didapat jarak antar shear connector

$$S = \frac{L}{n} = \frac{M_{\max}}{30} = \frac{0,5 \times 11000 \text{ cm}}{30} = 183,3 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan shear connector D22 – 150

#### 4.1.5 Ikatan Angin Busur Bawah

Ikatan angin bawah direncanakan dengan menggunakan profil siku L sama kaki, berikut perhitungannya:



Gambar 4.18 Denah Ikatan Angin Lantai

Dari Output SAP didapat :

P	=	55932,66 kg (tekan)		
Profil yang dipakai : L 250.250.35 BJ 50				
A	=	162,6 cm <sup>2</sup>	i <sub>x</sub>	= 7,48 cm
H	=	250 mm	i <sub>y</sub>	= 7,48 cm
W	=	250 mm	f <sub>y</sub>	= 290 MPa
tw	=	35 mm	I <sub>x</sub>	= 9110 cm <sup>4</sup>
tf	=	35 mm	I <sub>y</sub>	= 9110 cm <sup>4</sup>
e	=	2,4 cm	Z <sub>x</sub>	= 519 cm <sup>3</sup>
w	=	126 kg/m	Z <sub>y</sub>	= 519 cm <sup>3</sup>

#### Analisa Kapasitas Penampang

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{t} &= \frac{250}{35} = 7,14 \\ \lambda_r &= \frac{200}{\sqrt{f_y}} = \frac{200}{\sqrt{290}} = 11,74 \end{aligned} \right\} \frac{b}{t} < \lambda_p \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Panjang tekuk :

$$L = 6,05 \text{ m}$$

$$L_k = k_c \times L = 1 \times 6,05 = 6,05 \text{ m}$$

Di mana, k<sub>c</sub> = faktor tekuk, untuk sendi-sendi = 1  
(RSNI T-03-2005 gambar 3)

### Kontrol kelangsingan sebagai batang tekan

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{605}{7,48} = 80,88$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{605}{7,48} = 80,88 \text{ (menentukan)}$$

$$\lambda = \lambda_y = 80,88$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{80,88}{\pi} \times \sqrt{\frac{290}{2 \times 10^5}}$$
$$= 0,98$$

Untuk nilai :  $\lambda_c \leq 1,5 \rightarrow N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y \frac{(0,88)}{\lambda_c^2}$   
(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-2)

- Kuat Nominal

$$N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y$$

$$A_g = 6071 \text{ mm}^2$$

$$N_n = 0,66^{0,98^2} \times 16260 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2$$
$$= 3163796 \text{ N} = 3163,8 \text{ kN}$$

- Kontrol

$$N_u \leq \phi N_n \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1)}$$

Dengan pengertian:

$\phi = 0,85$  (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)

Syarat:

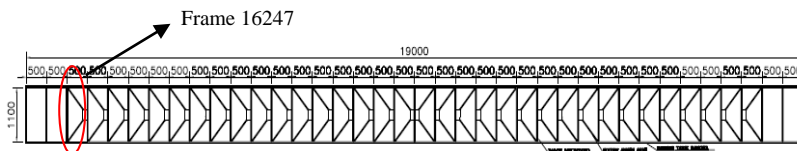
$$N_u \leq \phi N_n$$

$$559,32 \text{ kN} \leq 0,85 \times 3163,8 \text{ kN}$$

$$559,32 \text{ kN} \leq 2689,23 \text{ (OK)}$$

#### 4.1.6 Ikatan Angin Busur Atas

Bentuk konstruksi ikatan angin atas / busur diasumsikan sebagai konstruksi rangka batang bidang. Berikut penjabaran perhitungannya :



Gambar 4.19 Denah Ikatan angin atas

Dari Output SAP – Frame 16247 didapat :

$$P = -114168,5 \text{ kg (tekan)}$$

$$P = 111534,6 \text{ kg (tarik)}$$

Profil yang dipakai : Box 250 x 250 x 10 ; BJ 50

$$A = 92,57 \text{ cm}^2 \quad i_x = 9,7 \text{ cm}$$

$$d = 250 \text{ mm} \quad i_y = 9,7 \text{ cm}$$

$$b = 250 \text{ mm} \quad f_y = 290 \text{ MPa}$$

$$t_b = 10 \text{ mm} \quad I_x = 8706 \text{ cm}^4$$

$$r = 18 \text{ mm} \quad I_y = 8706 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 696,53 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 696,53 \text{ cm}^3$$

### Analisa Kapasitas Penampang

Analisa kapasitas penampang untuk menghindari terjadinya flexural buckling

Sayap / Badan : (SNI 1729:2015 tabel B4.1b)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{250 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 25$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,4$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  (penampang kompak) maka kuat lentur nominal penampang adalah  $M_{nx} = M_{px} = Z_x f_y$

Panjang tekuk :

$$L = 7,94 \text{ m}$$

$$L_{kc} = k_c \times L = 1 \times 7,94 = 7,94 \text{ m}$$

Di mana,  $k_c$  = faktor tekuk, untuk sendi-sendi = 1 (RSNI T-03-2005 gambar 3)

### Kontrol kelangsingan sebagai batang tekan

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{794}{9,7} = 81,85 \text{ (menentukan)}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{794}{9,7} = 81,85$$

$$\lambda = \lambda_x = \lambda_y = 81,85$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{81,85}{\pi} \times \sqrt{\frac{290}{2 \times 10^5}} = 0,99$$

Untuk nilai :  $\lambda_c \leq 1,5 \rightarrow N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y \frac{(0,88)}{\lambda_c^2}$

(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-2)

- Kuat Nominal

$$N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y$$

$$A_g = 9257 \text{ mm}^2$$

$$N_n = 0,66^{0,99^2} \times 9257 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ = 1786501 \text{ N} = 1786,5 \text{ kN}$$

- Kontrol

$$N_u \leq \emptyset N_n \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1)}$$

Dengan pengertian:

$$\emptyset = 0,85 \text{ (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)}$$

Syarat:

$$N_u \leq \emptyset N_n$$

$$1148,7 \text{ kN} \leq 0,85 \times 1786,5 \text{ kN}$$

$$1148,7 \text{ kN} \leq 1518,525 \text{ (OK)}$$

### **Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik**

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\min}} \\ = \frac{617}{7,65} = 80,65 \leq 300 \text{ (OK)} \\ \text{(RSNI-T-03-2005 Psl 5.3.3)}$$

### **Kontrol Tarik**

#### **Kuat putus**

$$\emptyset P_n = \emptyset \cdot A_e \cdot f_u$$

$$A_e = A_g \times U$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{B^2}{4(B+H)}}{l \text{ sambungan}}\right)$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{250^2}{4(250+250)}}{600}\right)$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{250^2}{4(250+250)}}{600}\right)$$

$$= 8794,15 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset P_n &= \emptyset \cdot A_e \cdot f_u \\
 &= 0,75 \cdot 8794,15 \text{ mm}^2 \cdot 500 \frac{N}{\text{mm}^2} \\
 &= 3297806,25 \text{ N} \\
 &= 3297,81 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat :  $P_u \leq \emptyset P_n$

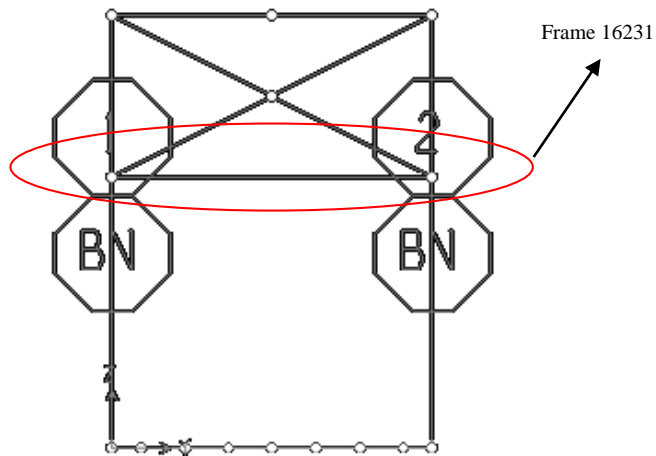
$$\begin{aligned}
 P_u &\leq \emptyset P_n \\
 1115,35 \text{ kN} &\leq 3297,81 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

### Kuat leleh

$$\begin{aligned}
 P_n &= \emptyset \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 9257 \text{ mm}^2 \cdot 290 \frac{N}{\text{mm}^2} \\
 &= 2416077 \text{ N} = 2416,08 \text{ kN} \\
 \emptyset P_n &= 2461,08 \text{ kN} > 1115,35 \text{ kN} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

### 4.1.7 Batang Horizontal Busur

Batang horizontal yang menjadi penyusun rangka bidang merupakan rangka penghubung antar busur. Berikut penjabaran perhitungannya :





### Gambar 4.20 Portal BN

Dari Output SAP – Frame 354 didapat :

$$P = -56997,34 \text{ kg (tekan)}$$

$$P = 44505,64 \text{ kg (tarik)}$$

Profil yang dipakai : Box 250 x 250 x 10 ; BJ 50

$$A = 92,57 \text{ cm}^2 \quad i_x = 9,7 \text{ cm}$$

$$d = 250 \text{ mm} \quad i_y = 9,7 \text{ cm}$$

$$b = 250 \text{ mm} \quad f_y = 290 \text{ MPa}$$

$$t_b = 10 \text{ mm} \quad I_x = 8706 \text{ cm}^4$$

$$r = 18 \text{ mm} \quad I_y = 8706 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 696,53 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 696,53 \text{ cm}^3$$

### Analisa Kapasitas Penampang

Analisa kapasitas penampang untuk menghindari terjadinya flexural buckling

Sayap / Badan : (SNI 1729:2015 tabel B4.1b)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{250 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 25$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,4$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  (penampang kompak) maka kuat lentur nominal penampang adalah  $M_{nx} = M_{px} = Z_x f_y$

Panjang tekuk :

$$L = 11 \text{ m}$$

$$L_k = k_c \times L = 1 \times 11 \text{ m} = 11 \text{ m}$$

Di mana,  $k_c$  = faktor tekuk, untuk sendi-sendi = 1 (RSNI T-03-2005 gambar 3)

### Kontrol kelangsingan sebagai batang tekan

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{1100}{9,7} = 113,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{1100}{9,7} = 113,4$$

$$\lambda = \lambda_x = \lambda_y = 113,4$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{113,4}{\pi} \times \sqrt{\frac{290}{2 \times 10^5}} = 1,374$$

Untuk nilai :  $\lambda_c \leq 1,5 \rightarrow N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y \frac{(0,88)}{\lambda_c^2}$   
(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-2)

- Kuat Nominal

$$N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y$$

$$A_g = 9257 \text{ mm}^2$$

$$N_n = 0,66^{1,37^2} \times 9257 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1230751,2 \text{ N} = 1230,75 \text{ kN}$$

- Kontrol

$$N_u \leq \phi N_n \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1)}$$

Dengan pengertian:

$\phi = 0,85$  (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)

Syarat:

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$569,97 \text{ kN} \leq 0,85 \times 1230,75 \text{ kN}$$

$$569,97 \text{ kN} \leq 1046,1375 \text{ (OK)}$$

### **Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik**

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\min}}$$

$$= \frac{617}{7,65} = 80,65 \leq 300 \text{ (OK)}$$

(RSNI-T-03-2005 Psl 5.3.3)

### **Kontrol Tarik**

#### **Kuat Putus**

$$\phi P_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$A_e = A_g \times U$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{B^2}{4(B+H)}}{l \text{ sambungan}}\right)$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{250^2}{4(250+250)}}{600}\right)$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{250^2}{4(250+250)}}{600}\right)$$

$$= 8794,15 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$= 0,75 \cdot 8794,15 \text{ mm}^2 \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$= 3297806,25 \text{ N}$$

$$= 3297,81 \text{ kN}$$

$$\text{Syarat : } P_u \leq \phi P_n$$

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$445,05 \text{ kN} \leq 3297,81 \text{ kN (OK)}$$

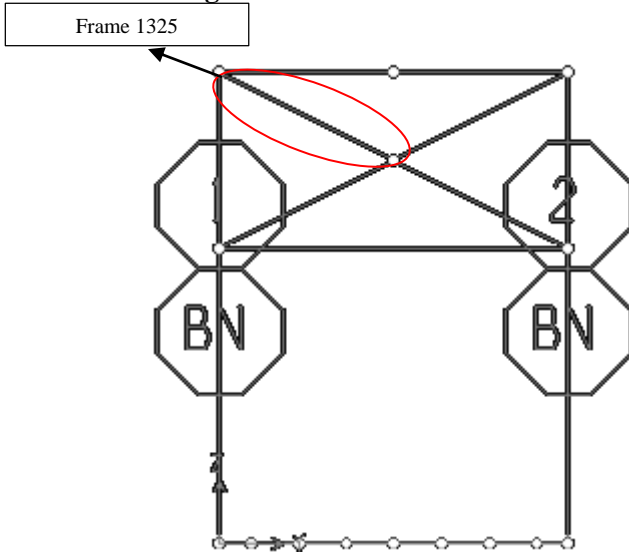
#### **Kuat leleh**

$$P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 9257 \text{ mm}^2 \cdot 290 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$= 2416077 \text{ N} = 2416,08 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 2461,08 \text{ kN} > 445,05 \text{ kN OK}$$

#### 4.1.8 Ikatan Angin Portal



Gambar 4.21 Ikatan Angin Portal

Dari Output SAP – Frame 1325 didapat :

$$P = 37455,59 \text{ kg (tarik)}$$

$$P = -22239,21 \text{ kg (tekan)}$$

Profil yang dipakai : Box 200 x 200 x 10 ; BJ 50

$$A = 72,57 \text{ cm}^2 \quad i_x = 7,65 \text{ cm}$$

$$d = 200 \text{ mm} \quad i_y = 7,65 \text{ cm}$$

$$b = 200 \text{ mm} \quad I_y = 4251,06 \text{ cm}^4$$

$$t_b = 10 \text{ mm} \quad I_x = 4251,06 \text{ cm}^4$$

$$f_y = 290 \text{ Mpa} \quad Z_x = 425,11 \text{ cm}^3$$

$$r = 18 \text{ mm} \quad Z_y = 425,11 \text{ cm}^3$$

#### Analisa Kapasitas Penampang

Analisa kapasitas penampang untuk menghindari terjadinya flexural buckling

Sayap / Badan : (SNI 1729:2015 tabel B4.1b)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,4$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  (penampang kompak) maka kuat lentur nominal penampang adalah  $M_n = M_p = Z_x f_y$

Panjang tekuk :

$$L = 6,17 \text{ m}$$

$$L_k = k_c \times L = 1 \times 6,17 \text{ m} = 6,17 \text{ m}$$

Di mana,  $k_c$  = faktor tekuk, untuk sendi-sendi = 1  
(RSNI T-03-2005 gambar 3)

### Kontrol kelangsingan sebagai batang tekan

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{617}{7,65} = 80,65$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{617}{7,65} = 80,65$$

$$\lambda = \lambda_x = \lambda_y = 80,65$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{80,65}{\pi} \times \sqrt{\frac{290}{2 \times 10^5}} = 0,98$$

Untuk nilai :  $\lambda_c \leq 1,5 \rightarrow N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y \frac{(0,88)}{\lambda_c^2}$   
(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-2)

- Kuat Nominal

$$N_n = 0,66^{\lambda_c^2} \times A_g \times f_y$$

$$A_g = 7257 \text{ mm}^2$$

$$N_n = 0,66^{1,37^2} \times 7257 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2$$

$$= 964844,07 \text{ N} = 964,8 \text{ kN}$$

- Kontrol  
 $N_u \leq \phi N_n$  (RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1)  
 Dengan pengertian:  
 $\phi = 0,85$  (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)  
 Syarat:  
 $N_u \leq \phi N_n$   
 $222,39 \text{ kN} \leq 0,85 \times 964,8 \text{ kN}$   
 $222,39 \text{ kN} \leq 820,08 \text{ (OK)}$

**Kontrol kelangsingan sebagai batang tarik**

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\min}}$$

$$= \frac{617}{7,65} = 80,65 \leq 300 \text{ (OK)}$$

(RSNI-T-03-2005 Psl 5.3.3)

**Kontrol Tarik**

**Kuat Putus**

$$\phi P_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$A_e = A_g \times U$$

$$= 9257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

$$= 7257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{B^2}{4(B+H)}}{l \text{ sambungan}}\right)$$

$$= 7257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{200^2}{4(200+200)}}{300}\right)$$

$$= 7257 \text{ mm}^2 \times \left(1 - \frac{\frac{200^2}{4(200+200)}}{300}\right)$$

$$= 6676,44 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$= 0,75 \cdot 6676,44 \text{ mm}^2 \cdot 500 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$= 2503665 \text{ N}$$

$$= 2503,665 \text{ kN}$$

Syarat :  $P_u \leq \phi P_n$

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$222,39 \text{ kN} \leq 2503,665 \text{ kN (OK)}$$

### **Kuat leleh**

$$P_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 7257 \text{ mm}^2 \cdot 290 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$= 1894,1 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 1894,1 \text{ kN} > 222,39 \text{ kN OK}$$

## **4.2 Perencanaan Struktur Primer**

### **4.2.1 Perhitungan Pembebanan**

✓ Pembebanan

Beban yang digunakan sesuai dengan standar pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016) dimana :

#### **1. Beban Mati**

Beban mati pada perencanaan ini meliputi berat sendiri dari masing-masing elemen struktur dan berat mati tambahan yang berupa berat pelat lantai kendaraan dan aspal. Besarnya beban-beban mati tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

$$\text{Beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Aspal} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

#### **2. Beban lajur D**

Beban terbagi rata (UDL) mempunyai intensitas  $q$  kPa, dengan besarnya  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$ . Panjang yang dibebani  $L$  adalah panjang total UDL yang bekerja pada jembatan. Beban garis (KEL) dengan intensitas  $p$  KN/m harus ditempatkan tegak lurus arah lalu-lintas pada jembatan.

Diketahui:

$$L = 5 \text{ m (jarak antar kabel), sehingga:}$$

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9.0 \text{ kPa}$$

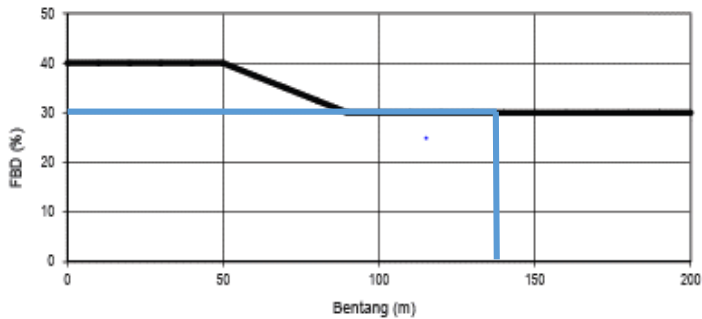
$$\gamma_{TD}^U = 2 \text{ (Keadaan batas ultimit pada boks girder baja)}$$

$$\begin{aligned}
 p &= 49.0 \text{ kN/m.} \\
 Q \text{ UDL} &= q \times \gamma_{TD}^U \\
 &= 9.0 \text{ kN/m}^2 \times 2 \\
 &= 18.0 \text{ kN/m}^2 \\
 Q \text{ BGT} &= p \times \gamma_{TD}^U \\
 &= 49 \text{ kN/m} \times 2 \\
 &= 98.0 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

### 3. Beban truk

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan digunakan untuk perhitungan struktur lantai.

Diketahui:



Gambar 4.22 Grafik FBD

$$\begin{aligned}
 P &= 112,5 \text{ kN} \\
 \gamma_{TT}^U &= 2 \text{ (Keadaan batas ultimit pada boks girder baja)} \\
 \text{FBD} &= 30\% \\
 Q_{TT} &= 112,5 \text{ kN} \times (1 + \text{FBD}) \times \gamma_{TT}^U \\
 &= 112,5 \text{ kN} \times (1 + 0,3) \times 2 \\
 &= 292,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



#### 4. Beban Angin

✓ Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin menurut SNI 1725:2016 Pasal 9.6.1 yang ditentukan untuk angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana VDZ harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$v_{DZ} = 2,5 v_o \left( \frac{v_{10}}{v_B} \right) \ln \left( \frac{z}{z_o} \right) \quad (3-8)$$

Diketahui:

$$V_o = 17,6 \text{ km/jam (lokasi kota)}$$

$$Z_o = 1000 \text{ mm (lokasi kota)}$$

$$V_{10} = 90 \text{ km/jam (Asumsi } V_{10} = V_B)$$

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

$$Z = 25 \text{ m}$$

Sehingga:

$$v_{DZ} = 2,5 v_o \left( \frac{v_{10}}{v_B} \right) \ln \left( \frac{z}{z_o} \right)$$

$$v_{DZ} = 2,5 \times 17,6 \left( \frac{90}{90} \right) \ln \left( \frac{25000 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} \right)$$

$$v_{DZ} = 111,1 \text{ km/jam}$$

Beban Angin Pada Struktur (Ews)

Tekanan angin rencana (MPa) dapat ditetapkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_D = P_B \left( \frac{v_{DZ}}{v_B} \right)^2 \quad (3-9)$$

Diketahui:

PB rangka, kolom, dan pelengkung = 0,0024 Mpa (tekan)

PB rangka, kolom, dan pelengkung = 0,0012 Mpa (hisap)

$$P_D = P_B \left( \frac{v_{DZ}}{v_B} \right)^2$$

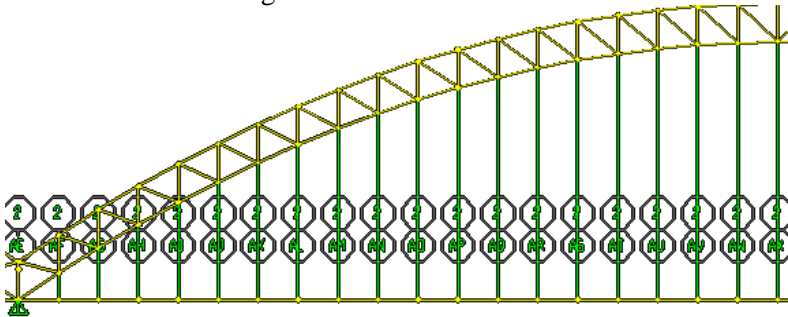
Untuk rangka, kolom, dan pelengkung

$$P_D \text{ tekan} = 0,0024 \left( \frac{119,11}{90} \right)^2 = 0,0042 \text{ MPa}$$

$$P_D \text{ hisap} = 0,0012 \left( \frac{119,11}{90} \right)^2 = 0,0021 \text{ MPa}$$

Tinggi pada struktur busur yang bervariasi menyebabkan perbedaan pada setiap gaya yang diterima oleh titik buhul. Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama seperti diatas, maka didapatkan rekapitulasi gaya pada titik buhul sebagai berikut :

✓ Pada bentang 190 m

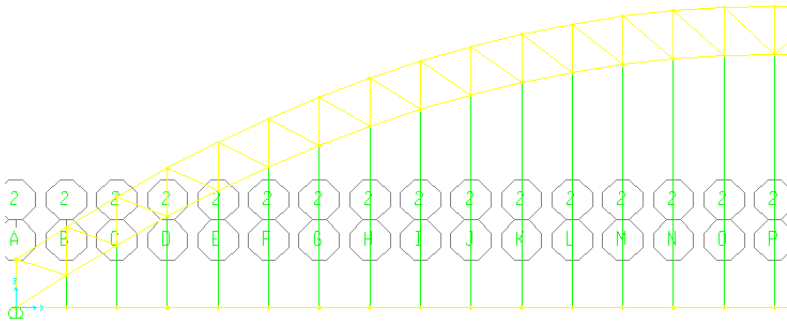


Gambar 4.23 Tampak Samping Jembatan Bentang 190m

Tabel 4.2 Rekapitulasi Perhitungan Beban Angin Bentang 190 m

No Titik	Tinggi Struktur (m)	VDZ (km/jam)	Pd Tekan (Mpa)	A (m <sup>2</sup> )	EWS Tekan (kN)
AE	25,0000	111,0997	0,0037	2,1303	7,7909
AF	28,2798	117,0476	0,0041	4,1600	16,8866
AG	31,3823	122,0702	0,0044	4,0962	18,0855
AH	34,3075	126,3703	0,0047	4,0354	19,0943
AI	37,0554	130,0880	0,0050	3,9777	19,9448
AJ	39,6260	133,3242	0,0053	3,9232	20,6624
AK	42,0194	136,1538	0,0055	3,8720	21,2677
AL	44,2355	138,6336	0,0057	3,8243	21,7780
AM	46,2742	140,8077	0,0059	3,7803	22,2077
AN	48,1357	142,7107	0,0060	3,7400	22,5688
AO	49,8199	144,3700	0,0062	3,7035	22,8717
AP	51,3269	145,8078	0,0063	3,6711	23,1251
AQ	52,6565	147,0418	0,0064	3,6427	23,3366
AR	53,8089	148,0864	0,0065	3,6186	23,5123
AS	54,7839	148,9529	0,0066	3,5987	23,6575
AT	55,5817	149,6504	0,0066	3,5831	23,7765
AU	56,2022	150,1861	0,0067	3,5720	23,8725
AV	56,6454	150,5651	0,0067	3,5653	23,9481
AW	56,9114	150,7911	0,0067	3,5631	24,0049
AX	57,0000	150,8662	0,0067	3,5631	24,0289

✓ Pada bentang 150 m



Gambar 4.24 Tampak Samping Jembatan Bentang 150m

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Beban Angin Bentang 150 m

No Titik	Tinggi Struktur (m)	VDZ (km/jam)	Pd Tekan (Mpa)	A buhul (m <sup>2</sup> )	EWS Tekan (kN)
A	25,00	111,10	0,0037	2,119095	7,750018
B	28,22	116,95	0,0041	4,114953	16,67578
C	31,22	121,82	0,0044	4,038104	17,75685
D	34,00	125,94	0,0047	3,96609	18,6375
E	36,56	129,43	0,0050	3,899177	19,35473
F	38,89	132,42	0,0052	3,837634	19,93815
G	41,00	134,97	0,0054	3,781721	20,41186
H	42,89	137,14	0,0056	3,731692	20,79568
I	44,56	138,98	0,0057	3,687785	21,106
J	46,00	140,52	0,0059	3,650221	21,35637
K	47,22	141,79	0,0060	3,619198	21,5579
L	48,22	142,80	0,0060	3,594884	21,71956
M	49,00	143,57	0,0061	3,577416	21,84836

No Titik	Tinggi Struktur (m)	VDZ (km/jam)	Pd Tekan (Mpa)	A buhul (m <sup>2</sup> )	EWS Tekan (kN)
N	49,56	144,11	0,0062	3,566894	21,94949
O	49,89	144,44	0,0062	3,56338	22,02641
P	50,00	144,54	0,0062	3,56338	22,05916

➤ **Beban Angin Pada Lantai Kendaraan (Ewl)**

Berdasarkan SNI 1725-2016 ps 9.9.1.2 tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus di asumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan.

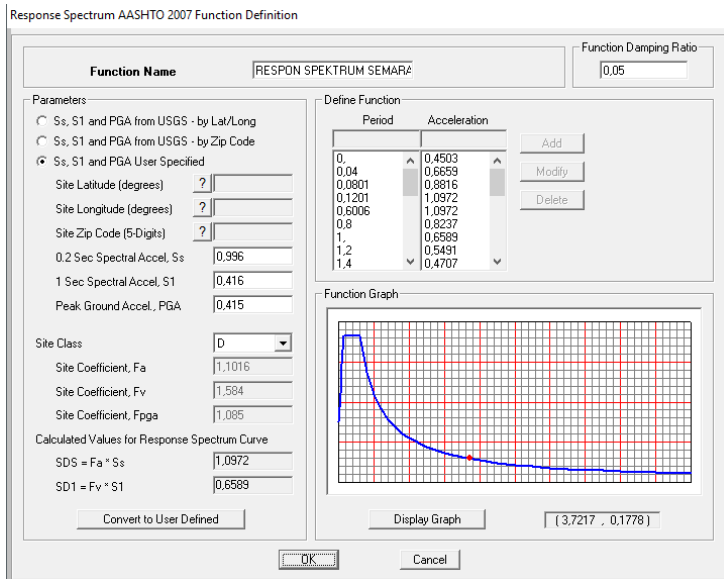
**5. Beban Temperatur**

Temperatur yang digunakan adalah sebesar 25<sup>0</sup> celcius, dengan asumsi pada saat pemasangan tidak memperhatikan beban temperatur.

**6. Beban Gempa**

Untuk perhitungan gaya gempa direncanakan menggunakan perhitungan respon spectrum yang dihasilkan dari pusjatan.pu.go.id , dengan menginput nama kota lokasi project dan hasil analisis kategori tanah yang kemudian di input kedalam Function Response Spectrum AASHTO 2007 pada SAP 2000. Maka Kota Semarang dengan kategori tanah sedang didapat :

Ss	: 0,996	PGA	: 0,415
S1	: 0,416	Site Class	: D
R	: 1,5		
T mode 1	: 2,89		



Gambar 4.25 Grafik Response Spectrum

Adapun skala gaya gempa yang digunakan sebagai faktor pengali dibagi menjadi dua arah yaitu X dan Y, dengan prosentase kontribusi gaya 100% dan 30%. Berikut adalah contoh perhitungannya :

$$\text{Kontribusi gaya 100\%} = \frac{g}{R} = \frac{9,81}{1,5} = 6,54$$

$$\text{Kontribusi gaya 30\%} = 30\% \times \frac{g}{R} = 30\% \times \frac{9,81}{1,5} = 1,962$$

### Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name:

Notes:

Load Case Type:

Modal Combination

CQC GMC f1:

SRSS GMC f2:

Absolute Periodic + Rigid Type:

GMC

NRC 10 Percent

Double Sum

Directional Combination

SRSS

CQC3

Absolute

Scale Factor:

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RESPON SF	6,54
Accel	U1	RESPON SPEK	6,54
Accel	U2	RESPON SPEK	1,962

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping:

Gambar 4.26 Skala Gaya Gempa pada Pemrograman SAP

### ➤ Kombinasi Pembebanan

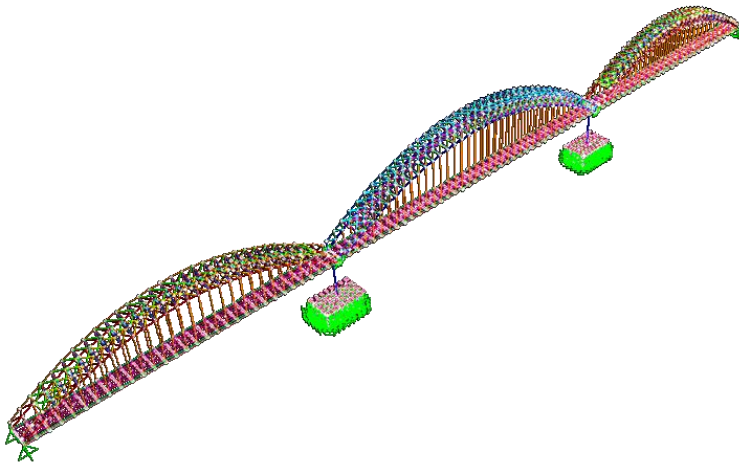
Kombinasi beban yang digunakan sesuai dengan standar pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016) disebutkan bahwa pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin, beban temperatur dan beban gempa. Berikut adalah kombinasi beban yang digunakan sesuai SNI 1726:2016 tabel 1:

- 1) KUAT 1 : 1,3MS+2MA+1.8TD+1.8TB+1.8TP+1EU<sub>n</sub>
- 2) KUAT 3 : 1.3MS+2MA+1.4EW<sub>s</sub>+1EU<sub>n</sub>
- 3) KUAT 4 : 1.3MS+2MA+1EU<sub>n</sub>
- 4) KUAT 5 : 1.3 MS + 2 MA+ 0.4EW<sub>s</sub>+1EW<sub>I</sub>+1EU<sub>n</sub>

- 5) EKSTREM 1:  
 $1.3MS+2MA+0.5TD+0.5TB+0.5TP+0.3EQ_x+1EQ_y$
- 6) EKSTREM 2:  
 $1.3MS+2MA+0.5TD+0.5TB+0.5TP+1EQ_y+0.3EQ_x$
- 7) DayaLayan1:  $1MS+1MA+1TD+1TB+1TP+0.3EW_s+1EW_l+1Eun$
- 8) Daya Layan 2:  $1MS+1MA+1.3TD+1.3TB+1.3TP+1EUn$
- 9) Daya Layan 3 :  $1MS+1MA+0.8TD+0.8TB+0.8TP+1EUn$
- 10) Daya Layan 4 :  $1MS+1MA+1TD+0.7EW_s+1EUn$

➤ **Permodelan Struktur**

Setelah melalui tahap preliminary desain dan perencanaan pembebanan, dilakukan permodelan struktur jembatan busur box baja kemudian beban yang sudah direncanakan dibebankan pada model jembatan yang telah dibuat serta melakukan analisa struktur jembatan dengan program bantu SAP 2000.

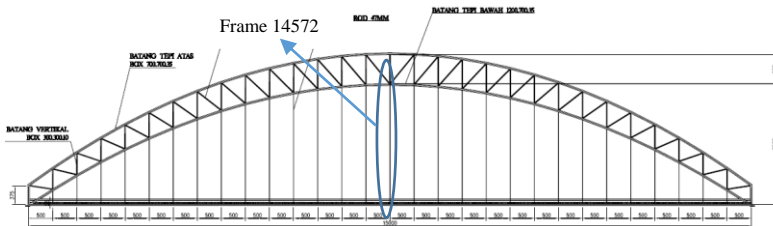


Gambar 4.27 Pemodelan 3D Jembatan Kali Kendeng dengan program bantu SAP2000



## 4.2.2 Perencanaan Batang Penggantung

Panjang dari batang penggantung dicari menggunakan pendekatan rumus sumbu geometrik busur. Pada perhitungan batang penggantung akan dihitung kekuatan *thread rod* yang digunakan terhadap keadaan *normal load* dan juga *accidental load* yang disebabkan oleh terputusnya salah satu kabel yang memikul beban paling besar.



Gambar 4.28 Konstruksi Pemikul Utama

Persamaan parabola untuk menghitung tinggi thread rod:

$$Y_n = 4 f X (L - X) / L^2$$

$$f = 32 \text{ m}$$

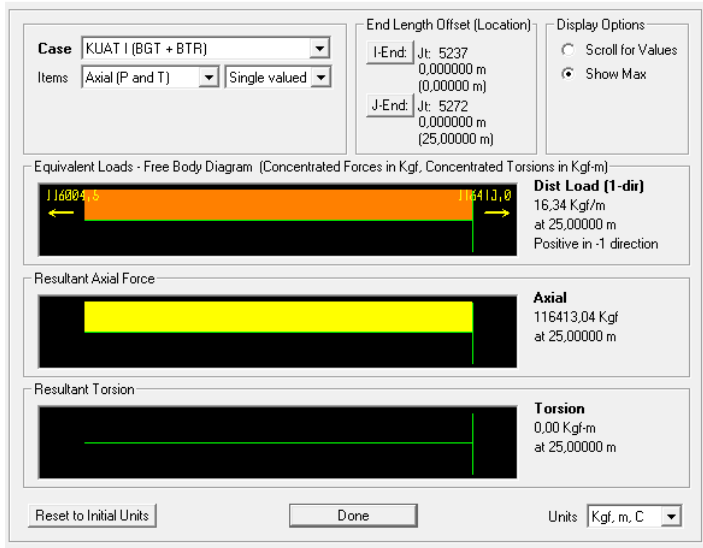
$$X = 95 \text{ m}$$

$$L = 190 \text{ m}$$

$$Y_n = 4 \times 25 \text{ m} \times 70 \text{ m} (190 \text{ m} - 95 \text{ m}) / (190 \text{ m})^2$$
$$= 32 \text{ m}$$

c. Kontrol kekuatan putus kabel kondisi normal

Diagrams for Cable Object 14572 (CABLE DYWIDAG)



Gambar 4.29 Pu max pada *normal load*

Didapat Output Sap Cable frame 14572 (tengah bentang),  
 $P_u = 116413,04 \text{ kg}$

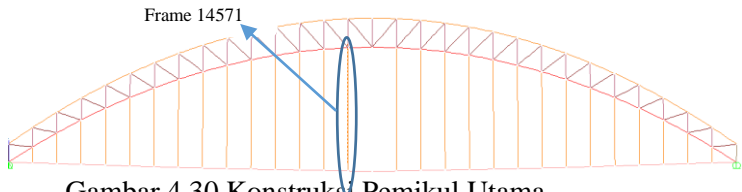
Dengan itu, digunakan profil Thread rod Dywidag diameter  
 4,7 mm dengan P ijin = 1820 kN

Syarat:

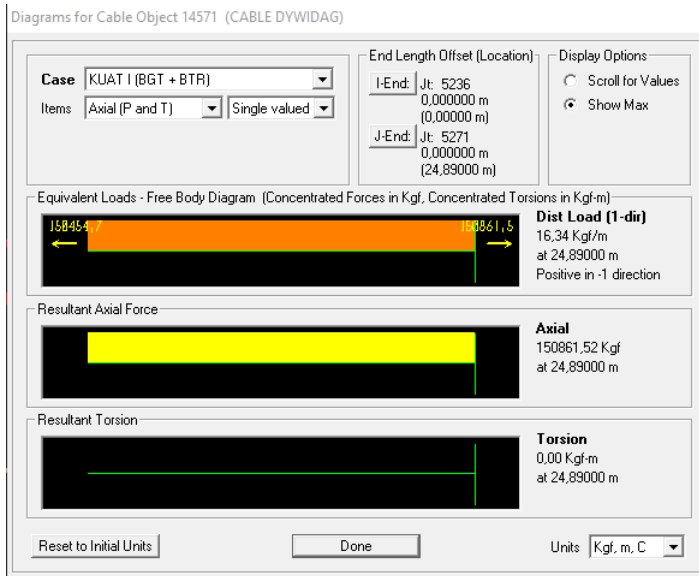
$$P_u < P \text{ ijin}$$

$$1164,13 \text{ kN} < 1820 \text{ kN (OK)}$$

d. Kontrol kekuatan putus kabel kondisi *accidental load*



Gambar 4.30 Konstruksi Pemikul Utama



Gambar 4.31 Pu max pada *normal load*

Didapat Output Sap Cable frame 14571, Pu = 150861,52 kg. Dengan itu, digunakan profil Thread rod Dywidag diameter 4,7 mm dengan P ijin = 1820 kN

Syarat:

$$Pu < P \text{ ijin}$$

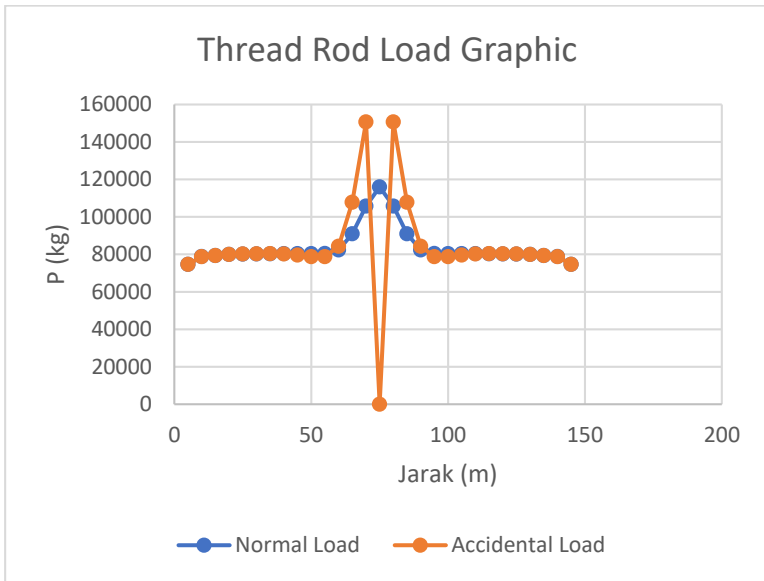
$$1508,61\text{kN} < 1820 \text{ kN (OK)}$$

Dapat dilihat perbandingan antara beban yang ditanggung oleh threaded rod pada kondisi *normal load* dan *accidental load* pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 4.4 Tabel Beban Aksial pada Thread Rod

Normal Load (span 150 m)				Accidental Load (span 150 m)			
no	frame	x (m)	P (kg)	no	frame	x (m)	P (kg)
1	14558	5	74630,91	1	14558	5	74627,3
2	14559	10	78806,24	2	14559	10	78800,97

Normal Load (span 150 m)				Accidental Load (span 150 m)			
3	14560	15	79384,55	3	14560	15	79380,56
4	14561	20	79978,95	4	14561	20	79993
5	14562	25	80115,74	5	14562	25	80175,01
6	14563	30	80207,25	6	14563	30	80318,45
7	14564	35	80274,52	7	14564	35	80347,14
8	14565	40	80370,2	8	14565	40	80191,07
9	14566	45	80381,15	9	14566	45	79620,24
10	14567	50	80383,59	10	14567	50	78798,28
11	14568	55	80433,57	11	14568	55	78728,06
12	14569	60	82342,09	12	14569	60	84348,21
13	14570	65	91009,55	13	14570	65	107828,8
14	14571	70	105722,8	14	14571	70	150695,2
15	14572	75	116006,7	15	14572	75	0
16	15032	80	105722,8	16	15032	80	150695,2
17	15031	85	91009,55	17	15031	85	107828,8
18	15030	90	82342,09	18	15030	90	84348,21
19	15029	95	80433,57	19	15029	95	78728,06
20	15028	100	80383,59	20	15028	100	78798,28
21	15027	105	80381,15	21	15027	105	79620,23
22	15026	110	80370,2	22	15026	110	80191,07
23	15025	115	80274,52	23	15025	115	80347,14
24	15024	120	80207,25	24	15024	120	80318,45
25	15023	125	80115,74	25	15023	125	80175,01
26	15022	130	79978,95	26	15022	130	79993
27	15021	135	79384,55	27	15021	135	79380,55
28	15020	140	78806,23	28	15020	140	78800,96
29	15019	145	74630,84	29	15019	145	74627,24



**Gambar 4.32 Grafik Beban Aksial Thread Rod**

### 4.2.3 Perencanaan Penampang Busur

#### a. Pelengkung busur bagian atas (upper ribs)

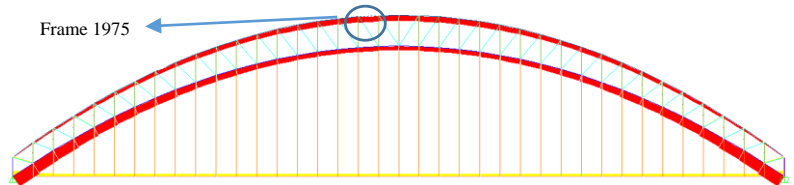
Digunakan profil box 700.700.35.35

Ag	= 93100 mm <sup>2</sup>	$\gamma_{baja}$	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
w	= 700 mm	Mutu	= BJ 50
h	= 700 mm	f <sub>y</sub>	= 290 N/mm <sup>2</sup>
tw	= 35 mm	f <sub>r</sub>	= 70 N/mm <sup>2</sup>
tf	= 35 mm	f <sub>u</sub>	= 500 N/mm <sup>2</sup>
I <sub>x</sub>	= 688100 cm <sup>4</sup>	E	= 2 x 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	= 688100 cm <sup>4</sup>	J	= 1029000 mm <sup>4</sup>
i <sub>x</sub>	= 271,9 mm		
i <sub>y</sub>	= 271,9 mm		
Z <sub>x</sub>	= 23238,25 cm <sup>3</sup>		
Z <sub>y</sub>	= 23238,25 cm <sup>3</sup>		
S <sub>x</sub>	= 19659,62 cm <sup>3</sup>		
S <sub>y</sub>	= 19659,52 cm <sup>3</sup>		

Dari output SAP, didapatkan:

Busur mengalami tekan (Frame 1975)

Komb. Kuat 1 (BTR & BGT)



Gambar 4.33 Konstruksi Pemikul Utama

Didapatkan:

$$N_u = -1288454,1 \text{ kg}$$

➤ Kontrol kelangsingan komponen struktur tekan

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{r}$$

$$L = 5007,8 \text{ mm}$$

$$k = 0,7 \text{ (jepit-jepit ; RSNI T-03-2005 Gambar 3)}$$

$$\lambda_x = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{5007,8 \text{ mm} \cdot 0,7}{271,9 \text{ mm}} = 12,89 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{5007,8 \text{ mm} \cdot 0,7}{271,9 \text{ mm}} = 12,89 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \lambda_x$$

Berdasarkan RSNI T-03-2005 pasal 6.2 untuk menetapkan parameter kelangsingan:

$$\lambda_c = \frac{L \cdot k}{r \pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} 12,89 \sqrt{\frac{290 \text{ N/mm}^2}{200.000 \text{ N/mm}^2}}$$

$$= 0,16 \text{ mm}$$

Untuk nilai :  $\lambda_c \leq 1,5 \rightarrow N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) Ag f_y$   
(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)

- Kuat Nominal

$$N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot Ag \cdot f_y$$

$$Ag = 93100 \text{ mm}^2$$

$$N_n = (0,66^{0,16^2}) \times 93100 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2$$

$$= 26713328,43 \text{ N} = 26713,3 \text{ kN}$$

- Kontrol

$$N_u \leq \phi N_n ; \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1)}$$

Dengan pengertian:

$\phi = 0,85$  (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)

$N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) Ag f_y$  (kuat tekan terfaktor ; RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)

Syarat:

$$N_u \leq \phi \cdot N_n$$

$$12884,5 \text{ kN} \leq 0,85 \cdot 26713,3 \text{ kN}$$

$$12884,5 \text{ kN} \leq 22706,305 \text{ kN (OK)}$$

➤ Tekuk lokal :



Gambar 4.34 Momen M3 dan M2 Maksimal

Didapatkan:

$$M_{ux} = 222,407 \text{ kN}$$

$$M_{uy} = 115,844 \text{ kN}$$

- Arah X : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Maka,

$$M_{n_x} = M_p = Z_x \times f_y$$

$$M_{n_x} = 23238250 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2$$

$$= 6739092500 \text{ Nmm} = 6739,09 \text{ kNm}$$

Arah Y : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$



$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow$  Penampang kompak

Maka,

$$Mn_x = Mp = Z_x \times f_y$$

$$\begin{aligned} Mn_x &= 23238250 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ &= 6739092500 \text{ Nmm} = 6739,09 \text{ kNm} \end{aligned}$$

➤ Tekuk lateral : (RSNI T-03-2005: tabel 8)

$$L_b = 500,7 \text{ cm}$$

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$L_p = 0,13 \times E \times r_y \frac{\sqrt{J \times A}}{Mp}$$

$$= 0,13 \times 2000000 \text{ kg/cm}^2 \times 27,19 \text{ cm}$$

$$\times \frac{\sqrt{1029000 \text{ cm}^4 \times 931 \text{ cm}^2}}{67390900 \text{ kgcm}}$$

$$= 3264,9 \text{ cm}$$

$L_b < L_p$  : termasuk dalam bentang pendek.

Maka kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur :

$Mn = Mp$  ; (RSNI T-03-2005 Pasal 7.3.3)

$$Mn_x = Mp = Z_x \times f_y$$

$$\begin{aligned} Mn_x &= Mn_y \quad 23238250 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ &= 6739092500 \text{ Nmm} = 6739,09 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kapasitas momen (diambil terkecil  $Mn$  lokal/lateral)

$$\phi Mn_x = 0,90 \times 6739,09 \text{ kNm}$$

$$= 6739,09 \text{ kNm} > M_{ux} = 222,40 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{ny} = 0,90 \times 35279,68 \text{ Nm}$$

$$= 6739,09 \text{ kNm} > M_{uy} = 115,84 \text{ kNm}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

➤ **Kontrol Interaksi Gaya**

Interaksi Aksial dan Lentur

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{12884,5 \text{ kN}}{22706,3 \text{ kN}} = 0,57$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 \text{ (RSNI T-03-2005 ps.7.16.1a)}$$

Syarat:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{12884,5 \text{ kN}}{22706,3 \text{ kN}} + \frac{8}{9} \left( \frac{222,41 \text{ kNm}}{6739,1 \text{ kNm}} + \frac{115,84 \text{ kNm}}{6739,1 \text{ kNm}} \right) \leq 1$$

$$0,61 < 1 \text{ (OK)}$$

**b. Pelengkung busur bagian bawah (lower ribs)**

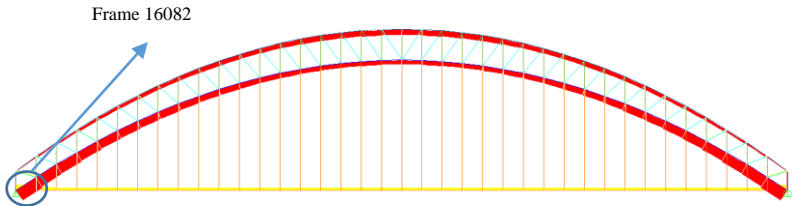
Digunakan profil box 1200.700.35.35

Ag	= 128100 mm <sup>2</sup>	$\gamma_{baja}$	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
w	= 1200 mm	Mutu	= BJ 50
h	= 700 mm	f <sub>y</sub>	= 290 N/mm <sup>2</sup>
tw	= 35 mm	f <sub>r</sub>	= 70 N/mm <sup>2</sup>
tf	= 35 mm	f <sub>u</sub>	= 500 N/mm <sup>2</sup>
I <sub>x</sub>	= 2505000 cm <sup>4</sup>	E	= 2 x 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	= 1080000 cm <sup>4</sup>	J	= 2,3 x 10 <sup>10</sup> mm <sup>4</sup>
i <sub>x</sub>	= 442,2 mm	S <sub>x</sub>	= 41700 cm <sup>3</sup>
i <sub>y</sub>	= 289,7 mm	S <sub>y</sub>	= 30700 cm <sup>3</sup>
Z <sub>x</sub>	= 50900 cm <sup>3</sup>		
Z <sub>y</sub>	= 34900 cm <sup>3</sup>		

Dari output SAP, didapatkan:

Busur mengalami tekan (Frame 15890)

## Komb. Kuat 1 (BTR & BGT)



Gambar 4.35 Konstruksi Pemikul Utama

Didapatkan:

$$N_u = -2576209,9 \text{ kg}$$



Gambar 4.36  $N_u$  Maksimal

➤ Kontrol kelangsingan komponen struktur tekan

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{r}$$

$$L = 5979,83 \text{ mm}$$

$$k = 0,7 \text{ (jepit-jepit ; RSNI T-03-2005 Gambar 3)}$$

$$\lambda_x = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{5979,83 \text{ mm} \cdot 0,7}{442,2 \text{ mm}} = 11,70 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{5979,83 \text{ mm} \cdot 0,7}{289,7 \text{ mm}} = 14,45 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y > \lambda_x$$

Berdasarkan RSNI T-03-2005 pasal 6.2 untuk menetapkan parameter kelangsingan:

$$\begin{aligned}\lambda c &= \frac{L \cdot k}{r \pi} \sqrt{\frac{Fy}{E}} \\ &= \frac{1}{\pi} 14,45 \sqrt{\frac{290 \text{ N/mm}^2}{200.000 \text{ N/mm}^2}} \\ &= 0,175\end{aligned}$$

Untuk nilai :  $\lambda c \leq 1,5 \rightarrow Nn = (0,66^{\lambda c^2}) Ag fy$   
(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)

- Kuat Nominal

$$Nn = (0,66^{\lambda c^2}) \cdot Ag \cdot fy$$

$$Ag = 114100 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}Nn &= (0,66^{0,175^2}) \times 128100 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ &= 36679268,06 \text{ N} = 36679,3 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Kontrol

$$Nu \leq \emptyset Nn ; \text{(RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1)}$$

Dengan pengertian:

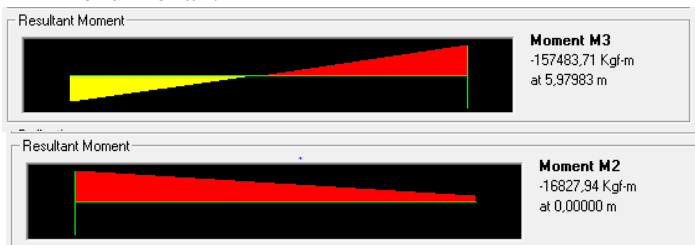
$\emptyset = 0,85$  (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)

$Nn = (0,66^{\lambda c^2}) Ag fy$  (kuat tekan terfaktor ; RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)

Syarat:

$$\begin{aligned}Nu &\leq \emptyset \cdot Nn \\ 25762,09 \text{ kN} &\leq 0,85 \cdot 36679,3 \text{ kN} \\ 25762,09 \text{ kN} &\leq 31177,4 \text{ kN (OK)}\end{aligned}$$

➤ Tekuk lokal :



Gambar 4.37 Momen M3 dan M2 Maksimal

Didapatkan:

$$M_{ux} = -154783,71 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = -16827,94 \text{ kgm}$$

- Arah X : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Maka,

$$M_{n_x} = M_p = Z_x \times f_y$$

$$M_{n_x} = 50900000 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2$$

$$= 14761000000 \text{ Nmm} = 14761 \text{ kNm}$$

Arah Y : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{1200}{35} = 34,3$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \rightarrow \text{Penampang langsing}$$

Maka,

$$M_{n_x} = M_r = S_x (f_y - f_r)$$

$$M_{n_x} = 30700000 \text{ mm}^3 \times (290 - 70) \text{ N/mm}^2$$

$$= 6754000000 \text{ Nmm} = 6754 \text{ kNm}$$

➤ Tekuk lateral : (RSNI T-03-2005: tabel 8)

$$L_b = 597,9 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
E &= 200000 \text{ Mpa} \\
G &= 80000 \text{ Mpa} \\
L_p &= 0,13 \times E \times r_y \frac{\sqrt{J \times A}}{M_p} \\
&= 0,13 \times 2000000 \text{ kg/cm}^2 \times 28,9 \text{ cm} \\
&\quad \times \frac{\sqrt{2300000 \text{ cm}^4 \times 1281 \text{ cm}^2}}{147610000 \text{ kgcm}} \\
&= 2763,1 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$L_b < L_p$  : termasuk dalam bentang pendek.  
Maka kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur :  
 $M_n = M_p$  ; (RSNI T-03-2005 Pasal 7.3.3)

$$\begin{aligned}
M_{n_x} &= M_p = Z_x \times f_y \\
M_{n_x} &= 50900000 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\
&= 14761000000 \text{ Nmm} = 14761 \text{ kNm} \\
M_{n_y} &= 34900000 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\
&= 10121000000 \text{ Nmm} = 10121 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Kapasitas momen (diambil terkecil dari nilai  $M_n$  lokal/lateral)

$$\begin{aligned}
\phi M_{n_x} &= 0,90 \times 14761 \text{ kNm} \\
&= 13284,9 \text{ kNm} > M_{ux} = 1587,44 \text{ kNm} \\
\phi M_{n_y} &= 0,90 \times 10121 \text{ kNm} \\
&= 9108,9 \text{ kNm} > M_{uy} = 162,29 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

➤ Kontrol Interaksi Gaya

Interaksi Aksial dan Lentur

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{25762,09 \text{ kN}}{31177,4 \text{ kN}} = 0,83$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 \text{ (RSNI T-03-2005 ps.7.16.1a)}$$

Syarat:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{25762,09 \text{ kN}}{31177,4 \text{ kN}} + \frac{8}{9} \left( \frac{1587,4 \text{ kNm}}{13284,9 \text{ kNm}} + \frac{115,84 \text{ kNm}}{9108,9 \text{ kNm}} \right) \leq 1$$

$$0,947 < 1 \text{ (OK)}$$

### c. Batang vertikal rangka

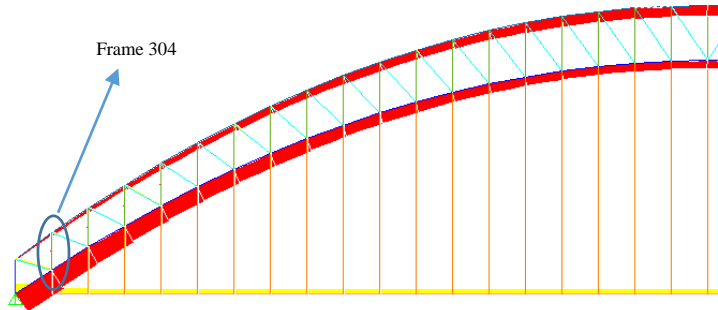
Digunakan profil box 300.300.10.10

Ag	= 11600 mm <sup>2</sup>	$\gamma_{baja}$	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
w	= 300 mm	Mutu	= BJ 50
h	= 300 mm	fy	= 290 N/mm <sup>2</sup>
tw	= 10 mm	fr	= 70 N/mm <sup>2</sup>
tf	= 10 mm	fu	= 500 N/mm <sup>2</sup>
Ix	= 16280 cm <sup>4</sup>	E	= 2 x 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
Iy	= 16280 cm <sup>4</sup>	J	= 243890000 mm <sup>4</sup>
ix	= 118,5 mm		
iy	= 118,5 mm		
Zx	= 1262 cm <sup>3</sup>		
Zy	= 1262 cm <sup>3</sup>		
Sx	= 1085,24 cm <sup>3</sup>		
Sy	= 1085,24 cm <sup>3</sup>		

Dari output SAP, didapatkan:

Busur mengalami tekan (Frame 304)

Komb. Kuat 1 (BTR & BGT)



Gambar 4.38 Konstruksi Pemikul Utama

Didapatkan:

$$N_u = -136317,18 \text{ kg}$$



Gambar 4.39 Nu Tekan Maksimal

➤ Kontrol kelangsingan komponen struktur tekan

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{r}$$

$$L = 5040 \text{ mm}$$

$$k = 1,0 \text{ (sendi-sendiri ; RSNI T-03-2005 Gambar 3)}$$

$$\lambda_x = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{5040 \text{ mm} \cdot 1}{118,5 \text{ mm}} = 42,53 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{5040 \text{ mm} \cdot 1}{118,5 \text{ mm}} = 42,53 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \lambda_x$$



Berdasarkan RSNI T-03-2005 pasal 6.2 untuk menetapkan parameter kelangsingan:

$$\begin{aligned}\lambda c &= \frac{L \cdot k}{r \pi} \sqrt{\frac{Fy}{E}} \\ &= \frac{1}{\pi} 42,53 \sqrt{\frac{290 \text{ N/mm}^2}{200.000 \text{ N/mm}^2}} \\ &= 0,515 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk nilai :  $\lambda c \leq 1,5 \rightarrow N_n = (0,66^{\lambda c^2}) Ag fy$   
(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)

- Kuat Nominal

$$\begin{aligned}N_n &= (0,66^{\lambda c^2}) \cdot Ag \cdot fy \\ Ag &= 11600 \text{ mm}^2 \\ N_n &= (0,66^{0,515^2}) \times 11600 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3012968,06 \text{ N} = 3012,968 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Kontrol

$$N_u \leq \phi N_n ; \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1)}$$

Dengan pengertian:

$\phi = 0,85$  (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)

$N_n = (0,66^{\lambda c^2}) Ag fy$  (kuat tekan terfaktor ; RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)

Syarat:

$$\begin{array}{rcl}N_u & \leq & \phi \cdot N_n \\ 1363,2 \text{ kN} & \leq & 0,85 \cdot 3012,97 \text{ kN} \\ 1363,2 \text{ kN} & \leq & 2561,02 \text{ kN (OK)}\end{array}$$

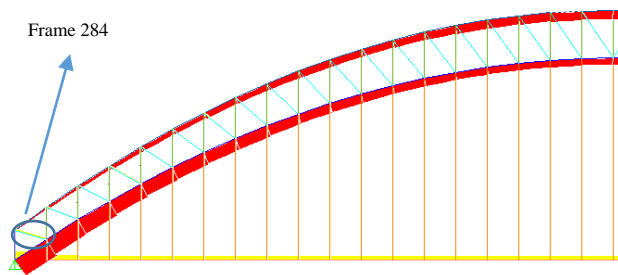
#### d. Batang diagonal rangka

Digunakan profil box 300.300.10.10

$$\begin{array}{ll}Ag &= 11600 \text{ mm}^2 & \gamma_{baja} &= 7850 \text{ kg/m}^3 \\ w &= 300 \text{ mm} & \text{Mutu} &= \text{BJ 50} \\ h &= 300 \text{ mm} & fy &= 290 \text{ N/mm}^2 \\ tw &= 10 \text{ mm} & fr &= 70 \text{ N/mm}^2\end{array}$$

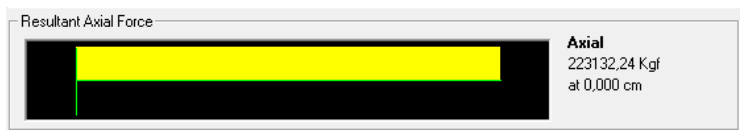
$t_f$	= 10 mm	$f_u$	= 500 N/mm <sup>2</sup>
$I_x$	= 16280 cm <sup>4</sup>	$E$	= 2 x 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
$I_y$	= 16280 cm <sup>4</sup>	$J$	= 243890000 mm <sup>4</sup>
$i_x$	= 118,5 mm		
$i_y$	= 118,5 mm		
$Z_x$	= 1262 cm <sup>3</sup>		
$Z_y$	= 1262 cm <sup>3</sup>		
$S_x$	= 1085,24 cm <sup>3</sup>		
$S_y$	= 1085,24 cm <sup>3</sup>		

Dari output SAP, didapatkan:  
 Busur mengalami tekan (Frame 304)  
 Komb. Kuat 1 (BTR & BGT)



Gambar 4.40 Konstruksi Pemikul Utama

Didapatkan:  
 $N_u$  = 223132,24 kg (tarik)



Gambar 4.41  $N_u$  Tarik Maksimal

➤ Kontrol kelangsingan komponen struktur tarik

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{r}$$

$$L = 5211,6 \text{ mm}$$

$$k = 1,0 \text{ (sendi-sendiri ; RSNI T-03-2005 Gambar 3)}$$

$$\lambda_x = \frac{L \cdot k}{r} \leq 300 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 5.3.3)}$$

$$= \frac{5211,6 \text{ mm} \cdot 1}{118,5 \text{ mm}} = 43,98 < 300 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \frac{L \cdot k}{r} \leq 300 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 5.3.3)}$$

$$= \frac{5211,6 \text{ mm} \cdot 1}{118,5 \text{ mm}} = 43,98 < 300 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \lambda_x$$

### **Kontrol Tarik**

#### **Kuat leleh**

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 11600 \text{ mm}^2 \cdot 290 \frac{N}{\text{mm}^2} \\ &= 3027600 \text{ N} \\ &= 3027,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } P_u \leq \phi P_n$$

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$2231,32 \text{ kN} \leq 3027,6 \text{ kN}$$

$$2231,32 \text{ kN} \leq 3027,6 \text{ kN (OK)}$$

#### **Kuat putus**

$$\phi P_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$A_e = A_g \cdot U$$

$$= 11600 \text{ mm}^2 \cdot x \left( 1 - \frac{x}{l} \right)$$

$$= 11600 \text{ mm}^2 \cdot x \left( 1 - \frac{\frac{B^2}{4(B+H)}}{l \text{ sambungan}} \right)$$

$$= 11600 \text{ mm}^2 \cdot x \left( 1 - \frac{\frac{300^2}{4(300+300)}}{2400} \right)$$

$$= 11600 \text{ mm}^2 \times \left( 1 - \frac{\frac{300^2}{4(300+300)}}{2400} \right)$$

$$= 11368 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot A_e \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 11368 \text{ mm}^2 \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ &= 4263000 \text{ N} \\ &= 4263 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat :  $P_u \leq \phi P_n$

$$\begin{aligned} P_u &\leq \phi P_n \\ 2231,32 \text{ kN} &\leq 4263 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

#### e. Balok portal akhir

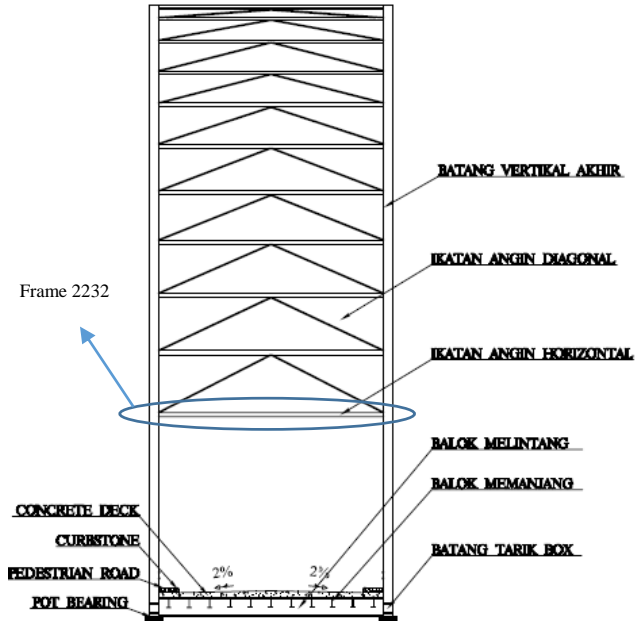
Digunakan profil box 700.700.35.35

$A_g$	$= 93100 \text{ mm}^2$	$\gamma_{baja}$	$= 7850 \text{ kg/m}^3$
$w$	$= 700 \text{ mm}$	Mutu	$= \text{BJ 50}$
$h$	$= 700 \text{ mm}$	$f_y$	$= 290 \text{ N/mm}^2$
$t_w$	$= 35 \text{ mm}$	$f_r$	$= 70 \text{ N/mm}^2$
$t_f$	$= 35 \text{ mm}$	$f_u$	$= 500 \text{ N/mm}^2$
$I_x$	$= 688100 \text{ cm}^4$	$E$	$= 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
$I_y$	$= 688100 \text{ cm}^4$	$J$	$= 1029000 \text{ cm}^4$
$i_x$	$= 271,9 \text{ mm}$		
$i_y$	$= 271,9 \text{ mm}$		
$Z_x$	$= 23238,25 \text{ cm}^3$		
$Z_y$	$= 23238,25 \text{ cm}^3$		
$S_x$	$= 19659,62 \text{ cm}^3$		
$S_y$	$= 19659,62 \text{ cm}^3$		

Dari output SAP, didapatkan:

Busur mengalami tekan (Frame 2232)

Komb. Kuat 1 (BTR & BGT)

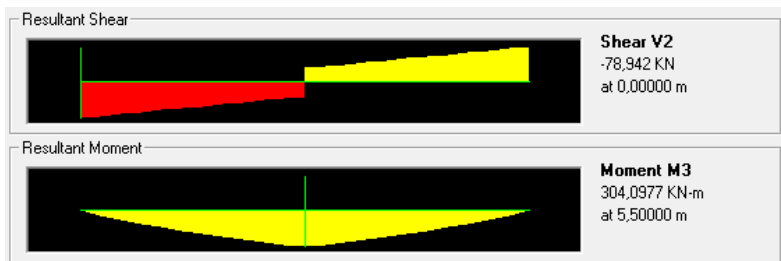


Gambar 4.42 Portal Akhir

Didapatkan:

$$V_u = 7894,2 \text{ kg}$$

$$M_u = 30409,97 \text{ kg}$$



Gambar 4.43 Gaya Dalam pada Balok Portal Akhir

➤ Tekuk lokal :

- Arah X : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Arah Y : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

➤ Tekuk lateral : (RSNI T-03-2005: tabel 8)

$$L_b = 1100 \text{ cm}$$

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$L_p = 0,13 \times E \times r_y \frac{\sqrt{J \times A}}{M_p}$$

$$= 0,13 \times 2000000 \text{ kg/cm}^2 \times 27,19 \text{ cm}$$

$$\times \frac{\sqrt{1029000 \text{ cm}^4 \times 931 \text{ cm}^2}}{97390925 \text{ kgcm}}$$

$$= 2246,71 \text{ cm}$$

$L_b < L_p$  : termasuk dalam bentang pendek.  
Maka kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur :

$$M_n = M_p ; \text{ (RSNI T-03-2005 Pasal 7.3.3)}$$

$$M_n = M_p = Z_x \times f_y$$

$$M_n = 23238250 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ = 6739092500 \text{ Nmm} = 6739,1 \text{ kNm}$$

Kapasitas momen (diambil terkecil  $M_n$  lokal/lateral)

$$\phi M_n = 0,90 \times 6739,1 \text{ kNm}$$

$$= 6065,2 \text{ kNm} > M_u = 304,1 \text{ kNm}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

➤ Kontrol terhadap geser

Didapatkan:

$$V_u = 7894,2 \text{ kg} = 78,94 \text{ KN}$$

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor harus memenuhi :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n \quad \text{(RSNI T-03-2005 ps.7.8)}$$

Luas penampang badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{700}{35} = 20$$

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

$$K_n = 5 + \frac{5}{(93100/700)^2} = 5,00$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_n \times E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{290}} = 64,6$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n \times E}{f_y}}, \text{ maka kuat geser :}$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \text{ (RSNI T-03-2005 ps.7.8.-3a)}$$

$$= 0,6 \times 290 \times (2 \times 700 \times 35)$$

$$= 8526000 \text{ N} = 8526 \text{ kN}$$

(kuat geser terfaktor ; RSNI T-03-2005 pasal 7.8.1)

Syarat:

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \cdot V_n \\ 78,94 \text{ kN} &\leq 0,75 \cdot 8526 \text{ kN} \\ 78,94 \text{ kN} &\leq 6394,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

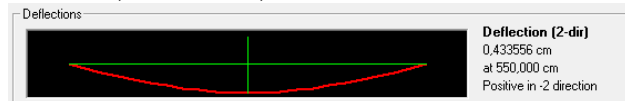
Maka penampang telah memenuhi kekuatan geser yang terjadi

➤ **Lendutan Ijin**

Syarat  $\delta' \leq \delta$  dimana  $\delta$  adalah lendutan ijin, sedangkan  $\delta'$  adalah lendutan yang terjadi

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\lambda}{800} \text{ (RSNI T-03-2005 ps.4.7.2)} \\ &= \frac{1100}{800} = 1,375 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada SAP2000 didapatkan output lendutan batang sebesar 0,0018 m = 0,1 cm



Gambar 4.1 Lendutan Balok Portal Akhir Jembatan

Cek syarat lendutan ijin

$$\begin{aligned} \delta' &\leq \delta \\ 0,435 \text{ cm} &\leq 1,375 \text{ cm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

**f. Kolom vertikal akhir**

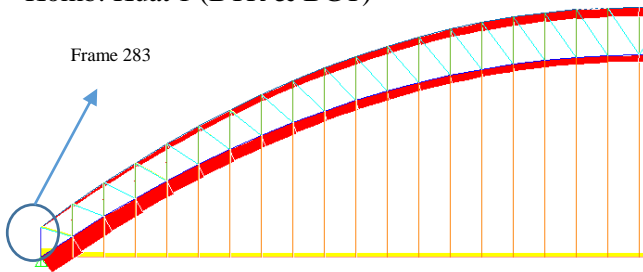
Digunakan profil box 700.700.35.35

Ag	= 93100 mm <sup>2</sup>	$\gamma_{baja}$	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
w	= 700 mm	Mutu	= BJ 50
h	= 700 mm	f <sub>y</sub>	= 290 N/mm <sup>2</sup>
tw	= 35 mm	f <sub>r</sub>	= 70 N/mm <sup>2</sup>
tf	= 35 mm	f <sub>u</sub>	= 500 N/mm <sup>2</sup>
I <sub>x</sub>	= 688100 cm <sup>4</sup>	E	= 2 x 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	= 688100 cm <sup>4</sup>	J	= 1029000 mm <sup>4</sup>
ix	= 271,9 mm		



$$\begin{aligned}
 i_y &= 271,9 \text{ mm} \\
 Z_x &= 23238,25 \text{ cm}^3 \\
 Z_y &= 23238,25 \text{ cm}^3 \\
 S_x &= 19659,62 \text{ cm}^3 \\
 S_y &= 19659,62 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

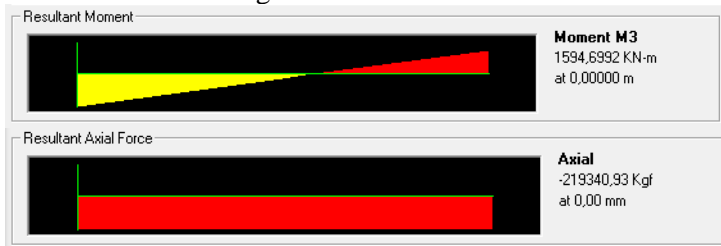
Dari output SAP, didapatkan:  
 Busur mengalami tekan (Frame 283)  
 Komb. Kuat 1 (BTR & BGT)



Gambar 4.44 Konstruksi Pemikul Utama

Didapatkan:

$$\begin{aligned}
 N_u &= -219340,9 \text{ kg (tekan)} \\
 M_u &= 159470 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.45 Gaya Dalam pada Kolom Penyangga

- Tekuk lokal :
  - Arah X : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)
$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow$  Penampang kompak

Arah Y : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow$  Penampang kompak

➤ Tekuk lateral : (RSNI T-03-2005: tabel 8)

Lb = 475 cm

E = 200000 Mpa

G = 80000 Mpa

$$\begin{aligned} L_p &= 0,13 \times E \times r_y \frac{\sqrt{J \times A}}{M_p} \\ &= 0,13 \times 2000000 \text{ kg/cm}^2 \times 27,19 \text{ cm} \\ &\quad \times \frac{\sqrt{1029000 \text{ cm}^4 \times 931 \text{ cm}^2}}{97390925 \text{ kgcm}} \\ &= 2246,71 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lb < Lp : termasuk dalam bentang pendek.

Maka kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur :

Mn = Mp ; (RSNI T-03-2005 Pasal 7.3.3)

Mn = Mp = Zx x fy

$$M_n = 23238250 \text{ mm}^3 \times 290 \text{ N/mm}^2$$

$$= 6739092500 \text{ Nmm} = 6739,1 \text{ kNm}$$

Kapasitas momen (diambil terkecil  $M_n$  lokal/lateral)

$$\phi M_n = 0,90 \times 6739,1 \text{ kNm}$$

$$= 6065,1 \text{ kNm} > M_u = 1594,70 \text{ kNm}$$

Maka penampang telah memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

➤ Kontrol kelangsingan komponen struktur tekan

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{r}$$

$$L = 4750 \text{ mm}$$

$$k = 1 \text{ (sendi-sendi ; RSNI T-03-2005 Gambar 3)}$$

$$\lambda_x = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{4750 \text{ mm} \cdot 1}{271,9 \text{ mm}} = 17,47 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \frac{L \cdot k}{r} \leq 140 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 6.1)}$$

$$= \frac{4750 \text{ mm} \cdot 1}{271,9 \text{ mm}} = 17,47 < 140 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \lambda_x$$

Berdasarkan RSNI T-03-2005 pasal 6.2 untuk menetapkan parameter kelangsingan:

$$\lambda_c = \frac{L \cdot k}{r \pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} 17,47 \sqrt{\frac{290 \text{ N/mm}^2}{200.000 \text{ N/mm}^2}}$$

$$= 0,2 \text{ mm}$$

Untuk nilai :  $\lambda_c \leq 1,5 \rightarrow N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) A_g f_y$   
(RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)

- Kuat Nominal

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

$$A_g = 93100 \text{ mm}^2$$

$$N_n = (0,66^{0,22}) \times 93100 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2 \\ = 26553968,5 \text{ N} = 26554 \text{ kN}$$

- Kontrol

$$N_u \leq \phi N_n ; (\text{RSNI T-03-2005 pasal 6.1-1})$$

Dengan pengertian:

$$\phi = 0,85 \text{ (faktor reduksi ; RSNI T-03-2005 pasal 4.5.2)}$$

$$N_n = (0,66^{\lambda c^2}) A_g f_y \text{ (kuat tekan terfaktor ; RSNI T-03-2005 pasal 6.2-1)}$$

Syarat:

$$\begin{array}{rcl} N_u & \leq & \phi \cdot N_n \\ 2193,4 \text{ kN} & \leq & 0,85 \cdot 26554 \text{ kN} \\ 2193,4 \text{ kN} & \leq & 22570,9 \text{ kN (OK)} \end{array}$$

➤ Kontrol Interaksi Gaya

Interaksi Aksial dan Lentur

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{2193,4 \text{ kN}}{22570,9 \text{ kN}} = 0,09$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2 \text{ (RSNI T-03-2005 ps.7.16.1a)}$$

Syarat:

$$\frac{N_u}{2 \phi N_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \\ \frac{2193,4 \text{ kN}}{2 \times 22570,9 \text{ kN}} + \left( \frac{1594,7 \text{ kNm}}{6065,1 \text{ kNm}} + \frac{339,7 \text{ kNm}}{6065,1 \text{ kNm}} \right) \leq 1 \\ 0,37 < 1 \text{ (OK)}$$

**g. Tied beam**

Digunakan profil box 700.700.35.35

$$A_g = 93100 \text{ mm}^2 \qquad \gamma_{baja} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

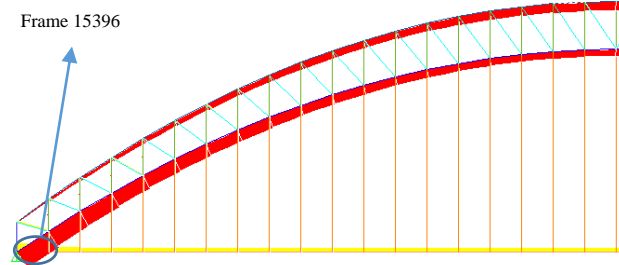
$$w = 700 \text{ mm} \qquad \text{Mutu} = \text{BJ 50}$$

h	= 700 mm	fy	= 290 N/mm <sup>2</sup>
tw	= 35 mm	fr	= 70 N/mm <sup>2</sup>
tf	= 35 mm	fu	= 500 N/mm <sup>2</sup>
Ix	= 688100 cm <sup>4</sup>	E	= 2 x 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
Iy	= 688100 cm <sup>4</sup>	J	= 1029000 mm <sup>4</sup>
ix	= 271,9 mm		
iy	= 271,9 mm		
Zx	= 23238,25 cm <sup>3</sup>		
Zy	= 23238,25 cm <sup>3</sup>		
Sx	= 19659,62 cm <sup>3</sup>		
Sy	= 19659,62 cm <sup>3</sup>		

Dari output SAP, didapatkan:

Busur mengalami tekan (Frame 15396)

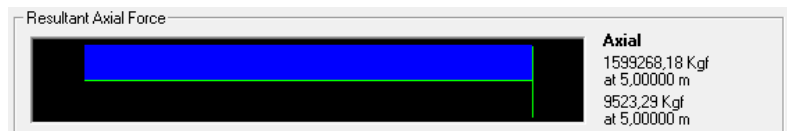
Komb. EKSTREM 1 GEMPA Y (BTR & BGT)



Gambar 4.46 Konstruksi Pemikul Utama

Didapatkan:

Nu = 1599268,2 kg (tarik)



Gambar 4.47 Nu Tarik Maks

➤ Kontrol kelangsingan komponen struktur tarik

$$\lambda = \frac{L \cdot k}{r}$$

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

$$k = 0,7 \text{ (jepit-jepit ; RSNI T-03-2005 Gambar 3)}$$

$$\lambda_x = \frac{L \cdot k}{r} \leq 300 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 5.3.3)}$$

$$= \frac{5000 \text{ mm} \cdot 0,7}{271,9 \text{ mm}} = 12,87 < 300 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \frac{L \cdot k}{r} \leq 300 \text{ (RSNI T-03-2005 pasal 5.3.3)}$$

$$= \frac{5000 \text{ mm} \cdot 0,7}{271,9 \text{ mm}} = 12,87 < 300 \text{ (OK)}$$

$$\lambda_y = \lambda_x$$

➤ Tekuk lokal :

- Arah X : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Arah Y : (RSNI T-03-2005 pasal 6.1 tabel 4)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{700}{35} = 20$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} = \frac{500}{\sqrt{290}} = 29,36$$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\lambda \leq \lambda_p \leq \lambda_r \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

### **Kontrol Tarik**

#### **Kuat leleh**

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 93100 \text{ mm}^2 \cdot 290 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ &= 24299100 \text{ N} \\ &= 24299,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } P_u \leq \phi P_n$$

$$\begin{aligned} P_u &\leq \phi P_n \\ 14429,7 \text{ kN} &\leq 24299,1 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

#### **Kuat putus**

$$\phi P_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$A_e = A_g \cdot U$$

$$\begin{aligned} &= 93100 \text{ mm}^2 \cdot x \left( 1 - \frac{x}{l} \right) \\ &= 93100 \text{ mm}^2 \cdot x \left( 1 - \frac{\frac{B^2}{4(B+H)}}{l} \right) \\ &= 93100 \text{ mm}^2 \cdot x \left( 1 - \frac{\frac{700^2}{4(700+700)}}{2500} \right) \\ &= 89841,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\phi P_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$\begin{aligned} &= 0,75 \cdot 89841,5 \text{ mm}^2 \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ &= 33690562,5 \text{ N} \\ &= 33690,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } P_u \leq \phi P_n$$

$$\begin{aligned} P_u &\leq \phi P_n \\ 33690,6 \text{ kN} &\leq 24299,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 4.3 Kontrol Lendutan pada Jembatan

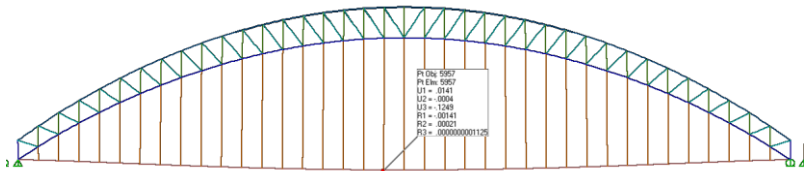
Dalam merencanakan struktur jembatan, salah satu syarat yang harus dipenuhi adalah lendutan yang terjadi tidak melebihi batas ijin. Menurut RSNI T-03-2005 pasal 4.7.2, lendutan maksimum untuk jembatan yaitu:

$$\delta = \frac{\lambda}{800}$$

Dimana  $\lambda$  adalah panjang bentang jembatan, maka:

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{19000}{800} \\ &= 23,75 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dalam perencanaan Jembatan Busur ini terjadi lendutan sebesar 23,2 cm untuk kombinasi Daya Layan I. Dari output SAP tersebut dapat dinyatakan lendutan Jembatan Busur Kali Kendeng masih memenuhi syarat yang ditentukan.



Gambar 4.48 Lendutan Terjadi

Cek syarat lendutan ijin :

$$\begin{aligned}\delta' &\leq \delta \\ 23,2 \text{ cm} &\leq 23,75 \text{ cm} \quad \quad \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$



## 4.4 Perencanaan Sambungan

### 4.4.1 Sambungan Gelagar Memanjang dan Melintang

Sambungan balok memanjang dan melintang direncanakan menggunakan baut tipe friksi.

Direncanakan:

Balok memanjang :  $m = 2$  (jumlah bidang geser)

Balok melintang :  $m = 1$  (jumlah bidang geser)

Baut Tipe A490

$T_b = 408 \text{ kN}$

$F_u = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2$

Diameter baut ( $d_b$ ) = 30 mm

Diameter lubang ( $d_1$ ) = 31 mm

Baut tanpa ulir ( $r_1$ ) = 0,5

Baut dengan ulir ( $r_1$ ) = 0,4

Pelat Siku 120 x 120 x 12 BJ 50

$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$

$V_u \text{ maks} = A_g \times f_y \times 0,75$   
 $= 9676 \text{ mm}^2 \times 290 \text{ N/mm}^2$   
 $= 2104530 \text{ N}$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi (gelagar memanjang)

$R_n = h_f \times D_u \times \mu \times m \times T_b$

$D_u = 1,13$  (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)

$\mu = 0,3$  (Untuk Baut Kelas Aw)

$m = 2$

$h_f = 1$

$R_n = h_f \times D_u \times \mu \times m \times T_b$

$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 2 \times 40800 \text{ kg}$

$= 32272,8 \text{ kg}$

$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{210453 \text{ kg}}{32272,8 \text{ kg}} = 6,5 \text{ buah} \approx 8M30$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi (gelagar melintang)

$$R_n = hf \times Du \times \mu \times m \times T_b$$

$$Du = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times Du \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800$$

$$= 16136,4 \text{ kg}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{210453 \text{ kg}}{16136,4 \text{ kg}} = 13 \text{ buah} \approx 15M30$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\text{Jarak ke tepi (S1)} = 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 108 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\text{Jarak antar baut (S)} = 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4\text{tp} + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$= 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (12 \text{ mm}) +$$

$$100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 136 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kontrol Kuat Pelat Siku

L (Panjang Sambungan)

$$L = \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi})$$

$$= \left( \frac{9}{3} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm})$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$= 30 \text{ cm}$$

$$\text{Ag} = L \times \text{tp}$$

$$= 30 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$$

$$= 45 \text{ cm}^2$$

$$\text{Anv} = L_{nv} \times \text{tp}$$

$$\begin{aligned}
&= (30 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d1) t_p \\
&= (30 \text{ cm} - \frac{8}{4} \text{ cm} \times 3,1) 1,5 \text{ cm} \\
&= 35,7 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

o Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}
\phi P_n &= \phi \times f_y \times A_g \\
&= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 45 \text{ cm}^2 \\
&= 117450 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Karena n siku = 2; maka:

$$\begin{aligned}
2 \phi P_n &> P_u \\
2 \times 117450 \text{ kg} &> 210453 \text{ kg} \\
234900 \text{ kg} &> 210453 \text{ kg (OK)}
\end{aligned}$$

o Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}
\phi P_n &= \phi \times f_u \times A_{nv} \\
&= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 35,7 \text{ cm}^2 \\
&= 133875 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Karena n siku = 2; maka:

$$\begin{aligned}
2 \phi P_n &> P_u \\
2 \times 133875 \text{ kg} &> 210543 \text{ kg} \\
267750 \text{ kg} &> 210543 \text{ kg (OK)}
\end{aligned}$$

#### 4.4.2 Sambungan Gelagar Melintang dan Tie Beam

Sambungan balok memanjang dan melintang direncanakan menggunakan baut tipe friksi.

Direncanakan:

Balok Melintang : m = 2 (jumlah bidang geser)

Tie Beam : m = 1 (jumlah bidang geser)

Baut Tipe A490

Tb = 408 kN

Fu = 825 Mpa = 8250 kg/cm<sup>2</sup>

Fy = 585 Mpa = 5850 kg/cm<sup>2</sup>

Diameter baut (db) = 30 mm

Diameter lubang (d1) = 31 mm

Baut tanpa ulir (r1) = 0,5

Baut dengan ulir (r1) = 0,4

Pelat Siku 250 x 250 x 15 BJ 50

$$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u \text{ maks} = 2909447.65 \text{ N}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi (gelagar melintang)

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas Aw)}$$

$$m = 2$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 2 \times 40800$$

$$= 32272,8 \text{ kg}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{290944,8 \text{ kg}}{32272,8 \text{ kg}} = 9,01 \text{ buah} \approx 12M30$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi (tied beam)

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800$$

$$= 16136,4 \text{ kg}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{290944,8 \text{ kg}}{16136,4 \text{ kg}} = 18,03 \text{ buah} \approx 20M30$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi (gelagar melintang - flens)

Momen diambil pada lokasi pemotongan beam  $x = 1 \text{ m}$

$$M_u = 90596,1 \text{ kgm}$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$\begin{aligned} R_n &= hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b \\ &= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800 \\ &= 16136,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{90596,1 \text{ kg}/0,9 \text{ m}}{16136,4 \text{ kg}} = 6,23 \text{ buah} \approx 8 \text{ M30}$$

➤ Kuat Las gelagar melintang pada Tie Beam

$$t_e \text{ web} = 8 \text{ mm}$$

$$t_e \text{ flens} = 1,2 \text{ mm}$$

$$\text{Elektroda} = \text{FE7012 (} f_{uw} = 490 \text{ N/mm}^2 \text{)}$$

Dapat dihitung panjang las yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{➤ } \phi R_n &= \phi 0,707 t_e f_{nw} \text{ (terhadap material las)} \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 8 \text{ mm} \times 2 \text{ (web)} \times (0,6 \times f_{uw})) + (0,75 \times 0,707 \times 2,7 \text{ mm} \times 1 \text{ (web)} \times (0,6 \times f_{uw})) \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 8 \text{ mm} \times 2 \text{ (web)} \times 294 \text{ N/mm}) + (0,75 \times 0,707 \times 2,7 \text{ mm} \times 1 \text{ (flens)} \times 294 \text{ N/mm}) \\ &= 2884 \text{ N/mm} \\ &= 2,884 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } R_u = 2909,45 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } L_{\text{las}} &= \frac{R_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{2909,45 \text{ kN}}{2,884 \text{ kN/mm}} \\ &= 1008,8 \text{ mm} \\ &= 100,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } L_{\text{las}} &= h \text{ web yang menempel pada tied beam} \\ &\quad t_f + b \text{ flens-tw} \\ &= 700 \text{ mm} - 38 \text{ mm} + 400 \text{ mm} - 16 \text{ mm} \\ &= 1046 \text{ mm} \\ &= 104,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

➤ Syarat :

L las diperlukan < L las tersedia

$$100,9 \text{ cm} < 104,6 \text{ cm} \text{ (Memenuhi)}$$

Las akan diaplikasikan menggunakan tipe fillet pada samping kanan dan kiri web serta flens profil gelagar melintang.

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\text{Jarak ke tepi (S1)} = 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 240 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\text{Jarak antar baut (S)} = 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4\text{tp} + 100)$$

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

$$= 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (20 \text{ mm}) +$$

$$100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 180 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$L = \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi})$$

$$= \left( \frac{12}{4} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm})$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$= 30 \text{ cm}$$

$$\text{Ag} = L \times \text{tp}$$

$$= 30 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$$

$$= 60 \text{ cm}$$

$$\text{Anv} = L_{nv} \times \text{tp}$$

$$= \left( 30 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d1 \right) \text{tp}$$

$$= \left( 30 \text{ cm} - \frac{12}{4} \times 3,1 \text{ cm} \right) 2 \text{ cm}$$

$$= 40,14 \text{ cm}^2$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)
 
$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 60 \text{ cm}^2 \\ &= 156600 \text{ kg}\end{aligned}$$
 Karena n pelat = 2; maka:
 
$$\begin{aligned}2 \times \varphi P_n &> P_u \\ 2 \times 156600 \text{ kg} &> 290944,8 \text{ kg} \\ 313200 \text{ kg} &> 290944,8 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$
- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)
 
$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 40,14 \text{ cm}^2 \\ &= 150525 \text{ kg}\end{aligned}$$
 Karena n pelat = 2; maka:
 
$$\begin{aligned}2 \varphi P_n &> P_u \\ 2 \times 150525 \text{ kg} &> 290944,8 \text{ kg} \\ 301050 \text{ kg} &> 290944,8 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

#### 4.4.3 Sambungan Ikatan Angin Busur

Sambungan ikatan angin busur direncanakan menggunakan sambungan baut tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$T_b = 334 \text{ kN}$

$F_u = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2$

Diameter baut ( $d_b$ ) = 27 mm

Diameter lubang ( $d_1$ ) = 28 mm

Baut tanpa ulir ( $r_1$ ) = 0,5

Pelat BJ 50

$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$

$T_u \text{ maks} = 1115,35 \text{ kN} = 111535 \text{ kg}$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$R_n = h_f \times D_u \times \mu \times m \times T_b$

$D_u = 1,13$  (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)

$$\begin{aligned} \mu &= 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)} \\ m &= 1 \\ hf &= 1 \\ Rn &= hf \times Du \times \mu \times m \times Tb \\ &= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 33400 \text{ kg} \\ &= 11322,6 \text{ kg} \\ n &= \frac{Vu}{\varphi Rn} = \frac{111535 \text{ kg}}{11322,6 \text{ kg}} = 6,9 \text{ buah} \approx 8M27 \end{aligned}$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\begin{aligned} \text{Jarak ke tepi (S1)} &= 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 1,5 \text{ (27 mm)} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 40,5 \text{ mm} \leq S1 \leq 144 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar baut (S)} &= 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4tp + 100) \\ &\text{atau } 200 \text{ mm} \\ &= 2,5 \text{ (27 mm)} \leq S1 \leq 4 \text{ (12 mm)} + \\ &\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\ &= 67,5 \text{ mm} \leq S1 \leq 148 \text{ mm atau } 200 \\ &\quad \text{mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kuat Las Pelat Penyambung

$$\begin{aligned} Te &= 7,5 \text{ mm} \times 2 \text{ (fillet)} \\ \text{Elektroda} &= FE7012 \text{ (fuw} = 490 \text{ N/mm}^2) \end{aligned}$$

Dapat dihitung panjang las yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{➤ } \varnothing Rn &= \varnothing 0,707 \text{ te fnw (terhadap material las)} \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 7,5 \text{ mm} \times 2 \times (0,6 \times \text{fuw} \\ &\quad )) \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 15 \text{ mm} \times 294 \text{ N/mm}) \\ &= 2338 \text{ N/mm} \\ &= 2,338 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{➤ } Ru &= 111535 \text{ kN} \\ \text{➤ } L \text{ las perlu} &= \frac{Ru}{\phi R_n} \\ &= \frac{1115,35 \text{ kN}}{2,338 \text{ kN/mm}} \\ &= 477 \text{ mm} \\ &= 47,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } L \text{ las tersedia} = 112 \text{ cm}$$

➤ Syarat :

L las diperlukan < L las tersedia

$$47,7 \text{ cm} < 112 \text{ cm} \text{ (Memenuhi)}$$

Las akan diaplikasikan menggunakan tipe fillet pada samping kanan dan kiri pelat penyambung yang dilas pada struktur busur.

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned} L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{8}{2} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm}) \\ &= 400 \text{ mm} \\ &= 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ag &= L \times tp \\ &= 40 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \\ &= 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} An_v &= L n_v \times tp \\ &= \left( 40 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d_1 \right) tp \\ &= \left( 40 \text{ cm} - \frac{8}{2} \times 2,8 \text{ cm} \right) 1,5 \text{ cm} \\ &= 43,2 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

○ Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times f_y \times Ag \\ &= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 60 \text{ cm}^2 \\ &= 156600 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &> P_u \\ 156600 \text{ kg} &> 111535 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 43,2 \text{ cm}^2 \\ &= 162000 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &> P_u \\ 162000 \text{ kg} &> 111535 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

➤ Kontrol Tarik *Rupture / Block Shear*

Dikarenakan ikatan angin memikul gaya tarik maka, perlu ditinjau sambungannya terhadap *block shear*.

$$\text{Panjang Sambungan (L)} = 40 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar Block Shear (B)} &= S_1 \\ &= 50 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal flens profil (t)} &= 2 \times 3,5 \text{ cm} \\ &= 7 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Geser Kotor (A}_{gv}\text{)} &= L \times t = 40 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \\ &= 280 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Tarik Kotor (A}_{gt}\text{)} &= B \times t = 6 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \\ &= 42 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Geser Netto (A}_{nv}\text{)} &= A_{gv} - \left(\frac{\sum baut}{\sum baris} - 0,5\right) db \times t \\ &= 280 \text{ cm}^2 - \left(\frac{8}{2} - 0,5\right) \times \\ &\quad 2,7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \\ &= 242,2 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Tarik Netto (A}_{nt}\text{)} &= A_{gt} - 0,5 db \times t \\ &= 42 \text{ cm}^2 - 0,5 \times 2 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \\ &= 35 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0,6 f_u \times A_{nv} &= 0,6 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times \\ &\quad 242,2 \text{ cm}^2 \\ &= 726600 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_u \times A_{nt} &= 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 35 \text{ cm}^2 \\ &= 175000 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_y \times A_{gt} &= 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 42 \text{ cm}^2 \\ &= 121800 \text{ kg}\end{aligned}$$

0,6 fu x Anv > Fu x Ant, maka persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tarik / rupture adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\emptyset N_n &= 0,75 \times (0,6 Anv \times fu + fy \times Agt) \\ &= 0,75 \times (726600 \text{ kg} + 121800 \text{ kg}) \\ &= 636300 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\emptyset N_n > Nu \rightarrow 636600 \text{ kg} > 111535 \text{ kg} \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.4.4 Sambungan Batang Horizontal Portal

Sambungan batang horizontal portal direncanakan menggunakan sambungan baut tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$T_b = 408 \text{ kN}$$

$$F_u = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Diameter baut (db)} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang (d1)} = 31 \text{ mm}$$

$$\text{Baut tanpa ulir (r1)} = 0,5$$

$$\text{Baut dengan ulir (r1)} = 0,4$$

Pelat BJ 50

$$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u \text{ maks} = 56997,34 \text{ kg}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800 \text{ kg}$$

$$= 16136,4 \text{ kg}$$

$$n = \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{56997,34 \text{ kg}}{16136,4 \text{ kg}} = 3,53 \text{ buah} \approx 4M30$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\begin{aligned} \text{Jarak ke tepi (S1)} &= 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 144 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar baut (S)} &= 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4\text{tp} + 100) \\ &\text{atau } 200\text{mm} \\ &= 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (12 \text{ mm}) + \\ &\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\ &= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 148 \text{ mm atau } 200 \\ &\quad \text{mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned} L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{4}{2} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm}) \\ &= 200 \text{ mm} \\ &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag} &= L \times \text{tp} \\ &= 20 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \\ &= 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Anv} &= Lnv \times \text{tp} \\ &= \left( 20 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d1 \right) \text{tp} \\ &= \left( 20 \text{ cm} - \frac{4}{2} \times 3,1 \text{ cm} \right) 1,5 \text{ cm} \\ &= 20,7 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)
  - $\phi P_n = \phi \times f_y \times A_g$
  - $= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 30 \text{ cm}^2$
  - $= 78300 \text{ kg}$
  - $\phi P_n > P_u$
  - 78300 kg > 56997,34 kg (OK)
- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)
  - $\phi P_n = \phi \times f_u \times A_{nv}$
  - $= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 20,7 \text{ cm}^2$
  - $= 77625 \text{ kg}$
  - $P_n > P_u$
  - 77625 kg > 56997,34 kg (OK)

#### 4.4.5 Sambungan Ikatan Angin Lantai

Sambungan ikatan angin lantai direncanakan menggunakan baut.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$T_b = 179 \text{ kN}$

$F_u = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2$

Diameter baut ( $d_b$ ) = 20 mm

Diameter lubang ( $d_1$ ) = 21 mm

Luas baut ( $A_b$ ) =  $\frac{\pi}{4} \times 20^2 = 314,2 \text{ mm}^2$

Baut tanpa ulir ( $r_1$ ) = 0,5

Baut dengan ulir ( $r_1$ ) = 0,4

Pelat BJ 50

$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$

$P_u \text{ maks} = 47455,59 \text{ kg}$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$R_n = h_f \times D_u \times \mu \times m \times T_b$

$D_u = 1,13$  (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)

$\mu = 0,3$  (Untuk Baut Kelas A)

$$\begin{aligned}
m &= 1 \\
hf &= 1 \\
Rn &= hf \times Du \times \mu \times m \times Tb \\
&= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 17900 \text{ kg} \\
&= 6068 \text{ kg} \\
n &= \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{47455,59 \text{ kg}}{6068,1 \text{ kg}} = 7,8 \text{ buah} \approx 8M20
\end{aligned}$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\begin{aligned}
\text{Jarak ke tepi (S1)} &= 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 200 \text{ mm} \\
&= 1,5 (20 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\
&= 30 \text{ mm} \leq S1 \leq 144 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \\
&= 30 \text{ mm} \leq S1 \leq 144 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\begin{aligned}
\text{Jarak antar baut (S)} &= 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4tp + 100) \\
&\text{ atau } 200 \text{ mm} \\
&= 2,5 (20 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (12 \text{ mm}) + \\
&\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\
&= 50 \text{ mm} \leq S1 \leq 148 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned}
L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\
&= \left( \frac{8}{2} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm}) \\
&= 400 \text{ mm} \\
&= 40 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Ag &= L \times tp \\
&= 40 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} \\
&= 48 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Anv &= Lnv \times tp \\
&= \left( 40 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d1 \right) tp
\end{aligned}$$

$$= (40 \text{ cm} - \frac{8}{2} \times 2,1 \text{ cm}) \times 1,2 \text{ cm}$$

$$= 37,92 \text{ cm}^2$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\phi P_n = \phi \times f_y \times A_g$$

$$= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 48 \text{ cm}^2$$

$$= 125280 \text{ kg}$$

$$\phi P_n > P_u$$

$$125280 \text{ kg} > 47455,59 \text{ kg (OK)}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\phi P_n = \phi \times f_u \times A_n$$

$$= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 37,92 \text{ cm}^2$$

$$= 142200 \text{ kg}$$

$$P_n > P_u$$

$$142200 \text{ kg} > 47455,59 \text{ kg (OK)}$$

#### 4.4.6 Sambungan Ikatan Angin Portal

Sambungan ikatan angin portal direncanakan menggunakan baut.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$T_b = 179 \text{ kN}$$

$$F_u = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Diameter baut (db)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang (d1)} = 21 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut (A_b)} = \frac{\pi}{4} \times 20^2 = 314,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Baut tanpa ulir (r1)} = 0,5$$

$$\text{Baut dengan ulir (r1)} = 0,4$$

Pelat BJ 50

$$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_u \text{ maks} = 37455,59 \text{ kg}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$R_n = h_f \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$Du = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$\begin{aligned} Rn &= hf \times Du \times \mu \times m \times Tb \\ &= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 17900 \text{ kg} \\ &= 6068 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$n = \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{37455,59 \text{ kg}}{6068,1 \text{ kg}} = 6,2 \text{ buah} \approx 8M20$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\begin{aligned} \text{Jarak ke tepi (S1)} &= 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 200 \text{ mm} \\ &= 1,5 (20 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 30 \text{ mm} \leq S1 \leq 144 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \\ &= 30 \text{ mm} \leq S1 \leq 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar baut (S)} &= 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4tp + 100) \\ &\text{ atau } 200 \text{ mm} \\ &= 2,5 (20 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (12 \text{ mm}) + \\ &\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \leq S1 \leq 148 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kuat Las Pelat Penyambung

$$Te = 5 \text{ mm} \times 2 \text{ (fillet)}$$

$$\text{Elektroda} = FE7012 \text{ (fuw} = 490 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

Dapat dihitung panjang las yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{➤ } \phi Rn &= \phi 0,707 \text{ te fnw (terhadap material las)} \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 5 \text{ mm} \times 2 \times (0,6 \times \text{fuw} )) \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 10 \text{ mm} \times 294 \text{ N/mm}) \\ &= 1558 \text{ N/mm} \\ &= 1,558 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$



- $R_u = 374,56 \text{ kN}$
- $L \text{ las perlu} = \frac{R_u}{\phi R_n}$   
 $= \frac{374,56 \text{ kN}}{1,558 \text{ kN/mm}}$   
 $= 240 \text{ mm}$   
 $= 24 \text{ cm}$
- $L \text{ las tersedia} = 30 \text{ cm}$
- Syarat :

$L \text{ las diperlukan} < L \text{ las tersedia}$   
 $24 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$  (Memenuhi)

Las akan diaplikasikan menggunakan tipe fillet pada samping kanan dan kiri pelat penyambung yang dilas pada struktur busur.

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

$L$  (Panjang Sambungan)

$$L = \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi})$$

$$= \left( \frac{6}{2} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm})$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$= 30 \text{ cm}$$

$$A_g = L \times t_p$$

$$= 30 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm}$$

$$= 36 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = L_{nv} \times t_p$$

$$= \left( 30 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d_1 \right) t_p$$

$$= \left( 30 \text{ cm} - \frac{6}{2} \times 2,1 \text{ cm} \right) 1,2 \text{ cm}$$

$$= 28,44 \text{ cm}^2$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\phi P_n = \phi \times f_y \times A_g$$

$$= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 36 \text{ cm}^2$$

$$= 93960 \text{ kg}$$

$$\phi P_n > P_u$$

$$93960 \text{ kg} > 37455,59 \text{ kg (OK)}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 28,44 \text{ cm}^2 \\ &= 106650 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi P_n &> P_u \\ 106650 \text{ kg} &> 37455,59 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

➤ Kontrol Tarik *Rupture / Block Shear*

Dikarenakan ikatan angin memikul gaya tarik maka, perlu ditinjau sambungannya terhadap *block shear*.

$$\text{Panjang Sambungan (L)} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar Block Shear (B)} = S_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal flens profil (t)} &= 2 \times 1 \text{ cm} \\ &= 2 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Geser Kotor (A}_{gv}\text{)} &= L \times t = 60 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \\ &= 120 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Tarik Kotor (A}_{gt}\text{)} &= B \times t = 6 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \\ &= 12 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Geser Netto (A}_{nv}\text{)} &= A_{gv} - \left( \frac{\sum \text{baut}}{\sum \text{baris}} - 0,5 \right) \text{ db } t \\ &= 120 \text{ cm}^2 - \left( \frac{6}{2} - 0,5 \right) \times 2 \text{ cm} \\ &\quad \times 2 \text{ cm} \\ &= 110 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Tarik Netto (A}_{nt}\text{)} &= A_{gt} - 0,5 \text{ db } \times t \\ &= 12 \text{ cm}^2 - 0,5 \times 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \\ &= 10 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0,6 f_u \times A_{nv} &= 0,6 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times \\ &\quad 110 \text{ cm}^2 \\ &= 330000 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_u \times A_{nt} &= 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 10 \text{ cm}^2 \\ &= 50000 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_y \times A_{gt} &= 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 12 \text{ cm}^2 \\ &= 34800 \text{ kg}\end{aligned}$$

$0,6 f_u \times A_{nv} > F_u \times A_{nt}$ , maka persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tarik / rupture adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\phi N_n &= 0,75 \times (0,6 A_{nv} \times f_u + f_y \times A_{gt}) \\ &= 0,75 \times (330000 \text{ kg} + 34800 \text{ kg}) \\ &= 273600 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\phi N_n > N_u \rightarrow 273600 \text{ kg} > 37455,59 \text{ kg} \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.4.7 Sambungan Rangka Busur

##### a. Sambungan Pelengkung Atas

Sambungan rangka busur direncanakan menggunakan sambungan baut tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$F_u = 1025 \text{ Mpa} = 10250 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_b \text{ (tegangan pratarik)} = 595 \text{ kN} = 59500 \text{ kg}$$

$$\text{Diameter baut (db)} = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang (d1)} = 37 \text{ mm}$$

$$\text{Baut tanpa ulir (r1)} = 0,5$$

$$\text{Baut dengan ulir (r1)} = 0,4$$

Pelat BJ 55 tebal 3 cm

$$F_u = 550 \text{ MPa} = 5500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u \text{ maks} = -1288454,1 \text{ kg}$$

$$M_x = 22683,29 \text{ kgm}$$

$$M_y = 11841,29 \text{ kgm}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 59500$$

$$= 20170 \text{ kg}$$

Busur didesain dengan sambungan jepit, maka sambungan akan ditempatkan pada flens dan web penampang box.

Jumlah baut :

a. Pada web

$$n = \frac{N_u + \frac{M_y}{B} + \frac{M_x}{H}}{2 \cdot R_n}$$

$$= \frac{1288454,1 \text{ kg} + \frac{11841,69 \text{ kgm}}{0,7 \text{ m}} + \frac{22683,29 \text{ kgm}}{0,7 \text{ m}}}{2 \times 20170 \text{ kg}}$$

$$n = 33,16 \text{ buah}$$

$$n \approx 36 \text{ buah}$$

b. Pada flens

$$n = \frac{N_u + \frac{M_y}{B} + \frac{M_x}{H}}{2 \cdot R_n}$$

$$= \frac{1288454,1 \text{ kg} + \frac{11841,69 \text{ kgm}}{0,7 \text{ m}} + \frac{22683,29 \text{ kgm}}{0,7 \text{ m}}}{2 \times 20170 \text{ kg}}$$

$$n = 33,16 \text{ buah}$$

$$n \approx 36 \text{ buah}$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

Jarak ke tepi (S1) =  $1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp}$  atau 200 mm

$$= 1,5 (36 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \times 30 \text{ mm}$$

atau  
150 mm

$$= 54 \text{ mm} \leq S1 \leq 360 \text{ mm}$$

atau 150 mm

$$= 54 \text{ mm} \leq S1 \leq 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 75 mm

Jarak antar baut (S) =  $2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4 \text{ tp} + 100)$

atau 200 mm

$$= 2,5 (36 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (30 \text{ mm}) + 100 \text{ mm}$$

atau 200 mm

$$= 90 \text{ mm} \leq S1 \leq 220 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut 150 mm

➤ Kontrol Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned} L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{36}{4} - 1 \right) \times 150 \text{ mm} + (2 \times 75 \text{ mm}) \\ &= 1350 \text{ mm} \\ &= 135 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ag &= L \times tp \\ &= 135 \text{ cm} \times 3,5 \text{ cm} \\ &= 472,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Anv &= Lnv \times tp \\ &= \left( 135 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d1 \right) tp \\ &= \left( 135 \text{ cm} - \frac{36}{4} \times 3,7 \text{ cm} \right) 3,5 \text{ cm} \\ &= 355,95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned} \phi Pn &= \phi \times fy \times Ag \\ &= 0,9 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 472,5 \text{ cm}^2 \\ &= 1743525 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Pn &> Pu \\ 1743525 \text{ kg} &> 1288454,1 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned} \phi Pn &= \phi \times fu \times Anv \\ &= 0,75 \times 5500 \text{ kg/cm}^2 \times 355,9 \text{ cm}^2 \\ &= 1468087,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pn &> Pu \\ 1468087,5 \text{ kg} &> 1288454,1 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

**b. Sambungan Pelengkung Bawah**

Sambungan rangka busur direncanakan menggunakan sambungan baut tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$F_u = 1025 \text{ Mpa} = 10250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{n_v} = 457 \text{ Mpa} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{n_t} = 780 \text{ Mpa} = 7800 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_b \text{ (tegangan pratarik)} = 595 \text{ kN} = 59500 \text{ kg}$$

$$\text{Diameter baut (db)} = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang (d1)} = 37 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut (Ab)} = \frac{\pi}{4} \times 36^2 = 1017,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Baut tanpa ulir (r1)} = 0,5$$

$$\text{Baut dengan ulir (r1)} = 0,4$$

Pelat BJ 50 tebal 3 cm

$$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u \text{ maks} = -2576209,9 \text{ kg}$$

$$M_x = 117884,5 \text{ kgm}$$

$$M_y = 18105,39 \text{ kgm}$$

$$I_x \text{ profil busur bawah} = 2505000 \text{ cm}^4$$

$$I_y \text{ profil busur bawah} = 1080000 \text{ cm}^4$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 59500 \text{ kg}$$

$$= 20170 \text{ kg}$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\text{Jarak ke tepi (S1)} = 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 200 \text{ mm}$$

$$= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \times 30 \text{ mm atau}$$

$$\begin{aligned}
 & 150 \text{ mm} \\
 & = 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 360 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \\
 & = 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 75 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar baut (S)} & = 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4tp + 100) \\
 & \text{atau } 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & = 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (30 \text{ mm}) + \\
 & 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 220 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut 150 mm

Busur didesain dengan sambungan jepit, maka sambungan akan ditempatkan pada flens dan web penampang box.

Jumlah baut :

a. Pada web

$$n = \frac{Nu + \frac{My}{B} + \frac{Mx}{H}}{Rn} \times \frac{Ix}{I \text{ total}}$$

$$n = \frac{Nu + \frac{My}{B} + \frac{Mx}{H}}{Rn} \times \frac{Iy}{I \text{ total}}$$

$$= \frac{2576209,9 \text{ kg} + \frac{18105,39 \text{ kgm}}{0,7 \text{ m}} + \frac{117884,5 \text{ kgm}}{1,2 \text{ m}}}{20170 \text{ kg}} \times \frac{2505000 \text{ cm}^4}{3585000 \text{ cm}^4}$$

$$n = 89,2 \text{ buah}$$

$$n \approx 90 \text{ buah}$$

b. Pada flens

$$n = \frac{Nu + \frac{My}{B} + \frac{Mx}{H}}{Rn} \times \frac{Iy}{I \text{ total}}$$

$$= \frac{2576209,9 \text{ kg} + \frac{18105,39 \text{ kgm}}{0,7 \text{ m}} + \frac{117884,5 \text{ kgm}}{1,2 \text{ m}}}{20170 \text{ kg}} \times \frac{1080000 \text{ cm}^4}{3585000 \text{ cm}^4}$$

$$n = 38,5 \text{ buah}$$

$$n \approx 40 \text{ buah}$$

Kontrol Pelat Penyambung

✓ Pada Web

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned} L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{96}{6} - 1 \right) \times 150 \text{ mm} + (2 \times 75 \text{ mm}) \\ &= 2400 \text{ mm} \\ &= 240 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag} &= L \times \text{tp} \\ &= 240 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \\ &= 720 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Anv} &= L_{nv} \times \text{tp} \\ &= \left( 240 \text{ cm} - \frac{n}{2} d1 \right) \text{tp} \\ &= \left( 240 \text{ cm} - \frac{96}{6} \times 3,7 \text{ cm} \right) 3 \text{ cm} \\ &= 542,4 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pu web} &= N_u \times \frac{I_x}{I_{\text{total}}} = 2576209,9 \text{ kg} \times \frac{2505000 \text{ cm}^4}{3585000 \text{ cm}^4} \\ &= 1800113,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

o Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 720 \text{ cm}^2 \\ &= 2656800 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &> P_u \\ 2656800 \text{ kg} &> 1800113,2 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$



- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 5500 \text{ kg/cm}^2 \times 542,4 \text{ cm}^2 \\ &= 2237400 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi P_n &> P_u \\ 2237400 \text{ kg} &> 1800113,2 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

✓ Pada Flens

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned}L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{40}{4} - 1 \right) \times 150 \text{ mm} + (2 \times 75 \text{ mm}) \\ &= 1500 \text{ mm} \\ &= 150 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_g &= L \times t_p \\ &= 150 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \\ &= 450 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{nv} &= L_{nv} \times t_p \\ &= \left( 150 \text{ cm} - \frac{n}{2} d_1 \right) t_p \\ &= \left( 150 \text{ cm} - \frac{40}{4} \times 3,7 \text{ cm} \right) 3 \text{ cm} \\ &= 339 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_u \text{ flens} &= N_u \times \frac{I_y}{I_{\text{total}}} = 2576209,9 \text{ kg} \times \frac{1080000 \text{ cm}^4}{3585000 \text{ cm}^4} \\ &= 776096,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 4100 \text{ kg/cm}^2 \times 450 \text{ cm}^2 \\ &= 1660500 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi P_n &> P_u \\ 1660500 \text{ kg} &> 776096,5 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}
\phi P_n &= \phi \times f_u \times A_{nv} \\
&= 0,75 \times 5500 \text{ kg/cm}^2 \times 339 \text{ cm}^2 \\
&= 1398375 \text{ kg} \\
\phi P_n &> P_u \\
1398375 \text{ kg} &> 776096,5 \text{ kg (OK)}
\end{aligned}$$

### c. Sambungan batang vertikal rangka busur

Sambungan batang vertikal rangka direncanakan menggunakan sambungan tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$T_b = 257 \text{ kN}$

Diameter baut (db) = 27 mm

Diameter lubang (d1) = 28 mm

Baut dengan ulir (r1) = 0,4

Pelat BJ 50

$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$

$P_u \text{ maks} = 136317,18 \text{ kg}$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$R_n = h_f \times D_u \times \mu \times m \times T_b$

$D_u = 1,13$  (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)

$\mu = 0,3$  (Untuk Baut Kelas A)

$m = 1$

$h_f = 1$

$R_n = h_f \times D_u \times \mu \times m \times T_b$

$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 33400 \text{ kg}$

$= 11322,6 \text{ kg}$

$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{136317,2 \text{ kg}}{11322,6 \text{ kg}} = 12 \text{ buah} \approx 12M27$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\begin{aligned} \text{Jarak ke tepi (S1)} &= 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 180 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar baut (S)} &= 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4\text{tp} + 100) \\ &\text{atau } 200\text{mm} \\ &= 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (15 \text{ mm}) + \\ &\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\ &= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 160 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kuat Las Pelat Penyambung

$$\text{Te} = 7,5 \text{ mm} \times 2 \text{ (fillet)}$$

$$\text{Elektroda} = \text{FE7012 (fuw} = 490 \text{ N/mm}^2)$$

Dapat dihitung panjang las yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{➤ } \emptyset R_n &= \emptyset 0,707 \text{ te f}_{nw} \text{ (terhadap material las)} \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 7,5 \text{ mm} \times 2 \times (0,6 \times \text{fuw})) \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 15 \text{ mm} \times 294 \text{ N/mm}) \\ &= 2338 \text{ N/mm} \\ &= 2,338 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } R_u = 1363,17 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } L \text{ las perlu} &= \frac{R_u}{\emptyset R_n} \\ &= \frac{1363,17 \text{ kN}}{2,338 \text{ kN/mm}} \\ &= 583 \text{ mm} \\ &= 58,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } L \text{ las tersedia} = 175 \text{ cm}$$

➤ Syarat :

$$L \text{ las diperlukan} < L \text{ las tersedia}$$

$$58,3 \text{ cm} < 175 \text{ cm (Memenuhi)}$$

Las akan diaplikasikan menggunakan tipe fillet pada samping kanan dan kiri pelat penyambung yang dilas pada struktur busur.

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned}L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{12}{2} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm}) \\ &= 600 \text{ mm} \\ &= 60 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ag} &= L \times t_p \\ &= 60 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} \\ &= 72 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Anv} &= L_{nv} \times t_p \\ &= \left( 60 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d_1 \right) t_p \\ &= (60 \text{ cm} - 6 \times 2,8 \text{ cm}) \times 1,5 \text{ cm} \\ &= 51,84 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 72 \text{ cm}^2 \\ &= 187920 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi P_n &> P_u \\ 187920 \text{ kg} &> 136317,18 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 51,84 \text{ cm}^2 \\ &= 194400 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &> P_u \\ 194400 \text{ kg} &> 136317,18 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

**d. Sambungan batang diagonal rangka busur**

Sambungan batang diagonal rangka direncanakan menggunakan sambungan tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$F_u = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
F_y &= 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2 \\
F_{n_v} &= 372 \text{ Mpa} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \\
F_{n_1} &= 620 \text{ Mpa} = 6200 \text{ kg/cm}^2 \\
T_b &= 408 \text{ kN} \\
\text{Diameter baut (db)} &= 30 \text{ mm} \\
\text{Diameter lubang (d1)} &= 31 \text{ mm} \\
\text{Baut tanpa ulir (r1)} &= 0,5 \\
\text{Baut dengan ulir (r1)} &= 0,4 \\
\text{Pelat BJ 50} & \\
F_u &= 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2 \\
F_y &= 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2 \\
T_u \text{ maks} &= 223132,24 \text{ kg}
\end{aligned}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi (tied beam)

$$\begin{aligned}
R_n &= hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b \\
D_u &= 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)} \\
\mu &= 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)} \\
m &= 1 \\
hf &= 1 \\
R_n &= hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b \\
&= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800 \text{ kg} \\
&= 16136,4 \text{ kg} \\
n &= \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{223132,24 \text{ kg}}{16136,4 \text{ kg}} = 13,8 \text{ buah} \approx 14 \text{ M30}
\end{aligned}$$

➤ Kontrol Jarak Baut

$$\begin{aligned}
&\text{RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3} \\
&\text{Jarak ke tepi (S1)} = 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\
&\quad = 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\
&\quad = 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 180 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \\
&\text{Maka digunakan jarak tepi baut } 50 \text{ mm} \\
&\text{Jarak antar baut (S)} = 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4 \text{ tp} + 100) \\
&\quad \text{atau } 200 \text{ mm} \\
&\quad = 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (15 \text{ mm}) + \\
&\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 160 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kuat Las Pelat Penyambung

Te = 7,5 mm x 2 (fillet)

Elektroda = FE7012 (fuw = 490 N/mm<sup>2</sup>)

Dapat dihitung panjang las yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

➤  $\varnothing Rn = \varnothing 0,707 \text{ te f}_{nw}$  (terhadap material las)  
 $= (0,75 \times 0,707 \times 7,5 \text{ mm} \times 2 \times (0,6 \times \text{fuw}))$   
 $= (0,75 \times 0,707 \times 15 \text{ mm} \times 294 \text{ N/mm})$   
 $= 2338 \text{ N/mm}$   
 $= 2,338 \text{ kN/mm}$

➤ Ru = 2231,32 kN

➤ L las perlu =  $\frac{Ru}{\varnothing Rn}$   
 $= \frac{2231,32 \text{ kN}}{2,338 \text{ kN/mm}}$   
 $= 954,4 \text{ mm}$   
 $= 95,4 \text{ cm}$

➤ L las tersedia = 175 cm

➤ Syarat :

L las diperlukan < L las tersedia

95,4 cm < 175 cm (Memenuhi)

Las akan diaplikasikan menggunakan tipe fillet pada samping kanan dan kiri pelat penyambung yang dilas pada struktur busur.

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

L =  $\left(\frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1\right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi})$   
 $= \left(\frac{14}{2} - 1\right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 50 \text{ mm})$   
 $= 700 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 &= 70 \text{ cm} \\
 \text{Ag} &= L \times t_p \\
 &= 70 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \\
 &= 105 \text{ cm} \\
 \text{Anv} &= L_{nv} \times t_p \\
 &= \left(70 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d_1\right) t_p \\
 &= (70 \text{ cm} - 7 \times 3,1 \text{ cm}) \times 1,5 \text{ cm} \\
 &= 72,45 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}
 \varphi P_n &= \varphi \times f_y \times A_g \\
 &= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 105 \text{ cm}^2 \\
 &= 274050 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varphi P_n &> P_u \\
 274050 \text{ kg} &> 223132,24 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}
 \varphi P_n &= \varphi \times f_u \times A_{nv} \\
 &= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 72,45 \text{ cm}^2 \\
 &= 271687,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &> P_u \\
 271687,5 \text{ kg} &> 223132,24 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

### e. Sambungan Batang Tarik (Tie Beam)

Sambungan Tie beam direncanakan menggunakan sambungan baut tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$F_u = 1025 \text{ Mpa} = 10250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{nv} = 457 \text{ Mpa} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{nt} = 780 \text{ Mpa} = 7800 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_b \text{ (tegangannya pratarik)} = 408 \text{ kN} = 40800 \text{ kg}$$

$$\text{Diameter baut (db)} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang (d1)} = 31 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut (Ab)} = \frac{\pi}{4} \times 30^2 = 706,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Baut tanpa ulir (r1)} = 0,5$$

$$\text{Baut dengan ulir (r1)} = 0,4$$

Pelat BJ 50 tebal 3 cm

$$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u \text{ maks} = 1599268,2 \text{ kg}$$

$$M_{ux} = 198653,42 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = -38861,53 \text{ kgm}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas Aw)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800$$

$$= 16136,4 \text{ kg}$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\text{Jarak ke tepi (S1)} = 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 200 \text{ mm}$$

$$= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ } 30 \text{ mm atau}$$



$$\begin{aligned}
& 150 \text{ mm} \\
& = 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 360 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \\
& = 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 150 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 75 mm

$$\begin{aligned}
\text{Jarak antar baut (S)} &= 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4tp + 100) \\
&\text{atau } 200 \text{ mm} \\
&= 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (30 \text{ mm}) + \\
&\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\
&= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 220 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut 150 mm

Busur didesain dengan sambungan jepit, maka sambungan akan ditempatkan pada flens dan web penampang box.

Jumlah baut :

a. Pada web

$$\begin{aligned}
n &= \frac{Nu + \frac{My}{B} + \frac{Mx}{H}}{2.Rn} \\
&= \frac{1599268,2 \text{ kg} + \frac{38861,53\text{kgm}}{0,7\text{m}} + \frac{198653,42\text{kgm}}{0,7 \text{ m}}}{2 \times 20170 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

$$n = 48 \text{ buah}$$

$$n \approx 68 \text{ buah}$$

b. Pada flens

$$\begin{aligned}
n &= \frac{Nu + \frac{My}{B} + \frac{Mx}{H}}{2.Rn} \\
&= \frac{1599268,2 \text{ kg} + \frac{38861,53\text{kgm}}{0,7\text{m}} + \frac{198653,42\text{kgm}}{0,7 \text{ m}}}{2 \times 20170 \text{ kg}}
\end{aligned}$$

$$n = 48 \text{ buah}$$

$$n \approx 68 \text{ buah}$$

➤ Kontrol Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned}L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{68}{4} - 1 \right) \times 150 \text{ mm} + (2 \times 75 \text{ mm}) \\ &= 2550 \text{ mm} \\ &= 255 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ag} &= L \times t_p \\ &= 255 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \\ &= 765 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Anv} &= L_{nv} \times t_p \\ &= \left( 255 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d_1 \right) t_p \\ &= \left( 255 \text{ cm} - \frac{68}{4} \times 3,1 \text{ cm} \right) 3 \text{ cm} \\ &= 606,9 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 765 \text{ cm}^2 \\ &= 1996650 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi P_n &> P_u \\ 1996650 \text{ kg} &> 1599268,2 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned}\varphi P_n &= \varphi \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 606,9 \text{ cm}^2 \\ &= 2275875 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &> P_u \\ 2275875 \text{ kg} &> 1599268,2 \text{ kg (OK)}\end{aligned}$$

**c. Sambungan kolom penyangga rangka (batang vertikal akhir)**

Sambungan batang vertikal akhir rangka direncanakan menggunakan sambungan tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$\begin{aligned}
F_u &= 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \\
F_y &= 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2 \\
F_{n_v} &= 372 \text{ Mpa} = 3720 \text{ kg/cm}^2 \\
F_{n_1} &= 620 \text{ Mpa} = 6200 \text{ kg/cm}^2 \\
T_b &= 408 \text{ kN} \\
\text{Diameter baut (db)} &= 30 \text{ mm} \\
\text{Diameter lubang (d1)} &= 31 \text{ mm} \\
\text{Baut tanpa ulir (r1)} &= 0,5 \\
\text{Baut dengan ulir (r1)} &= 0,4 \\
\text{Pelat BJ 50} & \\
F_u &= 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2 \\
F_y &= 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2 \\
P_u \text{ maks} &= -219340,9 \text{ kg}
\end{aligned}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$\begin{aligned}
R_n &= hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b \\
D_u &= 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)} \\
\mu &= 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas A)} \\
m &= 1 \\
hf &= 1 \\
R_n &= hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b \\
&= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800 \\
&= 16136,4 \text{ kg} \\
n &= \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{219340,9 \text{ kg}}{16136,4 \text{ kg}} = 13,6 \text{ buah} \approx 15 \text{ M30}
\end{aligned}$$

➤ Kontrol Jarak Baut

$$\begin{aligned}
&\text{RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3} \\
&\text{Jarak ke tepi (S1)} = 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\
&\quad = 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\
&\quad = 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 180 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \\
&\text{Maka digunakan jarak tepi baut } 75 \text{ mm} \\
&\text{Jarak antar baut (S)} = 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4\text{tp} + 100) \\
&\quad \text{atau } 200\text{mm} \\
&\quad = 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (15 \text{ mm}) +
\end{aligned}$$

$$100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\ = 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 160 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$L = \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ = \left( \frac{15}{3} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 75 \text{ mm}) \\ = 450 \text{ mm} \\ = 45 \text{ cm}$$

$$\text{Ag} = L \times t_p \\ = 45 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \\ = 67,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Anv} = L_{nv} \times t_p \\ = \left( 45 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d1 \right) t_p \\ = (45 \text{ cm} - 5 \times 3,1 \text{ cm}) \times 1,5 \text{ cm} \\ = 44,25 \text{ cm}^2$$

○ Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\varphi P_n = \varphi \times f_y \times A_g \\ = 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 67,5 \text{ cm}^2 \\ = 176175 \text{ kg}$$

$$\varphi P_n > P_u \\ 176175 \text{ kg} > 136317,18 \text{ kg (OK)}$$

○ Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\varphi P_n = \varphi \times f_u \times A_{nv} \\ = 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 44,25 \text{ cm}^2 \\ = 165937,5 \text{ kg}$$

$$P_n > P_u \\ 165937,5 \text{ kg} > 136317,18 \text{ kg (OK)}$$

#### d. Sambungan balok portal akhir

Sambungan balok portal akhir rangka direncanakan menggunakan sambungan tipe friksi.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$F_u = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 585 \text{ Mpa} = 5850 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa} = 3720 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{n1} = 620 \text{ Mpa} = 6200 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_b = 408 \text{ kN}$$

$$\text{Diameter baut (db)} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang (d1)} = 31 \text{ mm}$$

$$\text{Baut tanpa ulir (r1)} = 0,5$$

$$\text{Baut dengan ulir (r1)} = 0,4$$

Pelat BJ 50

$$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u \text{ maks} = -50213,9 \text{ kg}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas Aw)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 40800$$

$$= 16136,4 \text{ kg}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{50213,9 \text{ kg}}{16136,4 \text{ kg}} = 3,1 \text{ buah} \approx 8M30$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\text{Jarak ke tepi (S1)} = 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 180 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 50 mm

$$\text{Jarak antar baut (S)} = 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4tp + 100) \\ \text{atau } 200\text{mm}$$

$$= 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (15 \text{ mm}) + \\ 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 160 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak antar baut 100 mm

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$L = \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ = \left( \frac{8}{4} - 1 \right) \times 100 \text{ mm} + (2 \times 75 \text{ mm}) \\ = 250 \text{ mm} \\ = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Ag} = L \times tp \\ = 30 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \\ = 45 \text{ cm}^2$$

$$\text{Anv} = Lnv \times tp \\ = \left( 30 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d1 \right) tp \\ = (30 \text{ cm} - 2 \times 3,1 \text{ cm}) \times 1,5 \text{ cm} \\ = 35,7 \text{ cm}^2$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\varphi Pn = \varphi \times fy \times Ag \\ = 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 45 \text{ cm}^2 \\ = 117450 \text{ kg}$$

$$\varphi Pn > Pu \\ 117450 \text{ kg} > 50213,9 \text{ kg (OK)}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\varphi Pn = \varphi \times fu \times Anv \\ = 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 35,7 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 133875 \text{ kg} \\
 P_n &> P_u \\
 133875 \text{ kg} &> 50213,9 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.8 Sambungan Box Busur dan Penggantung (*Hanger*)

Sambungan box busur dan penggantung thread rod direncanakan dengan menggunakan sambungan tipe tumpu.

Direncanakan:

Baut Tipe A490

$$F_u = 1035 \text{ Mpa} = 10350 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 825 \text{ Mpa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{nv} = 457 \text{ Mpa} = 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{n1} = 780 \text{ Mpa} = 7800 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_b = 595 \text{ kN}$$

$$\text{Diameter baut (db)} = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang (d1)} = 37 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut (Ab)} = \frac{\pi}{4} \times 36^2 = 1012,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Baut tanpa ulir (r1)} = 0,5$$

$$\text{Baut dengan ulir (r1)} = 0,4$$

Pelat BJ 50

$$F_u = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 290 \text{ MPa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_u \text{ maks} = 150861 \text{ kg}$$

➤ Kuat baut terhadap slip friksi

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$D_u = 1,13 \text{ (SNI 1729:2015 Bab J2 Pasal 8)}$$

$$\mu = 0,3 \text{ (Untuk Baut Kelas Aw)}$$

$$m = 1$$

$$hf = 1$$

$$R_n = hf \times D_u \times \mu \times m \times T_b$$

$$= 1 \times 1,13 \times 0,3 \times 1 \times 59500$$

$$= 20170,5 \text{ kg}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{150861 \text{ kg}}{20170,5 \text{ kg}} = 7,5 \text{ buah} \approx 8M36$$

➤ Kontrol Jarak Baut

RSNI T-03-2005 Pasal 11.5.3

$$\begin{aligned} \text{Jarak ke tepi (S1)} &= 1,5 \text{ db} \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 1,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm} \\ &= 45 \text{ mm} \leq S1 \leq 180 \text{ mm atau } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tepi baut 75 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar baut (S)} &= 2,5 \text{ db} \leq S1 \leq (4\text{tp} + 100) \\ &\text{atau } 200\text{mm} \\ &= 2,5 (30 \text{ mm}) \leq S1 \leq 4 (12 \text{ mm}) + \\ &\quad 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\ &= 75 \text{ mm} \leq S1 \leq 148 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak antar baut 150 mm

➤ Kuat Las Pelat Penyambung

$$T_e = 6 \text{ mm} \times 2 \text{ (fillet)}$$

$$\text{Elektroda} = \text{FE7012 (fuw} = 490 \text{ N/mm}^2)$$

Dapat dihitung panjang las yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{➤ } \phi R_n &= \phi 0,707 \text{ te f}_{nw} \text{ (terhadap material las)} \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 6 \text{ mm} \times 2 \times (0,6 \times \text{fuw})) \\ &= (0,75 \times 0,707 \times 12 \text{ mm} \times 294 \text{ N/mm}) \\ &= 1871 \text{ N/mm} \\ &= 1,871 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } R_u = 1508,61 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } L \text{ las perlu} &= \frac{R_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{1508,61 \text{ kN}}{1,871 \text{ kN/mm}} \\ &= 806 \text{ mm} \\ &= 80,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } L \text{ las tersedia} = 175 \text{ cm}$$

➤ Syarat :



L las diperlukan < L las tersedia

$$80,6 \text{ cm} < 175 \text{ cm} \text{ (Memenuhi)}$$

Las akan diaplikasikan menggunakan tipe fillet pada samping kanan dan kiri pelat penyambung yang dilas pada struktur busur.

➤ Kontrol Patah Pelat Penyambung

L (Panjang Sambungan)

$$\begin{aligned} L &= \left( \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} - 1 \right) \times \text{Jarak Baut} + (2 \times \text{Jarak Tepi}) \\ &= \left( \frac{10}{2} - 1 \right) \times 150 \text{ mm} + (2 \times 75 \text{ mm}) \\ &= 750 \text{ mm} \\ &= 75 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= L \times t_p \\ &= 75 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} \\ &= 90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= L_{nv} \times t_p \\ &= \left( 75 \text{ cm} - \frac{n \text{ baut}}{n \text{ baris}} d_1 \right) t_p \\ &= (75 \text{ cm} - 5 \times 3 \text{ cm}) \times 1,2 \text{ cm} \\ &= 72 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Kuat leleh (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times f_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 2900 \text{ kg/cm}^2 \times 90 \text{ cm}^2 \\ &= 234900 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &> P_u \\ 234900 \text{ kg} &> 219340,9 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

- Kuat putus (SNI 1729 : 2015 Bab J4 Pasal 1)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,75 \times 5000 \text{ kg/cm}^2 \times 72 \text{ cm}^2 \\ &= 270000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &> P_u \\ 270000 \text{ kg} &> 219340,9 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

#### 4.4.9 Sambungan Base Plate ke Box Busur

Sambungan ini menggunakan baut tipe tumpu yang menerima beban tarik dan geser.

Maka kekuatan tumpu nominal baut dan plat harus memenuhi:

$$\frac{T_u}{n} \leq \phi_f \cdot f_1 \cdot m \cdot A_b$$

$n = 4 \rightarrow$  jumlah baut

$f_1 = 825 \text{ MPa} \rightarrow$  baut mutu tinggi

$$\frac{2193,4}{4} \leq 0,75 \times 825 \times 1 \times (0,25 \pi 36^2)$$

$548,35 \text{ kN} \leq 629,8 \text{ kN} \rightarrow \text{Ok}$

Maka baut dengan diameter 36 mm sebanyak 4 buah dapat digunakan.

#### 4.4.10 Sambungan Angkur ke Beton Pier Head

Analisa yang terjadi pada angkur akibat beban terfaktor adalah :

- a. Baut putus akibat tarik
- b. Baut putus akibat geser

Data perencanaan :

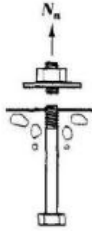
$$N_u = 219340,9 \text{ kg}$$

$$V_u = 19258,06 \text{ kg}$$

$$f_c' = 40 \text{ Mpa}$$

- a. Kapasitas tarik

Kapasitas nominal tarik angkur baja  $N_{sa}$  (SNI 2847-2013 pasal D.5.1.2)



Gambar 4.49 Kegagalan Tarik Angkur Baja

$$N_{sa} = A_{se} N \times f_{uta} \times n$$

Dimana :

$$n = 16$$

$$f_{uta} = 825 \text{ Mpa}$$

$$A_{se} N = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 36^2$$

$$= 1017,9 \text{ mm}^2,$$

$$\varphi N_{sa} = \varphi \times 4 \times 1017,9 \text{ mm}^2 \times 825 \text{ Mpa}$$

$$= 0,75 \times 3359070 \text{ N}$$

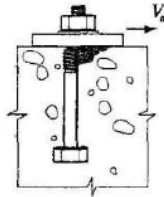
$$= 2519,3 \text{ kN}$$

Syarat :

$$\varphi N_{sa} > N_u$$

$$2519,3 \text{ kN} > 2193,4 \text{ kN (Memenuhi)}$$

b. Kapasitas geser



Gambar 4.50 Kegagalan Geser Angkur Baja

$$V_{sa} = 0,6 \times A_{se} N \times f_{uta} \times n$$

Dimana :

$$n = 16$$

$$f_{uta} = 825 \text{ Mpa}$$

$$A_{se} N = \frac{\pi}{4} \times d^2$$
$$= \frac{\pi}{4} \times 36^2$$

$$= 1017,9 \text{ mm}^2,$$

$$\phi N_{sa} = \phi \times 0,6 \times 4 \times 1017,9 \text{ mm}^2 \times 825 \text{ Mpa}$$

$$= 0,65 \times 2015400 \text{ N}$$

$$= 1310,01 \text{ kN}$$

Syarat :

$$\phi V_{sa} > V_u$$

$$1310,01 \text{ kN} > 192,6 \text{ kN (Memenuhi)}$$

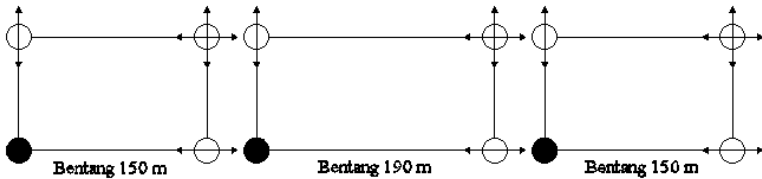
## 4.5 Perencanaan Perletakan

Landasan / perletakan yang pada jembatan berfungsi untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke struktur bangunan bawah jembatan. Pada perencanaan Jembatan Kali Kendeng ini akan digunakan landasan berupa pelat baja sirkular (pot bearing). Dengan penggunaan landasan pot bearing tersebut akan mampu mengakomodasi perpindahan arah akibat beban yang ada.

Desain dari pot bearing merupakan material fabrikasi dari *FREYSSINET-TETRON CD*.

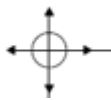
### 4.5.1 Lay out Penempatan Perletakan Jembatan

Penempatan perletakan disesuaikan berdasarkan tipe yang akan dipasang, karena akan sangat memengaruhi hasil dari gaya-gaya yang akan dipikul oleh jembatan itu sendiri.



Gambar 4.51 Layout Penempatan Pot Bearing

Dimana :



= *Multidirectional Pot Bearing (Free Sliding)*



= *Unidirectional Pot Bearing (Guided Sliding)*

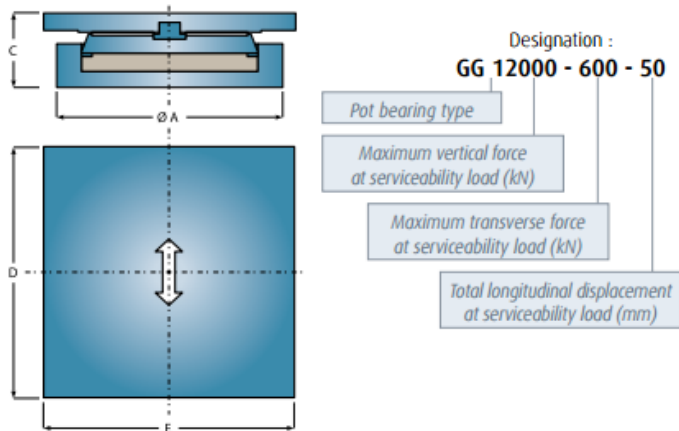


= *Fixed Pot Bearing*

#### 4.5.2 Kontrol Desain Perletakan Pot Bearing

##### a. Unidirectional pot bearing

Jenis perletakan ini hanya memungkinkan 1 gerakan arah lateral, dimana desain pergerakan maximum yang diijinkan adalah tertera di dalam tabel Pot Bearing.



Gambar 4.52 Type Perletakan Unidirectional

Dari hasil analisa SAP 2000 diperoleh reaksi dan pergerakan pada perletakan (join 522) untuk pot bearing arah x adalah akibat (Combo: Kuat 1).

- Translasi X = 29,6 mm
- H = 370,11 kN
- V = 19268,66 kN

Dari hasil analisa SAP 2000 didapatkan reaksi dan pergerakan pada perletakan (join 5206) untuk pot bearing arah y adalah akibat (Combo: Kuat 1).

- Translasi Y = 29,6 mm
- H = 1988,71 kN
- V = 19268,67 kN

Dari hasil reaksi vertikal pada perletakan pot bearing, maka akan direncanakan unidirectional pot bearing tipe GG40000-2000-50. Dimensi dan spesifikasi dapat dilihat pada table dibawah.

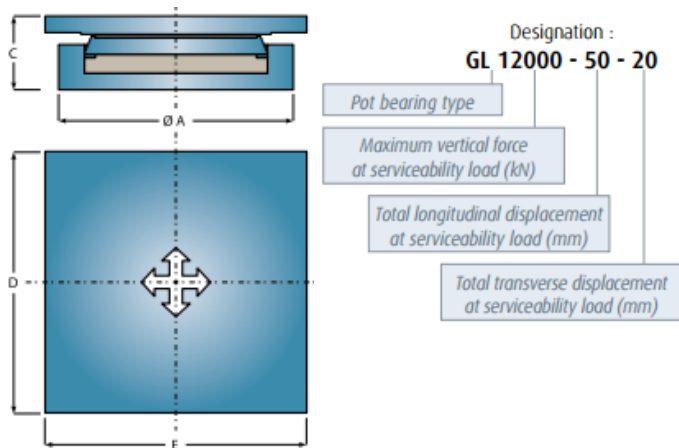
Tabel 4.5 Dimensi Unidirectional Pot Bearing  
Unidirectional pot bearing: TETRON CD®/ GG

Designation	Ø A (mm)	D (mm)	E (mm)	C (mm)	Weight (kg)
GG 500 - 50 - 50	205	270	235	100	30
GG 1000 - 100 - 50	270	325	290	104	45
GG 1500 - 150 - 50	325	365	330	104	60
GG 2000 - 200 - 50	355	390	380	109	80
GG 2500 - 250 - 50	400	425	415	113	100
GG 3000 - 300 - 50	430	445	440	118	120
GG 3500 - 350 - 50	460	475	470	123	145
GG 4000 - 400 - 50	490	505	505	123	160
GG 4500 - 450 - 50	520	535	535	137	200
GG 5000 - 500 - 50	550	565	565	142	230
GG 6000 - 500 - 50	590	615	615	162	295
GG 7000 - 500 - 50	620	660	660	162	350
GG 8000 - 500 - 50	660	705	705	167	415
GG 9000 - 500 - 50	690	745	745	181	500
GG 10000 - 500 - 50	730	785	785	185	560
GG 12000 - 600 - 50	820	860	860	184	675
GG 14000 - 700 - 50	870	930	930	213	930
GG 16000 - 800 - 50	935	995	995	242	1245
GG 18000 - 900 - 50	1000	1055	1055	246	1400
GG 20000 - 1000 - 50	1050	1110	1110	265	1710
GG 24000 - 1200 - 50	1160	1215	1215	284	2200
GG 28000 - 1400 - 50	1255	1315	1315	327	2970
GG 30000 - 1500 - 50	1300	1360	1360	336	3300
GG 35000 - 1750 - 50	1410	1470	1470	365	4240
GG 40000 - 2000 - 50	1510	1570	1570	363	4780
GG 45000 - 2250 - 50	1605	1665	1665	382	5690
GG 50000 - 2500 - 50	1695	1755	1755	410	6800

Values given for information only

## b. Multidirectional pot bearing

Jenis perletakan ini mengakomodasi pergerakan ke arah transversal dan longitudinal.



Gambar 4.53 Type Perletakan Multidirectional

Dari hasil analisa SAP 2000 didapatkan reaksi dan pergerakan pada perletakan (join 1018) untuk pot bearing arah x dan arah y adalah akibat (Combo: Kuat 1).

- Translasi X = 29,6 mm
- Translasi Y = 1,14 mm
- V = 17065,24 kN

Dari hasil reaksi vertikal pada perletakan pot bearing, maka akan direncanakan multidirectional pot bearing tipe GL40000-50-20. Dimensi dan spesifikasi dapat dilihat seperti pada table dibawah.



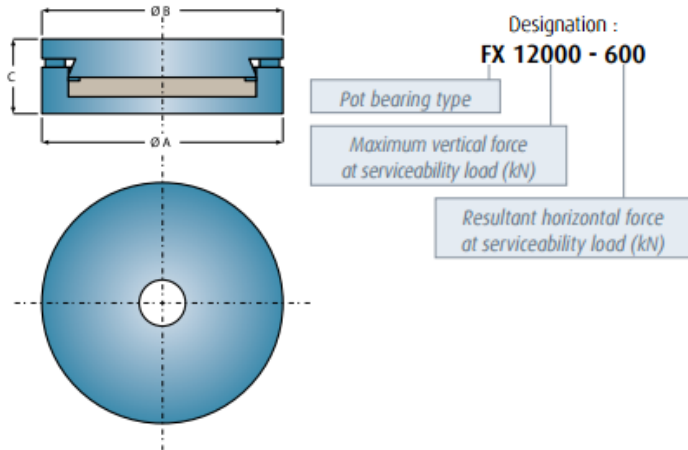
Tabel 4.6 Dimensi Multidirectional Pot Bearing  
**Multidirectional pot bearing: TETRON CD®/ GL**

Designation	Ø A (mm)	D (mm)	E (mm)	C (mm)	Weight (kg)
GL 500 - 50 - 20	170	245	225	90	25
GL 1000 - 50 - 20	225	290	175	90	35
GL 1500 - 50 - 20	270	330	315	94	45
GL 2000 - 50 - 20	310	370	355	99	60
GL 2500 - 50 - 20	345	410	395	99	75
GL 3000 - 50 - 20	375	435	430	108	95
GL 3500 - 50 - 20	405	460	465	108	110
GL 4000 - 50 - 20	435	500	495	108	125
GL 4500 - 50 - 20	465	525	530	118	155
GL 5000 - 50 - 20	495	555	550	112	175
GL 6000 - 50 - 20	545	610	605	122	215
GL 7000 - 50 - 20	590	655	655	142	290
GL 8000 - 50 - 20	635	695	695	157	275
GL 9000 - 50 - 20	680	745	740	156	425
GL 10000 - 50 - 20	720	785	785	170	520
GL 12000 - 50 - 20	795	855	860	169	595
GL 14000 - 50 - 20	860	920	920	208	925
GL 16000 - 50 - 20	925	985	985	232	1185
GL 18000 - 50 - 20	985	1045	1045	244	1405
GL 20000 - 50 - 20	1040	1100	1100	250	1610
GL 24000 - 50 - 20	1145	1205	1205	274	2135
GL 28000 - 50 - 20	1240	1300	1300	293	2685
GL 30000 - 50 - 20	1285	1345	1345	317	3095
GL 35000 - 50 - 20	1395	1455	1455	327	3765
GL 40000 - 50 - 20	1495	1555	1555	356	4715
GL 45000 - 50 - 20	1590	1650	1650	365	5455
GL 50000 - 50 - 20	1680	1740	1740	389	6490

*Values given for information only*

c. **Fixed pot bearing**

Jenis perletakan ini tidak memungkinkan adanya gerakan arah lateral.



Gambar 4.54 Type Perletakan Fixed

Dari hasil analisa SAP 2000 didapatkan reaksi dan pergerakan pada perletakan (joint 1) untuk pot bearing arah x dan arah y adalah akibat (Combo: Kuat I).

- Translasi X = 0 mm
- Translasi Y = 0 mm
- H = 1934,41 kN
- V = 19258,06 kN

Akan direncanakan fixed pot bearing tipe FX40000-2000. Dimensi dan spesifikasi dapat dilihat seperti pada table dibawah:

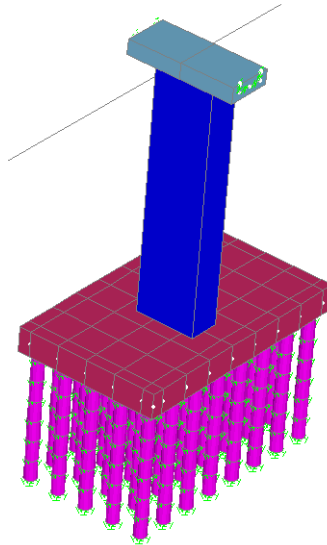
Tabel 4.7 Dimensi Fixed Pot Bearing  
 Fixed pot bearing: TETRON CD<sup>®</sup>/ FX

Designation	Ø A (mm)	Ø B (mm)	C (mm)	Weight (kg)
FX 500 - 50	180	200	69	15
FX 1000 - 100	255	265	69	25
FX 1500 - 150	295	320	78	40
FX 2000 - 200	345	365	88	60
FX 2500 - 250	385	415	93	75
FX 3000 - 300	420	450	97	95
FX 3500 - 350	460	490	97	110
FX 4000 - 400	480	520	107	135
FX 4500 - 450	510	560	117	170
FX 5000 - 500	570	600	106	205
FX 6000 - 500	580	640	136	255
FX 7000 - 500	620	670	145	305
FX 8000 - 500	660	710	145	340
FX 9000 - 500	690	750	164	430
FX 10000 - 500	730	795	163	470
FX 12000 - 600	835	865	162	565
FX 14000 - 700	905	935	170	685
FX 16000 - 800	945	997	190	865
FX 18000 - 900	1000	1055	209	1085
FX 20000 - 1000	1095	1125	197	1135
FX 24000 - 1200	1190	1220	216	1475
FX 28000 - 1400	1260	1320	285	2400
FX 30000 - 1500	1305	1375	294	2670
FX 35000 - 1750	1415	1475	312	3280
FX 40000 - 2000	1515	1585	321	3865
FX 45000 - 2250	1610	1680	330	4415
FX 50000 - 2500	1700	1770	368	5620

*Values given for information only*

#### 4.6 Perhitungan Bangunan Bawah

Desain struktur bawah pada perencanaan Jembatan Busur Kali Kendeng ini direncanakan menggunakan pilar dengan kolom tunggal. Perencanaan desain pilar menggunakan metode cast in-situ untuk kolom dan kepala pilar (pier head). Pilar, pier head hingga pondasi bore pile dimodelkan dengan menggunakan program SAP 2000 dengan menggunakan fitur frame link yang disesuaikan dengan sifat atau karakteristik dari pot bearing yang digunakan. Berikut permodelan yang digunakan untuk desain bangunan bawah.



Gambar 4.55. Pemodelan Bangunan Bawah Jembatan

Untuk memodelkan bangunan bawah jembatan beserta dengan tiang pancang, perlu dilakukan perhitungan konstanta pegas tanah atau biasa disebut dengan *spring*. Perhitungan konstanta pegas disesuaikan dengan karakteristik tanah pada tiap pembagian segmen. Setelah dilakukan perhitungan, maka nilai spring bisa diinputkan sebagai gaya dinamis lateral tanah terhadap tiang.

Menurut Glick (1948), penurunan dari modulus tekan – tarik dari tanah ( $E_s$ ), dapat dihitung dengan rumus:

$$k_s' = \frac{22.4 E_s(1-\mu)}{(1+\mu)(3-4\mu)[2 \ln(2 L_p/B) - 0.433]} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$k_s = \frac{k_s'}{B} \text{ (N/m)}$$

$E_s$  = modulus tarik - tekan (kPa, N/m<sup>2</sup>) (hasil penyelidikan tanah dari nilai N – SPT menurut Bowles)

Tabel 4.8 Penyelidikan Tanah dari N-SPT menurut Bowles

Tipe Tanah	$E_s$ (kPa)
Pasir (Konsolidasi Normal)	500 (N + 15)
Pasir (Jenuh)	250 (N + 15)
Pasir berbatu	1200 (N + 6)
Pasir kelepungan	320 (N + 15)
Lanau, Lanau kepasiran, Lanau kelepungan	300 (N + 6)

$\mu$  = poisson's ratio (berdasarkan table Bowles (1977))

Tabel 4.9 Poisson Ratio berdasar table Bowles

Tipe Tanah	$\mu$
Pasir Halus	0.25
Pasir Kasar	0.35
Pasir Padat	0.2 – 0.4
Lanau	0.3– 0.35
Lempung Kelanauan	0.2 – 0.3
Lempung Tidak Jenuh	0.1 – 0.3
Lempung Jenuh	0.4 – 0.5
Batu Padat	0.1 – 0.4
Batu Lepas	0.1 – 0.3

$L_p$  = panjang segmen tiang per konstanta pegas (m)

$B$  = diameter tiang (m)

Contoh Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 E_s &= 320 \times (N + 15) \\
 &= 320 \times (19 + 15) \\
 &= 10880 \text{ Kpa} \\
 &= 10880000 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

Menentukan koefisien spring horizontal

$$\begin{aligned}
 k_s' &= \frac{22.4 E_s(1-\mu)}{(1+\mu)(3-4\mu)[2 \ln(2 L_p/B) - 0.433]} \text{ (N/m}^2\text{)} \\
 &= \frac{22.4 \cdot 10880000 (1-0.3)}{(1+0.3)(3-4 \cdot 0.3)[2 \ln(2 \cdot 2/1.2) - 0.433]} \\
 &= 39006341 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_s &= k_s' / B \\
 &= 3900634 \text{ N/m}^2 / 1,2 \text{ m} \\
 &= 32505284 \text{ N/m}^3 \\
 &= 32505,384 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

Dari cara perhitungan diatas maka didapatkan perhitungan spring dengan rekapitulasi sebagai berikut:

Tabel 4.10 Rekapitulasi Spring Tiang Pancang

Boring Depth (m)	Pile Length h (m)	Pile Width (m)	SPT Value	Type of Soil	$\mu$	$E_s$	$k_s'$ (N/m <sup>2</sup> )	$k_s'$ (N/m)	$k_s$ (x & y)
						N/m <sup>2</sup>			kN/m <sup>3</sup>
0	0	1,2	0	Clay, moist, medium plasticity, bouldery					
2	2	1,2	4		0,45	6.080.000	21.797.661	43.595.323	18.165
4	2	1,2	19		0,45	10.880.000	39.006.341	46.807.609	32.505
6	2	1,2	60	Sand, fine to medium grained, non plasticity, bouldery, well until well sorted	0,35	79.200.000	270.319.681	324.383.617	225.266
8	2	1,2	60		0,35	79.200.000	270.319.681	324.383.617	225.266
10	2	1,2	60		0,35	79.200.000	270.319.681	324.383.617	225.266
12	2	1,2	60		0,35	79.200.000	270.319.681	324.383.617	225.266
14	2	1,2	60		0,35	79.200.000	270.319.681	324.383.617	225.266
16	2	1,2	60		0,35	79.200.000	270.319.681	324.383.617	225.266

### 4.6.1 Perhitungan Kolom Pilar

Dalam perhitungan pada pilar ini di dapat gaya-gaya dalam yang terjadi dari SAP 2000, yaitu:

Tabel 4.11 Output Pilar Hasil Kombinasi pada SAP2000

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
Text	m	Text	N	N-m	N-m
2062	0	KUAT III	-35129507	-40828940	-4143505.68
2062	12.5	KUAT III	-41748996	-65627193	11380350.72
2062	25	KUAT III	-48368485	-90425446	26904207.12
2062	0	KUAT IV	-35129507	-25122.39	-4141865.79
2062	12.5	KUAT IV	-41748996	-45797.02	11403568.02
2062	25	KUAT IV	-48368485	-66471.65	26949001.84
2062	0	KUAT V	-35129507	-11531707.5	-4522533.83
2062	12.5	KUAT V	-41748995	-21709189.1	6014198.48
2062	25	KUAT V	-48368484	-31886671	16550930.8
2062	0	LAYAN IV	-29274589.6	-20422624.4	-3346815.07
2062	12.5	LAYAN IV	-34790830	-32828252	10985843.33
2062	25	LAYAN IV	-40307071	-45233879	25318501.73
2062	0	KUAT I (BGT + BTR)	-69996610	-61984.3	-5824630.53
2062	12.5	KUAT I (BGT + BTR)	-76616099	-87593.75	54860458.42
2062	25	KUAT I (BGT + BTR)	-83235588	-113203.21	115545547.4
2062	0	KUAT II (BGT + BTR)	-62248365	-53792.76	-5450682.81
2062	12.5	KUAT II (BGT + BTR)	-68867854	-78305.59	45203371.67
2062	25	KUAT II (BGT + BTR)	-75487343	-102818.42	95857426.14
2062	0	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-38746282	42457159.77	-2013407.93
2062	12.5	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-44262523	78609889.56	55703669.14
2062	25	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-49778763	125811706.4	113439320.7
2062	0	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-39173510	-42519070	-5613451.6
2062	12.5	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-44689751	-78708218	-9566048.28
2062	25	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-50205992	-125946453	-13537219.4
2062	0	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-38270848	12715814.82	2185728.62
2062	12.5	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-43787089	23548829.62	131850981.7
2062	25	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-49303330	37697014.74	141577138.7
2062	0	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-39648944	-12777725.3	-9812588.16
2062	12.5	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-45165184	-23647157.9	-85713361
2062	25	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-50681425	-37831761	-141675037
2062	0	LAYAN I (BTR & BGT)	-48645202	-8632431.22	-4281400.38
2062	12.5	LAYAN I (BTR & BGT)	-54161443	-17037584.2	35132580.79
2062	25	LAYAN I (BTR & BGT)	-59677684	-25442737.3	74546561.97
2062	0	LAYAN II (BTR & BGT)	-54456386	-47338.32	-4561325.21
2062	12.5	LAYAN II (BTR & BGT)	-59972627	-67740.49	42382983.94
2062	25	LAYAN II (BTR & BGT)	-65488868	-88142.66	89327293.09
2062	0	LAYAN III (BTR & BGT)	-44771080	-37098.89	-4093890.56

**TABLE: Element Forces - Frames**

Frame	Station	OutputCase	P	M2	M3
Text	m	Text	N	N-m	N-m
2062	12.5	LAYAN III (BTR & BGT)	-50287320	-56130.28	30311625.5
2062	25	LAYAN III (BTR & BGT)	-55803561	-75161.67	64717141.55
2062	0	FATIK (BTR & BGT)	-14527959.5	-15359.13	-701151.97
2062	12.5	FATIK (BTR & BGT)	-14527959.5	-17415.31	18107037.67
2062	25	FATIK (BTR & BGT)	-14527959.5	-19471.48	36915227.31
2545	0	KUAT III	-35129508	-40489840	5182523.17
2545	12.5	KUAT III	-41748997	-61607647	3329524.15
2545	25	KUAT III	-48368486	-82725455	1476525.13
2545	0	KUAT IV	-35129508	-53739.58	5182983.97
2545	12.5	KUAT IV	-41748997	-233403.48	3336047.99
2545	25	KUAT IV	-48368486	-413067.37	14891112.02
2545	0	KUAT V	-35129508	-11424456.1	5157700
2545	12.5	KUAT V	-41748997	-20315908.8	2978146.37
2545	25	KUAT V	-48368486	-29207361.4	798592.74
2545	0	LAYAN IV	-29274590.4	-20262739.5	4325894.01
2545	12.5	LAYAN IV	-34790831	-30881110.6	2875455.8
2545	25	LAYAN IV	-40307072	-41499482	1425017.6
2545	0	KUAT I (BGT + BTR)	-69996598	-94387.38	12766479.09
2545	12.5	KUAT I (BGT + BTR)	-76616087	-466012.44	43420020.17
2545	25	KUAT I (BGT + BTR)	-83235575	-837637.49	74073561.25
2545	0	KUAT II (BGT + BTR)	-62248356	-85354.54	11081257.95
2545	12.5	KUAT II (BGT + BTR)	-68867844	-414321.56	34512470.79
2545	25	KUAT II (BGT + BTR)	-75487333	-743288.57	57943683.64
2545	0	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-38699739	39927529.81	7993951.02
2545	12.5	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-44215980	75374925.14	41093236.18
2545	25	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-49732221	119040048.9	74213711.97
2545	0	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-39220047	-40039491	4871350.64
2545	12.5	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-44736288	-75892130	-13066927.3
2545	25	EKSTREM I (GEMPA Y - BTR & BGT)	-50252528	-119962497	-31026395.9
2545	0	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-38112154	11939447.75	11636311.6
2545	12.5	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-43628394	22432066.63	104279533.6
2545	25	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-49144635	35390435	126992516.5
2545	0	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-39807632	-12051408.9	1228990.06
2545	12.5	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-45323873	-22949271.2	-76253225
2545	25	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-50840114	-36312883	-143805200
2545	0	LAYAN I (BTR & BGT)	-48645196	-8549358.78	8539022.15
2545	12.5	LAYAN I (BTR & BGT)	-54161436	-16019995.4	25145395.35
2545	25	LAYAN I (BTR & BGT)	-59677677	-23490632	41751768.55
2545	0	LAYAN II (BTR & BGT)	-54456377	-74046.25	9803093.1
2545	12.5	LAYAN II (BTR & BGT)	-59972618	-361984.03	31828253.18
2545	25	LAYAN II (BTR & BGT)	-65488859	-649921.82	53853413.26
2545	0	LAYAN III (BTR & BGT)	-44771075	-62755.19	7696566.68
2545	12.5	LAYAN III (BTR & BGT)	-50287315	-297370.43	20693816.47
2545	25	LAYAN III (BTR & BGT)	-55803556	-531985.67	33691066.26
2545	0	FATIK (BTR & BGT)	-14527953.9	-16936.58	3159789.63
2545	12.5	FATIK (BTR & BGT)	-14527953.9	-96920.4	16701655.07
2545	25	FATIK (BTR & BGT)	-14527953.9	-176904.22	30243520.51



### Data Perencanaan

- Dimensi kolom = 3000 × 6000 mm
- Panjang kolom = 25 m
- Mutu beton ( $f'c$ ) = 35 MPa
- Diameter Tul. Utama ( $\emptyset$ ) = 36 mm
- Mutu Baja ( $f_y$ ) = 400 MPa
- Elastisitas( $E_s$ ) = 200000 MPa
- Selimut beton = 50 mm

Direncanakan menggunakan tulangan 202D36 ( $A_s = 203212 \text{ mm}^2$ ). Lalu dicek dengan diagram interaksi hasil program bantu SPCOL seperti pada gambar berikut ini:

#### REINFORCEMENT:

=====

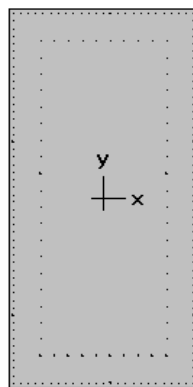
**202 #36 bars @ 1.129%**

**$A_s = 203212 \text{ mm}^2$**

**Confinement: Tied**

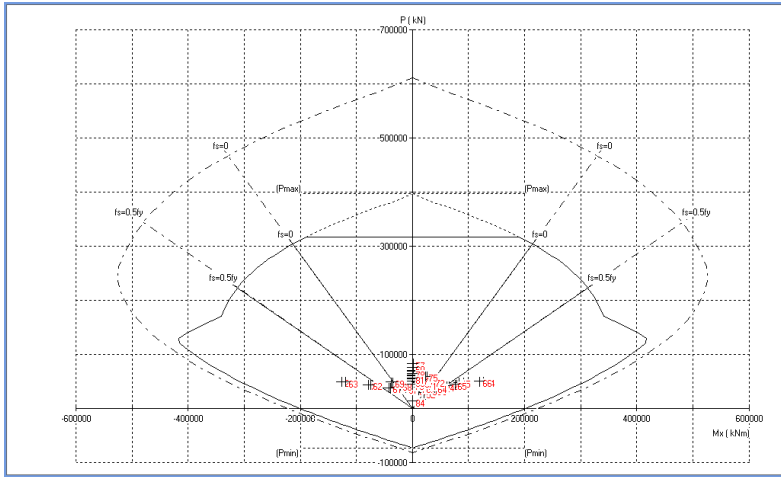
**Clear Cover = N/A**

**Min Clear Spacing = 83.55 mm**

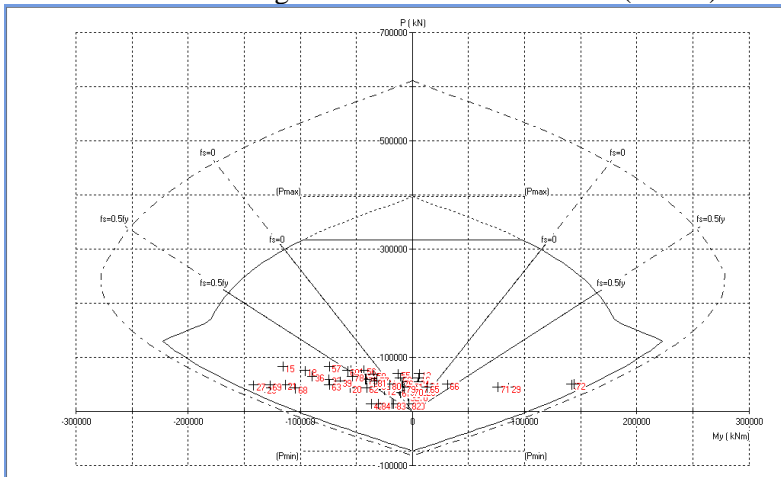


**3000 × 6000 mm**  
**1.13% reinf.**

Gambar 4.56. Dimensi Pilar dan Konfigurasi Penulangan



Gambar 4.57 Diagram Interaksi Aksial Lentur (Run X)



Gambar 4.58 Diagram Interaksi Aksial Lentur (Run Y)

Dari diagram interaksi aksial lentur diatas, dapat disimpulkan bahwa pilar masih mampu memikul gaya kombinasi aksial dan momen maksimum yang terjadi.

Pada penulangan pilar, direncanakan penulangan dengan jumlah yang berbeda pada sayap dan badan. Adapun konfigurasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Outer section :
  - Web = 25D36
  - Flange = 48D36
- Inner section :
  - Web = 10D36
  - Flange = 18D36

Pada program SPCOL didapat besarnya jarak antara tulangan longitudinal terpasang pada pilar tersebut adalah 83,55 mm. Kontrol terhadap jarak tulangan:

- 1,5 x ukuran maksimum agregat = 1,5 x 25 mm = 37,5 mm
- 1,5 x diameter tulangan = 1,5 x 36 mm = 54 mm
- 40 mm

Maka dapat disimpulkan bahwa jarak bersih minimum yang tersedia sudah memenuhi persyaratan.

### Penulangan Geser Kolom Pilar

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.2 penentuan kekuatan geser beton yang terbebani aksial tekan ditentukan dengan perumusan berikut :

$$\begin{aligned}
 A_g &= 3000 \text{ mm} \times 6000 \text{ mm} = 18000000 \text{ mm}^2 \\
 d &= h - \text{concrete decking} - D \text{ tulangan geser} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan utama} \\
 &= 6000 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - (0,5 \times 36 \text{ mm}) \\
 &= 5913 \text{ mm} \\
 V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\
 &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{83235587,99N}{14 \times 3000 \text{ mm} \times 6000 \text{ mm}} \right) \times 1 \times \sqrt{35 \frac{N}{\text{mm}^2}} \\
 &\quad \times 3000 \text{ mm} \times 5913 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$= 23733492,57 \text{ N}$$

$$= 23733,5 \text{ kN}$$

Syarat:  $\phi V_c \geq V_u$

$$0,75 \times 23733,5 \text{ kN} \geq 10378,23 \text{ kN}$$

$$17800,125 \text{ kN} > 10378,23 \text{ kN (OK)}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.3.5.2 jarak antara tulangan transversal pada pilar:

- $8 D_{\text{lentur}} = 8 \times 36 \text{ mm} = 288 \text{ mm}$
- $24 D_{\text{geser}} = 24 \times 19 \text{ mm} = 456 \text{ mm}$
- Dimensi penampang kolom terkecil  $/2 = 3000 \text{ mm}/2 = 1500 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm}$

Jadi dipasang sengkang D19–200 mm di sepanjang pilar.

#### 4.6.2 Perhitungan Pier Head

Dalam perhitungan pada pier head ini di dapat gaya-gaya dalam yang terjadi dari SAP 2000, yaitu:

$$Mu = 123955.585 \text{ kN}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{123955.585}{0,8} = 154944,5 \text{ kNm}$$

#### Data Perencanaan

- Dimensi pier head =  $4300 \times 1500\text{mm}$
- Panjang pier head =  $11\text{m}$
- Mutu beton ( $f'c$ ) =  $40\text{ MPa}$
- Diameter Tul. Utama ( $\emptyset$ ) =  $32\text{mm}$ 
  - o Mutu Baja ( $f_y$ ) =  $400\text{ MPa}$
  - o Elastisitas( $E_s$ ) =  $200000\text{ MPa}$
- Selimut beton =  $50\text{ mm}$
- $d$  =  $(1500 - (13 \cdot 50 - 0,5 \times 32))\text{ mm}$   
=  $1421\text{ mm}$
- $\beta_1$  =  $0,85 - 0,008(f_c' - 30)$   
=  $0,85 - 0,008(40 - 30)$   
=  $0,77$

(RSNI T-12-2004 Pasal 5.1.1) dan tidak boleh diambil kurang dari 0,65

- $\phi_{\text{lentur}} = 0,8$  (RSNI T-12-2004 Tabel 4.5-2)
- $\phi_{\text{geser}} = 0,7$  (RSNI T-12-2004 Tabel 4.5-2)

#### Penulangan Lentur Pier Head

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,039\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / f_y = 1,4 / 400 = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,039 = 0,029$$

(SNI 2847:2013 Pasal B.8.4.2)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 40} = 11,8$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d x^2} = \frac{1549445000 \text{ Nmm}}{0,9 \times 4300 \text{ mm} \times (1421 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,98$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$
$$= \frac{1}{11,8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,8 \times 1,98}{400}} \right)$$
$$= 0,005$$

$$P_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$
$$0,0035 < 0,005 < 0,029 \text{ pakai } \rho_{\text{perlu}}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$
$$= 0,005 \times 4300 \times 1421 = 30551,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter 32 mm dengan  $A_s = 804,25 \text{ mm}^2$

$$\text{Diperlukan tulangan lentur sebanyak } n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s \text{ tulangan}}$$
$$= \frac{30551,5 \text{ mm}^2}{804,25 \text{ mm}^2}$$
$$= 37,9 \text{ buah}$$
$$\approx 40D32$$

### Penulangan Geser Pier Head

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.2 penentuan kekuatan geser beton yang terbebani aksial tekan ditentukan dengan perumusan berikut :

$$A_g = 4300 \times 1500 = 6450000 \text{ mm}^2$$

$$d = 1500 - 50 - 13 - 32/2 = 1421 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\
&= 0,17 \times \left( 1 + \frac{83235588 \text{ N}}{14 \times 4300 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}} \right) \times 1 \times \sqrt{40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \\
&\quad \times 4300 \text{ mm} \times 1421 \text{ mm} \\
&= 12625315,85 \text{ N}
\end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned}
\emptyset V_c &\geq V_u \\
0,75 \times 12625,3 \text{ kN} &\geq 4854,8 \text{ kN} \\
9468,99 \text{ kN} &\geq 4854,8 \text{ kN (OK)}
\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.3.5.2 jarak antara tulangan transversal pada pier harus memenuhi syarat-syarat seperti berikut:

- $8 D_{\text{lentur}} = 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$
- $24 D_{\text{geser}} = 456 \text{ mm}$
- $d/2 = 2865 / 2 = 1432,5 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm}$

Maka dipasang sengkang D13–150 mm di sepanjang pier head.

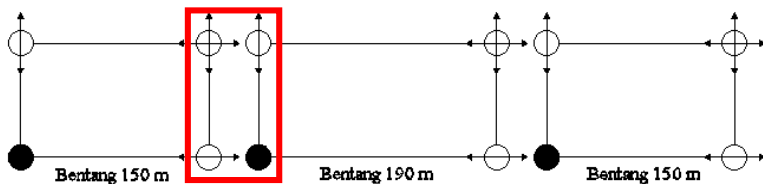
#### 4.6.4. Perhitungan Pondasi

Perencanaan bangunan bawah atau pondasi suatu struktur bangunan harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya jenis, kondisi dan struktur tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan atau daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi di atasnya. Perhitungan desain bangunan bawah jembatan disarankan untuk menggunakan rumus yang awam digunakan atau direkomendasikan. Adapun data tanah yang didapatkan dari lokasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Data Klasifikasi Tanah

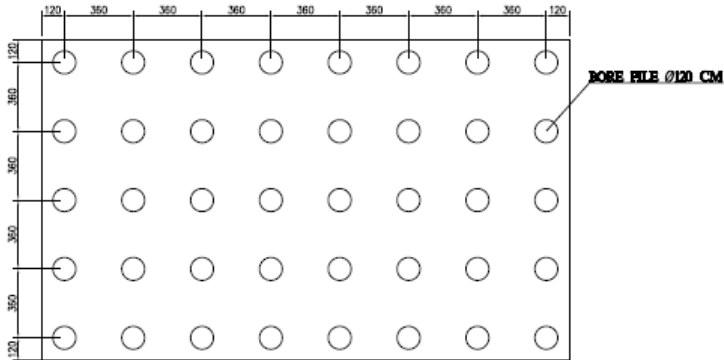
Elevasi Asli m	Tebal Lapisan m	Ni	N'	Jenis Tanah	Tahanan Ujung	$d_{ij}N$
					Np'	
0	0	0	0			
-6	6	35	25	Clay, moist, medium	20.8	0.17
-20	14	60	37.5	Sand, fine to medium	31.3	0.23
$\sum_{i=1}^n n' d_{ij} N^i$						0.4
$N'$						49.41
Site Class						SD

Desain tiang pancang yang akan dianalisis ditunjukkan pada Gambar 4.60



Gambar 4.59 Denah Perletakan Jembatan





Gambar 4.60 Konfigurasi Bore Pile

## Perhitungan Tiang Pancang

### Data Perencanaan

Data-data dalam perencanaan pondasi adalah :

- Kedalaman tiang pancang = 25 m
- Diameter tiang pancang (D) = 120 cm
- Keliling tiang pancang ( $A_s$ ) =  $\pi d = 379,99$  cm
- Luas tiang pancang ( $A_p$ ) =  $\frac{1}{4} \pi d^2$   
=  $\frac{1}{4} \pi (120 \text{ cm})^2$   
= 11309,7 cm<sup>2</sup>
- Konfigurasi bore pile = 8 baris x 5 kolom
- S (jarak antar tiang) = 2,5D s/d 3D  
= 3 m s/d 3,6 m
- S (jarak tiang ke tepi pilecap) = 1D s/d 1,5D  
= 1,2 m s/d 1,8 m

Direnakanan pile cap dengan dimensi:

- L =  $(2 \times 1,2 \text{ m}) + (n \text{ baris} - 1) \times 3,6 \text{ m}$   
= 2,4 m +  $(8-1) \times 3,6 \text{ m}$   
= 27,6 m
- B =  $(2 \times 1,2 \text{ m}) + (n \text{ kolom} - 1) \times 3,6 \text{ m}$   
= 2,4 m +  $(5-1) \times 3,6 \text{ m}$   
= 16,8 m

- $T = 2,5 \text{ m}$

- **Perhitungan daya dukung borepile**

Didapatkan perhitungan daya dukung dengan hasil yang tertera pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.13 Rekapitulasi Tahanan Ujung Tiang**

Kedalaman m	N	Jenis Tanah	Tahanan Ujung (Rp)					
			Su (Cu) t/m <sup>2</sup>	Nc	qp (Su x Nc)	Ap m <sup>2</sup>	φqp (Reese)	φRp ton
0	0	Clay, moist, medium plasticity, bouldery	0	6	0	1,131	0,500	0,000
2	10		6	8	48	1,131	0,500	27,154
3	14		9	9	81	1,131	0,500	45,823
4	19		12,5	10	125	1,131	0,500	70,714
5	35		22	11	242	1,131	0,500	136,903
6	60	Sand, fine to medium grained, non plasticity, bouldery, well until well sorted	39	12	468	1,131	0,500	264,754
7	60		39	13	507	1,131	0,500	286,817
8	60		39	14	546	1,131	0,500	308,880
9	60		39	15	585	1,131	0,500	330,943
10	60		39	16	624	1,131	0,500	353,006
11	60		39	17	663	1,131	0,500	375,069
12	60		39	18	702	1,131	0,500	397,131
13	60		39	19	741	1,131	0,500	419,194
14	60		39	20	780	1,131	0,500	441,257
15	60		39	21	819	1,131	0,500	463,320
16	60		39	22	858	1,131	0,500	485,383
17	60		39	23	897	1,131	0,500	507,446
18	60		39	24	936	1,131	0,500	529,509
19	60		39	25	975	1,131	0,500	551,571
20	60		39	26	1014	1,131	0,500	573,634

Tabel 4.14 Rekapitulasi Tahanan Selimut Tiang

Kedalaman m	N	Jenis Tanah	Tahanan Selimut (Rs)				
			Su/Pa	$\alpha$	As m <sup>2</sup>	$\varphi$ qs (Reese) ton	$\varphi$ Rs ton
0	0	Clay, moist, medium plasticity, bouldery	0,000	0,550	0,000	0,450	0,000
2	10		0,059	0,550	15,086	0,450	22,402
3	14		0,089	0,550	22,629	0,450	50,405
4	19		0,123	0,550	30,171	0,450	93,343
5	35	Sand, fine to medium grained, non plasticity, bouldery, well until well sorted	0,217	0,550	37,714	0,450	205,354
6	60		0,384	0,550	45,257	0,450	436,845
7	60		0,384	0,550	52,800	0,450	509,652
8	60		0,384	0,550	60,343	0,450	582,459
9	60		0,384	0,550	67,886	0,450	655,267
10	60		0,384	0,550	75,429	0,450	728,074
11	60		0,384	0,550	82,971	0,450	800,882
12	60		0,384	0,550	90,514	0,450	873,689
13	60		0,384	0,550	98,057	0,450	946,497
14	60		0,384	0,550	105,600	0,450	1019,304
15	60		0,384	0,550	113,143	0,450	1092,111
16	60		0,384	0,550	120,686	0,450	1164,919
17	60		0,384	0,550	128,229	0,450	1237,726
18	60		0,384	0,550	135,771	0,450	1310,534
19	60		0,384	0,550	143,314	0,450	1383,341
20	60		0,384	0,550	150,857	0,450	1456,149

Tabel 4.15 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang

Kedalaman	N	Jenis Tanah	Daya Dukung	Daya Dukung Ijin	Tahanan tarik Ijin
			ton	ton	ton
0	0	Clay, moist, medium plasticity, bouldery	0,000	0,000	0
2	10		49,557	19,823	8,960914286
3	14		96,228	38,491	20,16205714
4	19		164,057	65,623	37,33714286
5	35	Sand, fine to medium grained, non plasticity, bouldery, well until well sorted	342,257	136,903	82,14171429
6	60		701,599	280,640	174,7378286
7	60		796,469	318,588	203,8608
8	60		891,339	356,536	232,9837714
9	60		986,210	394,484	262,1067429
10	60		1081,080	432,432	291,2297143
11	60		1175,950	470,380	320,3526857
12	60		1270,821	508,328	349,4756571
13	60		1365,691	546,276	378,5986286
14	60		1460,561	584,224	407,7216
15	60		1555,431	622,173	436,8445714
16	60		1650,302	660,121	465,9675429
17	60		1745,172	698,069	495,0905143
18	60		1840,042	736,017	524,2134857
19	60		1934,913	773,965	553,3364571
20	60		2029,783	811,913	582,4594286

Berdasarkan AASHTO LRFD 2012 (*Bridge Design Specification*) Pasal 10.8.3.5, didapatkan rumus untuk menghitung daya dukung bored pile adalah sebagai berikut :

$$R_r = \phi R_n = \phi q_p R_p + \phi q_s R_s$$

Dimana :

$$R_p \text{ (tahanan ujung)} = q_p \times A_p$$

$$R_s \text{ (tahanan selimut)} = q_s \times A_s$$

a) Menghitung Tahanan Ujung

$$N_c = 6 \times \left( 1 + 0,2 \frac{Z \text{ (Kedalaman)}}{D \text{ (Diameter Pile)}} \right)$$

$$= 6 \times \left( 1 + 0,2 \frac{16 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} \right)$$

$$= 22$$

$$q_p = N_c \times S_u$$

$$= 22 \times 39 \text{ ton/m}^2$$

$$= 858 \text{ t/m}^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1,2^2$$

$$= 1,13 \text{ m}^2$$

$$R_p = q_p \times A_p$$

$$= 858 \text{ ton/m}^2 \times 1,13 \text{ m}^2$$

$$= 970,77 \text{ ton}$$

$$\phi q_p = 0,5 \text{ (AASHTO LRFD Bridge Design Specification Tabel 10.5.5.2.4.1)}$$

$$\phi q_p R_p = 0,5 \times 970,77 \text{ ton}$$

$$= 485,38 \text{ ton}$$

b) Tahanan Selimut

$$\alpha = 0,55$$

$$q_s = \alpha \times S_u$$

$$= 0,55 \times 39 \text{ ton/m}^2$$

$$= 21,45 \text{ ton/m}^2$$

$$A_s = P \text{ pile} \times Z \text{ (kedalaman)}$$

$$\begin{aligned}
 &= (2\pi r^2) \times Z \text{ (kedalaman)} \\
 &= (2\pi(1,2\text{m})^2) \times 16 \text{ m} \\
 &= 120,7 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_s &= q_s \times A_s \\
 &= 21,45 \text{ ton/m}^2 \times 120,7 \text{ m}^2 \\
 &= 2588,71 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi q_s &= 0,45 \text{ (AASHTO LRFD Bridge Design} \\
 &\quad \text{Specification Tabel 10.5.5.2.4.1)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi q_s R_s &= \phi q_s \times R_s \\
 &= 0,45 \times 2588,7 \text{ ton} \\
 &= 1164,92 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

c) Menghitung Daya Dukung Ultimate

$$\begin{aligned}
 R_r &= \phi R_n = \phi q_p R_p + \phi q_s R_s \\
 &= 485,83 \text{ ton} + 1164,92 \text{ ton} \\
 &= 1650,3 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

d) Menghitung Daya Dukung Izin

Tahanan ijin ( selimut + ujung ) :

$$\frac{QP}{SF} = \frac{1650,3 \text{ ton}}{2,5} = 660,1 \text{ ton}$$

Tabel 4.16 Koefisien Dasar Tiang dan Koefisien Shaft

	Method/Soil/Condition	Resistance Factor	
Nominal Axial Compressive Resistance of Single-Drilled Shafts, $\phi_{ult}$	Side resistance in clay	$\alpha$ -method (O'Neill and Reese, 1999)	0.45
	Tip resistance in clay	Total Stress (O'Neill and Reese, 1999)	0.40
	Side resistance in sand	$\beta$ -method (O'Neill and Reese, 1999)	0.55
	Tip resistance in sand	O'Neill and Reese (1999)	0.50
	Side resistance in IGMs	O'Neill and Reese (1999)	0.60
	Tip resistance in IGMs	O'Neill and Reese (1999)	0.55
	Side resistance in rock	Horvath and Kenney (1979) O'Neill and Reese (1999)	0.55
	Side resistance in rock	Carter and Kulhawy (1988)	0.50
	Tip resistance in rock	Canadian Geotechnical Society (1985) Pressuremeter Method (Canadian Geotechnical Society, 1985) O'Neill and Reese (1999)	0.50

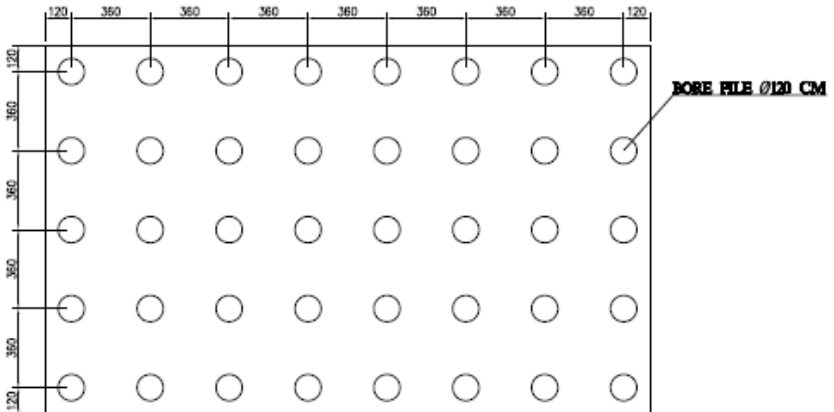
(AASHTO LRFD Bridge Design Specification 2012)

- Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Bore Pile

a. Gaya reaksi 1 tiang dan gaya reaksi group tiang

Tabel 4.17 Gaya Reaksi Group Tiang Akibat Beban Layan

OutputCase	F3	M1	M2
Text	N	N-m	N-m
LAYAN II (BTR & BGT)	<b>6548867,66</b>	89266,43	<b>-88756634</b>
LAYAN IV	40307071,09	<b>44958815,52</b>	-25048068,4



Gambar 4.61 Denah Konfigurasi Pile

b. Kontrol Daya Dukung 1 tiang

$$X \text{ max} = 12,60 \text{ m}$$

$$Y \text{ max} = 7,20 \text{ m}$$

$$\sum x_i^2 = 2721,60 \text{ m}^4$$

$$\sum y_i^2 = 1036,80 \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned}
 Pu1 &= \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \times x_{max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \times y_{max}}{\sum y^2} \\
 &= \frac{65488,87 \text{ kN}}{40} \pm \frac{89,27 \text{ kNm} \times 12,6 \text{ m}}{2721,60 \text{ m}^4} \pm \\
 &\quad \frac{-88756,63 \text{ kNm} \times 12,6 \text{ m}}{1036,80 \text{ m}^4} \\
 &= 2047,51 \text{ kN (Kombinasi --)} \\
 &= 1226,93 \text{ kN (Kombinasi ++)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pu_2 &= \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \times x_{max}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \times y_{max}}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{40307,1N}{40} \pm \frac{44958,8 \text{ kNm} \times 12,6 \text{ m}}{2721,60 \text{ m}^4} \pm \frac{-25048,1 \text{ kNm} \times 12,6 \text{ m}}{1036,80 \text{ m}^4} \\
 &= 1202,93 \text{ kN (Kombinasi ++)} \\
 &= 811,43 \text{ kN (Kombinasi --)}
 \end{aligned}$$

- Pu = beban vertikal 1 tiang  
 V = beban vertikal dari kolom  
 n = jumlah tiang dalam group  
 Mx = momen terhadap sumbu x  
 My = momen terhadap sumbu y  
 x<sub>max</sub> = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang  
 y<sub>max</sub> = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang  
 Σx<sup>2</sup> = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang terhadap garis netral group  
 Σy<sup>2</sup> = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang terhadap garis netral group

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{maks. tekan}} &< Q_{\text{izin tekan}} \\
 2047,51 \text{ kN} &< 6601 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Memenuhi} \\
 SF = \frac{6601 \text{ kN}}{2047,51 \text{ kN}} &= 3,22 > 2,5 \rightarrow \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

### c. Kontrol Daya Dukung Group Tiang Pancang

#### ➤ Data

Diameter Tiang, D	= 1,2 meter
Jumlah Tiang	= 40
Jumlah Bore per baris, n	= 8
Jumlah Baris, m	= 5
Spasi Tiang, St	= 3,6 meter
Q <sub>izin tekan</sub>	= 6601 kN



➤ Menhitung Koefisien Efisiensi Grup

$$\begin{aligned} \text{Eff. grup} &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{D \text{ tiang}}{S \text{ tiang}}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) - \\ &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{1,2 \text{ m}}{3,6 \text{ m}}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{5} - \frac{1}{8}\right) - \\ &= 0.657 \end{aligned}$$

➤ Menghitung daya dukung grup

$$\begin{aligned} Q_{\text{izin grup}} &= \text{Eff. grup} \times \text{jumlah tiang} \times Q_{\text{izin tekan}} \\ &= 0.657 \times 40 \times 6601 \text{ kN} \\ &= 173449,23 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ Kontrol Daya Dukung grup

$$\begin{aligned} Q_{\text{tekan total maks}} &< Q_{\text{izin grup}} \\ 65488,89 \text{ kN} &< 179702,96 \text{ ton} \rightarrow \text{Memenuhi} \\ \text{SF} = \frac{173449,23 \text{ kN}}{65488,89 \text{ kN}} &= 2,65 > 2,5 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

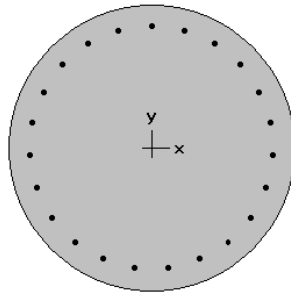
• **Perhitungan penulangan lentur bore pile**

Pada perhitungan penulangan bore pile, digunakan output dari semua kombinasi sebagai beban untuk mendesain konfigurasi penulangan yang dibutuhkan. Digunakan program SPCOL dengan menggunakan input data yang berasal dari program SAP2000. Dikarenakan data hasil output berjumlah ribuan data, maka ditampilkan hasil untuk mewakili P max, Mx max dan My max sebagai berikut:

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	OutputCase	P	M2	M3	
Text	Text	N	N-m	N-m	
2161	KUAT I (BGT + BTR)	-3920222.6	-739419.9	-497093.28	
2376	EKSTREM I (GEMPA X - BTR & BGT)	-2934982.58	-62600.63	-1625819.85	
2482	KUAT I (BGT + BTR)	-4797161.01	9.799E-16	2.495E-12	

Tabel 4.18 Output SAP2000 pada Elemen Tiang

Didapat output pada SPCOL sebagai berikut:



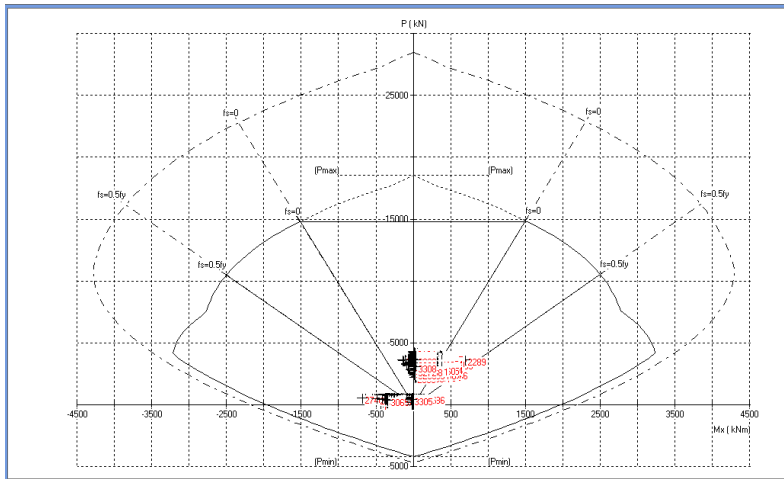
1200 mm diam.  
1.04% reinf.

**SECTION:**

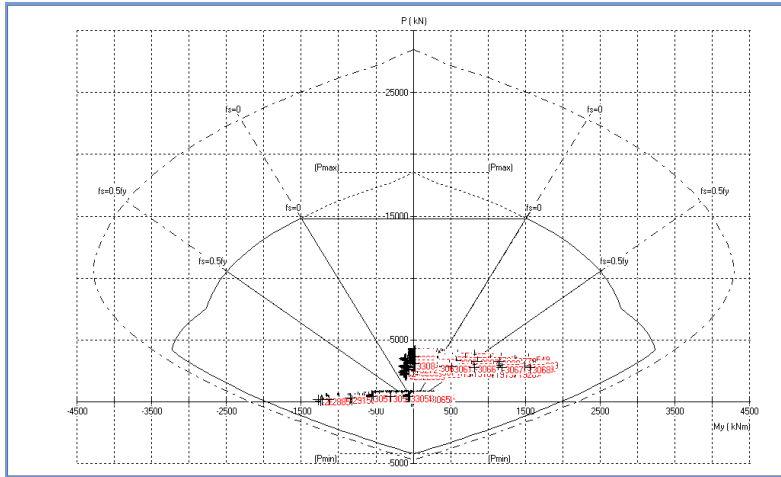
=====  
 $A_g = 1.13097e+006 \text{ mm}^2$   
 $I_x = 1.01788e+011 \text{ mm}^4$   
 $I_y = 1.01788e+011 \text{ mm}^4$   
 $X_o = 0 \text{ mm}$   
 $Y_o = 0 \text{ mm}$

**REINFORCEMENT:**

=====  
 23 #25 bars @ 1.037%  
 $A_s = 11730 \text{ mm}^2$   
 Confinement: Tied  
 Clear Cover = 79.50 mm  
 Min Clear Spacing = 112.89 mm



Gambar 4.62. Diagram Interaksi Aksial Lentur Pile 1,2 m Arah X



Gambar 4.63. Diagram Interaksi Aksial Lentur Pile 1,2 m Arah Y

Maka dipasang tulangan 23D25 dengan  $A_s = 15300 \text{ mm}^2$  dipasang melingkar dengan spasi sama sisi. Didapat minimum spasinya adalah 112,89 mm.

- **Perhitungan penulangan geser bore pile**

$$V_u = 471,08 \text{ kN}$$

$$P_u = 4797,16 \text{ kN}$$

$$A_g = \frac{\pi}{4} \times D \text{ tiang}^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (1200 \text{ mm})^2$$

$$= 1,13 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$d = 0,8 \times \text{diameter tiang}$$

$$= 0,8 \times 1200 \text{ mm}$$

$$= 960 \text{ mm}$$

$$b_w = 1200 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

Dihitung  $V_c$  :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{4797161 \text{ N}}{14 \times 1,13 \times 10^6 \text{ mm}^2} \right) \\ &\quad \times 1 \times \sqrt{25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 1200 \text{ mm} \times 960 \text{ mm} \\ &= 1235327,6 \text{ N} \\ &= 1235,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol Geser

$$\begin{array}{lcl} V_u & < & \phi V_c \\ 471,08 \text{ kN} & < & 1235,3 \text{ kN} \rightarrow \text{Memenuhi} \end{array}$$

Sehingga tidak perlu tulangan geser. Jadi dipasang tulangan geser minimum  $\phi 10 - 200$ .

#### 4.6.5. Perhitungan Pile Cap (Poer)

##### Kontrol Tebal Poer

Perencanaan tebal poer harus memenuhi suatu ketentuan bahwa kekuatan geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi.

Data Perencanaan Poer :

- Dimensi Pilar = 3000 x 6000 mm
- Dimensi Poer = 16,8 m x 27,6 m x 2,5 m
- Selimut Beton = 40 mm
- Ø Tulangan = 32 mm
- Mutu Beton ( $f'c$ ) = 35 Mpa
- Dimensi tiang pancang = 1200 mm
- $\lambda$  = 1 (Beton Normal)
- $\alpha_s$  = 30 (Untuk pilar tepi)
- Selimut beton = 70 mm
- Tinggi efektif ( $d$ )
  - $d_x = 2500 - 50 - \frac{1}{2} 22 = 2439$  mm
  - $d_y = 2500 - 50 - 16 - \frac{1}{2}(22) = 2423$  mm
- Rasio sisi panjang terhadap daerah sisi pendek kolom ( $\beta$ )  
$$\beta = \frac{6000}{3000} = 2$$

##### Cek Geser Ponds 2 Arah Terhadap Pilar

Penampang kritis adalah pada daerah dibawah pilar oleh karena itu, Keliling penampang kritis ( $b_o$ ) ditentukan dengan perumusan dibawah:

$$\begin{aligned} b_o &= \text{Keliling penampang kritis} \\ &= 2 (b_{\text{kolom}} + d_z) + 2 (h_{\text{kolom}} + d_y) \\ &= 2 (3000 + 2439) + 2 (6000 + 2423) = 27544 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.11.2.1 untuk pondasi tapak non-prategang, ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari poin berikut:

$$a. \quad V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{2} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 27544 \times 2439$$

$$V_c = 135129991,4 \text{ N}$$

$$b. \quad V_c = 0,083 \left( \frac{\alpha d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$V_c = 0,083 \left( \frac{30 \times 2439}{27544} + 2 \right) 1 \times \sqrt{35} \times 27544 \times 2439$$

$$V_c = 153606070,1 \text{ N}$$

$$c. \quad V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$V_c = 0,331 \times \sqrt{35} \times 27544 \times 2439$$

$$V_c = 131155579,9 \text{ N (Menentukan)}$$

Dari ketiga nilai  $V_c$  diatas diambil nilai terkecil, maka kapasitas penampang dalam memikul geser yaitu sebesar 131155,6 kN.

Syarat:  $\phi V_c \geq P_u \text{ kolom}$

$$0,75 \times 131155,58 \text{ kN} \geq 83235,6 \text{ kN (OK)}$$

$$84866,7 \text{ kN} \geq 83235,6 \text{ kN(OK)}$$

Sehingga, ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds terhadap pilar.

### Cek Geser Ponds 2 Arah Terhadap Tiang

Poer harus memiliki kapasitas geser yang dipengaruhi oleh tiang bore pile, sehingga perlu dilakukan kontrol kekuatan geser ponds untuk memastikan bahwa kekuatan geser nominal

beton harus lebih besar dibandingkan dengan kekuatan geser yang terjadi akibat bore pile.

bo = Keliling penampang kritis

$$= \pi \times (d_p + d)$$

$$= \pi \times (1200 \text{ mm} + 2439 \text{ mm})$$

$$= 11410,26 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.11.2.1 untuk pondasi tapak non-prategang, ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari poin berikut :

$$d. \quad V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{2} \right) 1 \times \sqrt{35} \times 11410,3 \times 2439$$

$$V_c = 5581790,2 \text{ N}$$

$$e. \quad V_c = 0,083 \left( \frac{\alpha d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$V_c = 0,083 \left( \frac{30 \times 2432}{11410,3} + 2 \right) 1 \times \sqrt{35} \times 11410,3 \times 2439$$

$$V_c = 114380828,6 \text{ N}$$

$$f. \quad V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times 11410,3 \times 2439$$

$$V_c = 54176206,99 \text{ N (Menentukan)}$$

Dari ketiga nilai  $V_c$  diatas diambil nilai terkecil, maka kapasitas penampang dalam memikul geser 54176,21 kN.

Syarat:  $\emptyset V_c \geq P_u$  tiang

$$0,75 \times 54176,21 \text{ kN} \geq 4797,16 \text{ kN (OK)}$$

$$40632,16 \text{ kN} \geq 4797,16 \text{ kN (OK)}$$

Sehingga, ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds.

### **Desain Penulangan Poer Pilar**

Desain penulangan lentur poer dianalisis sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada pilar. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang pancang sebesar  $P$  dan berat sendiri poer sebesar  $q$ . Perhitungan akan dilakukan dua arah dengan Desain penulangan poer pilar akan menggunakan tulangan baja dengan data desain sebagai berikut:

#### Data Perencanaan :

- Dimensi Poer (B x L) = 16800 mm x 27600 mm
- Tebal Poer = 2500 mm
- Mutu Beton ( $f'c$ ) = 35 MPa
- Diameter Tul. Utama ( $\emptyset$ ) = 36 mm
- Mutu Baja ( $f_y$ ) = 400 MPa
- Elastisitas ( $E_f$ ) = 200000 MPa
- Tebal Selimut Beton = 50 mm
- Tinggi efektif balok poer  
 $d_x = 2500 - 50 - 22/2 = 2439$  mm

### **Desain Penulangan Poer**

#### Penulangan Arah X

Di dapat dari SAP 2000

$$M_{ux} = 93722.53 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{uy}}{\phi} = \frac{93722.53}{0.8} = 117153,2 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 f'c' \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 0,0357 \\
 \rho_{\min} &= 1,4 / f_y = 1,4 / 400 = 0,0035 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0357 = 0,027 \\
 &(\text{SNI } 2847:2013 \text{ Pasal B.8.4.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445 \\
 R_n &= \frac{M_n}{\phi b d x^2} = \frac{1171532000 \text{ Nmm}}{0,9 \times 2500(2439 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,875 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,875}{400}} \right) \\
 &= 0,0022
 \end{aligned}$$

#### Cek rasio tulangan

$$\begin{array}{lcl}
 \rho_{\text{perlu}} & < \rho_{\min} & < \rho_{\max} \\
 0,0022 & < 0,0035 & < 0,027
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } A_{s\text{perlu}} &= \rho_{\min} \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 2500 \text{ mm} \times 2439 \text{ mm} = 24131,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D22 dengan  $A_s = 380,13 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan yang diperlukan} &= \frac{A_{s\text{ Perlu}}}{A_{s\text{ tulangan}}} \\
 &= \frac{24131,25 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} \\
 &= 56,1 \text{ buah} \approx 60 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$S \text{ (jarak tulangan)} = \frac{27600 \text{ mm}}{60 \text{ buah}} = 460 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} \leq 2 \times 2500 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 5000 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan D22 – 200 pada penulangan arah X.

## Desain Penulangan Poer

### Penulangan Arah Y

Di dapat dari SAP 2000

$M_{uy} = 72641.285 \text{ kNm}$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi} = \frac{72641.285}{0,8} = 90801,6 \text{ kNm}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 f_c' \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400}$$

$$= 0,0357$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / f_y = 1,4 / 400 = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0357 = 0,027$$

(SNI 2847:2013 Pasal B.8.4.2)

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 35} = 13,445$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d x^2} = \frac{9080160000 \text{ Nmm}}{0,9 \times 2500 \text{ mm} (2423 \text{ mm})^2} = 0,67 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$
$$= \frac{1}{13,445} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,67}{400}} \right)$$
$$= 0,0017$$

### Cek rasio tulangan

$\rho_{\text{perlu}}$	$< \rho_{\text{min}}$	$< \rho_{\text{max}}$
0,0017	$< 0,0035$	$< 0,027$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_{s\text{perlu}} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 2500 \text{ mm} \times 2423 \text{ mm} = 21201,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D22 dengan  $A_s = 380,13 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan yang diperlukan} &= \frac{A_{s\text{ Perlu}}}{A_{s\text{ tulangan}}} \\ &= \frac{21201,25 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} \\ &= 55,7 \text{ buah} \approx 60 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$S \text{ (jarak tulangan)} = \frac{27600 \text{ mm}}{60 \text{ buah}} = 460 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Kontrol spasi antar tulangan :

$$S \text{ max} \leq 2h$$

$$S \text{ max} \leq 2 \times 2500 \text{ mm}$$

$$S \text{ max} \leq 5000 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan D22 – 200 pada penulangan arah X.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari berbagai macam analisa dan kontrol yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil dari perencanaan struktur Modifikasi Jembatan Kali Kendeng ini antara lain:

1. Pelat lantai kendaraan berupa pelat beton dengan tebal 20 cm dan dilapisi aspal setebal 5 cm
2. Profil struktur sekunder dan primer menggunakan mutu baja BJ 50 dengan  $f_y = 290$  MPa dan  $f_u = 500$  MPa.
3. Pada permodelan struktur jembatan menggunakan SAP2000 untuk kontrol gaya dalam dan SPCOL untuk desain pilar serta tiang bore pile.
4. Jenis penggantung yang digunakan adalah *Threaded Rod* dari pabrikasi DYWIDAG dengan diameter 47 mm dan mutu Y1050
5. Dari hasil perhitungan struktur sekunder jembatan busur didapatkan:
  - Profil gelagar memanjang WF 450 x 200 x 9 x 14
  - Profil gelagar melintang WF 900 x 400 x 16 x 38
  - Ikatan angin lantai kendaraan L 250 x 250 x 35
  - Ikatan angin busur 250 x 250 x 10
  - Ikatan angin portal box 200 x 200 x 10
6. Dari hasil perhitungan struktur primer jembatan busur didapatkan:
  - *Upper Ribs* box 700 x 700 x 35
  - *Lower Ribs* box 1200 x 700 x 35
  - Batang vertikal busur box 300 x 300 x 10
  - Batang diagonal busur box 300 x 300 x 10
  - Batang horizontal busur box 250 x 250 x 10
  - Batang tarik box 700 x 700 x 35
  - Bracing portal akhir box 250 x 250 x 10

- Kolom Portal akhir box 700 x 700 x 35
  - Balok Portal akhir box 700 x 700 x 35
7. Perletakan menggunakan pot bearing dengan tipe:
- Undirectional tipe GG40000-2000-50
  - Multidirectional tipe GL40000-50-20
  - Fixed tipe FX40000-2000
8. Desain bangunan bawah yaitu pilar menggunakan data rencana dan hasil sebagai berikut :
- a. Pilar :
- Tinggi (h) : 25 meter
  - Mutu beton :  $f_c'$  25 Mpa
  - Mutu tulangan :  $f_y$  400 Mpa
  - Dimensi pilar (w) : 3 meter
  - Dimensi Pilar (l) : 6 meter
  - Penulangan pilar :
    - *Outer section* web : 25D36
    - *Inner section* web : 10D36
    - *Outer section* flens : 48D36
    - *Inner section* flens : 18D36
    - *Stirrups* : D19-200
- b. Pier Head :
- Tebal (t) : 1,5 m
  - Lebar (w) : 4,3 m
  - Panjang (l) : 11 m
  - Mutu beton :  $f_c'$  40 Mpa
  - Mutu tulangan :  $f_y$  400 Mpa
  - Penulangan pier head :
    - Lentur : 40D32
    - *Stirrups* : D13-150
- c. Bore Pile didesain dengan diameter 1200 mm dengan kedalaman tiang rencana 16 meter. Digunakan konfigurasi bore pile 5 x 8.

## 5.2 Saran

1. Pada perencanaan perletakan bisa digunakan beberapa rekomendasi dari beberapa vendor perletakan / bridge bearing untuk konfigurasi perletakan yang akan dipergunakan.
2. Perlu diperhatikan bagaimana cara memodelkan struktur jembatan apabila lebih dari satu bentang jembatan menumpu pada satu pilar. Kesalahan pada pemodelan perletakan akan dapat berakibat fatal.
3. Pada pemodelan 3 dimensi disarankan untuk menggunakan MIDAS CIVIL apabila metode pelaksanaannya juga dipertimbangkan untuk menjadi batasan masalah. Ataupun dapat digunakan CSI Bridge untuk pemodelan strukturnya.
4. Pada perencanaan struktur juga perlu diperhatikan perilaku atau sistem sambungan yang diterapkan pada rangka jembatan, karena akan memengaruhi hasil output pemodelan.

*“halaman sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge Design Specification*. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- American Institute of Steel Construction, . (2016, July 7). *ANSI/AISC 360-16, Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois, United States of America: American Institute of Steel Construction.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *Standar Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan (RSNI-T-12-2004)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). *Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (SNI T-03-2005)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Standar Perencanaan Gempa Untuk Jembatan (SNI 2833:2016)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis And Design*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Duan , L., & Chen, W. F. (2000). *Handbook of Bridge Engineering*. Florida-United States: CRC PRESS LLC.



- Duan, L., & Chen, W. F. (2014). *Handbook of International Bridge Engineering*. Taylor and Francis Group - LLC.
- Harwiyono, Soegihardjo, H., & Irawan, J. (2007). *Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Marwan, & Isdarmanu. (2006). *Struktur Baja 1*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua*. Semarang: Erlangga.
- Wahjudi, H. (1999). *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.



# TETRON CD<sup>®</sup>

## MECHANICAL POT BEARINGS



D E S I G N , B U I L D , M A I N T A I N



**FREYSSINET**  
SUSTAINABLE TECHNOLOGY



# MECHANICAL POT BEARINGS TETRON CD®



Tetron CD® pot bearings have been developed by Freyssinet since 1960. They are designed to allow or to block movements between two structures and to transfer the induced reactions. They fully satisfy all current international standards.

The Tetron CD® pot bearings designed according to the EN 1337 standard are all CE certified (no. 1777-CPD-0703). This EC certificate of conformity attests that all provisions concerning the attestation of conformity and the performances described in the annex ZA of the standard EN 1337-5 were applied and that Tetron CD® pot bearings fulfil all prescribed requirements.

**Field of use:** building and civil engineering works.

**Types:** fixed bearings, guided sliding bearings and free sliding bearings.

**Minimum operating temperature:** -35°C for sliding types and -40°C for fixed type.

**Elastomeric pad:** diameter less than or equal to 1500 mm.

**Seals:** Three types of internal seals are allowed for the Tetron CD® bearings:

- Brass seal for accumulated sliding path of 500 m
- Stainless steel seal for accumulated path of 1000 m
- Carbon filled PTFE seal for accumulated path of 2000 m

Upon request Freyssinet designs special bearings:

- to withstand specific loads: seismic, uplift, etc.,
- or to add options: load monitoring, jackable, etc.



## CONTENTS

Function / Description	p 3
Technical Specifications	p 4
Sizing	p 5
Pot Bearing Types	p 6
Quality Assurance	p 8
Test Benches / Installation	
Anti-Seismic Tetron CD® pot bearings	p 9
Monitored and jackable Tetron CD® pot bearings	p 10
Some References	p 11



## FUNCTION

Tetron CD® pot bearings developed by Freyssinet incorporate confined elastomer disks. They form the mechanical connections between a structure and its supports.

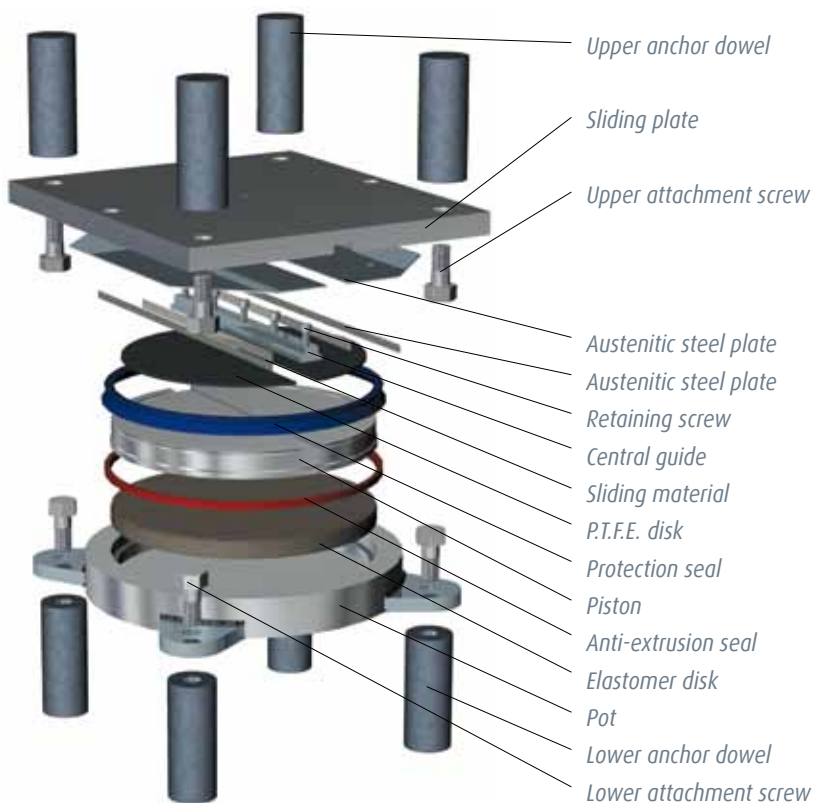
These bearings have the following advantages:

- resistance to low to very high vertical loads;
- transmission of high vertical and horizontal forces within small overall dimensions;
- high amplitude movement capacity in one or two horizontal directions with a very low coefficient of friction and without any elastic return force;
- high rotational amplitude along any horizontal axis, with a low resisting moment;
- very high resistance to dynamic loads.

## DESCRIPTION

The Tetron CD® pot bearing is composed of an elastomer disk confined in a cylindrical space limited by a hollow base (the pot) and a piston.

The elastomer behaves like an incompressible liquid. It can thus transmit very high loads and absorb rotations of the structure. If the pot bearing is provided with a sliding plate, it becomes multi-directional and a guide can be added to make it single directional.



### THERE ARE THREE AVAILABLE POT BEARING TYPES:

#### • Tetron CD® / FX (fixed)

This type consists simply of a pot, a piston and an elastomer disk.

The Tetron CD® / FX pot bearing behaves like a point hinge and can transmit horizontal forces along any direction either by friction to the structures or by anchor devices.

#### • Tetron CD® / GL (Free Sliding)

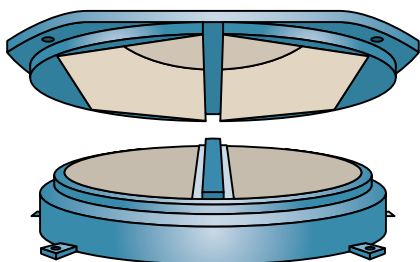
This type consists of a fixed pot bearing in which the piston is covered by a polytetrafluoroethylene (P.T.F.E) disk on which the upper sliding plate fixed to the superstructure is free to move. The bearing constructed in this manner is free to slide (it is multi-directional) and follows displacements in all horizontal directions.

The Tetron CD® / GL bearing is not designed to transmit horizontal loads.

#### • Tetron CD® / GG (Guided sliding)

This type is a multi-directional bearing provided with a guide. This guided sliding (or unidirectional) bearing only enables movements along the guiding direction. The guidance is achieved either by a central guide fixed on the piston or the sliding plate, or by side stops fixed to the plate.

The Tetron CD® / GG pot bearing can transmit horizontal forces in the direction perpendicular to the line of guidance.





## TECHNICAL SPECIFICATIONS

Tetron CD® pot bearings are designed to satisfy specifications of international standards or more stringent requirements as may be needed for some specific projects.

### Materials

The source of materials used to make Tetron CD® pot bearings is certified to technical specifications defined in European standard EN 1337-5 or equivalent.

### Protection against corrosion

All metal parts in Tetron CD® bearings are protected against corrosion in accordance with project specifications.

This protection may be provided for example by a paint system that may or may not complement zinc / aluminum or zinc metallization.

### Attachments

It may be necessary to fix Tetron CD® bearings to the structures using a removable system, depending on the applied horizontal forces.

This attachment is usually made by sockets embedded in the structures onto which the bearings are bolted.

### Options

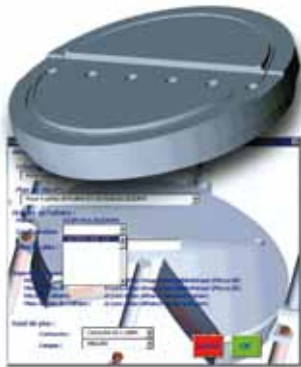
Tetron CD® bearings may be equipped with the following options on request:

- a P.T.F.E. scraper disk protection seal;
- a skirt to provide optimum protection against external aggression;
- plane or skew external distribution plates;
- a movement indicator;
- a vertical load measurement device;
- temporary equipment for launching bridge deck.

There are other options. Please call a Freyssinet local agent for further information.



## SIZING



Freyssinet has developed a computer software to design pot bearings taking account of the various applicable international standards (BS, DIN, AASHTO, EN, Austroads, etc.), the immediate environment of pot bearings (structure types, construction methods, etc.) and selected options, and to satisfy each particular case.

This system comprises a calculation software that includes all parameters that have an influence on the dimensions and costs of the components and a CAD link that is capable of automatically plotting drawings of the bearings thus designed.

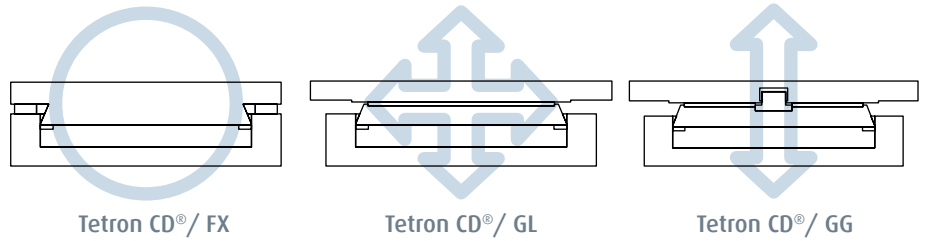
Apart from information about applicable standards and the environment of bearings, the information necessary for their optimum design is shown in the following table given as an example.

Bearing reference / Location				C0	C0	P1	P1	C2	C2				
Bearing identification (FX, GG, GL)				GL	GG	FX	GG	GL	GG				
Quantity				1	1	1	1	1	1				
Surfaces in contact		Upper surface		Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Mortar	Mortar				
		Lower surface		Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete				
Allowable average contact pressure (MPa)		Upper surface		SLS	23	23	23	23	23				
				ULS	30	30	30	30	30	30			
		Lower surface		SLS	23	23	23	23	23				
				ULS	30	30	30	30	30				
Loads (kN)		Serviceability Limit State (SLS)		Vertical	Maximum	5000	5000	20000	20000	5000	5000		
					Permanent	4500	4500	18000	18000	4500	4500		
					Minimum	2500	2500	10000	10000	2500	2500		
				Transverse		0	500	1000	2000	0	500		
				Longitudinal		0	0	2000	0	0	0		
				Ultimate Limit State (ULS)		Vertical	Maximum	6500	6500	26000	26000	6500	6500
		Minimum	3250				3250	13000	13000	3250	3250		
		Transverse					0	650	1300	2600	0	650	
		Longitudinal				0	0	2600	0	0	0		
		Ultimate Limit State with earthquake (ULSS)				Vertical	Maximum	6500	6500	26000	26000	6500	6500
							Minimum	3250	3250	13000	13000	3250	3250
				Transverse			0	650	1300	2600	0	650	
Longitudinal				0	0	2600	0	0	0				
Displacement (mm)				Serviceability Limit State (SLS)		Irreversible	Transverse						
							Longitudinal						
		Reversible	Transverse			10	0	0	10	0			
			Longitudinal			50	50	30	50	50			
		Ultimate Limit State (ULS)		Irreversible	Transverse								
					Longitudinal								
				Reversible	Transverse	10	0	0	10	0			
					Longitudinal	50	50	30	50	50			
		Ultimate Limit State with earthquake (ULSS)		Irreversible	Transverse								
					Longitudinal								
				Reversible	Transverse	10	0	0	10	0			
					Longitudinal	50	50	30	50	50			
Rotation (radians)		Serviceability Limit State (SLS)		Total	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016			
		Ultimate Limit State (ULS)		Total	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022			
Maximum dimensions (mm)		Pot diameter			800	800	1000	1300	800	800			
		Piston diameter (FX)					1000						
		Plate length (GG and GL)			1200	1200		1200	1200	1200			
		Plate width (GG and GL)			1100	1100		1100	1100	1100			
		Total height			200	200	250	300	200	200			
Plate presettings (GG and GL)				20	20		0	20	20				

Values given for example

## POT BEARING TYPES

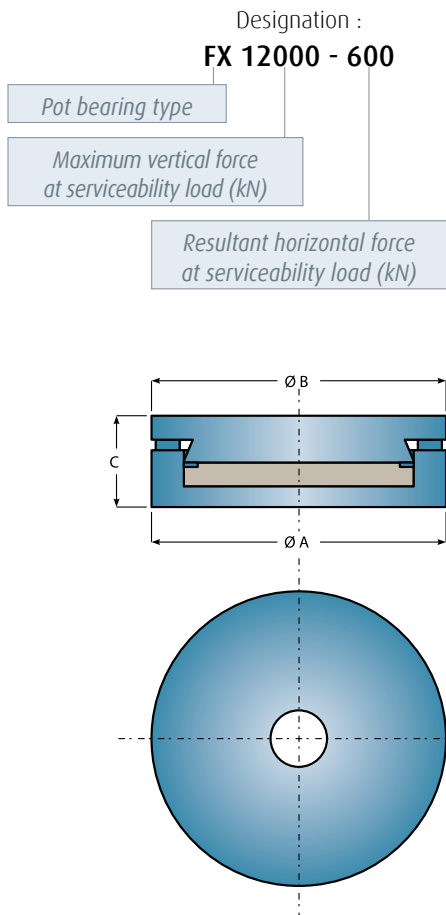
We have selected a series of pot bearings for information, to give a rough idea of their dimensions at the preliminary design stage.



Vernègues viaduct, Mediterranean TGV line – France

The dimensions of bearings calculated according to standard EN 1337 are defined in the following tables given for information, for a rotation of 1/100 rad and a maximum concrete stress of 23 N/mm<sup>2</sup> in the serviceability limit state.

In practice, our bearings are designed individually for each case as a function of standards, particular specifications and actual loads.



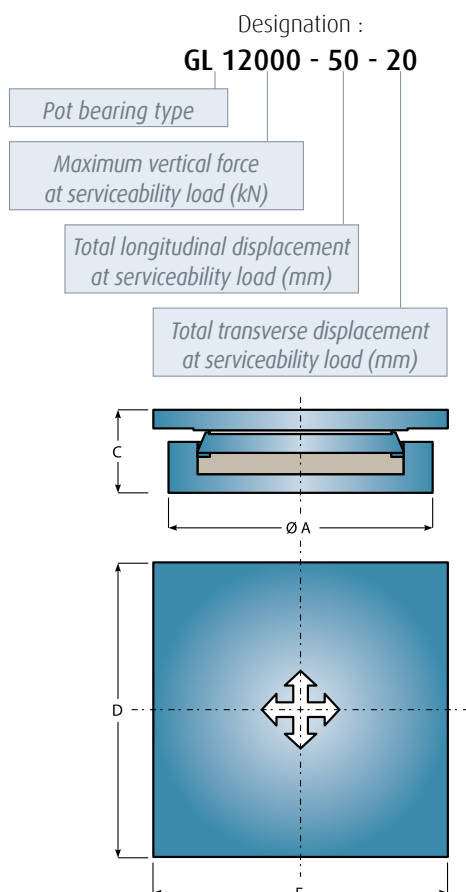
### Fixed pot bearing: TETRON CD®/ FX

Designation	Ø A (mm)	Ø B (mm)	C (mm)	Weight (kg)
FX 500 - 50	180	200	69	15
FX 1000 - 100	255	265	69	25
FX 1500 - 150	295	320	78	40
FX 2000 - 200	345	365	88	60
FX 2500 - 250	385	415	93	75
FX 3000 - 300	420	450	97	95
FX 3500 - 350	460	490	97	110
FX 4000 - 400	480	520	107	135
FX 4500 - 450	510	560	117	170
FX 5000 - 500	570	600	106	205
FX 6000 - 500	580	640	136	255
FX 7000 - 500	620	670	145	305
FX 8000 - 500	660	710	145	340
FX 9000 - 500	690	750	164	430
FX 10000 - 500	730	795	163	470
FX 12000 - 600	835	865	162	565
FX 14000 - 700	905	935	170	685
FX 16000 - 800	945	997	190	865
FX 18000 - 900	1000	1055	209	1085
FX 20000 - 1000	1095	1125	197	1135
FX 24000 - 1200	1190	1220	216	1475
FX 28000 - 1400	1260	1320	285	2400
FX 30000 - 1500	1305	1375	294	2670
FX 35000 - 1750	1415	1475	312	3280
FX 40000 - 2000	1515	1585	321	3865
FX 45000 - 2250	1610	1680	330	4415
FX 50000 - 2500	1700	1770	368	5620

Values given for information only



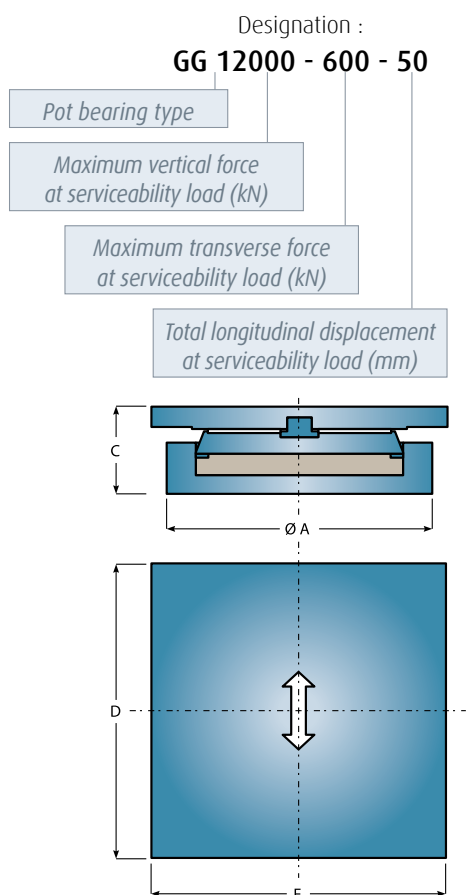
### Multidirectional pot bearing: TETRON CD®/ GL



Designation	Ø A (mm)	D (mm)	E (mm)	C (mm)	Weight (kg)
GL 500 - 50 - 20	170	245	225	90	25
GL 1000 - 50 - 20	225	290	175	90	35
GL 1500 - 50 - 20	270	330	315	94	45
GL 2000 - 50 - 20	310	370	355	99	60
GL 2500 - 50 - 20	345	410	395	99	75
GL 3000 - 50 - 20	375	435	430	108	95
GL 3500 - 50 - 20	405	460	465	108	110
GL 4000 - 50 - 20	435	500	495	108	125
GL 4500 - 50 - 20	465	525	530	118	155
GL 5000 - 50 - 20	495	555	550	112	175
GL 6000 - 50 - 20	545	610	605	122	215
GL 7000 - 50 - 20	590	655	655	142	290
GL 8000 - 50 - 20	635	695	695	157	275
GL 9000 - 50 - 20	680	745	740	156	425
GL 10000 - 50 - 20	720	785	785	170	520
GL 12000 - 50 - 20	795	855	860	169	595
GL 14000 - 50 - 20	860	920	920	208	925
GL 16000 - 50 - 20	925	985	985	232	1185
GL 18000 - 50 - 20	985	1045	1045	244	1405
GL 20000 - 50 - 20	1040	1100	1100	250	1610
GL 24000 - 50 - 20	1145	1205	1205	274	2135
GL 28000 - 50 - 20	1240	1300	1300	293	2685
GL 30000 - 50 - 20	1285	1345	1345	317	3095
GL 35000 - 50 - 20	1395	1455	1455	327	3765
GL 40000 - 50 - 20	1495	1555	1555	356	4715
GL 45000 - 50 - 20	1590	1650	1650	365	5455
GL 50000 - 50 - 20	1680	1740	1740	389	6490

Values given for information only

### Unidirectional pot bearing: TETRON CD®/ GG



Designation	Ø A (mm)	D (mm)	E (mm)	C (mm)	Weight (kg)
GG 500 - 50 - 50	205	270	235	100	30
GG 1000 - 100 - 50	270	325	290	104	45
GG 1500 - 150 - 50	325	365	330	104	60
GG 2000 - 200 - 50	355	390	380	109	80
GG 2500 - 250 - 50	400	425	415	113	100
GG 3000 - 300 - 50	430	445	440	118	120
GG 3500 - 350 - 50	460	475	470	123	145
GG 4000 - 400 - 50	490	505	505	123	160
GG 4500 - 450 - 50	520	535	535	137	200
GG 5000 - 500 - 50	550	565	565	142	230
GG 6000 - 500 - 50	590	615	615	162	295
GG 7000 - 500 - 50	620	660	660	162	350
GG 8000 - 500 - 50	660	705	705	167	415
GG 9000 - 500 - 50	690	745	745	181	500
GG 10000 - 500 - 50	730	785	785	185	560
GG 12000 - 600 - 50	820	860	860	184	675
GG 14000 - 700 - 50	870	930	930	213	930
GG 16000 - 800 - 50	935	995	995	242	1245
GG 18000 - 900 - 50	1000	1055	1055	246	1400
GG 20000 - 1000 - 50	1050	1110	1110	265	1710
GG 24000 - 1200 - 50	1160	1215	1215	284	2200
GG 28000 - 1400 - 50	1255	1315	1315	327	2970
GG 30000 - 1500 - 50	1300	1360	1360	336	3300
GG 35000 - 1750 - 50	1410	1470	1470	365	4240
GG 40000 - 2000 - 50	1510	1570	1570	363	4780
GG 45000 - 2250 - 50	1605	1665	1665	382	5690
GG 50000 - 2500 - 50	1695	1755	1755	410	6800

Values given for information only

**QUALITY ASSURANCE**

Tetron CD® bearings are made using procedures defined in the Freyssinet Quality Assurance Plan according to ISO 9002. This guarantees that they conform with contractual requirements.

**TEST BENCHES**



The quality and operation of Tetron CD® pot bearings are regularly checked by tests according to the different applicable standards (AAHSTO, BS, EN 1337, DIN, etc.) such as:

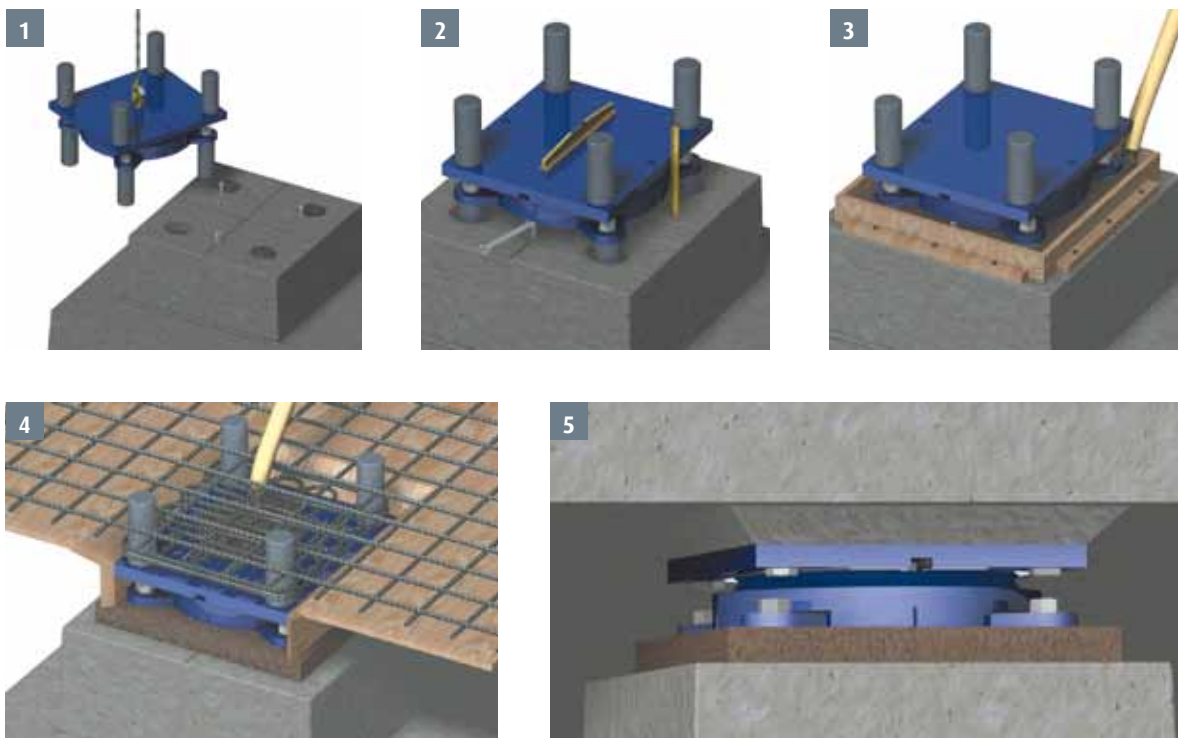
- vertical load;
- combined vertical and horizontal loads;
- operation with rotation;
- wear and friction.

**INSTALLATION**

Correct installation of Tetron CD® pot bearings is a difficult operation and decisive for durability. Lack of precision or any mistake in the various installation steps can introduce forces that damage the pot bearings, or even jeopardize the integrity of the structures.

There is a specific installation procedure for every project.

The following sketches illustrate the installation of a Tetron CD® pot bearing for a cast in situ structure.



- 1/ Place the bearing on its support
- 2/ Adjust the bearing
- 3/ Grout the base
- 4/ Formwork, reinforcement and pour concrete of the superstructure
- 5/ Release temporary attachments.

# ANTI-SEISMIC TETRON CD® POT BEARINGS

Tetron CD® pot bearings are also specifically designed to withstand the large forces and movements induced by seismic events. Fixed and guided bearings may be calculated to resist horizontal forces which are sometimes of the same magnitude as the vertical reaction.



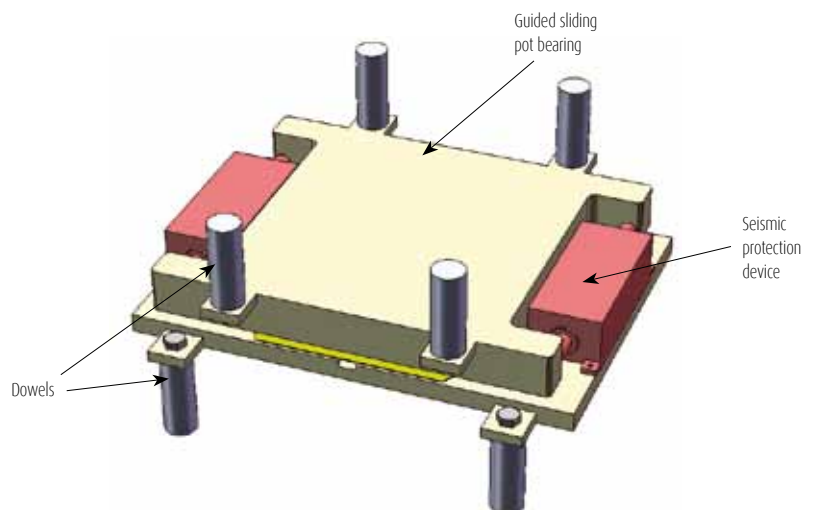
*C380 Viaduct – Taiwan: pot bearings for very high horizontal seismic loads*



*Sungai Prai – Malaysia: pot bearing resistant to uplift*

Under extreme seismic events, bearings may be required to resist uplift forces, to prevent for example a deck from overturning.

Guided sliding Tetron CD® pot bearings can be also combined with seismic protection devices, shock transmission units or dampers. They will allow the free displacement of the superstructure except during seismic events.



**MONITORED  
AND JACKABLE  
TETRON CD®  
POT BEARINGS**

During the fabrication process Tetron CD® pot bearings can be fitted with internal load gauges to monitor the bearing reaction after installation.

When the superstructure is required to be lifted several millimetres during the lifetime of the bridge, then Tetron CD® pot bearings can be designed to be injected after installation. Liquid Silicon Rubber is injected at high pressure and will polymerize.



*Weighable pot bearing Prébois viaduct – Switzerland*

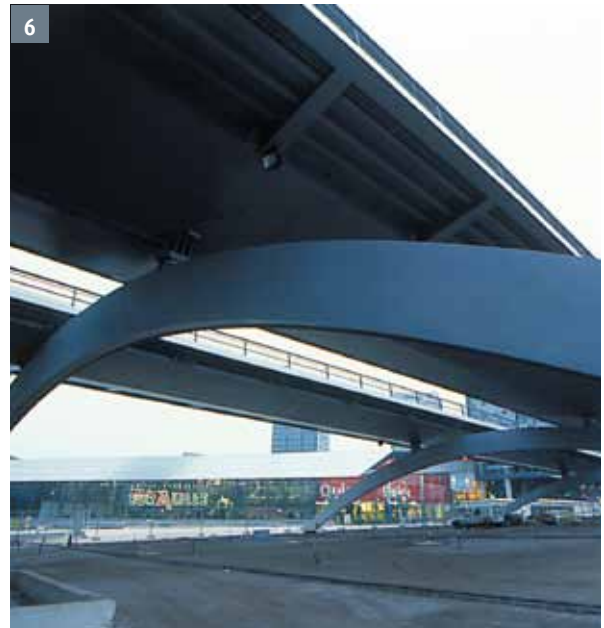
Jackable bearings can also be designed by combining a Tetron CD® pot bearing and a Freyssinet flat jack. The stroke of the flat jack allows to lift a few centimetres.



*Bridge over the Some – Switzerland: pot bearing installed on flat jack.*

## SOME REFERENCES

- 1/ Venezuela, Orenoque Bridge
- 2/ France, Tours Palais des Congrès
- 3/ United Kingdom, London Saint Pancras Station
- 4/ France, Ventabren viaduct, railways bridge
- 5/ France, Allone bridge
- 6/ France, Euralille





## More than 60 offices worldwide

### AMERICAS

- **Argentina**  
Freyssinet - Tierra Armada S.A.
- **Brazil**  
Freyssinet Brazil Ltda
- **Canada**  
Freyssinet Canada Ltée
- **Chile**  
Freyssinet Tierra Armada Chile S.A
- **Colombia**  
Freyssinet Colombie
- **El Salvador**  
Fessic S.A De C.V.
- **Mexico**  
Freyssinet de Mexico - Tierra Armada S.A.
- **Panama**  
Freyssinet
- **United States**  
Freyssinet Inc.
- **Venezuela**  
Freyssinet - Tierra Armada CA

### EUROPE

- **Belgium**  
Freyssinet Belgium N.V.
- **Bulgaria**  
Freyssinet

### Danemark

- A/S Skandinavisk Spaendbeton
- **Estonia**  
Latvijas Tilti
- **France**  
Freyssinet France  
Freyssinet International & Cie
- **Hungary**  
Pannon Freyssinet Kft
- **Iceland**  
A/S Skandinavisk Spaendbeton
- **Ireland**  
Freyssinet Ireland
- **Latvia**  
Latvijas Tilti
- **Lithuania**  
Latvijas Tilti
- **Macedonia**  
Freyssinet Balkans
- **Netherlands**  
Freyssinet Nederland B.V.
- **Norway**  
A/S Skandinavisk Spaendbeton
- **Poland**  
Freyssinet Polska Sp. z.o.o

### Portugal

- Freyssinet - Terra Armada S.A
- **Romania**  
Freyrom
- **Russia**  
Freyssinet
- **Serbia**  
Freyssinet
- **Slovenia**  
Freyssinet Adria SI d.o.o.
- **Spain**  
Freyssinet S.A.
- **Sweden**  
A/S Skandinavisk Spaendbeton
- **Switzerland**  
Freyssinet S.A.
- **Turkey**  
Freyssas
- **United Kingdom**  
Freyssinet Ltd

### AFRICA AND MIDDLE EAST

- **Abu Dhabi**  
Freyssinet Middle East LLC
- **Algeria**  
Freyssinet Algérie
- **Dubai**  
Freyssinet Gulf LLC
- **Egypt**  
Freyssinet - Menard Egypt SAE
- **Jordan**  
Freyssinet Jordan LLC
- **Koweit**  
Freyssinet Koweit
- **Morocco**  
Freyssima
- **Oman**  
Freyssinet Arabian Sea LLC
- **Qatar**  
Freyssinet Menard Qatar WLL

### Saudi Arabia

- Freyssinet Menard Saudi Arabia Ltd.
- **Sharja**  
Freyssinet Menard Northern Emirates LLC
- **South Africa**  
Freyssinet Posten (Pty) Ltd
- **Tunisia**  
Freyssinet

### ASIA

- **Hong Kong**  
Freyssinet Hong Kong Ltd  
Freyssinet Insight Sewer Services Ltd
- **India**  
Freyssinet Menard INDIA Pvt Ltd
- **Indonesia**  
PT Freyssinet Total Technology
- **Japan**  
Freyssinet KK Japon
- **Macau**  
Freyssinet Macau Ltd
- **Malaysia**  
Freyssinet PSC (M) SDN BHD
- **Pakistan**  
Freyypak Ltd

### Singapore

- PSC Freyssinet (S) Pte. Ltd
- **South Korea**  
Freyssinet Korea Co. Ltd
- **Taiwan**  
Freyssinet Taiwan Engineering
- **Thailand**  
Freyssinet Thailand Ltd
- **Vietnam**  
Freyssinet Vietnam

### OCEANIA

- **Australia**  
Freyssinet Australia Pty Ltd
- **New Zealand**  
Freyssinet New Zealand Ltd



**FREYSSINET**  
SUSTAINABLE TECHNOLOGY

1 bis, rue du Petit Clamart 78140 Vélizy-Villacoublay - France  
Tel: +33 1 46 01 84 84 - Fax: +33 1 46 01 85 85  
[www.freyssinet.com](http://www.freyssinet.com)

## DYWIDAG Prestressing Systems using Bars







# Contents

---

ETA Approvals .....	4
System description.....	5
Prestressing Bars / Technical Data.....	6
System overview .....	7
Overview of anchorages .....	8
Applications .....	9
Overview of bonded bar tendons .....	10
Overview of unbonded and external bar tendons.....	11
Geometrical characteristics of accessories .....	12
Installation .....	13
Stressing and grouting.....	14
Equipment for stressing and grouting .....	15



# ETA Approvals



Construction products with an European Technical Approval (ETA) meet all essential demands given in the Construction Products Directive (CPD). The ETA holder is authorized to apply the CE-marking (Conformité Européenne) on his product. The CE-marking certifies the conformity with the technical specification and is the basis for the free movement of goods within the EU member states. DSI is proud to have European Technical Approvals for its PT-systems with bars, bonded strands and unbonded strands.



## System Description



Typical Coupling, Uhlavu Bridge, Pilsen, Czech Republic

DYWIDAG Prestressing Systems are world renowned for reliability and performance, most suitable for all applications in post-tensioned and prestressed constructions. They embrace the whole spectrum from bridge construction, buildings, to civil applications, above and underground.

The first ever structure built with a prototype DYWIDAG Post-Tensioning System using bars was the arch-bridge Alsleben (Germany) in 1927. From that time on DYWIDAG has continuously improved its systems to keep up with the growing demand of modern construction technology. In addition to the traditional post-tensioning system using bars, that is mainly geared towards geotechnical applications, building rehabilitation and strengthening, DSI offers a complete product line in strand prestressing (bonded, unbonded and external) as well as stay-cables being able to fully serve the post-tensioning construction. DYWIDAG Prestressing Systems have always combined highest safety and reliability standards with most economical efficiency in their research and development. Dependable corrosion protection methods of the DYWIDAG Prestressing Systems contribute to the longevity of modern construction. High

fatigue resistance is achieved with optimized material selection and cautious detailing of all the components especially in their system assembly.

The bar systems for prestressed structure: bonded, unbonded and external tendons resp. are regulated in the European Technical Approval ETA-05/0123. This ETA can be downloaded at [www.dywidag-systems.com](http://www.dywidag-systems.com).

For geotechnical applications a ground anchor with 47 mm threadbar diameter will be provided, too. A  $\varnothing$  47 mm threadbar prestressing tendon is in preparation. Additionally DSI-USA provides DYWIDAG Prestressing Systems with threadbars 65 and 75 mm.

The intended use for internal bar tendons is for concrete, composite and masonry structures. Internal unbonded and external bar tendons will be used for concrete, composite, steel, timber and masonry structures.

Typical applications are transversal prestressing, strengthening of bridges, rehabilitations, connection elements for steel structures and machines and temporary applications.



Uhlavu Bridge, Pilsen, Czech Republic

## Prestressing bars and technical data

### General

The prestressing bars are hot-rolled, tempered from the rolling heat, stretched and annealed, with a circular cross section.

The bars are of prestressing steel Y 1050 H according to prEN 10138-4.

The threadbars and plain bars are available in mill length up 18 m and may be cut to specified lengths before shipment to the jobsite.

### Threadbars

Threadbars are available in diameters 26.5, 32, 36, 40 and 47 mm.

The threadbars feature continuous hot-rolled ribs providing a right-handed thread along the entire length.

The threadbar can be cut anywhere and is threadable without further preparation.

The threadbars are specified by nominal diameter and WR, e.g. 26 WR



### Plain bars

Plain bars are available in diameters 32 and 36 mm.

Both ends of a plain bar cut to the length specified in the project are provided with special cold-rolled threads.

The thread lengths are manufactured in the shop according to the specifications of the project.

The plain bars are specified by nominal diameter and WS, e.g. 32 WS.



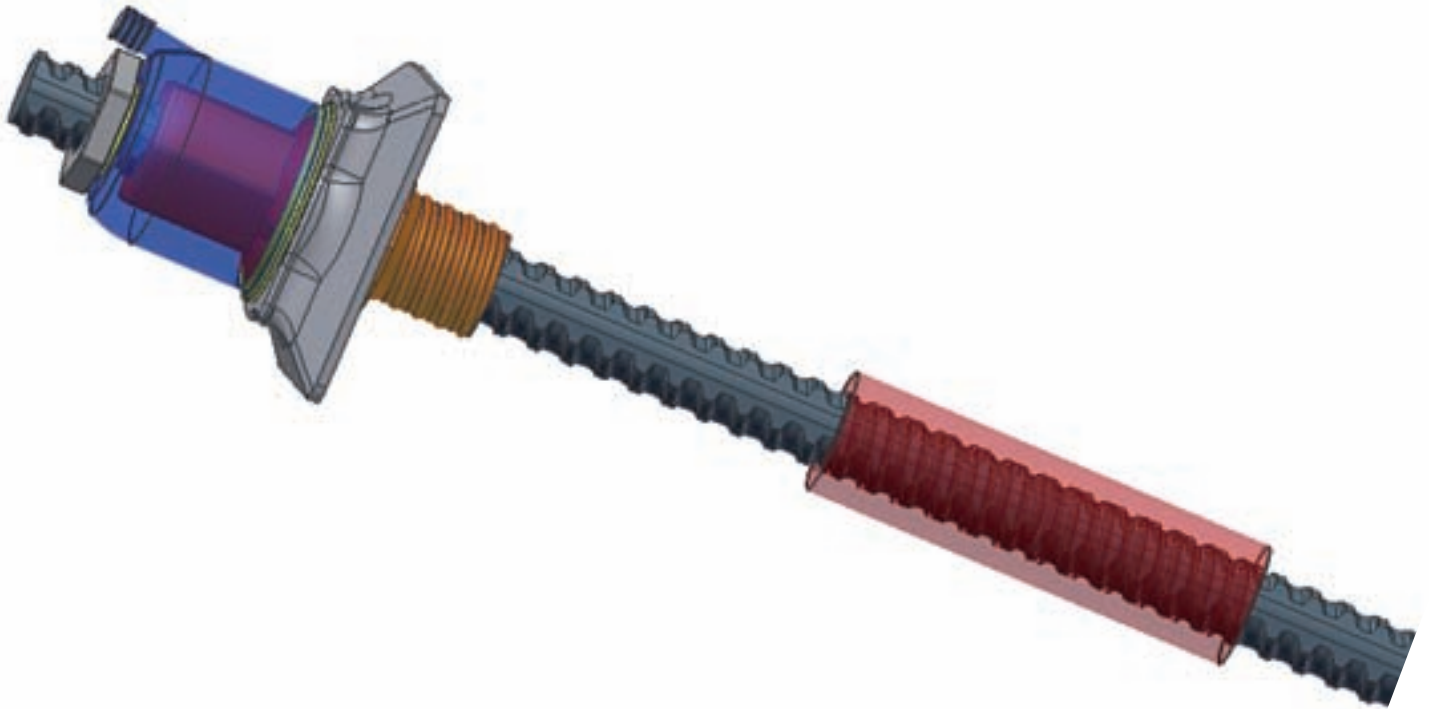
### Technical data

Designation	THREADBAR®							Plain bar	
	–	–	26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR	32 WS	36 WS
Nominal diameter	$d_s$	mm	26.5	32	36	40	47	32	36
Cross section area	$S_n$	mm <sup>2</sup>	552	804	1018	1257	1735	804	1018
Nominal mass per metre	M	kg/m	4.48 <sup>1)</sup>	6.53 <sup>1)</sup>	8.27 <sup>1)</sup>	10.21 <sup>1)</sup>	14.10 <sup>1)</sup>	6.31	7.99
Pitch	c	mm	13	16	18	20	21	3.0	3.0
Characteristic breaking load	$F_m$	kN	580	845	1070	1320	1820	845	1070
Max. initial stressing force $P_{m0,max} = S_n \times 0.8 \times f_{p,k}$		kN	464	676	856	1056	1456	676	856
Max. overstressing force $P_{0,max} = S_n \times 0.95 \times f_{p0,1k}$		kN	499	722	912	1130	1567	722	912

1) The nominal mass per metre includes 3.5% not load bearing portion of ribs.

## System overview

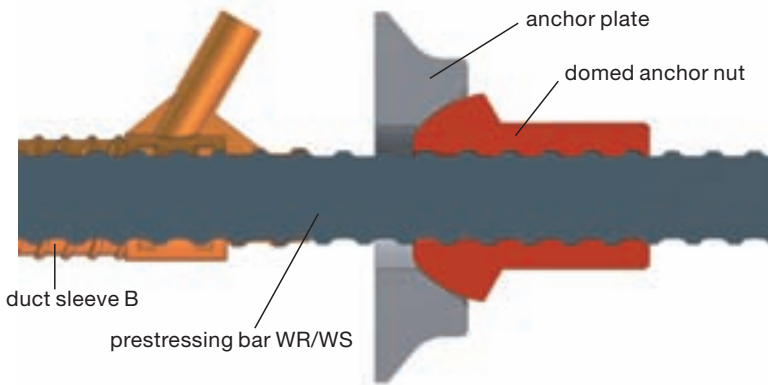
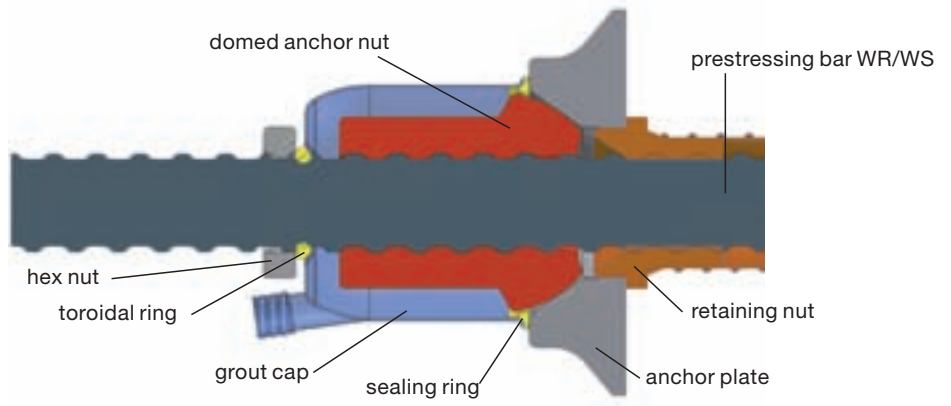
Available tendons		26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR	32 WS	36 WS
Bonded bar tendon	QR-plate anchorage with additional reinforcement	■	■	■	■	■		
	QR-plate anchorage without additional reinforcement	■	■	■	■	■		
	Rectangular solid plate anchorage with additional reinforcement	■	■	■	■	■	■	■
	Rectangular solid plate anchorage without additional reinforcement	■	■	■	■	■		
	Square solid plate anchorage without additional reinforcement	■	■	■	■	■		
Unbonded and external bar tendon	Rectangular solid plate anchorage with additional reinforcement	■	■	■	■	■	■	■
	Square solid plate anchorage without additional reinforcement	■	■	■	■	■		



# Overview of anchorages

## Stressing anchorage, bonded

The bar is fixed with the domed anchor nut and the retaining nut to the anchorage plate and this latter will be fixed to the scaffolding. The retaining nut provides the connection to the duct. Grouting is performed through the grout cap, the domed anchor nut with the three grout slots and the retaining nut.

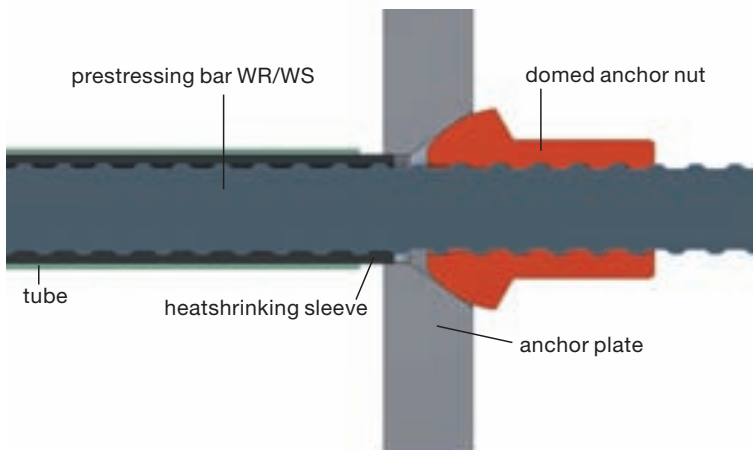
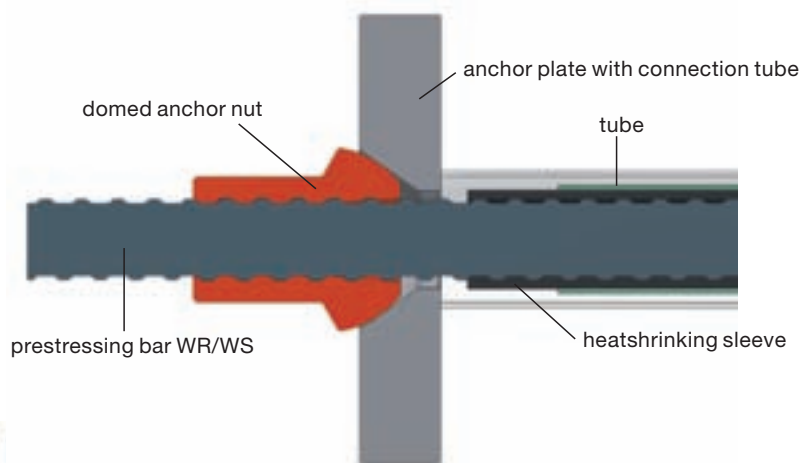


## Fixed anchorage, bonded

The fixed anchorage is mostly completely embedded in the concrete. The domed anchor nut is tack welded perpendicularly onto the anchor plate. The duct sleeve B ends directly at the anchor plate the duct will be injected respectively vented there. A fixed anchorage can be designed as a stressing anchorage; the required bar-over length for the stressing can be dispensed.

## Stressing anchorage, unbonded

Against water intrusion in the anchorage region a connection tube is welded to the anchor plate for bridging of a gap behind the anchor plate. Different corrosion protection systems are available.



## Fixed anchorage, unbonded

The fixed anchorage is mostly completely embedded in the concrete. The domed anchor nut is tack welded perpendicularly onto the anchor plate. The prestressing bar will be provided with the respective corrosion protection. The fixed anchorage can be carried out as an unbonded stressing anchorage, too.

## Applications

Prestressing bar tendons can be used at new structures and for strengthening of existing structures, as longitudinal or transversal tendons, as shear reinforcement, straight or curved, as hangers at concrete or steel arch bridges, for temporary or permanent

connections of precast concrete elements, fixations of concrete to concrete, new concrete to old concrete, steel to concrete, concrete to masonry or any combination of members made of any structural material.



Grand-Mère Generating Station, Canada



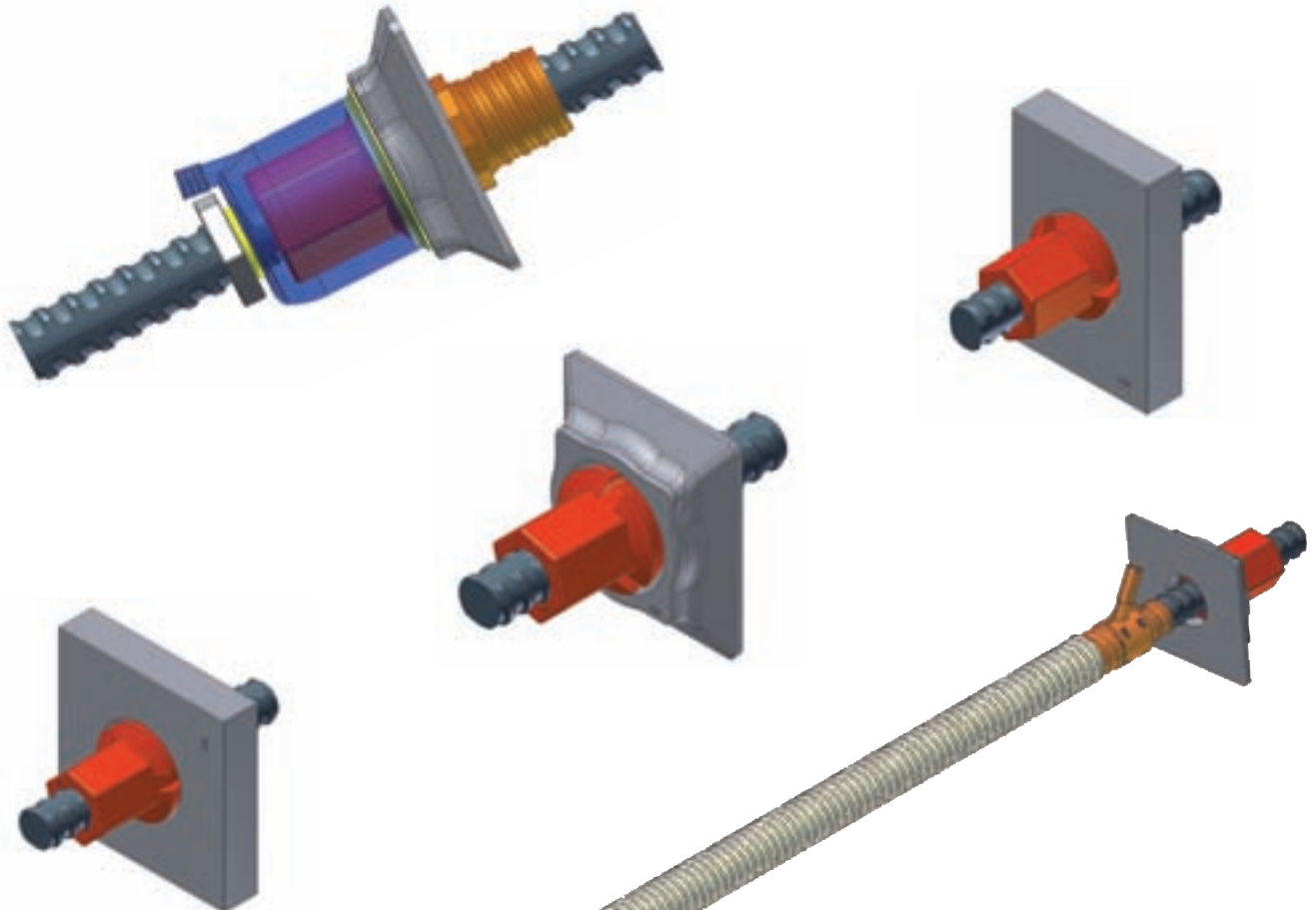
Church of Our Lady, Germany

## Overview bonded bar tendons

---

Bonded bar tendons are embedded in concrete. The corrosion protection of the prestressing steel and the bond with the structural concrete is provided by grout injected in the ducts.

A bonded tendon is intended to be used for concrete, composite and masonry structures.



Bonded bar tendon, design QR-plate, square and rectangular solid plates



## Overview unbonded and external bar tendons

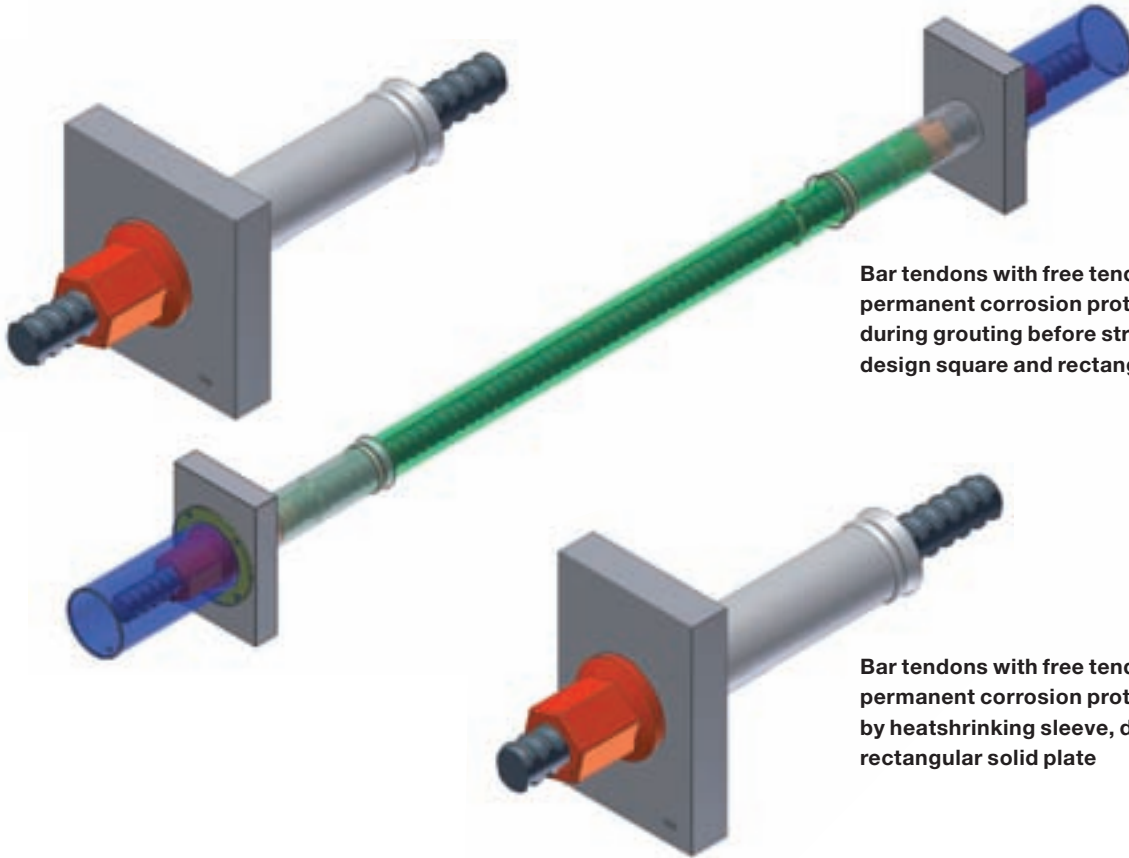
Unbonded and external bar tendons are installed either inside or outside the cross section of the structure. For corrosion protection various systems are available, all of which do not bond with the structure. The tendons may be

restressed at any time and depending on the tendon type, they can also be removed or exchanged.

Internal unbonded and external tendons are intended to be used for concrete,

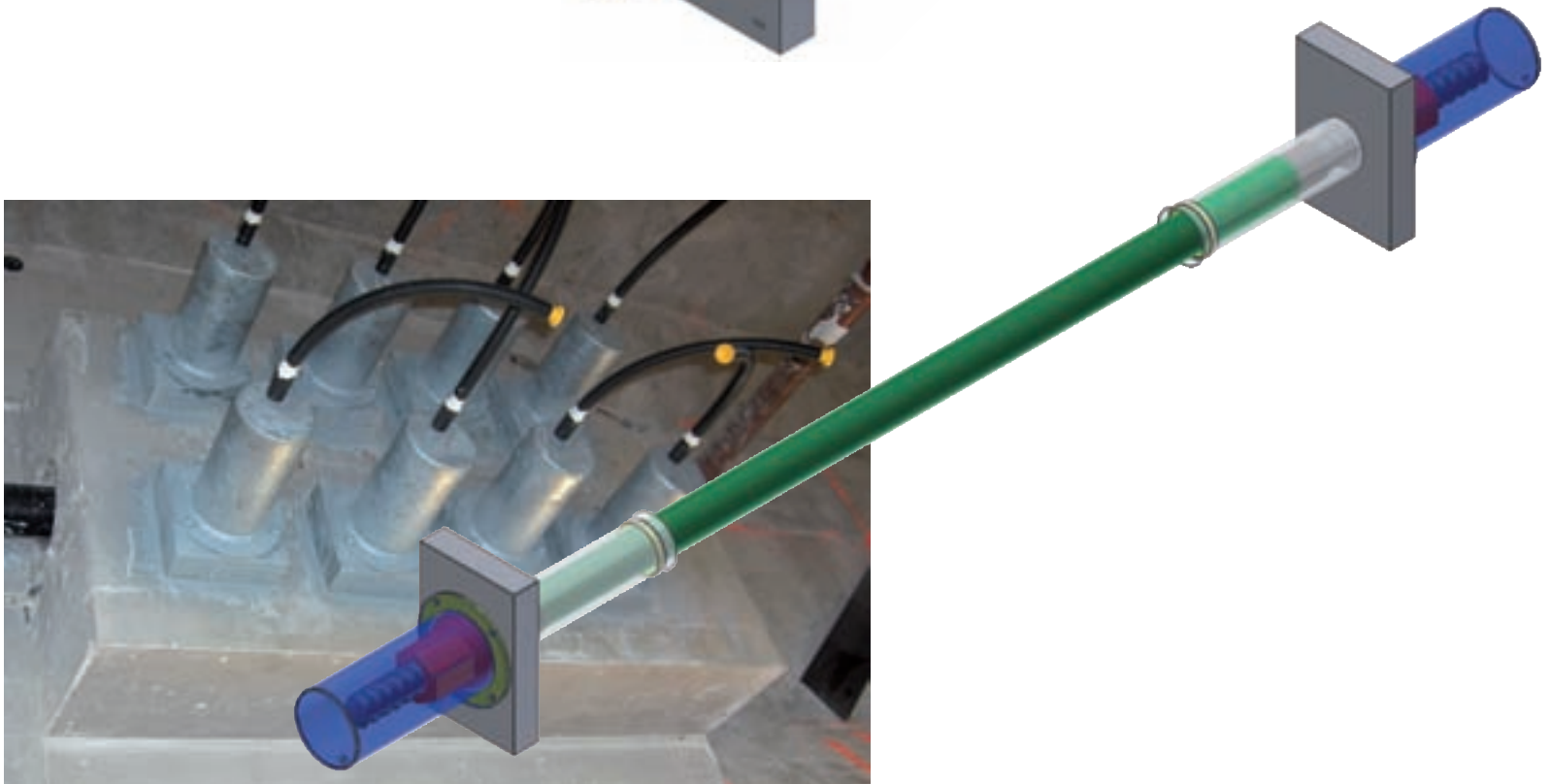
composite, steel, timber and masonry structures.

The corrosion protection of unbonded and external tendons depends on an environmental conditions and service time.



**Bar tendons with free tendon duct, permanent corrosion protection executed during grouting before stressing, design square and rectangular solid plates**

**Bar tendons with free tendon duct, permanent corrosion protection executed by heatshrinking sleeve, design square and rectangular solid plate**



## Geometrical characteristics of accessories

Bar designation			Threadbar					Plain bar	
			26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR	32 WS	36 WS
Domed anchor nut	length	[mm]	75	90	100	115	135	46	60
	width across flat	[mm]	50	60	65	70	80	55	65
Coupler (standard)	length	[mm]	170	200	210	245	270	110	160
	outside diameter	[mm]	50	60	68	70	83	60	68
Square solid plate	width	[mm]	150	180	200	220	260	-	-
	length	[mm]	150	180	200	220	260	-	-
	thickness	[mm]	35	40	45	45	50	-	-
Rectangular solid plate (unbonded and bonded)	width	[mm]	130	140	150	160	-	140	150
	length	[mm]	150	180	220	250	-	180	220
	thickness	[mm]	35	40	50	60	-	40	50
QR-plate	width	[mm]	120	140	160	180	-	-	-
	length	[mm]	130	165	180	195	-	-	-
	thickness	[mm]	30	35	40	45	-	-	-
Corrugated duct	internal diameter	[mm]	38	44	51	55	65	44	51
	outside diameter	[mm]	43	49	56	60	70	49	56
Minimum bar protrusion		[mm]	80	90	100	115	125	50	65
Rectangular solid plate (bonded)	width	[mm]	120	140	160	180	-	-	-
	length	[mm]	130	165	180	195	-	-	-
	thickness	[mm]	30	35	40	45	-	-	-

## Overview of tensioning jacks for prestressing Tendons

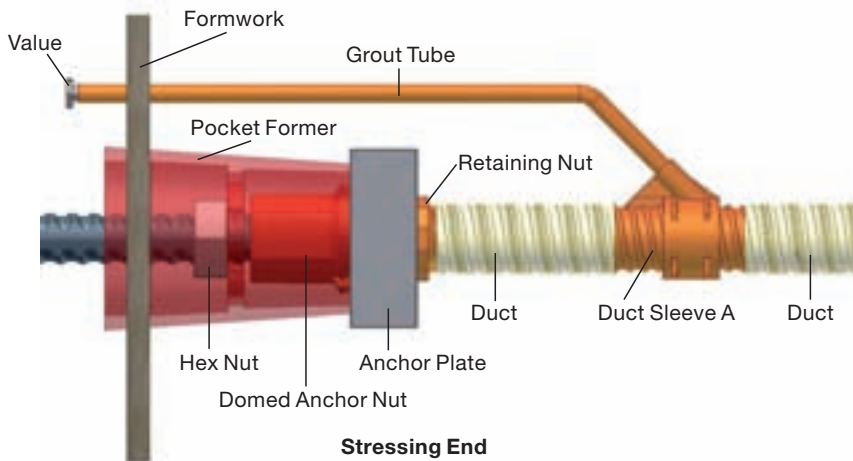
Bar designation	Threadbar					Plain bar	
	26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR	32 WS	36 WS
60 Mp	x	x <sup>1</sup>				x <sup>1</sup>	
110 Mp	x	x	x	x		x	x
200 Mp					x		

1 stressing force limited to 625 kN max.



## Installation

DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL offers a full line of special installation accessories to facilitate field assembly and installation. Installation shall be carried out by properly trained and experienced personnel. Tendons can be delivered to the jobsite prefabricated when desired (e.g. unbonded bar tendon), too.



In the area of anchorage adequate space shall be accomplished through a pocket former assembled at the formwork before concreting in order to put on the jack and for the grout cap.



Woodrow Wilson Bridge, Washington, D.C., USA



Jeju Port Extension, South Korea

## Stressing and grouting

The small, light and conveniently operated DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL jacks facilitate the stressing operation. Heavy lifting aids are generally not necessary. The jack is

pushed over a pull rod coupler that is threaded onto the bar protrusion behind the domed anchor nut. The jack is then fixed with a pulling nut. The tension load is hydraulically transferred. The domed

anchor nut is tightened by an internal wrench. The bar 47 WR has a specially equipped stressing jack.

### Stressing notes

Straight tendons are generally stressed from one end only. In order to reduce friction losses (especially in draped tendons) it is recommended to stress from both sides.

The prestressing load can be adjusted up and down at any given time until the tendon is fully grouted by simply reinstalling the jack. This allows partial stressing. Several controls during and after the stressing operation check the effective stressing load:

- bar protrusion at the anchorage before and after stressing to evaluate the effective elongation
- counter control for elongation during stressing operation
- gauge control for hydraulic pressure



To comply with exceptional high demands on accuracy for example on very short tendons special accessories can be applied to minimize the influence of alignment tolerances.



### Grouting

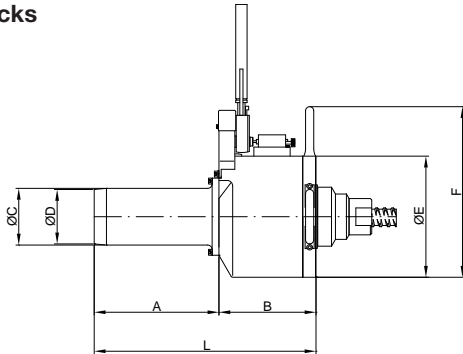
The durability of bonded post-tensioned construction depends to a great degree on the success of the grouting operation. The hardened cement grout provides bond between concrete and tensile elements as well as primary long term corrosion protection (alkaline medium) for the prestressing steel.

DYWIDAG SYSTEMS INTERNATIONAL has developed a grouting operation that is based on highly plasticized grout with thixotropic properties, and utilizes durable grouting equipment. Advanced methods such as pressure grouting, post-grouting and vacuum grouting are all results of many years of development.

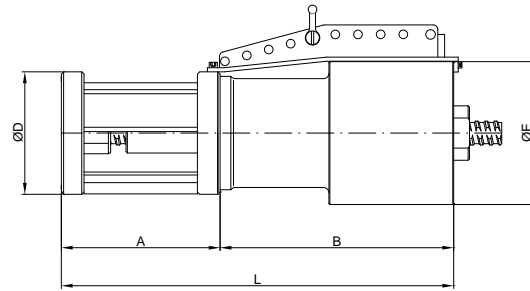
Grouting is always done from a low-point of the tendon. This can be one of the anchorages with a grout cap with grout inlet or along the tendon utilizing an intermediate grout saddle. All grouting components are threaded for easy, fast and proper connection.

# Equipment for stressing and grouting

## Tensioning jacks



Tensioning jack 110 Mp/60 Mp



Tensioning jack HOZ 200 Mp

### Dimensions (for Block-Out design)

Tensioning jacks	L	Ø E	stroke	piston area Ak	capacity	max. piston pressure	weight	A	B	Ø C	Ø D	F
	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[kN]	[bar]	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
60 Mp Series 04	401	190	50	132.5	625	50	36	225	176	<sup>3)</sup>	<sup>3)</sup>	300
60 Mp Series 05	456	190	100	132.5	625	50	44	225	231	<sup>3)</sup>	<sup>3)</sup>	300
110 Mp Series 01	494	267	50	235.6	1100	50	46	275	219	<sup>4)</sup>	<sup>4)</sup>	375
110 Mp Series 03	594	267	150	235.6	1100	50	54	275	319	<sup>4)</sup>	<sup>4)</sup>	375
200 Mp	865	315	150	361.3	2000	60	172	350	515	-	270	-

	Ø C	Ø D	for type of bar
	[mm]	[mm]	
3)	105	106	26 WR, 32 WS
	135	114	32 WR
4)	122	106	26 WR
	125	110	32 WS
	125	120	32 WR, 36 WR/WS
	134	134	40 WR



Pump Type 77-193 A



Pump Type R 6.4

## Hydraulic pumps

### Hydraulic pumps Tensioning jacks

	60 Mp	110 Mp	200 Mp
77-193 A	■	■	
R 3.0 V	■	■	
R 6.4	■	■	■

Pump type	max. operating pressure	oil flow rate	usable oil capacity	weight with oil <sup>1)</sup>	dimensions L x W x H
	[bar]	[l/min]	[l]	[kg]	[mm]
77-193 A	600	3.0	10	63	420x380x480
R 3.0 V	600	3.0	13	98	600x390x750
R 6.4	600	6.4	70	310	1400x700x1100

1) hydraulic pumps will be supplied without oil

## Grouting equipment (mixing and pumping)

Grouting equipment	max. injection pressure	capacity	weight	dimensions L x W x H
	[bar]	[l/h]	[kg]	[mm]
MP 2000-5	15	420	300	2000x950x1600



Mixer MP 2000-5

## HQ Construction Europe

DYWIDAG-SYSTEMS  
INTERNATIONAL GMBH  
Siemensstrasse 8  
85716 Unterschleissheim  
Germany  
Phone +49-89-30 90 50-100  
Fax +49-89-30 90 50-120  
E-mail: [dsihv@dywidag-systems.com](mailto:dsihv@dywidag-systems.com)  
[www.dywidag-systems.com](http://www.dywidag-systems.com)

### Austria

DYWIDAG-SYSTEMS  
INTERNATIONAL GMBH  
Niederlassung Salzburg  
Christophorusstrasse 12  
5061 Elsbethen/Salzburg, Austria  
Phone +43-662-62 57 97 0  
Fax +43-662-62 86 72  
E-mail: [dsi-a@dywidag.co.at](mailto:dsi-a@dywidag.co.at)  
[www.dywidag-systems.at](http://www.dywidag-systems.at)

### Belgium and Luxembourg

DYWIDAG-SYSTEMS  
INTERNATIONAL N.V.  
Industrieweg 25  
3190 Boortmeerbeek, Belgium  
Phone +32-16-60 77 60  
Fax +32-16-60 77 66  
E-mail: [info@dywidag.be](mailto:info@dywidag.be)

### France

DSI-Artéon  
Avenue du Bicentenaire  
ZI Dagneux-BP 50053  
01122 Montluel Cedex  
France  
Phone +33-4-78 79 27 82  
Fax +33-4-78 79 01 56  
E-mail: [dsi.france@dywidag.fr](mailto:dsi.france@dywidag.fr)  
[www.dywidag.fr](http://www.dywidag.fr)

### Germany

SUSPA-DSI GmbH  
Max-Planck-Ring 1  
40764 Langenfeld, Germany  
Phone +49 2173 79 02 0  
Fax +49 2173 79 02 20  
E-mail: [info@suspa-dsi.de](mailto:info@suspa-dsi.de)  
[www.suspa-dsi.de](http://www.suspa-dsi.de)

SUSPA-DSI GmbH  
Germanenstrasse 8  
86343 Koenigsbrunn, Germany  
Phone +49 8231 96 07 0  
Fax +49 8231 96 07 43  
E-mail: [info@suspa-dsi.de](mailto:info@suspa-dsi.de)  
[www.suspa-dsi.de](http://www.suspa-dsi.de)

SUSPA-DSI GmbH  
Schuetzenstrasse 20  
14641 Nauen, Germany  
Phone +49 3321 44 18 0  
Fax +49 3321 44 18 38  
E-mail: [info@suspa-dsi.de](mailto:info@suspa-dsi.de)  
[www.suspa-dsi.de](http://www.suspa-dsi.de)

### Please note:

This brochure serves basic information purposes only. Technical data and information provided herein shall be considered non-binding and may be subject to change without notice. We do not assume any liability for losses or damages attributed to the use of this technical data and any improper use of our products. Should you require further information on particular products, please do not hesitate to contact us.

### Italy

DYWIT S.P.A.  
Via Grandi, 68  
20017 Mazzo di Rho (Milano)  
Phone +39-02-93 46 87 1  
Fax +39-02-93 46 87 301  
E-mail: [info@dywit.it](mailto:info@dywit.it)

### Netherlands

DYWIDAG-SYSTEMS  
INTERNATIONAL B.V.  
Veilingweg 2  
5301 KM Zaltbommel  
Netherlands  
Phone +31-418-57 89 22  
Fax +31-418-51 30 12  
E-mail: [email@dsi-nl.nl](mailto:email@dsi-nl.nl)  
[www.dsi-nl.nl](http://www.dsi-nl.nl)

### Norway

DYWIDAG-SYSTEMS  
INTERNATIONAL A/S  
Industrieveien 7A  
1483 Skytta, Norway  
Phone +47-67-06 15 60  
Fax +47-67-06 15 59  
E-mail: [manager@dsi-dywidag.no](mailto:manager@dsi-dywidag.no)

### Spain

DYWIDAG SISTEMAS  
CONSTRUCTIVOS, S.A.  
Avenida de la Industria, 4  
Pol. Ind. La Cantuena  
28947 Fuenlabrada (MADRID), Spain  
Phone +34-91-642 20 72  
Fax +34-91-642 27 10  
E-mail: [dywidag@dywidag-sistemas.com](mailto:dywidag@dywidag-sistemas.com)  
[www.dywidag-sistemas.com](http://www.dywidag-sistemas.com)

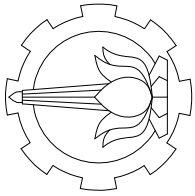
### Switzerland

SpannStahl AG  
Industriegebiet  
Waesserstrasse 29  
8340 Hinwil/ZH, Switzerland  
Phone +41-44-938 97 97  
Fax +41-44-938 97 90  
E-mail: [info@spannstahl.ch](mailto:info@spannstahl.ch)  
[www.spannstahl.ch](http://www.spannstahl.ch)

### United Kingdom

DYWIDAG-SYSTEMS  
INTERNATIONAL LTD.  
Northfield Road  
Southam, Warwickshire  
CV47 OFG, Great Britain  
Phone +44-1926-81 39 80  
Fax +44-1926-81 38 17  
E-mail: [sales@dywidag.co.uk](mailto:sales@dywidag.co.uk)  
[www.dywidag-systems.com/uk](http://www.dywidag-systems.com/uk)

ARGENTINA  
AUSTRALIA  
AUSTRIA  
BELGIUM  
BOSNIA AND HERZEGOVINA  
BRAZIL  
CANADA  
CHILE  
CHINA  
COLOMBIA  
COSTA RICA  
CROATIA  
CZECH REPUBLIC  
DENMARK  
EGYPT  
ESTONIA  
FINLAND  
FRANCE  
GERMANY  
GREECE  
GUATEMALA  
HONDURAS  
HONG KONG  
INDONESIA  
IRAN  
ITALY  
JAPAN  
KOREA  
LEBANON  
LUXEMBOURG  
MALAYSIA  
MEXICO  
NETHERLANDS  
NORWAY  
OMAN  
PANAMA  
PARAGUAY  
PERU  
POLAND  
PORTUGAL  
QATAR  
RUSSIA  
SAUDI ARABIA  
SINGAPORE  
SOUTH AFRICA  
SPAIN  
SWEDEN  
SWITZERLAND  
TAIWAN  
THAILAND  
TURKEY  
UNITED ARAB EMIRATES  
UNITED KINGDOM  
URUGUAY  
USA  
VENEZUELA



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

SKALA

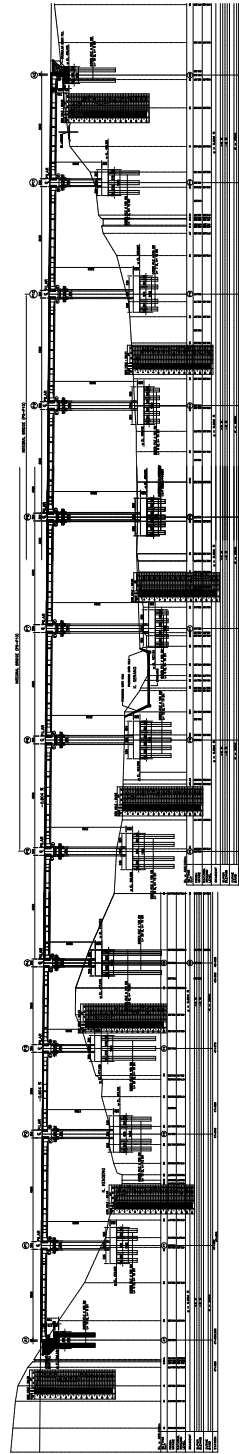
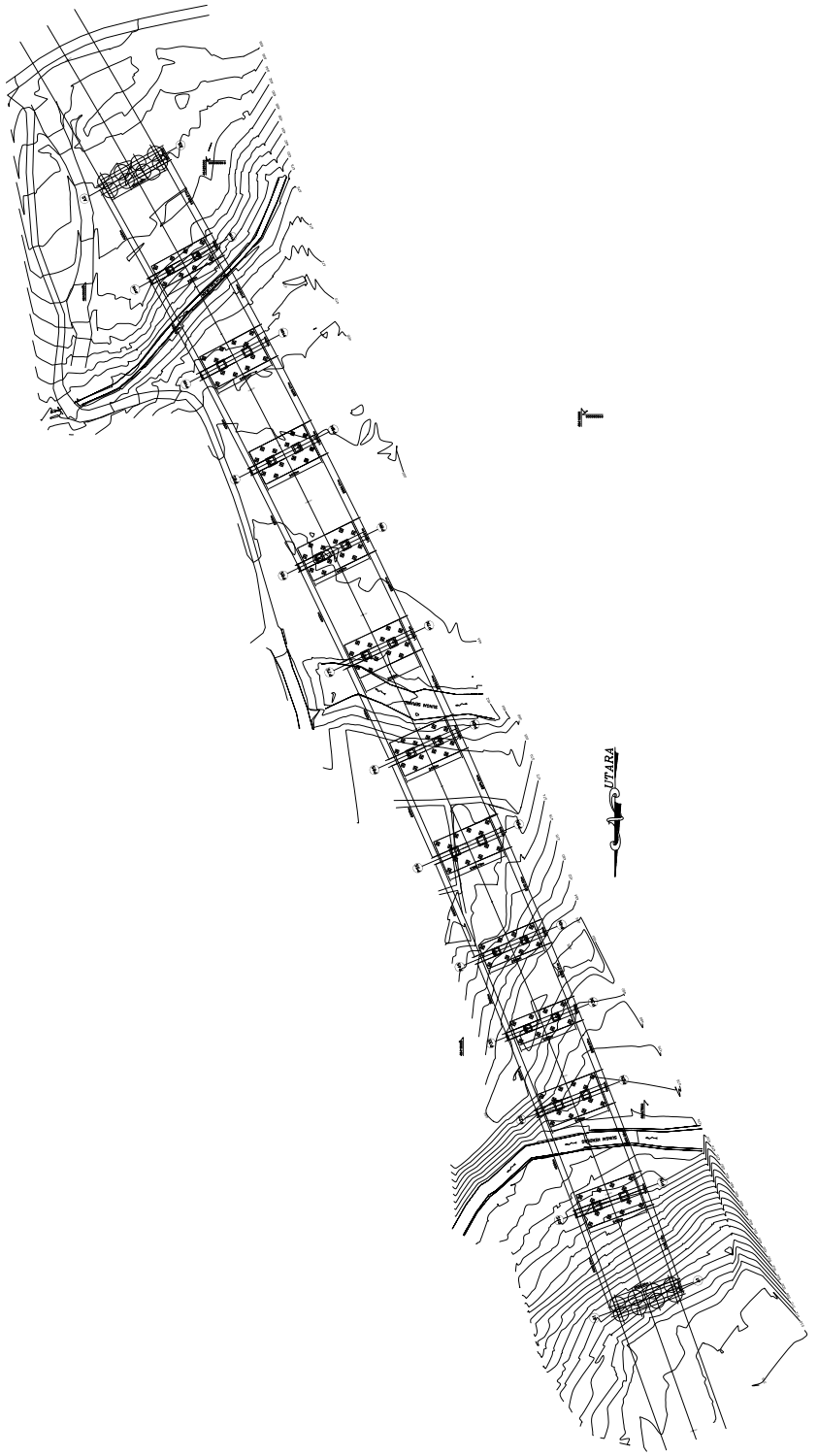
1. PETA LOKASI  
JEMBATAN KALI  
KENDENG

1 : 500

CATATAN

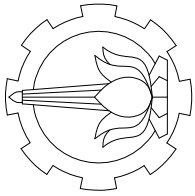
KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
LE1	01	23



PETA LOKASI JEMBATAN KALI KENDENG  
SKALA 1 : 500





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

SKALA

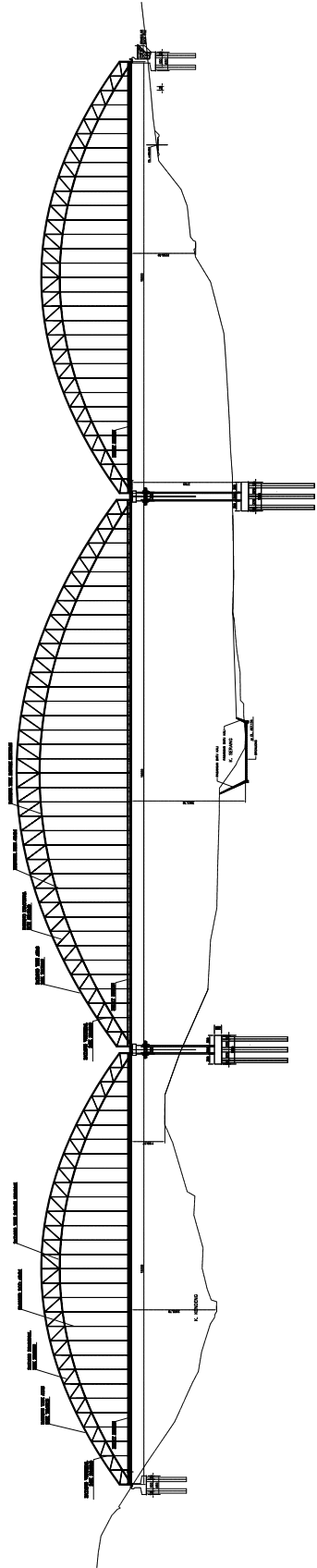
1 : 60

1. TAMPAK SAMPING  
JEMBATAN

CATATAN

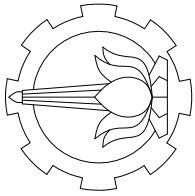
KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
SVD1	02	23



 TAMPAK SAMPING JEMBATAN  
SKALA 1 : 60





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIJA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

1.TAMPAK SAMPING  
JEMBATAN BENTANG  
150 M

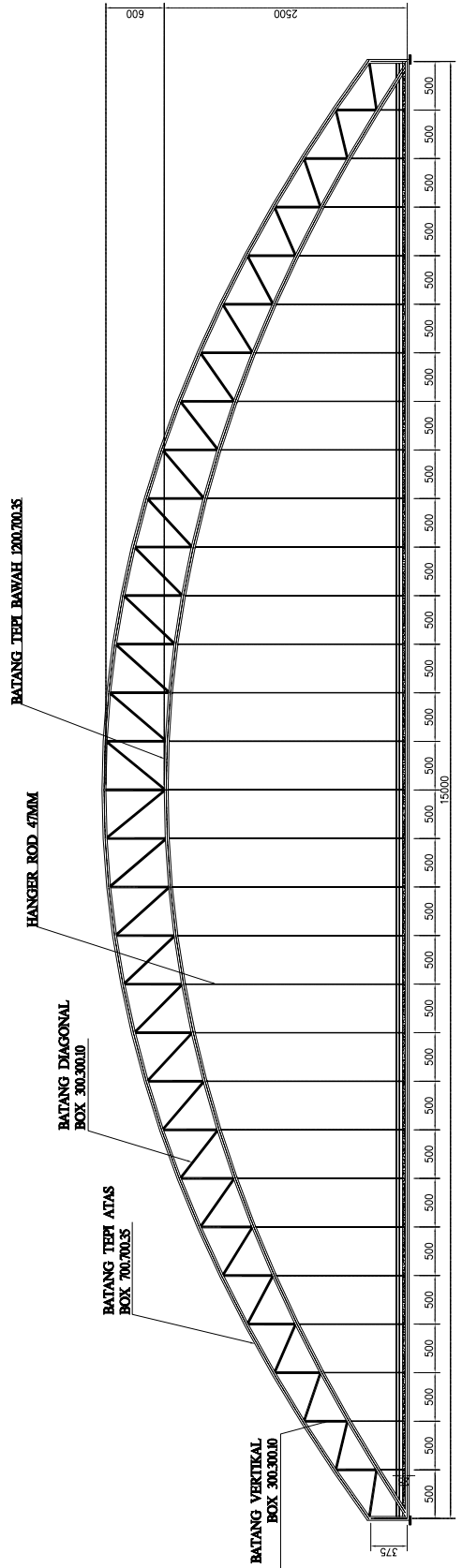
SKALA  
1 : 200

CATATAN

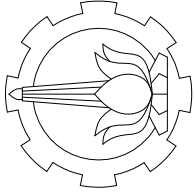
KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
SV/501	03	23

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦
- ⑧
- ⑨
- ⑩
- ⑪
- ⑫
- ⑬
- ⑭
- ⑮
- ⑯
- ⑰
- ⑱
- ⑲
- ⑳
- ㉑
- ㉒
- ㉓
- ㉔
- ㉕
- ㉖
- ㉗
- ㉘
- ㉙
- ㉚
- ㉛
- ㉜
- ㉝
- ㉞
- ㉟
- ㊱
- ㊲
- ㊳
- ㊴
- ㊵
- ㊶
- ㊷
- ㊸
- ㊹
- ㊺
- ㊻
- ㊼
- ㊽
- ㊾
- ㊿



TAMPAK SAMPING JEMBATAN (BENTANG 150 M)  
SKALA 1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

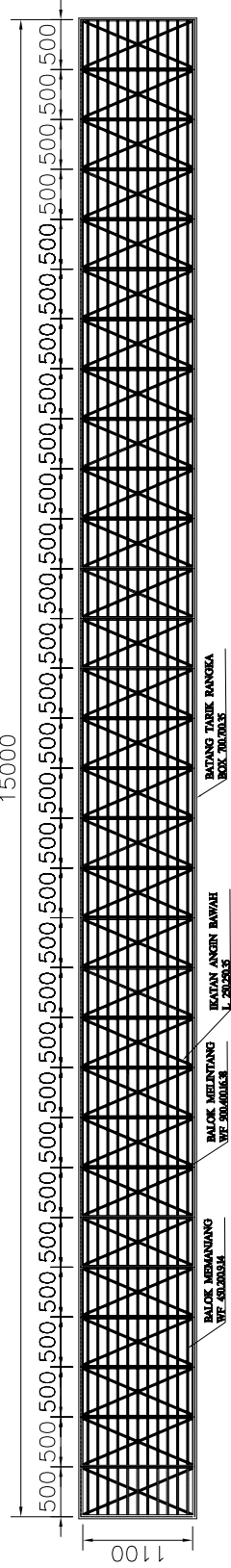
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DENAH IKATAN ANGIN BAWAH (BENTANG 150 M)	1 : 200
2. DENAH LANTAI JEMBATAN (BENTANG 150 M)	1 : 200

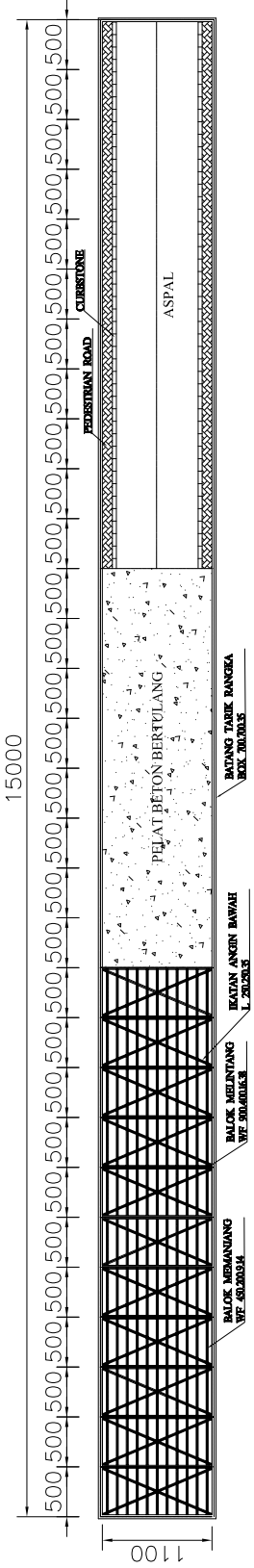
CATATAN

KETERANGAN

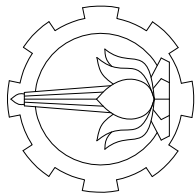
KODE	LEMBAR	JUMLAH
IL.150	04	23



DENAH IKATAN ANGIN LANTAI (BENTANG 150 M)  
SKALA 1 : 200



DENAH LANTAI JEMBATAN (BENTANG 150 M)  
SKALA 1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

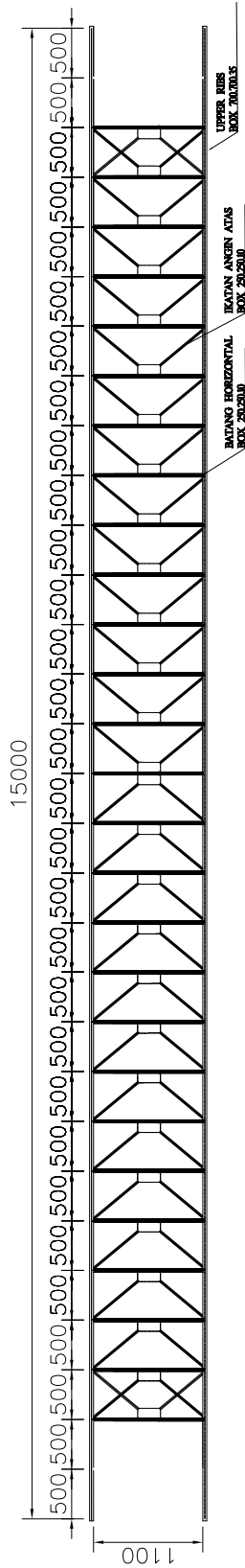
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DENAH IKATAN ANGIN BUSUR ATAS (BENTANG 150 M)	1 : 200
2. DENAH IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH (BENTANG 150 M)	1 : 200

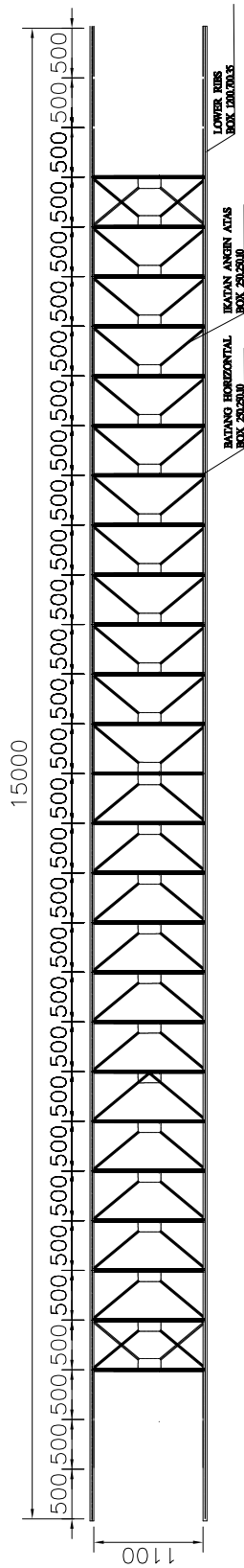
CATATAN

KETERANGAN

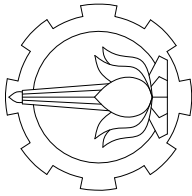
KODE	LEMBAR	JUMLAH
IB150	05	23



DENAH IKATAN ANGIN BUSUR ATAS (BENTANG 150 M)  
SKALA 1 : 200



DENAH IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH (BENTANG 150 M)  
SKALA 1 : 200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

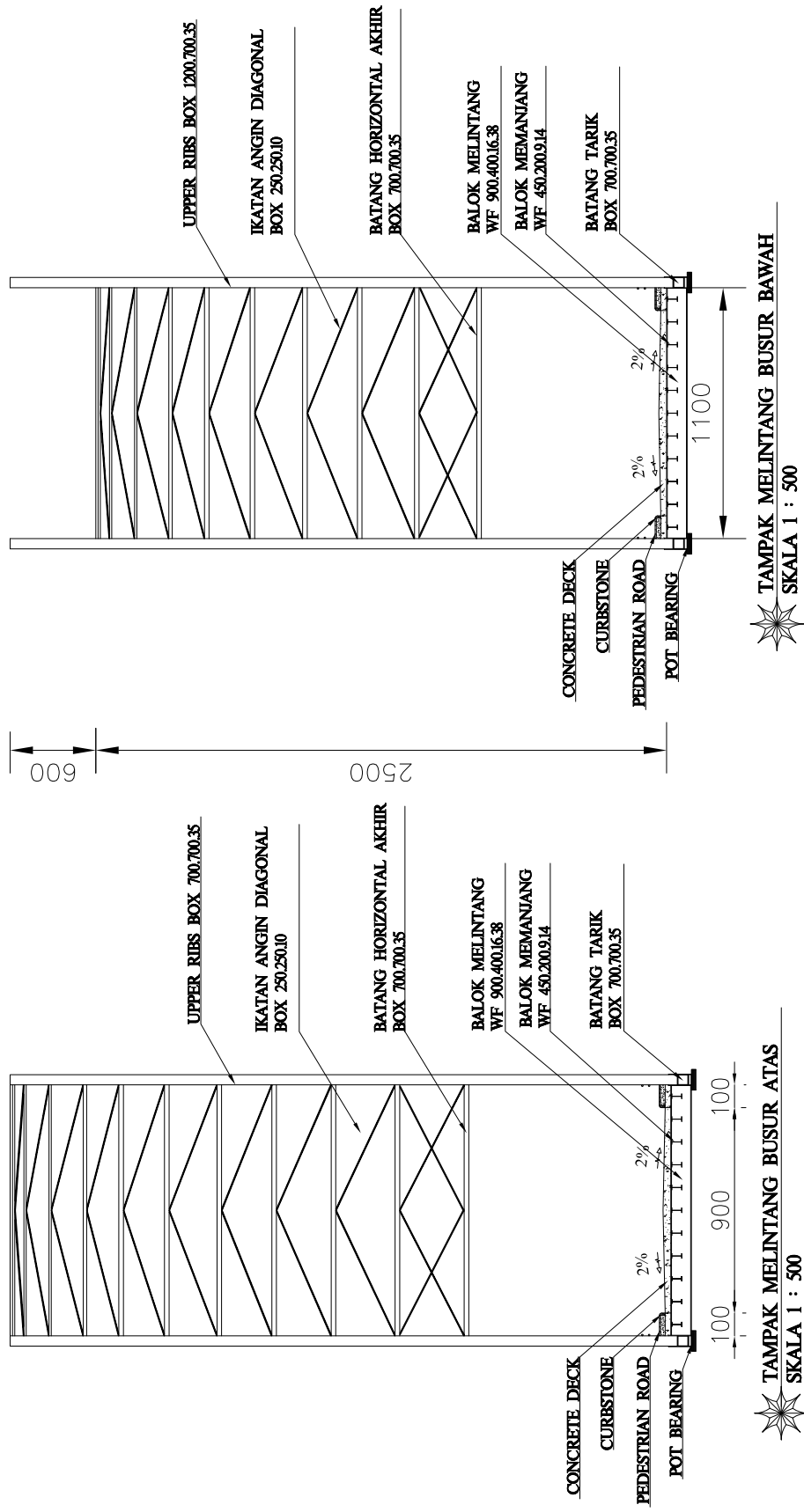
LINTAS JALUR 2017

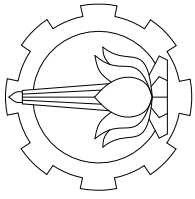
JUDUL GAMBAR	SKALA
1. TAMPAK MELINTANG BUSUR BAWAH BENTANG 150 M	1 : 500
2. TAMPAK MELINTANG BUSUR ATAS BENTANG 150 M	1 : 500

CATATAN

KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
SV/502	06	23





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

SKALA

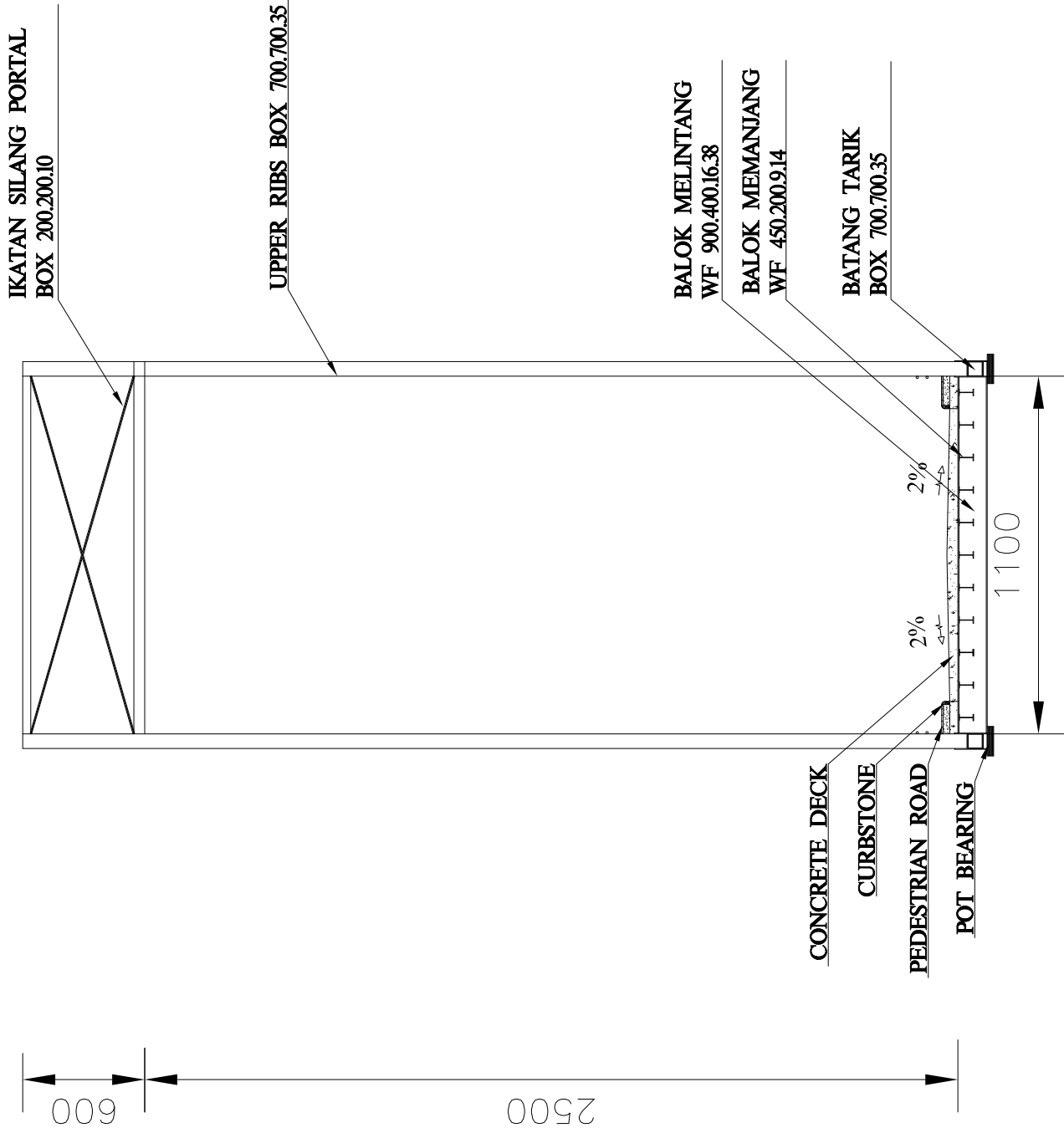
1. POT. MELINTANG  
PORTAL AS-16

1 : 750

CATATAN

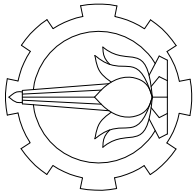
KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
PL150	07	23



POTONGAN MELINTANG IKATAN PORTAL AS-16  
SKALA 1 : 750





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIJA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

1. TAMPAK SAMPING  
JEMBATAN BENTANG  
190 M

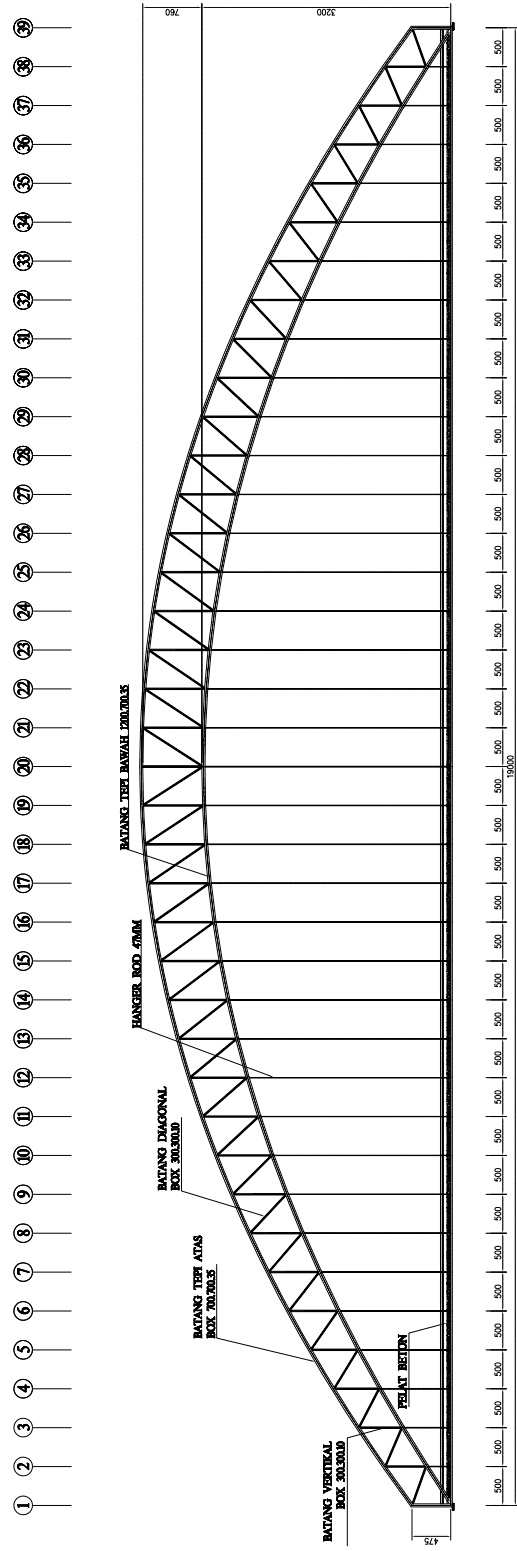
SKALA

1 : 150

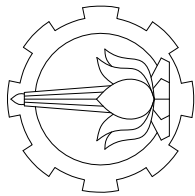
CATATAN

KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
SV1901	08	23



TAMPAK SAMPING JEMBATAN (BENTANG 190 M)  
SKALA 1 : 150



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

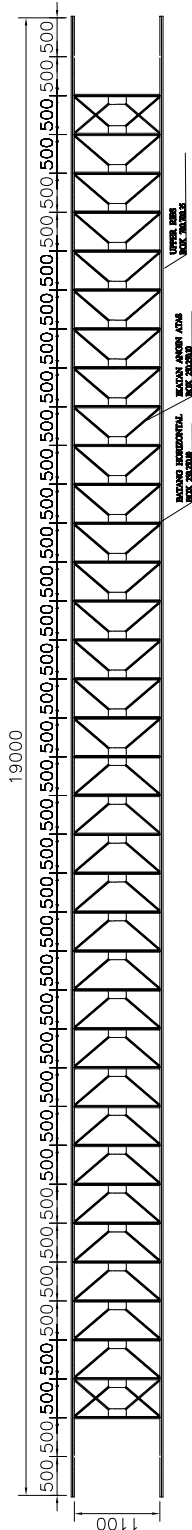
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DENAH IKATAN ANGIN BUSUR ATAS (BENTANG 190 M)	1 : 150
2. DENAH IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH (BENTANG 190 M)	1 : 150

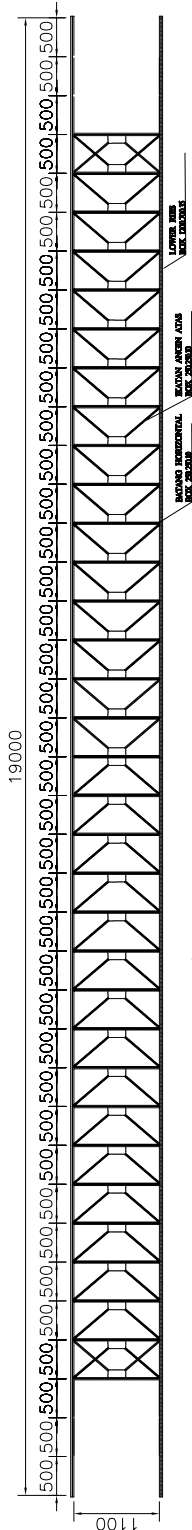
CATATAN

KETERANGAN

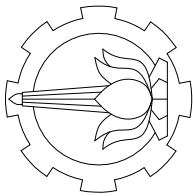
KODE	LEMBAR	JUMLAH
IB190	09	23



DENAH IKATAN ANGIN BUSUR ATAS (BENTANG 190 M)  
SKALA 1 : 150



DENAH IKATAN ANGIN BUSUR BAWAH (BENTANG 190 M)  
SKALA 1 : 150



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

SKALA

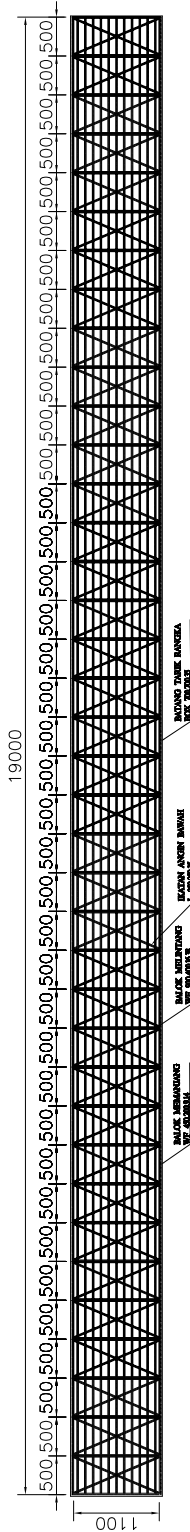
1. DENAH IKATAN  
ANGIN BAWAH  
(BENTANG 150 M)  
1 : 150

2. DENAH LANTAI  
JEMBATAN  
(BENTANG 150 M)  
1 : 150

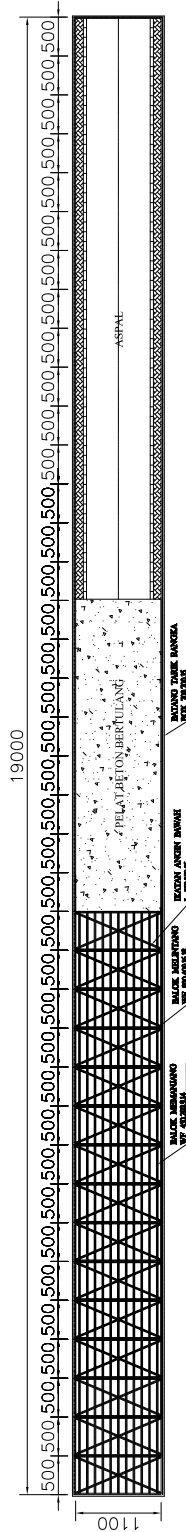
CATATAN

KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
IL.190	10	23

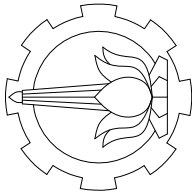


DENAH IKATAN ANGIN LANTAI (BENTANG 190 M)  
SKALA 1 : 150



DENAH LANTAI JEMBATAN (BENTANG 190 M)  
SKALA 1 : 150





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir Hidayat Soeghardjo M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

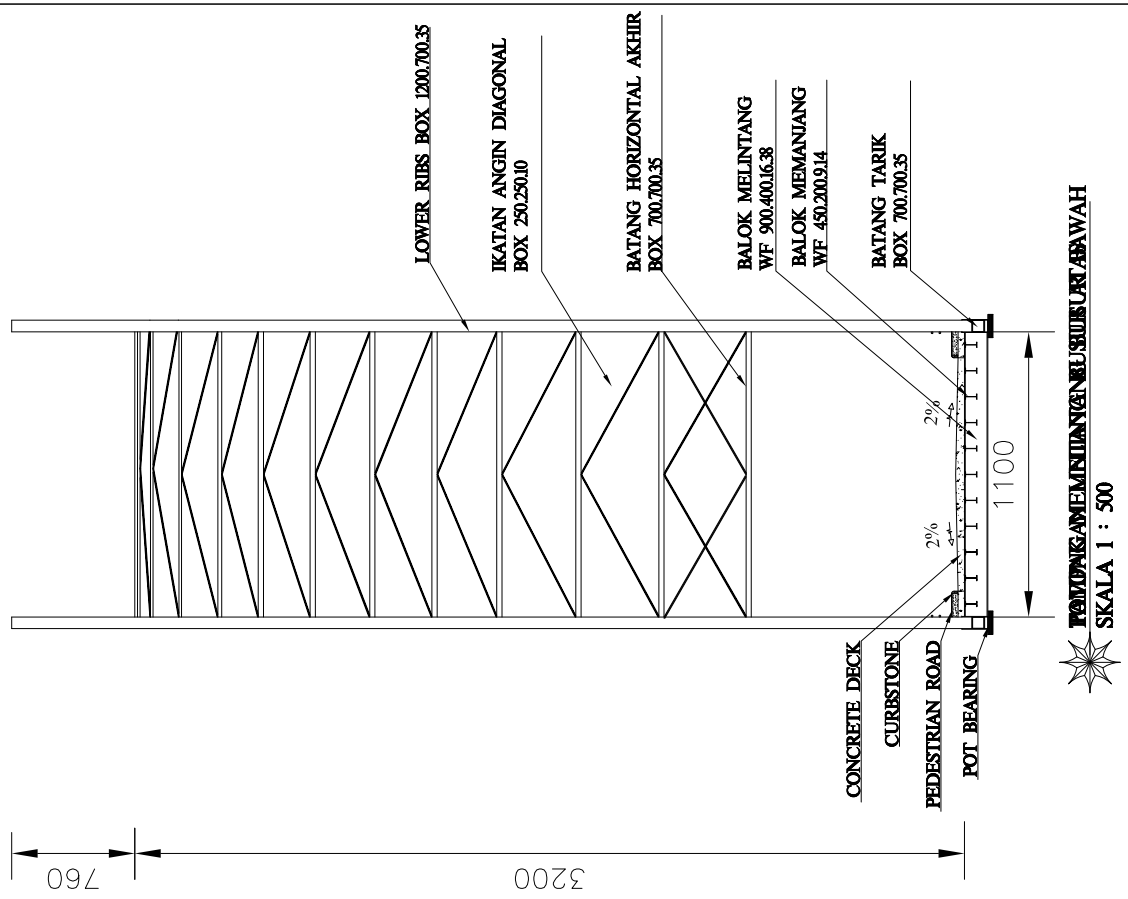
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. TAMPAK MELINTANG BUSUR BAWAH	1 : 500
2. TAMPAK MELINTANG BUSUR ATAS	1 : 500

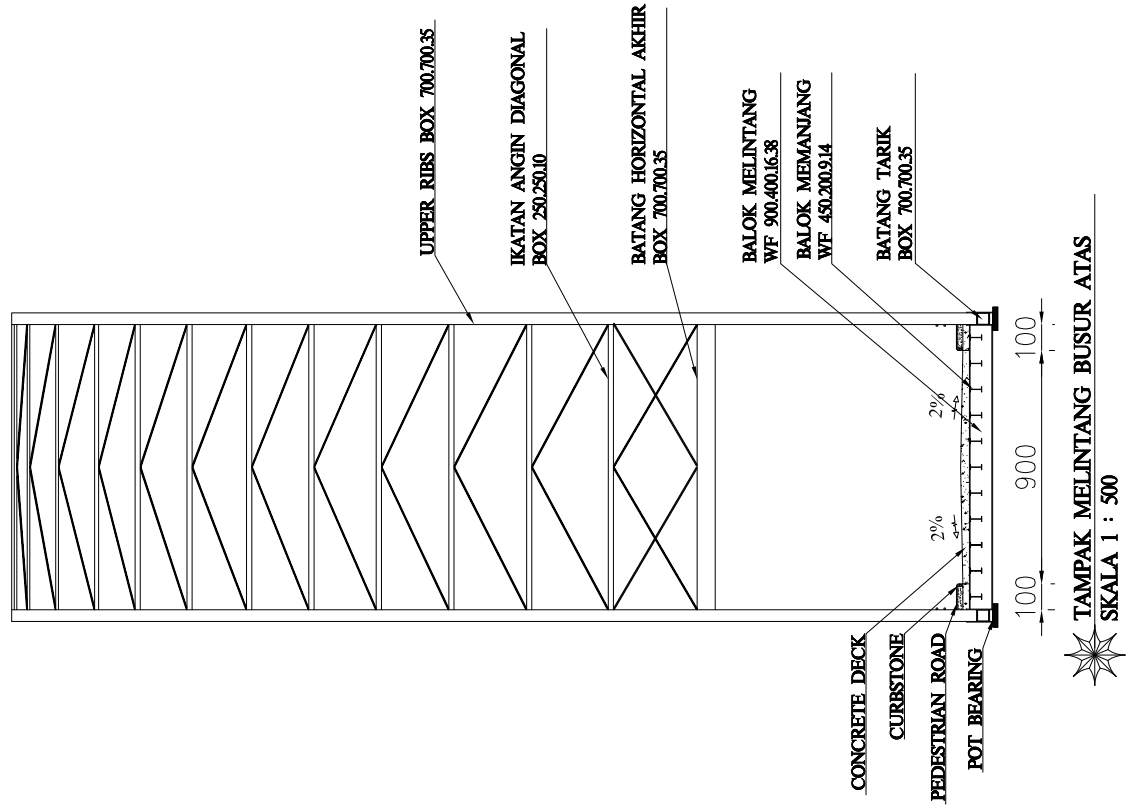
CATATAN

KETERANGAN

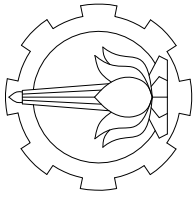
KODE	LEMBAR	JUMLAH
SV1902	11	23



TAMPAK MELINTANG BUSUR BAWAH  
SKALA 1 : 500



TAMPAK MELINTANG BUSUR ATAS  
SKALA 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI JEMBATAN  
KALI KENDENG DENGAN SISTEM  
BUSUR THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M.MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

SKALA

1. POT. MELINTANG  
PORTAL AS-20

1 : 600

CATATAN

KETERANGAN

KODE

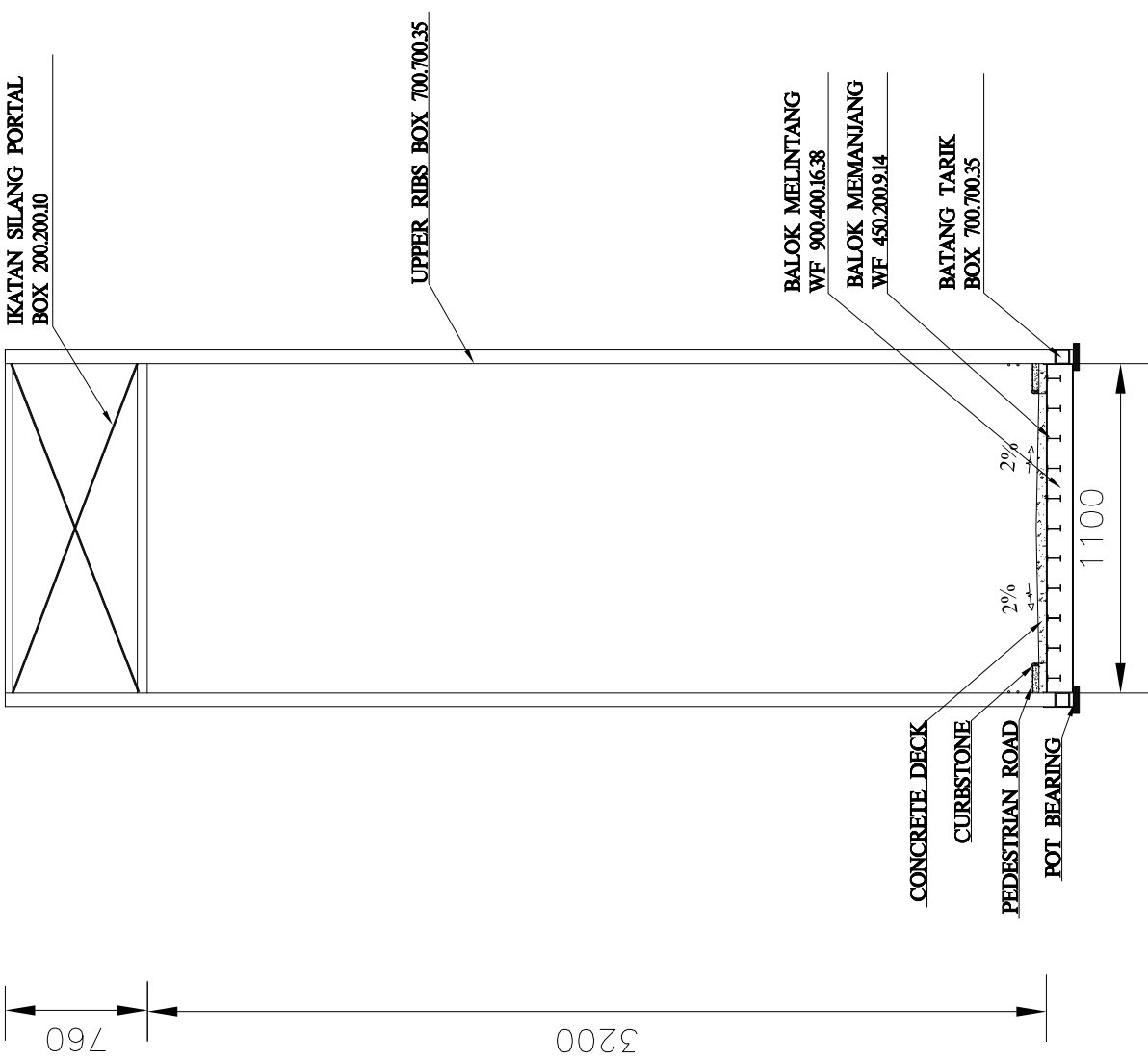
LEMBAR

JUMLAH

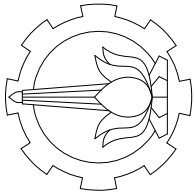
PL.190

12

23



POTONGAN MELINTANG IKATAN PORTAL AS-20  
SKALA 1 : 600



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M, MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

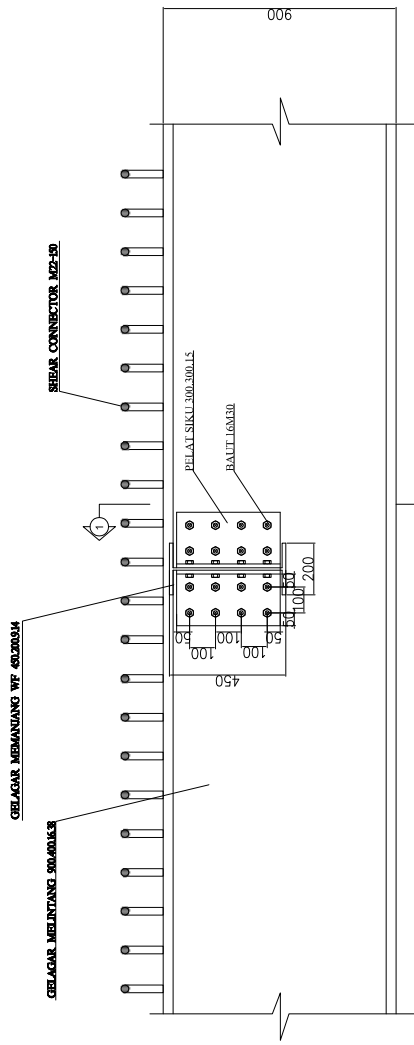
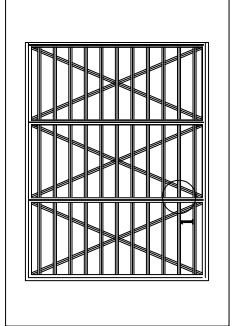
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DETAIL 1 SAMBUNGAN GELAGAR MEMANJANG DAN MELINTANG	1 : 50
2. POTONGAN 1-1	1 : 50

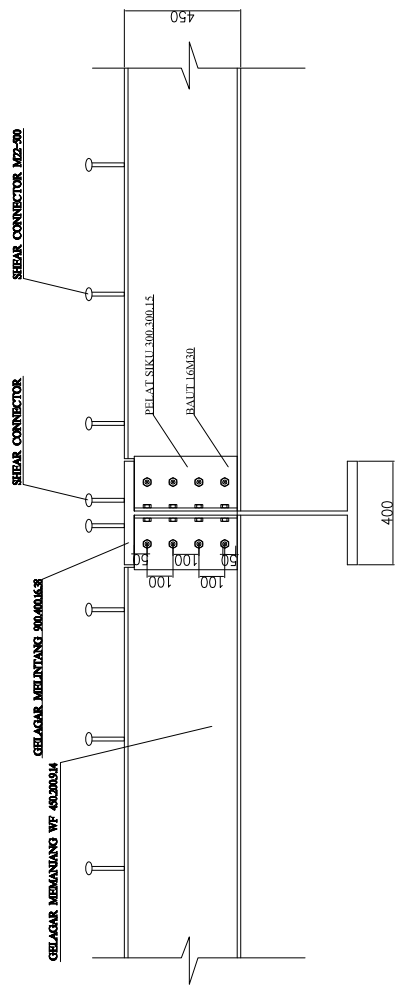
CATATAN

KETERANGAN

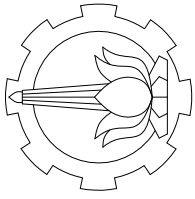
KODE	LEMBAR	JUMLAH
S1	13	23



DETAIL 1 SAMBUNGAN GELAGAR MEMANJANG DAN MELINTANG  
SKALA 1 : 50



POTONGAN 1-1  
SKALA 1 : 50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M. MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

SKALA

1 : 50

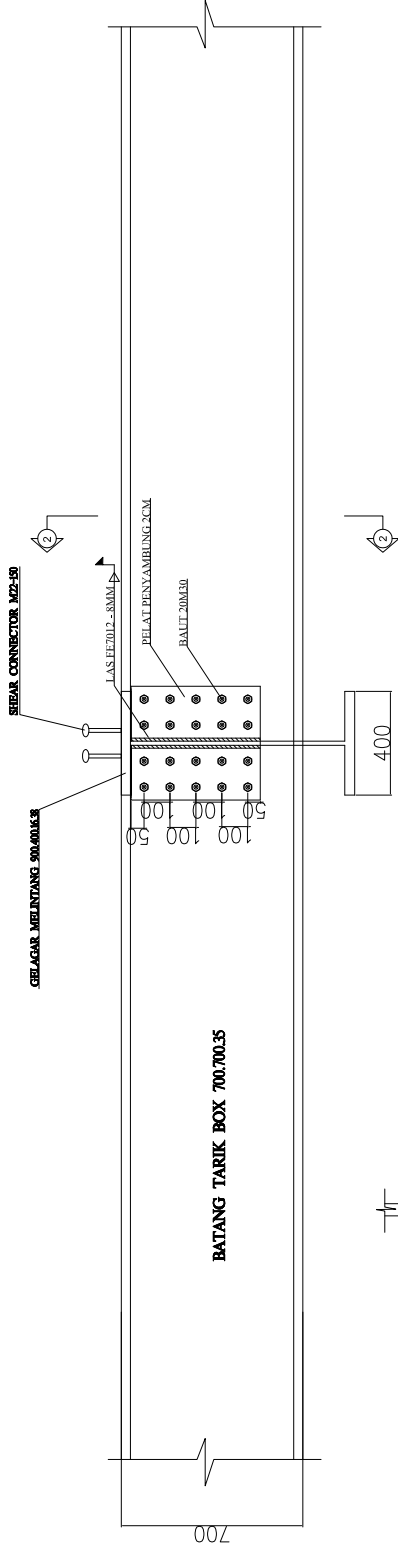
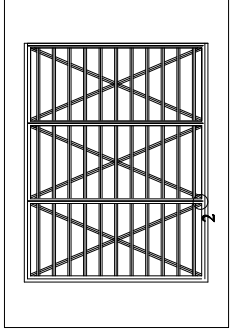
1. DETAIL  
SAMBUNGAN  
GELAGAR  
MELINTANG DAN  
TIED BEAM  
1 : 50

2. POTONGAN 2-2

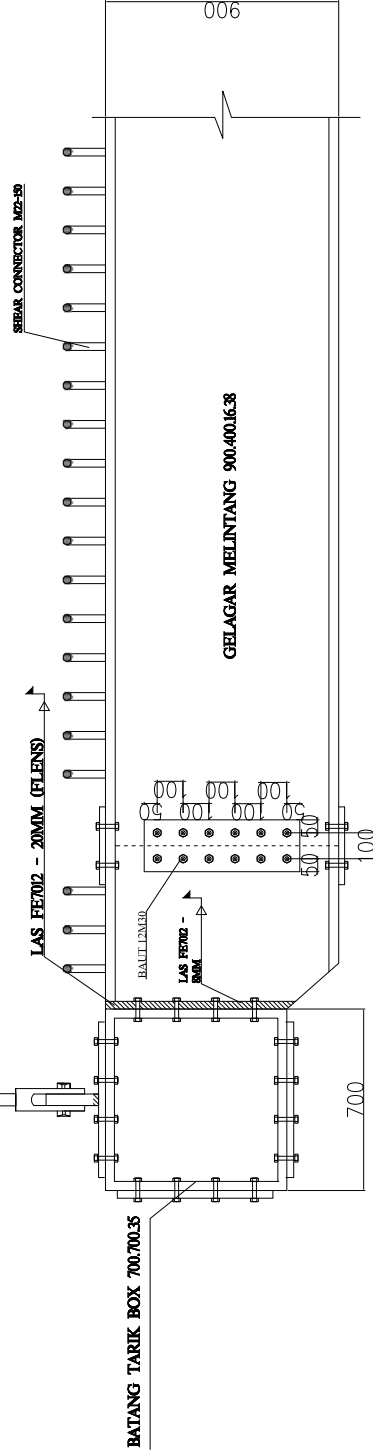
CATATAN

KETERANGAN

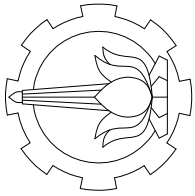
KODE	LEMBAR	JUMLAH
S2	14	23



DETAIL SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG DAN TIED BEAM  
SKALA 1 : 50



POTONGAN 2-2  
SKALA 1 : 50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M. MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

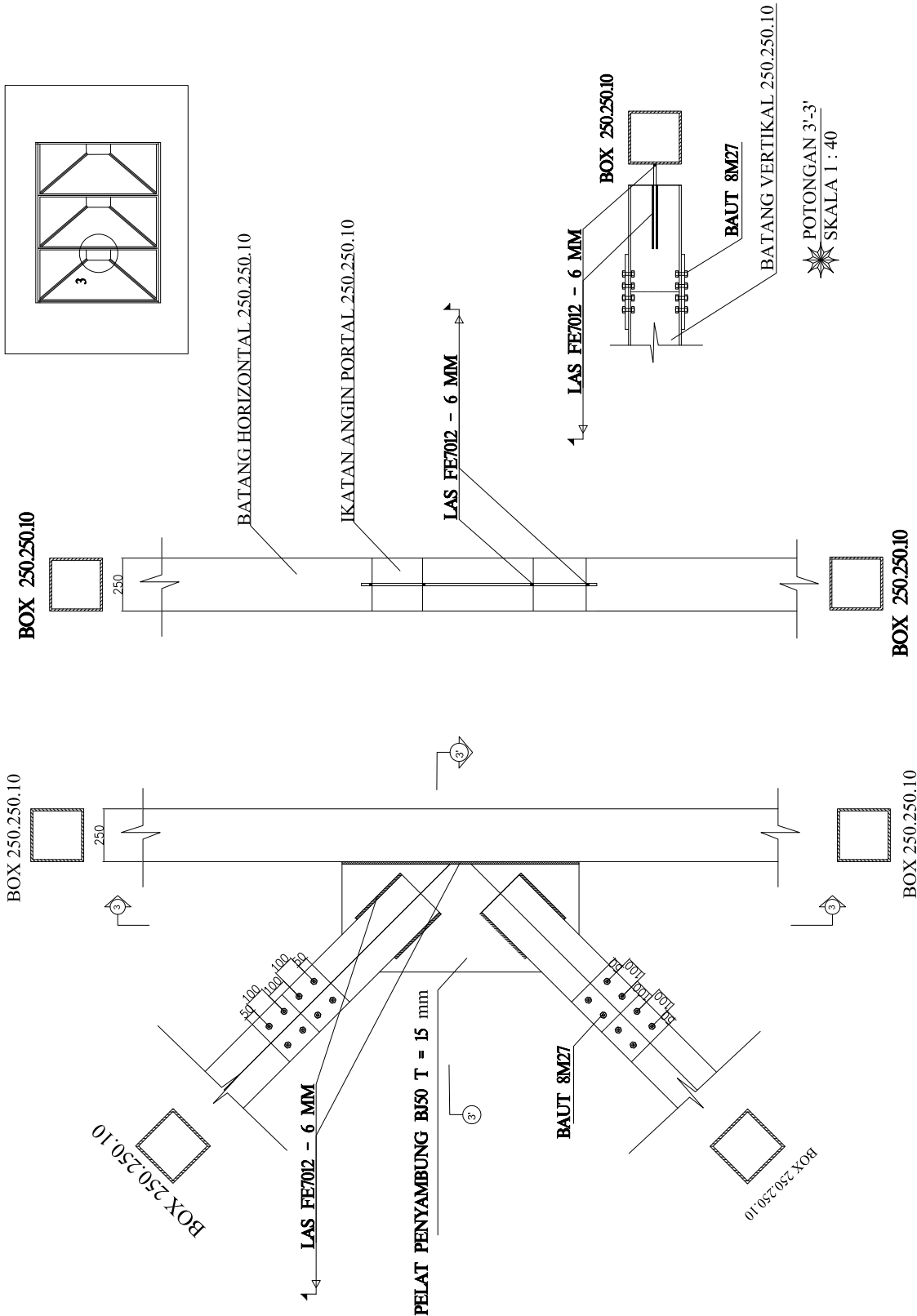
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DETAIL 3 IKATAN ANGIN BUSUR	1 : 40
2. POTONGAN 3-3	1 : 40
3. POTONGAN 4-4	1 : 40

CATATAN

KETERANGAN

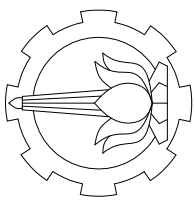
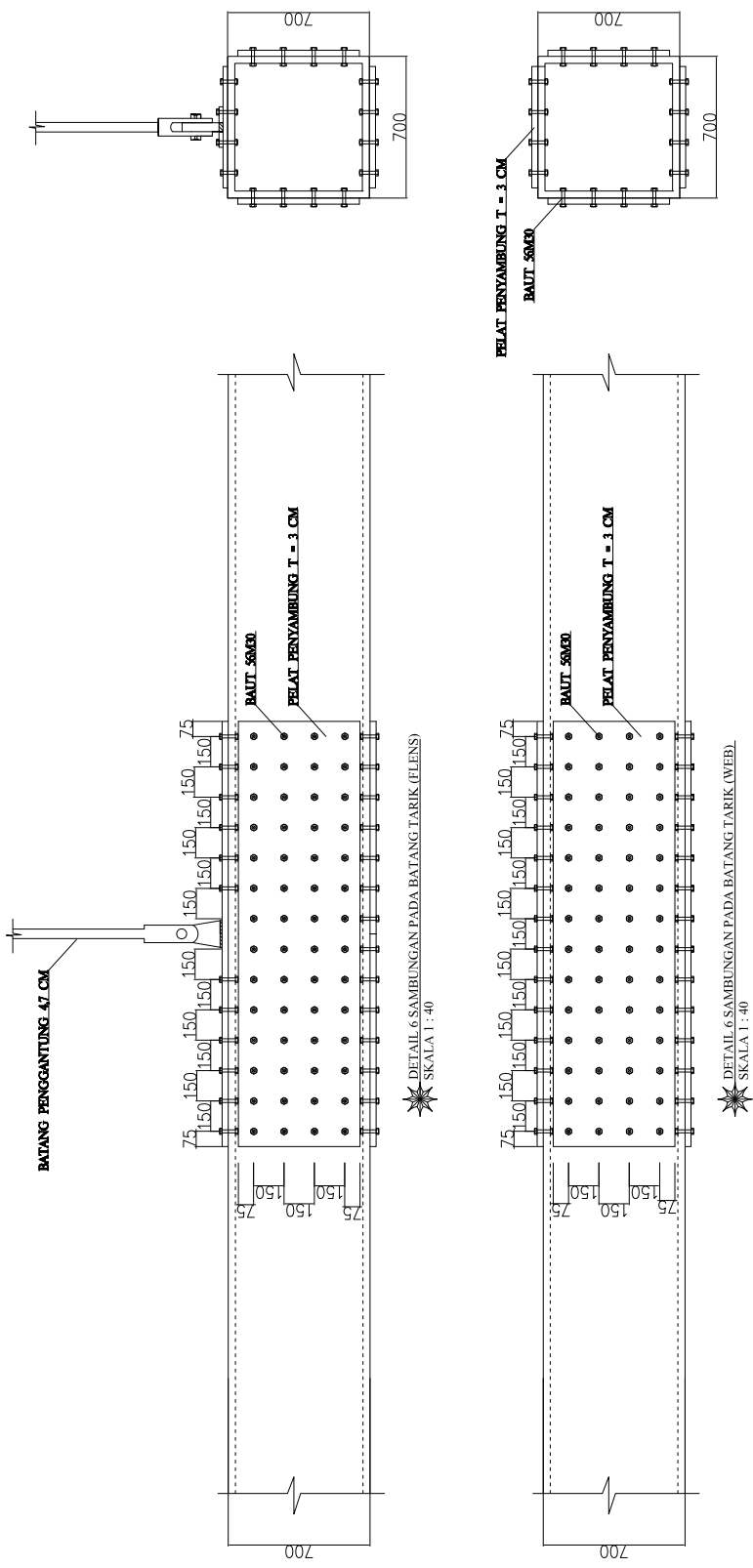
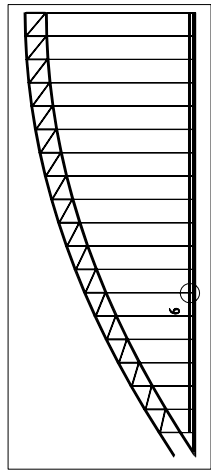
KODE	LEMBAR	JUMLAH
S3	15	23



POTONGAN 3-3  
SKALA 1 : 40

DETAIL 3 SAMBUNGAN IKATAN ANGIN BUSUR  
SKALA 1 : 40





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M. MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR

SKALA

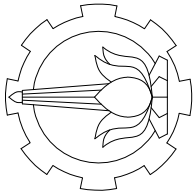
1 : 50

DETAIL 6  
SAMBUNGAN WEB &  
FLENS TIED BEAM

CATATAN

KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
S5	17	23



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST.,MT.,Ph.D  
Dr.Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M, MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

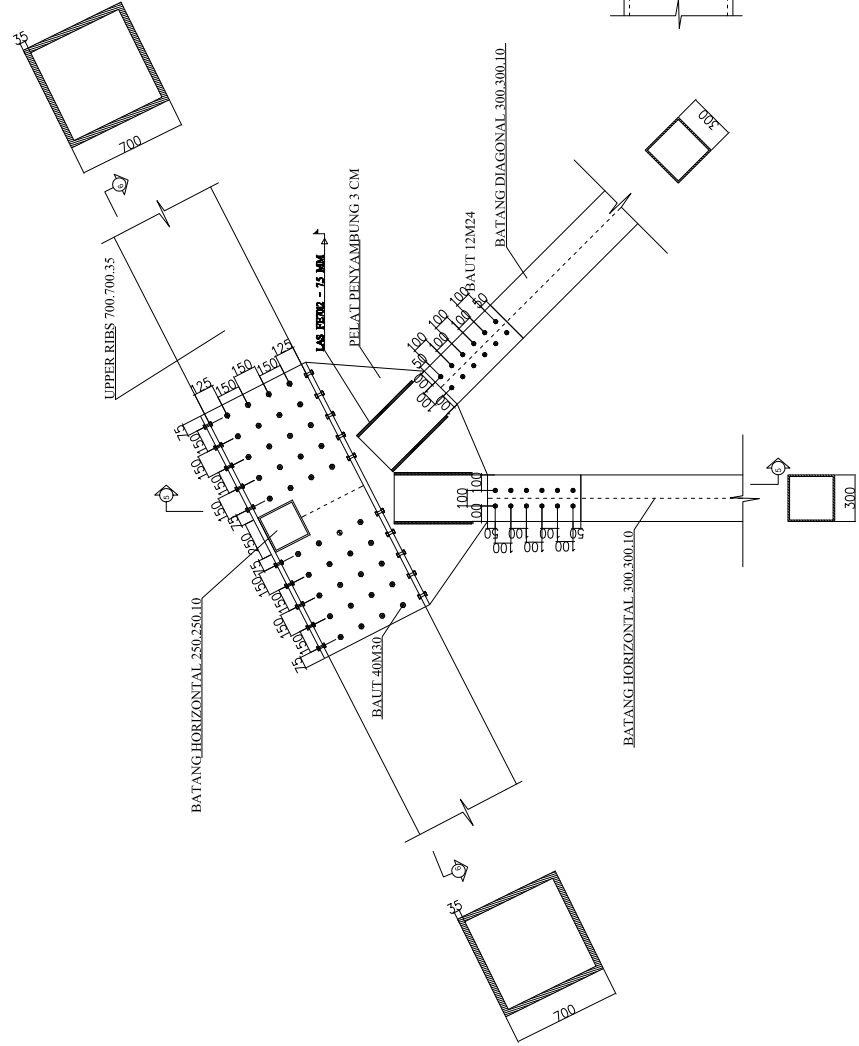
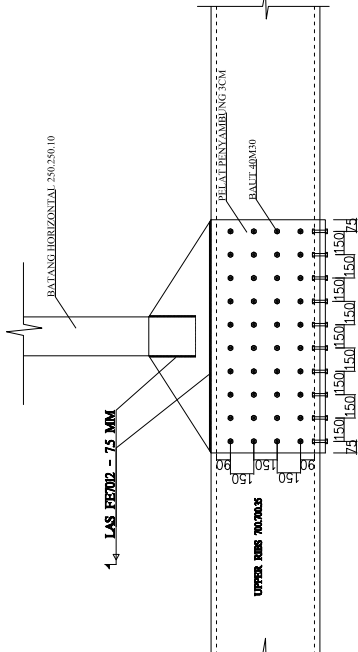
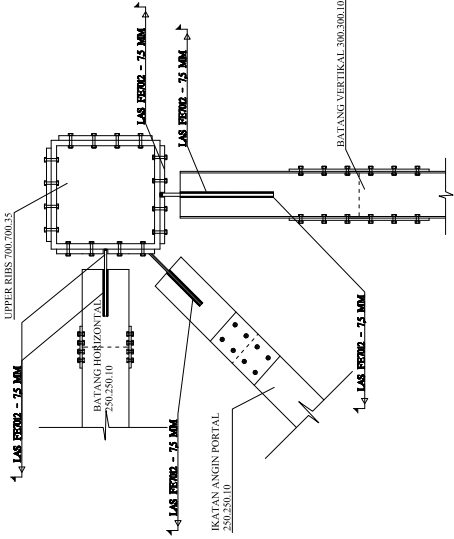
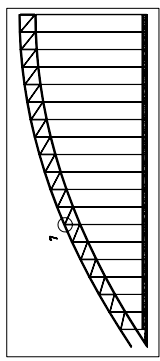
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DETAIL SAMBUNGAN 7	1 : 30
2. POTONGAN 5-5	1 : 30
3. POTONGAN 6-6	1 : 30

CATATAN

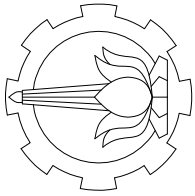
KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
S6	18	23



DETAIL SAMBUNGAN 7  
SKALA 1 : 30





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M. MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 03111745000038)

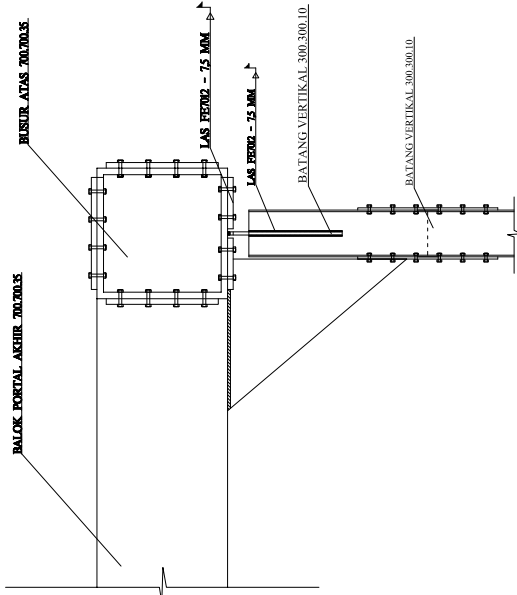
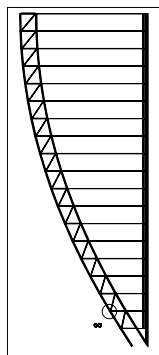
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DETAIL SAMBUNGAN 8	1 : 40
2. POTONGAN 7-7	1 : 40
3. POTONGAN 8-8	1 : 40

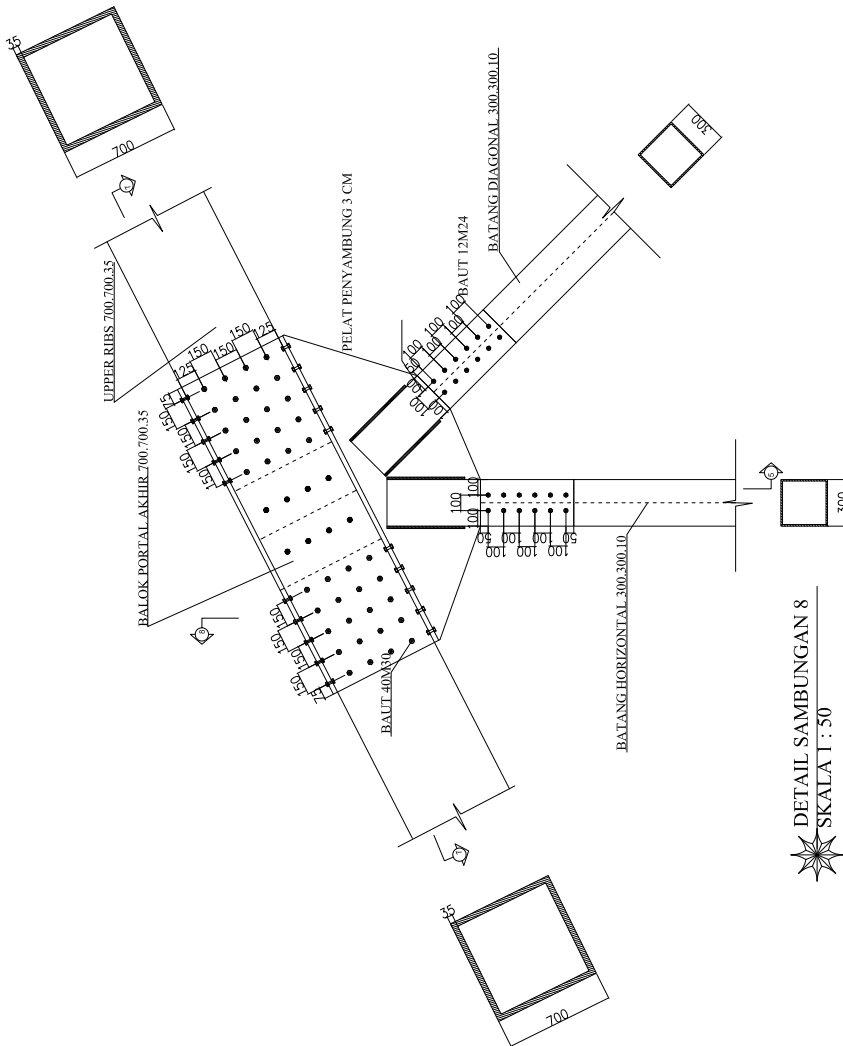
CATATAN

KETERANGAN

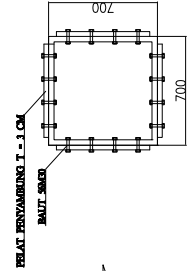
KODE	LEMBAR	JUMLAH
S7	19	23



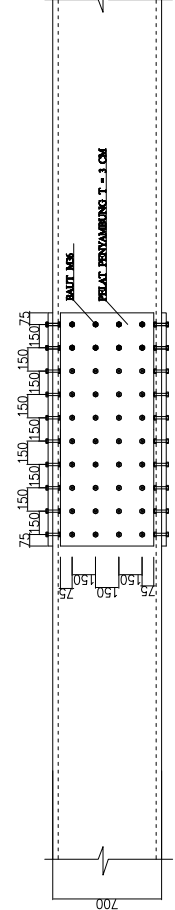
POTONGAN 8-8  
SKALA 1 : 50

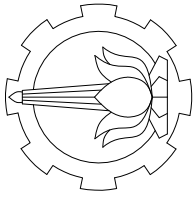


DETAIL SAMBUNGAN 8  
SKALA 1 : 50



POTONGAN 7-7  
SKALA 1 : 50





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M, MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

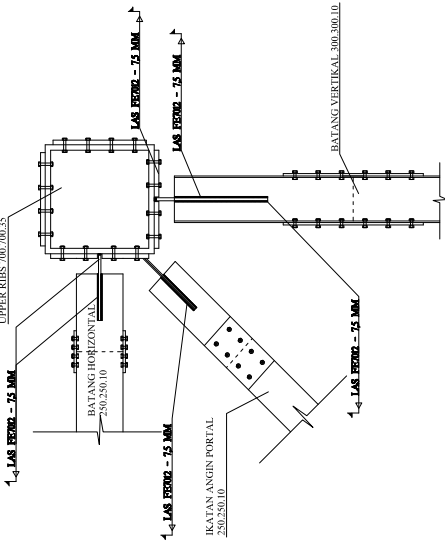
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. DETAIL SAMBUNGAN 9	1 : 50
2. POTONGAN 9-9	1 : 50
3. POTONGAN 10-10	1 : 50

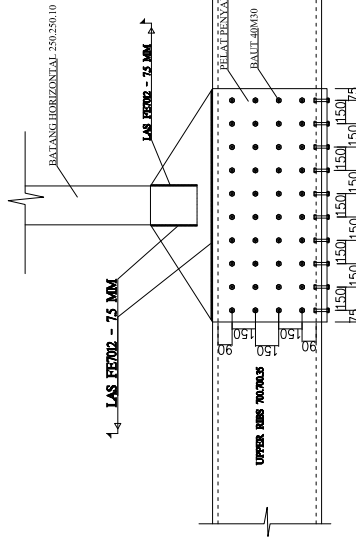
CATATAN

KETERANGAN

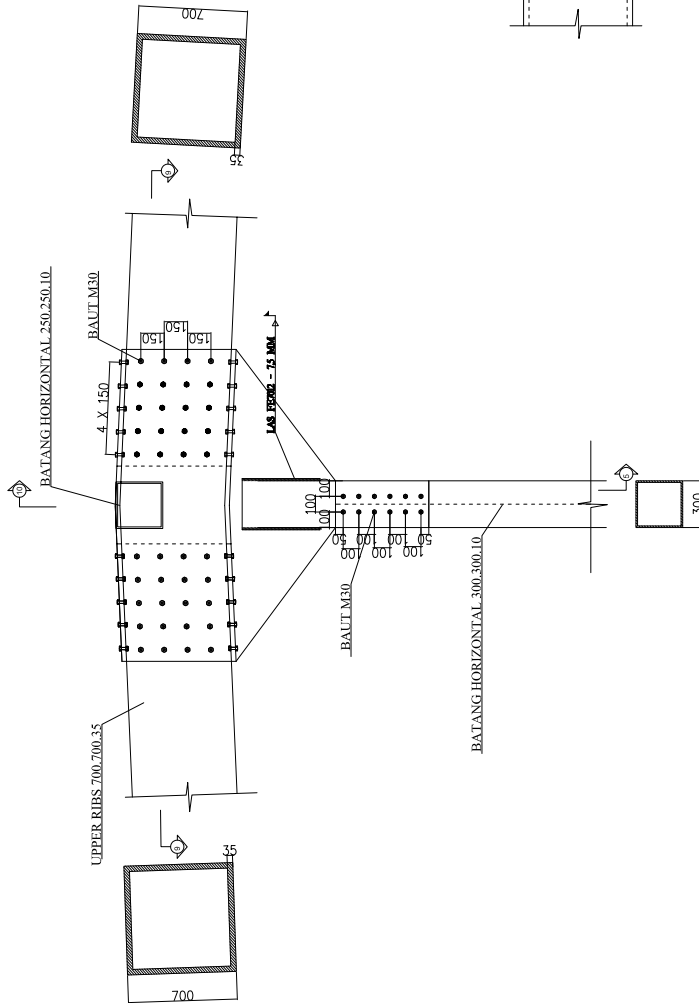
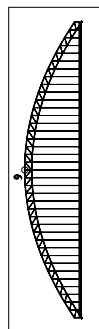
KODE	LEMBAR	JUMLAH
S8	20	23



POTONGAN 10-10  
SKALA 1 : 50

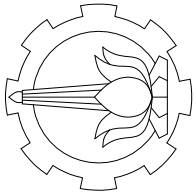


POTONGAN 9-9  
SKALA 1 : 50



DETAIL SAMBUNGAN 9  
SKALA 1 : 50





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M. MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

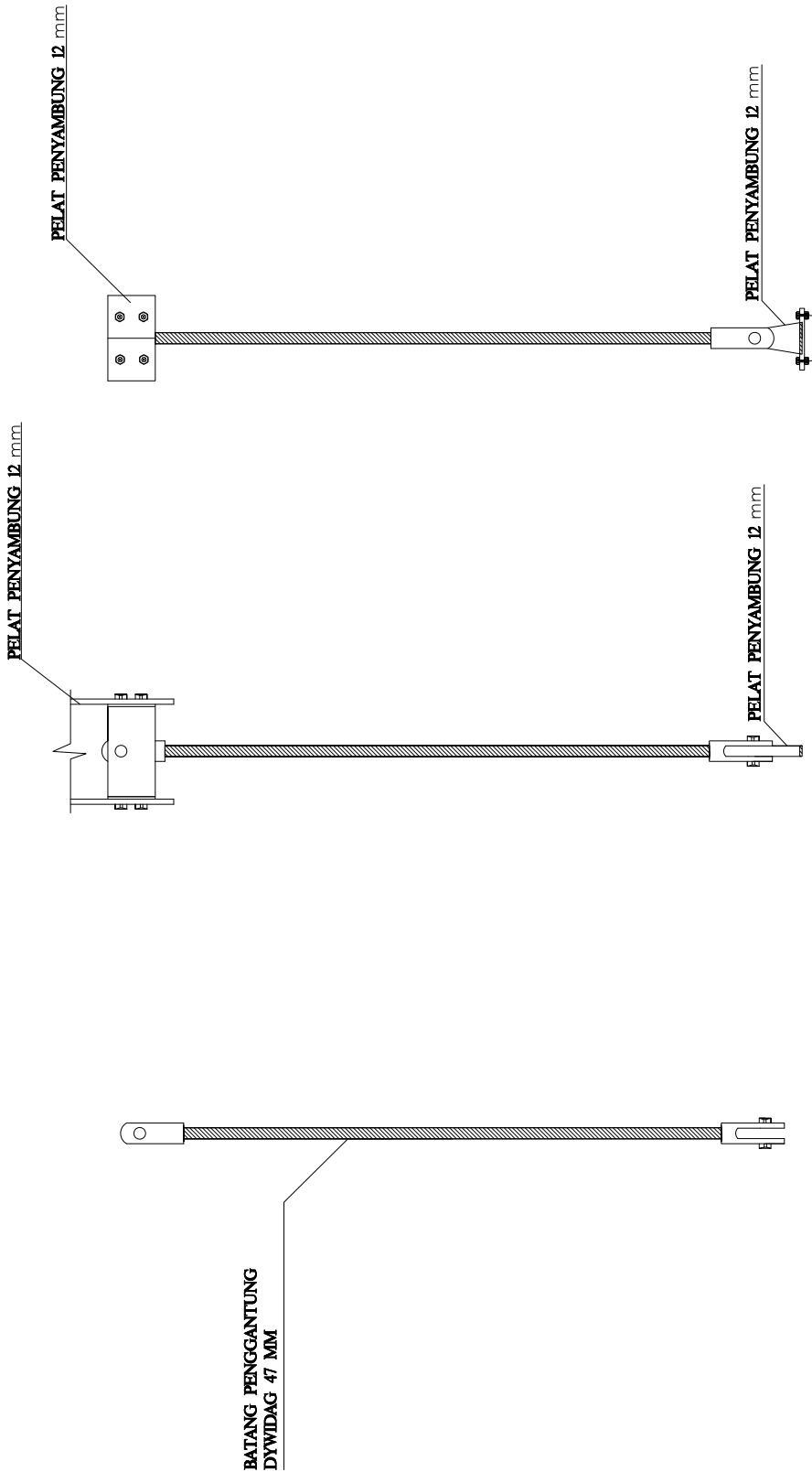
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. SAMBUNGAN PEN DAN HANGER	1 : 50
2. TAMPAK MELINTANG & MEMANJANG BATANG PENGGANTUNG	1 : 50

CATATAN

KETERANGAN

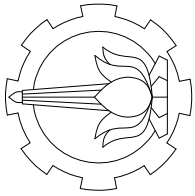
KODE	LEMBAR	JUMLAH
S10	22	23



DETAIL SAMBUNGAN PEN DAN HANGER  
SKALA 1 : 50

TAMPAK MELINTANG BATANG PENGGANTUNG  
SKALA 1 : 50

TAMPAK MEMANJANG BATANG PENGGANTUNG  
SKALA 1 : 50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

MODIFIKASI PERENCANAAN  
JEMBATAN KALI KENDENG  
DENGAN SISTEM  
STEEL BOX THROUGH ARCH

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA, ST., MT., Ph.D  
Dr-Ir-HIDAYAT SOEGHARDJO M. MS

MAHASISWA

DITA ADELIA ANGGRAINI  
(NRP. 0311174500038)

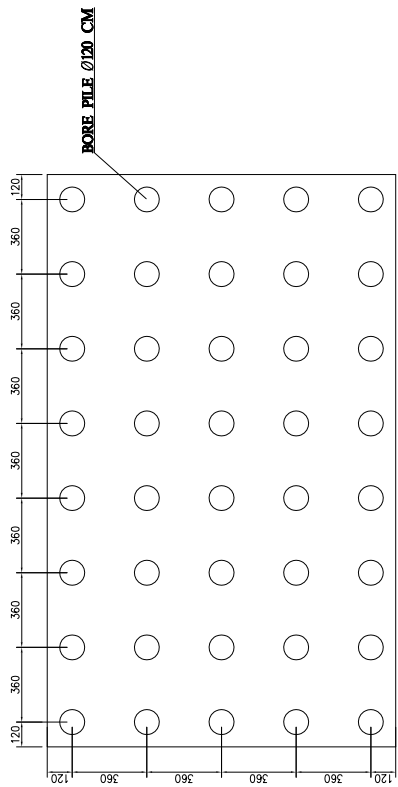
LINTAS JALUR 2017

JUDUL GAMBAR	SKALA
1. KONFIGURASI PONDASI	1 : 400
2. POTONGAN MEMANJANG & MELINTANG PONDASI	1 : 400

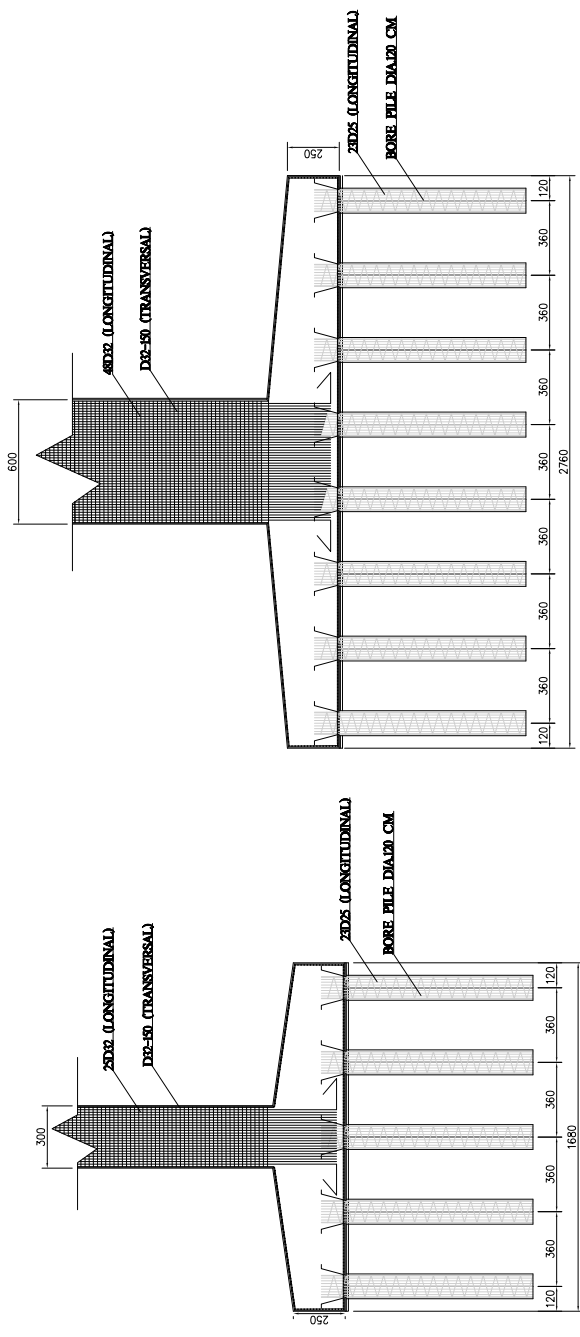
CATATAN

KETERANGAN

KODE	LEMBAR	JUMLAH
FD1	23	23



KONFIGURASI TIANG PANGCANG  
SKALA 1 : 50



POTONGAN MEMANJANG PILAR & PONDASI  
SKALA 1 : 50

POTONGAN MELINTANG PILAR & PONDASI  
SKALA 1 : 50



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: BAMBANG PISCESA, ST., MT, Ph.D
NAMA MAHASISWA	: DITA ADELIA ANGRAINI
NRP	: 03111745000038
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Jembatan Kali Kendeng dengan Menggunakan Sistem Steel Box Through Arch
TANGGAL PROPOSAL	: 04 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 15195 / IT2 VI. A.1 / PP. DS.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	21/03/19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SAP (30) Belum beban angin, beban truk</li> <li>- Perhitungan pelat</li> <li>- Perhitungan balok memanjang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelling load (Truck) → moving lane 2/2 UD</li> <li>- Pot Bearing fixed (<math>U_1, U_2, U_3</math>) tanpa (<math>r_1, r_2, r_3</math>)</li> <li>- Tulangan pelat jaratnya diganti 200 (susut)</li> <li>- Tulangan pelat jaratnya diganti 150 (utama)</li> <li>- Rangka jembatan busungnya disamakan tingginya bentang 150 m</li> </ul>	<i>R. Alimatus</i>
2	02/5/19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balok Melintang</li> <li>- Ikatan angin lantai</li> <li>- Ikatan angin busur</li> <li>- Batang horizontal busur</li> <li>- Pembebanan 3D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemodelan ditambah dengan pilar (seruci sketch)</li> <li>- Grafik u/ kabel (threadrod)</li> </ul>	<i>R. Alimatus</i>
3	20/06/19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cek stabilitas struktur atas</li> <li>- Batang penggantung &amp; kurva</li> <li>- Sambungan</li> <li>- Pot Bearing</li> <li>- Cek pemodelan bangunan bawah (</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vu sambungan potas kapasitor</li> <li>- Tambah kabel putus (3 buah) bergantian</li> <li>- Cek rangkanya ketika thread rod collapse (1 bush)</li> <li>- Cek Interaksi aksial-torsi</li> <li>- Sambungan balok melintang.</li> <li>- Semua sambungan Abut Friksi</li> </ul>	<i>R. Alimatus</i>

- Check local Buckling
- Penampang
- Potas Kapasitor u/ check sambungan
- Gaya tarik pada kabel → Bicin
- dan kabel juga faktor katang untuk



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	:	BAMBANG PISCEDA, ST., MT., Ph.D
NAMA MAHASISWA	:	DITA ADELIA ANGSRINI
NRP	:	03111245000038
JUDUL TUGAS AKHIR	:	Modifikasi Perencanaan Jembatan Kali Kendeng dengan Menggunakan Sistem Steel Box Through Arch
TANGGAL PROPOSAL	:	04 Januari 2019
NO. SP-MMTA	:	15195 / ITS.VI.4.1 / pp. 05.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
4	28/5/19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kontrol Interaksi Aksial-Lentur</li> <li>- Perhitungan bangunan bawah (Bore pile, pile cap, pilar, pier head)</li> <li>- Cek sambungan dengan slrp fricci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Cek input pada RACOL, P-nya (+ atau -)</li> <li>→ Cek momen geser pasang dari tang pancing ke muka kolom</li> </ul>	



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 601111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, M.Mc
NAMA MAHASISWA	: DITA ADELIA ANGGRAINI
NRP	: 0311174500038
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Jembatan Kali Kendeng dengan Menggunakan Sistem Steel Box Through Arch
TANGGAL PROPOSAL	: 04 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 15195 / IT2. VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	12/4/19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Check ulang ketebalan pelat</li> <li>- <del>Pelat</del> Pelat</li> <li>- Balok Memanjang</li> <li>- Balok Melintang</li> <li>- Ikatan angin busur &amp; lantai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Check ulang ketebalan pelat</li> <li>- Check penulisan yang benar b<sub>1</sub></li> <li>- Check ulang untuk beban dynamic (pengaruh di kabel)</li> <li>- Coba check BGT &amp; BTE 4/ memastikan GP</li> <li>- <del>Balok</del> memanjang, melintang di release</li> <li>- Batang diagonal &amp; vertikal (release)</li> </ul>	
2	25/04/19	<p>Perencanaan dibuat dua untuk pemikul</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Range pelengkung diubah</li> <li>- Perencanaan dibuat 2 untuk pemikul (simple arch)</li> <li>- Ganda expansion joint 4/ sambungan antar pelat di tiap babagan</li> </ul>	
3	29/05/19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensi struktur atas</li> <li>- Batang Penggantung &amp; kurva</li> <li>- Sambungan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tambah check kabel putus (3 buah) bergentian</li> <li>- Cek rangbonya ketika thread rod colopre (1 buah)</li> <li>- Cek Interaksi aksial-lentur</li> <li>- Sambungan balok melintang</li> <li>- Semua sambungan dibuat friksi</li> </ul>	





Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)  
Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr Ir Hidayat Soegihardjo, M.MS
NAMA MAHASISWA	: DITA ADELIA ANGGRAINI
NRP	: 03111745000038
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi Perencanaan Jembatan Kali Kendang dengan Menggunakan Sistem Steel Box Through Arch
TANGGAL PROPOSAL	: 04 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 15195 / ITC.VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
4	28/5/19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interaksi Aksial - Lempur (check)</li> <li>- Bangunan Bawah (Pier, Pier head, Base Pier, Pile cap).</li> <li>- Cek sambungan berdasarkan slip fiber</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cek geser torsi, geser, momen pada sambungan (head beam)</li> <li>→ ada 6 gaya</li> <li>g) ANGKUR</li> <li>o) BAUT, ADA 6 gaya dala</li> </ul>	<p>gh</p> <p>gh</p>

## BIODATA PENULIS



**Dita Adelia Anggraini**, dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 20 Februari 1994, merupakan anak pertama dari lima bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Waru-Sidoarjo dengan tahun kelulusan 2000, SDN Tanah Kali Kedinding I Surabaya dengan tahun kelulusan 2006, SMP Negeri 15 Surabaya dengan tahun kelulusan 2009, SMA Negeri 15 Surabaya dengan tahun kelulusan 2012

kemudian melanjutkan pendidikan dengan program studi Diploma III Teknik Sipil ITS Surabaya dengan tahun kelulusan 2015. Selama menempuh pendidikan di D3 Teknik Sipil ITS, penulis aktif dalam beberapa kegiatan kemahasiswaan diantaranya menjadi ketua konseptor pada *Big Event* HIMA Diploma Sipil ITS dan juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan kampus diantaranya menjadi panitia pada acara *Bridge Construction Competition-Tower Construction Competition* serta menjadi penanggung jawab sie.acara pada Tender Cup I HIMA Diploma Sipil ITS.

Setelah lulus dari D3 Teknik Sipil ITS Surabaya tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan di Program studi S1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil – FTSLK ITS dengan tahun penerimaan 2017 dan terdaftar dengan NRP 03111745000038.

***Dita Adelia Anggraini (Ms.)***  
*Civil Engineering Student*  
*Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya*  
[ditaadeliaa@gmail.com](mailto:ditaadeliaa@gmail.com)  
(+62) 81287993235