TUGAS AKHIR – RC18-4803

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN *OVERPASS* JALAN TOL PASURUAN PROBOLINGGO (PASPRO) STA 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*

ACHMAD MIRZA NURUL HAQ
NRP. 03111540000095

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

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

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

TUGAS AKHIR – RC18-4803

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN *OVERPASS* JALAN TOL PASURUAN PROBOLINGGO (PASPRO) STA 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*

ACHMAD MIRZA NURUL HAQ
NRP. 03111540000095

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

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

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

FINAL PROJECT – RC18-4803

MODIFICATION PLANNING OF STA 29+325 PASURUAN PROBOLINGGO (PASPRO) HIGHWAY OVERPASS BRIDGE USING HALF THROUGH ARCH BRIDGE TYPE

ACHMAD MIRZA NURUL HAQ
NRP. 03111540000095

Supervisor I:
Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D.

Supervisor II:
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

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

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN *OVERPASS* JALAN TOL PASURUAN PROBOLINGGO (PASPRO) STA 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ACHMAD MIRZA NURUL HAQ
NRP. 03111540000095

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir:

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

Digitally signed by Z230\Bambang Piscesa
Date: 2020.08.20 06:59:12 +07'00'

SURABAYA
Agustus, 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN *OVERPASS* JALAN TOL PASURUAN PROBOLINGGO (PASPRO) STA 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*

Nama : **Achmad Mirza Nurul Haq**
NRP : **03111540000095**
Departemen : **Teknik Sipil FTSLK ITS**
Dosen Pembimbing : **1. Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D.**
2. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

Abstrak

Sejumlah titik pembangunan jalan tol saat ini masih dalam proses pembangunan, salah satunya pada ruas Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo (Paspro). Pada ruas jalan tol Pasro terdapat jembatan viaduk tipe beton prategang di titik STA 29+325 Kecamatan Leces Kabupaten Probolinggo. Model konstruksi jembatan dengan panjang 144 meter ini menggunakan tipe jembatan beton prategang dengan 5 segmen serta 4 pilar. Penggunaan 4 pilar untuk jembatan viaduk termasuk memakan banyak lahan di bawahnya, dimana lahan tersebut dapat digunakan untuk perluasan jalan raya utama Probolinggo-Lumajang serta pembangunan double track rel kereta api Surabaya-Banyuwangi. Hal ini yang melatarbelakangi untuk memodifikasi jembatan overpass tersebut supaya tidak menggunakan pilar di bawahnya.

Tugas akhir ini memodifikasi Jembatan Overpass Paspro menjadi tipe pelengkung dengan bentang 144 meter, tinggi 25 meter, dan lebar 27,2 meter. Adapun pedoman yang digunakan dalam perencanaan adalah SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan, SNI 1729:2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, SNI 2847:2013 tentang persyaratan beton

struktural untuk bangunan gedung, serta SNI 2833:2018 tentang perencanaan ketahanan bangunan terhadap gempa. Permodelan struktur jembatan menggunakan program bantu Midas Civil untuk dianalisa kekuatan profil struktur jembatan yang digunakan.

Dari hasil perencanaan didapat profil struktur busur utama yaitu menggunakan profil BOX 2500×1500×35×50 dan batang Tarik menggunakan profil BOX 2000×1200×30×40, diameter kabel 85 mm, untuk perletakan menggunakan Pot Bearing. Pondasi yang digunakan berupa abutment di kedua sisi jembatan.

Kata Kunci : Jembatan Busur Box Baja, Half Through Arch.

MODIFICATION PLANNING OF STA 29+325 PASURUAN PROBOLINGGO (PASPRO) HIGHWAY OVERPASS BRIDGE USING HALF THROUGH ARCH BRIDGE TYPE

Name : **Achmad Mirza Nurul Haq**
NRP : **03111540000095**
Department : **Civil Engineering FTSLK ITS**
Supervisors : **1. Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D.**
2. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

Abstract

A number of highway constructions are currently still in the progress, one of them is on Pasuruan-Probolinggo (Paspro) highway. There is a prestressed concrete viaduct in STA 29+325 Kecamatan Leces Kabupaten Probolinggo. The 144 meters long bridge construction using 5 segmens prestressed concrete and 4 pillars. The 4 pillars are used in viaduct need many space that actually can be used to expand Probolinggo-Lumajang main highway and also can be used to construct Surabaya-Banyuwangi train double tracks. Those are the backgrounds for modifying overpass Bridge, so the construction no need pillars any more.

This final project is modifying Paspro Overpass Bridge using half through arch type that has 144 meters long, 25 meters height and 27,2 meters wide. The guidance in this planning is SNI 1725:2016 about bridge loading, SNI 1729:2015 about structural steel buildings specifications, SNI 2847:2013 about structural concrete buildings requirements, and SNI 2833:2018 about earthquake resistance building planning. Bridge structure modelling using Midas Civil to analyze bridge structure profile strength.

The planning results are for the main arch structure using BOX 2500×1500×35×50 profile, pull rod using BOX 2000×1200×30×40 profile and 85 mm diameter cable, for bearing using Pot Bearing. Foundation that used in this planning is abutment in both sides of the bridge.

Keywords : Steel Box Arch Bridge, Half Through Arch,

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul "Modifikasi Perencanaan Jembatan *Overpass* Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo (Paspro) STA 29+325 Menggunakan Tipe *Half Through Arch Bridge"*.

Terselesaikannya Tugas Akhir ini juga tidak lepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Kedua orang tua penulis, ibunda Luluil Maknun dan ayah Adi Yudistiro yang selalu memberikan dukungan penuh dan doa yang tiada henti.
2. Bapak Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS. selaku dosen pembimbing tugas akhir
4. Ibu Prof. Triwulan, DEA. Selaku dosen wali.
5. Bapak dan ibu dosen serta staf Departemen Teknik Sipil FTSPK ITS.
6. Teman-teman mahasiswa Kopassus S58 dan MBI Amanatul Ummah pada umumnya, serta Fatimah Azzahra khususnya yang telah memberi bantuan dan semangat kepada penulis

Penulis sendiri menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini terdapat beberapa kekurangan sehingga penulis mengharap kritik dan saran demi evaluasi bagi penulis ke depannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, April 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR TABEL ..... **xix**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.2.1 Umum 3
1.2.2 Khusus 4
1.3 Tujuan 4
1.3.1 Umum 4
1.3.2 Khusus 4
1.4 Batasan Masalah 5
1.5 Manfaat 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Jembatan Pelengkung 7
2.2 Persyaratan Umum Perencanaan 9
2.2.1 Lokasi Jembatan 9
2.3 Pembebanan Pada Jembatan 10
2.3.1 Beban Mati (MS) 10
2.3.2 Beban Mati Tambahan (MA) 10
2.3.3 Beban Terbagi Rata (BTR) 10
2.3.4 Beban Garis Terpusat (BGT) 11

2.3.5 Beban Hidup Truk (TT) 11
2.3.6 Beban Angin (EWs) 12
2.3.7 Beban Rem (TB) 13
2.3.8 Pengaruh Gempa 13
2.3.9 Koefisien Pembebanan 16
2.3.10 Kombinasi Pembebanan 18
2.4 Sambungan 19
2.4.1 Sambungan Baut 19
2.4.2 Sambungan Las 20
2.5 Cable Hanger 23
2.6 Perletakan 24
2.6.1 Elastomic Bearing 24
2.6.2 POT *Bearing* 25
2.6.3 *Spherical Bearings* 26
2.7 *Abutment* 26
2.7.1 *Abutment* Tipe Gravitasi 27
2.7.2 *Abutment* Tipe T Terbalik 27
2.7.3 *Abutment* Tipe T Terbalik dengan Penopang 28
BAB III METODOLOGI 29
3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir 29
3.2 Penjelasan Diagram Alir 30
3.2.1 Studi Literatur 30
3.2.2 Pengumpulan Data 30
3.2.3 Preliminary Desain 30
3.2.4 Pembebanan Jembatan 33

3.2.5 Permodelan dan Analisa Struktur Utama Menggunakan Program Midas 39
3.2.6 Kontrol Gaya Dalam Rangka Jembatan 40
3.2.7 Perhitungan Sambungan 42
3.2.8 Perencanaan Perletakan Jembatan 43
3.2.9 Perencanaan Struktur Bawah Jembatan 43
3.2.10 Gambar Hasil Desain 43
BAB IV PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER 45
4.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan 45
4.1.1 Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan 45
4.1.2 Perhitungan Momen Arah Melintang 46
4.1.3 Perhitungan Penulangan Lentur Lantai kendaraan 47
4.1.4 Kontrol Penulangan Geser *Pons* Pelat Lantai Kendaraan 49
4.2 Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan 50
4.2.1 Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan 51
4.2.2 Kontrol Profil Gelagar Memanjang 54
4.3 Perencanaan Gelagar Melintang 57
4.3.1 Pembebanan Gelagar Melintang Jembatan 57
4.3.2 Kontrol Profil Gelagar Melintang 59
BAB V PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA JEMBATAN 69
5.1 Rencana Dimensi Modifikasi Jembatan 69
5.2 Pembebanan Jembatan 70
5.3 Permodelan Struktur 77
5.4 Perencanaan Ikatan Angin 77

5.4.1 Perhitungan Gaya Angin yang Bekerja 77
5.4.2 Ikatan Angin Atas 79
5.4.3 Ikatan Angin Bawah 80
5.5 Perencanaan Kabel Penggantung 83
5.5.1 Penentuan Jenis Kabel 85
5.6 Perencanaan Rangka Utama 86
5.6.1 Pembagian Segmen Jembatan 86
5.6.2 Gaya Aksial Akibat Beban 86
5.6.3 Perencanaan Profil Rangka Utama 86
5.7 Perencanaan Portal Akhir 96
5.7.1 Perencanaan Balok Melintang Portal Akhir 96
5.7.2 Perencanaan Kolom Portal Akhir 96
5.8 Analisa Lendutan Ijin Jembatan 102
5.9 Perencanaan Sambungan 102
5.9.1 Sambungan Antara Gelagar Memanjang dan Gelagar Melintang 103
5.9.2 Sambungan Antara Gelagar Melintang dan *Tie Beam* 107
5.9.3 Sambungan Ikatan Angin Atas 112
5.9.4 Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan 117
5.9.5 Sambungan Gelagar Rangka Utama 121
5.9.6 Sambungan Portal Akhir 138
5.10 Sambungan Base Plate Ke Box Busur 149
5.11 Sambungan Angkur ke Beton Abutment 150
5.12 Perencanaan Perletakan 152
5.12.1 Pembebanan Horizontal Akibat Gempa 152

5.12.2 Pembebanan Vertikal Akibat Gempa 155
5.12.3 Perencanaan POT *Bearing* 155
5.13 Modal Analysis..... 157
BAB VI PERHITUNGAN BANGUNAN BAWAH 163
6.1 Perencanaan Abutment..... 163
6.1.1 Preliminary Design Abutment..... 163
6.1.2 Pembebanan Abutment..... 163
6.1.3 Kombinasi Pembebanan 179
6.1.4 Stabilitas 183
6.2 Perencanaan Pondasi 187
6.2.1 Daya Dukung Tanah Bored Pile..... 187
6.2.2 Daya Dukung Tanah *Bored Pile* Tunggal Dalam Kelompok 191
6.2.3 Kontrol Beban Maksimum 1 *Bored Pile* 192
6.2.4 Kontrol Kekuatan *Bored Pile* 194
6.3 Penulangan Abutment 197
6.4 Perencanaan Pilecap 199
6.4.1 Data Perencanaan Pilecap 199
6.4.2 Kontrol Geser Pons 200
6.4.3 Penulangan Pilecap..... 201
BAB VII PENUTUP 207
7.1 Kesimpulan..... 207
7.2 Saran..... 208
DAFTAR PUSTAKA 209

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jembatan *Overpass* STA 29+325 Leces Probolinggo2
Gambar 1.2 Tampak Memanjang Jembatan *Overpass* Jalan Tol Pasuruan Probolinggo STA 29 +325.....3
Gambar 2.1 Bagian Jembatan Pelengkung.....7
Gambar 2.2 *Layout* Eksisting Jembatan *Overpass*.....9
Gambar 2.3 Sketsa pembebanan BTR dan BGT (SNI 1725:2016) 11
Gambar 2.4 Ilustrasi Beban Hidup Truk (SNI 1725:2016).....11
Gambar 2.5 Bentuk tupikal respons spectra di permukaan tanah15
Gambar 2.6 Baut secara Umum.....19
Gambar 2.7 Ukuran Las Sudut.....22
Gambar 2.8 Pratarik Baut Minimum.....24
Gambar 2.9 *Elastomeric Bearings*.....25
Gambar 2.10 *POT Bearings*.....25
Gambar 2.11 *Spherical Bearings*.....26
Gambar 2.12 *Abutment* Tipe Gravitasi.....27
Gambar 2.13 *Abutment* Tipe T Terbalik.....28
Gambar 2.14 *Abutment* Tipe T Terbalik dengan Penopang.....28
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....29
Gambar 3.2 Menentukan Tinggi Busur.....31
Gambar 3.3 Reaksi Perletakan Tipe *Pot Bearing*.....33
Gambar 3.4 Model Perletakan jembatan.....33
Gambar 3.5 Peta Respon Desain Spektrum.....36
Gambar 4.1 Pelat Lantai Kendaraan.....45
Gambar 4.2 Ilustrasi Geser *Pons* Pada Lantai Kendaraan.....49
Gambar 4.3 Ilustrasi Beban Mati Pada Gelagar Memanjang.....51
Gambar 4.4 Permodelan 1 Beban Truk Pada Gelagar Melintang52
Gambar 4.5 Permodelan 2 Beban Truk Pada Gelagar Melintang53
Gambar 4.6 Ilustrasi Beban Mati Gelagar Melintang Sebelum Komposit.....58

Gambar 4.7 Pembebanan Truk Pada Gelagar Melintang kondisi 1 59
Gambar 4.8 Pembebanan Truk Pada Gelagar Melintang kondisi 2 59
Gambar 4. 9 Nilai Momen Terbesar Balok Melintang 59
Gambar 4. 10 Nilai Gaya Geser Batang Melintang 62
Gambar 4. 11 Nilai Lendutan Batang Melintang Akibat Beban Hidup 65
Gambar 4.12 Reaksi Pada Komponen Struktur Komposit Gelagar Melintang 66
Gambar 4. 13 Perencanaan *Shear Connector* Batang Melintang 68

Gambar 5.1 Grafik Respon Spektrum 75
Gambar 5.2 Skala Gaya Pada Pemrograman Midas Civil 76
Gambar 5.3 Permodelan Jembatan Menggunakan Program Bantu Midas Civil 77
Gambar 5.4 Potongan Melintang 78
Gambar 5.5 Ikatan Angin Atas Rangka jembatan 78
Gambar 5.6 Ikatan Angin Lantai Kendaraan jembatan 78
Gambar 5.7 Konstruksi Pemikul Utama 83
Gambar 5.8 Ilustrasi Kabel 161 Putus 83
Gambar 5.9 Ilustrasi Kabel 154 Putus 84
Gambar 5.10 Grafik Beban Aksial Kabel 84
Gambar 5.11 Lendutan Jembatan akibat Beban Hidup 102
Gambar 5.12 Sambungan Antara Gelagar Melintang dan Gelagar Memanjang 107
Gambar 5.13 Sambungan Antara Gelagar Melintang dan *Tie Beam* 111
Gambar 5.14 Sambungan Ikatan Angin Atas 116
Gambar 5.15 Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan 120
Gambar 5.16 Lokasi Titik Simpul 121
Gambar 5. 17 Sambungan Antar *Tie Beam* 126
Gambar 5.18 Sambungan *Cable Hanger* 129

Gambar 5.19 Lokasi Titik Simpul 10A 130
Gambar 5.20 Sambungan Antar Batang Busur Atas 135
Gambar 5.21 Lokasi Titik Simpul 10A 135
Gambar 5.22 Detail Sambungan 3A..... 137
Gambar 5.23 Lokasi *Tie Beam* – Balok Melintang 138
Gambar 5.24 Sambungan Balok Portal ke Batang Busur Atas . 142
Gambar 5.25 Sambungan Titik Simpul 1A 142
Gambar 5.26 Sambungan Balok Portal ke Batang Busur Atas . 146
Gambar 5.27 Sambungan Titik Simpul 1B 146
Gambar 5. 28 Detail Sambungan 1B..... 148
Gambar 5.29 Kegagalan Tarik Angkur Baja..... 150
Gambar 5. 30 Kegagalan Geser Angkur Baja 151
Gambar 5.31 Titik Penempatan Jenis Perletakan..... 153
Gambar 5.32 Detail Ukuran POT Bearing 156
Gambar 5.33 Vibration Mode 1 157
Gambar 5. 34 Vibration Mode 2 157
Gambar 5.35 Vibration Mode 3 158
Gambar 5.36 Vibration Mode 4 158
Gambar 5.37 Vibration Mode 5 158
Gambar 5.38 Vibration Mode 6 159
Gambar 5.39 Vibration Mode 7 159
Gambar 5.40 Vibration Mode 8 159
Gambar 5.41 Vibration Mode 9 160
Gambar 5.42 Vibration Mode 10 160
Gambar 6.1 Preliminary Design Abutment..... 163
Gambar 6. 2 Sketsa *Wingwall* Abutment. 165
Gambar 6. 3 Sketsa Berat Sendiri Tanah..... 165
Gambar 6.4 Sketsa Tekanan Tanah Horizontal..... 167
Gambar 6.5 Hubungan Antara Kedalaman Dengan Daya Dukung Bored Pile Tunggal untuk Diameter 800mm..... 190
Gambar 6.6 Kurva untuk menentukan Harga f dari Berbagai Jenis Tanah (NAVFAC DM-7. 1971) 195

Gambar 6.7 Koefisien-koefisien untuk Tiang Pancang yang Menerima Beban Lateral (NAVFAC DM-7. 1971) 196
Gambar 6.8 Diagram Interaksi *Abutment* Pada SpColumn 198
Gambar 6.9 Bidang Kritis Geser Pons 200
Gambar 6. 10 Rencana Penulangan *Pilecap*..... 202
Gambar 6.11 Distribusi Beban Vertikal 203
Gambar 6.12 Model Strat dan Pengikat 203

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban Mati Tambahan Jembatan 10
Tabel 2.2 Tekanan Angin Dasar 12
Tabel 2.3 Nilai V_0 dan Z_0 13
Tabel 2.4 Kelas Situs 14
Tabel 2.5 Faktor Amplifikasi PGA dan 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a) 14
Tabel 2.6 Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v) 15
Tabel 2.7 Faktor Modifikasi Respon Untuk Bangunan Bawah ... 16
Tabel 2.8 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Hubungan Antar Elemen Struktur 16
Tabel 2.9 Faktor Pembebanan Jembatan 17
Tabel 2.10 Pratarik Baut Minimum 20
Tabel 2. 11 Ukuran Minimum Las Sudut 23
Tabel 3.1 Spesifikasi Kabel Rope 32
Tabel 3.2 Beban Mati Tambahan Jembatan 34
Tabel 3.3 Data Tanah 36
Tabel 3.4 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Bangunan Bawah 38
Tabel 3.5 Fakteor Modifikasi Respon (R) untuk Hubungan Antar Elemen Struktur 38
Tabel 5.1 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu 71
Tabel 5.2Tekanan Angin Dasar 72
Tabel 5.3 Komponen Beban Angin pada Kendaran 72
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Nilai Gaya Angin Pada Jembatan 73
Tabel 5.5 Nilai Temperatur Jembatan Rata-rata 74
Tabel 5. 6 Kombinasi dan Faktor beban 76
Tabel 5.7 Spesifikasi Kabel 85
Tabel 5.8 Gaya Batang Rangka Utama Akibat Beban 86
Tabel 5.9 Pratarik Baut Minimum, kN* 103
Tabel 5.10 Jarak Tepi Minimum Sambungan 104
Tabel 5.11 Ukuran Minimum Las Sudut 114

Tabel 5.12 Ukuran Minimum Las Sudut 128
Tabel 5.13 Ukuran Minimum Las Sudut 136
Tabel 5.14 Ukuran Minimum Las Sudut 140
Tabel 5.15 Ukuran Minimum Las Sudut 145
Tabel 5.16 Ukuran Minimum Las Sudut 147
Tabel 5.17 Tabel Reaksi Vertikal Pada Jembatan 153
Tabel 5.18 Reaksi Vertikal pada Perletakan 155
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Reaksi Perletakan Jembatan 155
Tabel 5.20 Pemilihan POT Bearing berdasarkan tipe dan kapasitas 156
Tabel 5. 21 Kontrol POT Bearing berdasarkan Dispalcement 156
Tabel 5.22 Nilai f_B dan f_T 161
Tabel 6.1 Beban Mati Tambahan 164
Tabel 6.2 Berat Sendiri Bangunan Bawah 166
Tabel 6.3 Beban Angin 170
Tabel 6. 4 Rekapitulasi Beban Gempa Arah X 175
Tabel 6.5 Rekapitulasi Beban Gempa Arah Y 175
Tabel 6. 6 Rekapitulasi Beban yang Bekerja 179
Tabel 6.7 Kombinasi 1 180
Tabel 6.8 Kombinasi 2 180
Tabel 6.9 Kombinasi 3 181
Tabel 6.10 Kombinasi 4 181
Tabel 6.11 Kombinasi 5 182
+*Tabel 6. 12 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan 183
Tabel 6. 13 Kontrol Guling Arah X 183
Tabel 6. 14 Kontrol Guling Arah Y 184
Tabel 6. 15 Kontrol Geser Arah X 184
Tabel 6. 16 Kontrol Geser Arah Y 185
Tabel 6. 17 Koefisien Daya Dukung Tanah Terzaghi 185
Tabel 6.18 *Base Coeffiecient* 189
Tabel 6.19 *Shaft Coefficient* 189
Tabel 6.20 Tabel Pembebanan *Bored Pile* 191
Tabel 6.21 Rekapitulasi Kontrol Beban Maksimum 193

Tabel 6.22 Kontrol Kekuatan *Bored Pile* Terhadap Gaya Aksial 194
Tabel 6.23 Perhitungan Gaya Kontrol Gaya Lateral 197
Tabel 6.24 Beban Yang Bekerja Pada Pilecap 199

“Halaman ini sengaja dikosongkan”.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

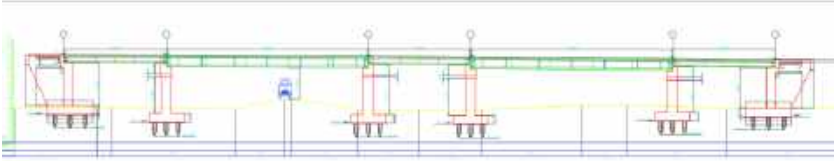
Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunanya diwajibkan membayar tol (UU Jalan No. 38 Tahun 2004). Tujuan pembangunan jalan tol tersebut adalah untuk memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang, meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi, meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan serta meringankan beban dana Pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan (BPJT, 2006). Pembangunan infrastruktur tol trans jawa yang menghubungkan Merak hingga Banyuwangi dengan total panjang 1.167 kilometer merupakan Proyek Strategis Nasional (PSN). PSN ini ditargetkan selesai pada akhir tahun 2019. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Basuki Hadimuljono menuturkan bahwa perkembangan pembangunan jalan tol saat ini sudah mencapai 760 kilometer pada titik ujung Pasuruan Jawa Timur. Sejumlah titik pembangunan jalan tol saat ini masih dalam proses pembangunan, salah satunya pada ruas Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo (Paspro).

Jalan tol Pasuruan-Probolinggo (Paspro) dibangun dari titik Grati-Pasruan hingga Leces-Probolinggo. Jalan Tol Paspro ini memiliki panjang 31,3 kilometer yang masih dalam tahap pembangunan. Hingga saat ini progres pembangunan konstruksinya mencapai 85%. Ada beberapa kendala dalam pembangunan jalan tol Paspro seperti pembebasan lahan serta halangan lain yang dilaluinya. Sebagian cara untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan membangun jembatan untuk melewatinya. Total jembatan yang dibuat sepanjang ruas tol tersebut berjumlah 31 buah, salah satunya terlihat pada **Gambar 1.1** yang merupakan jembatan *overpass* yang berada di koordinat

STA 29+325 yang berada di kecamatan Leces Kabupaten Probolinggo.

Gambar 1.1 Jembatan *Overpass* STA 29+325 Leces Probolinggo

Jembatan *Overpass* dengan bentang sepanjang total 144,1 meter ini merupakan jembatan viaduk yang melewati hambatan berupa rel kereta api dan jalan raya utama Probolinggo–Lumajang. Model konstruksi jembatan yang dibangun ini menggunakan tipe jembatan beton prategang dengan 5 segmen serta 4 pilar (lihat gambar 1.2**)**. Penggunaan 4 pilar untuk jembatan viaduk termasuk memakan banyak lahan di bawahnya, dimana lahan tersebut dapat digunakan untuk perluasan jalan raya utama Probolinggo-Lumajang serta pembebasan lahan jalur kereta api yang rencananya akan dibangun *double track* setelah disetujui oleh Kementrian Perhubungan pada tahun 2016. Maka dari itu dibutuhkan solusi bagaimana cara membangun jembatan dengan bentang 144,1 m ini tanpa menggunakan pilar dibawahnya.



Gambar 1.2 Tampak Memanjang Jembatan *Overpass* Jalan Tol Pasuruan Probolinggo STA 29 +325

Jembatan dengan bentang panjang akan lebih efektif menggunakan tipe pelengkung. Lengkungan dapat digunakan untuk mengurangi momen tekuk pada struktur bentang panjang. Pada dasarnya, lengkungan bekerja sebagai kebalikan dari kabel, sehingga lengkungan menerima bebannya berupa tekan. Karena ketegarannya, lengkungan harus juga menahan beberapa bengkokan dan gaya geser yang bergantung pada bagaimana lengkungan dibebani dan dibentuk. Khususnya, jika lengkungan memiliki bentuk parabolik dan dibebani oleh beban vertikal yang terdistribusi merata secara horizontal, maka dari analisis kabel hanya mengikuti gaya-gaya mampatan yang akan ditahan oleh lengkungan (Hibbeler, 2002). Pemilihan penampang box material baja sebagai pemikul utama juga memiliki kekuatan yang cukup tinggi dengan luas penampang relatif lebih langsing daripada material beton. Sifat daktilitas baja yang mengalami deformasi besar di bawah pengaruh tegangan tarik tinggi mampu mencegah robohnya struktur tiba-tiba (Hilmy Gugo, 2013).

Oleh karena itu, penggunaan konstruksi jembatan dengan tipe *half through arch bridge* diharapkan dapat mensterilkan lahan dibawahnya sehingga dapat dimanfaatkan untuk perluasan jalan raya utama Probolinggo-Lumajang serta pembangunan rel ganda kereta api Surabaya-Banyuwangi.

1.2 Perumusan Masalah

1.2.1 Umum

Permasalahan utama pada tugas akhir ini adalah bagaimana merencanakan ulang jembatan *ovepass* jalan tol

Pasuruan-Probolinggo STA 29+325 dengan tipe *half through arch bridge*?

1.2.2 Khusus

Adapun rincian dari permasalahan tersebut adalah :

1. Bagaimana merencanakan model struktur jembatan dengan tipe *half through arch bridge* sesuai dengan kondisi lapangan yang ada?
2. Bagaimana menentukan pembebanan pada struktur jembatan dengan tipe *half through arch bridge* yang mengacu pada SNI 1725:2016?
3. Bagaimana memodelkan struktur dan metode pekerjaan jembatan dengan tipe *half through arch bridge* pada program Midas Civil?
4. Bagaimana merencanakan *abutment* pada jembatan dengan tipe *half through arch bridge*?
5. Bagaimana menuangkan hasil akhir perencanaan ke dalam gambar teknik sesuai standar?

1.3 Tujuan

1.3.1 Umum

Tujuan utama yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah dapat merencakan struktur jembatan dengan tipe *half through arch bridge*.

1.3.2 Khusus

Adapun detail dari tujuan tersebut adalah :

1. Dapat merencakan model struktur jembatan dengan tipe *half through arch bridge* sesuai dengan kondisi lapangan yang ada.
2. Dapat menentukan pembebanan pada struktur jembatan dengan *half through arch bridge* sesuai SNI 1725:2016.
3. Dapat memodelkan struktur dan metode pekerjaan jembatan dengan tipe *half through arch bridge* pada program Midas Civil.
4. Dapat merencanakan *abutment* untuk jembatan tipe *half through arch bridge*.

5. Dapat menuangkan hasil akhir perencanaan ke dalam gambar teknik sesuai standar.

1.4 Batasan Masalah

Perencanaan pada tugas akhir ini perlu difokuskan sehingga perlu batasan mengenai masalah dalam perencanaan, antara lain:

1. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan pendekat.
2. Tidak Merencanakan metode konstruksi jembatan.

1.5 Manfaat

Penyusunan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat di antaranya:

1. Perencanaan konstruksi jembatan *overpass* jalan tol Pasuruan-Probolinggo STA 29+325 dengan tipe *half through arch bridge* tanpa adanya pilar dibawahnya dapat diterapkan, sehingga lahan di bawahnya bisa dioptimalkan untuk pembangunan jalur rel ganda Surabaya-Banyuwangi maupun pelebaran jalan raya di jalur utama Probolinggo-Lumajang.
2. Tugas akhir ini dapat dijadikan referensi bagi perencanaan pembangunan jembatan pelengkung di Indonesia.
3. Manfaat untuk penulis sendiri, dapat meningkatkan pengetahuan dan melatih *sense of engineering* dalam merencanakan struktur bangunan atas hingga *abutment*, khususnya dengan konstruksi jembatan tipe *half through arch bridge*.

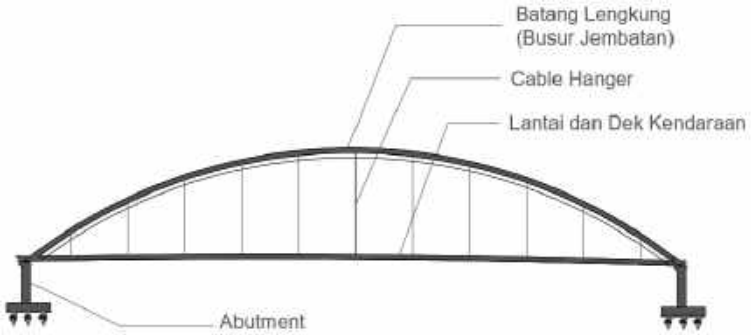
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan Pelengkung

Jembatan *arch* (lengkung) merupakan jembatan berbentuk setengah lingkaran yang memiliki penyangga di setiap ujung lengkungannya. Dasar kerja jembatan ini adalah mentransfer berat jembatan dan beban dari luar menjadi dorongan horisontal yang dikendalikan oleh penyangga di kedua sisi. Desain jembatan *arch* akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan menuju ke *abutment* kedua sisi jembatan agar tidak bergerak ke samping (Supriyadi, 2007).

Jembatan busur terdiri dari beberapa bagian yaitu : *deck*, *abutment*, batang tegak, batang lengkung, pondasi jembatan, dan *approach bridge* yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagian Jembatan Pelengkung

Pada jembatan lengkung terdapat dua macam gaya, yaitu gaya tarik dan gaya tekan. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pemilihan desain jembatan lengkung, di antaranya adalah :

a. Pelengkung pada jembatan
   Pelengkung pada jembatan busur merupakan struktur utama yang menahan sebagian besar beban yang diterima oleh

jembatan. Lengkung umumnya pada perletakan jepit, dengan ketebalan awal lengkung 1,65 sampai 2 kali (L/20) dari puncak lengkung (L/40) ketebalan rata-rata adalah L/30 dan tinggi fokus L/5 (ACI 1996).

b. Jumlah segmen
   Jumlah segmen berpengaruh pada penyaluran gaya pada jembatan. Semakin sedikit jumlah segmen maka semakin besar gaya yang dipikul oleh kolom penyangga.
c. Pengaku batas
   Pengaku berfungsi memaksimalkan penyaluran gaya, sebagai penguat struktur pada jembatan.

Adapun kelebihan jembatan pelengkung menurut Direktorat Jendral Bina Marga 2011 adalah sebagai berikut :

a. Keseluruhan bagian pelengkun menerima tekan, dan gaya tekan ini ditransfer ke abutmen dan ditahan oleh tegangan tanah dibawah pelengkung. Tanpa gaya tarik yang diterima oleh pelengkung memungkinkan jembatan pelengkung bisa dibuat lebih panjang dari jembatan balok dan bisa menggunakan material yang tidak mampu menerima tarik dengan baik seperti beton.
b. Bentuk jembatan pelengkung adalah inovasi dari peradaban manusia yang memiliki nilai estetika tinggi namun memiliki struktur yang kuat yang terbukti jembatan pelengkung romawi kuno masih berdiri sampai sekarang.

Kekurangan dari jembatan pelengkung menurut Direktorat Jendral Bina Marga 2011 adalah sebagai berikut :

a. Konstruksi jembatan pelengkung lebih sulit daripada jembatan balok karena pembangunan jembatan ini memerlukan metode pelaksanaan yang cukup rumit karena struktur belum dikatakan selesai sebelum kedua bentang bertemu di tengah-tengah. Salah satu tekniknya dengan membuat *scaffolding* dibawah bentang untuk menopang struktur sampai bertemu di puncak

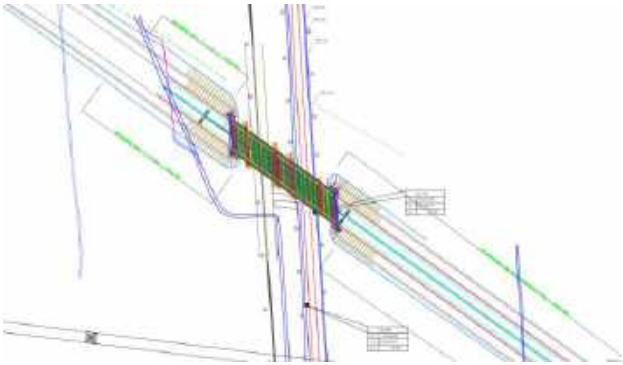
2.2 Persyaratan Umum Perencanaan

2.2.1 Lokasi Jembatan

Pemilihan lokasi jembatan harus mempertimbangkan teknis dan kondisi lingkungan, antara lain :

1. Lokasi jembatan dipilih pada jarak terpendek antara 2 lokasi
2. Pilih lokasi dengan kondisi fondasi yang baik untuk penahan kepala jembatan
3. Kondisi tanah sebagai pendukung fondasi jembatan dan kedalaman dasar laut dapat menentukan lokasi penempatan pilat yang akan mempengaruhi juga pemilihan sistem konstruksi jembatan
4. Biaya pembuatan jembatan harus seoptimum mungkin
5. Mudah untuk proses pemasangan dan perawatan
6. Mudah diakses dan memberikan keuntungan untuk masyarakat yang akan menggunakannya
7. Kondisi kontur yang memungkinkan untuk membangun jembatan
8. Kondisi geologi

Aspek lokasi jembatan diatas dapat digambarkan *layout* seperti yang tertera Gambar 2.2 seperti berikut :



Gambar 2.2 *Layout* Eksisting Jembatan *Overpass*

2.3 Pembebanan Pada Jembatan

Pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban gempa.

2.3.1 Beban Mati (MS)

Beban mati pada perencanaan ini meliputi berat sendiri dari masing-masing elemen struktur dan berat mati tambahan seperti pelat lantai kendaraan dan aspal. Besarnya beban mati tersebut berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai berikut :

- Beton (f_c' < 35 Mpa) = 2320 kg/m^3
- Beton aspal = 2245 kg/m^3

2.3.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Untuk beban mati tambahan terdiri dari beban air hujan, beban aspal dan trotoar disajikan dalam tabel berikut **(SNI 1725:2016 pasal 7.1)**

Tabel 2.1 Beban Mati Tambahan Jembatan

No	Beban	Berat Jenis (Kg/m^3)
1	Aspal	2245
2	Genangan air	980
3	Trotoar	2320

2.3.3 Beban Terbagi Rata (BTR)

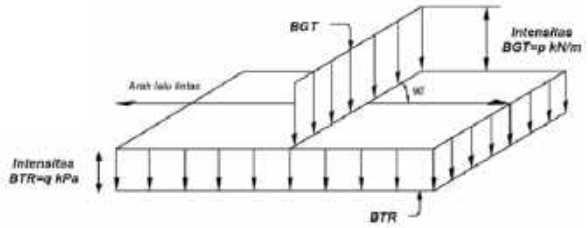
Pembebanan menurut SNI 1725:2016, untuk beban hidup BTR diambil sebagai fungsi terhadap panjang jembatan dimana besarnya beban hidup BTR yang diambil dapat direncanakan sebagai berikut:

- Untuk panjang jembatan (L) lebih kecil sama dengan 30 m maka besarnya beban hidup BTR dapat diambil sebesar 9 kPa.
- Untuk panjang bentang jembatan (L) lebih besar dari 30 m maka besarnya beban hidup BTR dapat diambil sebesar 9 (0.5+15/L) kPa

2.3.4 Beban Garis Terpusat (BGT)

Pembebanan menurut SNI 1725:2016, untuk beban hidup BGT ditempatkan tegak lurus terhadap lalu lintas pada jembatan dimana besarnya beban hidup BGT diambil sebesar 49 kN/m

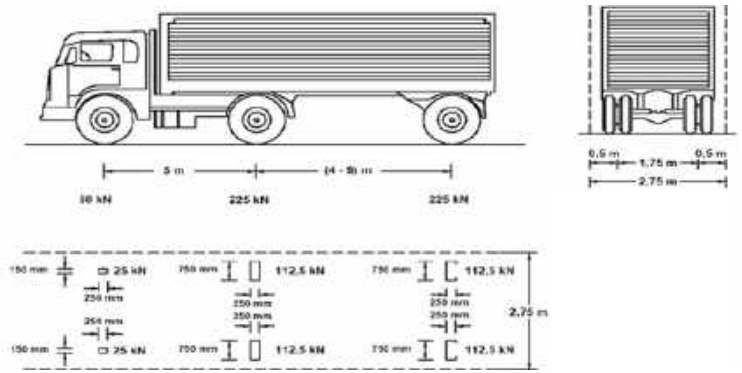
Berdasarkan SNI 1725:2016, ilustrasi pembebanan BTR dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3 Sketsa pembebanan BTR dan BGT (SNI 1725:2016)

2.3.5 Beban Hidup Truk (TT)

Pembebanan menurut SNI 1725:2016, untuk beban hidup truk dapat dilihat pada Gambar 2.4. Umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana.



Gambar 2.4 Ilustrasi Beban Hidup Truk (SNI 1725:2016**)**

2.3.6 Beban Angin (EWs)

Menurut SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1 Beban angin harus diasumsikan terdistribusikan secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Persamaan beban angin sebagai berikut :

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

Keterangan :

P_D : Tekanan angin rencana (Mpa)
P_B : Tekanan angin dasar (Mpa)
V_{DZ} : Kecepatan angin rencana (km/jam)
V_B : Kecepatan angin rencana 90 – 126 (km/jam)

Nilai dari tekanan angin dasar (P_B) diambil berdasarkan tabel pada SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1 antara lain :

Tabel 2.2 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	*Angin tekan* (Mpa)	*A*ngin *hisap* (Mpa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Adapun Nilai V_{DZ} didapatkan menggunakan rumus pada SNI 1725:2016 pasal 9.6.1 antara lain :

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

Dimana :

V_o = Kecepatan gesekan angin (lihat Tabel 2.3)
V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau air (km/jam)
Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau air dimana beban angin dihitung (Z > 10000 mm)
Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan (lihat Tabel 2.3)

Tabel 2.3 Nilai V_0 dan Z_0

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

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

2.3.7 Beban Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari : **(SNI 1725 2016 pasal 8.7)**

- 25% dari berat gandar truck desain
- 5% dari berat truck rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

2.3.8 Pengaruh Gempa

Besaran gaya gempa statik ekivalen merujuk pada persamanaan SNI 2833:2016 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Keterangan:

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)
C_{sm} = koefisien respons gempa elastik pada moda getar ke-m
R = faktor modifikasi respons
W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

1. Definisi Kelas Situs

Klasifikasi situs pada pasal ini ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil

penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI 2833:2016, pasal 5.3.1)

Tabel 2.4 Kelas Situs

Kelas Situs	$\overline{V}_s$ (m/s)	$\overline{N}$	$\overline{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\overline{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \overline{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \overline{V}_s \leq 750$	$\overline{N} > 50$	$\overline{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \overline{V}_s \leq 350$	$15 \leq \overline{N} \leq 50$	$50 \leq \overline{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\overline{V}_s < 175$	$\overline{N} < 15$	$\overline{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI > 20, 2. Kadar air (w) ≥ 40%, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\overline{S}_u < 25$ kPa		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m) - Plastisitas tinggi (ketebalan H > 7,5m dengan PI > 75) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan H > 35m		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

2. Faktor Situs

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6** memberikan nilai-nilai F_{PGA}, F_a, dan F_v untuk berbagai klasifikasi jenis tanah

Tabel 2.5 Faktor Amplifikasi PGA dan 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a)

Kelas situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

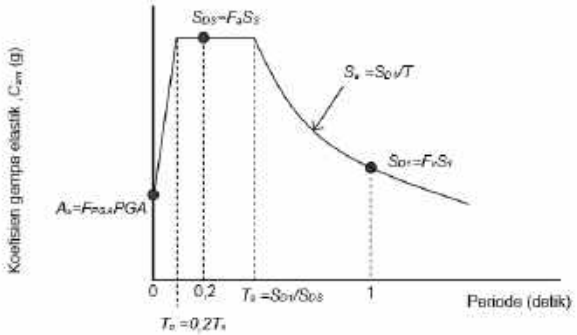
Tabel 2.6 Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v)

Kelas situs	PGA ≤ 0,1 $S_s \leq 0.25$	PGA = 0,2 $S_s = 0.5$	PGA = 0,3 $S_s = 0.75$	PGA = 0,4 $S_s = 1.0$	PGA > 0,5 $S_s \geq 1.25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

3. Respon Spektra Rencana

Respons spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum Untuk kebutuhan praktis, maka dibuat dalam bentuk respons spektra yang sudah disederhanakan (SNI 2833:2016). Adapun grafik respon spektrum digambarkan pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Bentuk tupikal respons spectra di permukaan tanah

4. Faktor Modifikasi Respon

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respon (R) sesuai pada **tabel 2.7** dan **tabel 2.8**

Tabel 2.7 Faktor Modifikasi Respon Untuk Bangunan Bawah

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton Bertulang			
Tiang vertical	1,5	2,0	3,0
Tiang Miring	1,5	1,5	2,0
Kolom Tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 2.8 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Hubungan Antar Elemen Struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala Jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

2.3.9 Koefisien Pembebanan

Koefisien pembebanan pada jembatan dimaksudkan agar perencanaan mencapai kondisi ultimate maka beban tersebut harus dikalikan dengan koefisien pembebanan ultimate. Koefisien pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016 dapat dilihat pada Tabel 2.9 sebagai berikut :

Tabel 2.9 Faktor Pembebanan Jembatan

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW_s	EW_L	BF	EU_n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : - γ_p dapat berupa $\gamma_{MS}, \gamma_{MA}, \gamma_{TA}, \gamma_{PR}, \gamma_{PL}, \gamma_{SH}$ tergantung beban yang ditinjau

- γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

2.3.10 Kombinasi Pembebanan

Komponen dan sambungan jembatan harus memenuhi persamaan kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut :

Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin.

Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditetukan pemilik tanpa mempergitungkan beban angin.

Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar

Kuat V : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin dengan kecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam

Eksterm I : Kombinasi pembebanan gempa. Fator hidup γ_{EQ} yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

Ekstrem II : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup terkurangi dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan atau tumbukan kapal.

Layan I : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan

operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin.

Layan II : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

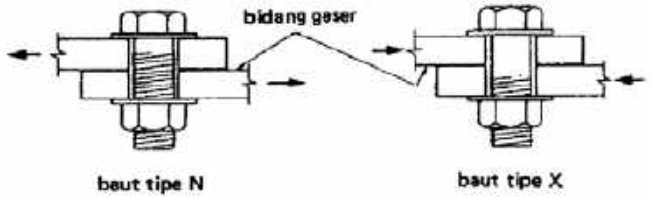
2.4 Sambungan

Struktur baja merupakan struktur yang terdiri dari komponen-komponen baja yang disambung bersama dengan beberapa metode. Metode yang digunakan ialah metode las, metode baut, metode paku keling atau gabungan antara kedua metode tersebut. Fungsi sambungan selain menyatukan komponen-komponen pada suatu struktur, juga berfungsi sebagai penyalur beban dari satu komponen ke komponen yang lain. (Marwan dan Isdarmanu, 2006). Berdasarkan SNI 1729:2015, Sambungan terdiri dari komponen-komponen sambungan yaitu:

1. Pelat pengisi
2. Pelat buhul
3. Pelat pendukung
4. Pelat penyambung
5. Alat pengencang (Baut dan Las)

2.4.1 Sambungan Baut

Baut adalah alat pengencang dengan batang bulat dan berulir. Salah satu ujungnya dibentuk kepala baut dengan bentuk kepala segi enam dan ujung lainnya dipasang pengunci (lihat Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Baut secara Umum

Terdapat dua jenis baut yang biasa digunakan pada konstruksi baja. Pertama

adalah baut biasa yang digunakan pada struktur ringan yang menahan beban statis atau untuk menyambung batang-batang sekunder. Jenis yang kedua adalah baut dengan mutu tinggi dengan pemasangan dikencangkan sedemikian rupa sehingga menahan suatu tekanan yang besar dan bisa menjepit dengan keras bagian-bagian struktur yang disambung (Anom dkk, 2000). Baut mutu tinggi memiliki gaya tarik minimum yang harus dicapai yang dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Pratarik Baut Minimum

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595
* Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan mendekati kN, seperti disyaratkan dalam spesifikasi untuk baut ASTM A325M dan A490M dengan ulir UNC.		

(*SNI 1729:2015 Tabel J3.1M*)

2.4.2 Sambungan Las

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

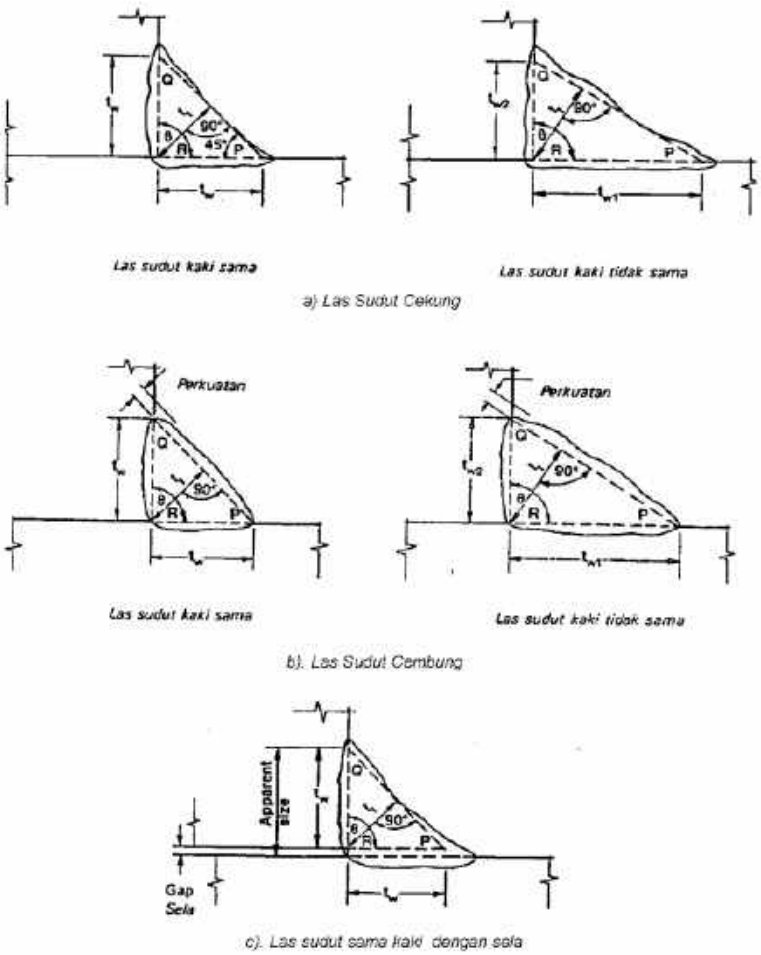
1. Las Tumpul

Las tumpul digunakan untuk menghubungkan ujung-ujung batang yang bidang permukaannya sama. Las ini biasanya dipakai untuk sambungan kolom, pada pangkal pertemuan gelagar ke kolom, dan pada sambungan dari flens girder pelat. (Anom dkk, 2000).

Ada beberapa bahan las yang dapat digunakan, antara lain FE60XX, FE70XX, FE80XX, FE90XX, FE100XX dan FE110XX. E adalah Elektrode, sedangkan 60–110 menunjukkan kekuatan tarik minimum dalam KSI (1ksi= 70.3 kg/cm2), serta digit xx menunjukkan tipe coatingnya (Marwan dan Isdarmanu 2006)

2. Las Sudut

Ukuran las sudut didefinisikan sebagai panjang sisi (kaki) dari segitiga yang terdapat pada penampang las (lihat Gambar 2.7). Pada umumnya, sisi-sisi segitiga las mempunyai panjang yang sama. Las dengan panjang sisi yang berbeda kurang efektif bila dibandingkan dengan panjang sisi yang sama. (Anom dkk, 2000)



Gambar 2.7 Ukuran Las Sudut

Ukuran minimum las sudut yang digunakan untuk memperkuat sambungan las ditentukan pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal Bagian Paling Tebal t mm	Ukuran Minimum Las Sudut t_w mm
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t \leq 20$	6
$20 < t \leq 40$	8
$40 < t \leq 60$	10
$60 < t \leq 70$	12

ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung ialah sebagai berikut:

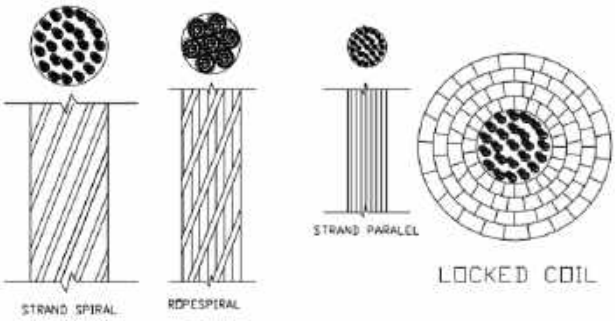
- Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6 mm, diambil setebal komponen.
- Untuk komponen dengan tebal 6 mm atau lebih, ukuran las harus diambil sebesar tebal bahan dikurangi 1 mm.

2.5 Cable Hanger

Kabel merupakan bahan atau material utama dalam struktur jembatan dengan kekuatan ultimate baja 120-150 kg/mm^2. Kabel dibuat dari kawat baja yang ditarik dalam keadaan dingin dan diberi lapisan seng yang berfungsi sebagai pelindung terhadap karat (Harwijono, 2007). Ada beberapa tipe kabel yang digunakan dalam struktur jembatan antara lain:

- Paralel-bar cables (kabel bentang parallel)
- Paralel-wire cacbles (kabel kawat parallel)
- Stranded cables (kabel strand)
- Locked-coil cables (kabel terbungkus coil)
- Rope parallel dan rope spiral

Salah satu gambar contoh dari kabel yang telah disebutkan dapat dilihat pada gambar 2.8.



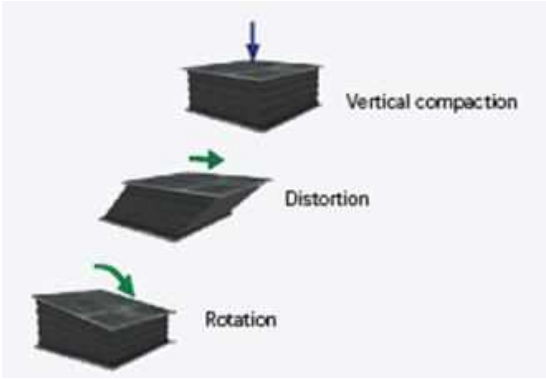
Gambar 2.8 Pratarik Baut Minimum

2.6 Perletakan

Perletakan ialah komponen jembatan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban bangunan atas ke bangunan bawah. Perletakan untuk jembatan dibedakan menjadi 3 tipe yaitu *Elastomeric Bearing*, *POT Bearing* dan *Spherical Bearing*.

2.6.1 Elastomic Bearing

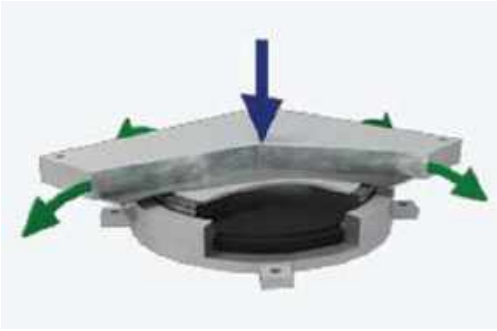
Elastomeric Bearing umumnya digunakan untuk menahan beban vertikal kurang dari 18000 kN. Kapasitas deformasi dari perletakan ini menentukan pergerakan yang diperbolehkan. Kapasitas tekan yang diizinkan akan berkurang seiring dengan bertambahnya pergerakan dari perletakan. Perletakan ini dibuat dari lapisan lapisan karet dan pelat baja. Bentuk dari *Elastomeric Bearing* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Elastomeric Bearings*
(*Sumber : Brosur Soletanche Freyssinet*)

2.6.2 POT *Bearing*

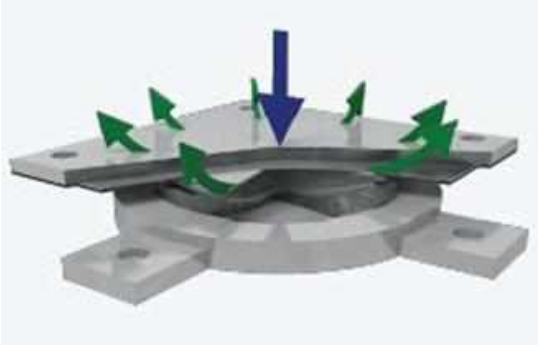
POT Bearing umumnya digunakan untuk menahan beban vertikal yang sangat besar. Perletakan ini dibuat dari *elastomeric disc* yang terletak di antara wadah baja dan dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan perletakan *elastomeric* sederhana. *POT* Bearing dibagi atas 3 tipe yaitu Fix, Free dan Guided. Bentuk dari *POT Bearing* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *POT Bearings*
(*Sumber : Brosur Soletanche Freyssinet*)

2.6.3 *Spherical Bearings*

Spherical Bearing dapat menerima beban vertikal dan rotasi yang besar. Perletakan ini tidak memiliki komponen *elastomeric* seperti *POT Bearing*. Rotasi yang diterima oleh perletakan ini terjadi pada permukaan *spherical* yang terbuat dari baja. *Spherical Bearing* dibagi atas 3 tipe yaitu Fix, Free dan Guided. Bentuk dari *Spherical Bearing* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



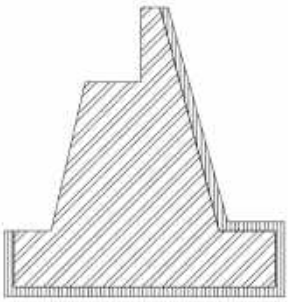
Gambar 2.11 *Spherical Bearings*
(*Sumber : Brosur Soletanche Freyssinet*)

2.7 *Abutment*

Kepala jembatan (abutment) merupakan bagian bawah bangunan jembatan yang memiliki tugas untuk memikul semua beban yang bekerja pada jembatan dan meneruskan beban yang dipikul jembatan menuju tanah dan diteruskan kepada pondasi.Selain beban-beban yang bekerja pada struktur atas, dalam merencanakan *abutment* perlu memperhitungkan kondisi lingkungan seperti gempa, scouring (gerusan), angin, dan penyebab lingkungan lainnya. Bentuk struktur umum *abutment* identik dengan struktur retaining wall (tembok penahan tanah), tetapi berbeda dari perencanaan beban yang bekerja diatasnya. Adapun jenis-jenis *abutment* terdiri beberapa tipe, antara lain:

2.7.1 *Abutment* Tipe Gravitasi

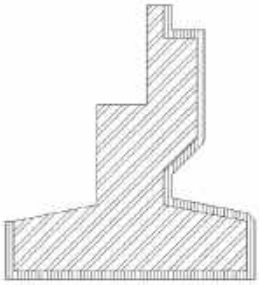
Beban yang diterima oleh tipe *abutment* ini ditahan oleh berat sendiri. *Abutment* ini sering digunakan pada jembatan dengan struktur yang tidak terlalu tinggi dan tanah pondasinya yang baik karena bentuknya sederhana dan dalam pelaksanaannya tidak begitu rumit,. Pada umumnya material yang digunakan terbuat dari batu kali atau beton (lihat Gambar 2.12). Biasanya *abutment* ini digunakan pada jembatan dengan bentang yang tidak terlalu panjang.



Gambar 2.12 *Abutment* Tipe Gravitasi

2.7.2 *Abutment* Tipe T Terbalik

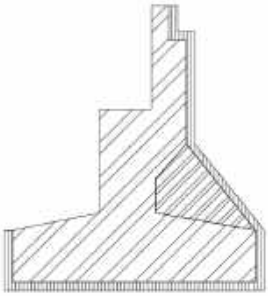
Abutment tipe ini merupakan tipe dinding penahan dengan balok kantilever (poer). Ketahanan *abutment* ini berasal dari berat sendiri serta berat tanah diatas pelat tumpuan poer. Dimana *abutment* ini terlihat lebih langsing dari pada *abutment* dengan tipe gravitasi (lihat Gambar 2.13). Pada umumnya *abutment* ini digunakan pada struktur yang lebih panjang dan berat serta material yang digunakan merupakan beton bertulang.



Gambar 2.13 *Abutment* Tipe T Terbalik

2.7.3 *Abutment* Tipe T Terbalik dengan Penopang

Abutment ini hampir sama dengan *abutment* tipe T terbalik, tetapi jenis ini diberi penopang pada sisi belakang dinding *abutment* (counterfort) yang bertujuan untuk memperkecil gaya yang berkerja pada dinding dan pada tumpuan. *Abutment* ini biasanya digunakan untuk konstruksi dengan struktur yang lebih panjang dan berat serta material yang digunakan merupakan beton bertulang (lihat Gambar 2.14).

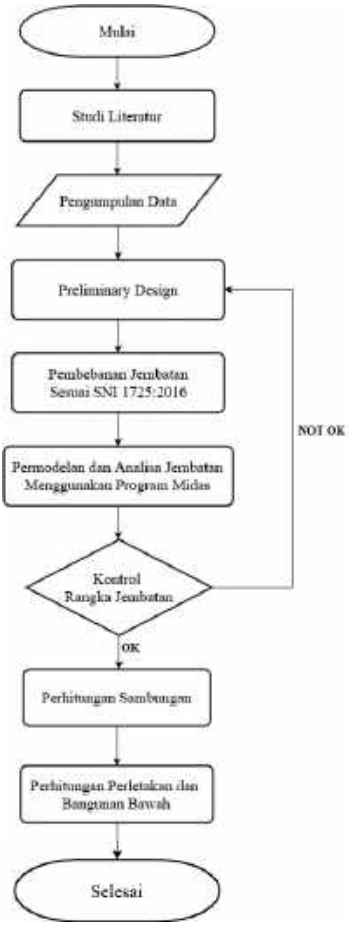


Gambar 2.14 *Abutment* Tipe T Terbalik dengan Penopang

BAB III
METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Prosedur dalam mengerjakan Tugas Akhir perencanaan jembatan ini digambarkan dalam diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Adapun rincian dari diagram alir yang telah disebutkan adalah sebagai berikut :

3.2.1 Studi Literatur

Dalam studi literatur penulis menggunakan beberapa referensi terkait, berupa jurnal, modul kuliah, buku, peraturan, maupun artikel di internet antara lain :

a. Bridges Management System (BMS) 1992
b. SNI 1729:2015 (Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural)
c. SNI 1725:2016 (Pembebanan untuk Jembatan)
d. SNI 2847:2013 (Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung)
e. SNI 2833:2016 (Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)

3.2.2 Pengumpulan Data

Data perencanaan yang dibutuhkan adalah:

- Bentang jembatan : 144 m
- Lebar jembatan : 27,2 m
- Lokasi jembatan : Jalan tol Pasuruan-Probolinggo STA 29+325 Leces Probolinggo

3.2.3 Preliminary Desain

1. Mutu Bahan

- Mutu beton plat (f_c') : 40 MPa
- Mutu baja tulangan pelat (f_y) : 390 MPa
- Struktur utama : JIS G3101 (SS490)
  - Tegangan Leleh Minimum (f_y) : 285 MPa
  - Tegangan Putus Minimum ($f_{u)}$: 490 MPa
  - Sambungan Baut : ASTM A325 dan ASTM A490

2. Tebal Pelat Lantai Kendaraan

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

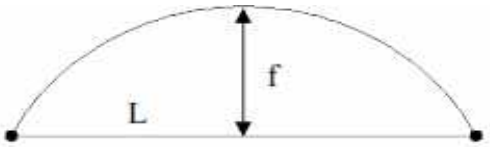
$t_s \geq 200$ mm dan $t_s \geq 100 + 4L$

3. Dimensi Busur

- Tinggi Busur
  Menentukan tinggi busur menggunakan syarat berdasarkaan Steen (1939) yang dijelaskan pada Gambar 3.2 sebagai berikut :

  $$\text{Syarat : } \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$$

  Keterangan :



Gambar 3.2 Menentukan Tinggi Busur

  - f : tinggi busur
  - L : bentang busur

- Panjang Penggantung Busur
  Penentuan panjang penggantung busur dilakukan menggunakan persamaan sumbu geometrik busur dengan rumus sebagai berikut :

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

  Keterangan :
  f : tinggi busur
  x : jarak antara ujung busur dengan letak penggantung busur
  L : bentang busur

4. Kabel (*Wire Rope)*

Kabel yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini adalah kabel dengan rope spiral. Kabel rope adalah himpunan dari beberapa kabel yang dipelintir menjadi heliks membetuk tali komposit seperti pada gambar 3.3. Material yang dipakai untuk penggantung adalah baja ulir

(threadbars) dari perusahaan PFEIEFER Tension Member dengan spesifikasi pada tabel 3.1 di bawah ini.

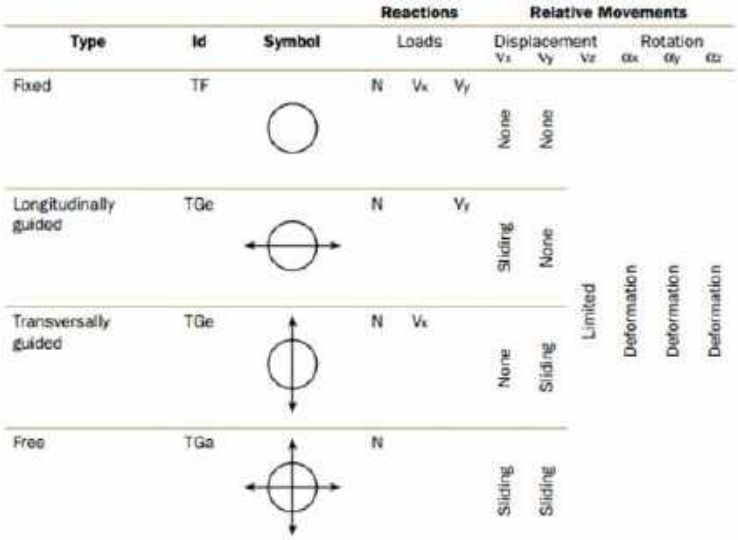
Tabel 3.1 Spesifikasi Kabel Rope

size	charact. breaking load $F_{R,k}$ DIN 18800* kN	limit tension $Z_{m,d}$ DIN 18800 kN	metallic cross section ca. / approx. mm	weight* ca. / approx. kg	construction **	nomin. strand dia. d_s mm
PV 48	405	245	281	2,4	WS-1	21
PV 66	621	376	430	3,6	WS-1	26
PV 90	916	555	634	5,3	WS-2	31
PV 115	1170	709	808	6,8	WS-2	35
PV 150	1520	921	1060	8,9	WS-2	40
PV 195	1930	1170	1340	11,2	WS-2	45
PV 240	2380	1442	1650	13,8	WS-2	50
PV 300	3020	1830	2090	17,2	WS-3	55
PV 360	3580	2170	2490	20,5	WS-3	60
PV 420	4220	2558	2920	24,1	WS-3	65
PV 490	4890	2964	3390	27,9	WS-3	70
PV 560	5620	3406	3890	32,1	WS-3	75
PV 640	6390	3873	4420	36,4	WS-3	80
PV 720	7210	4370	4980	41,1	WS-3	85
PV 810	8090	4903	5600	46,2	WS-3	90
PV 910	9110	5521	6310	52,0	WS-3	95
PV 1010	10100	6121	6990	57,6	WS-3	100
PV 1110	11100	6727	7710	63,5	WS-3	105
PV 1220	12200	7394	8480	69,7	WS-3	110
PV 1340	13400	8121	9340	76,2	WS-3	115
PV 1450	14500	8788	10100	83,2	WS-3	120
PV 1580	15800	9576	10900	89,8	WS-3	125
PV 1730	17300	10485	11900	96,7	WS-3	130
PV 1860	18600	11273	12900	104,8	WS-3	135
PV 2000	20000	12121	13900	112,9	WS-3	140

5. Perletakan *(Pot Bearing)*

Pot bearing digunakan sebagai perletakan untuk konstruksi yang memiliki beban tinggi, pergeseran yang besar dan rotasi yang tinggi. Hal ini dikasrenakan pot bearing dapan mengatasi beban vertikal yang cukup besar serta hanya mebutuhkan sedikit ruang. Adapun pot bearing yang digunakan dalam perencanaan ini adalah struktur yang terdiri dari lapisan baja menumpu pada cakram elastomer yang "terkurung" dalam pot atau silinder baja. Adapun reaksi pergerakan dari *pot bearing* digambarkan pada gambar 3.3.

Gambar 3.3 Reaksi Perletakan Tipe *Pot Bearing*



Model perletakan jembatan ini direncanakan menggunakan sistem struktur statis tertentu seperti pada gambar 3.5 dimana pada sisi kiri jembatan digunakan perletakan sendi (longitudinal guided) dan pada pada sisi kanan menggunakan perletakan rol (free).

Gambar 3.4 Model Perletakan jembatan

3.2.4 Pembebanan Jembatan

Pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban gempa.

1. Beban Mati (MS)

Beban mati pada perencanaan ini meliputi berat sendiri dari masing – masing elemen struktur dan berat mati tambahan seperti pelat lantai kendaraan dan aspal. Besarnya beban mati tersebut berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai berikut :

- Beton (f_c' < 35 Mpa) = 2320 kg/m^3
- Beton aspal = 2245 kg/m^3

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Untuk beban mati tambahan terdiri dari beban air hujan, beban aspal dan trotoar disajikan dalam tabel berikut **(SNI 1725 2016 pasal 7.1)**

Tabel 3.2 Beban Mati Tambahan Jembatan

No	Beban	Berat Jenis (Kg/m^3)
1	Aspal	2245
2	Genangan air	980

3. Beban Terbagi Rata (BTR)

Pembebanan menurut SNI 1725:2016, untuk beban hidup BTR diambil sebagai fungsi terhadap panjang jembatan dimana besarnya beban hidup BTR yang diambil dapat direncanakan sebagai berikut :

- Untuk panjang jembatan (L) lebih kecil sama dengan 30 m maka besarnya beban hidup BTR dapat diambil sebesar 9 kPa.
- Untuk panjang bentang jembatan (L) lebih besar dari 30 m maka besarnya beban hidup BTR dapat diambil sebesar 9 (0.5+15/L) kPa

4. Beban Garis Terpusat (BGT)

Pembebanan menurut SNI 1725:2016, untuk beban hidup BGT ditempatkan tegak lurus terhadap lalu lintas pada jembatan dimana besarnya beban hidup BGT diambil sebesar 49 kN/m.

5. Beban Hidup Pejalan Kaki (TP)

Beban pejalan kaki direncanakan memikul beban 5 kPa per m^2 **(**SNI **1725 2016 pasal 8.9)**

6. Beban Hidup Truk (TT)

Pembebanan menurut SNI 1725:2016 pasal 8.4.1, untuk beban hidup truk diambil sebesar satu T = 500 kN di setiap lajur.

7. Beban Angin (EWs)

Menurut SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1 Beban angin dihitung menggunakan rumus :

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

Keterangan :

P_D = Tekanan angin rencana (Mpa)
P_B = Tekanan angin dasar (Mpa)
V_{DZ} = Kecepatan angin rencana (km/jam)
V_B = Kecepatan angin rencana 90 – 126 (km/jam)

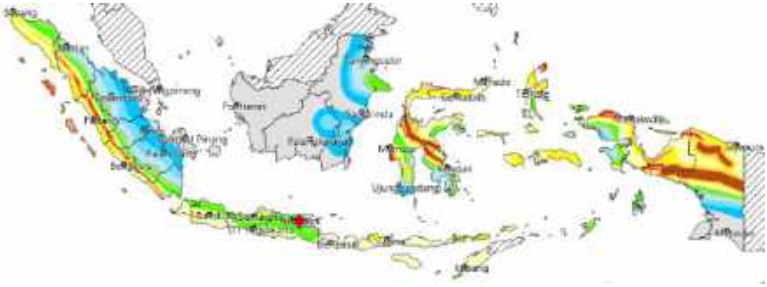
8. Beban Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari **(SNI 1725:2016 pasal 8.7)**

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

9. Beban Gempa

Analisa Kelas Situs Tanah dan Respon Spektrum



Gambar 3.5 Peta Respon Desain Spektrum
(sumber : www.petagempa.pusjatan.pu.go.id)

Tabel 3.3 Data Tanah

Kedalaman (m)			Tebal (m) (di)	Tipe tanah	Konsistensi	V_i	d_i/V_i
0	-	2	2.00	Lempung berlanau	Medium stiff	6	0.33
2	-	4	2.00	Lanau berlempung	Medium stiff	62	0.03
4	-	6	2.00	Lanau	Hard	60	0.03
6	-	8	2.00			52	0.03
8	-	1	2.00	Pasir berlanau	Dense	50	0.04
10	-	12.5	2.50			53	0.04
12.5	-	15	2.50	Pasir kasar	Dense	60	0.04
15	-	18	3.00			60	0.05
18	-	21	3.00	Pasir kerikil	Very dense	60	0.05
21	-	25	4.00			60	0.06
TOTAL			25.00	TOTAL			0.73

Berdasarkan data tanah di atas nilai total d_i/V_i adalah 0,7329 sehingga didapatkan nilai N = $\frac{25}{0.73} = 34{,}11$

Kelas Situs : SD (nilai $15 \leq N \leq 50$) (lihat tabel 3.2)
Lokasi : Kecamatan Leces Kab. Probolinggo
Faktor Situs : PGA = 0,256 F_A = 1,4
S_S = 0,514 F_V = 2,0
S_1 = 0,209
Analisa Respon Spektrum
S_{DS} = F_A x S_S = 0,714
S_{D1} = F_V x S_1 = 0,414
T_0 = 0,116 detik T_1= 0,58 detik

- Faktor modifikasi respon
  Sistem struktur jembatan terhadap beban gempa diatur dalam SNI 2833:2016 tabel 6. Pada tugas akhir ini bangunan bawah dari jembatan dikategorikan sebagai tiang baja dan komposit dengan posisi vertikal. Berdasarkan SNI 2833:2016 pasal 5.5 tentang klasifikasi operasional, jembatan ini dikategorikan sebagai jembatan penting karena dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan atau pertahanan beberapa hari setelah mengalami gempa rencana dengan periode ulang 1000 tahun. Maka nilai dari faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah sebesar 1,5 sesuai pada tabel 3.4 dibawah ini

Tabel 3.4 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Bangunan Bawah

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton Bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang Miring	1,5	1,5	2,0
Kolom Tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

(SNI 2833:2016 Tabel 6)

Apabila ditinjau dari segi hubungan elemen struktur, nilai faktor modifikasi respon jembatan ini diambil sebesar 0,8 berdasarkan table 3.5 dibawah ini:

Tabel 3.5 Fakteor Modifikasi Respon (R) untuk Hubungan Antar Elemen Struktur

Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala Jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

(SNI 2833:2016 Tabel 7)

10. Koefisien Pembebanan

Koefisien pembebanan pada jembatan dimaksudkan agar **perencanaan** mencapai kondisi ultimate maka beban tersebut harus dikalikan dengan koefisien pembebanan ultimate. Koefisien pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016 dapat dilihat sebagai berikut:

- Koefisien beban truk γ^{U}_{TT} = 2
- Koefisien beban BTR dan BGT γ^{U}_{TD} = 2
- Koefisien berat material beton γ^{U}_{MS} = 1.3
- Koefisien berat material baja γ^{U}_{MS} = 1.1

11. Kombinasi Pembebanan

Untuk beban yang bekerja sesuai beban yang disebutkan diatas, berdasar SNI 1725 2016 tabel kombinasi pembebanan terdiri dari:

Kuat 1	= 1,1 MS + 2 MA + 1,8 TD + 1,8 TP + 1,8 TT + 1,8 TB
Kuat 2	= 1,1 MS + 2 MA + 1,4 TD + 1,4 TP + 1,4 TT + 1,4 TB
Kuat 3	= 1,1 MS + 2 MA + 1,4 EWs
Kuat 4	= 1,1 MS + 2 MA
Kuat 5	= 1,1 MS + 2 MA + 0,4 EWs
Ekstrem1	= 1,1 MS + 2 MA + γ_{EQ} TD + γ_{EQ} TP + γ_{EQ} TT + γ_{EQ} TB
Ekstrem2	= 1,1 MS + 2 MA + 0,5 TD + 0,5 TP + 0,5 TT + 0,5 TB
Daya Layan 1	= 1 MS + 1 MA + 1 TD + 1 TP + 1 TT + 1 TB + 1 EWs
Daya Layan 2	= 1 MS + 1 MA + 1,3 TD + 1,3 TP + 1,3 TT + 1,3 TB

3.2.5 Permodelan dan Analisa Struktur Utama Menggunakan Program Midas

Metode ini dilakukan dengan cara memodelkan struktur utama jembatan pelengkung serta memasukkan kombinasi

pembebanan untuk dianalisa pada program *Midas Civil*. Analisa digunakan untuk mencari kapasitas kekuatan profil jembatan serta lendutan yang terjadi agar dapat dinilai bahwa jembatan tersebut layak atau tidak. Dalam tingkat lanjut dari analisa tersebut dapat dicari pemilihan profil jembatan agar dapat menghemat biaya yang digunakan.

3.2.6 Kontrol Gaya Dalam Rangka Jembatan

1. Kontrol Kapasitas Tarik

Batas Kekuatan berdasarkan SNI 1729:2015 pasal D2 dan D3 adalah:

$$P_u \leq \emptyset_t P_n \qquad \emptyset_t = 0{,}9$$

Nilai P_n diambil sebagai nilai terendah dari beberapa persamaan di bawah ini:

Kontrol leleh : $P_u \leq \emptyset_t F_y A_g \quad \emptyset_t = 0{,}75$ (3.3)

Kontrol putus : $P_u \leq \emptyset_t F_u A_e \quad \emptyset_t = 0{,}75$ (3.4)

$A_e = A_n U$

Dimana

P_u : Gaya tarik maksimal terfaktor (N)
F_y : Tegangan leleh (MPa)
F_u : Tegangan tarik putus (MPa)
A_g : Luas penampang bruto (mm^2)
A_e : Luas penampang efektif (mm^2)
A_n : Luas netto (mm^2)
U : Faktor *shear lag*

2. Kontrol Kapasitas Tekan

Batas Kekuatan berdasarkan SNI 1729:2015 pasal E1, E2, dan E3 adalah :

$$P_u \leq \emptyset_c P_n \qquad \emptyset_c = 0{,}9 \qquad (3.5)$$

$$P_n = F_{cr} A_g \qquad (3.6)$$

$$F_{cr} = (0{,}658)^{\frac{F_y}{F_e}} \quad Jika \quad \frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad (3.7)$$

$$F_{cr} = 0{,}877\, F_e \quad Jika \quad \frac{KL}{r} > 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad (3.8)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (3.9)$$

Dimana

P_u : Gaya tekan maksimal terfaktor (N)
P_n : Kuat tekan nominal (N)
F_{cr} : Tegangan kritis
F_y : Tegangan leleh (MPa)
F_e : Tegangan tekuk kritis elastis (MPa)
K : Faktor panjang efektif
L : Panjang tanpa dibreising lateral dari komponen struktur
r : Radius girasi
E : Modulus elastisitas bahan baja (Mpa)

3. Kontrol Kapasitas Lentur

Menentukan kuat lentur desain komponen struktur menurut SNI 1729:2015 pasal F1 adalah sebagai berikut :

$$M_u \leq \emptyset_b M_n \qquad \emptyset_b = 0{,}9 \quad (3.10)$$

Ketentuan dalam pasal ini terdapat 2 nilai kekuatan lentur nominal, dimana nilai yang harus diambil adalah nilai yang terendah.

A. Pelehan (SNI 1729:2015 Pasal F2-1)

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (3.11)$$

Keterangan:
F_y = Tegangan leleh Minimum (MPa)
Z_x = Modulus penampang plastis sumbu x (mm^3)

B. Tekuk Torsi-Lateral (SNI 1729:2015 Pasal F2-2)

- Jika $L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk torsi-lateral tidak boleh digunakan.
- Jika $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - \left(M_p - 0{,}7\, F_y S_x\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq M_p \quad (3.12)$$

- Jika $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x = M_p \quad (3.13)$$

Keterangan :

L_b = Panjang antara titik-titik, baik yang dibreising melawan perpindahan lateral sayap tekan atau melawan punter penampang melintang (mm)

Faktor pengali momen (C_b) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max}+3M_A+4M_B+3M_C} \leq 2.3 \quad (3.14)$$

Dimana:

Mn = Momen nominal lentur (Nmm)
M_p = Momen plastis (Nmm)
E = Modulud elastis baja (MPa)
r_y = Jari-jari girasi pada sumbu-y (mm)
L_r = Batas atas panjang bentang untuk pengekang lateral
L_p = Batas bawah bentang untuk pengekan lateral

3.2.7 Perhitungan Sambungan

1. Kekuatan Sambungan

Adapun rumus untuk menentukan kuat gaya sambungan ditentukan dalam SNI 1729:2015 pasal J4 yang terdiri dari beberapa poin antara lain :

- Kuat Rencana Geser

  Vn = μ . Du . hf . Tb . ns

  Dengan:

  μ adalah koefisien slip rata-rata untuk permukaan kelas A atau B
  D_u adalah suatu pengali yang mencerminkan rasio rata-rata pratarik baut terpasang terhadap pratarik baut minimum yang disyaratkan.
  h_f adalah Faktor Pengisi
  T_b adalah gaya tarik minimum
  N_s jumlah bidang slip yang diperlukan untuk mengizinkan sambungan dengan slip

- Kuat Rencana Tarik

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

  dengan,

  T_u adalah gaya tarik yang diperlukan (kN)

  n_b adalah jumlah baut yang menahan gaya tarik yang diterapkan

2. Jumlah Baut

Adapun perhitungan jumlah baut adalah:

$$n = \frac{Vu}{\emptyset V_n} \quad (3.16)$$

dimana:

n = Jumlah Baut

V_u = Gaya beban maksimum

$\emptyset V_n$ = Kuat rencana baut

3. Jarak Spasi Minimum

Jarak antara pusat-pusat standar, ukuran berlebih, atau lubang-lubnag slot tidak boleh kurang dari $2\frac{2}{3}$ kali diameter nominal. Suatu jarak dengan nilai 3 kali diameter lebih disukai (SNI 1729:2015 Pasal J3-3).

3.2.8 Perencanaan Perletakan Jembatan

Untuk perencanaan ini dipilih perletakan tipe Pot Bearing, yaitu struktur yang terdiri dari piston baja menumpu pada cakram elastomer yang "terkurung" dalam pot/ silinder baja

3.2.9 Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

Merencanakan dimensi elemen struktur bawah jembatan yang mencakup abutment dan pondasi dengan data tanah yang telah tersedia.

3.2.10 Gambar Hasil Desain

Hasil perencanaan jembatan yang sudah dianalisa akan dituangkan ke dalam gambar struktur melalui program bantu AutoCAD.

"*Halaman ini sengaja dikosongkan"*.

BAB IV
PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

4.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan panjang 8 m dengan lebar 2,75 m. berdasarkan SNI 1725:2016, persyaratan tebal pelat (d3) dan tebal aspal (d4) dapat dihitung dengan perumusan di bawah ini:

Ditentukan jarak antar balok memanjang (b1) = 2,75 m

$d3 \geq 100 + 40\ b1$ atau $d3 \geq 200$ mm

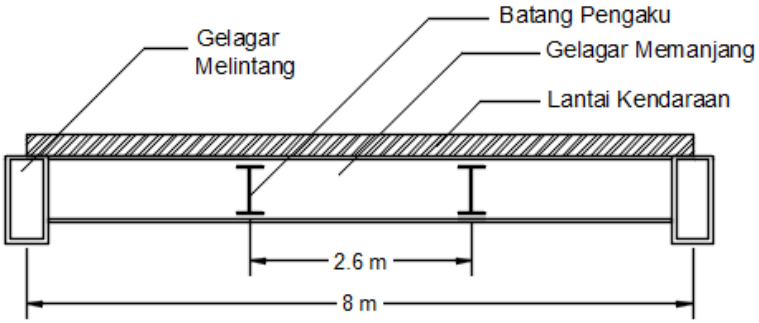
$d3 \geq 100 + 40\ (2{,}75)$

$d3 \geq 210$ mm

Berdasarkan syarat diatas maka tebal pelat lantai kendaraan diambil sebesar 250 mm, sedangkan untuk perencanaan tebal aspal berdasaarkan RSNI T-12-2004 dirumuskan sebagai berikut:

$d4 \geq 5 - 8$ cm

dari syarat di atas maka tebal aspal diambil sebesar 80 mm



Gambar 4.1 Pelat Lantai Kendaraan

4.1.1 Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Pembebanan pelat lantai kendaraan direncakan sesuai dengan SNI 1725:2016 dengan faktor beban $yu^{MS} = 1{,}3$ (beton cor di tempat) dan beban truk $yu^{TD} = 2$. Pada perencanaan pelat lantai

kendaraan akan dihitung dengan asumsi per-meter panjang dengan perhitungan pembebanan detail sebagai berikut:

- Perhitungan beban mati:
  Berat sendiri pelat = d3 x beton x 1 m x γu^{MS}
  = 0,25 m x 24 kN/m^3 x 1 m x 1,3
  = 7,8 kN/m
  Berat sendiri aspal = d4 x aspal x 1 m
  = 0,08 m x 22 kN/m^3 x 1 m
  = 1,76 kN/m
  q_{mati} = berat sendiri pelat + berat aspal
  = 7,8 kN/m + 1,76 kN/m
  = 9,56 kN/m
- Perhitungan beban hidup:
  Beban roda truk = 112,5 kN, dengan faktor beban dinamis (FBD) sebesar 0,3 (SNI 1725:2016 pasal 8.6)
  T_{FBD} = (1 + 0,3) x 112,5
  = 146,25 kN
  Beban hidup *ultimate* (truk)
  T_U = $\gamma_U{}^{TT}$ T_{FBD}
  = 2 x 146,25
  = 292,5 kN

4.1.2 Perhitungan Momen Arah Melintang

Perhitungan momen arah melintang akibat beban mati dan beban hidup berupa beban truk dapat dilihat sebagai berikut:

- Perhitungan momen akibat beban mati:
  $M_D = \frac{1}{10} \times q_{mati} \times b1^2$
  $= \frac{1}{10} \times 9{,}56 \text{ kN/m} \times (2{,}75 \text{ m})^2$
  = 7,23 kNm
- Perhitungan momen akibat beban hidup
  $M_L = 0{,}8 \times \frac{S + 0{,}6}{10} \times T_U$, dimana S = b1
  $= 0{,}8 \times \frac{2{,}75 + 0{,}6}{10} \times 292{,}25$ = 78,39 kNm

- Momen total

  M_u = 7,23 + 78,39

  = 85,62 kNm

4.1.3 Perhitungan Penulangan Lentur Lantai kendaraan

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut ini adalah perencanaannya (SNI 2847:2013)

- Tipe Pelat

  $\frac{l_y}{l_x} = \frac{8}{2,75}$ = 2,91 > 2 (pelat satu arah)

- Data Perencanaan

  Mutu beton (f'_c) = 40 MPa

  Mutu baja (f_y) = 390 MPa

  Tebal Pelat (d3) = 250 mm

  Selimut beton (cover) = 40 mm

  Tulangan lentur arah x (dl_x) = D16 mm

  Tulangan susut (dl_s) = D12 mm

  Tinggi efektif x (d) = $d3 - \text{cover} - \frac{dl_x}{2}$

  = 202 mm

- Beban

  M_{ux} = 85,62 kNm = 85.620.000 Nmm

- Bentang

  L_x = 2,75 m

- Perhitungan Penulangan Arah x

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

  dimana Ø = 0,8 (RSNI T-12-2004 Pasal 4.5.2)

  = $\frac{85620000}{0,8}$

  = 107.024.688 nmm

  ρ_{max} = 0,025 (SNI 2847:2013 Ps. 21.5.2.1)

  ρ_{min} = $\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y}$

$= \frac{0{,}25\sqrt{35}}{390}$

$= 0{,}00379$

$R_n = \frac{M_n}{bd^2}$

$= \frac{107024688}{1000 \times 202^2} = 3{,}5$

$\rho_{perlu} = \frac{0{,}85\, f'_c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\, R_n}{0{,}85\, f'_c}}\right)$

$= \frac{0{,}85 \times 40}{390}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3{,}5}{0{,}85 \times 40}}\right)$

$= 0{,}00948$

$A_{s\ perlu} = p_{perlu} \times b \times d$

$= 0{,}00948 \times 1000 \times 202$

$= 1915{,}55\ mm^2$

$S_{\ pakai} = \frac{1000}{A_{s\,perlu} / A_{Tulangan}}$

$= \frac{1000}{1915{,}55 / 201{,}06}$

$= 104{,}96\ mm$

$S_{pakai} = 100\ mm$

Dari hasil analisa perhitungan penulangan diatas didapatkan bahwa kebutuhan penulangan arah x (bentang pendek) adalah D16-100.

- Tulangan Memanjang arah y

  Untuk penulangan susut dipakai ketentuan sebagai berikut, Direncanakan tulangan Ø10 ($A_s = 78{,}54\ mm^2$)

  $A_{s\ pakai} = 0{,}0018\ b\ d$

  $= 0{,}0018 \times 1000 \times 202$

  $= 363{,}6\ mm^2$

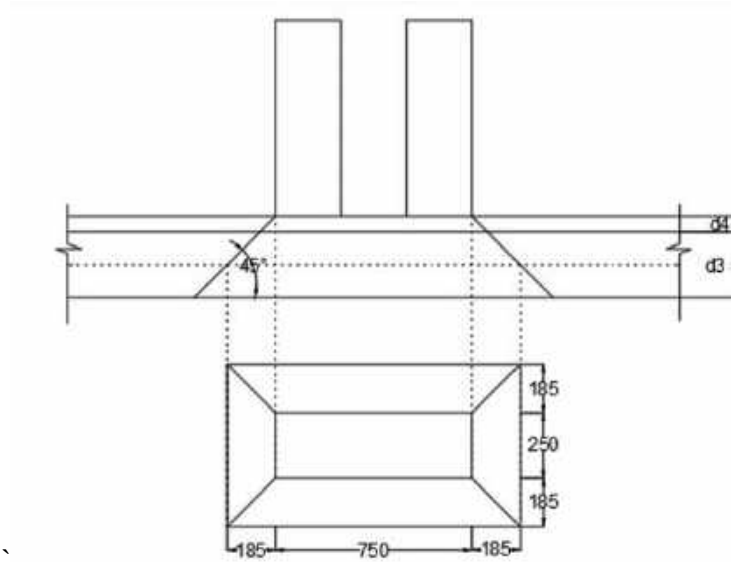
  $S_{perlu} = \frac{1000}{A_{s\,pakai} / A_{Tulangan}}$

$$= \frac{1000}{363{,}6/78{,}54} = 216{,}01 \text{ mm}$$

S_{pasang} = 200 mm

Sehingga kebutuhan penulangan susut menggunakan Ø10-200.

4.1.4 Kontrol Penulangan Geser *Pons* Pelat Lantai Kendaraan



`

Gambar 4.2 Ilustrasi Geser *Pons* Pada Lantai Kendaraan

Perhitungan penulangan geser *pons* untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan roda truk, sedangkan untuk kemiringan sudut geser *pons* diambil sebesar 45˚, d3 adalah pelat lantai setebal 25 cm. Analisa penulangan geser pelat dihitung sebagai berikut:

b_0 = 75 + (2 × d3/2) = 75 + (2 × 25/2) = 100 cm

d_0 = 25 + (2 × d3/2) = 25 + (2 × 25/2) = 50 cm

- Luas Bidang kritis (A_K)

  A_K $= 2 \times (b_0 + d_0) \times d3$

  $= 2 \times (100 + 50) \times 25$

  $= 7500\ cm^2$

- Kemampuan Geser

  ϕV_n $= \phi\ A \frac{\sqrt{fc'}}{6}$

  $= 0{,}6 \times 750000 \times \frac{\sqrt{40}}{6}$

  $= 474341{,}65\ N = 474{,}3\ kN$

- Kekuatan Geser Akibat Truk

  V_u $= \gamma_U{}^{TD} \times T \times (1 + FBD)$

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

  $= 292{,}5\ kN$

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

4.2 Perencanaan Gelagar Memanjang Jembatan

Untuk perencanaan balok memanjang menggunakan baja dengan mutu JIS G3101 SS490, dengan ketentuan sebagai berikut:

Tegangan leleh (F_y) = 285 MPa
Tegangan Putus (F_U) = 490 MPa
Modulus Elastisitas (E) = 200.000 MPa

Untuk perencanaan gelagar memanjang dipilih profil WF 800×300×16×30 sebagai berikut:

A = 307.6 cm^2	tw = 16 mm	I_X = 339000 cm^4
W = 241 kg/m	r = 28 mm	I_Y = 13800 cm^4
d = 808 mm	Z_X = 9287 cm^3	I_x = 33,2 cm
b = 302 mm	Z_Y = 1416 cm^3	i_y = 6,7 cm
tf = 30 mm	h = d – 2(tf–r) = 692 mm	

4.2.1 Pembebanan Gelagar Memanjang Jembatan

Pembebanan pada gelagar memanjang mengacu pada SNI 1725:2016, adapu rincian pembebanan adalah:

- Beban Mati

  Pelat = d3 × γ beton × b1 × γu^{MS}
  = 0,25 m × 2400 kg/m^3 × 2,75 m × 1,3
  = 2145 kg/m

  Aspal = d4 × γ aspal × b1 × γu^{MS}
  = 0,08 m × 2200 kg/m^3 × 2,75 m × 1,3
  = 629,2 kg/m

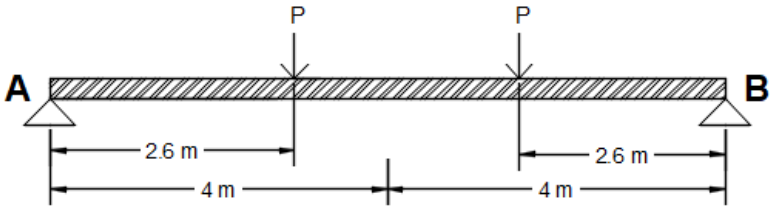
  Bekisting = bekisting × b1
  = 10,1 kg/m^2 × b1
  = 27,775 kg/m

  Profil = W_{Profil} × γu^{MS}
  = 241 × 1,1
  = 265,1 kg/m

  $Q_{D(U)}$ = q beton + q aspal + q bondex + berat profil
  = 2145 + 629,2 + 27,775 + 265,1
  = 3067,1 kg/m

  Dipasang pengaku WF 300×150×8×13 dengan jarak 1/3 dari bentang gelagar memanjang.

  Pengaku = W_{Profil} × γu^{MS} × b1
  = 32 × 1,1 × 2,75



= 96.8 kg

Gambar 4.3 Ilustrasi Beban Mati Pada Gelagar Memanjang

Ra $= \frac{2P + Q_D\, L}{2}$

$= \frac{2 \times 96{,}8 + 3067.1 \times 8}{2}$

$= 12365{,}1$ kg

$M_D = (Ra \times \frac{L}{2}) - (\frac{1}{8} \times Q_{D(U)} \times L^2) - (P \times \frac{L}{6})$

$= (12365{,}1 \times \frac{8}{2}) - (\frac{1}{8} \times 3067{,}1 \times 8^2) - (96{,}8 \times \frac{8}{6})$

$= 24794{,}8$ kgm

- Beban Hidup

Beban terbagi rata (BTR) → L = 8 maka q = 9 kPa = 900 kg/m^2

$Q_L = q \times b1 \times \gamma u^{TD}$

$= 900$ kg/m$^2 \times 2{,}75$ m $\times 2$

$= 4950$ kg/m

Beban garis terpusat (BGT) → p = 49 kN/m = 4900 kg/m

$P_1 = (1+FBD) \times p \times b1 \times \gamma u^{TD}$

$= (1+0{,}4) \times 4900$kg/m $\times 2{,}75$m $\times 2$

$= 40425$ kg

Momen akibat beban hidup

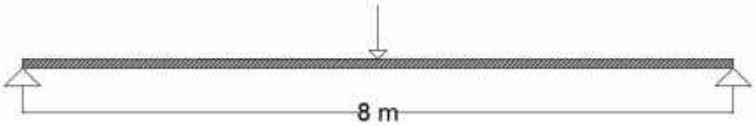
$M_{L1} = (\frac{1}{8} \times Q_L \times \lambda^2) + (\frac{1}{4} \times P_1 \times \lambda)$

$= (\frac{1}{8} \times 4950 \times 8^2) + (\frac{1}{4} \times 40425 \times 8)$

$= 120450$ kgm

- Beban Truk "T"

Beban truk "T" → T = 112,5 kN = 11250 kg, pada SNI 1725:2016 faktor beban dinamis (FBD) diambil sebesar 30%.

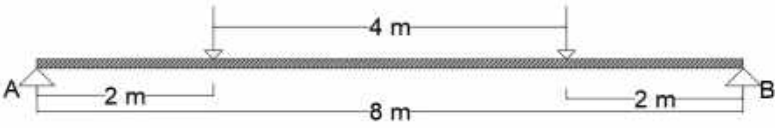


Gambar 4.4 Permodelan 1 Beban Truk Pada Gelagar Melintang

M_{L2} $= T \times (1+FBD) \times \frac{1}{4} \times \lambda \times \gamma u^{TT}$

$= 11250 \times (1+0,3) \times \frac{1}{4} \times 8 \times 2$

$= 58500$ kgm



Gambar 4.5 Permodelan 2 Beban Truk Pada Gelagar Melintang

P_{Truk} $= T \times (1+FBD) \times \gamma u^{TT}$

$= 11250 \times (1+0,3) \times 2$

$= 29250$ kg

$\sum M_B = 0$

$R_A \times 8 = P_{truk} (2+6)$

$R_A = \frac{29250 \times (8)}{8}$

$R_A = 29250$ kg

$M_{L3} = (R_A \times 4) - 29250 \times 2$

$= 29250 \times 4 - 29250 \times 2$

$= 58500$ kgm

- Momen Total

Momen total adalah jumlah momen akibat beban mati dan beban hidup. Momen akibat beban hidup yang dipakai adalah momen yang memiliki nilai terbesar, dalam hal ini yang dimaksud adalah momen akibat beban BTR dan BGT.

$M_U = M_D + M_{L1}$

$= 23794,73 + 120450$

$= 144.244,7$ kgm

4.2.2 Kontrol Profil Gelagar Memanjang

Melakukan analisa kekuatan terhadap profil yang telah ditentukan dalam SNI 1729:2015 tabel B4.1b)

- Kuat Rencana Momen Lentur

  Kontrol Penampang,

  Sayap: $\frac{bf}{2\,tf} \leq 0{,}38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

  $\frac{302}{2\,.\,60} \leq 0{,}38\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $5{,}03 \leq 10{,}66$ **OK**

  Badan: $\frac{h}{tw} \leq 2{,}24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

  $\frac{692}{16} \leq 3{,}76\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $43{,}25 \leq 99{,}6$ **OK**

  Penampang kompak, maka $M_n = M_P$

  $M_n = Z_X \times F_y$

  $= 8564{,}46 \times 2850$

  $= 48.817.422$ kgcm

  $= 488.174{,}22$ kgm

  $\phi M_n = 0{,}9 \times M_n$

  $= 0{,}9 \times 488.174{,}22$

  $= 439.356{,}8$ kgm

  $\phi M_n > M_U = 439.356{,}8$ kgm $> 144.244{,}7$ kgm **OK**

- Kontrol *Lateral Buckling* (SNI 1729:2015 Ps. F2-2)

  $Lp = 1{,}76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

  $= 1{,}76 \times 8{,}62 \times \sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $= 401{,}9$ cm

  $Lb = 267$ cm

  $Lb < Lp \rightarrow$ bentang pendek

$M_n = M_P$

$M_n = Z_X \times F_y$

$= 8564{,}46 \times 2850$

$= 48817422$ kgcm

$= 488174{,}22$ kgm

$\phi M_n = 0{,}9 \times M_n$

$= 0{,}9 \times 488174{,}22$

$= 439.356{,}8$ kgm

$\phi M_n > M_U = 439356{,}8$ kgm $> 134464{,}73$ kgm **OK**

- Kuat Rencana Geser

  Akibat beban mati Q_d dengan BTR + BGT

  $V_{1Max} = (P_1) + (\frac{1}{2} \times Q_{L1} \times \lambda) + (\frac{1}{2} \times Qd \times \lambda)$

  $= 35035 + (\frac{1}{2} \times 4950 \times 8) + (\frac{1}{2} \times 3067{,}1 \times 8)$

  $= 72493{,}3$ kg

  Akibat beban mati Q_d dengan truk "T"

  $V_{2Max} = T \times (1+FBD) \times \gamma u^{TT} + (\frac{1}{2} \times Q_d \times \lambda)$

  $= 11250 \times (1+0{,}3) \times 2 + (\frac{1}{2} \times 3067{,}1 \times 8)$

  $= 41518{,}3$ kg

V_U yang digunakan adalah V_{1Max} yang memiliki nilai terbesar, dalam hal ini yang digunakan adalah akibat beban mati dengan BTR + BGT.

Kontrol Penampang,

Badan: $\frac{h}{tw} \leq 2{,}24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{692}{16} \leq 2{,}24\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$43{,}25 \leq 59{,}34$ **(plastis)**

Kuat Geser nominal (SNI 1729:2015 pasal D5.1.b)

$\phi V_n = 0{,}75 \times 0{,}6 \times F_y \times A_w$

$= 0{,}75 \times 0{,}6 \times F_y \times d \times tw$

$= 0{,}75 \times 0{,}6 \times 2850 \times 80{,}8 \times 1{,}6$

$= 165801{,}6$ kg

$\phi V_n > V_u = 165801{,}6 > 72493{,}3$ kg **OK**

- Kontrol Lendutan

Nilai lendutan ijin

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

$= \frac{1}{800} \times 800$

$= 1$ cm

Nilai lendutan akibat beban hidup BTR+BGT

$\Delta^{\circ}_{BTR+BGT} = \frac{5}{384}\frac{Q_L \lambda^4}{E\, I_x} + \frac{1}{48}\frac{P_1 \lambda^3}{E\, I_x}$

$= \frac{5}{384}\frac{49{,}5 \times 800^4}{2.10^6 \times 339000} + \frac{1}{48}\frac{40425 \times 800^3}{2.10^6 \times 339000}$

$= 0{,}97$ cm

Nilai lendutan akibat beban hidup truk "T"

$P = T\ (1+FBD)$

$= 11250\ (1+0{,}3)$

$= 14625$ kg

$\Delta^{\circ}_{T} = \frac{1}{48}\frac{P_1 \lambda^3}{E\, I_x}$

$= \frac{1}{48}\frac{14625 \times 800^3}{2.10^6 \times 321167}$

$= 0{,}23$ cm

Nilai lendutan izin (Δ_{ijin}) > lendutan terjadi (Δ°) **OK**

4.3 Perencanaan Gelagar Melintang

Fungsi gelagar melintang adalah untuk menyalurkan beban dari gelagar memanjang menuju ke rangka utama.. Pada perencanaan balok melintang menggunakan baja dengan mutu JIS G3101 SS490, dengan ketentuan sebagai berikut:

Tegangan leleh (F_y) = 285 MPa
Tegangan Putus (F_U) = 490 MPa
Modulus Elastisitas (E) = 200.000 MPa

Direncanakan balok melintang menggunakan *steel box* girder dengan spesifikasi seperti berikut:

W	= 1306,24 kg/m	Sx	= 125351,1 cm^3
bf	= 1000 mm	Sy	= 10155,7 cm^3
d	= 2300 mm	Ix	= 17047748,67 cm^4
As	= 1664 cm^2	Iy	= 507784,93 cm^4
tw	= 20 mm	ix	= 62,101cm
tf	= 30 mm	iy	= 32,4cm
h	= 2240 mm	a	= 866 mm

4.3.1 Pembebanan Gelagar Melintang Jembatan

Pembebanan pada gelagar melintang dianalisa sesuai dengan SNI 1725:2016.

- Beban Mati (Sebelum Komposit)

Pelat beton = $d3 \times \gamma$ beton $\times \lambda \times \gamma u^{MS}$
= $0,25 \times 2400 \times 8 \times 1,3$
= 6240 kg/m

Bondex = berat bondex $\times \lambda$
= $10,1 \times 8$
= 80,8 kg/m

Profil melintang = $W_{Profil} \times \gamma u^{MS}$
= $1306,24 \times 1,1$
= 1436,86 kg/m

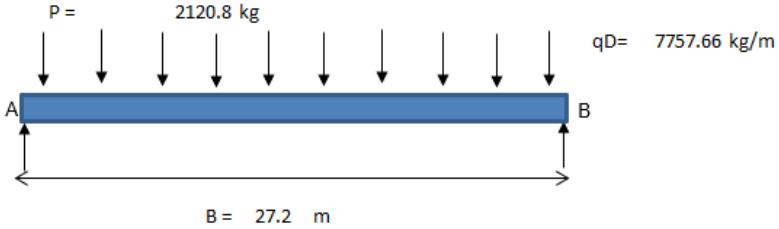
$Q_{D(U)}$ = q beton + q bondex + berat profil
= 6240 + 80,8 + 1436,86

= 7757,66 kg/m

Profil memanjang = $W_{Profi} \times \lambda \times \gamma u^{MS}$

= 241 × 8 × 1,1

= 2120,8 kg



Gambar 4.6 Ilustrasi Beban Mati Gelagar Melintang Sebelum Komposit

- Beban Mati (Setelah Komposit)

  Aspal = γ aspal × λ × d4 × γu^{MS}

  = 2200 × 8 × 0,08 × 1,3

  = 1830,4 kg/m

  Beban Hidup BGT + BTR

  Jika L ≤ 30 m : q = 9,0 kPa

  Jika L > 30 m : q = 9,0 (0,5 + 15/L) kPa

  L = 140 m, maka nilai q:

  q = 9,0 (0,5 + 15/144)

  = 9,0 (0,607)

  = 5,463 kPa = 546,3 kg/m^2

  Q_{BTR} = q × λ × γu^{TD}

  = 546,3 × 8 × 2

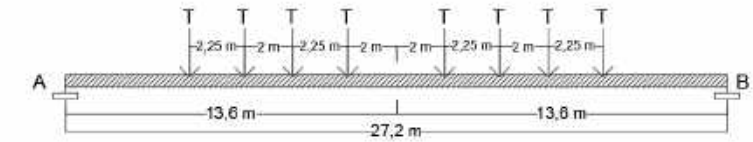
  = 8742,85 kg/m

  Q_{BGT} = (1 + FBD) × p × γu^{TD}

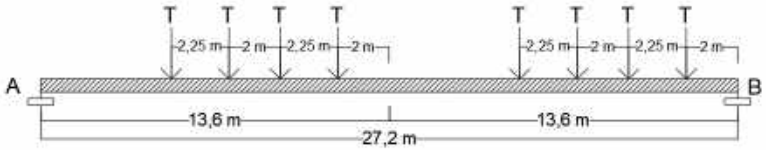
  = (1+0,4) × 4900 × 2

  = 14700 kg/m

- Beban Hidup truk “T”



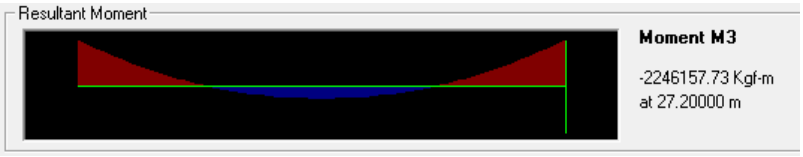
Gambar 4.7 Pembebanan Truk Pada Gelagar Melintang kondisi 1



Gambar 4.8 Pembebanan Truk Pada Gelagar Melintang kondisi 2

P_{Truk} = (1+FBD) × T × γu^{TT}
= (1+0,3) × 11250 × 2
= 29250 kg

- Momen Total
  Momen total adalah jumlah momen akibat beban mati dan beban hidup. Momen dihitung menggunakan program bantuan SAP2000..



Gambar 4. 9 Nilai Momen Terbesar Balok Melintang

Berdasarkan bantuan program SAP didapatkan hasil momen terbesar yaitu 2246157,73 kgm

4.3.2 Kontrol Profil Gelagar Melintang

a. Ukuran Balok

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

$\frac{L}{12} \leq d \leq \frac{L}{10}$

$\frac{27200}{12} \leq d \leq \frac{27200}{10}$

$2.266,6 \leq d \leq 2720$

d = 2300 mm

tf = 30 mm

h = 2300 – 2 (30) = 2240 mm

- Tebal Web (tw)

  Box baja di desain menggunakan pengaku (a) dengan jarak 1000 mm, maka:

  $\frac{a}{h} \leq 0,74$

  $\frac{1000}{2240} \leq 0,74 \rightarrow 0,446 \leq 0,74$ (OK)

  Sehingga,

  $\frac{h}{tw} \leq 9,55\sqrt{\frac{E}{fy}}$

  $\frac{2240}{tw} \leq 9,55\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $tw \geq 8,85 \rightarrow$ Digunakan, tw = 20 mm

  Kontrol tekuk lokal badan :

  $\frac{h}{tw} < (2,42\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 2,42\sqrt{\frac{200000}{285}})$

  $\frac{2240}{20} < 151 \rightarrow 112 < 151$ (OK)

- Ukuran Flange

  $Af = \frac{Mu}{fy\,.\,h} = \frac{22461577300}{285\,.\,2240} = 29636,7\ mm^2$

  Diambil lebar sayap 1000 mm

  $Af_{pakai} \geq Af$

  $30 \,.\, 1000 \geq 29636,7$

  $30000 \geq 29636,7$ (OK)

b. Kontrol Kekuatan Lentur

- Tekuk Lokal Sayap

λ_G $< \lambda_P$

$\frac{bf}{2tf}$ $< 1{,}12\sqrt{\frac{E}{fy}}$ (Tabel B4.1b)

$\frac{1000}{2(30)}$ $< 1{,}12\sqrt{\frac{200000}{250}}$

16,67 < 29,67 (OK)

Penampang kompak, maka fcr = fy = 285 MPa

- Tekuk Lateral

L = 2750 mm (jarak gelagar memanjang)

A` $= Af_{pakai} + 2 \times \frac{1}{3} \times \frac{h}{2} \times tw$

$= 30000 + \frac{2240}{3} \times 20$

$= 44933{,}33\ mm^2$

$I_{y`y`} = \frac{1}{12} \times tf \times bf^3 + \frac{1}{12} \times \frac{1}{3} \times \frac{h}{2} \times tw$

$= \frac{1}{12} \times 30 \times 1000^3 + \frac{1}{12} \times \frac{1}{3} \times \frac{2240}{2} . 20$

$= 2.500.000.622\ mm^4$

$r_t = \sqrt{\frac{I_{y`y`}}{A`}} = \sqrt{\frac{2.500.000.622}{44933{,}33}}$

$= 235{,}87$ mm

$\lambda_G = \frac{L}{r_t} = \frac{2240}{235{,}87} = 9{,}49$

$\lambda_P = 1{,}76\sqrt{\frac{E}{fy}} = 1{,}76\sqrt{\frac{200000}{285}} = 46{,}62$

$\lambda_G < \lambda_P$

Karena $\lambda_G < \lambda_P$, → fcr = fy = 285 MPa

- Momen Nominal

Ix $= 2\times \frac{1}{12} \times 20 \times 2240^3 + 2\times \frac{1}{12} \times 1000 \times 30^3 +$
$2\times 30\times 1000\times (\frac{2240}{2} + \frac{30}{2})^2$
$= 114.762.746.700 \text{ mm}^4$

Sx $= \frac{I}{d/2} = \frac{114.762.746.700}{2300/2}$
$= 99.793.692{,}7 \text{ mm}^3$

a_w $= \frac{h\,.tw}{bf\,.tf} \leq 10$
$= \frac{2240\,.20}{1000\,.30} \leq 10$
$= 1{,}493$

R_{pg} $= 1 - \left[\frac{a_w}{1200+300a_w}\right]\left[\frac{h}{tw} - 5{,}7\sqrt{\frac{E}{fy}}\right] \leq 1$

$= 1 - \left[\frac{1{,}493}{1200+300(1{,}493)}\right]\left[\frac{2660}{20} - 5{,}7\sqrt{\frac{200000}{285}}\right] \leq 1$

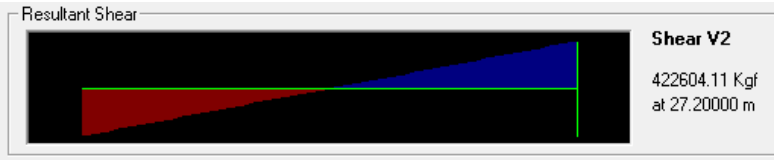
$= 1{,}018 \leq 1 \rightarrow 1$

Mn $= R_{pg}$. Sx . fcr
$= 1 \times 99.793.692{,}7 \times 285$
$= 28.441.202.435$ Nmm
$= 2.844.120{,}2$ kgm

ØMn $= 0{,}9 \times 2.844.120{,}2$
$= 2.559.708{,}2$ kgm

ØMn $\geq$ Mu = 2.246.157,7 kgm (OK)

c. Kontrol Gaya Geser



Gambar 4. 10 Nilai Gaya Geser Batang Melintang

Diketahui V_U = 425.613,17 kg

Kuat Geser Nominal

a = 750 mm = 0,75 m

k_v = 5

$\frac{h}{tw} = \frac{2240}{20} = 112$

$1{,}37\sqrt{\frac{k_v.E}{fy}} = 1{,}37\sqrt{\frac{5\ .\ 200000}{285}}$

$= 81{,}51$

$\frac{h}{tw} > 1{,}37\sqrt{\frac{k_v\ .\ E}{fy}}$ (G2-3)

$112 > 81{,}51$

Sehingga,

$Cv = \frac{1{,}5\ k_v\ .\ E}{\left(\frac{h}{tw}\right)^2\ .\ f_y}$

$= \frac{1{,}5 \times 5 \times 200000}{\left(\frac{2240}{20}\right)^2 \times 285}$

$= 0{,}419$

$Vn = 0{,}6 \times fy \times Aw \times C_v$ (G2-1)

$= 0{,}6 \times 285 \times (2 \times 2240 \times 20) \times 0{,}419$

$= 6.419.750{,}4$ N

$= 641.975$ kg

$ØVn = 0{,}9 \times 641.975$

$= 577.777{,}5 > 425613{,}17$ kg (OK)

d. Perencanaan Pengaku (Stiffener)

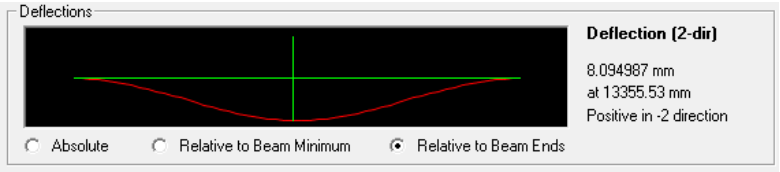
Untuk memperkecil bahaya lipat pelat badan, maka diberikan pengaku atau *stiffener*. Agar konstruksi sederhana, maka *stiffener* di tempatkan pada arah transversal maupun longitudinal bila diperlukan. Adapun proporsi penampang ditentukan dalam AASHTO 2007;

- Pengaku Transversal
  Direncanakan:
  tebal stiffner = 20 mm
  Lebar : $b_t \geq 50 + \frac{D}{30}$
  $b_t \geq 50 + \frac{2300}{30}$
  $b_t \geq 126{,}67$ mm
  direncanakan lebar transversal stiffner 150 mm
  jarak antar stiffener
  $d_o \leq 1{,}5\ D$
  $d_o \leq 1{,}5\ (2300)$
  $d_o \leq 3450$ mm
  direncanakan jarak antar transversal *stiffener* = 2750 mm
- Pengaku Longitudinal
  Direncanakan
  Tebal *stiffener* = 20 mm
  Lebar : $b_t \leq 0{,}48\ .\ t_s\ .\ \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
  $b_t \leq 0{,}48\ .\ 20\ .\ \sqrt{\frac{200000}{285}}$
  $b_t \leq 254$ mm
  direncanakan lebar longitudinal *stiffener* = 100 mm
  jarak antar longitudinal *stiffener*
  $d_s = 2\ d_c / 5$
  $= 2\ (2300) /5$
  $= 920$ mm

e. Kontrol Lendutan

$\Delta_{ijin} = \frac{1}{800}\ \lambda$
$= \frac{1}{800} \times 27200$
$= 34$ mm

Nilai lendutan akibat beban hidup BTR+BGT



Gambar 4. 11 Nilai Lendutan Batang Melintang Akibat Beban Hidup

Kontrol Lendutan:

$\Delta_{terjadi}$ $\leq \Delta_{ijin}$

8,09 mm $\leq$ 34 mm (OK)

f. Kontrol Lentur Setelah Komposit

- Perhitungan Lebar Efektif Pelat

b_{e1} $\leq S$

≤ 800 cm

b_{e2} $\leq \frac{L}{4}$

$\leq \frac{2720}{4}$

≤ 680 cm

Dimana :

S : Jarak antar gelagar melintang

L : Lebar jembatan

Maka lebar efektif pelat yang diambil adalah yang terkecil yaitu 680 cm.

- Perhitungan Kapasitas Momen Setelah Komposit

Kontrol kegagalan struktur pada beton,

$C = 0{,}85 \times f_c' \times b_e \times t_b$

$= 0{,}85 \times 40 \times 6800 \times 250$

$= 57800000$ N

$= 57800$ kN

Kontrol kegagalan struktur pada baja

$T = A_s \times F_y$

$= 166400 \times 285$

= 47424000 N

= 47424 kN

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

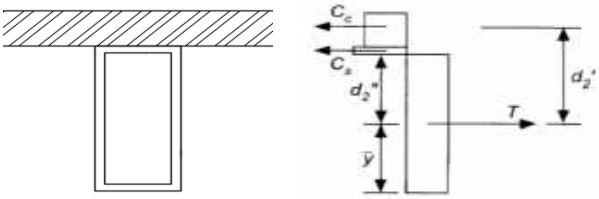
a $= \frac{T}{0{,}85 \times f_c' \times b_e}$

$= \frac{47424000}{0{,}85 \times 40 \times 6800}$

= 205,12 mm

Harga a = 205,12 mm = t_c = 250 mm, artinya hanya sebagian saja dari beton yang tertekan.

Menentukan momen nominal dari interaksi pelat beton dengan baja.



Gambar 4.12 Reaksi Pada Komponen Struktur Komposit Gelagar Melintang

d_1 = (t_b – a/2)

= (250 – 205,12/2)

= 147,44 mm

= 0,147 m

d2 = h/2

= 2240/2

= 1120 mm

= 1,12 m

Mn = T (d1 + d2)

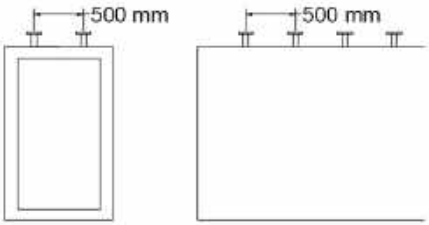
= 47424 x (0.147 + 1,12)

= 60.086,2 kNm

= 6.008.620 kgm

ϕMn = 0,85 × 6.008.620
= 5.107.327 kgm
Mu = 2.246.157,73 kgm
Syarat,
$\phi Mn \geq Mu$ **OK**

- Perhitungan *Shear Connector*
  Vh = 57800 kN
  Diameter maksimum yang diizinkan
  2,5 t_f = 2,5 (30) = 75 mm → digunakan tipe stud M36
  Luas penampang melintang satu buah *stud connector*:
  A_{sc} = $\frac{1}{4} . \pi . 36^2$ = 1017,36 mm^2
  E_c = $4700 \sqrt{f'c}$
  = $4700 \sqrt{40}$
  = 29725,41 MPa
  Q_n = 0,5 $A_{sc} \sqrt{f'c\ E_c}$
  = $0{,}5 \times 1017{,}36 \times \sqrt{40 \times 29725{,}41}$
  = 554675 N (pakai)
  $A_{sc}\ f_u$ = 1017,36 × 500
  = 508680 N
  Jumlah stud yang diperlukan
  N = $\frac{V_h}{Q_n} = \frac{57800000}{554675{,}46}$ = 104,205 ≈ 106 buah
  Jarak antar penghubung geser
  Jarak minimm longitudinal = 6*d* = (6×36) = 216mm
  Jarak Maksimum longitudinal = 8t = (8×250) = 2000 mm
  Jarak transversal = 4*d* = 4×23 = 92 mm
  Jarak antar stud yang digunakan
  (s) = $\frac{27200}{105/2}$ =513,2 mm (pakai s = 500 mm) (longitudinal)
  s = 500 mm (transversal)



Gambar 4. 13 Perencanaan *Shear Connector* Batang Melintang

BAB V
PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA JEMBATAN

5.1 Rencana Dimensi Modifikasi Jembatan

Pada jembatan perencanaan ini terdiri dari 1 bentang dengan panjang 144 meter menggunakan rangkan busur dan bagian pendekat jembatan sisi kiri dan kanan dengan bentang 16 meter. Tipe jembatan yang direncanakan adalah rangka busur tipe *half trough arch*. Adapun dimensi rangka busur yang perlu diperhatikan adalah:

1. Tinggi busur
   f = 25 m
   L = 144 m
   Syarat : $\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$
   : $\frac{1}{6} \leq \frac{25}{144} \leq \frac{1}{5}$
   : 0,167 ≤ 0,173 ≤ 0,2 **OK**
2. Panjang Panel
   λ = 8 m
   L = 144 m
   Syarat : $\lambda \leq \frac{1}{15}$ L
   : $8 \leq \frac{1}{15} . 144$
   : 8 ≤ 9,6 **OK**
3. Lebar Jembatan
   b = 27,2 m
   L = 144 m
   Syarat : $\frac{f}{L} \geq \frac{1}{20}$
   : $\frac{27,2}{144} \geq \frac{1}{20}$
   : 0,19 ≥ 0,05 **OK**

5.2 Pembebanan Jembatan

1. Beban mati tambahan (MA)

   Pelat = d3 × γ beton × b1 × γu^{MS}
   = 0,25 m × 2400 kg/m^3 × 2,75 m × 1,3
   = 2145 kg/m

   Aspal = d4 × γ aspal × b1 × γu^{MS}
   = 0,08 m × 2245 kg/m^3 × 2,75 m × 1,3
   = 629,2 kg/m

   Bekisting = berat bekisting × b1
   = 10,1 kg/m^2 × b1
   = 27,775 kg/m

2. Beban Hidup

- BTR (Beban Terbagi Rata) → L = 144 m

  L > 30 m

  q = 9,0 (0,5 + 15/140)
  = 9,0 (0,607)
  = 5,463 kPa
  = 546,3 kg/m^2

  Q_{BTR} = q × λ × γu^{TD}
  = 546,3 × 8 × 2
  = 8740,8 kg/m

- BGT (Beban Garis Terpusat) → P = 49 kN/m

  FBD = 30%

  Q_{BGT} = (1 + FBD) × p × γu^{TD}
  = (1+0,3) × 4900 × 2
  = 12740 kg/m

- Beban Total

  qL = q_{BTR} + q_{BGT}
  = 8740,8 + 12740
  = 21480,8 kg/m

3. Beban Angin

Perhitungan ini mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.6.1 tentang tekanan angin horizontal. Data-data yang digunakan sesuai dengan kondisi lapangan adalah sebagai berikut

V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana

V_{10} = 50 km/jam (kecepatan maksimum angin di lapangan). Karena data di lapangan leih kecil dari 90 km/jam. Maka V_{10} diambil nilai 90 km/jam.

V_B = V_{10}

= 90 km/jam

V_0 = 17,6 km/jam (berdasarkan tabel 5.1)

Z_0 = 1000 mm (berdasarkan tabel 5.1)

Tabel 5.1 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

Adapun Nilai V_{DZ} didapatkan menggunakan rumus pada SNI 1725:2016 pasal 9.6.1 antara lain :

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

$$V_{DZ} = 2{,}5 \times 17{,}6 \times \left(\frac{90}{90}\right) \times \ln\left(\frac{25200}{1000}\right)$$

= 141,98 km/jam

Sedangkan pada SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1 Beban angin dihitung menggunakan rumus :

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

Dimana:

P_B = 0,0024 MP_a (Tekan) (lihat Tabel 4.2)

= 0,0012 MP_a (Hisap)` (lihat Tabel 4.2)

Tabel 5.2Tekanan 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

V_{DZ} = 148,46 km/jam
V_B = 90 km/jam
Maka:

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

$= 0{,}0024 \times \left(\frac{141{,}98}{90}\right)^2$

$= 0{,}005927$ MPa

EWs $= P_D \times h$
$= 0{,}00454 \times 3000$
$= 17{,}919$ N/mm
$= 17{,}919$ kN/m

Untuk titik simpul pada lantai kendaraan harus ditambahkan gaya angin akibat kendaraan (EW1). Gaya yang bekerja ditentukan berdasarkan tabel berikut;

Tabel 5.3 Komponen Beban Angin pada Kendaran

sudut (derajat)	komponen tegak lurus (N/mm)	Komponen Sejajar (N/mm)
0	1.46	0.00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47

Ew_1 $= 1{,}46$ N/mm $\times \lambda$
$= 1{,}46$ N/mm $\times 8000$ mm
$= 11.680$ N $= 11{,}68$ kN

Gaya pada titik simpul lantai kendaraan ditambahkan dengan gaya angin akibat kendaraan sebesar 11,68 kN

- Rekapitulasi hasil perhitungan gaya akibat angin pada setiap titik simpul sebagai berikut;

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Nilai Gaya Angin Pada Jembatan

X (m)	fn (m)	P tekan (kN)	P hisap (kN)
8	7.70	57.36178	28.68089
16	9.96	72.70969	48.03484
24	14.00	95.88275	47.94137
32	17.42	112.4321	56.21604
40	20.22	124.4649	62.23243
48	22.40	133.0765	66.53824
56	23.96	138.886	69.44302
64	24.89	142.2488	71.12438
72	25.20	143.3503	71.67517
80	24.89	142.2488	71.12438
88	23.96	138.886	69.44302
96	22.40	133.0765	66.53824
104	20.22	124.4649	62.23243
112	17.42	112.4321	56.21604
120	14.00	95.88275	47.94137
128	9.96	72.70969	48.03484
136	7.70	57.36178	28.68089

4. Beban Temperatur
   Berdasarkan SNI 1725:2016, beban temperatur untuk lantai beton di atas gelagar, boks, atau rangka baja menggunakan tabel di bawah ini:

Tabel 5.5 Nilai Temperatur Jembatan Rata-rata

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-rata Minimum (1)	Temperatur Jembatan Rata-rata Maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15˚C	40˚C
Lantai beton di atas gelagar, boks, atau rangka baja	15˚C	40˚C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15˚C	45˚C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5˚C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut		

5. Beban Gempa

Dalam input pembebanan pada software MIDAS Civil, pembebanan gempa menggunakan grafik respon spektrum yang didapat pada website puskim sesuai koordinat Kota Probolinggo dikontrol menggunakan SNI 2833:2016.dengan data:

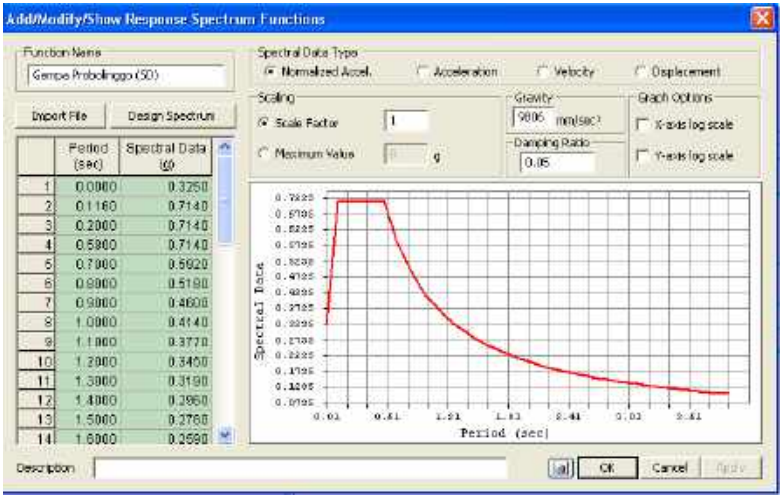
Kelas Situs : SD (nilai $15 \leq N \leq 50$) (lihat tabel 3.2)
Lokasi : Kecamatan Leces Kab. Probolinggo
Faktor Situs : PGA = 0,256 F_A = 1,4
S_S = 0,514 F_V = 2,0
S_1 = 0,209

Analisa Respon Spektrum

S_{DS} = $F_A \times S_S = 0{,}714$ $S_{D1} = F_V \times S_1 = 0{,}414$

T_0 = 0,116 detik T_1 = 0,58 detik

Dari variabel di atas, diperoleh nilai respon spektrum pada gambar di bawah ini

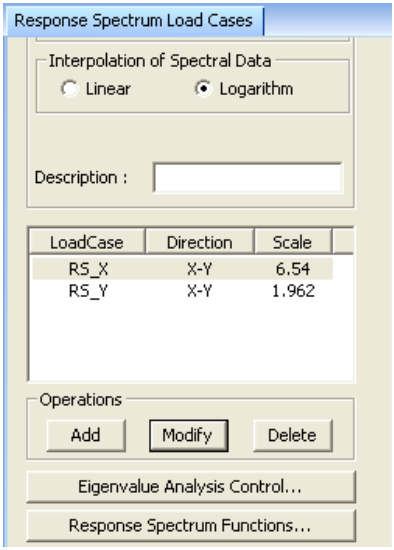


Gambar 5.1 Grafik Respon Spektrum

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 :

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

Kontribusi gaya 30% = $30\% \times \frac{g}{R} = 30\% \times \frac{9{,}81}{1{,}54} = 1{,}962$



Gambar 5.2 Skala Gaya Pada Pemrograman Midas Civil

6. Kombinasi Pembebanan
   Kombinasi pembebanan dalam permodelan merujuk pada SNI 1725:2016 Tabel 1 dimana kombinasi yang diinput hhanya beban yang digunakan saja. Adapun kobinasi yang digunakan tercantum pada tabel di bawah ini:

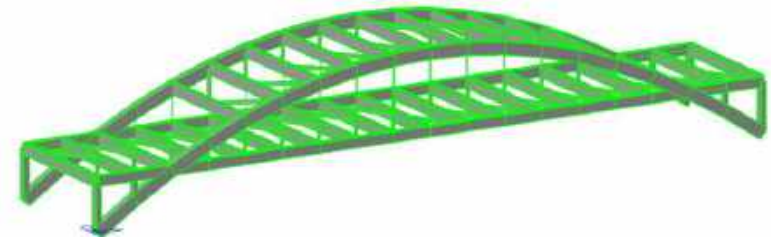
Tabel 5. 6 Kombinasi dan Faktor beban

Keadaan Batas	**Faktor Kombinasi beban**
Kuat 1	1,1 MS + 2 MA + 1,8 TD
Kuat 2	1,1 MS + 2 MA + 1,4 TD + 1,4 TT + 1,4 TB
Kuat 3	1,1 MS + 2 MA + 1,4 EWs
Kuat 4	1,1 MS + 2 MA
Kuat 5	1,1 MS + 2 MA 0,4 EWs

Keadaan Batas	Faktor Kombinasi beban
Ekstrem 1	1,1 MS + 2 MA + γ_{EQ} TD
Ekstrem 2	1,1 MS + 2 MA + 0,5 TD + 0,5 TT + 0,5 TB
Daya Layan 1	1 MS + 1 MA + 1 TD + 1 EWs + 1 TT
Daya Layan 2	1 MS + 1 MA + 1,3 TD + 1,3 TT + 1,3 TB

5.3 Permodelan Struktur

Setelah melalui tahap preliminary desain dan perencanaan pembebanan, dilakukan permodelan struktur jembatan busur box baja. Pada model jembatan yang telah dibuat, model jembatan dibebankan dengan beban yang telah direncanakan sebelumnya.

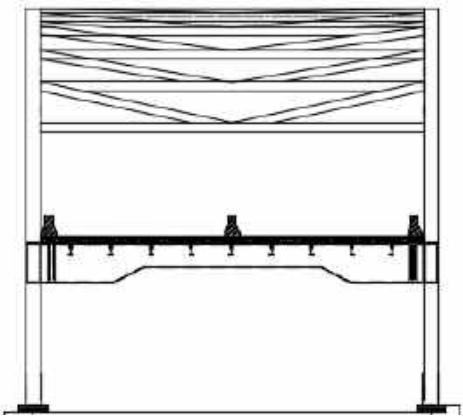


Gambar 5.3 Permodelan Jembatan Menggunakan Program Bantu Midas Civil

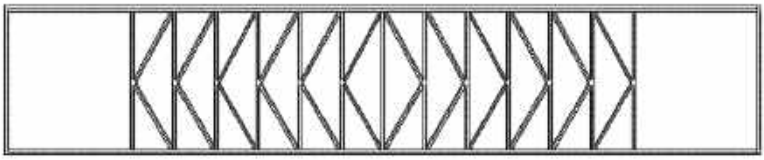
5.4 Perencanaan Ikatan Angin

5.4.1 Perhitungan Gaya Angin yang Bekerja

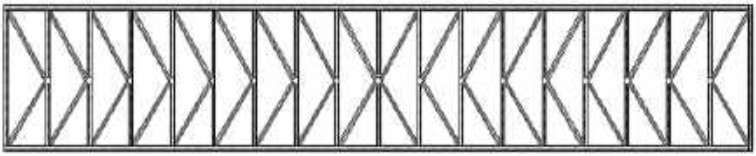
Perhitungan gaya angin mengacu pada peraturan SNI 1726:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. Adapun gambar 5.4, 5.5, dan 5.6 merupakan *preliminary design* ikatan angin jembatan.



Gambar 5.4 Potongan Melintang



Gambar 5.5 Ikatan Angin Atas Rangka jembatan



Gambar 5.6 Ikatan Angin Lantai Kendaraan jembatan

Gaya angin yang terjadi sudah diketahui dari pembahasan pada sub bab sebelumnya. Untuk mengetahui gaya aksial yang bekerja pada ikatan angin digunakan program bantu MIDAS dengan kombinasi pembebanan Kuat III yang mengacu pada SNI 1725:2016.

Dari program bantu MIDAS dapat diketahui gaya dalam yang terjadi pada ikatan angin. Besaran gaya yang terjadi dapat diketahui dari tabel berikut:

5.4.2 Ikatan Angin Atas

Dari program bantu Midas Civil 2011, hasil gaya batang maksimum didapatkan dari keadaan batas Kuat III. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

Elemen 161 = -208537,71 kg (Tekan)

Elemen 163 = 169357,55 kg (Tarik).

Material yang dipakai Profil *BOX* 500×500×20, dengan material properti sebagai berikut:

Ag= 384 cm^2	I_X = 147700 cm^4
h = 500 mm	I_Y = 147700 cm^4
b = 500 mm	Z_X = 6916 cm^3
t = 20 mm	Z_Y = 6916 cm^3
S_X = 5908 cm^3	i_X = 19,6 cm
S_Y = 5908 cm^3	i_Y = 19,6 cm

- **Kontrol Kelangsingan**

  Sayap: $\frac{d}{t} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

  $\frac{600}{20} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $30 \leq 37{,}08$ **OK**

- **Kontrol Kapasitas Tekan**

  Faktor tekuk ($Kc_X = Kc_Y$) = 1

  Panjang batang ($L_X = L_Y$) = 2720 cm

  $\lambda_x = \lambda_y = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = \frac{1 \times 2720}{19{,}6} = 138{,}77$

  $\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{138{,}77}{\pi} \times \sqrt{\frac{285}{200000}} = 1{,}66$

  sehingga kuat nominal penampang;

  $P_n = (0{,}66^{\lambda c^2}) \times A_g \times F_y$

  $= (0{,}66^{1{,}66^2}) \times 384 \times 2850$

  $= 348.266$ kg

  $ØP_n = 0{,}85 \times 348.266$

  $= 296.026 \text{ kg} \geq P_u = 208537{,}71$ kg (OK)

kuat nominal penampang *hand hole*

diketahui tinggi penampang *hand hole* = 30 cm

P_n $= (0{,}66^{\lambda c^2}) \times (A_g - A_h) \times F_y$

$= (0{,}66^{1{,}66^2}) \times (384 - 30 \times 2) \times 2850$

$= 293.849$ kg

$\emptyset P_n$ $= 0{,}85 \times 293.849$

$= 249.772$ kg $\geq P_u = 208.537{,}71$ kg **(OK)**

- **Kontrol Kapasitas Tarik**

A. Kuat Putus

A_e $= 0{,}85 \times A_g$

$= 0{,}85 \times 384 = 326{,}4$ cm^2

P_n $= A_e \times F_u$

$= 326{,}4 \times 4900 = 1.599.360$ kg

$\emptyset P_n$ $= 0{,}75 \times 1.599.360$

$= 1.199.520$ kg

B. Kuat Leleh

A_g $= 384$ cm^2

P_n $= 0{,}75 \times A_g \times F_y$

$= 0{,}75 \times 384 \times 2850$

$= 820.800$ kg $\geq P_u = 169357{,}55$ kg (OK)

5.4.3 Ikatan Angin Bawah

Dari program bantu Midas Civil 2011, hasil gaya batang maksimum didapatkan dari keadaan batas Kuat III. Gaya aksial maksimum adalah sebagai berikut:

Elemen 109 = −226489,77 kg (tekan)

Elemen 105 = 228374,59 kg (tarik).

Material yang dipakai Profil *BOX* 500×500×20, dengan material properti sebagai berikut:

Ag= 384 cm^2	I_X = 147700 cm^4
h = 500 mm	I_Y = 147700 cm^4
b = 500 mm	Z_X = 6916 cm^3
t = 20 mm	Z_Y = 6916 cm^3

$S_X = 5908\ cm^3$ $i_X = 19,6\ cm$

$S_Y = 5908\ cm^3$ $i_Y = 19,6\ cm$

- **Kontrol Kelangsingan**

  Sayap: $\frac{d}{t} \leq 1,4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

  $\frac{600}{20} \leq 1,4\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $30 \leq 37,08$ **OK**

- **Kontrol Kapasitas Tekan**

  Faktor tekuk ($Kc_X = Kc_Y$) = 1

  Panjang batang ($L_X = L_Y$) = 2720 cm

  $\lambda_x = \lambda_y = \frac{K_{cx} \times L_x}{i_x} = \frac{1 \times 2720}{19,6} = 138,77$

  $\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{138,77}{\pi} \times \sqrt{\frac{285}{200000}} = 1,66$

  sehingga kuat nominal penampang;

  $P_n = (0,66^{\lambda c^2}) \times A_g \times F_y$

  $= (0,66^{1,66^2}) \times 384 \times 2850$

  $= 348.266\ kg$

  $\emptyset P_n = 0,85 \times 348.266$

  $= 296.026\ kg \geq P_u = 208537,71\ kg$ (OK)

  kuat nominal penampang *hand hole*

  diketahui tinggi penampang *hand hole* = 30 cm

  $P_n = (0,66^{\lambda c^2}) \times (A_g - A_h) \times F_y$

  $= (0,66^{1,66^2}) \times (384 - 30 \times 2) \times 2850$

  $= 293.849\ kg$

  $\emptyset P_n = 0,85 \times 293.849$

  $= 249.772\ kg \geq P_u = 226.489,77\ kg$ **(OK)**

- **Kontrol Kapasitas Tarik**

A. Kuat Putus

$A_e = 0,85 \times A_g$

$= 0,85 \times 384 = 326,4\ cm^2$

P_n $= A_e \times F_u$

$= 326{,}4 \times 4900 = 1.599.360$ kg

$\O P_n$ $= 0{,}75 \times 1.599.360$

$= 1.199.520$ kg

B. Kuat Leleh

A_g $= 384$ cm^2

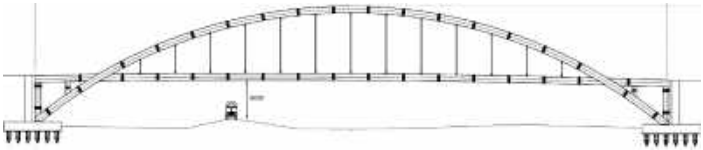
P_n $= 0{,}75 \times A_g \times F_y$

$= 0{,}75 \times 384 \times 2850$

$= 820.800$ kg $\geq P_u = 228.374$,kg (OK)

5.5 Perencanaan Kabel Penggantung

Perencanaan kabel penggantung menggunakan kombinasi Kuat I sesuai dengan SNI 1725:2016. Beban yang diperhitungkan adalah beban mati sendiri dan beban hidup kendaraan. Pada perhitungan kabel penggantung akan dihitung kekuatan kabel tipe PV yang digunakan terhadap keadaaan *normal load* dan juga *accidental load* yang disebabkan oleh terputusnya salah satu kabel yang memikul beban paling besar dan sebelahnya.

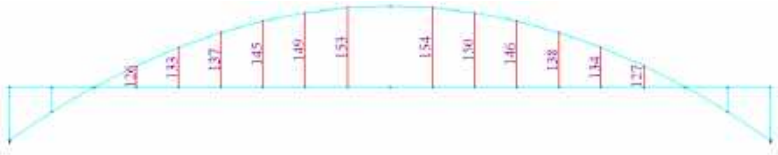


Gambar 5.7 Konstruksi Pemikul Utama

- **Kasus 1 (Seluruh Kabel Bekerja)**

  Kabel yang ditinjau adalah kabel yang memiliki gaya terbesar yakni pada elemen 161 yang berada tepat di tengah bentang. Gaya aksial akibat beban kombinasi Kuat I didapat P_U = 3991,76 kN (Tarik).

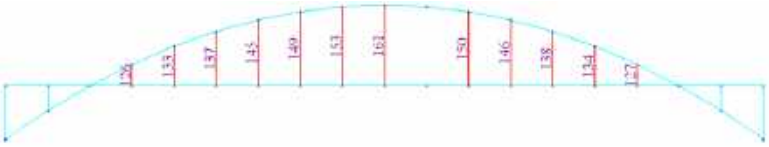
- **Kasus 2 (kabel 161 Putus)**



Gambar 5.8 Ilustrasi Kabel 161 Putus

Kabel yang ditinjau adalah kabel 154 yang berada di di sebelah tengah bentang. Gaya aksial akibat beban kombinasi Kuat I didapatkan dari program bantu Midas sebesar 4794,26 kN (tarik).

- **Kasus 3 (kabel 154 putus)**



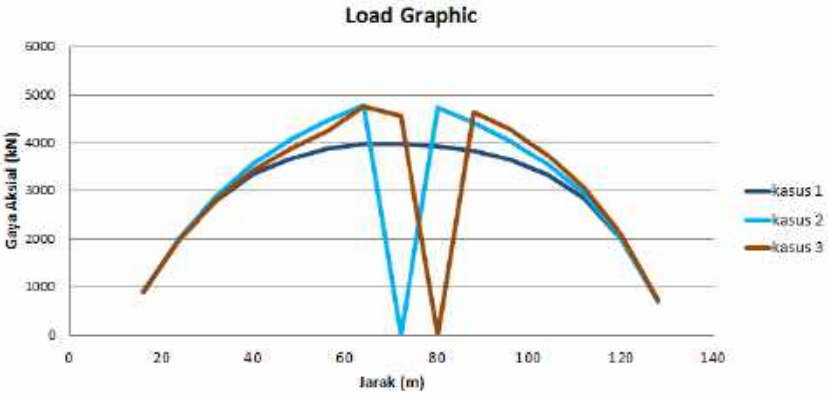
Gambar 5.9 Ilustrasi Kabel 154 Putus

Kabel yang ditinjau adalah kabel 161 yang berada tepat di tengah bentang. Gaya aksial akibat beban kombinasi Kuat I didapatkan dari program bantu Midas sebesar 4775,93 kN (tarik).

- **Gaya Maksimum**

Dari ketiga simulasi diatas didapatkan gaya aksial maksimum yaitu pada simulasi kasus 2 sebesar, Pu = 4794,26 kN Gaya ini adalah gaya aksial yang dipakai untuk menentukan jenis dan kekuatan kabel yang akan dipasang.

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



Gambar 5.10 Grafik Beban Aksial Kabel

5.5.1 Penentuan Jenis Kabel

Kabel yang dipasang sebagai penggantung adalah strand dari perusahaan PFEIFER-Zugglieder.

Tabel 5.7 Spesifikasi Kabel

size	charact. breaking load $F_{B,k}$ DIN 18800* kN	limit tension $Z_{R,d}$ DIN 18800 kN	metallic cross section ca. / approx. mm	weight* ca. / approx. kg	constructive **	nomin. strand dia. d_S mm
PV 40	405	245	281	2,4	WS-1	21
PV 60	621	376	430	3,6	WS-1	26
PV 90	916	555	634	5,3	WS-2	31
PV 115	1170	709	808	6,8	WS-2	35
PV 150	1520	921	1060	8,9	WS-2	40
PV 195	1930	1170	1340	11,2	WS-2	45
PV 240	2380	1442	1650	13,8	WS-2	50
PV 300	3020	1830	2090	17,2	WS-3	55
PV 360	3580	2176	2490	20,5	WS-3	60
PV 420	4220	2558	2920	24,1	WS-3	66
PV 480	4580	2964	3390	27,9	WS-3	70
PV 540	5620	3406	3890	32,1	WS-3	75
PV 640	6390	3873	4420	36,4	WS-3	80
PV 720	7210	4370	4980	41,1	WS-3	85
PV 810	8000	4903	5600	46,2	WS-3	90
PV 910	9110	5521	6310	52,0	WS-3	95
PV 1010	10100	6121	6990	57,6	WS-3	100
PV 1110	11100	6727	7710	63,5	WS-3	105
PV 1220	12200	7394	8460	69,7	WS-3	110
PV 1340	13400	8121	9340	76,2	WS-3	115
PV 1450	14500	8788	10100	83,2	WS-3	120
PV 1580	15800	9576	10900	89,8	WS-3	125
PV 1730	17300	10485	11900	96,7	WS-3	130
PV 1860	18600	11273	12900	104,8	WS-3	135
PV 2000	20000	12121	13900	112,9	WS-3	140

Digunakan tipe : PV 720

Data Hanger:

Ø Batang = 85 mm

W kabel = 41,1 kg/m

Limit Tension = 4370 kN

Breaking Load = 7210 kN

- Kontrol Batas Leleh

  P_u $\leq$ *Limit Tension*

  3991,76 kN $\leq$ 4370 kN (OK)

- Kontrol Putus

  P_u $\leq$ *Charact. Breaking Load*

  4794,26 kN $\leq$ 7210 kN (OK)

5.6 Perencanaan Rangka Utama

5.6.1 Pembagian Segmen Jembatan

Pembagian segmen pada rangka jembatan dilakukan untuk mempermudah pengelompokan jenis profil yang akan dipakai. Pembagian segmen dilakukan berdasarkan pada perkiraan gaya dalam yang terjadi pada bentang jembatan. Batang yang memiliki perbedaan gaya yang tidak sebanding akan dikelompokan. Batang-batang yang ditinjau antara lain batang busur atas, batang busur bawah, dan batang tarik Berikut adalah pembagian segmen pada tugas akhir ini:

5.6.2 Gaya Aksial Akibat Beban

Setelah input beban sudah dilakukan dan menggunakan trial and error saat memodelkan beban pada struktur, maka dengan program bantu Midas Civil dapat diketahui gaya aksial terbesar akibat beban mati, beban hidup, serta kombinasi yang bekerja pada setiap batang yang ditinjau seperti pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Gaya Batang Rangka Utama Akibat Beban

Nama Batang	Gaya Batang Akibat Beban				
	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)		Kombinasi Kuat I (kg)	
		Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
BB	-5.747.144	-2.100.315		-5.598.860	
TB	3.396.635	-837.622	1.248.115	-5.279.381	3.849.325

5.6.3 Perencanaan Profil Rangka Utama

A. Batang Busur

Perencanaan profil rangka utama menggunakan material baja dengan kontrol sesuai SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Batang-batang yang dianalisa sesuai dengan yang telah ditentukan pada subbab sebelumnya. Profil yang digunakan adalah profil *steel box with stiffener*.

W = 2559,1 kg/m bf = 1500 mm

d	= 2500 mm	I_y	= 25947150 cm^4
As	= 3260 cm^2	Z_x	= 284550 cm^3
tw	= 35 mm	Z_y	= 179310 cm^3
tf	= 50 mm	i_x	= 98,05 cm
h	= 2400 mm	i_y	= 60,98 cm
I_x	= 31105850 cm^4	L_p	= 2815 cm

- Kontrol Akibat Gaya Aksial

Kontrol tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

Badan : $\frac{h}{tw} < 2{,}42\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\frac{2400}{35} < 2{,}42\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$68{,}57 < 151$

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

Diketahui:

K = 1

L = 9590 mm

r = iy = 89,2 cm Tegangan Kritis (Fcr):

$\frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$\frac{9590}{892} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$10{,}75 \leq 124{,}77$

sehingga,

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

$= \frac{\pi^2\ 200000}{\left(\frac{1 \times 9590}{892}\right)^2}$

= 13285 Mpa

$F_{cr} = \left[0{,}658^{\frac{Fy}{Fe}}\right] f_y$

$= \left[0{,}658^{\frac{285}{13285}}\right] . 285$

$= 282{,}45$ MPa

$P_n = F_{cr} . A_g$

$= 282{,}45 \times 326000$

$= 92.078.700$ N

$= 9.207.870$ kg

$ØP_n = 0{,}9 \times P_n$

$= 0{,}9 \times 9.207.870$

$= 8.287.083$ kg > $P_u = 5.988.860$ kg **(OK)**

Pada kasus kabel penggantung elemen 161 putus, gaya aksial pada batang busur juga mengalami perubahan gaya aksial. Adapun gaya aksial yang diterima oleh batang sebesar 5.992.404 kg.

Kontrol Rangka:

Profil : *BOX* 2500x1500x35x50

$ØP_n$ = 8.287.083 kg

P_u = 5.992.404 kg

$ØP_n \geq N_u$

8.287.083 kg $\geq$ 5.992.404 kg **(OK)**

Sedangkan pada kasus kabel penggantung elemen 154 putus, gaya aksial pada batang busur juga mengalami perubahan gaya aksial. Adapun gaya aksial yang diterima oleh batang sebesar 5.995.218 kg.

Kontrol Rangka :

Profil : *BOX* 2500x1500x35x50

$ØP_n$ = 8.287.083 kg

Pu = 5.995.218 kg

$ØP_n \geq P_u$

8.287.083 kg $\geq$ 5.995.218 kg **(OK)**

kuat nominal penampang pada *man hole*

diketahui tinggi penampang *man hole* = 60 cm

P_n = F_{cr} . A_g
= 282,45 × (326000 – 600×35)
= 86.147.250 N
= 8.614.725 kg
$ØP_n$ = 0,9 × 8.614.725 kg
= 7.753.252,5 kg ≥ P_u = 5.988.860 kg (OK)

- Kontrol Kapasitas Tarik

  Kuat Putus

  A_e = 0,85× A_g
  = 0,85 × 3260 = 2771 cm^2
  P_n = A_e × F_u
  = 2771× 4900 = 13.577.900 kg
  $ØP_n$ = 0,75 × 13.577.900
  = 10.183.425 kg

  Kuat Leleh

  A_g = 4784 cm^2
  P_n = 0,75 × A_g × F_y
  = 0,75 × 3260 × 2850
  = 6.968.250 kg > P_u = 1.553.400 kg (OK)

- Kontrol Akibat Momen Lentur

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

  Sayap: $\frac{b}{t} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

  $\frac{1500}{50} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $30 \leq 37{,}08$

  Badan : $\frac{h}{tw} < 2{,}42\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

  $\frac{2500}{35} < 2{,}42\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $71{,}42 < 151$

  Profil Kompak, maka:

Momen terhadap sumbu x

M_{px} $= Z_x \times f_y$

$= 284550 \times 2850$

$= 810.967.500$ kgcm

$= 8.109.675$ kgm

Momen terhadap sumbu y ($Z_x = Z_y$)

M_{py} $= M_{px}$

$= 8.109.675$ kgm

Kontrol Tekuk Lateral

Lb $= 400$ cm

Lp $= 2815$ cm

Lb < Lp, Bentang Pendek

Bentang Pendek, maka:

Mn $= Mp$

Sehingga,

Mn_y $= Mp_y$

$= Z_y \times f_y$

$= 179310 \times 2850$

$= 511.033.500$ kgcm

$= 5.110.335$ kgm > 2.246.157 kgm **OK**

- Perencanaan Pengaku (Stiffener)

Pengaku Transversal

Direncanakan:

tebal stiffner = 20 mm

Lebar : $b_t \geq 50 + \frac{D}{30}$

$b_t \geq 50 + \frac{2500}{30}$

$b_t \geq 133$ mm

direncanakan lebar transversal stiffner 150 mm

jarak antar stiffener

$d_o \leq 1{,}5\ D$

$d_o \leq 1{,}5\ (2500)$

$d_o \leq 3750$ mm

direncanakan jarak antar transversal *stiffener* = 2000 mm

Pengaku Longitudinal
Direncanakan
Tebal *stiffener* = 20 mm

Lebar : $b_t \leq 0{,}48 \cdot t_s \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$b_t \leq 0{,}48 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{200000}{285}}$

$b_t \leq 254$ mm

direncanakan lebar longitudinal *stiffener* = 100 mm
jarak antar longitudinal *stiffener*

$d_s = d_c/2$
$= 2500/2$
$= 1250$ mm

B. *Tie Beam*

Perencanaan profil *tie beam* menggunakan material baja dengan kontrol sesuai SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Batang-batang yang dianalisa sesuai dengan yang telah ditentukan pada subbab sebelumnya. Profil yang digunakan adalah profil *steel box with stiffener*.

W	= 1720,72 kg/m	Ix	= 13091650 cm^4
bf	= 1200 mm	Iy	= 11119950 cm^4
d	= 2000 mm	Z_x	= 149376 cm^3
As	= 2192 cm^2	Z_y	= 96192 cm^3
tw	= 30 mm	i_x	= 77,72 cm
tf	= 40 mm	i_y	= 49,11 cm
h	= 1920 mm	L_p	= 2289 cm

- Kontrol Akibat Gaya Aksial

Kontrol tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

Badan : $\frac{h}{tw} < 2{,}42\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\frac{1920}{30} = 2{,}42\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$64 < 151$

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

Diketahui:

K = 1

L = 8000 mm

r = iy = 22,52 cm Tegangan Kritis (Fcr):

$$\frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{200000}{285}}$$

$$\frac{8000}{225} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{200000}{285}}$$

$$35{,}5 \leq 124{,}77$$

sehingga,

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

$= \frac{\pi^2\ 200000}{\left(\frac{1 \times 8000}{355}\right)^2}$

= 19239,04 Mpa

$F_{cr} = \left[0{,}658^{\frac{Fy}{Fe}}\right] \times Fy$

$= \left[0{,}658^{\frac{285}{19239}}\right] \times 285$

= 283,23 MPa

$P_n = F_{cr} . A_g$

= 283,23 × 219200

= 62.084.016 N

= 6.208.401 kg

$ØP_n = 0{,}9 \times P_n$

= 0,9 × 6.208.401

= 5.587.561 kg > P_u = 5.279.381 kg (OK)

Pada kasus kabel penggantung elemen 154 putus, gaya aksial pada *tie beam* juga mengalami perubahan gaya aksial. Adapun gaya aksial yang diterima oleh batang sebesar 5.322.546 kg.

Kontrol Rangka :

$ØP_n$ = 5.587.561 kg
$ØP_n$ $\geq$ P_u
5.587.561 kg $\geq$ 5.322.546 kg **OK**

Sedangkan pada kasus kabel penggantung elemen 152 putus, gaya aksial yang diterima oleh *tie beam* sebesar 5.324.660 kg.

Kontrol Rangka :

$ØP_n$ = 5.587.561 kg
P_u = 5.324.660 kg
$ØP_n$ $\geq$ P_u
5.587.561 kg $\geq$ 5.324.660 kg **OK**

kuat nominal penampang pada *man hole*
diketahui tinggi penampang *man hole* = 60 cm

P_n = F_{cr} . A_g
= 282,45 × (219200 – 600×30)
= 55.981.590 N
= 5.598.159 kg
$ØP_n$ = 0,9 × 5.598.159 kg
= 5.338.343 kg ≥ P_u = 3.849.325 kg (OK)

- Kontrol Kapasitas Tarik

  Kuat Putus

  A_e = 0,85× A_g
  = 0,85 × 2192 = 1863,2 cm^2
  P_n = A_e × F_u
  = 1863,2 × 4900 = 9.129.680 kg
  $ØP_n$ = 0,75 × 9.129.680
  = 6.847.260 kg

  Kuat Leleh

  A_g = 2192 cm^2
  P_n = 0,75 × A_g × F_y
  = 0,75 × 2192 × 2850
  = 4.685.400 kg > P_u = 3.849.325 kg (OK)

- Kontrol Akibat Momen Lentur

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

  Sayap: $\frac{b}{t} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

  $\frac{1200}{40} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $30 \leq 37{,}08$

  Badan : $\frac{h}{tw} < 2{,}42\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

  $\frac{2000}{30} < 2{,}42\sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $66{,}67 < 151$

  Profil Kompak, maka:

  Momen terhadap sumbu x

  M_u = 2.246.157 kgm

  $M_{px} = Z_x \times f_y$

  = 149376 × 2850

  = 425.721.600 kgcm = 4.257.216 kgm

  Momen terhadap sumbu y ($Z_x = Z_y$)

  $M_{py} = M_{px}$

  = 4.257.216 kgm

  Kontrol Tekuk Lateral

  Lb = 400 cm

  Lp = 2289 cm

  Lb < Lp, Bentang Pendek

  Bentang Pendek, maka:

  Sehingga,

  $Mn_y = Mp_y$

  $= Z_y \times f_y$

  = 96192 × 2850

  = 274.147.200 kgcm

  = 2.741.472 kgm > 2.246.157 kgm **OK**

- Perencanaan Pengaku (Stiffener)

Untuk memperkecil bahaya lipat pelat badan, maka diberikan pengaku atau *stiffener*. Agar konstruksi sederhana, maka *stiffener* di tempatkan pada arah transversal maupun longitudinal bila diperlukan. Adapun proporsi penampang ditentukan dalam AASHTO 2007;

Pengaku Transversal

Direncanakan:

tebal stiffner = 20 mm

Lebar : $b_t \geq 50 + \frac{D}{30}$

$b_t \geq 50 + \frac{2000}{30}$

$b_t \geq 116{,}7$ mm

direncanakan lebar transversal stiffner 150 mm

jarak antar stiffener

$d_o \leq 1{,}5\ D$

$d_o \leq 1{,}5\ (2000)$

$d_o \leq 3000$ mm

direncanakan jarak antar transversal *stiffener* = 2000 mm

- Pengaku Longitudinal

Direncanakan

Tebal *stiffener* = 20 mm

Lebar : $b_t \leq 0{,}48 \times t_s \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$b_t \leq 0{,}48 \times 20 \times \sqrt{\frac{200000}{285}}$

$b_t \leq 254$ mm

direncanakan lebar longitudinal *stiffener* = 100 mm

jarak antar longitudinal *stiffener*

$d_s = d_c/2$

$= 2000/2$

$= 1000$ mm

5.7 Perencanaan Portal Akhir

Portal akhir adalah konstruksi yang meneruskan gaya dari ikatan angin dan busur ke tumpuan (pondasi). Analisis konstruksi portal akhir dibagi menjadi dua yaitu balok dan kolom portal akhir.

5.7.1 Perencanaan Balok Melintang Portal Akhir

Nilai gaya dalam yang tejadi pada balok portal akhir didapatkan dari program bantu Midas. Nilai gaya dalam dapat dilihat pada gambar berikut,

Mu = 2.246.157 kgm

Vu = 425.613 kg

Direncanakan balok melintang menggunakan *steel box* girder dengan spesifikasi seperti berikut:

W	= 1306,24 kg/m	Sx	= 125351,1 cm^3
bf	= 1000 mm	Sy	= 10155,7 cm^3
d	= 2300 mm	Ix	= 17047748,67 cm^4
As	= 1664 cm^2	Iy	= 507784,93 cm^4
tw	= 20 mm	ix	= 62,101cm
tf	= 30 mm	iy	= 32,4cm
h	= 2240 mm	a	= 866 mm

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

Mn = 2.844.120 kgm > Mu = 2.246.157 kgm (OK)

Vn = 577.777 kg > Vu = 425.613 kg (OK)

5.7.2 Perencanaan Kolom Portal Akhir

Nilai gaya dalam yang tejadi pada kolom portal akhir didapatkan dari program bantu Midas. Gaya dalam pada prtal berupa gaya aksial dan momen.

P_u = 232.425 kg

M_{ux} = 1.115.325 kgm

M_{uy} = 560.950 kgm

Kedua gaya ini harus dapat ditahan oleh profil baja yang direncanakan pada konstruksi kolom portal akhir. Material yang dipakai Profil *BOX* 1200x1200x40, dengan material properti sebagai berikut,

W	= 1456,96 kg/m	Zx	= 70793 cm^3
bf	= 1200 mm	Zy	= 70793 cm^3
d	= 1200 mm	Ix	= 4167399 cm^4
Ag	= 1856 cm^2	Iy	= 4167399 cm^4
tw	= 40 mm	ix	= 47,38 cm
tf	= 40 mm	iy	= 47,38 cm

A. Kontrol Akibat Gaya Aksial

Kontrol tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

Badan : $\frac{h}{tw} < 2{,}42\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\frac{1120}{40} = 2{,}42\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$30{,}5 < 151$

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

Diketahui:

K = 1

L = 9200 mm

r = iy = 47,38 cm Tegangan Kritis (Fcr):

$\frac{KL}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$\frac{9200}{473{,}8} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$19{,}14 \leq 124{,}78$

sehingga,

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

$= \frac{\pi^2\ 200000}{\left(\frac{1 \times 9200}{473{,}8}\right)^2} = 5230{,}1$ Mpa

F_{cr} $= \left[0{,}658^{\frac{Fy}{Fe}}\right] Fy$

$= \left[0{,}658^{\frac{285}{5230{,}1}}\right] \times 285$

$= 0{,}977 \times 285$ MPa

$=278{,}57$ MP_a

P_n $= F_{cr} \times A_g$

$= 278{,}57 \times 185600$

$= 51.703.198$ N

$= 5.170.319$ kg

$ØP_n$ $= 0{,}9 \times P_n$

$= 0{,}9 \times 5.170.319$

$= 392779{,}7$ kg

B. Kontrol Akibat Momen Lentur

Sumbu x:

M_1 $= 274.548$ kgm

M_2 $= 1.115.325$ kgm

C_{mx} $= 0{,}6 – 0{,}4\beta$ (Lamp.8.2.1 SNI 1729:2015)

$= 0{,}6 – 0{,}4$ (M1/M2)

$= 0{,}6 – 0{,}4$ (274.548/1.115.325)

$= 0{,}52$

λ_x $= \frac{KL}{ix} = \frac{1 \times 9200}{473{,}8} = 9{,}14$

N_{crbx} $= \frac{\pi^2 \times E \times Ag}{\lambda x^2} = \frac{\pi^2 \times 2000000 \times 1536}{7{,}11^2}$

$= 599.157.922$ kg

δ_{bx} $= \frac{C_{mx}}{1-\left(\frac{Nu}{N_{crbx}}\right)} \geq 1$

$= \frac{0{,}52}{1-\left(\frac{232.425}{599157922}\right)} \geq 1$

$= 0{,}58 \geq 1$ ($\delta_{bx} = 1$)

M_{UX} $= \delta_{bx} \times M_{utx}$

$= 1 \times 1.115.325 = 1.115.325$ kgm

Sumbu y:

M_1 = 468.332 kgm

M_2 = 560.950 kgm

C_{my} = 0,6 – 0,4β (Lamp.8.2.1 SNI 1729:2015)

= 0,6 – 0,4 (M1/M2)

= 0,6 – 0,4 (468.332/560.950)

= 0,312

$\lambda_y = \frac{KL}{iy} = \frac{1 \,.\, 9200}{473{,}8} = 19{,}14$

$N_{crby} = \frac{\pi^2.E.Ag}{\lambda y^2} = \frac{\pi^2 \,.\, 2000000 \,.\, 1856}{9{,}14^2}$

= 599.157.922 kg

$\delta_{by} = \frac{C_{mx}}{1-\left(\frac{Nu}{N_{crby}}\right)} \geq 1$

$= \frac{0{,}312}{1-\left(\frac{232.425}{599157922}\right)} \geq 1$

$= 0{,}33 \geq 1$

$M_{UY} = \delta_{by} \times M_{uty}$

$= 1 \times 560.950 = 560.950$ kgm

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

Kontrol tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1a)

Sayap: $\frac{d}{t} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{1000}{40} \leq 1{,}4\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$25 \leq 37{,}08$

Badan : $\frac{h}{tw} < 2{,}42\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\frac{920}{40} = 2{,}42\sqrt{\frac{200000}{285}}$

$23 < 151$

Profil Kompak, maka:

Momen terhadap sumbu x

M_{px} $= Z_x \times f_y$

$= 70.793 \times 2850$

$= 201.760.848$ kgcm

$= 2.017.608$ kgm

Momen terhadap sumbu y ($Z_x = Z_y$)

M_{py} $= M_{px}$

$= 2.017.608,48$ kgm

Kontrol Tekuk Lateral

Lb $= 275$ cm

Lp $= 1100,58$ cm

Lb < Lp, Bentang Pendek

Lr $= 8256,22$ cm

Bentang Pendek, maka:

Mn $= Mp$

Sehingga,

Mnx $= Mpx$

$= Zx \times fy$

$= 2.017.608$ kgm

Mny $= Mpy$

$= Zy \times fy$

$= 2.017.608,48$kgm

C. Kontrol Interaksi Kolom

$\frac{Nu}{\emptyset_b N_n} = \frac{232.425}{0,85 \times 3927797,7} = 0,16 \geq 0,2$

Maka persamaan yang dipakai:

$\frac{Nu}{\emptyset_b N_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{Mux}{\emptyset_b M_{nx}} + \frac{Muy}{\emptyset_b M_{ny}}\right) < 1,0$

$0,2 + \frac{8}{9}\left(\frac{1.115.325}{0,9 \times 2017608,48} + \frac{560.950}{0,9 \times 2017608,48}\right)$

$= 0.2 + 0.795 < 1$

$= 0,995 < 1$ (OK)

D. Perencanaan Pengaku (Stiffener)

Untuk memperkecil bahaya lipat pelat badan, maka diberikan pengaku atau *stiffener*. Agar konstruksi sederhana, maka stiffener di tempatkan pada arah transversal maupun longitudinal bila diperlukan. Adapun proporsi penampang ditentukan dalam AASHTO 2007;

- Pengaku Transversal

  Direncanakan:

  tebal stiffner = 20 mm

  Lebar : $b_t \geq 50 + \frac{D}{30}$

  $b_t \geq 50 + \frac{1200}{30}$

  $b_t \geq 90$ mm

  direncanakan lebar transversal stiffner 150 mm

  jarak antar stiffener

  $d_o \leq 1{,}5\ D$

  $d_o \leq 1{,}5\ (1200)$

  $d_o \leq 1800$ mm

  direncanakan jarak antar transversal *stiffener* = 1000 mm

- Pengaku Longitudinal

  Direncanakan

  Tebal *stiffener* = 20 mm

  Lebar : $b_t \leq 0{,}48 \times t_s \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

  $b_t \leq 0{,}48 \times 20 \times \sqrt{\frac{200000}{285}}$

  $b_t \leq 254$ mm

  direncanakan lebar longitudinal *stiffener* = 100 mm

  jarak antar longitudinal *stiffener*

  $d_s = d_c/2$

  $= 1200/2$

  $= 600$ mm

5.8 Analisa Lendutan Ijin Jembatan

Dalam perencanaan suatu jembatan, salah satu syarat utama yang harus dipenuhi untuk mendesain jembatan adalah lendutan yang tidak boleh melebihi batas. Syarat, $\Delta \leq \Delta$ijin , dimana Δijin adalah lendutan ijin, sedangkan Δ adalah lendutan yang terjadi akibat beban hidup saja. Nilai lendutan ijin adalah sebagai berikut,

$$\Delta_{ijin} = \frac{1}{800} \text{ L}$$
$$= \frac{1}{800} \times 144 \text{ m}$$
$$= 0.18 \text{ m} = 18 \text{ cm}$$

Untuk perhitungan lendutan yang terjadi pada jembatan dihitung menggunakan program bantu Midas Civil seperti pada Gambar 6.49. Input beban yang dimasukkan adalah nilai yang terbesar dari:

Lendutan akibat BTR dan BGT

Gambar 5.11 Lendutan Jembatan akibat Beban Hidup

Main span (λ = 144 m)

Δaktual = 9,72 cm < Δijin = 18 cm (OK)

5.9 Perencanaan Sambungan

Dalam mendesain sambungan pada jembatan ini mengacu pada peraturan sambungan baja SNI 1729-2015. Beberapa sistem sambungan yang digunakan terdiri dari sambungan baut dan las dengan bantuan pelat sambung. Sambungan baut menggunakan baut jenis mutu tinggi dengan diameter dan kekuatan seperti pada Sambungan Balok Memanjang dan Melintang

Tabel 5.9 Pratarik Baut Minimum, kN*

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595
*Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan mendekati kN seperti disyaratkan dalam spesifikasi untuk baut ASTM A325M dan A490M		

5.9.1 Sambungan Antara Gelagar Memanjang dan Gelagar Melintang

A. Data perencanaan sambungan gelagar memanjang ke gelagar melintang:

V_u = 67.103,3 kg

- Pelat siku penyambung:

Profil = L 200×200×15

f_u = 550 MPa

f_y = 410 MPa

- Baut:

Ø Baut = M24

Mutu = A490

T_b = 257 kN

1. Kuat Geser

Vn = $\mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

dengan,

μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)

D_u = 1,13

h_f = 1 (Faktor Pengisi)

N_s = 2 (Bidang Geser)

Sehingga,

V_n = 0,3 × 1,13 × 1 × 257 × 2

= 174,246 kN = 17424,6 kg

2. Jumlah Baut

n = $\frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{67103,3}{17424,6} = 3,85 \approx 4$ buah

3. Jarak Baut

Jarak antar baut (d=24 mm)

3d < s < 1,4tp atau 180 mm

72 mm < 75 mm < 180 mm

Jarak baut ke tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum dapat dilihat pada Tabel 5.10

Tabel 5.10 Jarak Tepi Minimum Sambungan

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	40
Di atas 36	1,25 d

30 mm < s < 12tp atau 150 mm

30 mm < 50 mm < 150 mm

4. Kontrol Pelat Siku

Kuat Leleh:

V_n = 0,6 × f_y × A_{gv}

= 0,6 × 410 × (325.15)

= 1199250 N

$\emptyset V_n$ = 1 × 1.199.250

= 1.199.250 N = 119.925 kg

Kuat Putus:

V_n $= 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$

$= 0{,}6 \times 550 \times (325-(4\times24)) \times 15$

$= 1.133.550$ N

$\emptyset V_n$ $= 0{,}75 \times 11.33.550$

$= 1.133.550$ N

$= 113.355$ kg (Menentukan)

Karena memakai 2 siku, maka:

$2\emptyset V_n$ $= 2 \times 113.355$ kg

$= 226.710$ kg $> V_u = 67.103{,}3$ kg **(OK)**

$2\emptyset V_n$ $\geq \emptyset V_n$ batang memanjang

226.710 kg $\geq$ 165.801,6 kg **(OK)**

B. Data perencanaan sambungan balok melintang ke balok memanjang:

V_u = 67.103,3 kg

- Pelat siku penyambung:

  Profil = L 200×200×15

  f_u = 550 MPa

  f_y = 410 MPa

- Baut:

  Ø Baut = M24

  Mutu = A490

  T_b = 257 kN

5. Kuat Geser

   Vn $= \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

   dengan,

   μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)

   D_u = 1,13

   h_f = 1 (Faktor Pengisi)

   N_s = 2 (Bidang Geser)

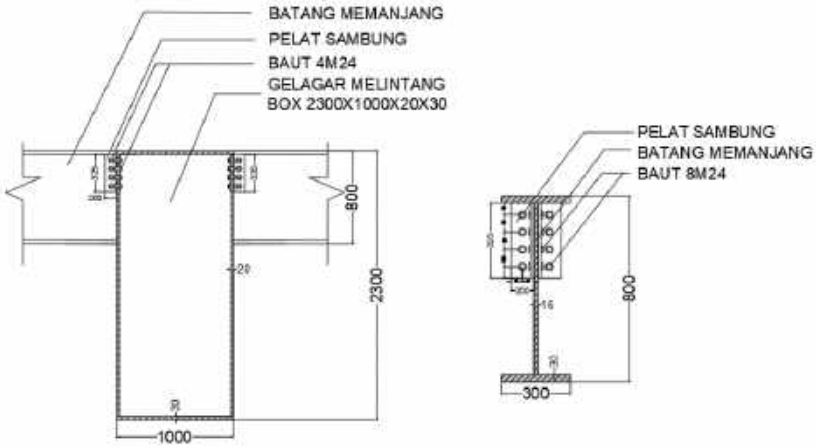
   Sehingga,

V_n = 0,3 × 1,13 × 1 × 257 × 2
= 174,246 kN
= 17.424,6 kg

6. Jumlah Baut
n = $\frac{Vu}{\emptyset Vn} = \frac{67103,3}{17424,6} = 3,85 \approx 8$ buah
7. Jarak Baut
Jarak antar baut (d=24 mm)
3d < s < 1,4tp atau 180 mm
72 mm < 100 mm < 180 mm
Jarak baut ke tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum;
30 mm < s < 12tp atau 150 mm
30 mm < 50 mm < 150 mm
8. Kontrol Pelat Siku
Kuat Leleh:
V_n = 0,6 × f_y × A_{gv}
= 0,6 × 410 × (325×15)
= 1.199.250 N
$\emptyset V_n$ = 1 × 1.199.250
= 1.199.250 N
= 119.925 kg
Kuat Putus:
V_n = 0,6 × f_u × A_{nv}
= 0,6 × 550 × (325-(4×24)) ×15
= 1.133.550 N
$\emptyset V_n$ = 0,75 × 1133550
= 1.133.550 N
= 113.355 kg (Menentukan)
Karena memakai 2 siku, maka:
$2 \times \emptyset V_n$ = 2 × 113.355 kg
= 226.710 kg > V_u = 67103,3 kg (OK)

$2 \times \emptyset V_n \geq \emptyset V_n$ batang memanjang

226.710 kg $\geq$ 165.801,6 kg



Gambar 5.12 Sambungan Antara Gelagar Melintang dan Gelagar Memanjang

5.9.2 Sambungan Antara Gelagar Melintang dan *Tie Beam*

Data perencanaan sambungan:

Profil Gelagar Melintang = *BOX* 2300×1000×20×30

Profil *Tie Beam* = *BOX* 2000×1200×3040

N_{ux} = 109.667 kg

V_{uz} = 2.133.207 kg

V_{uy} = 25.343 kg

M_{uy} = 222.452 kgm

M_{uz} = 2.246.157 kgm

T_u = 22.483 kgm

- Pelat penyambung:

  Tebal = 2×30 mm

  f_u = 550 MPa

f_y = 410 MPa

- Baut:

Ø Baut = M30
Mutu = A490
T_b = 408 kN
Fnt = 780 MPa
Fnv = 579 MPa

1. Kuat Geser

$V_n = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

dengan,

μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)
D_u = 1,13
h_f = 1 (Faktor Pengisi)
T_b = 408 kN
N_s = 2 (Bidang Geser)

Sehingga,

$V_n = 0{,}3 \times 1{,}13 \times 1 \times 408 \times 2$
= 276,624 kN
= 27662,4kg

2. Beban Gaya Geser

Rasio badan (β) $= \frac{H}{B+H} = \frac{2300}{1000+2300}$
= 0,69

Rasio Sayap (α) $= \frac{B}{B+H} = \frac{1000}{1000+2300}$
= 0,31

- Gaya Geser 2 arah (sumbu X)

N_{ux} = 109.667 kg
$N_{u\ sayap} = \frac{Muy}{H} = \frac{222.452}{2.24} = 99.308$ kg
$N_{u\ badan} = \frac{Muz}{B} = \frac{2.246.157}{1} = 2.246.157$ kg
Gaya $X_{sayap} = N_u . \alpha + N_{u\ sayap}$
= 109.667×0,31 + 99.308

= 132.542 kg

Gaya X_{badan} = N_u. β + $N_{u\ badan}$

= 109.667×0,69 + 2.246.157

= 2.322.592 kg

- Gaya Geser Akibat Torsi (sumbu Y dan Z)

Vuy = 25.343 kg

$\frac{Tu}{H}$. α = $\frac{22.483}{2,24} \times 0,31$

= 3041,5 kg

Gaya Y = 25.343 + 3041,5

= 28.385 kg

Vuz = 2.133.207 kg

$\frac{Tu}{B}$. β = $\frac{22.483}{1} \times 0,69$ = 15.670 kg

Gaya Z = 2.133.207 + 15.670

= 2.148.877 kg

- Resultan Gaya Geser yang Bekerja

$V_{u\ sayap}$ = $\sqrt{(x_{sayap})^2 + y^2}$

= $\sqrt{(132.542)^2 + 28.385^2}$

= 135.547 kg

$V_{u\ badan}$ = $\sqrt{(x_{badan})^2 + z^2}$

= $\sqrt{(2.2322.592)^2 + 2.148.877^2}$

= 3.164.190 kg

3. Jumlah Baut

Badan :

V_u badan = 3.164.190 kg

n = $\frac{V_u badan}{\emptyset V_n} = \frac{3.164.190}{27662,4} \approx 104,38$

= 112 (Dipasang 56 buah tiap sisi)

Sayap:

V_u sayap = 135.547 kg

n $= \frac{V_u sayap}{\emptyset V_n} = \frac{135.547}{27662,4} \approx 4,9$

$= 48$ (Dipasang 40 buah tiap sisi)

4. Kuat Tarik

$\emptyset T_n = \emptyset \times Fnt \times Ab$

$= 0,75 \times 780 \times (1/4 \times \pi \times 30^2)$

$= 413513,13$ N $= 41351,31$ kg

5. Beban Tarik Maksimum

$M_u = 2.246.157$ kgm

$T_{Max} = \frac{M_u \times d_{max}}{\Sigma d^2}$

$= \frac{224615700 \ x\, 195}{4 \sum_{13}^{1} (15)^2}$

$= \frac{21900030750}{737100}$

$= 29711,07$ kg $< \emptyset T_n = 41.351,21$ kg

6. Kontrol Interaksi Geser dan Tarik

Kekuatan masing-masing baut:

$V_{u\ 1\ baut\ sayap} = \frac{3164190}{112} = 22.601$ kg

$\emptyset T_{comb} = \emptyset \times F`_{nt} \times A_b$

$F`_{nt} = 1,3\ F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\emptyset F_{nv}} \times \frac{V_{u1\ baut}}{Ab} \leq F_{nt}$

$= 1,3(780) - \frac{780}{0,75 .579} \times \frac{22601}{\frac{1}{4}.\pi.30^2} \leq 780$

$= 956$ MPa $>$ 780 MPa (OK)

$\emptyset T_{comb} = \emptyset T_n$

$= 41.351,21$ kg $> T_{u\ max}$ (OK)

7. Jarak Baut

Jarak antar baut (d=30 mm)

3d < s < 14tp atau 180 mm

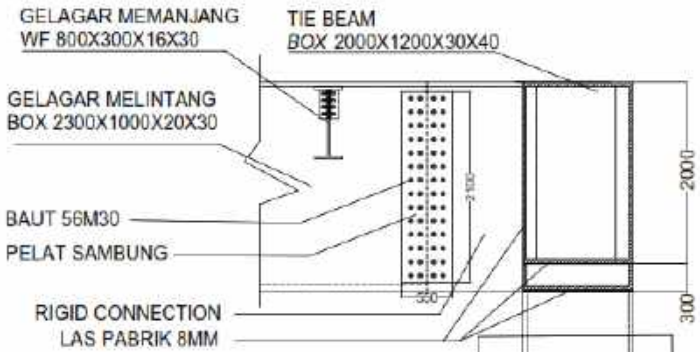
90 mm < 150 mm < 180 mm

Jarak baut tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum

38 mm < s < 12tp atau 150 mm

38 mm < 100 mm < 150 mm

8. Kontrol Pelat
   badan
   Kuat Leleh:
   V_n $= 0{,}6 \times f_y \times A_{gv}$
   $= 0{,}6 \times 410 \times (2100 \times 2 \times 30)$
   $= 36.162.000$ N
   $\emptyset V_n$ $= 1 \times 36.162.000$
   $= 36.162.000$ N
   $= 3.616.200$ kg
   Kuat Putus:
   V_n $= 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$
   $= 0{,}6 \times 550 \times (2100-(16 \times 24)) \times (2 \times 30)$
   $= 40.906.800$ N
   $\emptyset V_n$ $= 0{,}75 \times 40.906.800$
   $= 30.680.100$ N
   $= 3.068.010$ kg (Menentukan)
   Karena sambungan berada di kedua sisi, maka:
   $2\emptyset V_n$ $= 2 \times 3.068.010$ kg
   $= 6.136.020$ kg $> V_u = 1.813.225$ kg (OK)



Gambar 5.13 Sambungan Antara Gelagar Melintang dan *Tie Beam*

5.9.3 Sambungan Ikatan Angin Atas

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Angin Atas:
  Profil : *BOX* 500×500×20
  V_u = 37.745,27 kg
  T_u = 169.358,55 kg
- Pelat penyambung:
  Tebal = 2×15 mm
  f_u = 550 MPa
  f_y = 410 MPa
- Baut:
  Ø Baut = M24
  Mutu = A490
  T_b = 257 kN

1. Kuat Geser
   $V_n = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)
   dengan,
   μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)
   D_u = 1,13
   h_f = 1 (Faktor Pengisi)
   T_b = 257 kN
   N_s = 2 (Bidang Geser)
   Sehingga,
   $V_n = 0{,}3 \times 1{,}13 \times 1 \times 257 \times 2$
   = 174,246 kN
   = 17.424,6 kg
2. Kombinasi Gaya Tarik dan Geser
   $V_{nkombinasi} = k_{sc} \cdot V_n$
   $k_{sc} = \left(1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}\right)$
   dengan,
   T_u = gaya tarik yang diperlukan (kN)

n_b = jumlah baut yang menahan gaya tarik yang diterapkan

Dicoba n_b = 16 buah. Sehingga,

$V_{nkombinasi} = \left(1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}\right) \times V_n$

$= \left(1 - \frac{169358,55}{1,13 \times 25700 \times 16}\right) \times 17424,6$

$= 11073,675$ kg

3. Jumlah Baut

Badan :

Rasio Badan (β) $= \frac{H}{B+H} = \frac{600}{600+600}$

$= 0,5$

V_u badan $= \beta \, . \, Vu$

$= 0,5 \, . \, 37745,27$

$= 18872,64$ kg

n $= \frac{V_u badan}{\emptyset V_{nkombinasi}} = \frac{18872,64}{11073,675} = 1,7 \leq 16$ baut

Sayap:

Rasio Sayap (α) $= \frac{B}{B+H} = \frac{600}{600+600}$

$= 0,5$

V_u Sayap $= \alpha \times Vu$

$= 0,5 \times 37745,27$

$= 18872,64$ kg

n $= \frac{V_u sayap}{\emptyset V_{nkombinasi}} = \frac{18872,64}{11073,675} = 1,7 \leq 16$ baut

4. Jarak Baut

Jarak antar baut (d=24 mm)

3d < s < 14tp atau 180 mm

72 mm < 100 mm < 180 mm

Jarak baut ke tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum

34 mm < s < 12tp atau 150 mm
34 mm < 100 mm < 150 mm

5. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

V_n = 0,6 × f_y × A_{gv}
= 0,6 × 410 × (500×2×15)
= 3.690.000 N

$ØV_n$ = 1 × 3690000
= 3.690.000 N
= 369.000 kg (Menentukan)

Kuat Putus:

V_n = 0,6 × f_u × A_{nv}
= 0,6 × 550 × (500-(4×24)) × (2×15)
= 3.969.000 N

$ØV_n$ = 0,75 × 3.969.000
= 2.999.700 N
= 299.970 kg (Menentukan)

Karena memakai 4 pelat:

4 $ØV_n$ = 1.199.880 kg
4 $ØV_n$ $\geq$ V_u = 37745,27 kg (OK)
4 $ØV_n$ $\geq$ V_n ikatan angin
1.199.880 kg $\geq$ 991.800 kg (OK)

6. Kontrol Sambungan Las:

Tabel 5.11 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

Mutu = E70xx

Fexx = 490 MPa

Ketebalan las minimum:

tw = 8 mm

w = 0,707 × 8 = 5,65 mm

aktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

l = 2 × (600+600) = 2400 mm

180 w = 180 × 5,65 = 1017 mm (pakai)

$\frac{l}{w}$ = $\frac{1017}{5,65}$ = 180 > 100

Karena l/w > 100 maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

β = $1,2 - 0,002 (\frac{l}{w}) = 1,2 - 0,002 \times 180$

β = 0,84 < 1

lw = β · l

= 0,84 · 2400 = 2016 mm

Kapasitas las

R_n = $0,6 \times F_{exx} \times A$

= 0,6 × 70 × 70,3 × 5,65 × 2016

= 42.600.913 N

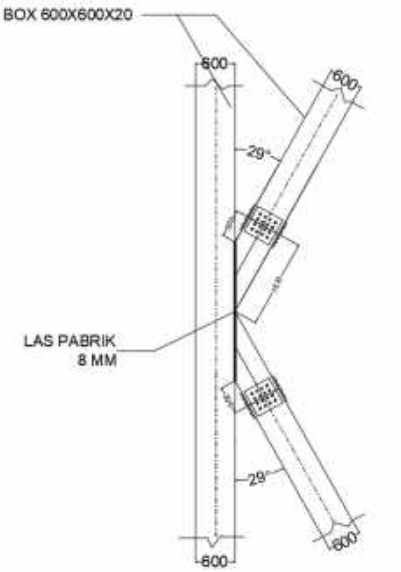
= 4.260.091 Kg

ØR_n = 0,75 × R_n

= 0.75 × 4.260.091

= 3.408.073 kg > 991.800 kg **[OK]**

rencanakan tebal las tw = 8 mm



Gambar 5.14 Sambungan Ikatan Angin Atas

5.9.4 Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan

Data perencanaan sambungan:

- Ikatan Angin Lantai Kendaraan:
  Profil : *BOX* 500×500×20
  V_u = 73645,03 kg
  T_u = 268.374,59 kg
- Pelat penyambung:
  Tebal = 2×15 mm
  f_u = 550 MPa
  f_y = 410 MPa

- Baut:
  Ø Baut = M24
  Mutu = A490
  T_b = 257 kN

7. Kuat Geser
   $V_n = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)
   dengan,
   μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)
   D_u = 1,13
   h_f = 1 (Faktor Pengisi)
   T_b = 257 kN
   N_s = 2 (Bidang Geser)
   Sehingga,
   $V_n = 0{,}3 \times 1{,}13 \times 1 \times 257 \times 2$
   = 174,246 kN
   = 17424,6 kg
8. Kombinasi Gaya Tarik dan Geser
   $V_{nkombinasi} = k_{sc} \times V_n$
   $k_{sc} = \left(1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}\right)$

dengan,

T_u = gaya tarik yang diperlukan (kN)

n_b = jumlah baut yang menahan gaya tarik yang diterapkan

Dicoba n_b = 16 buah. Sehingga,

$V_{nkombinasi} = \left(1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}\right) \times V_n$

$= \left(1 - \frac{268374,59}{1,13.\times 25700 \times 16}\right) \times 17424,6$

$= 7360,55$ kg

9. Jumlah Baut

Badan :

Rasio Badan (β) $= \frac{H}{B+H} = \frac{600}{600+600}$

$= 0,5$

V_u badan $= \beta \times Vu$

$= 0,5 \times 73645,03$

$= 36.822,52$ kg

n $= \frac{V_u badan}{\emptyset V_{nkombinasi}} = \frac{36822,52}{7360,55} = 5,1 \leq 16$ baut

Sayap:

Rasio Sayap (α) $= \frac{B}{B+H} = \frac{600}{600+600}$

$= 0,5$

V_u Sayap $= \alpha \times Vu$

$= 0,5 \times 73645,03$

$= 36822,52$ kg

n $= \frac{V_u sayap}{\emptyset V_{nkombinasi}} = \frac{36822,52}{7360,55} = 5,1 \leq 16$ baut

Jarak Baut

Jarak antar baut (d=24 mm)

3d < s < 14tp atau 180 mm

72 mm < 100 mm < 180 mm

Jarak baut ke tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum:

34 mm < s < 12tp atau 150 mm

34 mm < 100 mm < 150 mm

10. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

V_n = 0,6 × f_y × A_{gv}

= 0,6 × 410 × (500×2×15)

= 3690000 N

ØV_n = 1 × 3690000

= 3.690.000 N

= 369.000 kg (Menentukan)

Kuat Putus:

V_n = 0,6 × f_u × A_{nv}

= 0,6 × 550 × (500-(4×24)) × (2×15)

= 3.999.600 N

ØV_n = 0,75 × 39.690.000

= 2.999.700 N

= 299.970 kg (Menentukan)

Karena memakai 4 pelat:

4 ØV_n = 1.199.880 kg

4 ØV_n $\geq$ V_u = 37745,27 kg (OK)

4 ØV_n $\geq$ V_n ikatan angina

1.199.880 kg $\geq$ 991.800 kg (OK)

11. Kontrol Sambungan Las:

berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

Mutu = E70xx

Fexx = 490 MPa

Ketebalan las minimum:

tw = 8 mm

w = 0,707 × 8 = 5,65 mm

aktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

l = 2 × (600+600) = 2400 mm

180 w = 180 × 5,65 = 1017 mm (pakai)

$\frac{l}{w}$ = $\frac{1017}{5,65}$ = 180 > 100

Karena l/w > 100 maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

β = 1,2 − 0,002 ($\frac{l}{w}$) = 1,2 − 0,002 × 180

β = 0,84 < 1

lw = β · l

= 0,84 · 2400 = 2016 mm

Kapasitas las

R_n = 0,6 × F_{exx} × A

= 0,6 × 70 × 70,3 × 5,65 × 2016

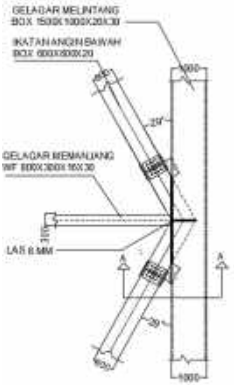
= 42.600.913 N = 4.260.091 Kg

ØR_n = 0,75 × R_n

= 0.75 × 4.260.091

= 3.408.073 kg > 991.800 kg **[OK]**

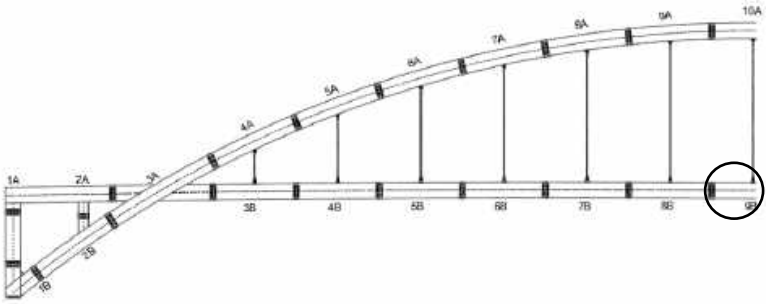
direncanakan tebal las tw = 8 mm



Gambar 5.15 Sambungan Ikatan Angin Lantai Kendaraan

5.9.5 Sambungan Gelagar Rangka Utama

A. Sambungan Titik 9B



Gambar 5.16 Lokasi Titik Simpul

- Perencanaan sambungan *tie beam* :

- Tie Beam:
  Profil = *BOX* 2000×1200×30×40
  N_{ux} = 5.647.518 kg
  V_{uz} = 1.167.000 kg
  V_{uy} = 1.034.736 kg
  M_{uy} = 2.246.157 kgm
  M_{uz} = 2.754.091 kgm
  T_u = 1.500.870 kgm
- Pelat penyambung:
  Tebal = 2×30 mm
  f_u = 550 MPa
  f_y = 410 MPa
- Baut:
  Ø Baut = M30
  Mutu = A490
  T_b = 408 kN
  Fnt = 780 MPa
  Fnv = 579 MPa

9. Kuat Geser

V_n $= \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

dengan,

μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)

D_u = 1,13

h_f = 1 (Faktor Pengisi)

T_b = 408 kN

N_s = 2 (Bidang Geser)

Sehingga,

V_n $= 0{,}3 \times 1{,}13 \times 1 \times 408 \times 2$

$= 276{,}624$ kN

$= 27662{,}4$kg

10. Beban Gaya Geser

Rasio badan (β) $= \frac{H}{B+H} = \frac{2000}{2000+1200}$

$= 0{,}625$

Rasio Sayap (α) $= \frac{B}{B+H} = \frac{1200}{2000+1200}$

$= 0{,}375$

- Gaya Geser 2 arah (sumbu X)

N_{ux} = 5.647.518 kg

$N_{u\ sayap} = \frac{Muy}{H} = \frac{2.246.157}{1{,}92} = 1.169.873$ kg

$N_{u\ badan} = \frac{Muz}{B} = \frac{2.754.091}{1{,}2} = 2.295.076$ kg

Gaya X_{sayap} $= N_u . \alpha + N_{u\ sayap}$

$= 5.647.518 . 0{,}375 + 1.169.873$

$= 3.287.693$ kg

Gaya X_{badan} $= N_u . \beta + N_{u\ sayap}$

$= 5.647.518 . 0{,}625 + 2.295.076$

$= 5.824.775$ kg

- Gaya Geser Akibat Torsi (sumbu Y dan Z)

Vuy = 1.034.736 kg

$\frac{Tu}{H}$. α = $\frac{1.500.870}{1,92}$. 0,375
= 293.139 kg
Gaya Y = 1.034.736 + 293.139
= 1.327.515 kg
Vuz = 1.167.000 kg
$\frac{Tu}{B}$. β = $\frac{1.500.870}{1,2}$. 0,625 = 781.703 kg
Gaya Z = 1.167.000 + 781.703
= 1948703 kgm

- Resultan Gaya Geser yang Bekerja

$V_{u\ sayap}$ = $\sqrt{(x_{sayap})^2 + y^2}$
= $\sqrt{(3.287.693)^2 + 1.327.515^2}$
= 3.545.592 kg
$V_{u\ badan}$ = $\sqrt{(x_{badan})^2 + z^2}$
= $\sqrt{(5.824.775)^2 + 1.948.703^2}$
= 6.142.104 kg

11. Jumlah Baut
Badan :
V_u badan = 6.142.104 kg
n = $\frac{V_u badan}{Ø\, V_n} = \frac{6142104}{27662,4} \approx 82,3$
= 88 (Dipasang 44 buah tiap sisi)
Sayap:
V_u sayap = 3.545.592
n = $\frac{V_u sayap}{Ø\, V_n} = \frac{3545592}{27662,4} \approx 45,8$
= 48 (Dipasang 40 buah tiap sisi)
12. Kuat Tarik
$ØT_n$ = Ø × Fnt × Ab
= 0,75 × 780 × (1/4 × π × 30^2)
= 413512,13 N = 41351,21 kg

13. Beban Tarik Maksimum

M_u = 2.754.091 kgm

$T_{Max} = \frac{M_u \times d_{max}}{\Sigma d^2}$

$= \frac{275409100\ x\ 135}{4\sum_9^1 (15)^2}$

$= \frac{37180228500}{256500}$

= 36.430 kg < $\emptyset T_n$ = 41.351,21 kg

14. Kontrol Interaksi Geser dan Tarik

Kekuatan masing-masing baut:

$V_{u\ 1\ baut\ sayap} = \frac{3.545.592}{80}$ = 22.160 kg

$\emptyset T_{comb} = \emptyset \times F`_{nt} \times A_b$

$F`_{nt} = 1{,}3\ F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\emptyset F_{nv}} \times \frac{V_{u1\ baut}}{Ab} \leq F_{nt}$

$= 1{,}3(780) - \frac{780}{0{,}75\ .579} \times \frac{221600}{\frac{1}{4}.\pi.30^2} \leq 780$

= 802,72 MPa > 780 MPa (OK)

$\emptyset T_{comb} = \emptyset T_n$

= 41.351,21 kg > $T_{u\ max}$ (OK)

15. Jarak Baut

Jarak antar baut (d=30 mm)

3d < s < 14tp atau 180 mm

90 mm < 150 mm < 180 mm

Jarak baut ke tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum

38 mm < s < 12tp atau 150 mm

38 mm < 100 mm < 150 mm

16. Kontrol Pelat Penyambung

Badan:

Kuat Leleh:

$V_n = 2 \times 0{,}6 \times f_y \times A_{gv}$

$= 2 \times 0{,}6 \times 410 \times (2150 \times 2 \times 30)$

$= 31734000$ N

$\emptyset V_n = 1 \times 31734000$

$= 31.734.000$ N

$= 3.173.400$ kg

Kuat Putus:

$V_n = 2 \times 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$

$= 2 \times 0{,}6 \times 550 \times (2150\text{-}(14\times30)) \times (2\times30)$

$= 34.254.000$ N

$\emptyset V_n = 0{,}75 \times 34.254.000$

$= 25.690.500$ N

$= 2.569.050$ kg (Menentukan)

Sayap

Kuat Leleh:

$V_n = 2 \times 0{,}6 \times f_y \times A_{gv}$

$= 2 \times 0{,}6 \times 410 \times (1200\times (2\times30))$

$= 22.878.000$ N

$\emptyset V_n = 1 \times 22.878.000$

$= 22.878.000$ N

$= 2.287.800$ kg

Kuat Putus:

$V_n = 2 \times 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$

$= 0{,}6 \times 550 \times (1200\text{-}(10\times30)) \times (2\times30)$

$= 24.750.000$ N

$\emptyset V_n = 0{,}75 \times 24.750.000$

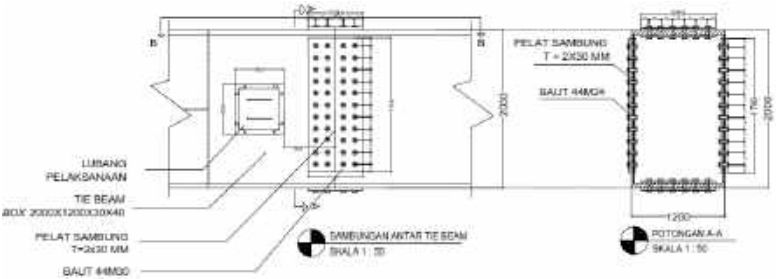
$= 18.562.500$ N

$= 1.856.250$ kg (Menentukan)

Karena dipasang di kedua sisi, maka:

$2\ \emptyset V_n = 2 \times (2.569.050+1.856.250)$

$= 8.850.600$ kg $\geq V_u = 5.202.348{,}47$ kg



Gambar 5. 17 Sambungan Antar *Tie Beam*

- Perencanaan sambungan kabel penggantung:

  Kabel Penggantung:

  Profil = PFEIEFER PV560 (M85)

  V_u = 269.994,2 kg

- Sambungan Gusset Plate dan Pin:

  f_{yb} = 520 MP_a

  f_{ub} = 660 MP_a

  Lebar gusset = 129 mm

  Tebal Pelat = 30 mm

  Ø pin = 142 mm

1. Kuat Geser Pin

   $V_d = Øf \times V_n$

   $= 0{,}75 \times r_1 \times f_{ub} \times A_b \times m$

   $= 0{,}75 \times 0{,}5 \times 660 \times (0{,}25 \times \pi \times 142^2) \times 2$

   $= 7.835.226$ N

   $= 783.522{,}6$ kg > V_u = 269.994,2 kg

- Sambungan Gusset dan Pelat Buhul

1. Sambungan Baut

   Ø Baut = M30

   Mutu = A325

   f_y = 585 MPa

   f_u = 825 MPa

   Mutu Pelat BJ55, sambungan dengan pelat

f_y = 410 MPa
f_u = 550 MPa
t_p = 30 mm

2. Kuat Geser Baut
   Vd = Øf × 0,4 × f_{ub} × m × A_b
   = 0,75 × 0,4 × 8250 × 1 × (0,25.π.3^2)
   = 17485,88 kg (Menentukan!)
3. Kuat Tumpu Baut
   Rd = Øf × 2,4 × d_b × t_p × f_{up}
   = 0,75 × 2,4 × 3 × 3 × 5500
   = 89100 kg
4. Jumlah Baut
   Jumlah Baut
   n = $\frac{Vu}{ØVn} = \frac{269994,2}{2\ .\ 17485,88}$ =7,72 ≈ 8 buah
5. Jarak Baut
   Jarak antar baut (d=30 mm)
   3d < s < 14tp atau 180 mm
   90 mm < 100 mm < 180 mm
   Jarak baut ke tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum
   38 mm < s < 12tp atau 150 mm
   38 mm < 50 mm < 150 mm

- Kontrol Sambungan Las
  Tipe Las yang dipakai adalah las sudut dengan mutu 70xx yang harus mampu menahan gaya sebesar 269.994,2 kg. Syarat las:

Tabel 5.12 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

Mutu = E70xx

Fexx = 490 MPa

Ketebalan las minimum:

tw = 6 mm

w = 0,707 × 6 = 4,24 mm

aktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

l = 2 × (400+640) = 2080 mm

180 w = 180 × 4,24 = 763,2 mm (pakai)

$\frac{l}{w} = \frac{763,2}{4,24} = 180 > 100$

Karena l/w > 100 maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w}\right) = 1,2 - 0,002 \times 180$

$\beta = 0,84 < 1$

lw = β · l

= 0,84 · 2080 = 1747,2 mm

Kapasitas las

$R_n = 0,6 \times F_{exx} \times A$

= 0,6 × 70 × 70,3 × 4,24 × 1747,2

= 42.520.791 N

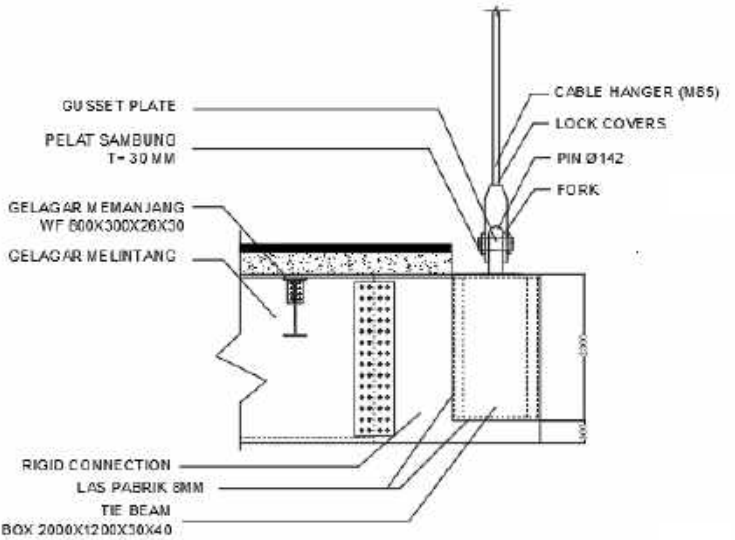
= 4.252.079 Kg

$ØR_n$ = 0,8 × R_n

= 0.8 × 4.252.079

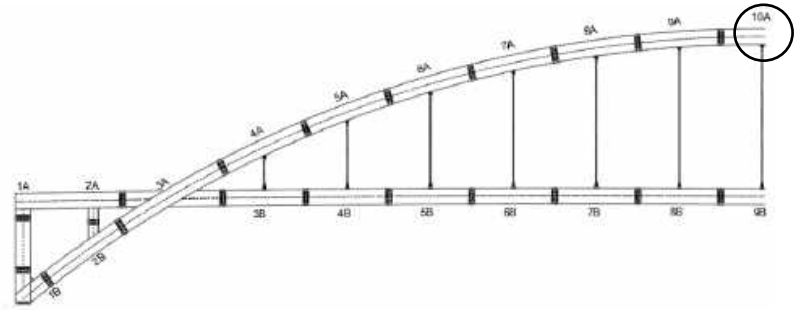
= 3.401.663 kg > 269.994 kg **[OK]**

direncanakan tebal las tw = 6 mm



Gambar 5.18 Sambungan *Cable Hanger*

B. Titik Simpul 10A



Gambar 5.19 Lokasi Titik Simpul 10A

- Perencanaan Sambungan Antar Batang Busur Atas :

- Busur Atas:
  Profil = *BOX* 2500×1500×35×50
  N_{ux} = 6.959.543 kg
  V_{uz} = 1.136.976 kg
  V_{uy} = 460.627 kg
  M_{uy} = 5.179.864 kgm
  M_{uz} = 6.015.294 kgm
  T_u = 840.280 kgm
- Pelat penyambung:
  Tebal = 2×30 mm
  f_u = 550 MPa
  f_y = 410 MPa
- Baut:
  Ø Baut = M30
  Mutu = A490
  T_b = 408 kN
  T_b = 408 kN
  Fnt = 780 MPa
  Fnv = 579 MPa

1. Kuat Geser

   V_n $= \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)

   dengan,

   μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)

   D_u = 1,13

   h_f = 1 (Faktor Pengisi)

   T_b = 408 kN

   N_s = 2 (Bidang Geser)

   Sehingga,

   V_n $= 0{,}3 \times 1{,}13 \times 1 \times 408 \times 2$

   $= 276{,}624$ kN

   $= 27662{,}4$kg

2. Beban Gaya Geser

   Rasio badan (β) $= \frac{H}{B+H} = \frac{2500}{2500+1500}$

   $= 0{,}625$

   Rasio Sayap (α) $= \frac{B}{B+H} = \frac{1500}{2500+1500}$

   $= 0{,}375$

- Gaya Geser 2 arah (sumbu X)

  N_{ux} = 6.959.543 kg

  $N_{u\ sayap} = \frac{Muy}{H} = \frac{5.179.864}{2{,}4} = 2.158.277$ kg

  $N_{u\ badan} = \frac{Muz}{B} = \frac{6.015.294}{1{,}5} = 4.010.196$ kg

  Gaya X_{sayap} $= N_u . \alpha + N_{u\ sayap}$

  $= 6.959.543 \times 0{,}375 + 2.158.277$

  $= 4.768.105$ kg

  Gaya X_{badan} $= N_u . \beta + N_{u\ sayap}$

  $= 6.959.543 \times 0{,}625 + 4.010.196$

  $= 8.359.910$ kg

- Gaya Geser Akibat Torsi (sumbu Y dan Z)

  Vuy = 460.627 kg

$\frac{Tu}{H}$. α = $\frac{840.280}{2,4}$ × 0,375
= 131.294 kg
Gaya Y = 460.627 + 131.294
= 591.921 kg
V_{uz} = 1.136.976 kg
$\frac{Tu}{B}$. β = $\frac{840.280}{1,5}$ × 0,625
= 350.117 kg
Gaya Z = 1.136.976 + 350.117
= 1.487.093 kgm

- Resultan Gaya Geser yang Bekerja

$V_{u\ sayap}$ = $\sqrt{(x_{sayap})^2 + y^2}$
= $\sqrt{(4.768.105)^2 + 591.921^2}$
= 4.804.706 kg
$V_{u\ badan}$ = $\sqrt{(x_{badan})^2 + z^2}$
= $\sqrt{(8.359.910)^2 + 1.487.093^2}$
= 8.491.145 kg

Jumlah Baut
Badan :
V_u badan = 8.491.145 kg
n = $\frac{V_u badan}{Ø\ V_n} = \frac{8.491.145}{27662,4} \approx 115,32$
= 120 (Dipasang 60 buah tiap sisi)
Sayap:
V_u sayap = 4.804.706 kg
n = $\frac{V_u sayap}{Ø\ V_n} = \frac{4.804.706}{27662,4} \approx 60,21$
= 64 (Dipasang 32 buah tiap sisi)

3. Kuat Tarik

$ØT_n$ = Ø × Fnt × Ab
= 0,75 × 780 × (1/4 × π × 30^2)

= 413512,13 N

= 41351,21 kg

4. Beban Tarik Maksimum

M_{uz} = 6.015.294 kgm

T_{Max} = $\frac{M_u \times d_{max}}{\Sigma d^2}$

= $\frac{601529400\ x\ 150}{4\sum_{11}^{1}(15)^2}$

= $\frac{22557352000}{693000}$

= 32.550,3 kg < $ØT_n$ = 41.351,21 kg

5. Kontrol Interaksi Geser dan Tarik

$V_{u\ 1\ baut}$ = $\frac{4.804.706}{88}$ = 27.300 kg

$ØT_{comb}$ = Ø × F`$_{nt}$ × A_b

F`$_{nt}$ = 1,3 F_{nt} - $\frac{F_{nt}}{ØF_{nv}} \times \frac{V_{u1\ baut}}{Ab}$ ≤ F_{nt}

= 1,3(780) - $\frac{780}{0{,}75\ .579} \times \frac{273000}{\frac{1}{4}.\pi.30^2}$ ≤ 780

= 753,7 MPa ≤ 780 MPa (OK)

$ØT_{comb}$ = Ø × F`$_{nt}$ × A_b

= 0,75 × 753,7 × (1/4 × π × 30^2)

= 499.366 N

= 49.936,6 kg > T_{max} (OK)|

6. Jarak Baut

Jarak antar baut (d=30 mm)

3d < s < 14tp atau 180 mm

90 mm < 150 mm < 180 mm

Jarak baut ke tepi sambungan, persyaratan jarak tepi minimum

38 mm < s < 12tp atau 150 mm

38 mm < 100 mm < 150 mm

7. Kontrol Pelat Penyambung

Badan:

Kuat Leleh:

V_n $= 0{,}6 \times f_y \times A_{gv}$

$= 0{,}6 \times 410 \times (2450\times (2\times 30))$

$= 36.162.000$ N

$ØV_n$ $= 1 \times 36.162.000$

$= 36.162.000$ N

$= 3.616.200$ kg

Kuat Putus:

V_n $= 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$

$= 0{,}6 \times 550 \times (2300\text{-}(16\times 30)) \times (2\times 30)$

$= 39.006.000$ N

$ØV_n$ $= 0{,}75 \times 39.006.000$

$= 29.254.500$ N

$= 2.925.450$ kg (Menentukan)

Sayap:

Kuat Leleh:

V_n $= 0{,}6 \times f_y \times A_{gv}$

$= 0{,}6 \times 410 \times (1700\times (2\times 30))$

$= 25.092.000$ N

$ØV_n$ $= 1 \times 25.092.000$

$= 25.092.000$ N

$= 2.509.200$ kg

Kuat Putus:

V_n $= 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$

$= 0{,}6 \times 550 \times (1200\text{-}(11\times 30)) \times (2\times 30)$

$= 27.126.000$ N

$ØV_n$ $= 0{,}75 \times 27.126.000$

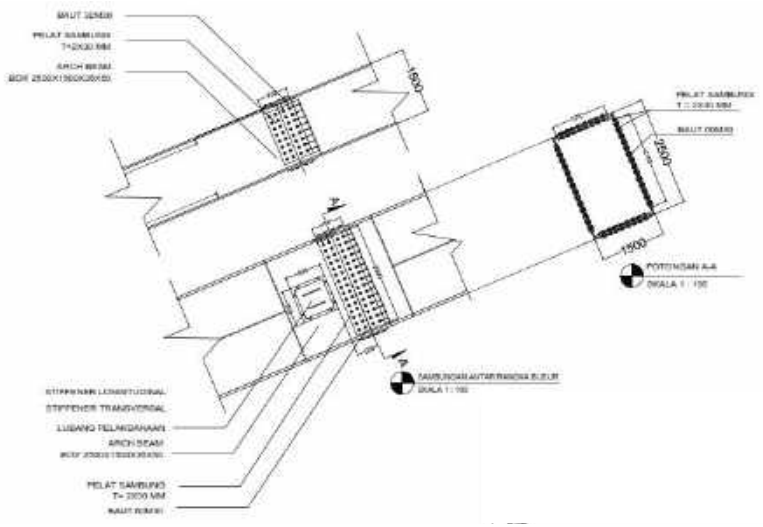
$= 20.344.500$ N

$= 2.034.450$ kg (Menentukan)

Karena dipasang di kedua sisi, maka:

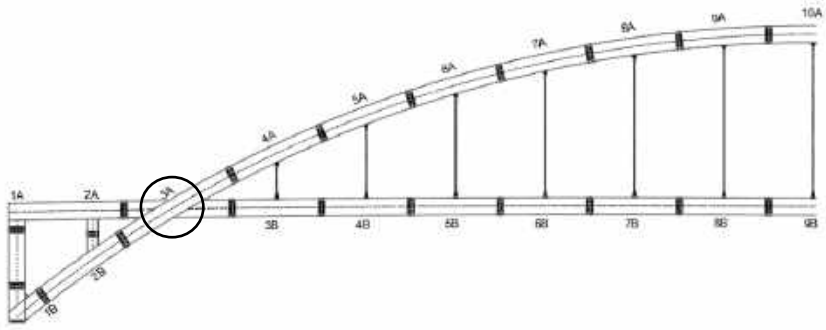
$2\ ØV_n$ $= 2 \times (2925450+2034450)$

$= 9.919.800 \text{ kg} \geq 5.547.643{,}7$ kg



Gambar 5.20 Sambungan Antar Batang Busur Atas

C. Titik Simpul 3A



Gambar 5.21 Lokasi Titik Simpul 10A

- Perencanaan Sambungan Antar Batang Busur Atas :

- Tie Beam:

  Profil = *BOX* 2000×1200×30×40

  V_u = 5.547.643,7 kg

Kontrol Sambungan Las:

Tabel 5.13 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

Mutu = E70xx

Fexx = 490 MPa

Ketebalan las minimum:

tw = 8 mm

w = 0,707 × 8 = 5,65 mm

aktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

l = 2 × (1200+2000) = 6400 mm

180 w = 180 × 5,65 = 1017 mm (pakai)

$\frac{l}{w} = \frac{1017}{5,65} = 180 > 100$

Karena l/w > 100 maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

$\beta = 1,2 - 0,002 (\frac{l}{w}) = 1,2 - 0,002 \times 180$

$\beta = 0,84 < 1$

$lw = \beta \cdot l$

$= 0,84 \cdot 6400 = 5376$ mm

Kapasitas las

$R_n = 0,6 \times F_{exx} \times A$

= 0,6 × 70 × 70,3 × 5,65 × 5376

= 89.683.453 N

= 8.968.345 Kg

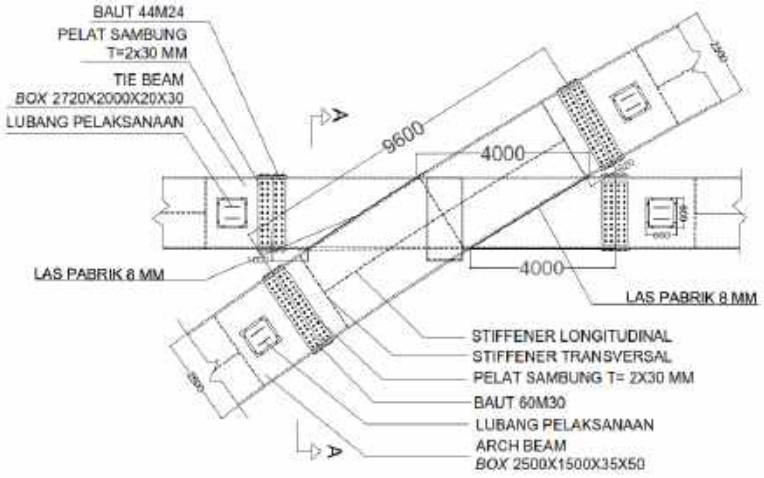
$ØR_n$ = 0,75 × R_n

= 0.75 × 8.968.345

= 6.726.590 kg > 5.547.643,7 kg **[OK]**

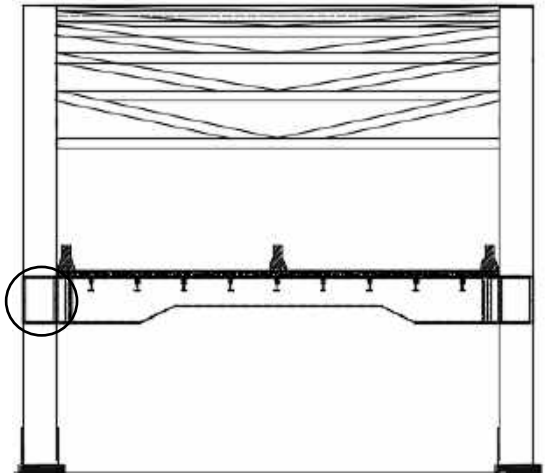
direncanakan tebal las tw = 8 mm

Gambar 5.22 Detail Sambungan 3A



5.9.6 Sambungan Portal Akhir

A. Tie Beam – Balok Melintang



Gambar 5.23 Lokasi *Tie Beam* – Balok Melintang

Data perencanaan sambungan:
Balok Melintang:
Profil = *BOX* 2300×1000×20×30
M_u = 342.202,4 kgm
V_u = 227.033,13 kg
Pelat penyambung:
Tebal = 2×30 mm
fu = 550 MPa
fy = 410 MPa
Baut:
Ø Baut = M30
Mutu = A490
Fnt = 780 MPa
Fnv = 579 MPa

1. Kekuatan masing-masing baut

   V_{u1} baut $= \frac{Vu}{n} = \frac{227033,13}{56} = 4204,32$ kg

2. Kuat Geser

   $\emptyset V_n = \emptyset \times F_{nv} \times A_b$

   $= 0,75 \times 579 \times (1/4 \times \pi \times 30^2)$

   $= 306.953,23$ N

   $= 306.95,32$ kg $> V_{u1}$ baut (OK)

3. Kuat Tarik

   $\emptyset T_n = \emptyset \times Fnt \times Ab$

   $= 0,75 \times 780 \times (1/4 \times \pi \times 30^2)$

   $= 413512,13$ N

   $= 41351,21$ kg

4. Beban Tarik Maksimum

   $T_{u\,Max} = \frac{M_u \times d_{max}}{\Sigma d^2}$

   $= \frac{34220240\ x\ 185}{2\sum_{13}^{1}(15)^2}$

   $= \frac{633074400}{353950}$

   $= 1788,6$ kg $< \emptyset T_n = 41351,21$ kg

5. Kontrol Interaksi Geser dan Tarik

   $\emptyset T_{comb} = \emptyset \times F`_{nt} \times A_b \times F`_{nt}$

   $= 1,3\ F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\emptyset F_{nv}} \times \frac{V_{u1\ baut}}{Ab} \leq F_{nt}$

   $= 1,3(780) - \frac{780}{0,75\ .579} \times \frac{4204,32}{\frac{1}{4}.\pi.30^2} \leq 780$

   $= 1003,31$ MPa ≤ 780 MPa (NOT OK)

   $\emptyset T_{comb} = \emptyset T_n$

   $= 413512,13$ N

   $= 4.351,21 > T_{u\,max}$ (OK)

6. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

V_n $= 0{,}6 \times f_y \times A_{gv}$

$= 0{,}6 \times 410 \times (2100 \times 2 \times 30)$

$= 36.162.000$ N

$\emptyset V_n$ $= 1 \times 36.162.000$

$= 36.162.000$ N

$= 3.616.200$ kg

Kuat Putus:

V_n $= 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$

$= 0{,}6 \times 550 \times (2100\text{-}(14 \times 30)) \times (2 \times 30)$

$= 39.006.000$ N

$\emptyset V_n$ $= 0{,}75 \times 39.006.000$

$= 29.254.500$ N

$= 2.925.450$ kg (Menentukan)

Karena memakai 2 pelat, maka:

$2\ \emptyset V_n$ $= 2 \times 2.925.450$ kg

$= 5.850.900$ kg $> V_u = 1.813.225$ kg (OK)

7. Kontrol Sambungan Las

Tipe Las yang dipakai adalah las sudut dengan mutu 70xx yang harus mampu menahan beban sebesar 1.813.225 kg. Syarat Ukuran Las, dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.14 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

Mutu = E70xx

Fexx = 490 MPa

Ketebalan las minimum:

tw = 8 mm

w = 0,707 × 8 = 5,65 mm

aktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

l = 2 × (1000+2300) = 6600 mm

180 w = 180 × 5,65 = 1017 mm (pakai)

$\frac{l}{w} = \frac{1017}{5,65}$ = 180 > 100

Karena l/w > 100 maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w}\right) = 1,2 - 0,002 \times 180$

$\beta = 0,84 < 1$

$lw = \beta \cdot l = 0,84 \cdot 6600 = 5544$ mm

Kapasitas las

$R_n = 0,6 \times F_{exx} \times A$

$= 0,6 \times 70 \times 70,3 \times 5,65 \times 5544$

$= 92.486.061$ N

$= 9.248.606$ Kg

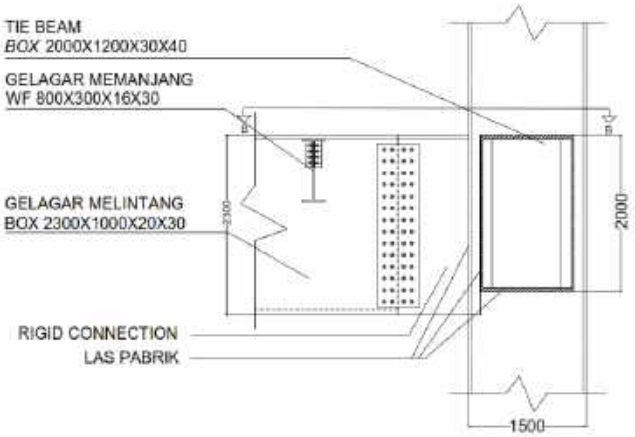
$ØR_n = 0,75 \times R_n$

$= 0.75 \times 9.248.606$

$= 6.936.454$ kg > 1.813.225 kg

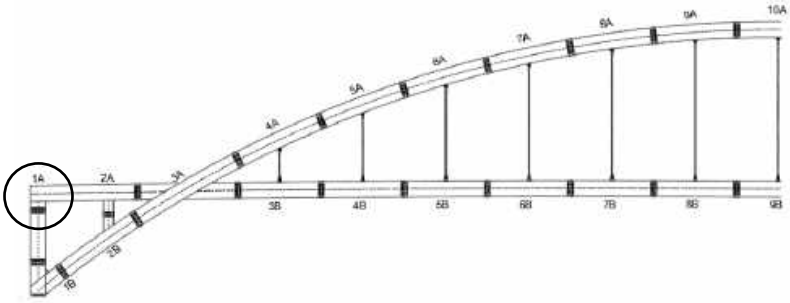
[memenuhi]

direncanakan tebal las tw = 8 mm



Gambar 5.24 Sambungan Balok Portal ke Batang Busur Atas

B. Sambungan Tie Beam – Kolom Portal Akhir



Gambar 5.25 Sambungan Titik Simpul 1A

Data perencanaan sambungan:
Kolom Portal:
Profil = *BOX* 1200×1200×30×30
M_u = 342.202,4 kgm
V_u = 227.033,13 kg

Pelat penyambung:
Tebal = 2×30 mm
fu = 550 MPa
fy = 410 MPa
Baut:
Ø Baut = M30
Mutu = A490
Fnt = 780 MPa
Fnv = 579 MPa

1. Kekuatan masing-masing baut
   V_{u1} baut $= \frac{Vu}{n} = \frac{227033,13}{64} = 4204,32$ kg
2. Kuat Geser
   $ØV_n = Ø \times F_{nv} \times A_b$
   $= 0,75 \times 579 \times (1/4 \times \pi \times 30^2)$
   $= 306.953,23$ N
   $= 306.95,32$ kg > V_{u1} baut (OK)
3. Kuat Tarik
   $ØT_n = Ø \times Fnt \times Ab$
   $= 0,75 \times 780 \times (1/4 \times \pi \times 30^2)$
   $= 413512,13$ N
   $= 41351,21$ kg
4. Beban Tarik Maksimum
   $T_{u\,Max} = \frac{M_u \times d_{max}}{\Sigma d^2}$
   $= \frac{34220240\ x\ 185}{2\sum_{13}^{1}(15)^2}$
   $= \frac{633074400}{353950}$
   $= 1788,6$ kg < $ØT_n = 41351,21$ kg
5. Kontrol Interaksi Geser dan Tarik
   $ØT_{comb} = Ø \times F`_{nt} \times A_b \times F`_{nt}$
   $= 1,3\ F_{nt} - \frac{F_{nt}}{ØF_{nv}} \times \frac{V_{u1\ baut}}{Ab} \leq F_{nt}$

$= 1{,}3(780) - \frac{780}{0{,}75 \,.579} \times \frac{4204{,}32}{\frac{1}{4}.\pi.30^2} \leq 780$

$= 1003{,}31 \text{ MPa} \leq 780 \text{ MPa}$ (NOT OK)

$ØT_{comb} = ØT_n$

$= 413512{,}13 \text{ N}$

$= 4.351{,}21 > T_{u\,max}$ (OK)

6. Kontrol Pelat Penyambung

Kuat Leleh:

$V_n = 0{,}6 \times f_y \times A_{gv}$

$= 0{,}6 \times 410 \times (1000 \times 2 \times 30)$

$= 14.760.000 \text{ N}$

$ØV_n = 1 \times 14.760.000$

$= 14.760.000 \text{ N}$

$= 1.476.000 \text{ kg}$

Kuat Putus:

$V_n = 0{,}6 \times f_u \times A_{nv}$

$= 0{,}6 \times 550 \times (1000-(16 \times 30)) \times (2 \times 30)$

$= 10.296.000 \text{ N}$

$ØV_n = 0{,}75 \times 10.296.000$

$= 7.722.000 \text{ N}$

$= 772.200$ kg (Menentukan)

Karena memakai 4 pelat, maka:

$4\,ØV_n = 4 \times 772.200 \text{ kg}$

$= 3.088.800 \text{ kg} > V_u = 1.813.225 \text{ kg}$ (OK)

7. Kontrol Sambungan Las

Tipe Las yang dipakai adalah las sudut dengan mutu 70xx yang harus mampu menahan beban sebesar 1.813.225 kg. Syarat Ukuran Las, dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.15 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

Mutu = E70xx

Fexx = 490 MPa

Ketebalan las minimum:

tw = 8 mm

w = 0,707 × 8 = 5,65 mm

aktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:

l = 2 × (1000+2300) = 6600 mm

180 w = 180 × 5,65 = 1017 mm (pakai)

$\frac{l}{w} = \frac{1017}{5,65}$ = 180 > 100

Karena l/w > 100 maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.

$\beta = 1,2 - 0,002 (\frac{l}{w}) = 1,2 - 0,002 \times 180$

$\beta = 0,84 < 1$

$lw = \beta \cdot l = 0,84 \cdot 6600 = 5544$ mm

Kapasitas las

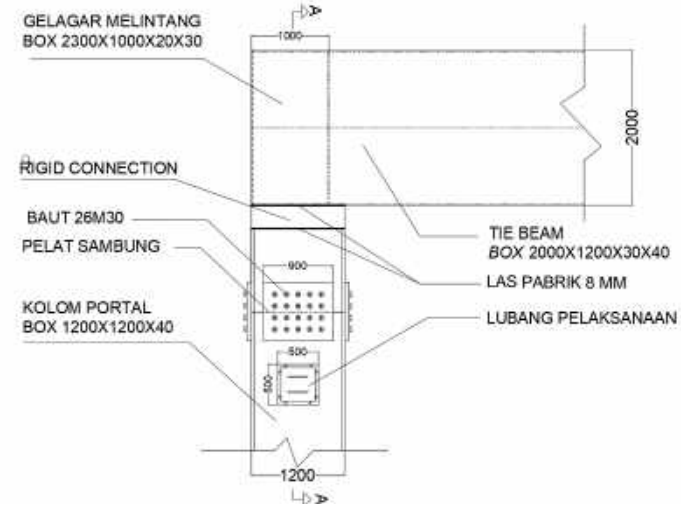
$R_n = 0,6 \times F_{exx} \times A$

$= 0,6 \times 70 \times 70,3 \times 5,65 \times 5544$

= 92.486.061 N

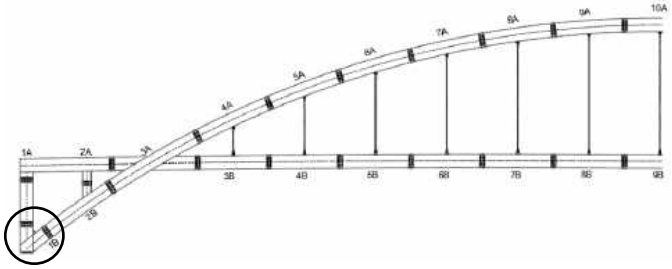
= 9.248.606 Kg

$ØR_n$ = 0,75 × R_n
= 0.75 × 9.248.606
= 6.936.454 kg > 1.813.225 kg
[memenuhi]
direncanakan tebal las tw = 8 mm



Gambar 5.26 Sambungan Balok Portal ke Batang Busur Atas

C. Sambungan Batang Busur – Kolom Portal Akhir



Gambar 5.27 Sambungan Titik Simpul 1B

- Busur Atas:
  Profil = *BOX* 2500×1500×35×50
  V_u = 5.547.643,7 kg
  Kontrol Sambungan Las:

Tabel 5.16 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las Sudut, in. (mm)
Sampai dengan ¼ (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari ¼ (6) sampai dengan ½ (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari ½ (13) sampai dengan ¾ (19)	¼ (6)
Lebih besar dari ¾ (19)	5/16 (8)

berdasarkan SNI 1729 2015 Chapter J2. Mutu las yang digunakan adalah:

Mutu = E70xx
Fexx = 490 MPa
Ketebalan las minimum:
tw = 8 mm
w = 0,707 × 8 = 5,65 mm
aktor panjang pengelasan dihitung sebagai berikut:
l = 2 × (1200+1200) = 4800 mm
180 w = 180 × 5,65 = 1017 mm (pakai)
$\frac{l}{w}$ $= \frac{1017}{5,65}$ = 180 > 100
Karena l/w > 100 maka perlu adanya faktor reduksi panjang pengelasan sebesar.
$\beta = 1,2 - 0,002 \left(\frac{l}{w}\right) = 1,2 - 0,002 \times 180$
$\beta = 0,84 < 1$

lw = β · l = 0,84 · 4800 = 4032 mm

Kapasitas las

R_n = 0,6 × Fexx × A

= 0,6 × 70 × 70,3 × 5,65 × 4032

= 67.262.590 N

= 6.726.259 kg

$ØR_n$ = 0,75 × 67.262.590

= 5.044.694 < 5.547.643,7 kg

[Tidak memenuhi]

Maka perlu dilakukan perbesaran tebal las sebagai berikut:

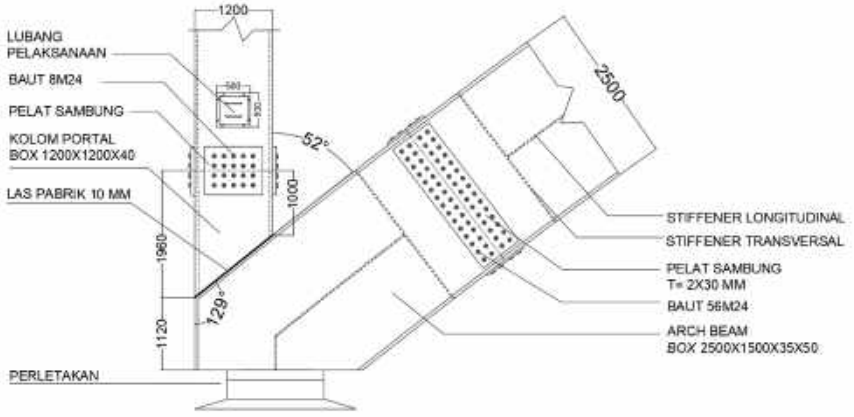
$$w = \frac{Vu}{0{,}75 \times 0{,}6\, Fexx \times l}$$

$$w = \frac{55476437}{0{,}75 \times 0{,}6 \times 70 \times 70{,}3 \times 4032}$$

w = 6,21 mm

$$tw = \frac{w}{0{,}707} = \frac{6{,}21}{0{,}707} = 8{,}78 \text{ mm}$$

direncanakan tebal las tw = 10 mm



Gambar 5. 28 Detail Sambungan 1B

5.10 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.

- Baut:
  Ø Baut = M36
  Mutu = A490
  T_b = 595 kN
- Kuat Geser
  Vn = $\mu \times D_u \times h_f . T_b \times n_s$ (J3-4 SNI 1729:2015)
  dengan,
  μ = 0,3 (Permukaan Kelas A)
  D_u = 1,13
  h_f = 1 (Faktor Pengisi)
  T_b = 595 kN
  N_s = 1 (Bidang Geser)
  Sehingga,
  V_n = $0,3 \times 1,13 \times 1 \times 595 \times 2$
  = 403,41 kN
  = 40341 kg
  Jumlah Baut
  badan
  Rasio Badan (β) = $\frac{H}{B+H} = \frac{2500}{2500+1500}$
  = 0,625
  V_u badan = $\beta \times$ Vu
  = $0,625 \times 12.161.272$
  = 7.296.763 kg
  n = $\frac{V_u badan}{\emptyset V_n} = \frac{7296763}{40431} \approx 180,87$
  = 184 (Dipasang 92 buah tiap sisi)
  Sayap:

Rasio Sayap (α) $= \frac{B}{B+H} = \frac{1500}{2500+1500}$
$= 0{,}375$

V_u sayap $= \alpha \times V_u$
$= 0{,}375 \times 12.161.272$
$= 4.864.509$

n $= \frac{V_u sayap}{\emptyset V_n} = \frac{4864509}{40431} \approx 120{,}58$
$= 128$ (Dipasang 64 buah tiap sisi)

5.11 Sambungan Angkur ke Beton Abutment

Analisa pada angkur akibat beban terfaktor adalah :
Baut putus akibat tarik
Baut putus akibat geser
Data perencanaan :
Nu = 10.225.800 kg
Vu = 5.202.348,47 kg
fc' = 40 Mpa

- kapasitas Tarik

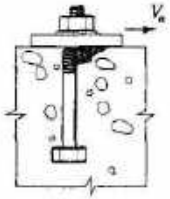
Kapasitas nominal tarik angkur baja $\mathbf{N_{sa}}$ (SNI 2847-2013 pasal D.5.1.2)

Gambar 5.29 Kegagalan Tarik Angkur Baja

$N_{sa} = A_{se} \times N \times f_{uta} \times n$
Dimana :
n = 164
f_{uta} = 825 MPa

A_{se} N	$= \frac{\pi}{4} \times 36^2$
	= 1017,9 mm^2,
φ Nsa	$= \varphi \times$ 164 × 1017,9 × 825
	= 0,75 × 3.359.070 N
	= 103.291.403 N
	= 10.329.140,3 kg
Syarat :	
φ Nsa	> Nu
10.329.140,3 kg	> 10.225.800 kg (Memenuhi)

- Kapasitas Geser
  Kapasitas nominal geser angkur baja V_{sa} (SNI 2847-2013 pasal D.6.1.2)



Gambar 5. 30 Kegagalan Geser Angkur Baja

V_{sa}	= 0,6 × A_{se} × N × f_{uta} × n
Dimana :	
n	= 164
f_{uta}	= 825 MPa
A_{se} N	$= \frac{\pi}{4} \times 36^2$
	= 1017,9 mm^2,
φ Vsa	$= \varphi$ × 0,6 × 164 × 1017,9 × 825
	= 0,75 × 92.710.332 N
	= 69.532.749 N
	= 6.953.274,9 kg
Syarat :	
φ Vsa	> Vu
6.953.274,9 kg	> 5.202.348,47 kg (Memenuhi)

5.12 Perencanaan Perletakan

Perletakan yang digunakan adalah jenis POT Bearing produk dari *Mageba*. Perletakan ini didesain untuk mampu menahan beban horizontal dan vertikal akibat beban yang bekerja pada jembatan. Permbebanan vertikal menggunakan kombinasi Kuat I sesuai SNI 1725:2016, sedangkan pembebanan vertikal menggunakan kombinasi Ekstrem I sesuai SNI 1725:2016.

Pada pembebanan horizontal sesuai dengan kombinasi Ekstrem I, beban yang bekerja adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Gaya horizontal yang terjadi akibat beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 2833:2008 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan.

5.12.1 Pembebanan Horizontal Akibat Gempa

Pembebanan horizontal akibat gempa mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.7 dengan koefisien-koefisien sesuai dengan SNI 2833:2016. Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus berikut

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Keterangan :

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)
C_{sm} = koefisien respons gempa elastik pada moda getar ke-m
R = faktor modifikasi respons
W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

- Mencari Nilai W_t

Nilai W_t didapatkan dari program bantu Midas dengan jenis beban mati (berat sendiri) pada tabel 5.17.

Gambar 5.31 Titik Penempatan Jenis Perletakan

Tabel 5.17 Tabel Reaksi Vertikal Pada Jembatan

Titik	Jenis Beban	Gaya Vertikal (kN)
1	Beban Mati	11142,11
2	Beban Mati	11003,14
3	Beban Mati	11096,92
4	Beban Mati	11009,71
Jumlah		44161,89
Sambungan (25%)		11040,47
Berat Total (Wt)		55202,36

- Mencari Nilai C_{sm}

  Nilai koefisien respon gempa elastic (C_{cm}) dihitung berdasarkan SNI 2833:2016:

  Diketahui:

  T output midas = 1,35 s

  Kelas Situs : SD (nilai $15 \leq N \leq 50$) (lihat tabel 3.2)

  Lokasi : Kecamatan Leces Kab. Probolinggo

  Faktor Situs : PGA = 0,256 F_A = 1,4

  S_S = 0,514 F_V = 2,0

  S_1 = 0,209

  Analisa Respon Spektrum

  S_{DS} = F_A x S_S = 0,714

  S_{D1} = F_V x S_1 = 0,414

  T_0 = 0,116 detik T_1= 0,58 detik

C_{sm} $= \frac{SD_1}{T_{output}\ midas} = \frac{0{,}514}{1{,}52} = 0{,}405$

- Gempa Horizontal Arah-y
  Diketahui Rd = 0,8 (tabel 3.5)
  Gaya horizontal arah-y diterima oleh 4 buah POT bearing, dengan 1 tipe guided (PU) dan 1 tipe fixed (PF).
  1) Gaya pada POT *Bearing (Abutment)*
     $E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$
     $= \frac{0{,}405}{0{,}8} \times \frac{55202{,}36}{2}$
     = 12662,04 kN
  2) Kontrol Pengaruh Gempa Arah-y
     Nilai Vdinamik akibat gempa arah-y merupakan total dari reaksi geser arah-y pada semua perletakan. Didapat nilai Vdinamik sebesar 23776,68 kN
     0,85 V statik-y < Vdinamik-y
     0,85 . 2(12662,04) < 23776,68
     21525,47 kN < 23776,68 kN (OK)
- Gempa Horizontal Arah-x
  Diketahui Rd = 0,8 (tabel 3.5)
  Gaya horizontal arah-y diterima oleh 4 buah POT bearing, dengan 1 tipe guided (PU) dan 1 tipe fixed (PF).
  1) Gaya pada POT *Bearing (Abutment)*
     $E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$
     $= \frac{0{,}367}{0{,}8} \times \frac{55202{,}36}{2}$
     = 12662,04 kN
  2) Kontrol Pengaruh Gempa Arah-x
     Nilai Vdinamik akibat gempa arah-y merupakan total dari reaksi geser arah-y pada semua perletakan. Didapat nilai Vdinamik sebesar 70325,06 kN
     0,85 V statik-y < Vdinamik-y
     0,85 × 2(12662,04) < 70325,06

21525,47 kN < 70325,06 kN (OK)

5.12.2 Pembebanan Vertikal Akibat Gempa

Pembebanan vertikal menggunakan kombinasi Ekstrem I sesuai dengan SNI 1725:2016. Untuk menghitung gaya vertikal yang terjadi pada perletakan digunakan program bantu Midas Civil. Gaya vertikal yang terjadi ditunjukkan pada Tabel 5.18

Tabel 5.18 Reaksi Vertikal pada Perletakan

Titik	Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)
1	Ekstrem I	16.022,87
2	Ekstrem I	17.640,90
3	Ekstrem I	27.885,23
4	Ekstrem I	36.826,45

5.12.3 Perencanaan POT *Bearing*

Perencanaan POT Bearing digunakan sesuai brosur Mageba yang mengacu pada EN-1337. Hasil perhitungan gaya vertikal dan horizontal yang diterima perletakan harus disesuaikan dengan kekuatan POT Bearing sesuai dengan brosur Mageba. Berikut adalah hasil rekapitulasi jenis POT Bearing yang digunakan seperti pada tabel 5.19 - tabel 5.21.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Reaksi Perletakan Jembatan

no	Jenis	Gaya (kN)		
		Vertikal	Horz. Y	Horz. X
1	Guided	16.022,87	1042,55	
2	Fixed	17.640,90	1633,86	4524,21
3	Free	27.885,23		
4	Guided	36.826,45		2785,94

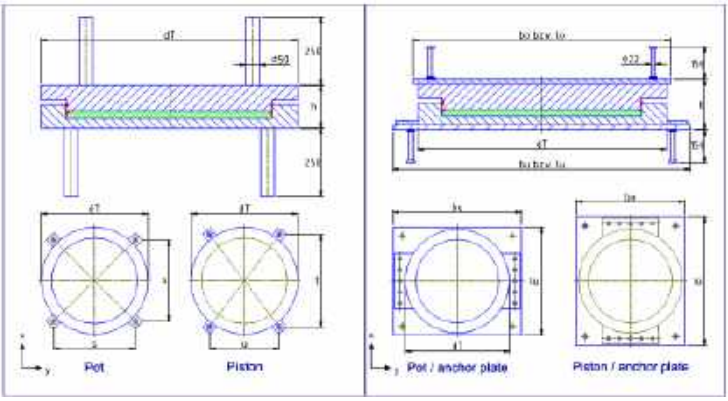
Tabel 5.20 Pemilihan POT Bearing berdasarkan tipe dan kapasitas

no	Jenis	Gaya (kN)		Kapasitas Max (kN)		Ket.
		Vertikal	Horizontal	Vertikal	Horizontal	
1	TE 9i	16.022,87	1042,55	16128	1775	OK
2	TF 14	17.640,90	4524,21	38782	4654	OK
3	TA 12	27.885,23		29329		OK
4	TE 15i	36.826,45	2785,94	44098	2831	OK

Tabel 5. 21 Kontrol POT Bearing berdasarkan Dispalcement

no	Jenis	Batas Displacement (mm)		Displacement (mm)		Ket.
		Horz. Y	Horz. X	Horz. Y	Horz. X	
1	TE 9i	20	-	8,02	-	OK
2	TF 14	-	-	-	-	OK
3	TA 12	20	20	3,64	16,75	OK
4	TE 15i	-	20	-	17,23	OK

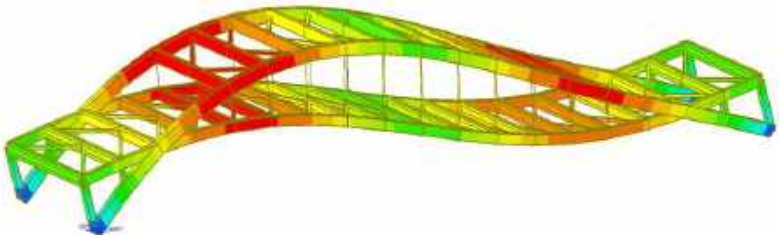
Berikut merupakan salah satu detail ukuran pada perencanaan POT Bearing tipe *fixed.* Detail lengkap perencanaan disertakan dalam lampiran.



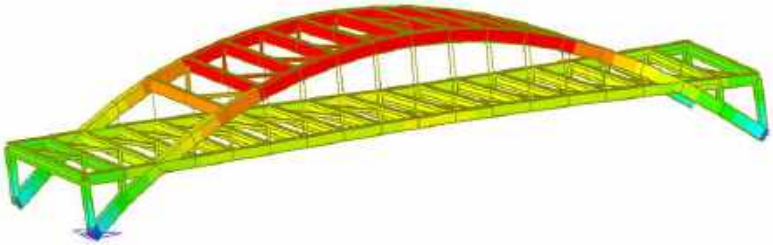
Gambar 5.32 Detail Ukuran POT Bearing

5.13 Modal Analysis

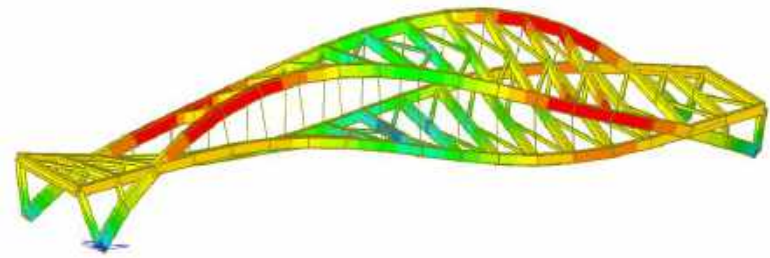
Frekuensi alami yang dihitung adalah frekuensi lentur (f_B) dan frekuensi torsi (f_T). Dari program bantu MIDAS CIVIL dapat diperoleh frekuensi alami lentur balok (f_B) dan frekuensi alami torsi (f_T) dengan menggunakan modal melalui tahapan mode pada menu *result vibration mode shapes*. Untuk bentuk dari struktur yang diakibatkan oleh frekuensi lentur dan frekuensi torsi dapat dilihat pada Gambar 5.33 – Gambar 5.42.



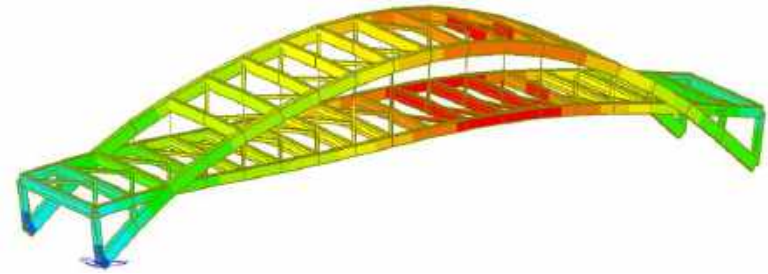
Gambar 5.33 Vibration Mode 1



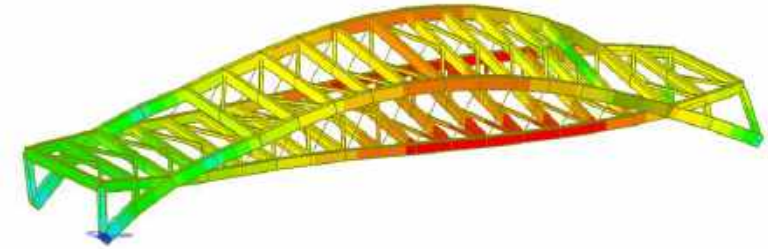
Gambar 5. 34 Vibration Mode 2



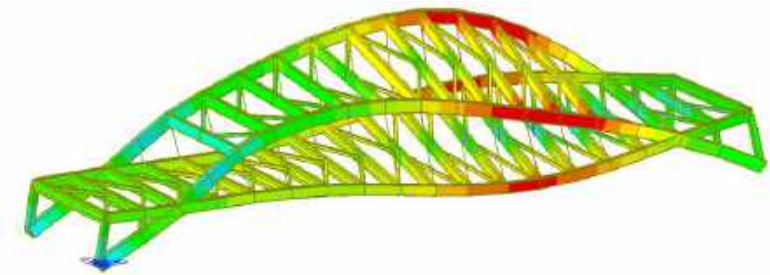
Gambar 5.35 Vibration Mode 3



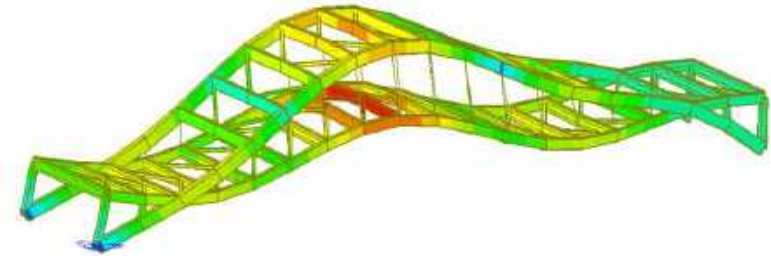
Gambar 5.36 Vibration Mode 4



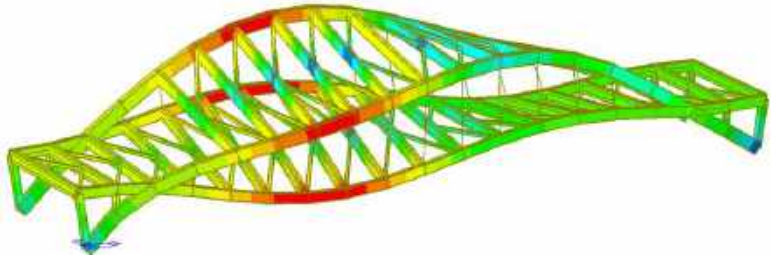
Gambar 5.37 Vibration Mode 5



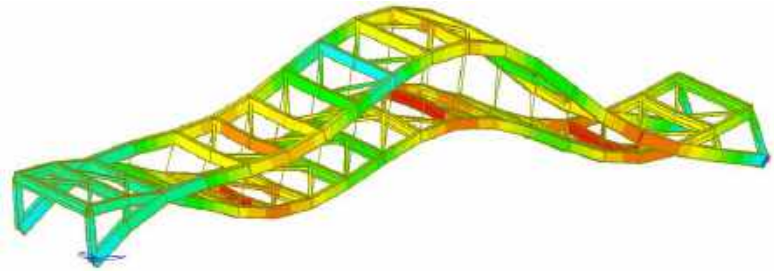
Gambar 5.38 Vibration Mode 6



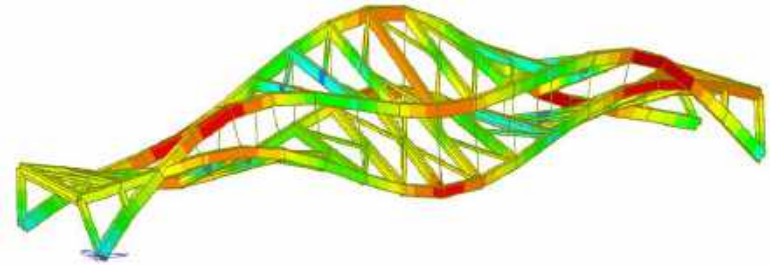
Gambar 5.39 Vibration Mode 7



Gambar 5.40 Vibration Mode 8



Gambar 5.41 Vibration Mode 9



Gambar 5.42 Vibration Mode 10

Rekapitulasi nilai frekuensi lentur (fB) dan frekuensi torsi (fT) yang diperoleh dari hasi analisa menggunakan MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.22 Nilai f_B dan f_T

Mode No	Frequency		Period	Mode No	Frequency		Period
	rad/sec	cycle/sec	sec		rad/sec	cycle/sec	sec
1	4.65357	0.74064	1.35019	31	61.37258	9.76775	0.10238
2	5.21012	0.82922	1.20596	32	61.76925	9.83088	0.10172
3	9.84333	1.56661	0.63832	33	62.01496	9.86999	0.10132
4	10.79265	1.71770	0.58217	34	62.95189	10.01910	0.09981
5	12.01359	1.91202	0.52301	35	63.78249	10.15130	0.09851
6	14.53283	2.31297	0.43234	36	64.30243	10.23405	0.09771
7	16.41625	2.61273	0.38274	37	64.84371	10.32020	0.09690
8	17.05213	2.71393	0.36847	38	64.95680	10.33820	0.09673
9	17.63808	2.80719	0.35623	39	65.19266	10.37574	0.09638
10	22.09051	3.51581	0.28443	40	66.53106	10.58875	0.09444
11	26.25726	4.17897	0.23929	41	66.65900	10.60911	0.09426
12	28.61873	4.55481	0.21955	42	68.61447	10.92033	0.09157
13	29.42518	4.68316	0.21353	43	70.62285	11.23998	0.08897
14	35.10673	5.58741	0.17897	44	71.48501	11.37719	0.08790
15	35.72383	5.68562	0.17588	45	72.22912	11.49562	0.08699
16	40.35385	6.42251	0.15570	46	72.30457	11.50763	0.08690
17	45.22840	7.19832	0.13892	47	73.88644	11.75939	0.08504
18	45.51895	7.24457	0.13803	48	74.82151	11.90821	0.08398
19	47.00937	7.48177	0.13366	49	75.25990	11.97799	0.08349
20	48.25244	7.67961	0.13022	50	75.42263	12.00389	0.08331
21	49.21121	7.83221	0.12768	51	75.84212	12.07065	0.08285
22	50.32259	8.00909	0.12486	52	76.58831	12.18941	0.08204
23	53.13769	8.45713	0.11824	53	77.79964	12.38220	0.08076
24	54.33925	8.64836	0.11563	54	79.40358	12.63747	0.07913
25	54.70472	8.70653	0.11486	55	82.41997	13.11755	0.07623
26	56.78693	9.03792	0.11065	56	85.63005	13.62845	0.07338
27	58.79358	9.35729	0.10687	57	86.06410	13.69753	0.07301
28	59.42345	9.45754	0.10574	58	86.35246	13.74342	0.07276
29	60.31020	9.59867	0.10418	59	89.56609	14.25489	0.07015
30	60.78499	9.67423	0.10337	60	90.05751	14.33310	0.06977

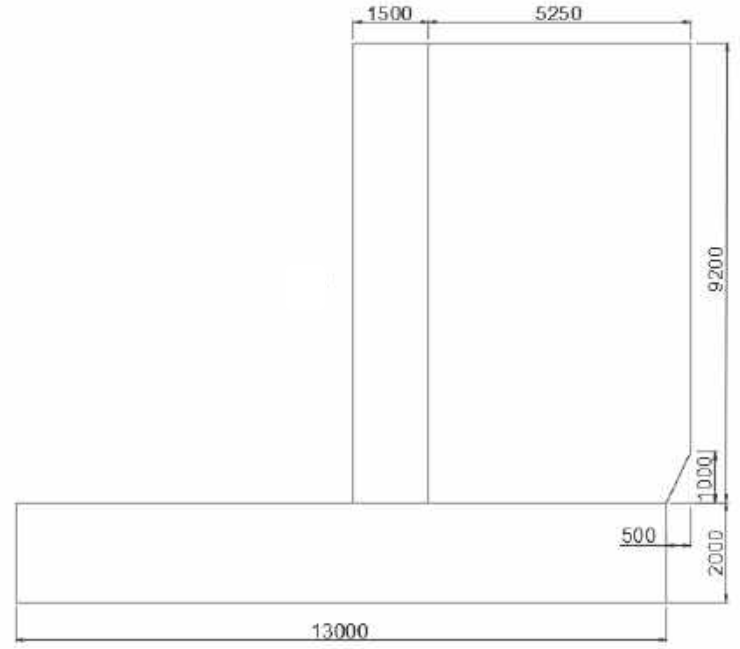
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB VI
PERHITUNGAN BANGUNAN BAWAH

6.1 Perencanaan Abutment

6.1.1 Preliminary Design Abutment

Sebelum menghitung beban-beban yang akan diterima oleh abutment, maka harus ditentukan terlebih dahulu rencana dimensi abutment yang akan dibangun. Berikut adalah rencana design abutment yang dipakai seperti pada Gambar 6.1



Gambar 6.1 Preliminary Design Abutment

6.1.2 Pembebanan Abutment

Abutment terletak pada kedua sisi ujung jembatan untuk menopang side span jembatan. Sementara, untuk menopang main

span dibangun pilar. Perencanaan beban yang bekerja pada struktur bangunan bawah jembatan adalah berdasarkan SNI 1725:2016.

- Beban Mati Struktur Atas

  Beban mati struktur jembatan busur yang bekerja pada perletakan di abutment diambil dari perhitungan struktur atas dengan menggunakan program bantu Midas Civil. Beban mati struktur atas yang bekerja adalah sebesar **22145,25 kN**

- Beban Mati Tambahan

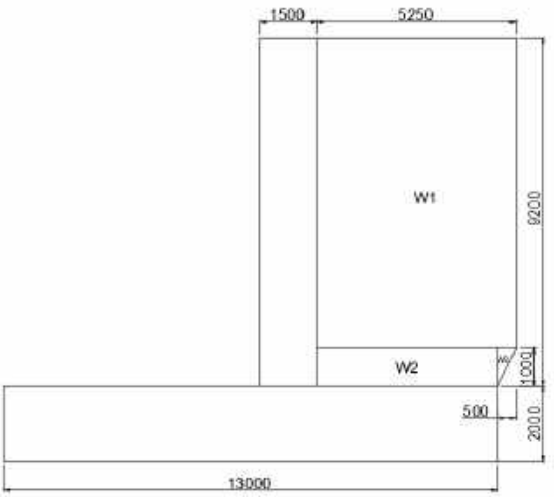
Adapun rincian dari beban mati tambahan dijelaskan padal tabel di bawah ini:

Tabel 6.1 Beban Mati Tambahan

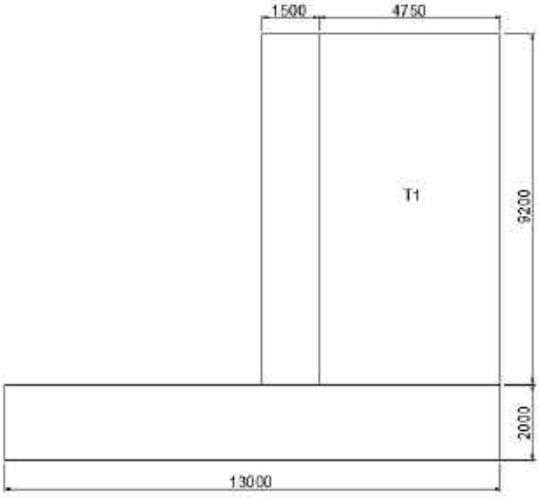
Beban Mati Tambahan						
No	Jenis Beban Mati Tambahan	Tebal (m)	Lebar (m)	Panjang (m)	w (kN/m3)	Berat (kN)
1	Lap. Aspal + overlay	0.05	27.2	72	22	2154.24
2	Air hujan	0.05	27.2	72	9.8	959,62
WMA						3113,86

- Beban Mati Struktur Bawah

  Abutment yang akan direncanakan memiliki ukuran tinggi total 11,2 meter. Wing wall juga akan direncanakan dengan tebal 0,5 meter. Untuk gambar detail dapat dilihat pada Gambar 6.2 – Gambar 6.3.



Gambar 6. 2 Sketsa *Wingwall* Abutment.



Gambar 6. 3 Sketsa Berat Sendiri Tanah

Dari gambar di atas, diketahui bahwa tinggi timbunan di belakang abutment adalah setinggi 9,2 meter. Data tanah timbunan dan tanah dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

$\gamma_{timbunan}$ = 18 kN/m^3 γ_{tanah} = 18 kN/m^3

$\gamma`_{timbunan}$ = (18-10) $\gamma`_{tanah}$ = (18-10)

= 8 kN/m^3 = 0,8 kN/m^3

$Ø_{timbunan}$ = 30° $Ø_{tanah}$ = 0°

$c_{timbunan}$ = 0 c_{tanah} = 10 kP$_a$

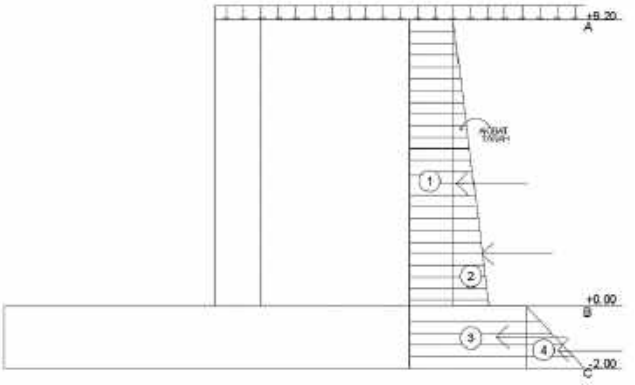
Setelah direncanakan dimensi abutment dan wing wall maka akan dihitung berat dan momen yang ditimbulkan oleh struktur itu sendiri. Perhitungan akibat berat sendiri struktur bawah akan diberikan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.2 Berat Sendiri Bangunan Bawah

Nama	b	h	Bentuk	Luas	Volume	Berat	Lengan	Arah	Momen
	m	m		m^2	m^3	kN	m		kNm
Berat Abutmen									
A1	1,5	9,2	1	13,80	414,00	10350	1,00	-1	-10350
A2	13	2	1	26,00	780,00	19500	0,00	-1	0,00
				Total:	1194,00	29850			-10350
Berat Wing Wall									
W1	5,25	8,2	1	43,05	21,53	538,13	4,38	-1	-2354,3
W2	4,75	1	1	4,75	2,38	59,38	4,13	-1	-244,92
W3	0,5	1	0,5	0,25	0,13	3,13	6,67	-1	-20,83
				Total:	24,03	600,63			-2620,05
Berat Tanah									
T1	4,75	8,2	1	38,95	1168,50	2161,73	4,125	-1	-8917,12
				Total:	1168,50	2161,73			-8917,12
Total Beban Bangunan Bawah:					2386,53	32612,35			-21887,17

- Beban Akibat tekanan Tanah

Tekanan tanah horizontal diakibatkan oleh beban lalu lintas diatas oprit yang diekivalensikan dengan 0,6 × $\gamma_{timbunan}$ dan beban akibat kendaraan tersebut sama di sepanjang kedalaman abutment. Sementara tekanan tanah lateral dihitung berdasarkan perhitungan tekanan tanah aktif. Sketsa tekanan tanah horizontal ke arah abutment dapat dilihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Sketsa Tekanan Tanah Horizontal

Berdasarkan Gambar 6.4, diketahui bahwa struktur berada pada dua jenis lapisan tanah sehingga perhitungan tekanan tanahnya adalah sebagai berikut:

$\sigma v'A = 0,6 \times \gamma_{timbunan}$

$= 0,6 \times 18$

$= 10,8\ kN/m^2$

$\sigma_v'B = \sigma_v'A + (\gamma_{timbunan} \times h)$

$= 10,8 + (18 \times 9,2)$

$= 176,4\ kN/m^2$

$\sigma_v'C = \sigma v'B + (\gamma`_{tanah} \times h)$

$= 176,4 + (8 \times 2)$

$= 192,4\ kN/m^2$

Tekanan Tanah Aktif:

Lapisan 1 (A-B)

Ka = $\tan^2 (45-Ø/2)$

= $\tan^2 (45-30/2)$

= 0,333

σ_h'A = σ_v'A x Ka – $2c_{timb}\sqrt{Ka}$

= 10,8 x 0,333 – (0)

= 3,6 kN/m^2

σ_h'B = σ_v'B x Ka– $2c_{timb}\sqrt{Ka}$

= 176,4 x 0,333 – (0)

= 58,8 kN/m^2

Lapisan 2 (B-C)

Ka = $\tan^2 (45-Ø/2)$

= $\tan^2 (45-0/2)$

= 1

σ_h'B = σ_v'B x Ka – $2c_{tanah}\sqrt{Ka}$

= 176,4 x 1 – (2 x 10 x 1)

= 156,4 kN/m^2

σ_h'C = σ_v'C x Ka – $2c_{tanah}\sqrt{Ka}$

= 192,4 x 1 – (2 x 10 x 1)

= 172,4 kN/m^2

Perhitungan Gaya Aktif:

Pa1 = 3,6 x 9,2 x 30

= 993,6 kN

Pa2 = ½ x (58,8-3,6) x 9,2 x 30

= 7617,6 kN

Pa3 = 156,4 x 2 x 30

= 9384 kN

Pa4 = ½ x (172,4-156,4) x 2 x 30

= 480 kN

Ptot = 993,6 + 7617,6 + 9384 + 480
= 18475,2 kN

Perhitungan Titik Tangkap:

Ya1 = (½ × 9,2) + 2
= 6,6 m

Ya2 = (1/3 × 9,2) + 2
= 5,067 m

Ya3 = ½ × 2
= 1 m

Ya4 = 1/3 × 2
= 0,67 m

Perhitungan Momen:

Ma1 = 993,6 × 6,6
= 6557,8 kNm

Ma2 = 3385,6 × 5,067
= 17153,7 kNm

Ma3 = 4512 × 1
= 4512 kNm

Ma4 = 480 × 0,67
= 320 kNm

Mtot = 6557,8 + 17153,7 + 4512 + 320
= 28543,5 kNm

- Beban Lajur "D" (BTR+BGT)

Beban hidup struktur jembatan busur yang bekerja pada perletakan di abutment diambil dari perhitungan struktur atas dengan menggunakan program bantu Midas Civil dan diperoleh beban sebesar 11283,92 kN

- Beban Rem

Menurut SNI 1725:2016, gaya rem diambil yang terbesar dari:

a. 25% dari berat gandar truk desain.
   25% x (500 kN) x 4 lajur = 500 kN
b. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR).
   5% x (500 kN+6025,34 kN) = 326,27 kN

Sehingga, gaya rem pakai adalah 500 kN bekerja langsung pada perletakan ke arah sumbu-x.

Gaya rem harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Sehingga perhitungan lengan terhadap titik putar rotasinya yaitu:

x = tinggi abutment + 1800 mm
= 11,2 m + 1,8 m = 13 m
Momen akibat rem = 500 kN x 13 m
= 6500 kNm

- Beban Angin

Beban angin yang bekerja pada struktur atas diterima oleh Pot Bearing yang nantinya akan diteruskan ke bangunan bawah dapat dilihat pada Tabel 6.4

. Nilai beban angin yang diterima didapatkan dengan program bantu Midas Civil.

Tabel 6.3 Beban Angin

Titik POT *Bearing*	Fz (kN)	Fy (kN)
2	9,23	535,2

- Beban Temperatur

Berikut ini adalah perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan beban temperatur.

Temperatur maksimum rata-rata, T_{max} = 40°C

Temperatur minimum rata-rata, T_{min} = 15°C

ΔT = (Tmax-Tmin)/2

= (40 – 15)/2 = 12,5°C

Koefisien perpanjangan (baja), α = 12 x 10^{-6} /°C

Bentang Jembatan, L = 144 m

Jumlah tumpuan, n = 2 buah

Gaya pada abutment akibat pengaruh temperatur (SNI 1725:2016 pasal 9.3.1)

T_{ET} = α x ΔT x k x L/2 x n

= 12 x 10^{-6} x 12,5 x 1500 x 144/2 x 2

= 32,4 kN

Jarak titik putar abutment ke perletakan = 11,2 m

M_{ET} = T_{ET} x y0

= 32,4 x 11,2

= 362,88 kNm

- Beban Akibat Gempa

Pembebanan horizontal akibat gempa mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 9.7 dengan koefisien-koefisien sesuai dengan SNI 2833:2016. Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus berikut:

$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} . W_t$

Keterangan:

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis

R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur

1. Mencari Nilai Wt

   Nilai Wt didpatkan dari program bantu MIDAS Civil dengan kombinasi pembebanan beban hidup dan beban mati sesuai dengan kombinasi Ekstrem I.

   Wt akibat struktur atas = 22145,25 kN
   Wt akibat tambahan struktur atas = 3113,856 kN
   Wt akibat berat sendiri = 32612,35 kN
   Wt total pada abutment = 57871,46 kN

2. Mencari Nilai Csm

   Nilai koefisien respons gempa elastik (Csm) dihitung berdasarkan SNI 2833:2016.

   Diketahui:

   Kelas Situs : SD (nilai $15 \leq N \leq 50$) (lihat tabel 3.2)
   Lokasi : Kecamatan Leces Kab. Probolinggo
   Faktor Situs : PGA = 0,256 F_{PGA} = 0,256
   S_S = 0,514 F_A = 1,4
   S_1 = 0,209 F_V = 2

   Analisa Respon Spektrum

   S_{DS} = $F_A \times S_S$ = 0,714 $S_{D1} = F_V \times S_1$ = 0,414
   T_0 = 0,116 detik T_1 = 0,58 detik

3. Mencari Nilai Modifikasi Respon (R_d)

   Faktor modifikasi respon untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah memiliki nilai faktor yang berbeda dengan jenis strukturnya. Berdasarkan tabel 3.4 untuk bangunan pilar tipe dinding dengan kategori kepentingan (sangat penting), maka nilai Rd = 1,5.

4. Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah X)

   Diketahui data sebagai berikut:

   Tinggi Breast Wall, L_b = 9,2 m

Penampang Breast Wall, B_y = 30 m
Tebal Breast Wall, B_w = 1,5 m
Inersia Breast Wall, I_c = 1/12 . B_y . Bw^3
= 8,4375 m^4
Mutu Beton, $f_c`$ = 40 MPa
Modulus Elastisitas Beton, E_c = 4.700 $\sqrt{fc`}$
= 29725,41 MPa
= 29.725.410 kPa
Nilai Kekakuan, K_p = $3.E_c.I_c / L_b^3$
= 966.272,038 kN/m
Percepatan Gravitasi, g = 9,8 m/s^2
Wt akibat str. atas (W_{atas}) = 22145,25 kN
Wt akibat str. bawah (W_{bawah}) = 32612,35 kN

WTP = $W_{atas} + 0{,}5W_{bawah}$
= 38451,425 kN

T = $2 \times \pi \times \sqrt{[WTP/(g \times KP)]}$
= 0,4 detik

Karena Ts≥T≥To, maka,

C_{sm} = SDS
= 0,7196

E_{QX} = $\frac{C_{sm}}{R_d}$. W_t
= $\frac{0{,}714}{1{,}5}$. W_t
= 0,479 W_t

5. Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah Y)
Diketahui data sebagai berikut:
Tinggi Breast Wall, L_b = 9,2 m
Penampang Breast Wall, B_y = 30 m
Tebal Breast Wall, B_w = 1,5 m
Inersia Breast Wall, I_c = 1/12 . B_w . B_y^3

= 20700 m^4

Mutu Beton, $f_c`$ = 40 MPa

Modulus Elastisitas Beton, E_c = $4.700 \sqrt{fc`}$

= 29.725,41 MPa

= 29.725.410 kPa

Nilai Kekakuan, K_p = $3.E_c.I_c / L_b^3$

= 2.370.587.400 kN/m

Percepatan Gravitasi, g = 9,8 m/s^2

Wt akibat str. atas (W_{atas}) = 22145,25 kN

Wt akibat str. bawah (W_{bawah}) = 32612,35 kN

WTP = $W_{atas} + 0{,}5W_{bawah}$

= 38451,425 kN

T = $2 \times \pi \times \sqrt{[WTP/(g \times KP)]}$

= 0,008 detik

Karena T < T0, maka,

C_{sm} = $(SDS - As) \frac{T}{T_0} + As$

= $(0{,}393 - 0{,}307) \frac{0{,}008}{0{,}152} + 0{,}307$

= 0,335

E_{QY} = $\frac{C_{sm}}{R_d} . W_t$

= $\frac{0{,}335}{1{,}5} . W_t$

= 0,224 W_t

6. Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan (Arah X)
   Dari perhitungan berat sendiri pada Tabel 6.2, kemudian dimasukkan distribusi gempanya sesuai dengan arahnya. Berikut ini adalah perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 6.4.
7. Beban Gempa Arah Melintang Jembatan (Arah Y)

Dari perhitungan berat sendiri pada Tabel 6.2, kemudian dimasukkan distribusi gempanya sesuai dengan arahnya. Berikut ini adalah perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 6.5.

Tabel 6. 4 Rekapitulasi Beban Gempa Arah X

Bidang	Berat Wt (kN)	Teq (kN)	y (m)	Arah	Meq (kNm)
Abutmen					
A1	10350.000	4965.240	6.6	1	32770.584
A2	19500.000	9354.800	1.0	1	9354.800
Wing Wall					
W1	538.125	258.157	4.6	1	1187.520
W2	59.375	28.484	7.1	1	202.238
W3	3.125	1.499	6.0	1	8.995
Tanah					
T1	2161.725	1037.052	6.6	1	6844.540
Total:	Teq:	15645,231		Meq:	50368,677

Tabel 6.5 Rekapitulasi Beban Gempa Arah Y

Bidang	Berat Wt (kN)	Teq (kN)	y (m)	Arah	Meq (kNm)
Abutmen					
A1	10350.000	2317.672	6.6	1	15296.635
A2	19500.000	4366.628	1.0	1	4366.628
Wing Wall					
W1	538.125	120.502	4.6	1	554.310
W2	59.375	13.296	7.1	1	94.400
W3	3.125	0.700	6.0	1	4.199
Tanah					
T1	2161.725	484.074	6.6	1	3194.891
Total:	Teq:	7302,873		Meq:	23411,063

- Beban Tanah Dinamis

Tekanan tanah dinamis akibat Gaya gempa arah lateral dapat dihitung dengan menggunakan koefisien tekanan tanah dinamis (KAE) sebagai berikut: Untuk Lapisan 1 (Timbunan Pasir)

$E_{AE} = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times (1-k_v) \times K_{AE}$

$$K_{AE} = \frac{cos^2(\phi - \theta - \beta)}{cos\theta\ cos^2\beta(\delta+\theta+\beta)} \times \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta+\phi)\sin(\emptyset-\theta-i)}{\cos(\delta+\theta+\beta)\cos(i-\beta)}}\right)^{-2}$$

dimana,

γ adalah berat jenis tanah (t/m^3)
H adalah tinggi tanah (m)
ϕ adalah sudut geser internal tanah (°)
θ = arctan (kh/(1-kv)) (°)
δ adalah sudut geser diantara tanah dan kepala jembatan (°)
K_h adalah koefisien percepatan horizontal (φ)
K_v adalah koefisien percepatan vertikal (diambil nilai 0)
i adalah sudut kemiringan timbunan (°)
β adalah kemiringan dinding kepala jembatan terhadap bidang vertikal.

Diketahui:

Tinggi Timbunan, (H)	= 9,2 m
Lebar Abutment, (B)	= 30 m
Koefisien Gempa Lateral, ($K_h = 0{,}5.A_s$)	= 0,154
Sudut Geser Tanah Timbunan, (ϕ)	= 30°
Koefisien Tanah Aktif Timbunan, (K_a)	= 0,333
Berat Volume Timbunan, (γtimbunan)	= 1,8 t/m^3
θ = arctan ($K_h/(1-K_v)$)	= 0,152°
β	= 0°
$\delta = 2/3\ \phi$	= 20°
i	= 0°

Sehingga,

K_{AE1} = 0,614

.

E_{AE} = ½ x 18 x $9,2^2$ x (1-0) x 0,614

= 467,63 kN/m

Untuk lapisan 2 (tanah asli):

Diketahui:

Tinggi Tanah, (H)	= 2 m
Lebar Abutment, (B)	= 30 m
Koefisien Gempa Lateral, ($K_h = 0,5.A_s$)	= 0,154
Sudut Geser Tanah Asli, (ϕ)	= 0°
Koefisien Tanah Aktif, (K_a)	= 1
Berat Volume Timbunan, (γ_{tanah})	= 1,8 t/m^3
$\theta = \arctan (K_h/(1-K_v))$	= 0,152°
β	= 0°
$\delta = 2/3\ \phi$	= 0°
i	= 0°

Sehingga,

K_{AE2} = 0,376

E_{AE2} = ½ x 18 x 2^2 x (1-0) x 0,376

= 13,541 kN/m

Gaya Gempa Lateral Tanah Dinamis:

T_{EQ1} = E_{AE1} x B

= 467,63 x 30

= 14028,9 kN

T_{EQ2} = E_{AE2} x B

= 13 x 30

= 406,245 kN

Lengan Terhadap Pondasi:

Y_{EQ1} = 8,13 m

Y_{EQ2} = 1,33 m

Momen Gempa:

M_{EQ1} = T_{EQ1} x Y_{EQ1}
= 14028,9 x 8,13
= 114101 kNm

M_{EQ2} = T_{EQ2} x Y_{EQ2}
= 406,245 x 1,33
= 541,66 kNm

- Beban Gesekan

  Diketahui:

  Koefisien gesek pada tumpuan, μ = 0,018
  Beban Mati Struktur Atas, P_{MS} = 22145,25 kN
  Beban Mati Tambahan, P_{MA} = 3113,86 kN
  Lengan terhadap pondasi, Y_{FB} = 11,2 m
  Lengan terhadap breast wall, $Y`_{FB}$ = 9,2 m

  Sehingga,

  Reaksi aburment akibat beban tetap:

  P_T = P_{MS} + P_{MA}
  = 22145,25 + 3113,86
  = 25259,11 kN

  T_{FB} = μ x P_T
  = 0,018 x 25259,11
  = 454,66 kN

  M_{FB} = T_{FB} x Y_{FB}
  = 454,67 x 11,2
  = 5092,236 kNm

  $M`_{FB}$ = $T_{FB}$ x $Y`_{FB}$
  = 454,67 x 9,2
  = 4182,908 kNm

6.1.3 Kombinasi Pembebanan

Beban-beban yang telah didapatkan diatas selanjutnya perlu dikombinasikan untuk menghasilkan nilai-nilai beban yang sesuai dengan kondisi kenyataan. Rekapitulasi beban yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 6.6.

Tabel 6. 6 Rekapitulasi Beban yang Bekerja

No.	Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	**Aksi Tetap**					
1.	Beban mati struktur atas	22145,3				
2.	Beban mati struktur atas tambahan	3113,86				
3.	Beban mati struktur bawah	32612,4			-21887,16	
4.	Tekanan tanah		18475,2		54857,6	
B.	**Beban Lalu Lintas**					
5.	Beban lajur "D"	11283,9				
6.	Beban Rem		50		6500	
C.	**Beban Aksi Lingkungan**					
7.	Beban angin			535,2		6957,6
8.	Beban temperatur		32,4		362,88	
9.	Beban tanah dinamis		14435,107		11410,141	
10.	Beban gempa		15645.23137	7302.872574	50368.67665	23511.06343
11.	Beban gesekan		25259,106		5092,236	

Untuk beban-beban tersebut terdapat 5 kombinasi yang diebutkan dalam tabel 6.7 hingga 6.11. dibawah ini:

Tabel 6.7 Kombinasi 1

No.	Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	**Aksi Tetap**					
1.	Beban mati struktur atas	22145,25				
2.	Beban mati struktur atas tambahan	3113,856				
3.	Beban mati struktur bawah	32612,35			-21887,168	
4.	Tekanan tanah		18475,2		54857,6	
B.	**Beban Lalu Lintas**					
5.	Beban lajur "D"	11283,92				
Total		69155,376			-21887,168	

Tabel 6.8 Kombinasi 2

No.	Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	**Aksi Tetap**					
1.	Beban mati struktur atas	22145,25				
2.	Beban mati struktur atas tambahan	3113,856				
3.	Beban mati struktur bawah	32612,35			-21887,17	
4.	Tekanan tanah		18475,2		54857,6	
B.	**Beban Lalu Lintas**					
5.	Beban lajur "D"	11283,92				
6.	Beban Rem		50		6500	
C.	**Beban Aksi Lingkungan**					
7.	Beban angin			535,2		6957,6
Total		69155,376	18525,2	535,2	39470,432	6957,6

Tabel 6.9 Kombinasi 3

No.	Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	**Aksi Tetap**					
1.	Beban mati struktur atas	22145,25				
2.	Beban mati struktur atas tambahan	3113,856				
3.	Beban mati struktur bawah	32612,35			-21887,17	
4.	Tekanan tanah		18475,2		54857,6	
B.	**Beban Lalu Lintas**					
5.	Beban lajur "D"	11283,92				
6.	Beban Rem		50		6500	
C.	**Beban Aksi Lingkungan**					
7.	Beban angin			535,2		6957,6
8	Beban gesekan		25259,106		5092,236	
Total		69155,376	43784,306	535,2	44562,668	6957,6

Tabel 6.10 Kombinasi 4

No.	Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	**Aksi Tetap**					
1.	Beban mati struktur atas	22145,25				
2.	Beban mati struktur atas tambahan	3113,856				
3.	Beban mati struktur bawah	32612,35			-21887,17	
4.	Tekanan tanah		18475,2		54857,6	
B.	**Beban Lalu Lintas**					
5.	Beban lajur "D"	11283,92				
6.	Beban Rem		50		6500	

No.	Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
C.	**Beban Aksi Lingkungan**					
7.	Beban angin			535,2		6957,6
8.	Beban temperatur		32,4		362,88	
9.	Beban gesekan		25259,106		5092,236	
Total		69155,376	43816,706	535,2	44925,548	6957,6

Tabel 6.11 Kombinasi 5

No.	Beban	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A.	**Aksi Tetap**					
1.	Beban mati struktur atas	22145,25				
2.	Beban mati struktur atas tambahan	3113,856				
3.	Beban mati struktur bawah	32612,35			-21887,17	
4.	Tekanan tanah		18475,2		54857,6	
C.	**Beban Aksi Lingkungan**					
9.	Beban tanah dinamis		14435,107		11410,141	
10.	Beban gempa		15645.231	7302.873	50368.677	23511.063
Total		57871.456	48555.538	7302.873	94749.250	23511.063

Rekapitulasi perhitungan kombinasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 6.12.

+*Tabel 6. 12 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan

No.	Kombinasi Beban	Vertikal	Tx	Ty	Mx	My
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
1.	Kombinasi 1	69155,376			-21887,17	
2.	Kombinasi 2	69155,376	18525,2	535,2	39470,432	6957,6
3.	Kombinasi 3	69155,376	43784,306	535,2	44562,668	6957,6
4.	Kombinasi 4	69155,376	43816,706	535,2	44925,548	6957,6
5.	Kombinasi 5	57871.456	48555.538	7302.873	94749.250	23511.063

6.1.4 Stabilitas

Perhitungan stabilitas guling dan geser menggunakan SF (Safety Factor) minimal sebesar 2,2. Perhitungan kontrol guling dapat dilihat pada Tabel 6.13-Tabel 6.14 dan perhitungan kontrol geser pada Tabel 6.15-Tabel 6.16.

Kontrol Guling:

M_p = P x B x (1+k)

S_F = $M_p/M > 2,2$

dimana,

B adalah jarak titik pusat terhadap titik guling

Bx = 6,5 m; By = 15 m

k adalah persen kelebihan beban yang diijinkan

Tabel 6. 13 Kontrol Guling Arah X

No	Kombinasi Beban	k	P (kN)	Mx (kNm)	Mpx (kNm)	SF	Ket.
1	Kombinasi 1	0%	69155	-21887,168	449509,9	20,538	(OK)
2	Kombinasi 2	25%	69155	39470,432	561887,4	14,236	(OK)
3	Kombinasi 3	40%	69155	44562,668	629313,9	14,122	(OK)
4	Kombinasi 4	40%	69155	44925,548	629313,9	14,008	(OK)
5	Kombinasi 5	50%	57871	94749.250	564246.6	5.955	(OK)

Tabel 6. 14 Kontrol Guling Arah Y

No	Kombinasi Beban	k	P (kN)	My (kNm)	Mpy (kNm)	SF	Ket.
1	Kombinasi 1	0%	69155	0	1037331	∞	(OK)
2	Kombinasi 2	25%	69155	6957,6	1296663	186,3665	(OK)
3	Kombinasi 3	40%	69155	6957,6	1452263	208,7304	(OK)
4	Kombinasi 4	40%	69155	6957,6	1452263	208,7304	(OK)
5	Kombinasi 5	50%	57871	23551,06	1302108	55,38277	(OK)

Kontrol Geser:

H = $(c \times B_x \times B_y + P \tan \phi) \times (1+k)$

dimana,

c = 20 t/m^2

ϕ = 0°

Bx = 13 m

By = 30 m

Tabel 6. 15 Kontrol Geser Arah X

No	Kombinasi Beban	k	Tx (kN)	P (kN)	H (kN)	SF	Ket.
1	Kombinasi 1	0%	69155,376	0	3900	∞	OK > 1,1
2	Kombinasi 2	25%	69155,376	18525,2	4875	0,263	Not OK < 1,1
3	Kombinasi 3	40%	69155,376	43784,306	5460	0,125	Not OK < 1,1
4	Kombinasi 4	40%	69155,376	43816,706	5460	0,125	Not OK < 1,1
5	Kombinasi 5	50%	57871,456	48555.54	5850	0,120	Not OK < 1,1

Tabel 6. 16 Kontrol Geser Arah Y

No	Kombinasi Beban	k	Ty (kN)	P (kN)	H (kN)	SF	Ket.
1	Kombinasi 1	0%	69155,376	0	3900	∞	OK > 1,1
2	Kombinasi 2	25%	69155,376	535,2	4875	9,109	OK > 1,1
3	Kombinasi 3	40%	69155,376	535,2	5460	10,2019	OK > 1,1
4	Kombinasi 4	40%	69155,376	535,2	5460	10,2019	OK > 1,1
5	Kombinasi 5	50%	57871,456	7302,87	5850	0,801	Not OK < 1,1

Setelah dicek terhadap stabilitas guling dan geser, maka perlu dicek terhadap stabilitas daya dukung, untuk memastikan tanah dasar mampu menahan beban yang ada. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

c tanah dasar = 72,23 kPa

ϕ tanah dasar = 0°

Tabel 6. 17 Koefisien Daya Dukung Tanah Terzaghi

ϕ		N_c	N_q	N_γ
0		5,7	1	0
5		7,3	1,6	0,5
10		9,6	2,7	1,2
15		12,9	4,4	2,5
20		17,7	7,4	5
25		25,1	12,7	9,7
30		37,2	22,5	19,7
34		52,6	36,5	35
35		57,8	41,4	42,4
40		95,7	81,3	100,4
45		172,3	173,3	297,5

Berdasarkan Tabel 6.17 nilai koefisien daya dukung tanah adalah sebagai berikut:

N_c = 5,7
N_q = 1
$N\gamma$ = 0
D_f = 2 m
$\gamma`$ = 8 kN/m^3
B = 13 m
q_{ult} = (c x N_c) + (q x N_q) + (0,5 x γ x B x $N\gamma$)
= (72,3 x 5,7) + (2 x 8 x 1) + (0,5 x 0,8 x 13 x 0)
= 428,11 kN/m^2
P = 69155,376 kN
M_x = 85705,847 kNm
W = 1/6 x L x B^2
= 1/6 x 30 x 13^2
= 845 m^3
A = 13 x 30 = 390 m^2
σ_{max} = $\frac{P}{A} + \frac{M_X}{W}$
= $\frac{69155,376}{390} + \frac{85705,847}{845}$
= 278,75 kN/m^2
σ_{min} = $\frac{P}{A} - \frac{M_X}{W}$
= $\frac{69155,376}{390} - \frac{85705,847}{845}$
= 75,89 kN/m^2

Syarat:

SF < q_{ult}/ σ_{max}
3 > 428,11/278,75
3 > 1,5358 (NOT OK)

Setelah dicek terhadap stabilitas guling, geser dan ambles, diperoleh hasil bahwa bangunan bawah tidak mampu menahan beban yang ada. Oleh karena itu diperlukan perencanaan pondasi dalam..

6.2 Perencanaan Pondasi

Pondasi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah pondasi bored pile. Hal ini dikarenakan tanah dasar jembatan adalah tanah keras, sehingga tidak memungkinkan apabila digunakan tiang pancang. Pada sub bab ini diberikan contoh perhitungan bored pile yang akan digunakan sebagai pondasi jembatan dengan spesifikasi sebagai berikut:

Diameter tiang : 0,8 m
Jarak Antar Tiang: 2,2 m
Jumlah Tiang : 90 tiang
f'_c : 50 Mpa
f'_y : 400 Mpa
Dimensi pile cap : 13 x 30 m
Titik Jepit Z_f : $1{,}8T = 1{,}8 \times 2{,}2 = 3{,}96$
Kedalaman : $8 \text{ m} > 2\ Z_f$
: $8 \text{ m} > 7{,}92 \text{ m}$ **OK**

6.2.1 Daya Dukung Tanah Bored Pile

Ada beberapa metode untuk menghitung daya dukung bored pile misalnya berdasarkan sondir, data bor dalam, dan data SPT. Pada perencanaan ini akan digunakan data SPT untuk menghitung daya dukung bored pile.

Daya dukung SPT dari lapangan tidak dapat langsung digunakan untuk perencanaan bored pile. Koreksi data SPT asli harus dilakukan terlebih dahulu terhadap muka air tanah. Perhitungan koreksi nilai SPT berdasarkan Terzhagi dan Peck, 1960 adaalah sebagai berikut:

A. Koreksi terhadap muka air tanah

Khusus untuk tanah berpasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung, yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$:

- $N1 = 15 + ½ (N-15)$
- $N1 = 0{,}6\ N$

Kemudian pilih harga N1 yang terkecil dari kedua nilai tersebut. Untuk jenis tanah lempung, lanau, dan pasir kasar dan bila N ≤ 15, tidak perlu dilakukan koreksi.

B. Perhitungan daya dukung bored pile tunggal

Perhitungan daya dukung bored pile ini dilakukan berdasarkan hasil uji Standard Penetration Test (SPT) dengan penjumlahan daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s) dengan metode Luciano Decourt sebagai berikut:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana,

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_P = Resistance ultimate di dasar pondasi

Q_s = Resistance ultimate akibat tekanan lateral

$$Q_p = q.A_p = \alpha.\bar{N}_p.K.A_p$$

Dimana,

$\bar{N}_p$ = Harga rata-rata SPT di sekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang pondasi (D = diameter pondasi)

K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi

K = 12 ton/m2 , untuk lempung (clay)

K = 20 t/m2, untuk lempung berlanau (silty clay)

K = 25 t/m2, untuk pasir berlanau (silty sand)

K = 40 t/m2, untuk pasir (sand)

A_p = Luas penampang dasar tiang

q_p = Tegangan di ujung tiang

$$Q_s = q_s.A_s = \beta.A_s.\left(\frac{\bar{N}_s}{3} + 1\right)$$

Dimana,

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam ton/m2

$\bar{N}_s$ = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan: 3 ≤ N ≤ 50

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

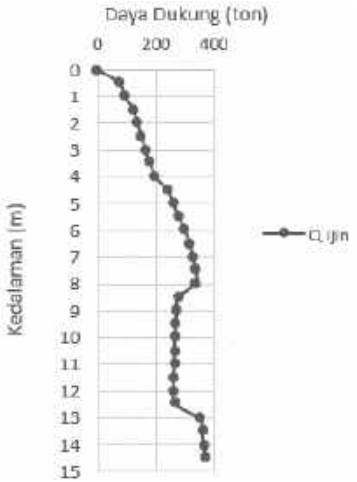
Koefisien α merupakan base *coeffiecient* seperti yang terdapat pada Tabel 6.18 dan *shaft coefficient* terdapat pada Tabel 6.19. Pada Gambar 6.5 ditunjukkan hubungan antara kedalaman dengan daya dukung *bored pile* tunggal untuk diameter 800 mm.

Tabel 6.18 *Base Coeffiecient*

Soil/ Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous hollow auger	Root pile	Injected pile
Clay	1.0	0.85	0.85	0.30	0.85	1.0
Intermediate	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

Tabel 6.19 *Shaft Coefficient*

Soil/ Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous hollow auger	Root pile	Injected pile
Clay	1.0	0.80	0.9	1.0	1.5	3.0
Intermediate	1.0	0.65	0.75	1.0	1.5	3.0
Sands	1.0	0.50	0.6	1.0	1.5	3.0



Gambar 6.5 Hubungan Antara Kedalaman Dengan Daya Dukung Bored Pile Tunggal untuk Diameter 800mm

Direncanakan kedalaman tiang *bored pile* adalah L = 8 m dengan diameter,

D = 800 mm.

A_p = 0,25 × π × D = 0,5027 m^2

α = 0,6 (intermediate soil)

K = 22,5 ton/m^2 (lanau berlempung)

N_p = 89,57

$Q_p = q \times A_p = \alpha \times \bar{N}_p \times K \times A_p$

= 648,3 ton

A_s = π × D × L = 20,11 m

β = 0,65 (intermediate soil)

N_s = 42

$Q_s = q_s \times A_s = \beta \times A_s \times \left(\frac{\bar{N}_s}{3} + 1\right)$

= 364,32 ton

$Q_L = Q_p + Q_s$ = 1012,62 ton

Daya dukung ijin dari satu *bored pile* tunggal adalah daya dukung *bored pile* tunggal dibagi dengan suatu angka keamanan.

$P_{ijin\ 1\ tiang}$ = Pult/SF
Dimana,
SF = *safety factor* = 3
Q1 ijin = 1012,62/3 = 337,54 ton

Beban yang digunakan adalah hasil dari kombinasi beban seperti yang terdapat pada Tabel 6.20.

Tabel 6.20 Tabel Pembebanan *Bored Pile*

Kombinasi Beban	Vertikal (kN)	Hx (kN)	Hy (kN)	Hresultan (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Kombinasi 1	69155,376	0	0	0	-21887,1	0
Kombinasi 2	69155,376	18525,2	535,2	18532,9	39470,4	6957,6
Kombinasi 3	69155,376	43784,3	535,2	43787,5	44562,6	6957,6
Kombinasi 4	69155,376	43816,7	535,2	43819,9	44925,5	6957,6
Kombinasi 5	57871,456	48555,5	7302,8	49101,6	94749,2	23511,1

6.2.2 Daya Dukung Tanah *Bored Pile* Tunggal Dalam Kelompok

Untuk mengetahui jumlah tiang yang dibutuhkan dalam satu kolom adalah dengan membagi beban aksial dan daya dukung ijin tiang tunggal. Jumlah *bored pile* direncanakan jaraknya sesuai dengan yang diijinkaan. Tebal *pilecap* yang direncanakan pada *bored pile* group sebesar 2 meter. Untuk daya dukung ini diambil nilai :

$P_{ijin\ 1\ tiang}$ = 199,68 ton

Maka daya dukung satu tiang pancang adalah 199,68 ton.

Perhitungan daya dukung *bored pile* tunggal dalam kelompok untuk daya dukung pondasi kelompok harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi (Ce) menurut *Converse-Labarre*.

$$C_e = 1 - \frac{arc\tan\frac{\emptyset}{S}}{90°}.(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n})$$

Dimana :
Ø = diameter *bored pile*
S = Jarak antar *bored pile*
m = Jumlah baris *bored pile* dalam grup
n = Jumlah kolom *bored pile* dalam grup
Sehingga perhitungan daya dukung *bored pile* menjadi
$P_{1\ tiang\ dalam\ grup}$ = $P_{1\ tiang\ tunggal}$ × Ce
= 337,54 x 0,6077
= 205,14 ton

6.2.3 Kontrol Beban Maksimum 1 *Bored Pile*

Beban maksimum yang bekerja pada satu *bored pile* dalam kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang. Beban maksimum yang diterima satu tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{MyXi}{\sum_{i=1}^{n}(X_i^2)} \pm \frac{MxYi}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^2)}$$

Dengan menggunakan perumusan tersebut, diperoleh hasil seperti yang terdapat pada Tabel 6.21

Tabel 6.21 Rekapitulasi Kontrol Beban Maksimum

Kombinasi No.	V (kN)	n	V/n (kN)	Mx	My	x max	Σx^2	My. Xmax $/x^2$	y max	Σy^2	Mx. Ymax $/y^2$	Pmax (kN)	Pmax (ton)
				kNm	kNm	m	m^2		m	m^2			
Kombinasi 1	69155,4	90	768,393	-21887,2	0,000	5,5	7940,6	0	14	1344	-227,9	540,40	54,04
Kombinasi 2	69155,4	90	768,393	39470,4	6957,6	5,5	7940,6	4,819	14	1344	411,1	1184,3	118,4
Kombinasi 3	69155,4	90	768,393	44562,7	6957,6	5,5	7940,6	4,819	14	1344	464,1	1237,4	123,7
Kombinasi 4	69155,4	90	768,393	44925,5	6957,6	5,5	7940,6	4,819	14	1344	467,9	1241,1	124,1
Kombinasi 5	57871,5	90	643,016	94749,2	23511,1	5,5	7940,6	16,2	14	1344	986,9	1646,2	164,2

6.2.4 Kontrol Kekuatan *Bored Pile*

A. Kontrol Terhadap Gaya Aksial

Untuk *bored pile* diameter 80 cm, gaya aksial tidak diperkenankan melebihi Pijin seperti yang terdapat pada Tabel 6.22.

Tabel 6.22 Kontrol Kekuatan *Bored Pile* Terhadap Gaya Aksial

Kombinasi No.	Pmax (ton)	Persen ijin	Pijin 1 tiang (ton)	Ket
Kombinasi 1	54,040174	100%	205.14	OK
Kombinasi 2	118,43625	125%	256.42	OK
Kombinasi 3	123,74066	140%	287.19	OK
Kombinasi 4	124,11866	140%	287.19	OK
Kombinasi 5	164,2	150%	307.71	OK

B. Kontrol Terhadap Gaya Lateral

Pondasi tiang pancang perlu dikontrol terhadap gaya horizontal. Momen dan defleksi yang terjadi pada tiang pancang tidak boleh melebihi syarat yang telah ditentukan. Perhitungan kontrol tiang pancang terhadap momen dan defleksi diperhitungkan dengan menggunakan rumusan NAVFAC dengan langkah sebagai berikut :

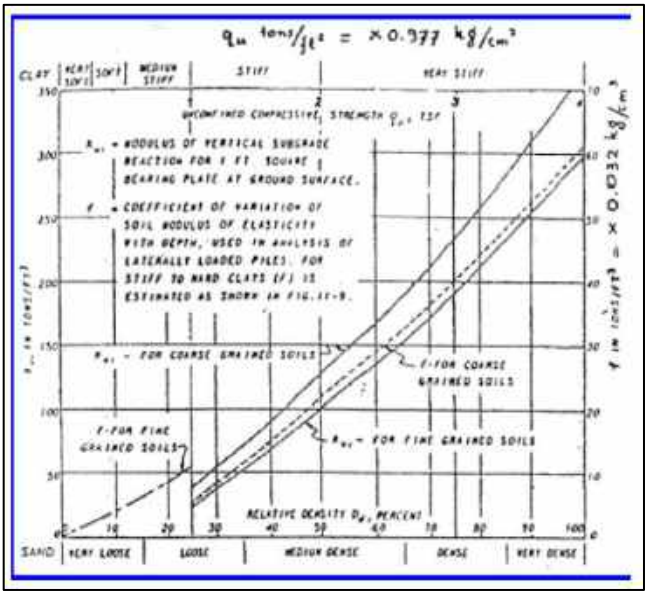
1) Menghitung faktor kekakuan relative (*relative stiffness factor*)

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

dimana:

E = modulus elastisitas tiang, kg/cm^2
I = momen inersia tiang, cm^4
f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm^3
T = faktor kekuatan relatif, cm

Harga f diperoleh dengan bantuan Gambar 6.6 (Design Manual, NAVFAC DM-1971)



Gambar 6.6 Kurva untuk menentukan Harga f dari Berbagai Jenis Tanah (NAVFAC DM-7. 1971)

$$\boldsymbol{T} = \left(\frac{\mathbf{338776{,}95\ x\ 2010619{,}30}}{\mathbf{1{,}216}}\right)^{\frac{1}{5}} = 223{,}698 \text{ cm} = 2{,}23 \text{ m}$$

2) Menghitung Defleksi Akibat Gaya Lateral
Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$\delta = \frac{PT^3}{3EI}$$

dimana:

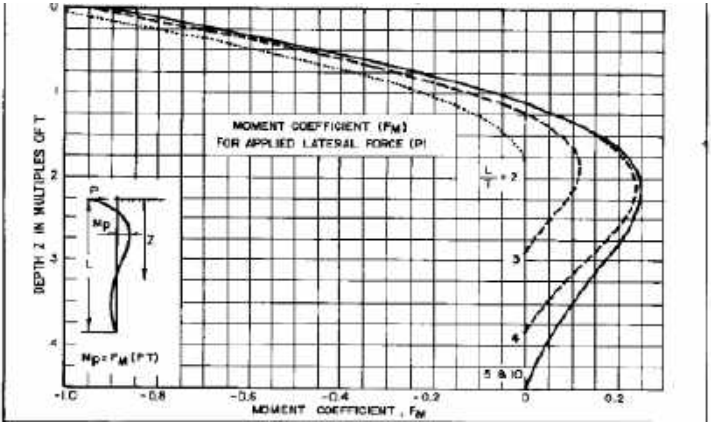
δ = defleksi yang terjadi
P = gaya horizontal maksimum yang diterima tiang (kg)
T = faktor kekakuan relative

E = modulus elastisitas tiang, kg/cm^2
I = momen inersia tiang, cm^4
δ $= \frac{PT^3}{3EI}$
$= \frac{51422\ x\ 11194020}{3\ x\ 338776{,}95\ x\ 2010619{,}30}$
= 0,282 cm < 2,5 cm (OK)

3) Menghitung gaya lateral yang mampu ditahan oleh satu tiang:

$$H = \frac{Mp}{F_M\ x\ T}$$

dimana:
P = gaya horizontal yang diterima tiang (kN)
Mp = momen yang bekerja (kNm)
F_M = koefisien momen akibat gaya lateral (Gambar)
T = faktor kekakuan relatif
Maka:
H $= \frac{Mp}{F_M\ x\ T} = \frac{28972079}{0{,}9\ x\ 223{,}7}$
= 143904,75 Kg
= 1439,04 kN



Gambar 6.7 Koefisien-koefisien untuk Tiang Pancang yang Menerima Beban Lateral (NAVFAC DM-7. 1971)

Sehingga diperoleh hasil perhitungan gaya lateral seperti yang terdapat pada Tabel 6.23

Tabel 6.23 Perhitungan Gaya Kontrol Gaya Lateral

Kombinasi No.	Persen Hijin	Hres 1 tiang (kN)	kontrol terhadap daya dukung ijin	Hijin (kN)	Ketera-ngan
Kombinasi 1	100%	0	<100%*Hijin	1439.04747	AMAN
Kombinasi 2	125%	205.921438	<125%*Hijin	1798.80933	AMAN
Kombinasi 3	125%	486.528632	<125%*Hijin	1798.80933	AMAN
Kombinasi 4	140%	486.888605	<140%*Hijin	2014.66645	AMAN
Kombinasi 5	150%	545.573914	<150%*Hijin	3021.99968	AMAN

6.3 Penulangan Abutment

Penulangan terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan transversal atau geser. Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan syarat-syarat sesuai SNI 2847:2013.

- Penulangan Longitudinal

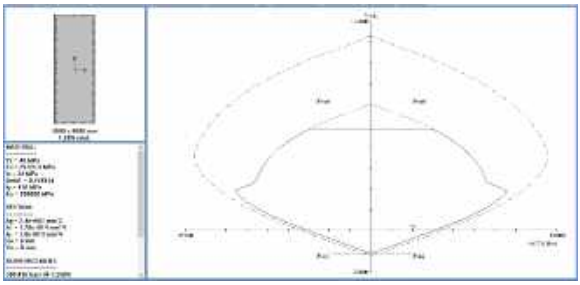
Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya-gaya kombinasi seperti pada Tabel 6.6 - Tabel 6.11. Berikut ini adalah data perencanaan dari perencanaan penulangan abutment.

Desain abutment:

Panjang (p) = 9.200 mm
Lebar (l) = 1.500 mm
$F`_c$ = 40 MPa
F_y = 410 MPa
Cover = 100 mm
Jarak antar tul. = 100 mm
Tulangan Utama = 240 D36 dengan rasio 1,26%.

Syarat-syarat:

1. Jarak tulangan kolom dinding tidak lebih dari tiga kali tebal dinding, atau lebih dari 450 mm (pasal 14.3.5).
2. Luas tulangan longitudinal struktur tekan tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,08 Ag (pasal 10.9.1)



Gambar 6.8 Diagram Interaksi *Abutment* Pada SpColumn

- Penulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2 perhitungan kuat geser beton bila ikut berkontribusi menahan geser yaitu,

V_u = 69155,376 kN

$V_c = 0{,}17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \lambda \sqrt{f'_c}\ b_w\ d$

$= 0{,}17 \times \left(1 + \frac{69155{,}376}{14 \times 13{,}8}\right) \times 1 \times \sqrt{40 \times 1000} \times 1{,}5 \times 9{,}2$

= 168418 kN

Kuat geser akibat beton sudah mencukupi tetapi tetap harus dihitung tulangan geser yang akan dipasang. Direncanakan tulangan Sengkang 2 D22-250.

A_v = 759,88 mm^2

S = 250

$V_s = \left(\frac{Av \cdot fy \cdot d}{s}\right)$

$= \left(\frac{759{,}88 \cdot 410 \cdot 9200}{250}\right)$

= 11465069 N = 11465,07 kN

$V_n = Ø\ (V_c + V_s)$

= 0,75 (168418 + 11465,07)
= 134912,3 kN > V_u = 69155,376 kN (OK)

6.4 Perencanaan Pilecap

Pilecap direncanakan terhadap gaya geser pons pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur. Beban yang bekerja pada *pilecap* seperti pada Tabel 6.24.

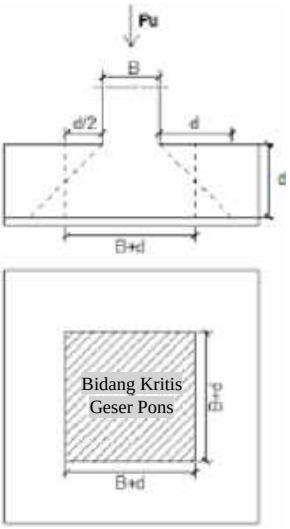
Tabel 6.24 Beban Yang Bekerja Pada Pilecap

Kombinasi Beban	Vertikal	Tx	Ty	Mx	My	P	P 1 tiang	n tiang
	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(ton)	(ton)	(buah)
Kombinasi 1	69155.3	0	0	-21887.1	0	6915.54	199.68	34.63
Kombinasi 2	69155.3	18525.2	535.2	39470.4	6957.6	6915.54	199.68	34.63
Kombinasi 3	69155.3	43784.3	535.2	44562.6	6957.6	6915.54	199.68	34.63
Kombinasi 4	69155.3	43816.7	535.2	44925.5	6957.6	6915.54	199.68	34.63
Kombinasi 5	57871.4	45746.5	7006.82	85705.8	22557.9	5787.15	199.68	28.98

6.4.1 Data Perencanaan Pilecap

Pu = 6915,538 ton
Pmax (1 tiang) = 199,68 ton
n tiang pancang = 90 buah
Dimensi pilecap = 13 x 30 x 2 m
Mutu beton (f'c) = 50 MPa
Mutu baja (fy) = 400 MPa
Diameter tulangan = 25 mm
Selimut beton = 80 mm
λ = 1 (beton normal)
Tinggi efektif (d) :
dx = 1200 – 80 – ½ 25 = 1207,5 mm
dy = 1200 – 80 – 25 – ½(25) = 1182,5 mm

6.4.2 Kontrol Geser Pons



Gambar 6.9 Bidang Kritis Geser Pons

Pilecap harus mampu menyebarkan beban dari kolom ke pondasi, sehingga perlu dilakukan kontrol kekuatan geser pons untuk memastikan bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Perencanaan geser pons pada poer tersebut berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1.

Untuk pondasi tapak non-prategang (Vc) ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0{,}17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ d_o$$

$$V_{c2} = 0{,}083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ d_o$$

$$V_{c3} = 0{,}333\ \lambda \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ d_o$$

dimana :

α_s = 20 untuk kolom sudut,
= 30 untuk kolom tepi
= 40 untuk kolom interior

β = rasio sisi terpanjang terhadap sisi terpendek
= 30000/13000 = 2,31

b_o = Keliling penampang kritis :

b_o = 2 (b_{kolom} + d) + 2(h_{kolom} + d)

b_o = 2 (1500 + 1905,5) + 2 (30000 + 1905,5)
= 70622 mm

V_{c1} = $0{,}17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'c} \times b \times d_o$
= 270.081.387 N

V_{c2} = $0{,}083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f'c} \times b \times d_o$
= 217.522.614 N

V_{c3} = $0{,}333 \lambda \sqrt{f'c} \times b \times d_o$
= 28.415.237 N

Sehingga, kapasitas penampang dalam memikul geser adalah

ϕVc ≥ Pu

ϕVc = 0,75 × 217,522.614 N
= 163.141.960 N
= 16314,196 ton

ϕVc = 16314,196 ton ≥ 7541,386 ton

Jadi ketebalan dan ukuran pilecap memenuhi syarat terhadap geser pons akibat kolom.

6.4.3 Penulangan Pilecap

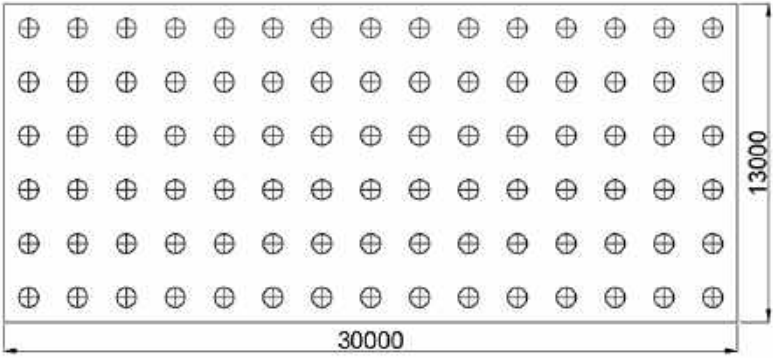
Pada perencanaan ini, tulangan pile cap akan dianalisis sebagai balok tinggi. Data perencanaan untuk menghitung tulangan pile cap dapat dilihat di bawah ini :

Data perencanaan:

Db = 25 mm,

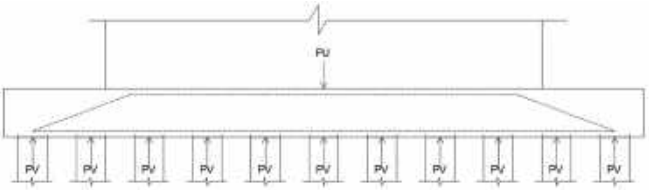
As tulangan = 490,87 mm^2
Selimut beton = 100 mm
Panjang, p = 30000 mm
Lebar, l = 13000 mm
Tebal pilecap, t = 2000 mm
d sisi panjang = 2000-100-0,5x25
= 1887,5 mm
d sisi pendek = 2000-100-25-0,5x25 ‘
= 1862,5 mm
f`c = 40 MPa
fy = 410 MPa
b Abutment = 30000 mm
h Abutment = 1500 mm
P_v = 69155,376 kN

- Penulangan Lentur arah Y

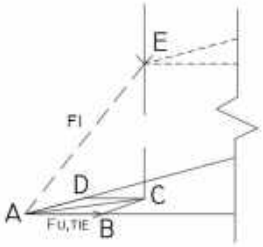


Gambar 6. 10 Rencana Penulangan *Pilecap*

Beban vertikal dari abutmen didistribusikan ke 90 buah tiang pancang (Gambar 6.11), berdasarkan hasil perhitungan beban maksimum yang diterima 1 tiang, Pv, diperoleh Pv = 69155,376 kN. Setiap beban Pv dihubungkan pada tiap as tiang melalui garis strat seperti pada Gambar 6.12.



Gambar 6.11 Distribusi Beban Vertikal



Gambar 6.12 Model Strat dan Pengikat

Diasumsikan, jarak as pengikat bawah ke serat bawah beton adalah 150mm, dan ketebalan strat horizontal atas adalah 300mm. Maka jarak antara pengikat bawah dengan strat atas, EC :

EC = 2000 – 150 – 300/2 = 1700 mm

AB = 1630 mm

AC = 1400 mm

θ $= tan^{-1}\left(\frac{EC}{AC}\right) = tan^{-1}\left(\frac{1630}{1400}\right) = 38{,}35^{0}$

<u>Gaya yang terjadi:</u>

$F_1 = \frac{P_v}{sin\theta} = \frac{69155{,}376 \times 10^3}{\sin 38{,}35} = 111.457.580$ N

$F_{u\,AC}$ $= F_1 \cos \theta$
$= 111.457.579{,}9 \times \cos 38{,}35$
$= 87.408.959$ N
α $= 41^{o}$ (sudut BAC)
$F_{u\,tie}$ $= F_{AC} \cos \alpha$
$= 87.408.959 \times \cos 41$
$= 65.968.379$ N

Tulangan Pengikat:

$F_{u\,tie}$ $= Ø \times A_s \times F_y$
7.206.445 $= 0{,}75 \times A_s \times 410$
A_s $= 23435{,}59$ mm^2
$A_{s\,min}$ $= 1{,}4 \times b_w \times d / F_y$
$= 1{,}4 \times 13000 \times 1887{,}5 / 410$
$= 83.786{,}58$ mm^2

$A_s < A_{s\,min}$, maka As terpasang digunakan A_s, min.

Db $= 30$ mm ($A_{s\,1\,tul} = 706{,}85$ mm^2)
n_{tul} $= A_s / A_{s\,1\,tul}$
$= 83786{,}58 / 706{,}85$
$= 118{,}53 \approx 120$ buah
Jarak s $= 13000/120$
$= 108{,}33$ mm (arah y)

Sehingga digunakan tulangan lentur arah y D30-100mm.

- Penulangan Vertikal dan Horizontal

Untuk perhitungan tulangan geser, digunakan nilai Vu dan Mu. Kemudian cek Vu terhadap kuat geser maksimum untuk struktur balok tinggi tidak boleh diambil lebih dari persamaan berikut:

V_u $= 5850000$ N
V_u $\leq \varphi \times Vn$
$\leq \varphi \times 0{,}83 \times \sqrt{f'c} \times bw \times d$
$\leq 0{,}65 \times 0{,}83 \times \sqrt{40} \times 13000 \times 1887{,}5$
5.850.000 $\leq 83.724.344$ N (OK)

Penampang mencukupi.

Cek Kebutuhan Tulangan Geser

Jika Vu < φ Vc maka tidak memerlukan tulangan geser. Dimana nilai Vc dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$V_c = \left(0{,}16\,\lambda\sqrt{f'c} + 17\,\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d$$

Dimana,

A_s = 46404,87 mm^2

ρ_w = As/(bd)

= 46404,87/(13000×1887,5) = 0,0019

Vc =$(0{,}16\times1\times\sqrt{40}+17\times0{,}0019\times \frac{585\times10^4\times1887{,}5}{85706\times10^6})$

×13000×1887,5

= 24.932.313 N

$ØV_c$ = 0,75× 24.932.313 N = 18.699.235 N > Vu

Maka disediakan tulangan geser minimum.

$V_{s\,min}$ = b_w×d/3 = 13000×1887,5/3

= 8.179.167 N

Direncanakan tulangan geser dua kaki dengan Ds = 30 mm (Av = 760,265 mm^2). Tulangan geser D22 diletakkan di kedua sisi pile cap pada posisi horizontal dan vertikal, maka Av = Avh dan direncanakan sv = sh = s. Besarnya jarak s dapat diperoleh dari perumusan berikut :

$$V_s = \left[\frac{A_v}{A_v}\left(\frac{1+{L_n}/{d}}{12}\right) + \frac{A_{vh}}{S_h}\left(\frac{11-{L_n}/{d}}{12}\right)\right] f_y \times d$$

$$4530000 = \left[\frac{760{,}265}{s}\left(\frac{1+{21600}/{1887{,}5}}{12}\right) + 1\left(\frac{11-{21600}/{1887{,}5}}{12}\right)\right] 410 \times 1887{,}5$$

s = 232,91 mm

Syarat s < d/5 = 377,5 mm dan kurang dari 300 mm, maka digunakan 2D22-200 mm.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII
PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan kontrol yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil dari perencanaan struktur Modifikasi Jembatan *Overpass* jalan tol Pasuruan-Probolinggo STA 29+325 ini antara lain:

1. Pelat lantai kendaraan berupa pelat beton dengan tebal 25 cm dan dilapisi aspal setebal 8 cm
2. Profil struktur sekunder dan primer menggunakan mutu baja JIS G3101 SS490 dengan fy = 285 MPa dan fu = 490 MPa.
3. Pada permodelan struktur jembatan menggunakan Midas Civil untuk kontrol gaya dalam dan SPColumn untuk desain tulangan abutment.
4. Jenis penggantung yang digunakan adalah PV720 dari pabrikasi PFEIEFER dengan diameter 85 mm
5. Dari hasil perhitungan struktur sekunder jembatan busur didapatkan:
   - Profil gelagar memanjang :WF 800×300×16×30
   - Profil gelagar melintang :*Box* 2300×1000×20×30
   - Ikatan angin lantai kendaraan: *Box* 600×600×20
   - Ikatan angin atas :*Box* 600×600×20
6. Dari hasil perhitungan struktur primer jembatan busur didapatkan:
   - Profil Busur Atas : *Box* 2500×1500×35×50
   - Profil *Tie Beam* : *Box* 2000×1200×30×40
   - Kolom Portal akhir : *Box* 1200×1200×40
   - Balok Portal akhir : *Box* 2720×1000×20×30
7. Perletakan menggunakan pot bearing dengan tipe:
   Perletakan 1 : TE 15i (*guided type*)
   Perletakan 2 : TF 14 (*Fixed type*)
   Perletakan 3 : TA 12 (*free type*)

Perletakan 4 : TE 9i (*guided type*)

8. Desain *abutment* dengan tinggi 9,2 m lebar 30 m, dan tebal 1,5 m
9. Pondasi jembatan menggunakan tipe *bored pile* diameter 80 cm dengan kedalaman 4 m.

7.2 Saran

Hasil pengerjaan laporan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan. Sehingga untuk hasil desain menjadi lebih baik, hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Metode pelaksanaan dalam pembangunan jembatan, karena jembatan ini merupakan jembatan viaduk dimana resiko dalam pembangunannya cukup tinggi.
2. Beban karena getaran dari kendaraan baik berupa truk maupun kereta api yang belum ditinjau dalam tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. (2007). *AASHTO LRFD Bridge Design Specification.* Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials

Amon, R., Knobloch, B., & Mazumder, A. 2000. Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur dan Arsitek (3rd Edition ed.). Diterjemahkan oleh R. Handoyo. Jakarta: PT. Pradnya Paramita

Badan Standardisasi Nasional. 1992. Bridge Management System (BMS) Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2015. SNI 1729:2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Sruktural. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Chen, Wf dan J.Y. Richard Liew. 2002. The Civil Engineering Handbook Second Edition. CRC Press LLC. United States of America

Civeng, Mas. 2015. Artikel Jembatan Abutment Teknik Sipil https://www.ilmutekniksipilindonesia.com/2015/04/artikel-jembatan-abutment-tekniksipil.html

Departmen Pekerjaan Umum. 1992. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan. PU. Jakarta

Harwijono, Ir., Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo, MS., dan Ir. Djoko Irawan, MS. 2007. Diktat Kuliah Jembatan Bentang Panjang. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Hibbeler, R. C. 2002. Structural Analysis 5^{th} Edition. In R. C. Hibbeler, Prentice Hall. United States of America

Lestaro, Daurina dan Dwi Royanto. 2018. Tol Jawa Tersambung, Menteri PUPR Bangun Tol Semarang-Demak https://www.viva.co.id/berita/bisnis/1102809-tol-trans-jawa-tersambung-menteri-pupr-bangun-tol-semarang-demak

Marwan. Isdarmanu, 2006. Buku Ajar : Struktur Baja I. Surabaya. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Mochtar, N. E. 2013. Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Septiawan, Hilmy Gugo. 2013. Desain Jembatan Baru Pengganti Jembatan Kutai Kartanegara dengan Sistem

Busur. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. 2007. Jembatan. Yogyakarta: Beta Offset.

Wahyudi, Herman. 2013. Daya Dukung Pondasi Dalam. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

BORING LOG

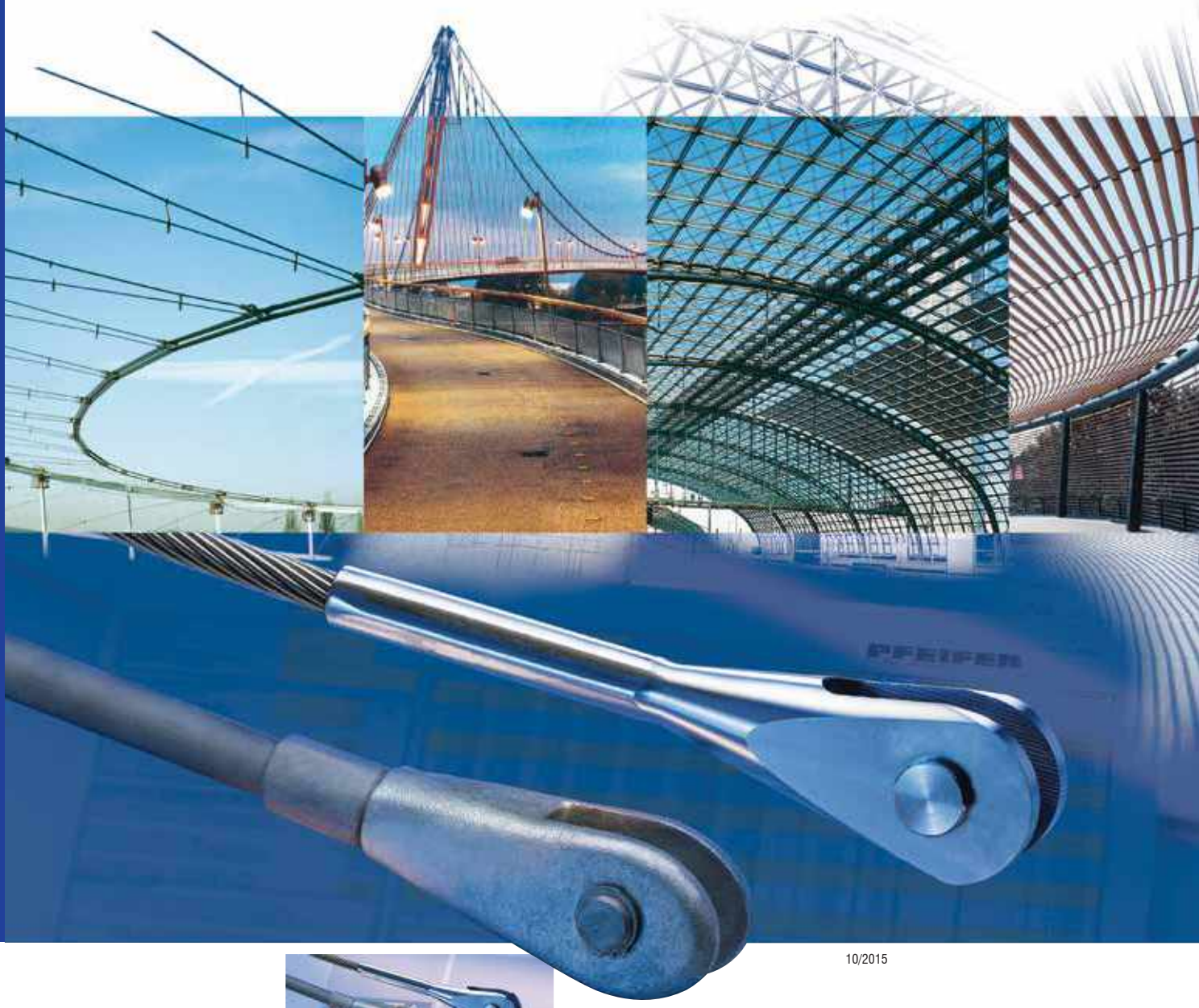
PROJECT NAME : JLN TOL PASPRO	LOCATION : Ds. LORONGAN - PROBOLINGGO
BORE HOLE NO : 29+280.000	DRILLER : MUKSIN
GROUND ELEVATION :	DATE STARTED : 01/05/16
GROUND WATER LEVEL : -02.50 m	DATE FINISHED : 03/05/16

Date	Depth (m)	Boring log	Cor Recovery %	Thickness	Soil Description	N1 (0-15)	N2 (15-30)	N3 (30-45)	N VALUE
	1			1.00	Silty clay, medium stiff, brown				
					1.00 m				
	2			3.00	Clayey silt, medium stiff, brown	2	3	3	6
	4				4.00 m	18	27	33	62
	6			4.00	Cemented silt, hard, brown	23	30	30	60
	8				8.00 m	18	23	30	52
	10			4.50	Silty sand, dense, brown	14	-	-	50
	12				12.50 m	18	23	32	53
	13			5.50	Coarse sand, very dense, brownish grey	23	30	30	60
	18				18.00 m	28	32	-	>60
	20			7.00	Gravely sand, very dense, brown	30	32	-	>60
	24					24	30	-	>60
	25								

STANDART PENE TRATION TEST

10 20 30 40 50 60 70

PFEIFER



10/2015

PFEIFER-Zugglieder
PFEIFER Tension Members

PFEIFER
SEIL- UND HEBETECHNIK
GMBH

DR.-KARL-LENZ-STRASSE 66
DE-87700 MEMMINGEN
TELEFON +49 (0) 8331-937-523
TELEFAX +49 (0) 8331-937-350
E-MAIL cablestructures@pfeifer.de
INTERNET www.pfeifer.info

Korrosionsschutz

Daher kann im Allgemeinen bei Seilen mit GALFAN-Beschichtung auf eine zusätzliche Beschichtung verzichtet werden.

Für Deutschland gilt, dass etwa 95 % der Landfläche den Korrosivitätskategorien C2 und C3 zuzuordnen sind. Im Mittel beträgt die Zinkabtragungsrate ca. 1 μm pro Jahr. Innerhalb der Korrosivitätsbelastung C1 ... C3 (lange Schutzdauer) ist die Feuerverzinkung alleine deshalb nicht ausreichend, um den Korrosionsschutz für „mehrere“ Jahrzehnte sicherzustellen.

■ Seile mit zusätzlicher Beschichtung

Auf Wunsch geben wir Ihnen gerne Hinweise für ein geeignetes Beschichtungs- und Anstrichsystem für vollverschlossenen Spiralseile, um in Sonderfällen auch den farblichen Gestaltungswünschen von Bauherrn und Architekten Rechnung tragen zu können.

□ Beschlagteile

Die Seilendverbindungen werden auf das jeweilige Seilende aufgepresst. Je nach Typ sind sie feuerverzinkt oder Zink-Nickel-beschichtet, alternativ spritzverzinkt mit blankem Gewinde. Die feuerverzinkten Seilendverbindungen der PV-Serie werden aus Stahlguss hergestellt und an den Seilenden mit einer Zinklegierung vergossen.

Ein zusätzlicher Anstrich für Seilendverbindungen wird unbedingt empfohlen. Die dadurch entstehenden Duplexsysteme erzielen eine deutlich höhere Schutzdauer und ermöglichen eine farbliche Gestaltung.

Blanke Gewinde müssen in jedem Fall nach der Montage entfettet, gereinigt und beschichtet werden.

Korrosionsbelastungen und Zinkabtragsraten, sowie Einteilung der Umgebungsbedingungen können nach DIN EN ISO 12944-2 ermittelt werden.

■ Edelstahlseile und Endbeschläge aus nichtrostenden Stählen

Edelstahlseile werden üblicherweise aus den Werkstoffen Nr. 1.4401 oder 1.4436 hergestellt.

Edelstahlseile aus 1.4401 sind gemäß unserer bauaufsichtlichen Zulassung ETA-11/0160 der Korrosionswiderstandsklasse II/mäßig (bauaufsichtliche Zulassung nichtrostende Stähle Z-30.3-6 Tabelle 1) zugeteilt. Diese Seile können für zugängliche Konstruktionen ohne nennenswerte Chlorid- und Schwefeldioxidbelastung eingesetzt werden.

Edelstahlseile aus 1.4436 und Endbeschläge aus 1.4462 sind gemäß unserer bauaufsichtlichen Zulassung ETA-11/0160 der Korrosionswiderstandsklasse III/mittel (bauaufsichtliche Zulassung nichtrostende Stähle Z-30.3-6 Tabelle 1) zugeordnet. Diese Seile können für zugängliche Konstruktionen, die Endbeschläge auch für unzugängliche Konstruktionen, mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxidbelastung aus Industrie, Verkehr sowie Meeresatmosphäre eingesetzt werden.

Grundsätzlich sind bei unseren Edelstahlseilen alle Drähte der Außenlage zusätzlich poliert, um eine glänzende Oberfläche zu gewährleisten.

Corrosion Protection

In general there is therefore no need for additional coating of cables with GALFAN-coated wires.

The following applies to Germany: for 95 % of the area of land corrosiveness categories C2 and C3 apply. Average zinc abrasion rate is ca 1 μm per year. Within corrosion stresses C1 ... C3 (long lasting protection) hot-dip galvanizing alone is therefore not sufficient to provide corrosion protection for several decades.

■ *Cables with additional coating*

We are able to provide you with further information about an appropriate coating and paint system for full locked cables, in case the project owner or the architects wants to have a coloured appearance of the cables.

□ *End connections*

The fittings are swaged onto the spiral strands at the ends. Depending on the type of fitting they are zinc-nickel-coated, hot-dip galvanized or hot-spray-galvanized with bare threads. The PV-sockets are made from cast steel material. They are connected to the cable ends using a zinc alloy.

Additional protection of the fittings with a paint system is strongly recommended. With these so-called Duplex-Systems longerlasting protection and coloration requirements can be realized.

Bare threads must be degreased, cleaned and coated after installation.

Corrosion stress, abrasion rates of zinc as well as allocation of atmospheric conditions can be determined according to DIN EN ISO 12944-2.

■ *Stainless steel cables and end terminations made of non-corrosive steels*

Stainless steel cables are usually made of materials no. 1.4401 or 1.4436.

Stainless steel cables made of 1.4401 are allocated to corrosion resistance class II/moderate (technical approval non-corrosive steels Z-30.3-6 table 1) according to our technical approval ETA-11/0160. These cables can be employed in accessible structures without noteworthy chloride or sulphur dioxide stress.

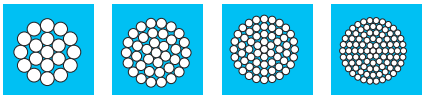
Stainless steel cables made of 1.4436 and end terminations made of 1.4462 are allocated to corrosion resistance class III/medium (technical approval non-corrosive steels Z-30.3-6 table 1) according to our technical approval ETA-11/0160. These cables can be employed in accessible structures, end terminations; also for inaccessible structures subject to moderate chloride or sulphur dioxide stress from industry, traffic or caused by maritime atmosphere.

All external-layer wires of our stainless steel cables are subsequently polished to guarantee a shiny surface.

Gewindefitting
Swaged Fitting with Thread

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PE Typ *Type 989*



Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Erhältliches Zubehör

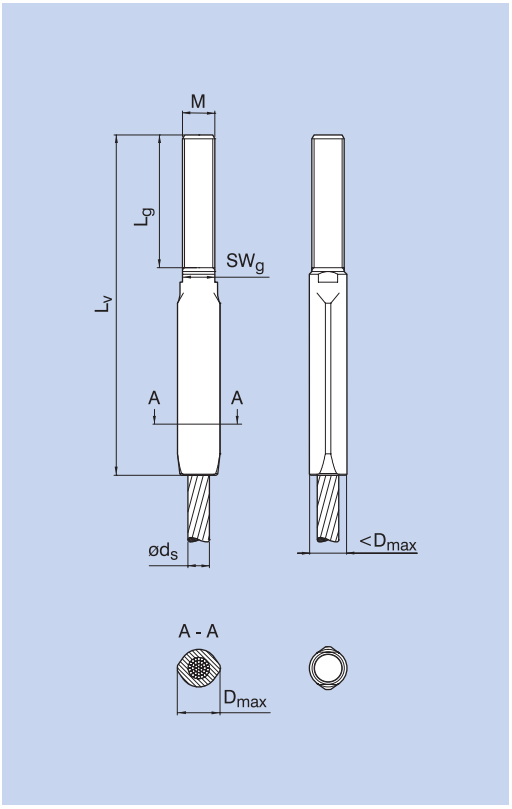
Edelstahl-Mutternset bestehend aus zwei Sechskantmuttern und einer Scheibe.

Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Available Equipment

Set of nuts consisting of two nuts and one washer stainless steel.



Größe *size*	M mm	L_g mm	~L_v* mm	D_{max}* mm	SW_g mm	Gewicht *weight* kg	d_s mm
PE 3	10	40	103	13	9	0,1	6,1
PE 5	14	56	138	15	12	0,1	8,1
PE 7	16	64	166	20	15	0,3	10,1
PE 10	20	80	202	22	17	0,4	11,9
PE 15	24	96	238	26	20	0,7	14,1
PE 20	27	108	269	30	24	1,0	16,6
PE 30	30	120	323	39	30	1,8	20,5
PE 45	36	144	385	44	32	2,7	24,1
PE 60	42	168	448	50	36	4,2	28,6
PE 75	48	192	513	59	45	6,8	32,1
PE 100	56	224	582	65	50	9,7	36,6

*nach Pressung
Konstruktionsänderungen vorbehalten

**after swaging*
Subject to technical modification

Vollverschlossenes Seil – GALFAN
Full Locked Cable – GALFAN

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV

VVS-1 VVS-2 VVS-3

Technische Daten

Material:
unlegierter Qualitätsstahl

Elastizitätsmodul:
160 ± 10 kN/mm²

Toleranz d_S:
+ 3%

Korrosionsschutz:
innere Lagen: feuerverzinkt
mit Innenverfüllung
äußere Lagen: GALFAN verzinkt
ohne Innenverfüllung

Technical Data

Material:
unalloyed quality steel

Modulus of Elasticity:
160 ± 10 kN/mm²

Tolerance d_S:
+ 3%

Corrosion Protection:
inner layers: Hot dip galvanised
with inner filling
outer layers: GALFAN coated
without inner filling

Größe *size*	Charakt. Bruchkraft *charact. breaking load* $z_{B,k}$ DIN 18800* kN	Grenzzugkraft *limit tension* $Z_{R,d}$ DIN 18800 kN	Metall. Querschnitt *metallic cross section* ca. / *approx.* mm	Gewicht* *weight** ca. / *approx.* kg	Konstruktion *construction* **	Seil-Nenndurchmesser *nomin. strand dia.* d_S mm
PV 40	405	245	281	2,4	VVS-1	21
PV 60	621	376	430	3,6	VVS-1	26
PV 90	916	555	634	5,3	VVS-2	31
PV 115	1170	709	808	6,8	VVS-2	35
PV 150	1520	921	1060	8,9	VVS-2	40
PV 195	1930	1170	1340	11,2	VVS-2	45
PV 240	2380	1442	1650	13,8	VVS-2	50
PV 300	3020	1830	2090	17,2	VVS-3	55
PV 360	3590	2176	2490	20,5	VVS-3	60
PV 420	4220	2558	2920	24,1	VVS-3	65
PV 490	4890	2964	3390	27,9	VVS-3	70
PV 560	5620	3406	3890	32,1	VVS-3	75
PV 640	6390	3873	4420	36,4	VVS-3	80
PV 720	7210	4370	4990	41,1	VVS-3	85
PV 810	8090	4903	5600	46,2	VVS-3	90
PV 910	9110	5521	6310	52,0	VVS-3	95
PV 1010	10100	6121	6990	57,6	VVS-3	100
PV 1110	11100	6727	7710	63,5	VVS-3	105
PV 1220	12200	7394	8460	69,7	VVS-3	110
PV 1340	13400	8121	9240	76,2	VVS-3	115
PV 1450	14500	8788	10100	83,2	VVS-3	120
PV 1580	15800	9576	10900	89,8	VVS-3	125
PV 1730	17300	10485	11900	96,7	VVS-3	130
PV 1860	18600	11273	12900	104,8	VVS-3	135
PV 2000	20000	12121	13900	112,9	VVS-3	140

**VVS-1 = 1, VVS-2 = 2, VVS-3 = 3 und mehr Lagen Profildrähte
*nach EC 3 = $F_{u,k}$ und nach ASCE 19-96 = S_d
Unter Vorspannung und / oder Witterungseinflüssen ist der Austritt von Innenverfüllung möglich.
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen und Zwischengrößen auf Anfrage

***VVS-1 = 1, VVS-2 = 2, VVS-3 = 3 and more layers z-profiled wires*
**according EC 3 = $F_{u,k}$ and according ASCE 19-96 = S_d*
Due to prestressing and / or differing weather conditions inner filling may escape to the surface.
Subject to technical modifications
Bigger dimensions and intermediate dimensions upon request

Gabelseilhülse
Open Spelter Socket

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 802*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
feuerverzinkt 80 µm DIN EN ISO 1461
altern. spritzverzinkt

Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Dimensionierung der Anschlussbleche
gemäß Typ 842 empfohlen

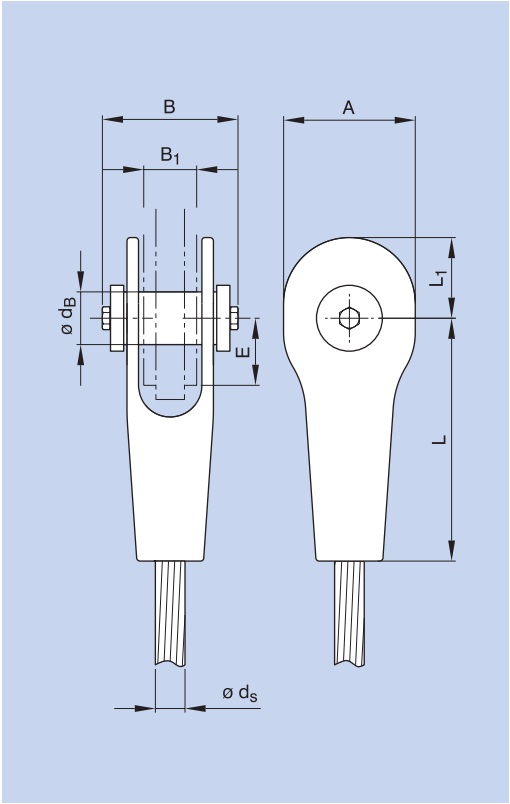
Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised 80 µm DIN EN ISO 1461
altern. spray galvanised

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160

Dimensioning of connection plates
according to Type 842 recommended



Größe *size*	A mm	B mm	min. B_1 mm	max. B_1 mm	d_B mm	max. E mm	L_1 mm	L mm	Ges.-Gewicht* *tot.-weight* kg	max. d_s mm
PV 40	90	103	40	42	39	48	55	170	3	21
PV 60	110	120	50	53	44	58	68	210	5	26
PV 90	135	146	60	64	54	72	83	255	9	31
PV 115	160	165	70	74	64	82	98	295	15	35
PV 150	160	165	70	74	64	82	98	295	15	40
PV 195	180	190	80	85	73	96	110	340	23	45
PV 240	200	210	90	96	83	106	123	380	31	50
PV 300	230	235	100	107	88	120	140	425	44	55
PV 360	250	251	110	118	98	130	153	465	58	60
PV 420	270	281	120	129	108	144	165	510	76	65
PV 490	290	296	130	139	118	154	178	550	95	70
PV 560	320	335	140	150	128	168	195	595	149	75
PV 640	340	359	150	161	138	178	208	635	183	80
PV 720	360	374	160	172	142	192	220	680	215	85
PV 810	380	401	170	183	153	202	233	720	262	90
PV 910	410	434	180	194	162	231	260	780	324	95
PV 1010	430	451	190	205	172	226	263	805	369	100
PV 1110	450	466	200	216	182	240	275	850	424	105
PV 1220	480	498	205	222	187	262	295	900	527	110
PV 1340	503	520	218	237	202	264	317	935	625	115
PV 1450	530	544	230	251	207	302	335	1015	749	120
PV 1580	550	555	238	259	217	288	350	1020	808	125
PV 1730	570	590	247	269	227	300	365	1063	913	130
PV 1860	590	605	256	280	237	315	380	1105	1015	135
PV 2000	620	622	267	290	247	324	395	1148	1132	140

*ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

**without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Ermüdungsfeste Gabelseilhülsen
Fatigue resistant Open Spelter Sockets

PV Typ *Type* 700

Technische Daten

Material:
Vergusshülse: Stahlguss

Korrosionsschutz:
Feuerverzinkt 80 µm,
DIN EN ISO 1461

Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Anschlussblech:
S355

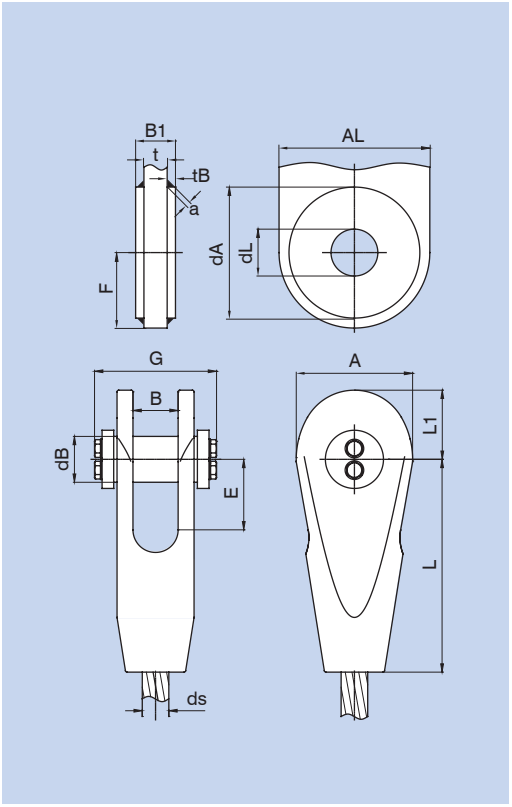
Technical Data

Material:
Socket: Cast steel

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised 80 µm,
DIN EN ISO 1461

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160

Connecting plate:
S355



Größe *size*	A mm	B mm	B_1 min. mm	B_1 max. mm	d_B mm	d_L max. mm	E mm	G mm	L_1 mm	L min. mm	AL mm	t mm	t_B mm	F mm	d_A mm	a mm	Ges.-Gewicht* *tot.-weight* kg	d_s max. mm
PV 40	93	35	29	31	39	42	57	108	57	168	110	20	5	62	100	3	4	21
PV 60	116	43	36	39	44	47	70	128	68	208	120	20	8	75	100	4	7	26
PV 90	137	52	45	48	54	57	83	152	86	248	140	25	10	90	120	5	12	31
PV 115	153	60	52	55	59	62	93	168	91	280	155	30	12	100	130	5	17	35
PV 150	176	68	60	63	64	67	106	183	98	320	180	30	15	110	150	6	24	40
PV 195	197	77	69	72	73	76	120	213	110	360	200	40	15	120	170	6	34	45
PV 240	220	85	76	79	83	86	133	227	123	400	220	40	18	140	180	7	47	50
PV 300	241	94	85	88	88	91	146	257	140	440	240	50	18	150	200	7	63	55
PV 360	263	102	92	96	98	101	159	273	153	480	270	50	22	170	230	8	81	60
PV 420	285	111	100	105	108	111	173	306	165	520	300	50	25	185	250	10	104	65
PV 490	308	119	107	112	118	121	186	321	178	560	320	50	30	200	270	11	131	70
PV 560	329	128	114	121	128	131	199	346	195	600	340	60	30	215	290	11	163	75
PV 640	351	136	121	128	138	141	212	368	208	640	370	60	32	235	310	12	197	80
PV 720	372	145	129	137	142	145	226	382	220	680	390	60	35	245	330	13	232	85
PV 810	395	153	136	145	153	156	239	406	233	720	420	60	40	260	350	14	280	90
PV 910	416	162	144	153	162	165	252	432	253	760	440	60	45	275	370	16	330	95
PV 1010	438	170	151	161	172	175	265	457	263	800	470	70	45	290	400	16	386	100

* ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz, Konstruktionsänderungen vorbehalten!
Größere Abmessungen auf Anfrage

** Without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection, Subject to technical modifications!
Bigger dimensions upon request

Diese Gabelseilhülsen sind für dynamisch beanspruchbare Seilzuglieder mit folgenden Kennwerten ausgelegt:

- Vollverschlossene Seile und Spiralseile mit metallvergossenem Seilkopf
- Kerbfalleinstufung der Seile nach EN 1993-1-11: $\Delta\sigma_C$ = 150 N/mm² bei γ_{Mf} = 1,0; σ_O = 0,45 x σ_{uk}; n = 2 x 10^6 Schwingspiele
- Die Gabelseilhülsen Typ 700 erfüllen die Anforderungsklassen 1 bis 5 gemäß EN 1993-1-11

This open spelter sockets are designed for dynamic loaded cable tension members with the following characteristics:

- *Full locked cables and strands with metal socketing*
- *Detail category of cables according to EN 1993-1-11: $\Delta\sigma_C$ = 150 N/mm² at γ_{Mf} = 1,0; σ_O = 0,45 x σ_{uk}; n = 2 x 10^6 number of cycles*
- *The open spelter sockets type 700 fulfill the exposure classes 1 to 5 according EN 1993-1-11*

Zylindrische Vergusshülse
Cylindrical Socket

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 811*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
feuerverzinkt 80 µm DIN EN ISO 1461

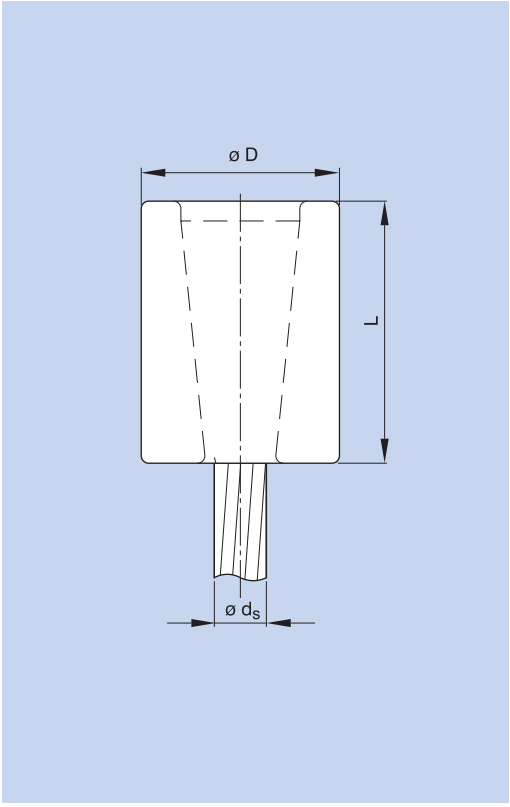
Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised 80 µm DIN EN ISO 1461

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160



Größe *size*	L mm	D mm	Gewicht* *weight** kg	max. d_S mm
PV 40	108	80	3	21
PV 60	133	95	5	26
PV 90	158	110	8	31
PV 115	183	125	12	35
PV 150	183	125	12	40
PV 195	208	140	17	45
PV 240	237	155	24	50
PV 300	262	170	31	55
PV 360	287	185	40	60
PV 420	312	205	55	65
PV 490	337	220	67	70
PV 560	362	235	82	75
PV 640	387	250	99	80
PV 720	412	265	117	85
PV 810	441	280	139	90
PV 910	466	295	162	95
PV 1010	491	310	188	100
PV 1110	516	330	227	105
PV 1220	541	345	260	110
PV 1340	566	360	295	115
PV 1450	591	380	348	120
PV 1580	616	395	391	125
PV 1730	645	410	439	130
PV 1860	670	425	488	135
PV 2000	695	440	541	140

*ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

**without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Konische Vergusshülse mit Innengewinde
Conical Socket with Internal Thread

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 800*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
feuerverzinkt, Gewinde blank

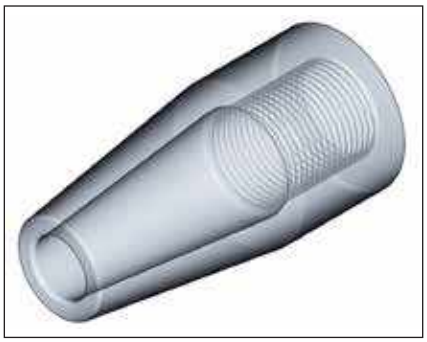
Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

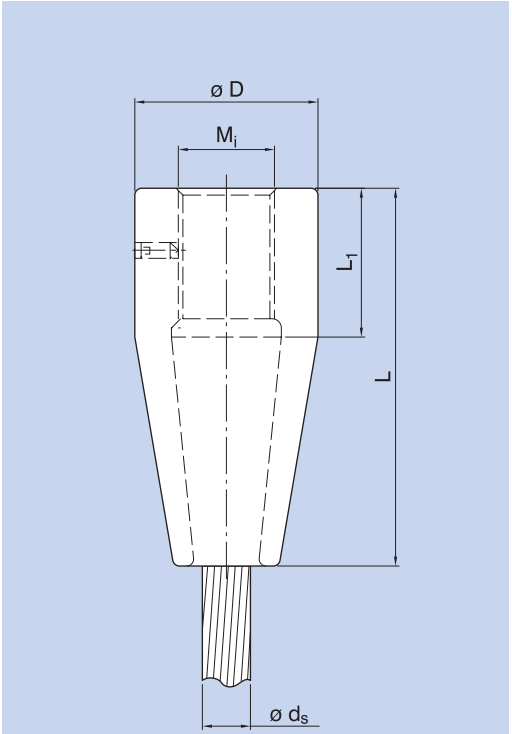
Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised, thread bright

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160





Größe *size*	D mm	L mm	L_1 mm	M_i	Gewicht* *weight** kg	max. d_s mm
PV 40	80	165	65	42 x 3	4	21
PV 60	95	200	75	52 x 3	6	26
PV 90	110	235	85	64 x 4	9	31
PV 115	125	270	95	75 x 4	13	35
PV 150	125	270	95	75 x 4	13	40
PV 195	140	305	105	85 x 4	18	45
PV 240	155	350	125	95 x 4	25	50
PV 300	170	385	135	108 x 4	32	55
PV 360	185	420	145	118 x 4	42	60
PV 420	205	460	160	128 x 4	56	65
PV 490	220	495	170	140 x 4	69	70
PV 560	235	530	180	150 x 4	90	75
PV 640	250	565	190	160 x 4	109	80
PV 720	265	600	200	172 x 4	128	85
PV 810	280	645	220	185 x 6	154	90
PV 910	295	680	230	195 x 6	184	95
PV 1010	310	715	240	205 x 6	208	100
PV 1110	330	760	260	215 x 6	253	105
PV 1220	345	800	275	225 x 6	295	110
PV 1340	360	840	290	235 x 6	337	115
PV 1450	380	880	305	245 x 6	395	120
PV 1580	395	920	320	260 x 6	441	125
PV 1730	410	960	335	270 x 6	495	130
PV 1860	425	1000	350	280 x 6	552	135
PV 2000	440	1040	365	290 x 6	615	140

*ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

**without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Zylindrische Vergusshülse mit Innengewinde
Cylindrical Socket with Internal Thread

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 801*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
Feuerverzinkt, Gewinde blank

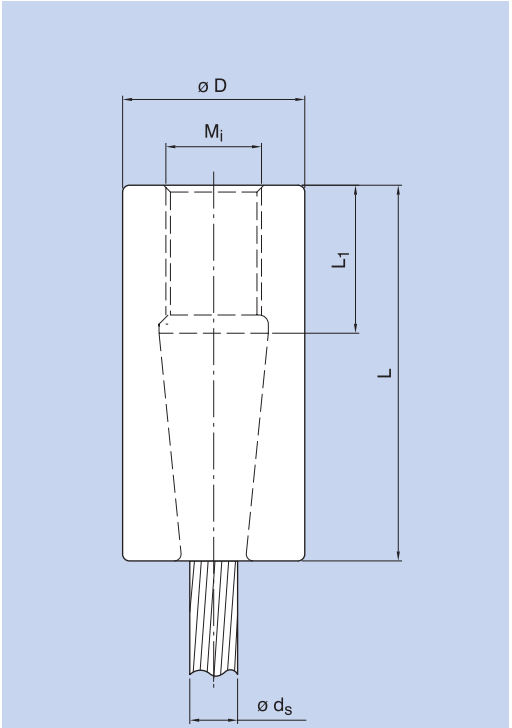
Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised, thread bright

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160



Größe *size*	D mm	L mm	L_1 mm	M_i	Gewicht* *weight** kg	max. d_S mm
PV 40	80	165	65	42 x 3	5	21
PV 60	95	200	75	52 x 3	8	26
PV 90	110	235	85	64 x 4	13	31
PV 115	125	270	95	75 x 4	18	35
PV 150	125	270	95	75 x 4	18	40
PV 195	140	305	105	85 x 4	25	45
PV 240	155	350	125	95 x 4	35	50
PV 300	170	385	135	108 x 4	45	55
PV 360	185	420	145	118 x 4	58	60
PV 420	205	460	160	128 x 4	79	65
PV 490	220	495	170	140 x 4	97	70
PV 560	235	530	180	150 x 4	117	75
PV 640	250	565	190	160 x 4	141	80
PV 720	265	600	200	172 x 4	166	85
PV 810	280	645	220	185 x 6	198	90
PV 910	295	680	230	195 x 6	230	95
PV 1010	310	715	240	205 x 6	266	100
PV 1110	330	760	260	215 x 6	326	105
PV 1220	345	800	275	225 x 6	373	110
PV 1340	360	840	290	235 x 6	425	115
PV 1450	380	880	305	245 x 6	502	120
PV 1580	395	920	320	260 x 6	561	125
PV 1730	410	960	335	270 x 6	628	130
PV 1860	425	1000	350	280 x 6	701	135
PV 2000	440	1040	365	290 x 6	779	140

*ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

**without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Zylindrische Vergusshülse mit Außengewinde
Cylindrical Socket with External Thread

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 812*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
feuerverzinkt, Gewinde blank

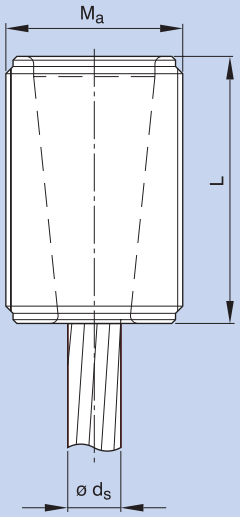
Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised, thread bright

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160



Größe *size*	M_a	L mm	Gewicht* *weight** kg	max. d_S mm
PV 40	70 x 4	108	2	21
PV 60	85 x 4	133	4	26
PV 90	100 x 4	158	6	31
PV 115	115 x 6	183	10	35
PV 150	115 x 6	183	10	40
PV 195	130 x 6	208	14	45
PV 240	145 x 6	237	19	50
PV 300	160 x 6	262	26	55
PV 360	175 x 6	287	34	60
PV 420	195 x 6	312	47	65
PV 490	210 x 8	337	58	70
PV 560	225 x 8	362	71	75
PV 640	240 x 8	387	86	80
PV 720	255 x 8	412	103	85
PV 810	270 x 8	441	123	90
PV 910	285 x 8	466	145	95
PV 1010	300 x 8	491	169	100
PV 1110	320 x 8	516	206	105
PV 1220	335 x 8	541	236	110
PV 1340	350 x 8	566	269	115
PV 1450	370 x 8	591	318	120
PV 1580	385 x 10	616	357	125
PV 1730	400 x 10	645	402	130
PV 1860	415 x 10	670	449	135
PV 2000	430 x 10	695	499	140

*ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

**without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Zylindrische Vergusshülse mit Innen- und Außengewinde
Cylindrical Socket with Internal and External Thread

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 810*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
feuerverzinkt, Gewinde blank

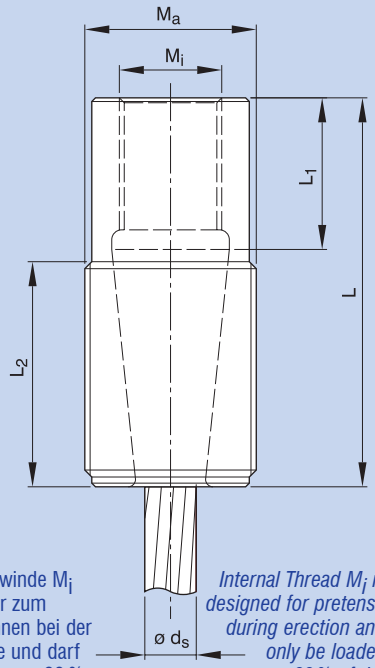
Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised, thread bright

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160



Innengewinde M_i dient nur zum Vorspannen bei der Montage und darf nur mit max. 60 % der Grenzzugkraft nach DIN 18 800 (Seildaten-blätter) belastet werden!

Internal Thread M_i is only designed for pretensioning during erection and may only be loaded with 60 % of the limit tension in accordance with DIN 18 800 (cable data sheets)!

Größe *size*	M_a	M_i	L mm	L_1 mm	L_2 mm	Gewicht* *weight** kg	max. d_S mm
PV 40	70 x 4	42 x 3	165	65	95	3	21
PV 60	85 x 4	52 x 3	200	75	120	6	26
PV 90	100 x 4	64 x 4	235	85	145	9	31
PV 115	115 x 6	75 x 4	270	95	168	13	35
PV 150	115 x 6	75 x 4	270	95	168	13	40
PV 195	130 x 6	85 x 4	305	105	193	19	45
PV 240	145 x 6	95 x 4	350	125	218	26	50
PV 300	160 x 6	108 x 4	385	135	243	35	55
PV 360	175 x 6	118 x 4	420	145	268	46	60
PV 420	195 x 6	128 x 4	460	160	293	64	65
PV 490	210 x 8	140 x 4	495	170	318	78	70
PV 560	225 x 8	150 x 4	530	180	343	96	75
PV 640	240 x 8	160 x 4	565	190	365	117	80
PV 720	255 x 8	172 x 4	600	200	390	139	85
PV 810	270 x 8	185 x 6	645	220	415	167	90
PV 910	285 x 8	195 x 6	680	230	440	197	95
PV 1010	300 x 8	205 x 6	715	240	465	229	100
PV 1110	320 x 8	215 x 6	760	260	490	283	105
PV 1220	335 x 8	225 x 6	800	275	515	326	110
PV 1340	350 x 8	235 x 6	840	290	538	373	115
PV 1450	370 x 8	245 x 6	880	305	563	444	120
PV 1580	385 x 10	260 x 6	920	320	588	493	125
PV 1730	400 x 10	270 x 6	960	335	613	555	130
PV 1860	415 x 10	280 x 6	1000	350	638	621	135
PV 2000	430 x 10	290 x 6	1040	365	663	693	140

*ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

**without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Sphärische Mutter / Sphärische Scheibe
Spherical Nut / Spherical Disc

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 813/814*

Technische Daten

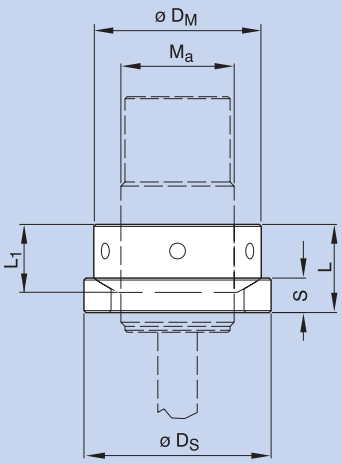
Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
feuerverzinkt 80 µm DIN EN ISO 1461
altern. spritzverzinkt, Gewinde blank

Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Hot dip galvanised 80 µm DIN EN ISO 1461
alternate spray galvanised, thread bright



Größe *size*	D_S mm	D_M mm	M_a mm	S mm	L mm	L_1 mm	Gewicht Mutter *weight nut* kg	Gewicht Scheibe *weight disc* kg
PV 40	120	105	70 x 4	25	58	42	2	1
PV 60	140	125	85 x 4	25	66	52	3	1
PV 90	165	150	100 x 4	35	82	60	4	3
PV 115	190	170	115 x 6	35	89	69	6	4
PV 150	190	170	115 x 6	35	89	69	6	4
PV 195	215	195	130 x 6	45	106	79	10	6
PV 240	235	215	145 x 6	45	113	87	13	7
PV 300	260	240	160 x 6	55	130	97	18	10
PV 360	280	260	175 x 6	55	137	105	22	11
PV 420	310	290	195 x 6	65	156	117	31	16
PV 490	335	315	210 x 8	65	163	126	41	18
PV 560	355	335	225 x 8	75	180	135	48	24
PV 640	380	360	240 x 8	75	187	144	60	26
PV 720	405	380	255 x 8	85	204	153	70	36
PV 810	430	405	270 x 8	85	211	162	86	39
PV 910	450	425	285 x 8	95	228	171	98	48
PV 1010	475	450	300 x 8	95	235	180	115	54
PV 1110	505	480	320 x 8	105	253	192	141	67
PV 1220	525	500	335 x 8	105	264	201	160	71
PV 1340	550	525	350 x 8	115	278	210	183	85
PV 1450	580	555	370 x 8	115	286	222	215	92
PV 1580	600	575	385 x 10	125	306	231	244	108
PV 1730	630	600	400 x 10	125	312	240	276	122
PV 1860	650	620	415 x 10	135	329	249	304	138
PV 2000	675	645	430 x 10	135	334	258	340	150

Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Konische Vergusshülse – Gabelkopf Typ 864
Conical Socket – Fork Connector Type 864

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 864*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160 und ETA-04/0039

Korrosionsschutz: Gabelkopf,
Vergusshülse: feuerverzinkt, Gewinde blank
Gewindestange: Zink/Nickel-beschichtet
(inkl. Außengewinde)

Seilverguss: gemäß Zulassung ETA-11/0160

Abmessungen der Anschlussbleche sind dem Zugstab-Gabelkopf zu entnehmen.

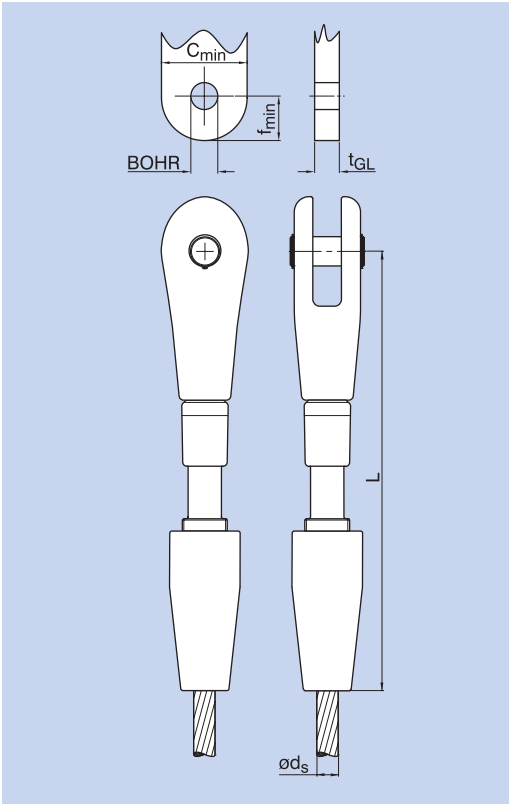
Technical Data

Material: According to technical approval ETA-11/0160 and ETA-04/0039

Corrosion Protection: Fork Connector, Socket: hot dip galvanised, thread bright, Threaded Bar: Zinc/Nickel-coated (incl. external thread)

Socketing: According to technical approval ETA-11/0160

Dimensions of the connecting plate are equal to the tension rod fork connector.



Größe *size*	Gabelkopf Typ 860 *fork connector type 860*	Vergusshülse Typ 800 PV *socket type 800 PV*	L mm	Verstellweg *take up* ± mm	Ges.-Gewicht* *tot.-weight** kg	max. d_S mm	t_{GL} mm	f_{min} mm	c_{min} mm	BOHR mm
PV 40	36	PV 40	480	35	12	21	25	53	90	34
PV 60	42	PV 60	560	42	19	26	30	59	104	38
PV 90	48	PV 90	630	41	27	31	35	66	120	42
PV 115	56	PV 115	740	47	44	35	40	81	148	52
PV 150	64	PV 150	790	50	56	40	50	90	170	58
PV 195	70	PV 195	870	55	73	45	55	98	185	63
PV 240	80	PV 240	1000	67	107	50	65	114	210	73
PV 300	90	PV 300	1090	70	150	55	75	128	240	82
PV 360	100	PV 360	1210	75	204	60	80	144	265	92

*ohne Vergussmaterial
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Maßangaben ohne Korrosionsschutz

**without molten zinc*
Subject to technical modification
Dimensions without corrosion protection

Ermüdungsfeste Gabelseilhülsen – verstellbar
Fatigue resistant Open Spelter Sockets – adjustable

PV **Typ**
Type 710

Technische Daten

Material:
Gabelkopf mit Vergusshülse: Stahlguss
Gewindestab: Vergütungsstahl

Korrosionsschutz:
Gabelkopf mit Vergusshülse: feuerverzinkt
Gewindestab: Zink/Nickel-beschichtet

Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Anschlussblech:
S355

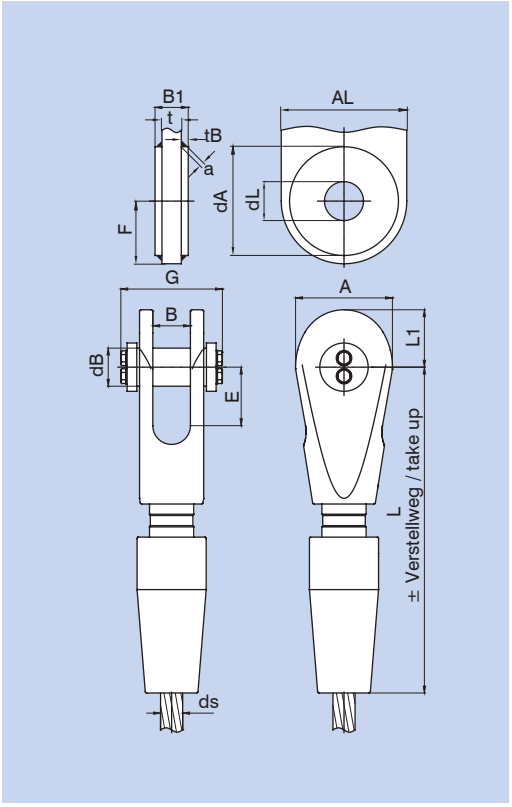
Technical Data

Material:
Fork Connector with Socket: Cast steel
Threaded Bar: Tempering Steel

Corrosion Protection:
Fork Connector, Socket: hot dip galvanised
Threaded Bar: Zinc/Nickel-coated

Socketing:
According to technical approval ETA-11/0160

Connecting plate:
S355



Größe *size*	A mm	B mm	min. B_1 mm	max. B_1 mm	d_B mm	d_L mm	max. E mm	G mm	L_1 mm	min. L mm	AL mm	t mm	t_B mm	F mm	d_A mm	a mm	Verstellweg *take up* ± mm	Ges.-Gewicht* *tot.-weight* kg	max. d_s mm
PV 40	93	35	29	31	39	42	57	108	57	359	110	20	5	62	100	3	±32	9	21
PV 60	116	43	36	39	44	47	70	128	68	429	120	20	8	75	100	4	±36	15	26
PV 90	137	52	45	48	54	57	83	152	86	497	140	25	10	90	120	5	±38	25	31
PV 115	153	60	52	55	59	62	93	168	91	559	155	30	12	100	130	5	±42	35	35
PV 150	176	68	60	63	64	67	106	183	98	590	180	30	15	110	150	6	±42	42	40
PV 195	197	73	69	72	73	76	120	213	110	660	200	40	15	120	170	6	±46	60	45
PV 240	220	85	76	79	83	86	133	227	123	746	220	40	18	140	180	7	±56	84	50
PV 300	241	94	85	88	88	91	146	257	140	824	240	50	18	150	200	7	±58	111	55
PV 360	263	102	92	96	98	101	159	273	153	894	270	50	22	170	230	8	±62	144	60
PV 420	285	111	100	105	108	111	173	306	165	973	300	50	25	185	250	10	±70	188	65
PV 490	308	119	107	112	118	121	186	321	178	1041	320	50	30	200	270	11	±72	233	70
PV 560	329	128	114	121	128	131	199	346	195	1111	340	60	30	215	290	11	±76	294	75
PV 640	351	136	121	128	138	141	212	367	208	1181	370	60	32	235	310	12	±80	354	80
PV 720	372	145	129	137	142	145	226	382	220	1261	390	60	35	245	330	13	±84	420	85
PV 810	395	153	136	145	153	156	239	406	233	1345	420	60	40	260	350	14	±92	507	90
PV 910	416	162	144	153	162	165	252	432	253	1415	440	60	45	275	370	16	±96	599	95
PV 1010	438	170	151	161	172	175	265	457	263	1483	470	70	45	290	400	16	±98	692	100

* ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz, Konstruktionsänderungen vorbehalten!
Größere Abmessungen auf Anfrage

** Without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection, Subject to technical modifications!
Bigger dimensions upon request

Diese Gabelseilhülsen sind für dynamisch beanspruchbare Seilzugglieder mit folgenden Kennwerten ausgelegt:

- Vollverschlossene Seile und Spiralseile mit metallvergossenem Seilkopf
- Kerbfalleinstufung der Seile nach EN 1993-1-11: $\Delta\sigma_C$ = 150 N/mm² bei γ_{Mf} = 1,0; σ_O = 0,45 x σ_{uk}; n = 2 x 10^6 Schwingspiele
- Die Gabelseilhülsen Typ 710 erfüllen die Anforderungsklassen 1 bis 4 gemäß EN 1993-1-11

This open spelter sockets are designed for dynamic loaded cable tension members with the following characteristics:

- *Full locked cables and strands with metal socketing*
- *Detail category of cables according to EN 1993-1-11: $\Delta\sigma_C$ = 150 N/mm² at γ_{Mf} = 1,0; σ_O = 0,45 x σ_{uk}; n = 2 x 10^6 number of cycles*
- *The open spelter sockets type 710 fulfill the exposure classes 1 to 4 according EN 1993-1-11*

Vergusshülse mit Augenstab
Open Bridge Socket

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 804*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
Vergusshülsen: feuerverzinkt
Gewindestangen: Zink/Nickel-beschichtet
(inkl. Außengewinde)
Augenstab: feuerverzinkt

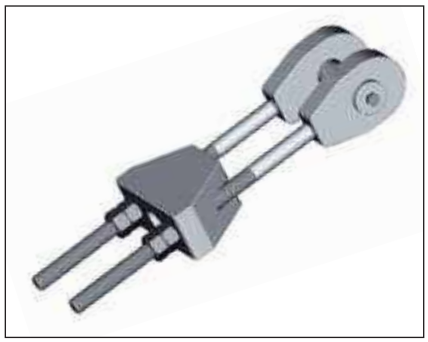
Seilverguss:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

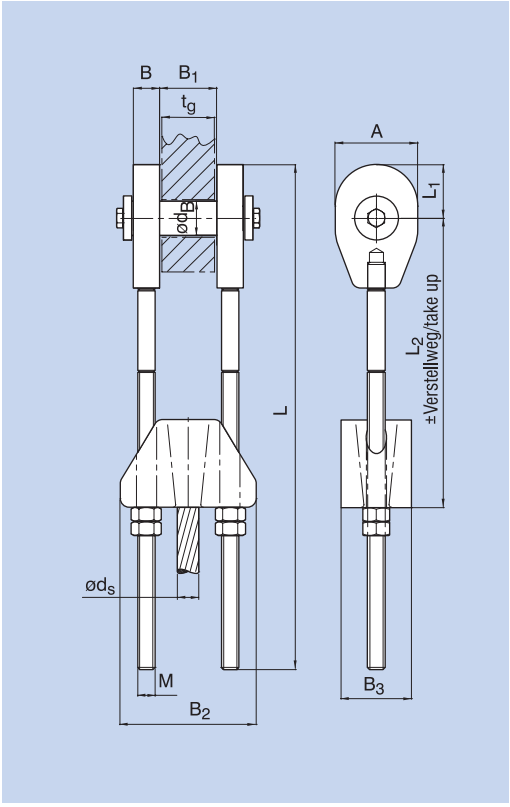
Technical Data

Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
Socket: Hot dip galvanised
Threaded Bar: Zinc/Nickel-coated
(incl. external thread)
Eye bar: Hot dip galvanised

Socketing:
according Technical Approval ETA-11/0160





Größe *size*	d_B mm	A mm	B_1 mm	B mm	B_2 mm	B_3 mm	M mm	L mm	L_1 mm	L_2 mm	t_g min. mm	t_g max. mm	Verstellweg *take up* mm	Ges.-Gewicht* *tot.-weight* kg	d_s max. mm
PV 40	39	94	65	30	155	80	20	576	61	330	60	65	±150	17	21
PV 60	44	110	75	40	190	90	27	646	71	375	70	75	±150	30	26
PV 90	54	127	85	50	220	110	30	704	84	415	80	85	±150	48	31
PV 115	64	148	95	70	260	130	42	813	96	495	90	95	±150	92	35
PV 150	64	148	95	70	260	130	42	813	96	495	90	95	±150	92	40
PV 195	73	165	120	70	290	150	48	881	108	540	110	120	±150	126	45
PV 240	83	200	130	80	325	160	52	945	128	575	120	130	±150	176	50
PV 300	88	215	150	80	350	180	56	1108	137	670	140	150	±200	224	55
PV 360	98	230	160	90	380	200	60	1172	147	715	150	160	±200	293	60
PV 420	108	250	175	100	420	220	68	1243	160	760	165	175	±200	388	65
PV 490	118	270	180	110	450	240	72 x 6	1310	173	805	175	180	±200	493	70
PV 560	128	290	210	110	480	250	76 x 6	1364	187	845	205	210	±200	573	75
PV 640	138	310	230	120	510	280	80 x 6	1531	201	940	225	230	±250	732	80
PV 720	142	330	255	120	550	300	85 x 6	1592	215	980	250	255	±250	862	85
PV 810	153	350	270	130	580	320	90 x 6	1654	229	1020	265	270	±250	1037	90
PV 910	162	370	285	140	630	340	100 x 6	1743	243	1075	280	285	±250	1309	95
PV 1010	172	390	290	150	650	350	105 x 6	1809	257	1120	285	290	±250	1463	100

*ohne Vergussmaterial
Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

**without molten zinc*
Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Gewindestange
Threaded Rod

CE 0769 ETA
ETA-11/0160

PV Typ *Type 840*

Technische Daten

Material:
gemäß Zulassung ETA-11/0160

Korrosionsschutz:
altern. Zink/Nickel-beschichtet
(inkl. Außengewinde)

Anwendungsgebiet

Vergusshülsen Typ 800 PV und 801 PV

Montage mittels Bandschlüssel/Kettenrohrzange

Technical Data

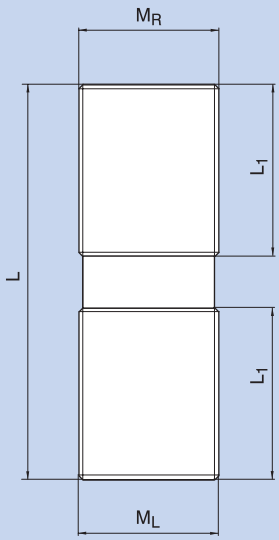
Material:
According to technical approval ETA-11/0160

Corrosion Protection:
altern. Zinc/Nickel-coated
(incl. external thread)

Field of Application

Sockets type 800 PV and 801 PV

Installation by strapwrench/chain pipe wrench



Größe *size*	M_R mm	M_L mm	L mm	L_1 mm	Gewicht *weight* kg
PV 40	42 x 3	42 x 3	160	65	2
PV 60	52 x 3	52 x 3	180	75	3
PV 90	64 x 4	64 x 4	200	85	5
PV 115	75 x 4	75 x 4	220	95	7
PV 150	75 x 4	75 x 4	220	95	7
PV 195	85 x 4	85 x 4	240	105	11
PV 240	95 x 4	95 x 4	280	125	15
PV 300	108 x 4	108 x 4	310	135	22
PV 360	118 x 4	118 x 4	330	145	28
PV 420	128 x 4	128 x 4	360	160	36
PV 490	140 x 4	140 x 4	380	170	45
PV 560	150 x 4	150 x 4	400	180	55
PV 640	160 x 4	160 x 4	420	190	66
PV 720	172 x 4	172 x 4	450	200	81
PV 810	185 x 6	185 x 6	490	220	102
PV 910	195 x 6	195 x 6	510	230	118
PV 1010	205 x 6	205 x 6	530	240	136
PV 1110	215 x 6	215 x 6	570	260	163
PV 1220	225 x 6	225 x 6	600	275	188
PV 1340	235 x 6	235 x 6	640	290	216
PV 1450	245 x 6	245 x 6	670	305	246
PV 1580	260 x 6	260 x 6	700	320	290
PV 1730	270 x 6	270 x 6	730	335	326
PV 1860	280 x 6	280 x 6	760	350	365
PV 2000	290 x 6	290 x 6	790	365	407

Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

Verbindungslasche
Connecting Plate

PV Typ *Type 842*

Technische Daten

Material:
S355J2 + N, DIN EN 10025

Korrosionsschutz:
spritzverzinkt

Anwendungsgebiet

Vergusshülsen Typ 802 PV

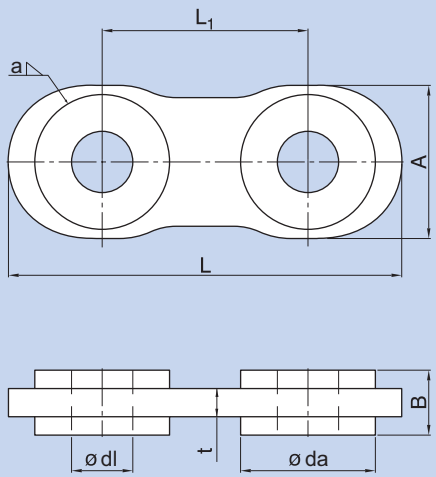
Technical Data

Material:
S355J2 + N, DIN EN 10025

Corrosion Protection:
spray galvanised

Field of Application

Sockets type 802 PV



Größe *size*	dl mm	L mm	L_1 mm	A mm	B mm	t mm	da mm	a mm	Gewicht *weight* kg
PV 40	42	262	140	90	40	20	80	3	4
PV 60	47	306	166	110	51	25	90	4	7
PV 90	57	365	196	135	62	30	115	4	13
PV 115	67	435	226	160	71	40	140	5	23
PV 150	67	435	226	160	71	40	140	5	23
PV 195	76	488	250	180	82	40	160	6	32
PV 240	86	540	276	200	93	50	180	6	46
PV 300	91	596	310	230	104	50	205	8	64
PV 360	101	650	336	250	115	50	225	9	82
PV 420	111	705	360	270	126	60	245	9	108
PV 490	121	772	396	290	136	60	260	10	131
PV 560	131	835	430	320	147	70	290	10	177
PV 640	141	890	456	340	158	70	310	11	211
PV 720	145	930	480	360	168	80	330	11	260
PV 810	156	990	506	380	179	80	340	13	294
PV 910	165	1080	560	410	190	90	370	14	379
PV 1010	175	1110	566	430	201	90	390	14	428
PV 1110	185	1160	590	450	210	100	405	14	493
PV 1220	190	1220	630	480	218	100	435	15	580
PV 1340	205	1318	684	503	230	100	453	16	665
PV 1450	210	1390	720	530	240	110	480	18	796
PV 1580	220	1450	750	550	250	110	495	18	877
PV 1730	230	1510	780	570	260	110	515	20	971
PV 1860	240	1570	810	590	270	120	530	22	1090
PV 2000	250	1630	840	620	280	120	560	22	1235

Maßangaben ohne Korrosionsschutz
Konstruktionsänderungen vorbehalten
Größere Abmessungen auf Anfrage

Dimensions without corrosion protection
Subject to technical modifications
Bigger dimensions upon request

PFEIFER

PFEIFER-Stammhaus
PFEIFER Headquarters

PFEIFER
SEIL- UND HEBETECHNIK
GMBH

Dr.-Karl-Lenz-Str. 66
DE-87700 MEMMINGEN
Tel. +49-8331-937-523
Fax +49-8331-937-350
E-Mail cablestructures@pfeifer.de
Web www.pfeifer.info

PFEIFER-Standorte
PFEIFER Locations

Polen / *Poland*
PFEIFER SEIL- UND
HEBETECHNIK GMBH
Oddział w Polsce
ul. Wrocławska 68
PL-55-330 KREPICE k/Wrocławia

Leszek Makarowski
Tel. +48-71-396 80 00
Fax +48-71-31 53 314
E-Mail office@pfeifer.pl

Österreich / *Austria*
PFEIFER SEIL- UND
HEBETECHNIK GMBH
Harterfeldweg 2
AT-4481 ASTEN

Günter Giefing
Tel. +43-7224-662 24-0
Fax +43-7224-662 24-13
E-Mail ggiefing@pfeifer-austria.at

PFEIFER SYSTEMS GMBH
Sonnenstrasse 8
AT-6822 SATTEINS
Tel. +43-55 24-54 190
Fax +43-810-95 54-19 68 04
E-Mail office@pfeifer-systems.at

Schweiz / *Switzerland*
PFEIFER ISOFER AG
Hasentalstrasse 8
CH-8934 KNONAU
Tel. +41-44-768-55-55
Fax +41-44-768-55-30
E-Mail info@pfeifer-isofer.ch

Luxemburg / *Luxembourg*
PFEIFER SOGEQUIP S. À R.L.
Zone Ind. Schifflange-Foetz
LU-3844 SCHIFFLANGE
Tel. +352-57 42 42
Fax +352-57 42 62
E-Mail info@pfeifer-sogequip.lu

Spanien / *Spain*
PFEIFER CABLES Y EQUIPOS
DE ELEVACIÓN S.L.
Avda. de los Pirineos, 25
Nave 20
San Sebastián de los Reyes
ES-28703 MADRID

Esther Pascual
Tel. +34-91-659-3185
Fax +34-91-659-3139
E-Mail p-es@pfeifer.es

USA / *USA*
Fabritec Structures LLC
1011 Regal Row
US-DALLAS, TX 75247
Tel. +1-469 804 0190
Fax +1-214 920 9582
E-Mail info@fabritecllc.com

Guard-All Building Solutions
Manufacturing LLC
1011 Regal Row
US-DALLAS, TX 75247
Tel. +1-469 804 0190
Fax +1-214 920 9582
E-Mail webleads@guard-all.com

Mittlerer Osten /
Middle East
PFEIFER Structures LLC
Office #25, 2nd Floor
Sharq Capital Building
No. 311, C-Ring Road
P.O. Box 6029
QA-DOHA

Stephan Eberle
Tel. +974-44 09 98-25
Fax +974-44 09 98-77
E-Mail seberle@pfeifer.de

China / *China*
Covertex membranes (Shanghai) Co., Ltd.
Building 5, No. 9, Xinteng Road,
Xinqiao Town, Songjiang District,
CN-SHANGHAI 201612
Tel. +86-21-57 68-71 62
Fax +86-21-57 68-70 98
E-Mail infoasia@covertex.com.cn

Asien-Pazifik – Projekte /
Asia-Pacific – Projects
PFEIFER Seil- und Hebetechnik GmbH
c/o J&P Building Systems Pte Ltd.
No. 48 Toh Guan Road East
#08-104 Enterprise Hub
SG-608586 SINGAPORE

Nicolas de Mallmann
Tel. +65-6569-6131
Fax +65-6569-5286
E-Mail ndemallmann@pfeifer.de

Agenten
Representative

Asien-Pazifik – Produkte /
Asia-Pacific – Products
Simon Guest
Tel. +44-1306-711498
E-Mail sguest@pfeifer.de

Großbritannien / *United Kingdom*
Irland / *Ireland*
Simon Guest
Tel. +44-13 06 71 14 98
E-Mail sguest@pfeifer.de

Frankreich / *France*
Jon Spencer
Tel. +33-96 12 32 601
Fax +33-96 12 32 601
E-Mail jspencer@pfeifer.de

Nord-Amerika / *North America*
Igor G. Siotor
Tel. +1-41 62 37-99 34
Fax +1-41 62 37-07 74
E-Mail isiotor@pfeifer.us.com

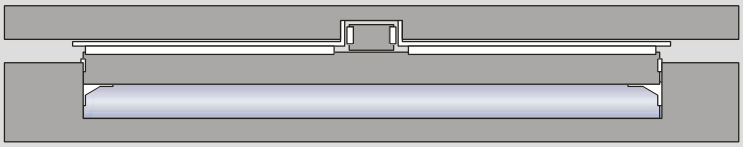
10.16.07.5.5c WA/HZ 257647

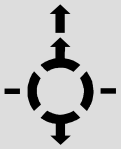
RESTON®POT

The pot bearing with POM-Sealing, developed to satisfy the highest quality requirements and certified in accordance with the new European standard EN 1337-5.

TF

TE





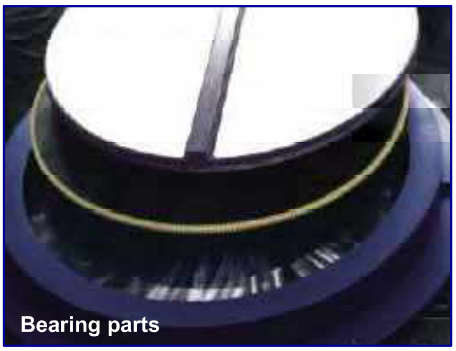
TA

CE
0672-BPR-001-
EN 1337-5

- Certified with CE-label.
- Design in accordance with EN 1337-5.

Contents

	Page
Introduction	2
Construction, design and layout	3
Product characteristics	4
Labels and pre-settings	5
TF Series - Fixed	6
TE Series – Guided sliding	8
TA Series – Free sliding	10
Fixing types	12
Special structures	13
Assembly and installation	14
Quotations and orders	15
Products and references	16


Bearing parts

Sliding plates in factory

Principle

A natural rubber pad is placed in a steel pot, and a steel plate (piston) is placed on top. Under high pressure the pad loses its stiffness: its elasticity enables tilting movements of the piston about any horizontal axis.

Depending on whether it is a fixed, guided sliding or free sliding bearing, it can accommodate horizontal forces and movements (longitudinal or transverse) as well as vertical loads.

Quality

mageba pot bearings have been used successfully more than 50,000 times over a period of over four decades throughout the world.

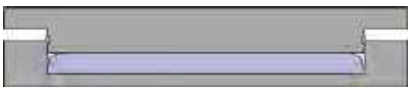
Quality and durability of bearings are ensured by:

- Qualified and experienced personnel
- Cleverly designed and reliable components (e.g. POM-sealing)
- High-quality materials (PTFE-disc with a minimum thickness of 5 mm, DU-strips with bronze pieces, well controlled silicone oil, etc.)
- High quality standard (certified to ISO9001:2000 & EN729-2)
- External supervision by a recognised building supervision institute (MPA Stuttgart, Germany)
- Licences and QA certified working and manufacturing practice

RESTON®POT bearings are manufactured in accordance with European Standard EN1337-5. They are marked with the CE label, which confirms that they fulfil every requirement of this standard.

The quality and conformity is regularly inspected by the independent inspection institute MPA Stuttgart in Germany.

TF (fixed)



The fixed bearing is immovable and can accommodate horizontal forces from any direction.

TE (guided sliding)

The guided sliding bearing is movable in one direction and can accommodate horizontal forces perpendicular to this direction.

TA (free sliding)

The free sliding bearing is movable in all directions and therefore can not accommodate any horizontal forces.

Design according to Eurocode 1

The load combinations on pages 6, 8 and 10 conform to the „new design concept“ according to Eurocode 1 (EN 1991-2:2003. Actions on structures. Traffic loads on bridges). Should the input loads not conform to the Eurocode, the design proof is to be carried out in accordance with the appropriate standard (DIN, AASHTO, BS, SIA, etc). The constructive details according to EN 1337-5 will not be affected by this.

Pot bearing with CE-label and removable rubber dust skirt

Special requirements of EN 1337-5/2

mageba pot bearings satisfy all requirements of the European bearing standard EN 1337-5/2. This standard places special demands on bearing suppliers, such as:

(1) Requirement of EN 1337: “Provision against contamination of the sliding surface shall be made by suitable devices. Such protection devices shall be easily removable for the purpose of inspection.“: mageba satisfies this by providing rubber skirts around the bearing to keep dust out. These skirts are connected by velcro-type fasteners, allowing them to be easily removed without tools for inspections etc.

(2) Requirement of EN 1337: “In order to ensure bearing alignment in accordance with EN 1337-11 a reference surface or other suitable device shall be installed on the sliding element. The deviation from parallel of the reference surface with respect to the plane sliding surface shall not exceed 1 %“. mageba pot bearings are therefore fitted with two spirit levels per bearing (one each in the x- and y-directions, accuracy of reading 0.6 ‰). These permanent spirit levels can be used to check levelness both during bearing installation, and when in service.

Spirit level for accurate installation

Additional options:

mageba bearings according to EN 1337 can additionally be provided with the following components (acc. to German Approval):

- Three-point measuring level for a more accurate levelling of the bearing
- Folding sheet for dust protection of the sliding plate

Coefficient of friction:

$$\mu = \frac{1,2}{\delta_{PTFE}+10} \quad \text{where } 0,03 \leq \mu \leq 0,08$$

δ_{PTFE} = average PTFE-stress

Horizontal friction force:

TA-bearing: $V_{xSd} = N_{Sd} \cdot \mu$

TE-bearing: $V_{xSd} = N_{Sd} \cdot \mu + V_y \cdot 0,2$

V_{xSd}: Horizontal friction force
N_{Sd}: Vertical force on bearing
V_y: Transverse force on bearing

Design criteria

Movements: The dimension sheets on pages 9 and 11 give the main dimensions of the bearings. They apply the following movements :
TE **longitudinal:** 100 mm total **transverse: -**
TA **longitudinal:** 100 mm total **transverse:** 40 mm total
Larger longitudinal and transverse movements are also possible. In such cases, the top anchoring and the dimensions of the sliding plate are to be adapted.

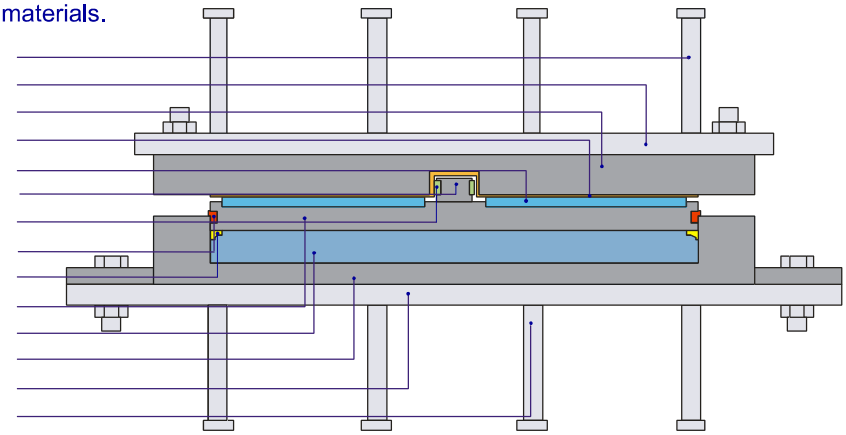
Rotations: The standard rotation about any axis is 0,013 radians. For bigger rotations, we adapt the bearings individually.

Friction: Sliding resistance is calculated on the basis of the PTFE-stress with relevant loading as well as horizontal load (see adjacent).

Pot bearing cross section

The design of the bearing may vary slightly, depending on the bearing type. However, mageba pot bearings are made exclusively from high-quality materials.

Upper shear bolt– optional
Top anchor plate– optional
Sliding plate (S355 J2G3)
Stainless steel sliding plate (X5CrNiMo 17 12 2)
Sliding partner (PTFE, bordered)
Guide bar (S355 J2G3)
Sliding elements DUB (PTFE, bronze, lead)
Dust seal (silicone rubber)
Seal (POM Seal chain)
Cover (S355 J2G3)
Elastomeric pad (natural rubber)
Pot (S355 J2G3)
Bottom anchor plate – optional
Bottom shear bolt - optional



POM Sealing

Inspection of a sliding plate

Clever seal design (POM sealing)

A key element of the pot bearing is the elastomeric pressure pad which acts like a viscous fluid under pressure, permitting the bearing's piston to rotate. There must be a reliable seal between the pot and the cover to permit and ensure the correct functioning of this pressure pad. mageba has developed a POM seal to fulfil this purpose. It has the following advantages:

- Secure anchoring in the pressure pad
- Especially abrasion-proof hard plastic (POM)
- Numerous individual components that adapt easily to all deformations
- No noise emissions during sudden tilts

Experts worldwide consider mageba's POM seal to be the best in terms of durability, long service life and reliability. Upon request we can provide test certificates proving the outstanding performance of the POM Seal.

Sliding plates

For sliding bearings, mageba uses exclusively PTFE-plates which are quality controlled for use in bridge bearings. The thickness varies in accordance with the bearing size, however, the minimum thickness is 5 mm. The sliding surfaces are provided with lubrication pockets for lubricant storage. Quality-controlled silicone oil is used as a lubricant; it maintains its consistency for a very long time and remains effective even at -35°C.

The side guides consist of DUB composite material. The DUB material has a thickness of 2.5 mm and is connected to the guide bar of the bearing so that shear forces can be accommodated.

For the sliding partner, quality controlled stainless steel sheeting (X2CrNiMo 17-12-2, material No. 1.4404) with a minimum thickness of 1.5 mm is used.

Corrosion protection

Steel components exposed to the elements are corrosion protected. mageba adjusts the corrosion protection to suit exposure conditions or customer requirements.

Standard corrosion protection is as follows:

- Sandblasting SA3
- Zinc metal spray galvanizing
- Two top coatings with 2-part micaceous iron ore paint

Zink metal spray galvanising

Guaranteed quality

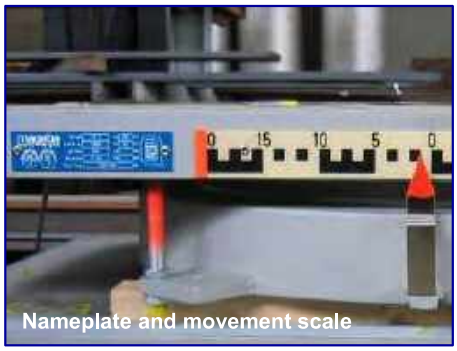
Many thousands of mageba pot bearings have been functioning reliably under heavy traffic conditions for more than 40 years and continue to do so. Quality and durability are guaranteed by the following factors:

- Qualified staff with many years of experience
- Process-orientated Quality Assurance (ISO 9001 / EN 29001)
- Welding certificate according to EN 729-2
- Professional installation on the bridge

Assembly of a bearing

External quality control

In addition to internal supervision, mageba has its production facilities regularly controlled by the recognised independent building supervision institute, MPA Stuttgart. This institute controls mageba's internal supervision and adherence to norms and approvals. This external quality control corresponds to the provisions of European norm (pr) EN 1337, and is another guarantee of the consistently high quality of mageba products.



Comprehensive labelling

All bearings are provided with a label which supports professional installation of the bearing.

The typeface on the cover or sliding plate gives information on the type, size and number of a bearing. Moreover, arrows indicate the movement axis and the presetting direction as follows:

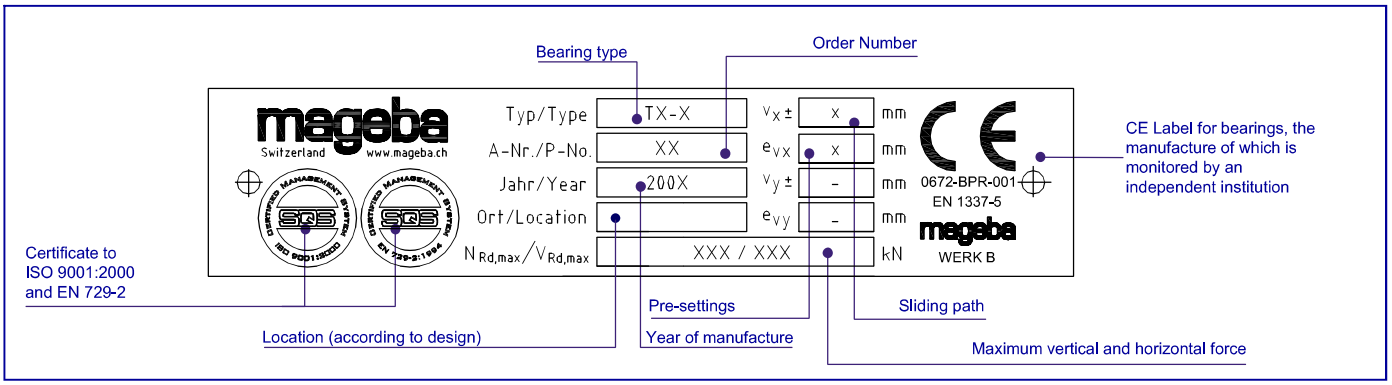
- **Arrows**
  Arrows indicate the main movement directions of movable bearings
- **Double Arrows**
  Double arrows on the sliding bearings indicate the presetting direction
- **Note**
  Temporary fixings are specially marked. They should be checked carefully in accordance with the bearing layout plan.

CE Conformity

All mageba RESTON®POT bearings, which are manufactured in accordance with European Standard EN 1337-5, are clearly marked with the CE label. This label confirms that the pot bearing satisfies all requirements of the new European standard, without exception.

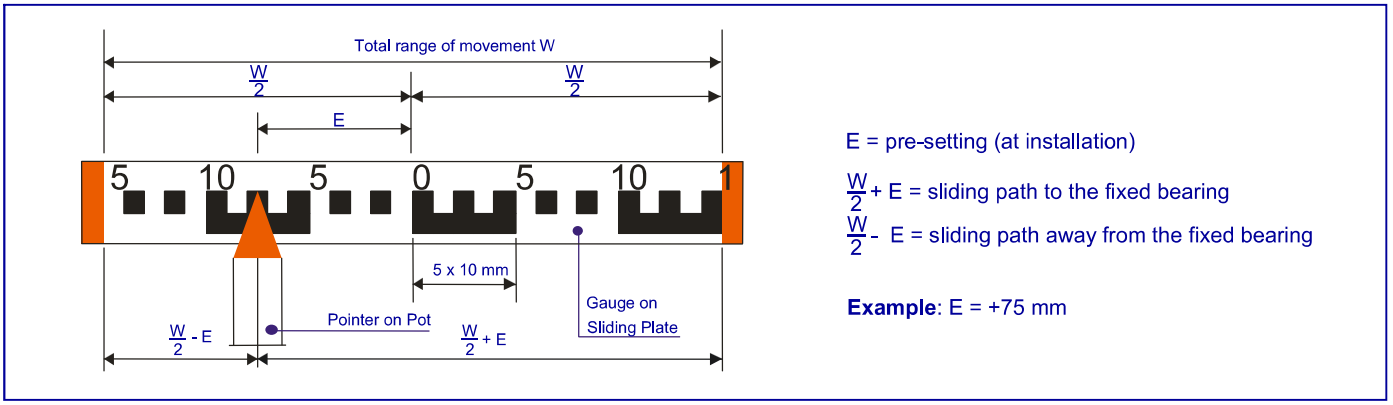
Information label

All the important bearing information is presented on the nameplate:



Movement gauge

The movement gauge indicates horizontal movement and pre-settings of the bearing:



Bearing ready for transport

Function

The TF bearings are immovable and can accommodate horizontal forces from any direction.

Movement in any direction is practically zero with fixed bearings. However, in practice there is 1mm clearance between pot and cover.

Load combination

All standard bearings are designed to withstand maximum concurrent vertical and horizontal loads.

Maximum horizontal loads are based on a concurrent minimum vertical load of about 0.4 times the maximum vertical load (friction impact). The following table shows these minimum loads.

Concrete stress

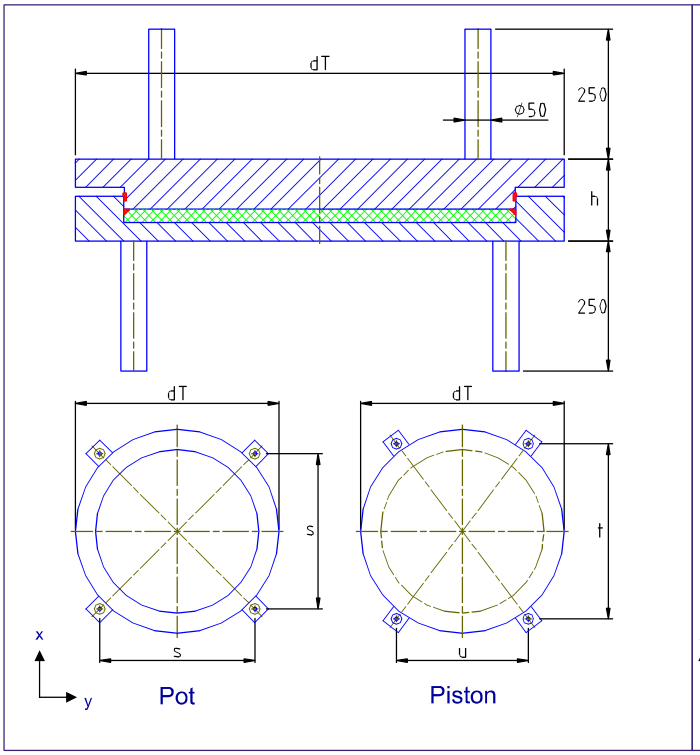
Concrete stress is calculated in accordance with European Standard EC 2 (partial area stress). Structural requirements are normally satisfied when concrete of grade C30/37 or greater is used and the spread area is about 1.6 times the pot diameter at the column and superstructure.

Loads

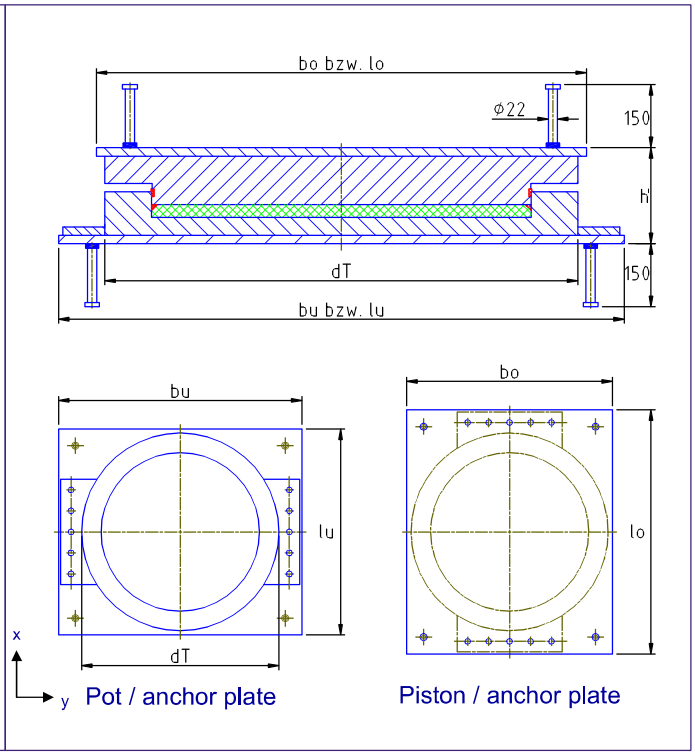
Type & Size	Bearing with anchor bolts			Bearings with anchor plates		
	Loads [kN]			Loads [kN]		
	Vertical		Horizontal	Vertical		Horizontal
	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{xyRd,max}$	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{xyRd,max}$
TF 1	852	323	280	852	315	280
TF 2	1'706	683	460	1'706	672	460
TF 3	2'935	976	705	2'935	630	705
TF 4	4'496	1'634	1'034	4'496	1'310	1'034
TF 5	6'388	2'060	1'247	6'388	1'711	1'247
TF 6	8'647	2'678	1'556	8'647	2'232	1'556
TF 7	11'207	3'376	1'905	11'207	3'012	1'905
TF 8	14'143	3'878	2'263	14'143	3'775	2'263
TF9	17'422	4'404	2'526	17'422	4'172	2'526
TF 10	20'986	5'228	2'938	20'986	4'996	2'938
TF 11	24'942	6'086	3'367	24'942	5'854	3'367
TF 12	29'239	6'952	3'800	29'239	6'720	3'800
TF 13	33'807	8'142	4'395	33'807	7'910	4'395
TF 14	38'782	8'660	4'654	38'782	8'612	4'654
TF 15	44'098	9'052	4'850	44'098	8'820	4'850
TF 16	49'671	9'286	4'967	49'671	9'054	4'967
TF 17	55'665	9'372	5'010	55'665	9'140	5'010
TF 18	62'000	9'892	5'270	62'000	9'660	5'270
TF 19	68'577	10'324	5'486	68'577	10'092	5'486
TF 20	75'590	10'692	5'670	75'590	10'460	5'670

$N_{Rd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under compression force
$N_{Rd,min}$: Minimum bearing capacity of the bearing under compression force with simultaneous shear force $V_{xyRd,max}$
$V_{xyRd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under shear force

Bearing with anchor bolts



Bearing with anchor plates



Dimensions

Type & size	Bearing with anchor bolts						Bearing with anchor plates						
	Dimensions [mm]					Weight [kg]	Dimensions [mm]						Weight [kg]
	dT	s	t	u	h		dT	lu	bu	lo	bo	h'	
TF 1	200	177	217	125	76	30	200	220	310	310	220	112	45
TF 2	280	233	286	165	79	50	280	300	390	390	300	112	75
TF 3	365	301	348	244	87	90	365	390	510	510	390	119	130
TF 4	455	364	422	295	95	130	455	480	600	600	480	128	200
TF 5	540	424	491	344	100	180	540	560	700	700	560	136	290
TF 6	625	484	561	393	111	250	625	650	790	790	650	149	410
TF 7	710	544	631	442	122	345	710	730	910	910	730	160	555
TF 8	795	612	709	496	126	445	795	820	960	960	620	164	680
TF 9	875	668	774	542	136	570	875	900	1'080	1'080	900	174	865
TF 10	975	739	801	672	151	775	975	1'000	1'180	1'180	1'000	193	1'180
TF 11	1'060	799	866	726	151	890	1'060	1'080	1'280	1'280	1'080	193	1'375
TF 12	1'145	859	931	781	159	1'080	1'145	1'170	1'370	1'370	1'170	201	1'650
TF 13	1'225	916	992	832	174	1'345	1'225	1'250	1'510	1'510	1'250	222	2'120
TF 14	1'300	969	1'049	881	188	1'625	1'300	1'320	1'580	1'580	1'320	236	2'475
TF 15	1'380	1'025	1'111	932	188	1'800	1'380	1'400	1'660	1'660	1'400	237	2'770
TF 16	1'455	1'078	1'168	980	202	2'140	1'455	1'480	1'740	1'740	1'480	250	3'205
TF 17	1'530	1'131	1'226	1'028	216	2'525	1'530	1'550	1'810	1'810	1'550	262	3'715
TF 18	1'600	1'181	1'279	1'073	222	2'800	1'600	1'620	1'880	1'880	1'620	272	4'090
TF 19	1'680	1'237	1'341	1'125	223	3'055	1'680	1'700	1'960	1'960	1'700	273	4'460
TF 20	1'760	1'294	1'402	1'176	242	3'660	1'760	1'780	2'040	2'040	1'780	292	5'190

Note: Due to production tolerances the bearing height h or h' may be greater than indicated in the table above by up to 10 mm.

Position of the guide:
Small TE bearings (up to type 4) are fitted with an external guide for static reasons.

Medium TE bearings (type 5 to 8) are fitted with an external or central guide depending on the size of the horizontal force relative to the vertical force.

Large TE bearings (starting from type 9) are usually fitted with a central guide.

TE Bearing in factory

Function

TE bearings allow movement in one direction and can accommodate horizontal forces perpendicular to this direction.

TE bearings can be fitted with either one central guide (indicated by "i" in bearing type) or two external guides (indicated by "a").

Movement perpendicular to the guides is theoretically zero. In practice, there is up to 2 mm clearance. A DUB / stainless steel sliding system ensures smooth sliding in the guide.

Load combination

All standard bearings are designed so that they can accommodate maximum horizontal and vertical forces simultaneously.

Maximum allowed horizontal forces are based on a concurrent minimum vertical load of 0.4 times the maximum load. The following table indicates these loads.

Concrete stress

Concrete stress is calculated according to European Standard EC 2 (partial area stress). Structural requirements are normally satisfied when concrete of grade C30/37 or greater is used and the spread area is about 1.6 times the pot diameter at the column and superstructure.

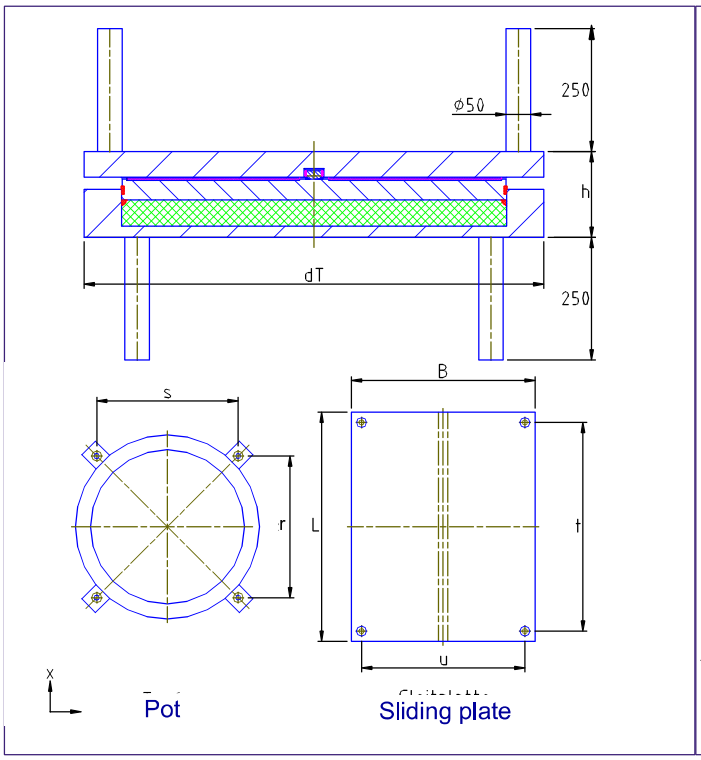
Loads

Type & size	Bearing with anchor bolts			Bearing with anchor plates		
	Vertical Loads [kN]		Horizontal Loads [kN]	Vertical Loads [kN]		Horizontal Loads [kN]
	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{yRd,max}$	$N_{Rd,max}$	$N_{Rd,min}$	$V_{yRd,max}$
TE 1a	620	356	192	620	356	192
TE 2a	1'486	488	329	1'486	488	329
TE 3a	2'772	887	542	2'772	881	542
TE 4a	4'395	1'425	897	4'395	1'034	897
TE 5a	*6'388*	*1'792*	*1'071*	*6'388*	*1'341*	*1'071*
TE 6a	*8'647*	*2'166*	*1'248*	*8'647*	*1'714*	*1'248*
TE 7a	*11'207*	*2'536*	*1'422*	*11'207*	*2'083*	*1'422*
TE 8a	*14'143*	*2'695*	*1'599*	*14'143*	*2'458*	*1'599*
TE 5i	4'780	1'785	1'071	4'780	1'425	1'071
TE 6i	7'011	2'158	1'248	7'011	1'708	1'248
TE 7i	9'627	2'527	1'422	9'627	2'076	1'422
TE 8i	12'678	2'687	1'599	12'678	2'451	1'599
TE 9i	16'128	3'062	1'775	16'128	2'825	1'775
TE 10i	19'917	3'435	1'950	19'917	3'199	1'950
TE 11i	24'169	3'812	2'126	24'169	3'575	2'126
TE 12i	28'820	4'192	2'303	28'820	3'954	2'303
TE 13i	33'771	4'566	2'477	33'771	4'335	2'477
TE 14i	38'782	4'947	2'654	38'782	4'708	2'654
TE 15i	44'098	5'329	2'831	44'098	5'090	2'831
TE 16i	49'671	7'266	3'757	49'671	7'028	3'757
TE 17i	55'665	7'741	3'978	55'665	7'504	3'978
TE 18i	62'000	8'218	4'199	62'000	7'979	4'199
TE 19i	68'577	8'687	4'416	68'577	8'676	4'416
TE 20i	75'590	9'164	4'637	75'590	8'925	4'637

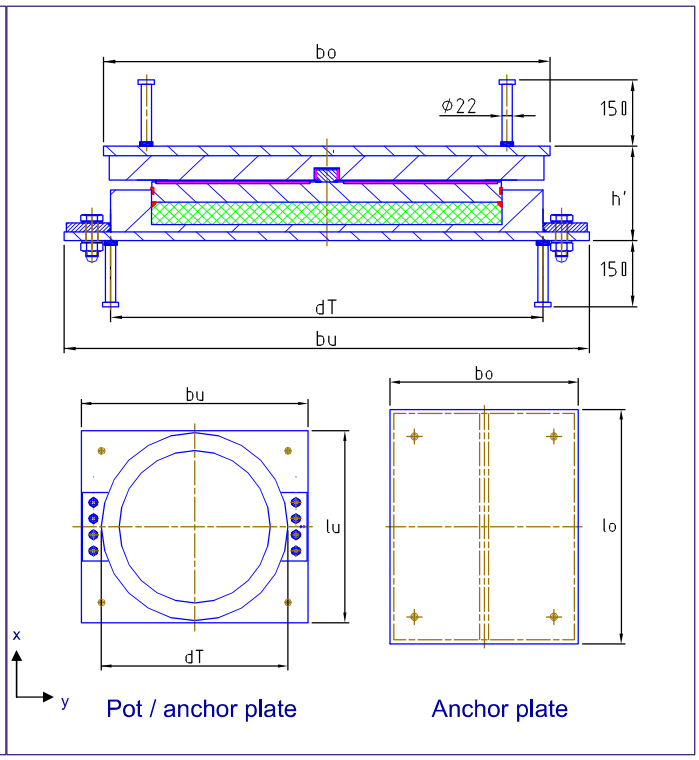
$V_{xyRd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under shear force
$N_{Rd,max}$ Maximum bearing capacity of the bearing under compressive force
$N_{Rd,min}$: : Minimum bearing capacity of the bearing under compressive force with a simultaneous shear force $V_{xyRd,max}$

a: External guides
i: Central (or internal) guides

Bearing with anchor bolts



Bearing with anchor plates



Dimensions

Type & size	Bearing with anchor bolts									Bearing with anchor plates						
	Bearing dimensions [mm]								Weight [kg]	Bearing dimensions [mm]						Weight [kg]
	dT	B	L	r	s	t	u	h		dT	bu	lu	bo	lo	h'	
TE 1a	200	270	390	144	204	346	214	92	50	200	330	220	290	410	125	70
TE 2a	270	330	450	184	262	406	274	102	80	270	420	290	350	470	135	115
TE 3a	360	420	520	236	335	476	364	114	135	360	510	380	440	540	148	195
TE 4a	450	510	590	285	423	536	430	140	245	450	600	470	530	610	172	320
TE 5a	*535*	*580*	*660*	*341*	*487*	*606*	*480*	*144*	*320*	*535*	*700*	*560*	*600*	*700*	*182*	*445*
TE 6a	*620*	*650*	*730*	*390*	*557*	*676*	*560*	*158*	*440*	*620*	*790*	*640*	*670*	*760*	*195*	*595*
TE 7a	*690*	*710*	*810*	*430*	*614*	*754*	*614*	*165*	*545*	*690*	*860*	*710*	*730*	*840*	*202*	*730*
TE 8a	*780*	*780*	*880*	*500*	*688*	*814*	*690*	*174*	*715*	*780*	*950*	*800*	*800*	*900*	*212*	*935*
TE 5i	525	530	630	336	479	576	450	144	290	525	700	550	550	670	181	395
TE 6i	610	615	710	384	548	654	526	154	390	610	780	630	640	740	191	530
TE 7i	685	690	790	428	610	734	620	160	500	685	860	710	710	810	197	675
TE 8i	770	775	870	482	688	804	684	164	645	770	940	790	800	890	201	840
TE 9i	850	855	950	528	754	884	764	168	780	850	1050	870	880	970	205	1‘030
TE 10i	930	935	1‘030	573	819	964	869	175	950	930	1130	950	960	1‘050	214	1‘260
TE 11i	1‘025	1‘030	1‘130	628	897	1‘064	964	188	1‘230	1‘025	1‘230	1‘050	1‘050	1‘150	228	1‘620
TE 12i	1‘105	1‘110	1‘210	674	963	1‘144	1‘044	202	1‘520	1‘105	1‘310	1‘130	1‘130	1‘230	242	1‘970
TE 13i	1‘175	1‘180	1‘280	714	1‘019	1‘214	1‘114	216	1‘830	1‘175	1‘380	1‘200	1‘200	1‘300	262	2‘410
TE 14i	1‘255	1‘260	1‘360	760	1‘085	1‘294	1‘194	225	2‘140	1‘255	1‘460	1‘280	1‘280	1‘380	271	2810
TE 15i	1‘340	1‘345	1‘440	809	1‘155	1‘374	1‘279	238	2‘570	1‘340	1‘540	1‘360	1‘370	1‘460	285	3‘340
TE 16i	1‘450	1‘455	1‘550	872	1‘245	1‘484	1‘389	250	3‘180	1‘450	1‘670	1‘470	1‘480	1‘570	302	4‘180
TE 17i	1‘525	1‘530	1‘630	915	1‘307	1‘564	1‘464	266	3‘730	1‘525	1‘750	1‘550	1‘550	1‘650	318	4‘780
TE 18i	1‘600	1‘605	1‘700	958	1‘368	1‘634	1‘539	280	4‘300	1‘600	1‘890	1‘620	1‘630	1‘720	335	5‘620
TE 19i	1‘680	1‘685	1‘780	1‘003	1‘433	1‘714	1‘619	294	4‘980	1‘680	1‘970	1‘700	1‘710	1‘800	349	6‘420
TE 20i	1‘755	1‘760	1‘860	1‘046	1‘494	1‘794	1‘694	302	5‘540	1‘755	2‘050	1‘780	1‘780	1‘880	357	7‘120

The catalogue dimensions L, t, and lo are designed for a total longitudinal movement (W) of 100 mm. For greater movements, the dimensions have to be adapted respectively (e.g. for W= 350 mm: L, t and lo must be increased by 250 mm).
Note: Due to production tolerances, the bearing height h or h' may be greater than indicated in the table above, by up to 10 mm.

10 TA Series – Free sliding

mageba

TA Bearing in front of factory

Function

The TA bearing allows movement in all directions and therefore does not accommodate any horizontal forces.

Lateral displacement of TA Bearings is normally limited to +/- 20 mm. Bearings which allow larger lateral displacement can be designed on request.

Concrete stress

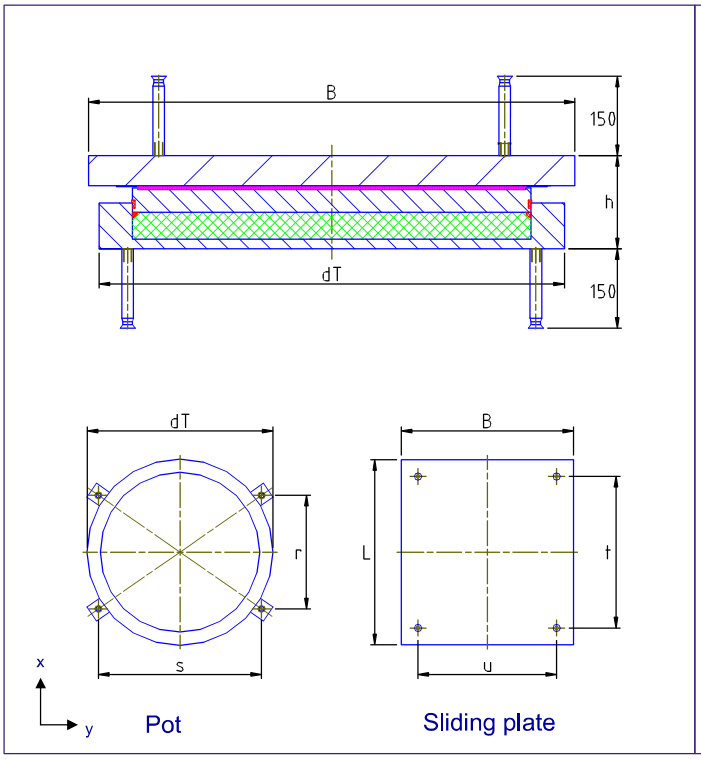
Concrete stress is calculated according to European Standard EC 2 (partial area stress). Structural requirements are normally satisfied when concrete of grade C30/37 or greater is used and the spread area is about 1.6 times the pot diameter at the column and superstructure.

Loads

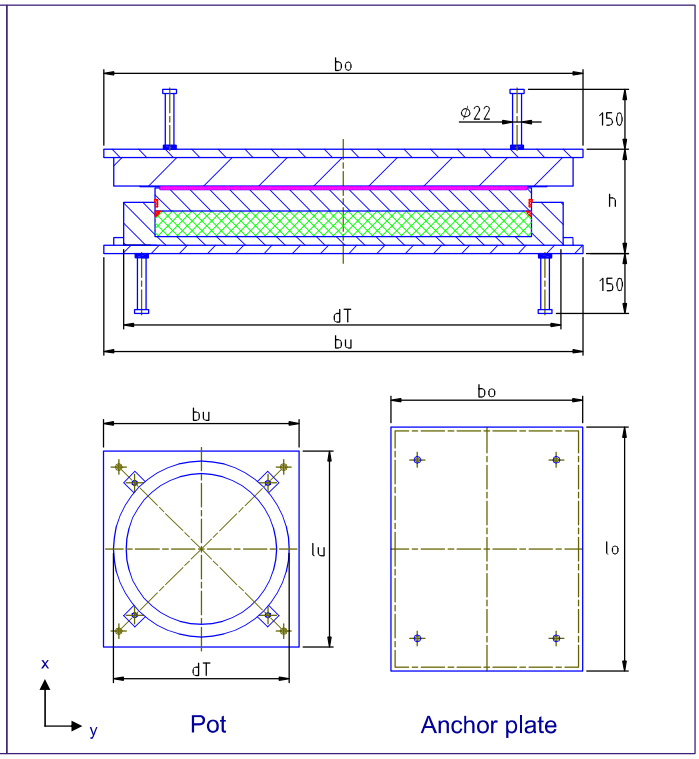
Type & Size	Loads [kN]
	Vertical
	$N_{Rd,max}$
TA 1	714
TA 2	1'595
TA 3	2'913
TA 4	4'496
TA 5	6'388
TA 6	8'647
TA 7	11'207
TA 8	14'143
TA 9	17'422
TA 10	20'986
TA 11	24'942
TA 12	29'239
TA 13	33'807
TA 14	38'782
TA 15	44'098
TA 16	49'671
TA 17	55'665
TA 18	62'000
TA 19	68'577
TA 20	75'590

$N_{Rd,max}$: Maximum bearing capacity of the bearing under compressive force

Bearing with threaded sleeve anchorages



Bearing with anchor plates



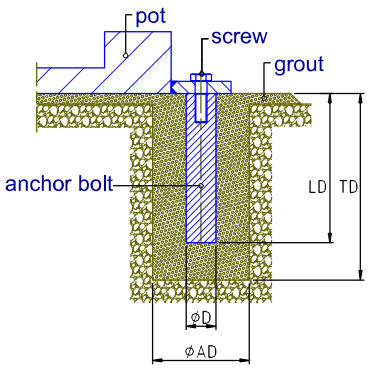
Dimensions

Type & Size	Bearing without anchor plate									Bearing with anchor plates						
	Dimensions [mm]								Weight [kg]	Dimensions [mm]						Weight [kg]
	dT	B	L	r	s	t	u	h		dT	bu	lu	bo	lo	h'	
TA 1	200	250	300	171	182	272	208	86	30	200	270	270	270	320	120	55
TA 2	270	310	370	209	243	328	268	86	45	270	320	320	330	390	120	80
TA 3	350	390	450	257	306	408	348	95	80	350	380	380	410	470	128	130
TA 4	420	460	520	279	378	478	418	105	125	420	450	450	480	540	138	190
TA 5	500	540	600	319	448	558	498	119	195	500	520	520	560	620	155	290
TA 6	570	610	670	382	501	616	556	123	255	570	600	600	630	690	161	380
TA 7	650	690	750	421	571	696	636	137	360	650	670	670	710	770	175	515
TA 8	720	760	820	451	637	766	706	147	470	720	740	740	780	840	184	650
TA 9	800	840	900	490	707	846	786	162	630	800	820	820	860	920	199	855
TA 10	880	920	980	536	772	926	866	176	820	880	900	900	940	1'000	215	1'105
TA 11	960	1'000	1'060	576	842	1'006	946	183	1'010	960	980	980	1'020	1'080	223	1'355
TA 12	1'040	1'080	1'140	660	892	1'074	1'014	192	1'235	1'040	1'060	1'060	1'100	1'160	233	1'645
TA 13	1'130	1'170	1'230	717	962	1'164	1'104	211	1'595	1'130	1'150	1'150	1'190	1'250	257	2'130
TA 14	1'210	1'250	1'310	763	1'028	1'244	1'184	226	1'950	1'210	1'230	1'230	1'270	1'330	272	2'560
TA 15	1'300	1'340	1'400	821	1'097	1'334	1'274	235	2'325	1'300	1'320	1'320	1'360	1'420	281	3'025
TA 16	1'380	1'420	1'480	867	1'163	1'414	1'354	249	2'775	1'380	1'400	1'400	1'440	1'500	300	3'650
TA 17	1'460	1'500	1'560	906	1'233	1'494	1'434	262	3'270	1'460	1'480	1'480	1'520	1'580	314	4'260
TA 18	1'540	1'580	1'640	946	1'303	1'574	1'514	271	3'730	1'540	1'560	1'560	1'600	1'660	326	4'885
TA 19	1'620	1'660	1'720	993	1'367	1'654	1'594	281	4'245	1'620	1'640	1'640	1'680	1'740	336	5'520
TA 20	1'710	1'750	1'810	1'049	1'438	1'744	1'684	300	5'105	1'710	1'730	1'730	1'770	1'830	355	6'520

The catalogue dimensions B, L, u, t, bo and lo are designed for total longitudinal movement (W) of 100 mm and lateral movement (W') of 40 mm. For greater movements, the dimensions must be adapted respectively (e.g. for W=350 mm and W'=100 mm: L, t, and lo must be increased by 250 and B, u, and bo by 60 mm).

Anchor bolts

- Suitable for TE & TF bearings without anchor plate
- For resistance of horizontal forces
- Can be omitted if sufficient vertical force acts



Screw	Anchor bolt		Recess	
	ØD	LD	ØAD	TD
M 12	30	180	150	250
M 16	40	200	150	250
M 20	50	250	150	300
M 24	60	300	150	350
M 27	70	300	150	350

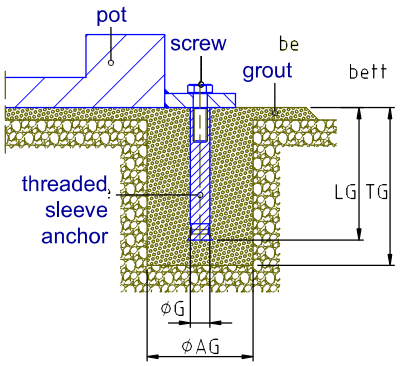
Pot bearing with anchor bolts

Note:
If there is sufficient friction between the bearing and the sub- or superstructure to accommodate horizontal forces the anchor bolts or threaded sleeve anchors can be omitted.

Recess:
Static requirements determine the anchor size. Suitable recesses (øA, T) are presented in the adjacent tables.

Threaded sleeve anchors

- Suitable for TA Bearings without anchor plate
- Structural connection to the bearing socket
- Can be left out if necessary

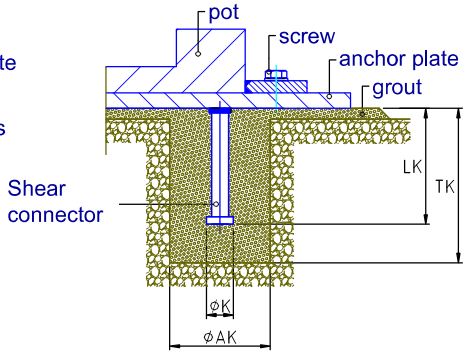


Screw	Threaded sleeve anchors		Recess	
	ØG	LG	ØAG	TG
M 12	17	100	150	150
M 16	22	150	150	200
M 20	26	150	150	200

Pot bearing with threaded sleeve anchor

Anchor plates

- Anchoring of the anchor plate with shear connectors
- Number of shear connectors depends on the static circumstances

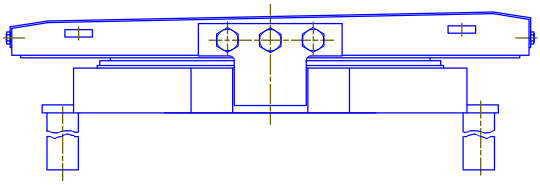


ø	Shear connector		Recess	
	ØK	LK	ØAK	TK
22	35	150	150	200

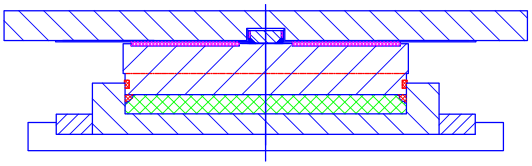
Pot bearing with anchor plates

RESTON®POT ILM Incremental launching bearing
The same bearing can be used for both the installation of the bridge and as a permanent bearing.

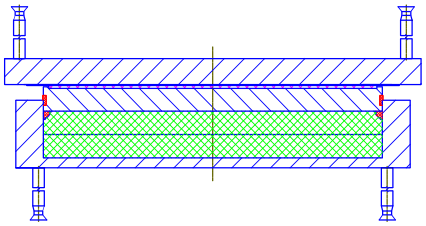
RESTON®POT CONTROL Lift & measurement bearings
The loads acting on the bearing can be constantly electronically monitored. This bearing can also be used to lift the bridge.



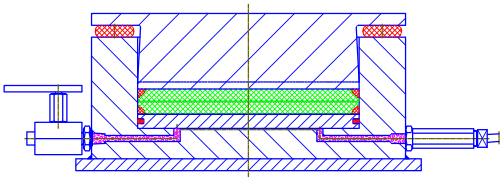
ILM - bearing



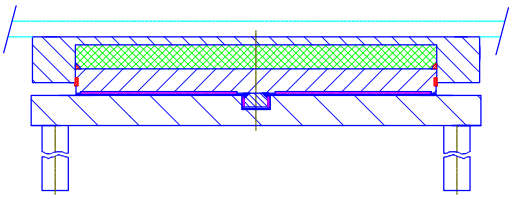
Lateral catch with block



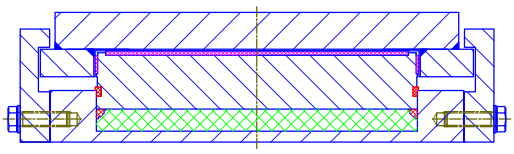
Pot bearing for large tilts



Measuring and lifting bearing



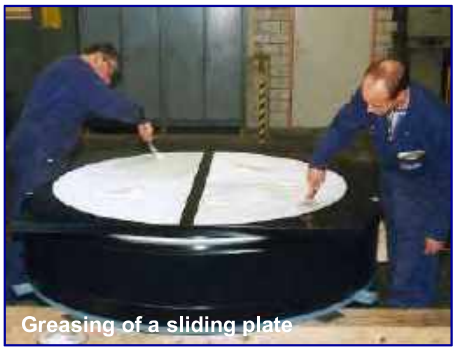
Bearing installed reversed for steel superstructure



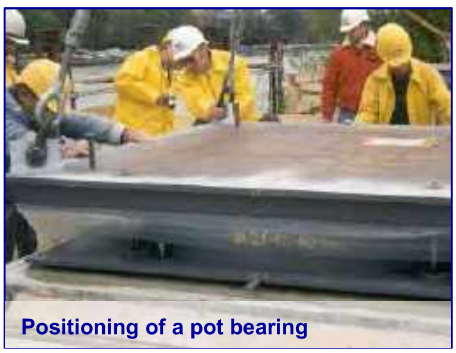
TE- bearing with uplift protection

Formation of a steel ring

Lid of the pot bearing


Greasing of a sliding plate

Bringing together of pot and lid


Positioning of a pot bearing

General

mageba pot bearings are high quality engineering components which must be handled with care during transport, assembly and installation.

Sliding surfaces, seals, movement scales and corrosion protection are sensitive to damage and require particular protection.

Assembly

We assemble the bearings in the factory. Pot and piston, or sliding plate, are clamped together with four bolts for safe transportation.

Presetting

If the presetting of bearings is required, please submit the exact presetting value E *before* start of the manufacturing. Presetting is always done in the factory and only trained employees may adjust the presetting value later.

Calibration

The bearing location plan is essential for a correct installation of the bearing. Pay particular attention to all markings and indications.

The structural axes are indicated with notches in the lower section of the pot ring to enable the bearing to be positioned in precisely the correct location.

The height and the horizontal position are adjusted by setscrews. The reference point for installation height is the centre of the top plate or sliding plate.

The reference plane for the horizontal position is the upper edge of the pot ring or the sliding surface for sliding bearings. The margin of error for the inclination must not exceed 3‰.

Placing

After positioning and before placing the grout layer, the recess spaces at the anchor bolts (if any) are concreted. Local shrinkage is thus avoided in this area. The mortar bed should not be thicker than 50mm. Most recognised fluid mortars or grouts that are poured into surrounding raised formwork are suitable for the mortar bed.

Sliding plates which project beyond the pot bearing must be rigidly supported at their corners before concreting the superstructure.

Commissioning

The pot bearing should be capable of moving freely as soon as the substructure and superstructure have been connected. To permit this, the four transportation bolts between the pot and the top plate or sliding plate must be cut through and removed.

Inspection and maintenance

The condition and position of the pot bearing should be inspected at regular intervals.

Your enquiry

When requesting a quotation, please provide the design criteria if possible, to enable us to give you the best quotation.

We process quotes immediately and make them available as soon as possible.

Staff of our technical department

Our quotation

We can send you an indicative offer on the basis of classification and number of bearings. For a binding offer we need the following information:

- Maximum, minimum and permanent vertical loads
- Longitudinal and transverse forces
- Most unsuitable load combination with the maximum horizontal force and the minimum vertical load
- Movements in longitudinal and transverse directions of the bridge
- Rotations in longitudinal and transverse directions of the bridge
- Concrete strength
- General data on the structure (concrete or steel bridge, fixing details of the bridge bearings, etc.)

A more detailed list of the necessary information has been defined in European norm EN 1337, part 1, pages 26 – 27 (this can be downloaded from www.mageba.ch).

Placing of orders

In addition to the information already supplied, the following documents are also necessary when placing an order:

- Layout drawing of the structure
- Details of all movements to be facilitated
- Pre-setting values

Work begins once the customer has approved and returned the documents, with pre-setting values indicated.

Delivery time is kept to a minimum thanks to an efficient order processing system and modern manufacturing methods.

The most important features of the mageba pot bearing to EN 1337

- **mageba has been producing pot bearings since 1963**
- **Pot Bearings are approved in many countries, including Germany, Austria, Sweden and Finland**
- **Quality control in accordance with ISO 9001:2000 and certified in accordance with EN 729-2**
- **External quality control conducted by an independent building supervision institute**
- **Certificate for welding works in accordance with DIN 18800-7**
- **Design according to EC 3, BS 5400, DIN 18800, SIA 161 etc.**
- **Construction strictly according to EN 1337**

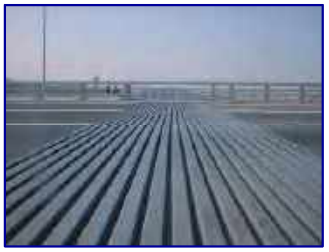
Øresund Bridge, Denmark - Sweden
Equipped with mageba pot bearings for vertical loads up to 90'000 kN and horizontal loads up to 40'000 kN.

Bridge Bearings

- Pot Bearings
- Elastomeric Bearings
- Earthquake Bearings
- Spherical Bearings
- Incremental Launch Bearings
- Special Bearings
- Rocker Bearings

Expansion Joints

- Single Gap Joints
- Modular Expansion Joints
- Sliding Finger Joints
- Cantilever Finger Joints
- Matt Joints
- Railway Joints
- Architectural Joints



Shock Absorbers

- Hydraulic Shock Absorbers
- Spring Dampers

Services

- Inspections
- Tests
- Installations
- Refurbishments
- Cleaning
- Remote monitoring

More information on mageba and its products can be found on **www.mageba.ch**.

Worldwide references

Version 2008.02

mageba Switzerland www.mageba.ch

mageba sa
Solistrasse 68
8180 Bülach
Switzerland
Tel.: +41-44-872 40 50
Fax: +41-44-872 40 59
info@mageba.ch

mageba gmbh
Fussach, Austria
Tel.: +43-5578-75593
Fax: +43-5578-73348
oesterreich@mageba.ch

mageba sa
Cugy VD, Switzerland
Tel.: +41-21-731-0710
Fax: +41-21-731-0711
suisse@mageba.ch

mageba gmbh
Uslar, Germany
Tel.: +49-5571-9256-0
Fax: +49-5571-9256-56
uslar@mageba.ch

mageba gmbh
Esslingen a.N., Germany
Tel.: +49-711-758844-0
Fax: +49-711-758844-56
stuttgart@mageba.ch

mageba Bridge Products (Pvt.) Ltd.
Kolkata, India
Tel.: +91-33-22900250 to -253
Fax: +91-33-22900254
info@mageba.in

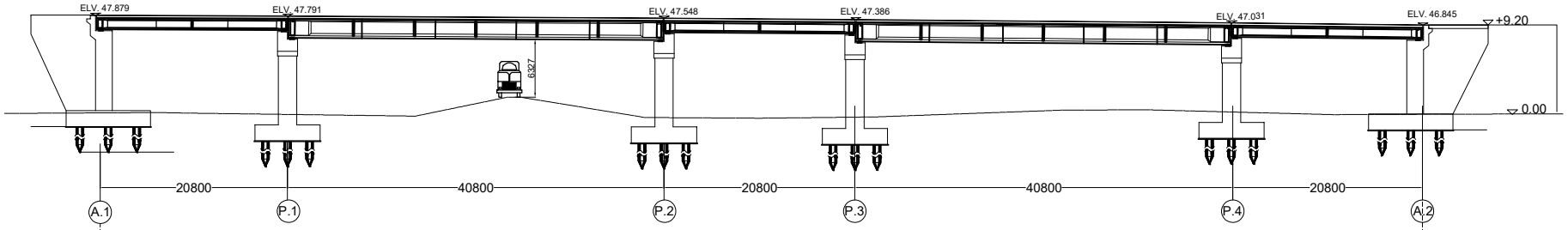
mageba Bridge Products Pvt. Ltd.
Shanghai, China
Tel.: +86-21-5740 7635
Fax: +86-21-5740 7636
info@mageba.cn

bridges linking people – worldwide®

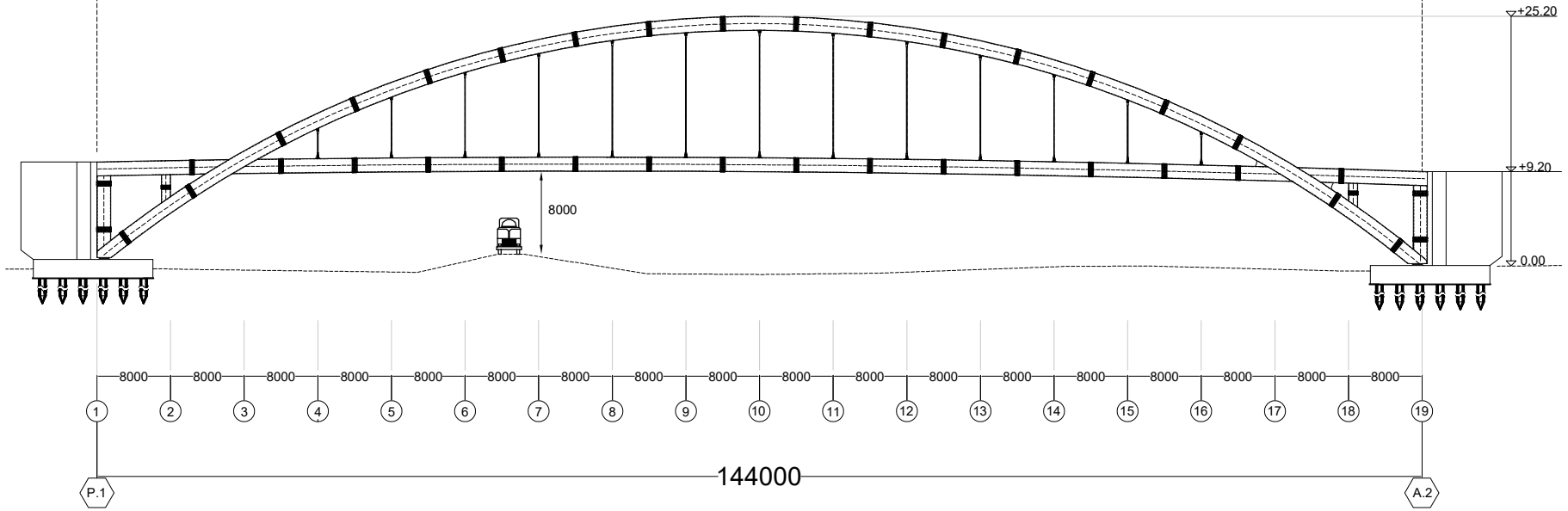
NO	JUDUL GAMBAR	NO	JUDUL GAMBAR
1	TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN EKSISTING	9	SAMBUNGAN ANTAR RANGKA BUSUR
	TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN RENCANA		DETAIL SAMBUNGAN ANTAR RANGKA BUSUR
2	POTONGAN MELINTANG JEMBATAN A-A	10	SAMBUNGAN TITIK 3A
	POTONGAN MELINTANG JEMBATAN B-B		DETAIL SAMBUNGAN TITIK 3A
	DETAIL LANTAI KENDARAAN	11	SAMBUNGAN TIE BEAM - CABLE HANGER
	DETAIL SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG - MEMANJANG		DETAIL SAMBUNGAN TIE BEAM - CABLE HANGER
3	DENAH IKATAN ANGIN ATAS	12	SAMBUNGAN RANGKA BUSUR - CABLE HANGER
	DETAIL SAMBUNGAN IKATAN ANGIN ATAS		DETAIL SAMBUNGAN RANGKA BUSUR - CABLE HANGER
4	TAMPAK BAWAH	13	TAMPAK ABUTMENT
	DETAIL SAMBUNGAN IKATAN ANGIN BAWAH		TAMPAK WINGWALL
5	KODE TITIK BUHUL	14	PENULANGAN ABUTMENT
6	SAMBUNGAN TITIK 1A		POTONGAN PENULANGAN ABUTMENT
	DETAIL SAMBUNGAN TITIK 1A	15	DENAH RENCANA PILECAP
7	SAMBUNGAN TITIK 1B	16	POTONGAN DENAH PILECAP
	DETAIL SAMBUNGAN TITIK 1B		
8	SAMBUNGAN ANTAR TIE BEAM		
	DETAIL SAMBUNGAN ANTAR TIE BEAM		

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	NO. GAMBAR		JUMLAH GAMBAR	
MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			

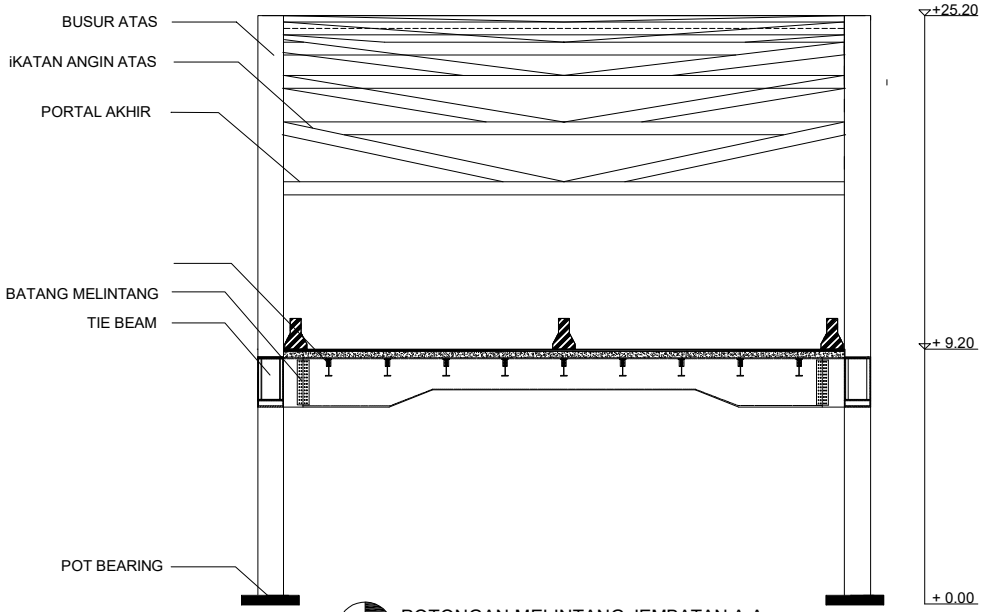


TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN EKSISTING
SKALA 1 : 1000

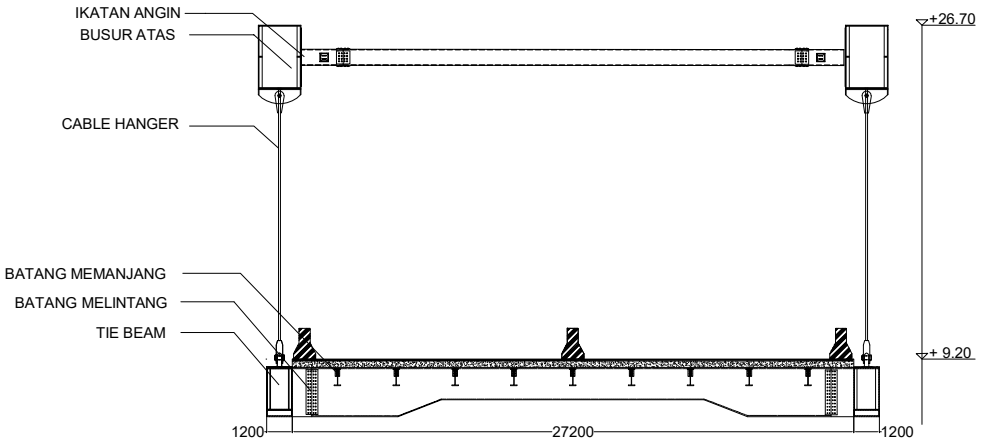


TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN RENCANA
SKALA 1 : 1000

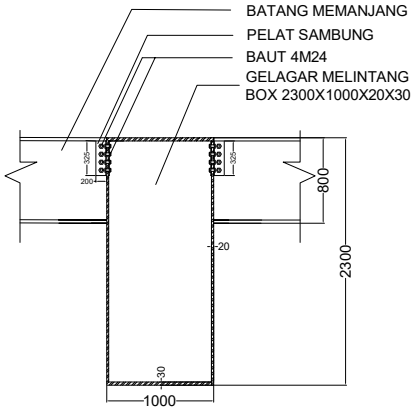
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**1**	JUMLAH GAMBAR **16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**		

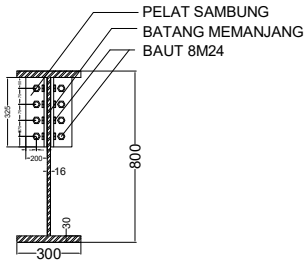


POTONGAN MELINTANG JEMBATAN A-A
SKALA 1 : 500

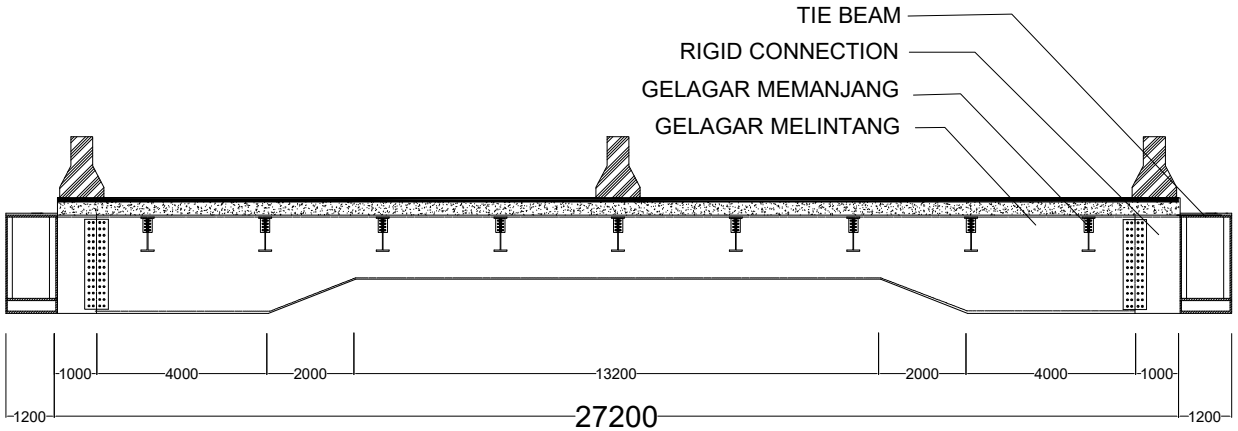


POTONGAN MELINTANG JEMBATAN B-B
SKALA 1 : 500



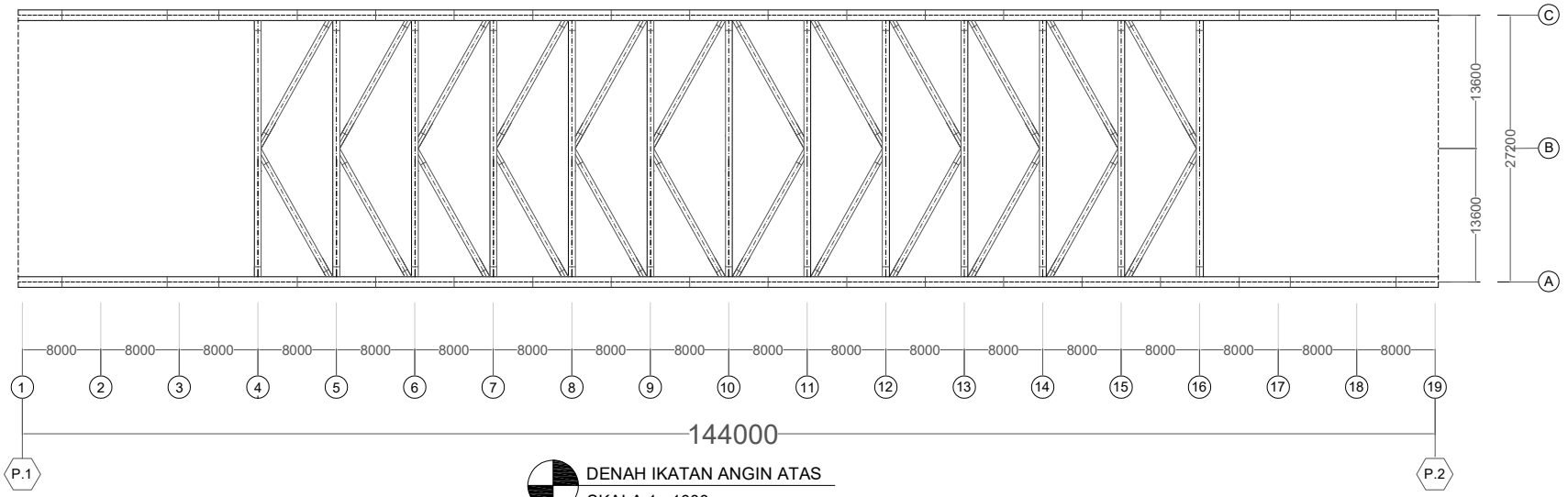


DETAIL SAMBUNGAN GELAGAR MELINTANG - MEMANJANG
SKALA 1 : 100

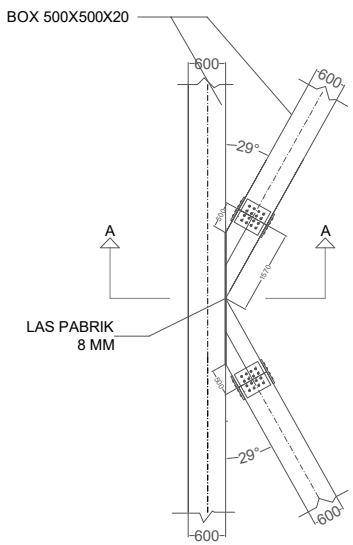


DETAIL LANTAI KENDARAAN
SKALA 1 : 250

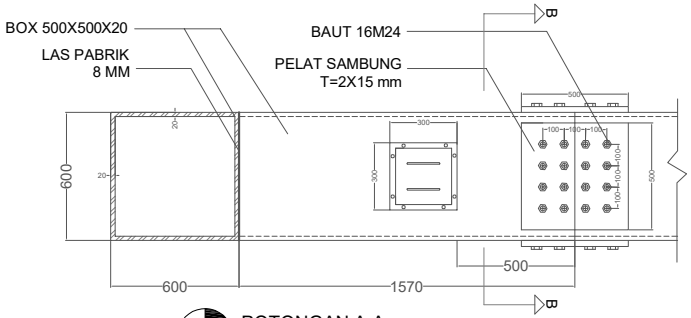
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**2**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



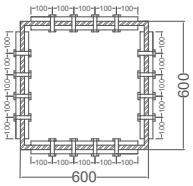
DENAH IKATAN ANGIN ATAS
SKALA 1 : 1000



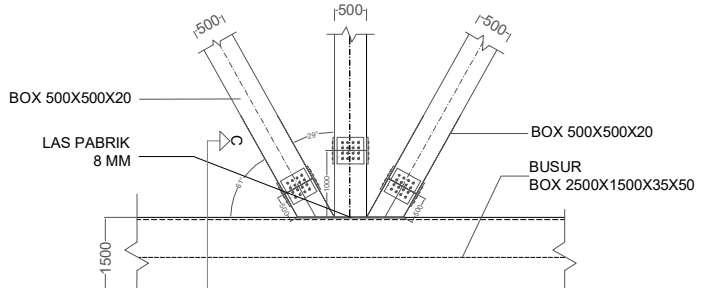
DETAIL SAMBUNGAN B4
SKALA 1 : 200



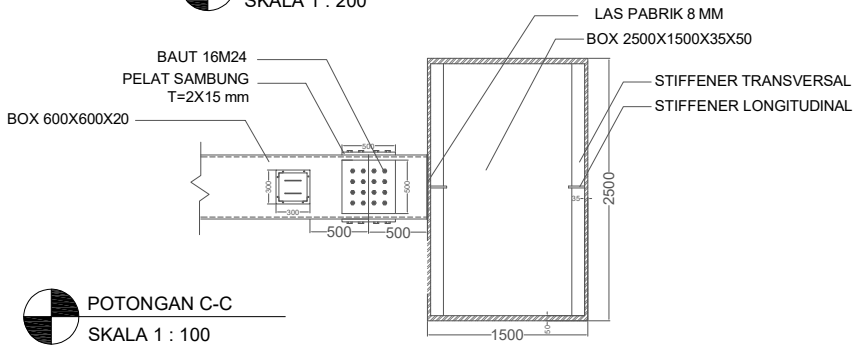
POTONGAN A-A
SKALA 1 : 50



POTONGAN B-B
SKALA 1 : 50

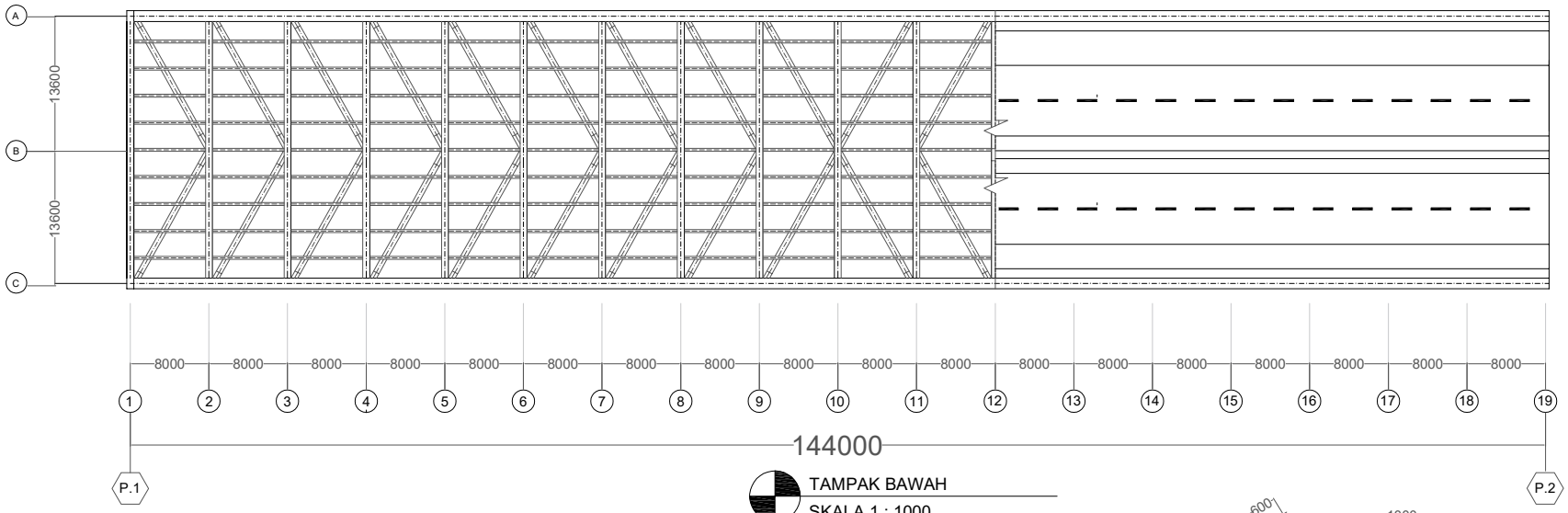


DETAIL SAMBUNGAN A-10
SKALA 1 : 200

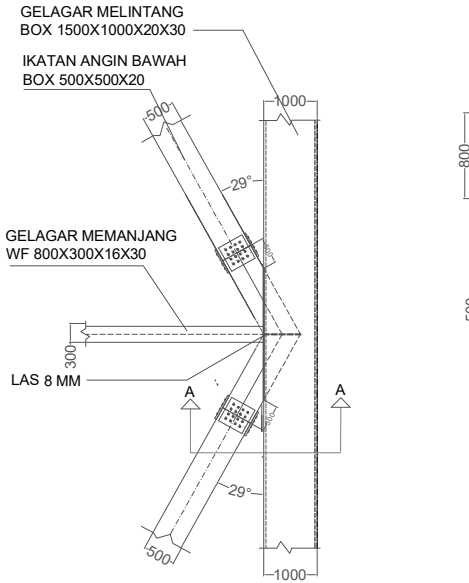


POTONGAN C-C
SKALA 1 : 100

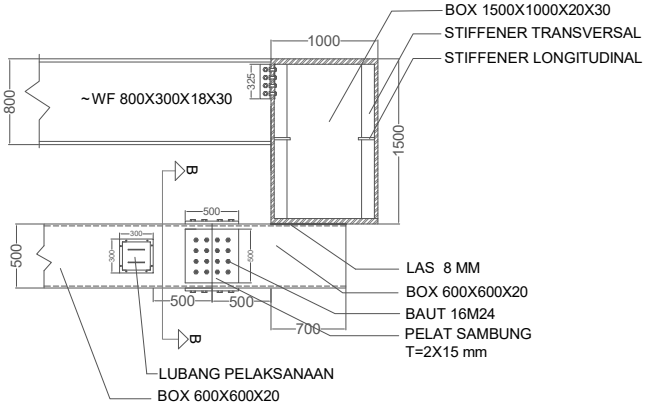
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**3**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



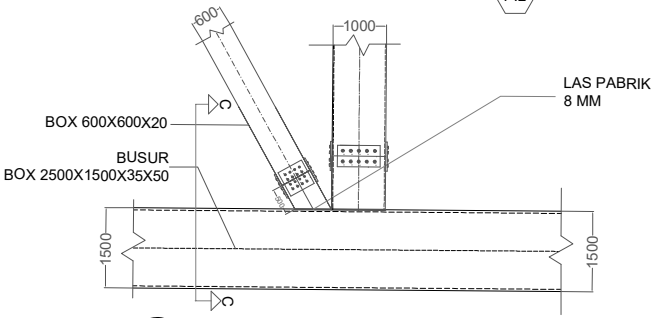
TAMPAK BAWAH
SKALA 1 : 1000



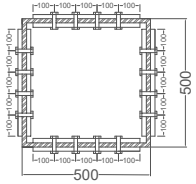
SAMBUNGAN B4
SKALA 1 : 200



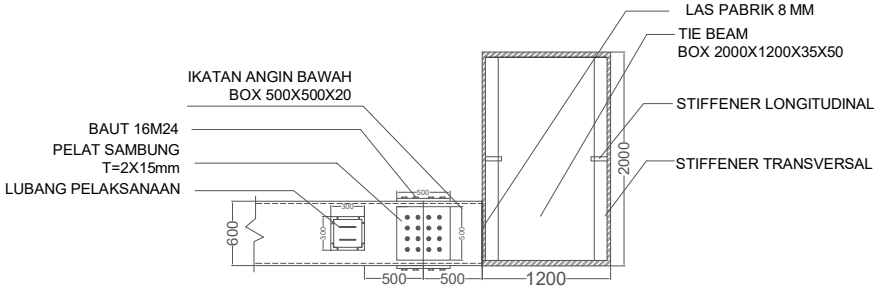
POTONGAN A-A
SKALA 1 : 100



SAMBUNGAN A-11

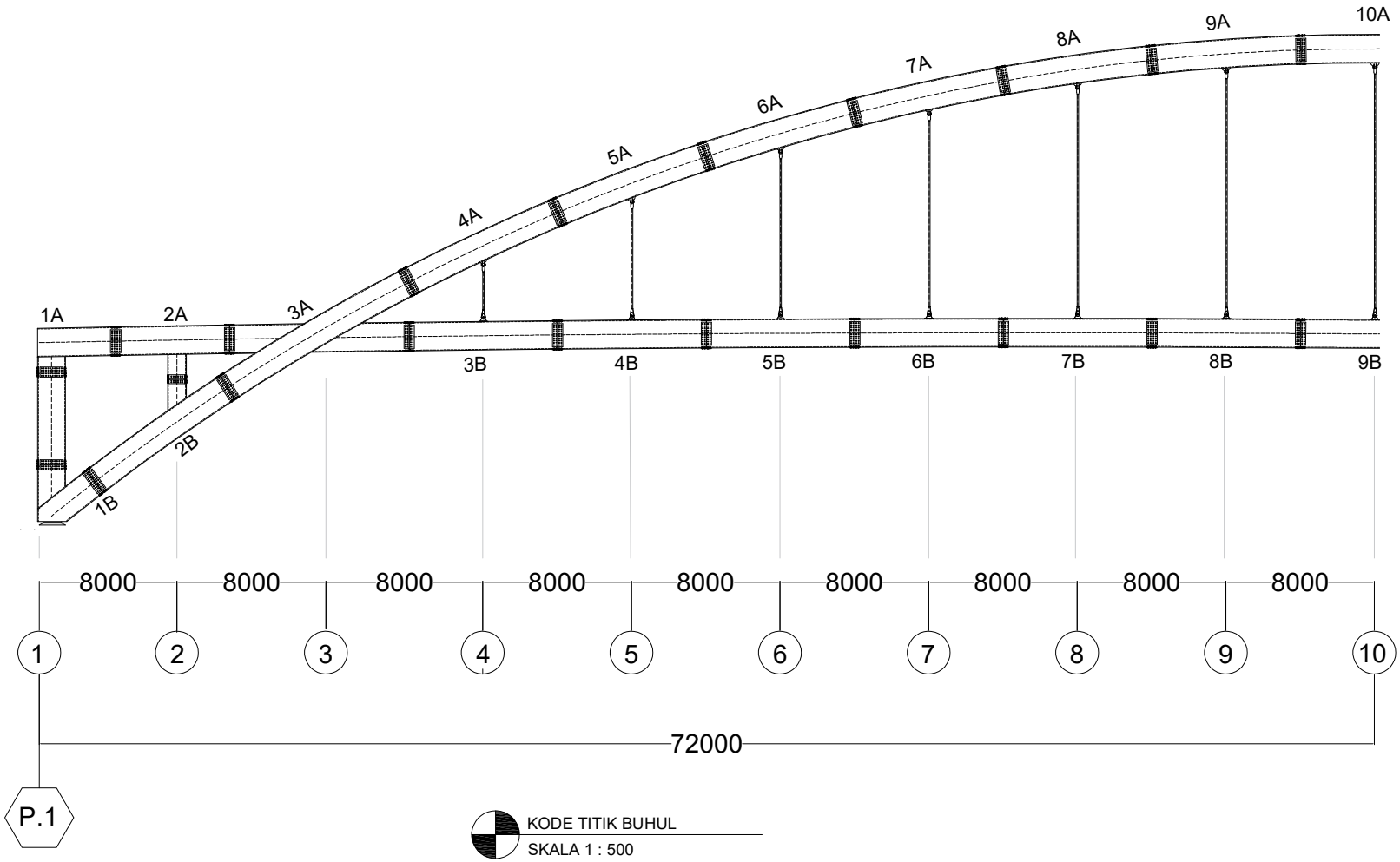


POTONGAN B-B
SKALA 1 : 50

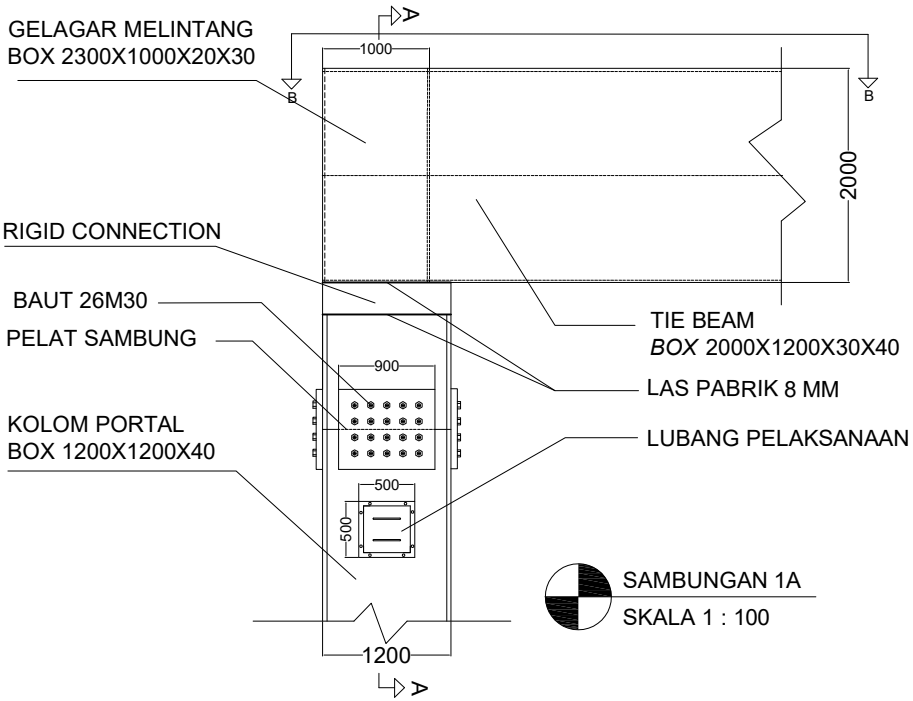


POTONGAN C-C
SKALA 1 : 1000

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**4**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			

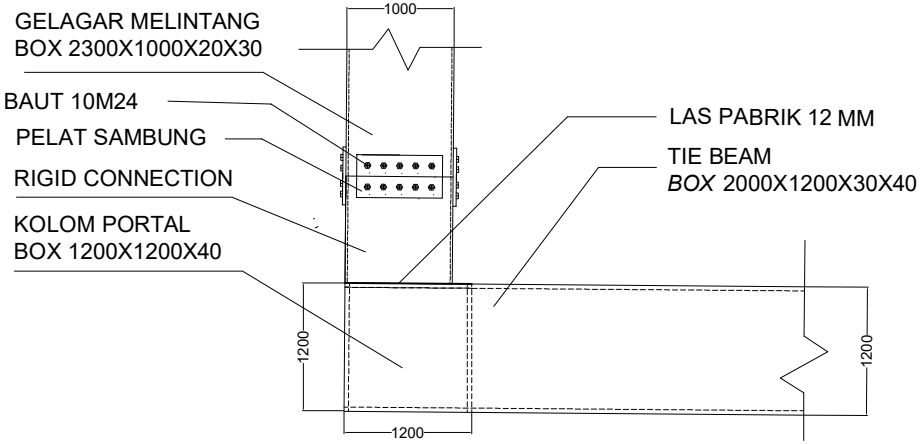


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**5**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



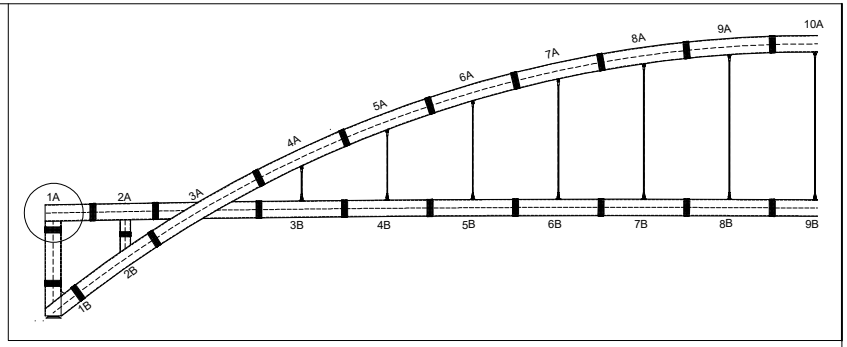
SAMBUNGAN 1A

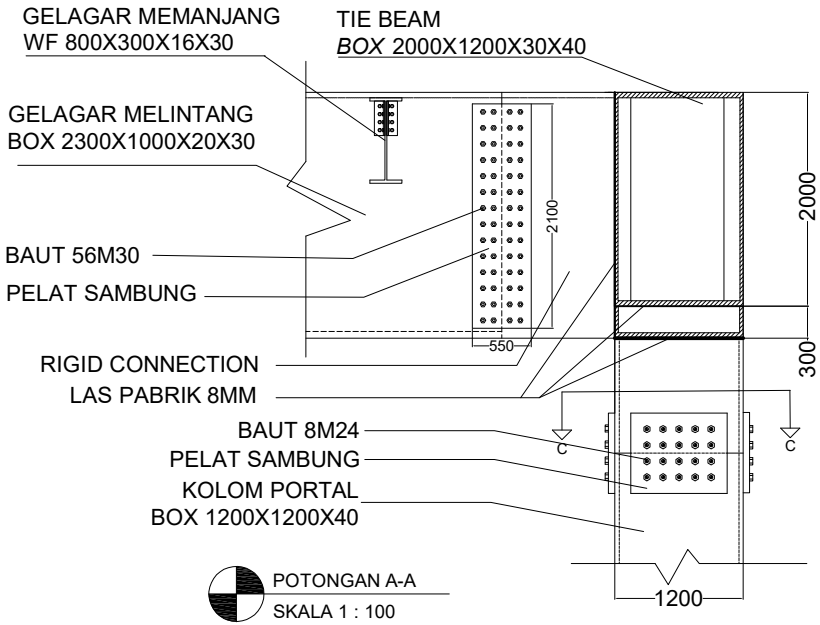
SKALA 1 : 100



POTONGAN B-B

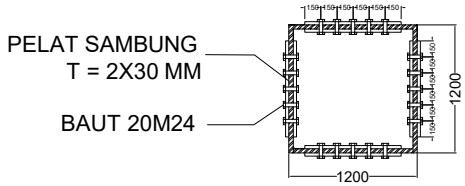
SKALA 1 : 100





POTONGAN A-A

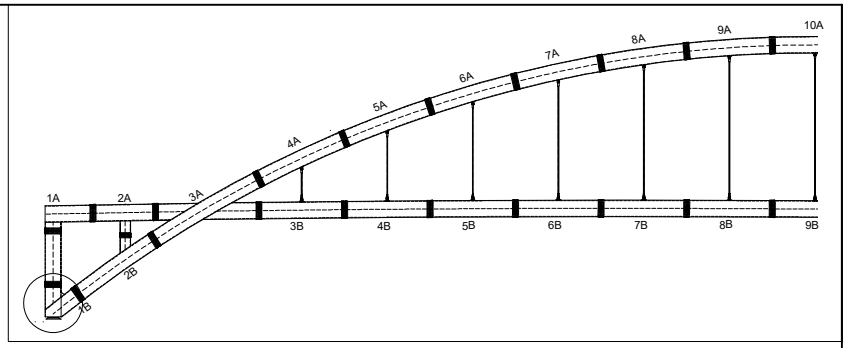
SKALA 1 : 100

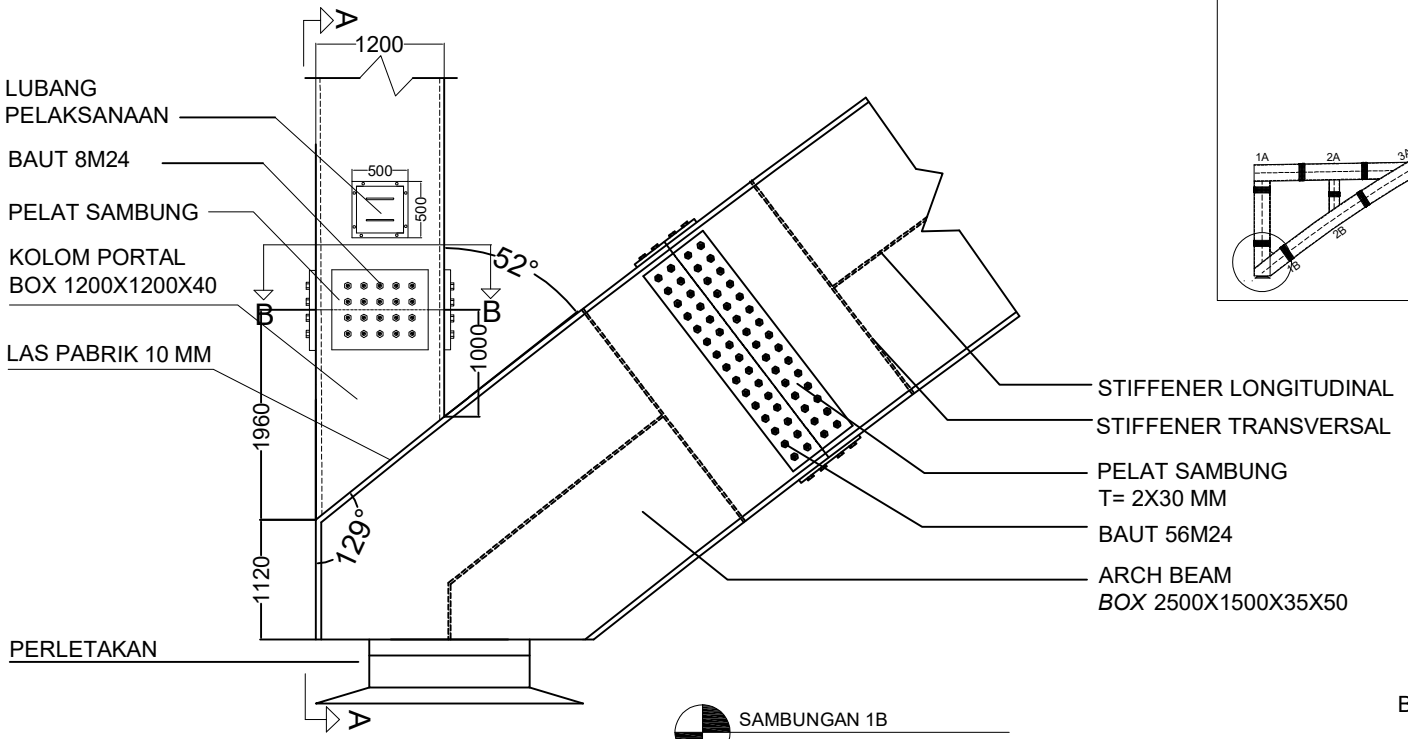


POTONGAN C-C

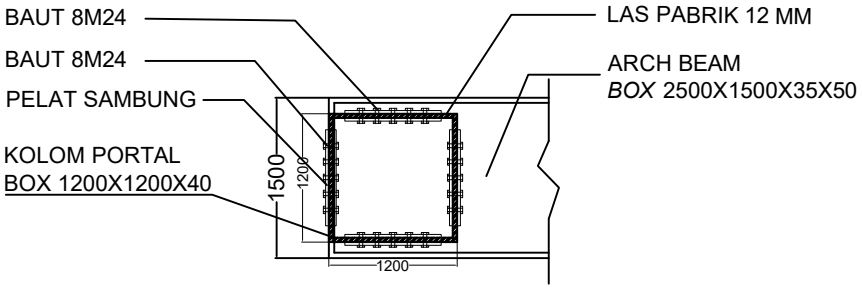
SKALA 1 : 100

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS** MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	**DOSEN PEMBIMBING** BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	**NAMA MAHASISWA** ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	NO. GAMBAR **6** JUMLAH GAMBAR **16** **REVISI:**	

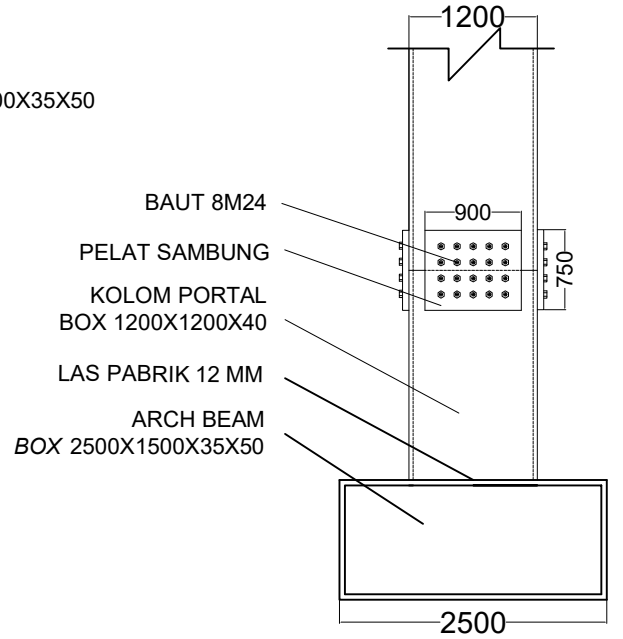




SAMBUNGAN 1B
SKALA 1 : 100

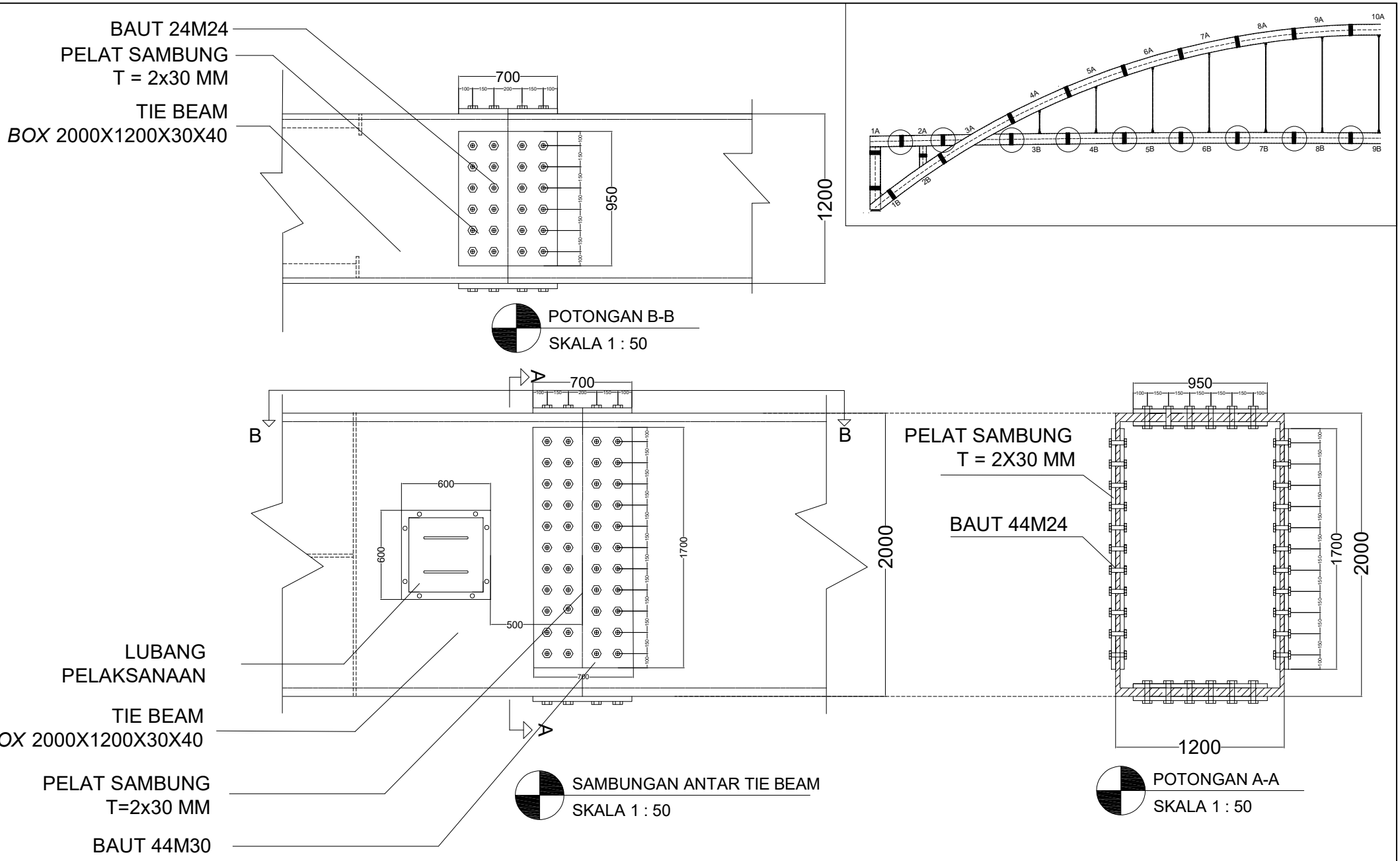


POTONGAN B-B
SKALA 1 : 100

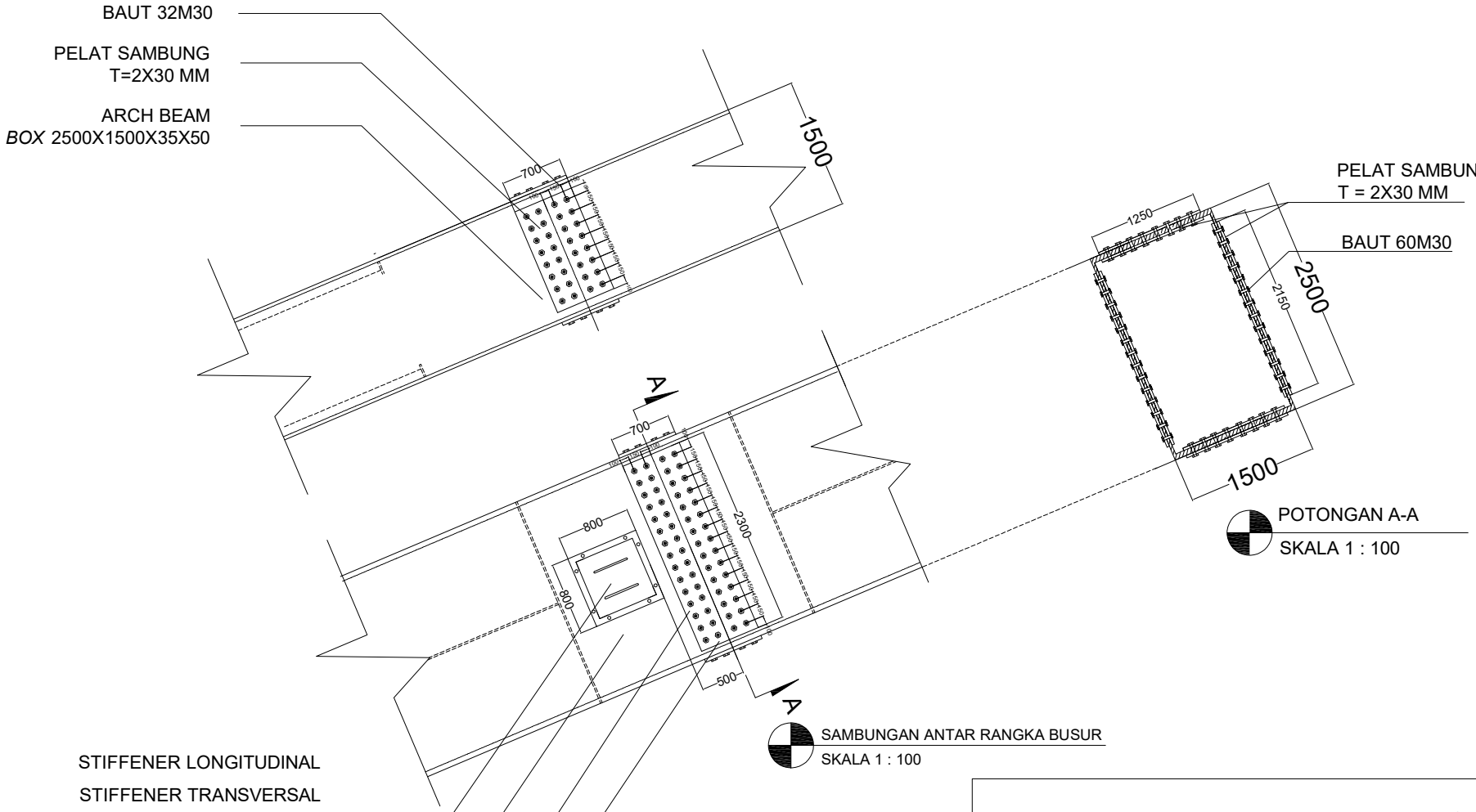


POTONGAN A-A
SKALA 1 : 100

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**7**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**8**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			

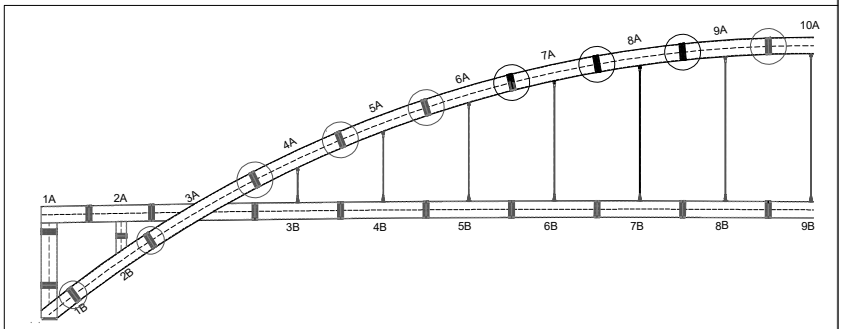


POTONGAN A-A

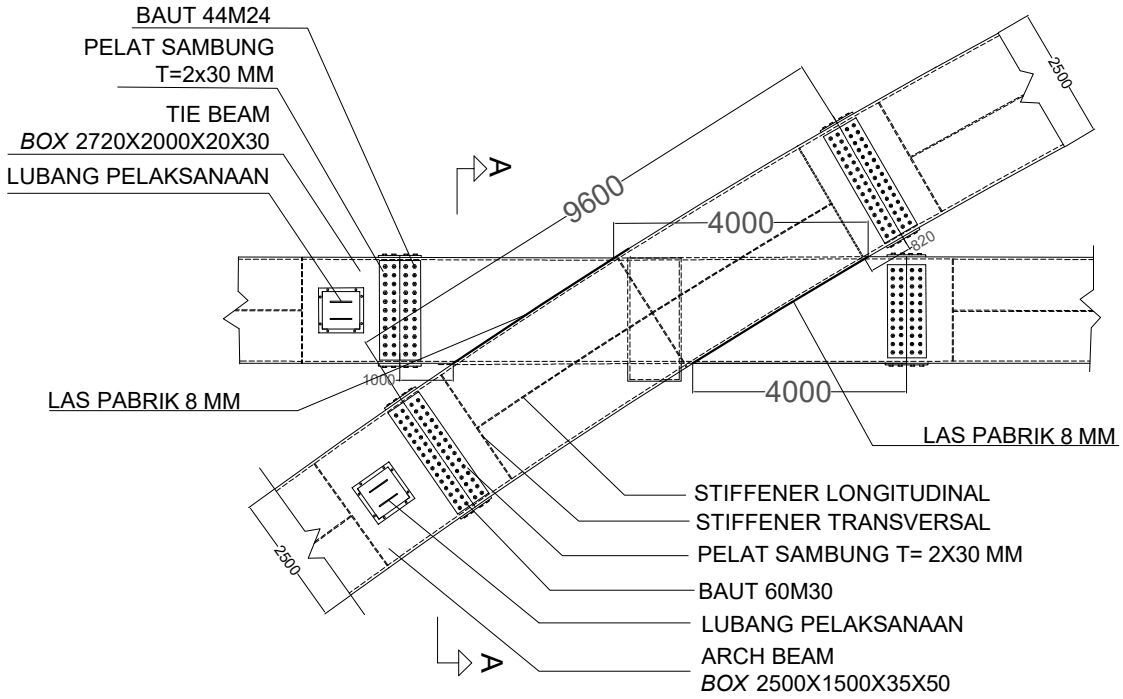
SKALA 1 : 100

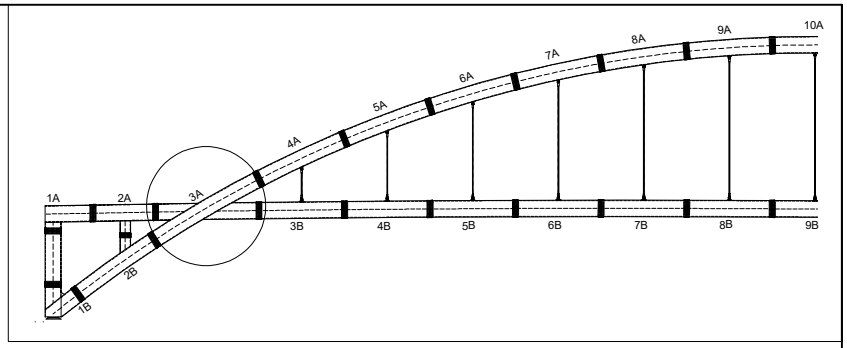
SAMBUNGAN ANTAR RANGKA BUSUR

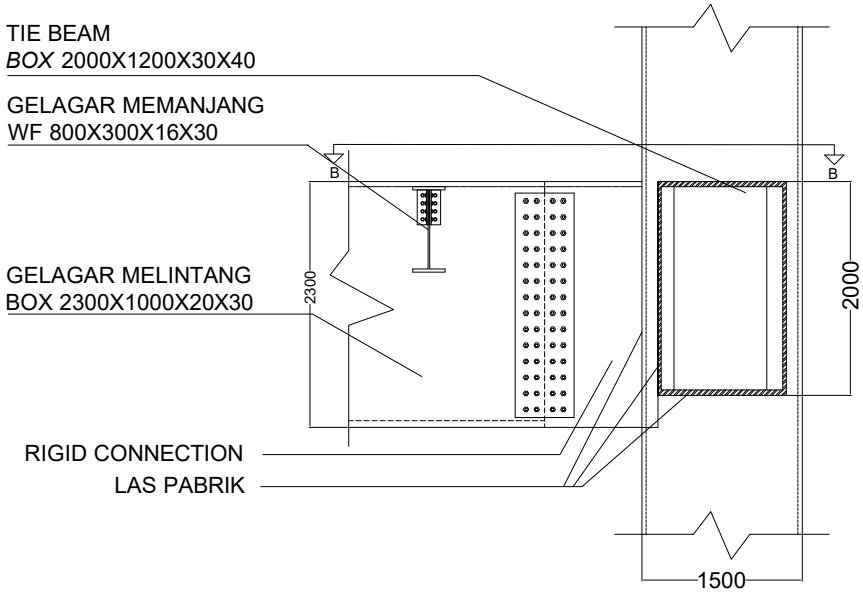
SKALA 1 : 100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR **9**	JUMLAH GAMBAR **16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**	

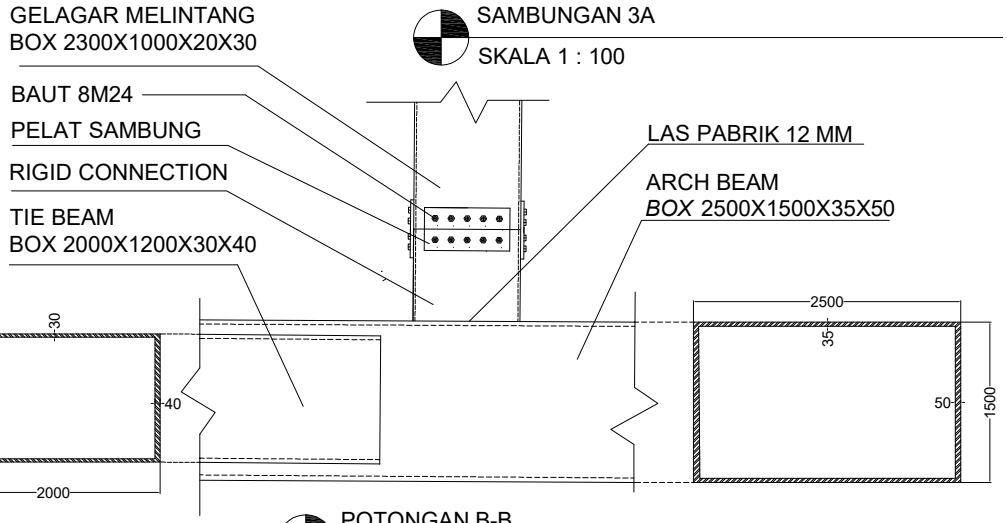






POTONGAN A-A

SKALA 1 : 100



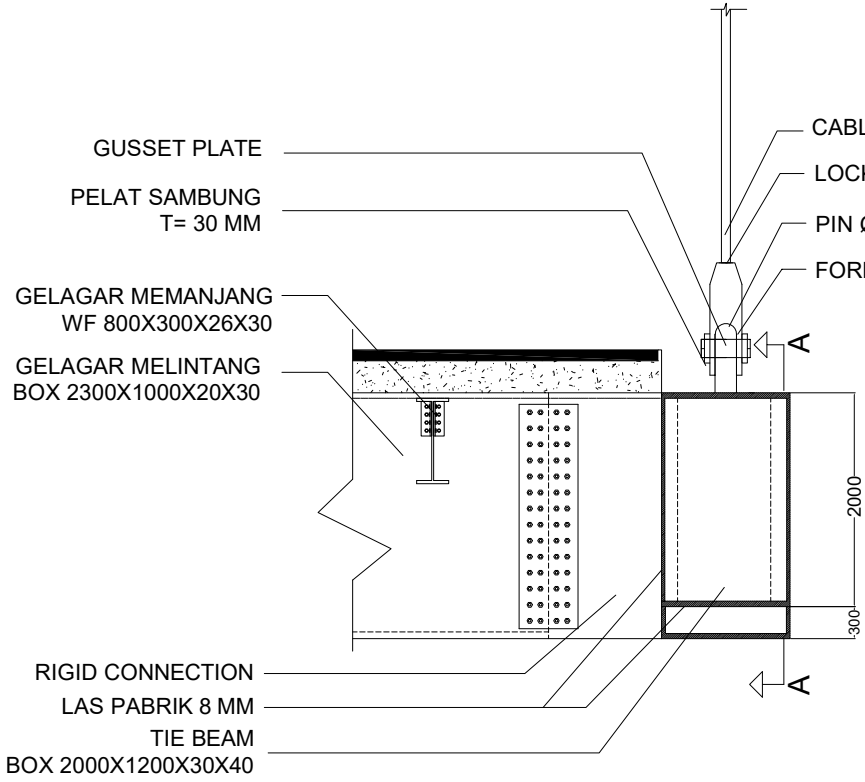
SAMBUNGAN 3A

SKALA 1 : 100

POTONGAN B-B

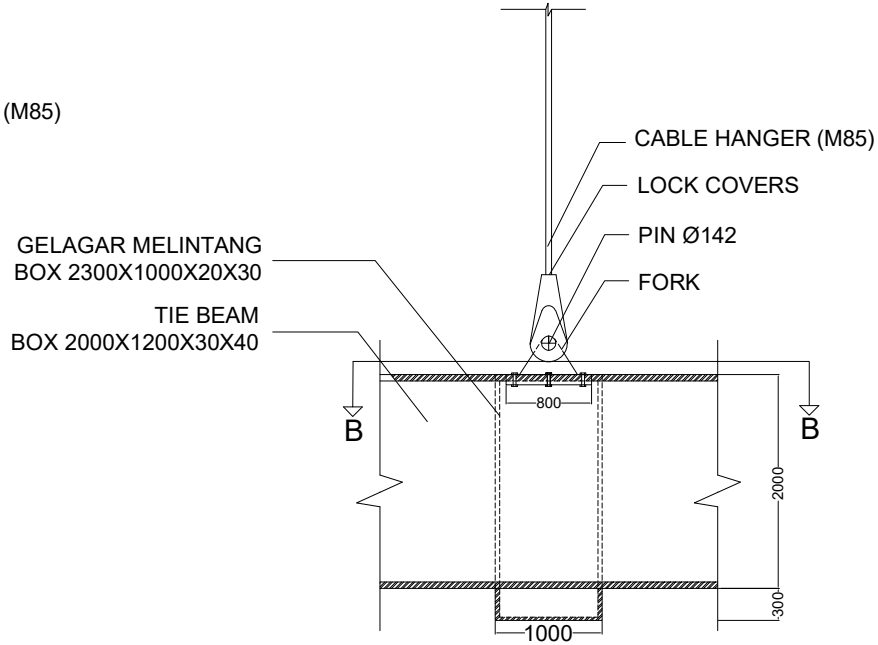
SKALA 1 : 100

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**10**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



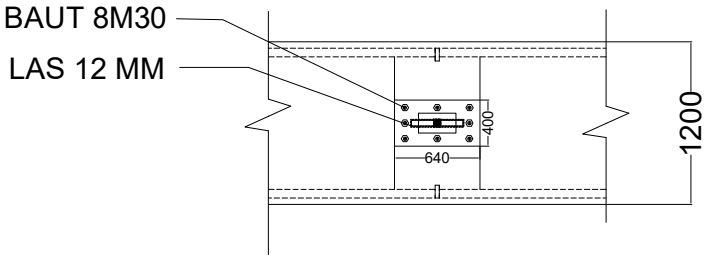
SAMBUNGAN TIE BEAM - CABLE HANGER

SKALA 1 : 100



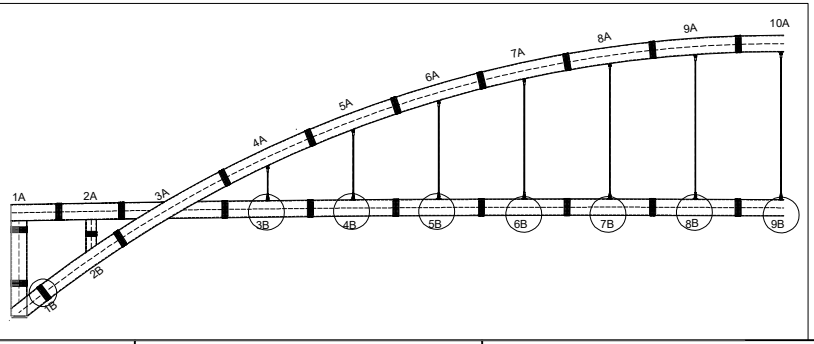
SPOYONGAN A-A

SKALA 1 : 100

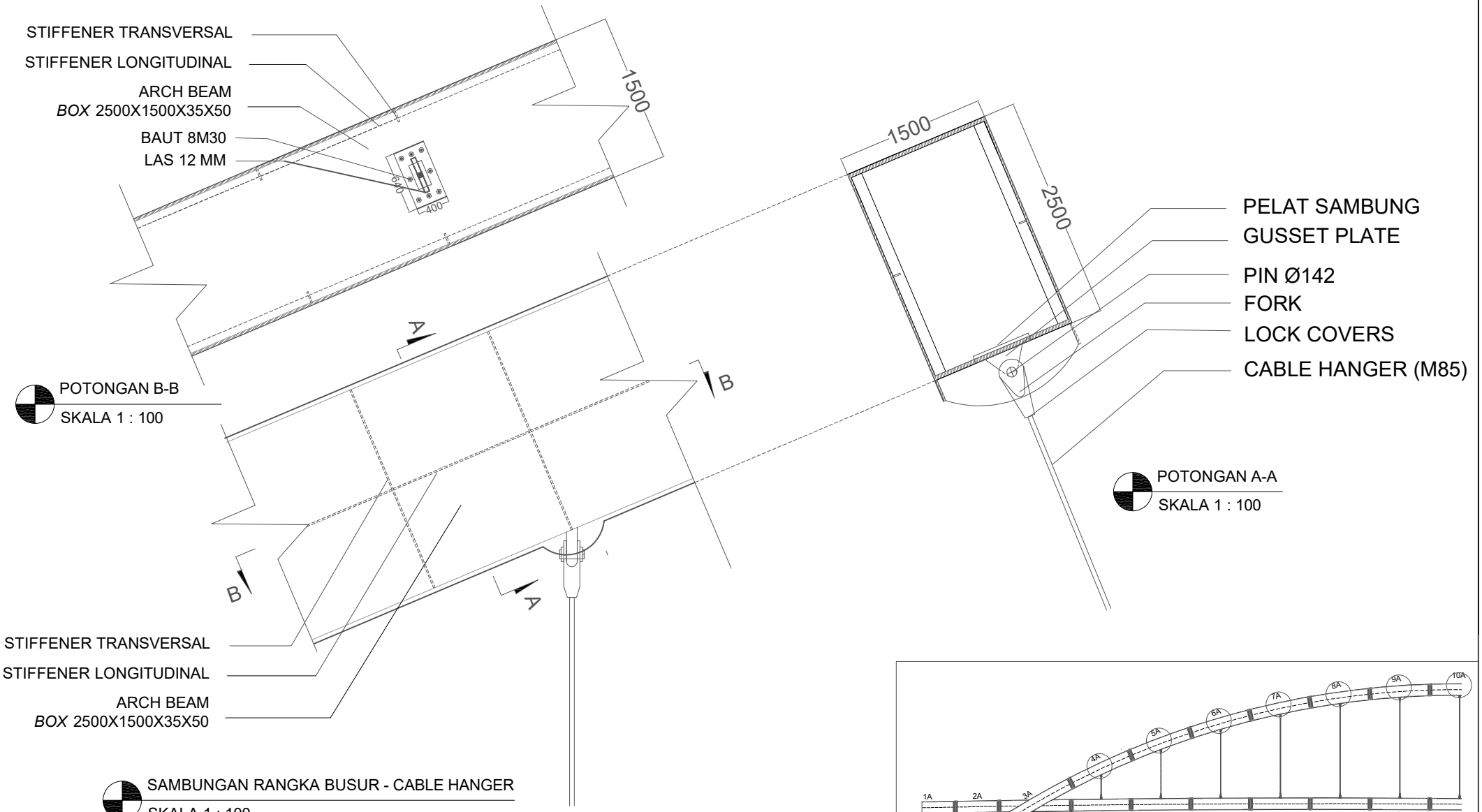


SPOYONGAN B-B

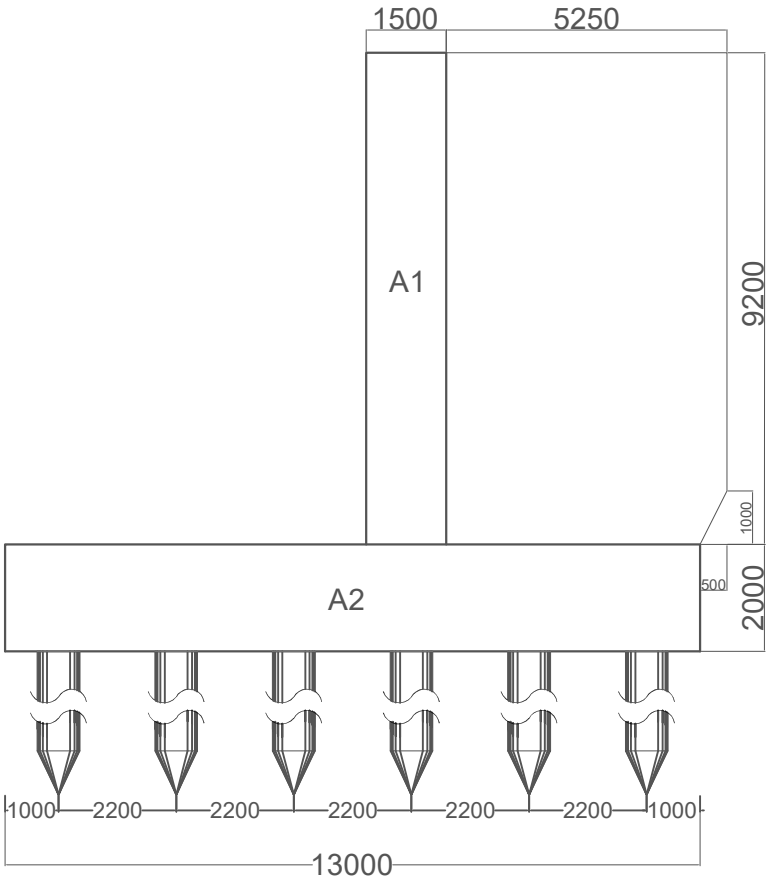
SKALA 1 : 100



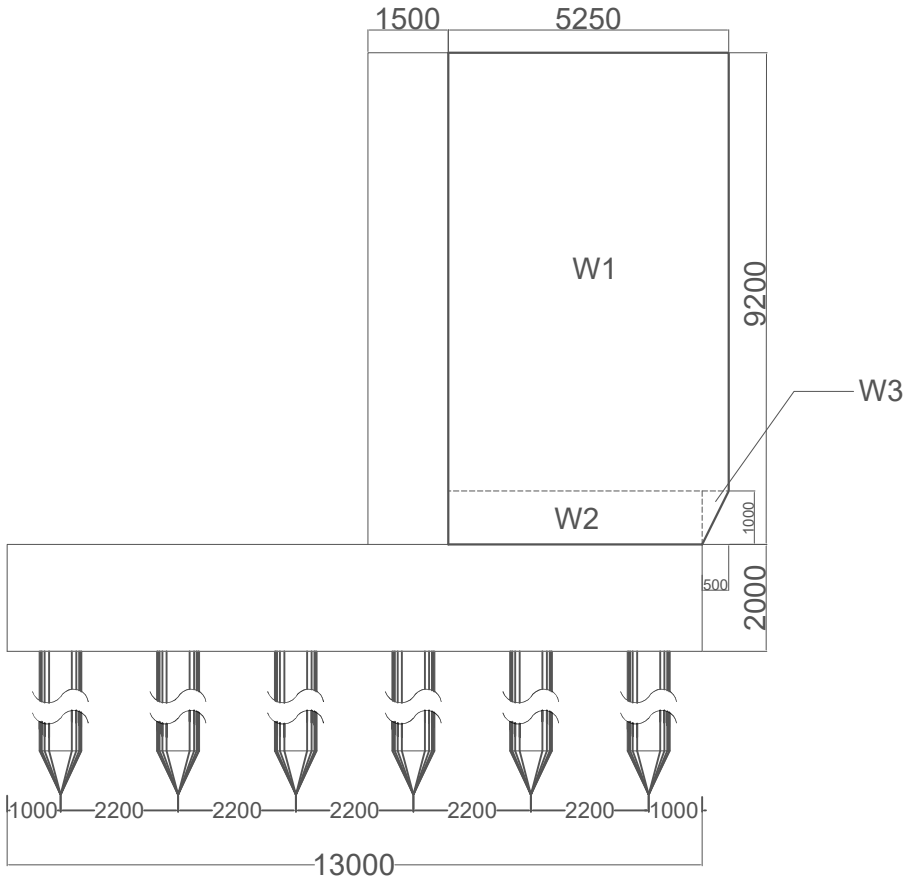
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**11**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**12**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			

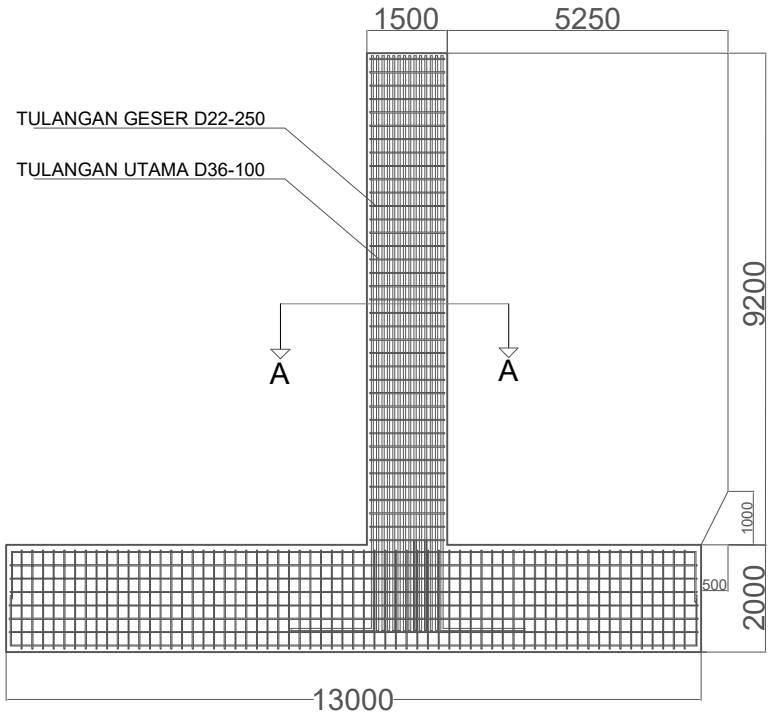


TAMPAK ABUTMENT
SKALA 1 : 200

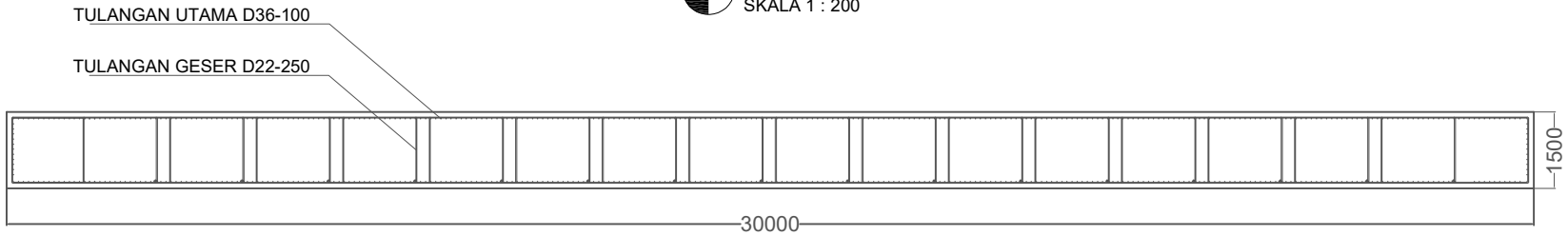


TAMPAK WINGWALL
SKALA 1 : 200

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**13**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			

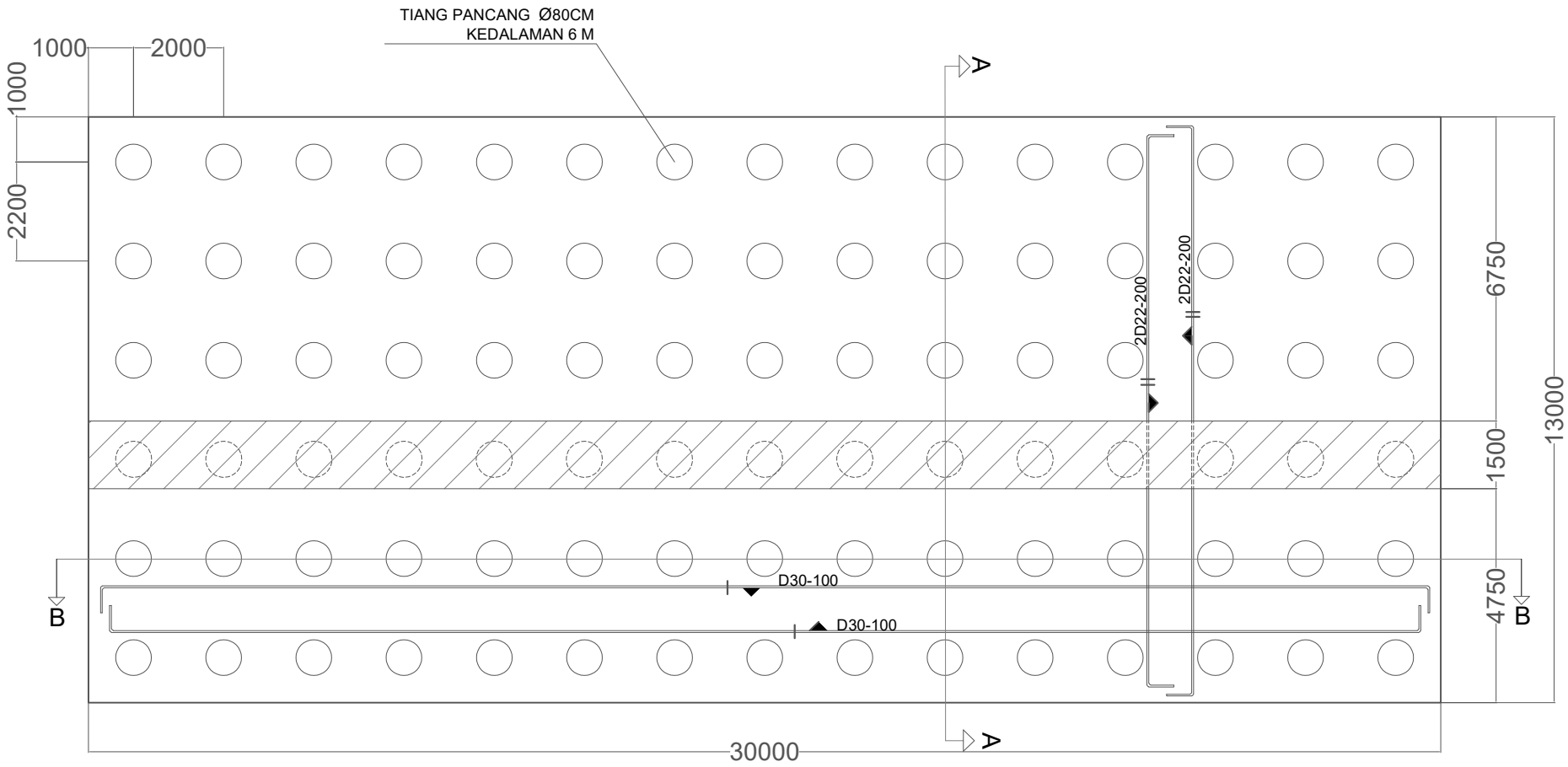


PENULANGAN ABUTMENT
SKALA 1 : 200



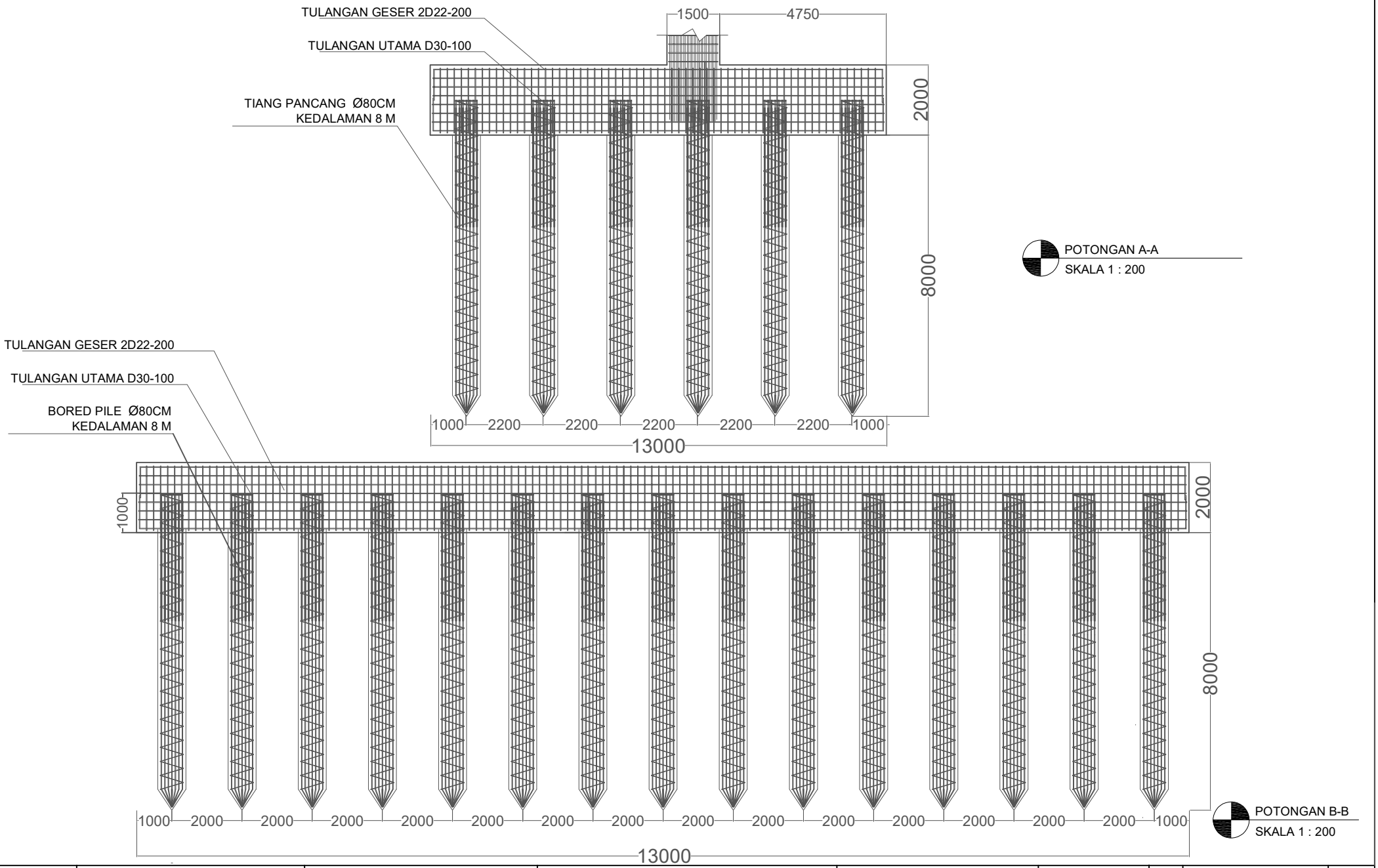
POTONGAN A-A
SKALA 1 : 200

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**14**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



DENAH RENCANA PILE CAP
SKALA 1 : 200

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR	**15**	JUMLAH GAMBAR	**16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**			



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	**JUDUL TUGAS**	**DOSEN PEMBIMBING**	**NAMA MAHASISWA**	NO. GAMBAR **16**	JUMLAH GAMBAR **16**
	MODIFIKASI JEMBATAN OVERPASS STA. 29+325 MENGGUNAKAN TIPE *HALF THROUGH ARCH BRIDGE*	BAMBANG PISCESA. ST., MT., Ph.D Prof. DR. Ir. HIDAYAT SOEGIHADRJO M., MS.	ACHMAD MIRZA NURUL HAQ 03111540000095	**REVISI:**	

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 PISCESA ST. MT. PH.D
NAMA MAHASISWA	: ACHMAD MIRZA NURUL HAQ
NRP	: 03111540000095
JUDUL TUGAS AKHIR	: MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN UNDERPASS JALAN TOL PASURUAN-PROBOLINGGO
	STA 29+325 MENGGUNAKAN TIPE HALF THROUGH ARCH BRIDGE
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
①		→ a/b perlu darimana ? (BALOK MELINTANG TANG) → D12 → Ø12 → CEK LATERAL BUCKLING → DIBERI BALOK PENGELANG ?	· penyelesaian Balok Memanjang dan pelat lantai kendaraan. → Balok Melintang	12/04 2019
②		→ Balok Melintang (gunakan box dengan stiffner) → Ikatan Angin → Midas. Gunakan mode Shapes	→ pengerjaan software midas → penyelesaian Balok melintang → perhitungan ikatan angin	17/05 2019
③		→ Periode Terlalu Kecil (1.2g) → Cek lewat Sap & Hitungan Manual →	→ Perhitungan Gempa Manual & Sap	22/11 2019
④		→Stiffent Pada Kolom Rektal Aktur → Sambungan Gelagar Memanjang - Melintang (pakai Vu. G.melintang) → Vn. Sambungan = 1.5 Vn. Profil → Sambungan kabel (Tual saja) → Gambar sambungan dicantumkan	→ Perbaikan Tulisan → Perbaikan Gambar → kontrol kekuatan diperbaiki → Kontrol stiffener pada kolom	23/12 2019

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

Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Achmad Mirza Nurul Haq
NRP	: 03111540000095
JUDUL TUGAS AKHIR	: Modifikasi perencanaan Jembatan Underpass Jalan TOL Pasuruan STA 29+325 Menggunakan Tipe Half Through Arch Bridge
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
5		→ Sambungan Gelagar Memanjang → Sambungan Gelagar Melintang → Sambungan Ikatan Angin → Sambungan portal → perletakan → perencanaan Abutment	→ Gambar Sambungan Gelagar memanjang → Gambar sambungan Gelagar melintang → Gambar sambungan Ikatan Angin → Gambar sambungan portal → Gambar Abutment	
6		→ Jurnal		

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

Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, M.Me
NAMA MAHASISWA	Achmad Mirza Nurul Haq
NRP	03111540000095
JUDUL TUGAS AKHIR	Modifikasi Perencanaan Jembatan Underpass Jalan Tol Pasuruan Probolinggo (Paspro) Menggunakan tipe Half Through Arch Bridge
TANGGAL PROPOSAL	
NO. SP-MMTA	

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
		→ Perhitungan Ulang.	→ Balok Melintang.	
		→ Balok Memanjang		
	11-Okt-19	→ Balok Melintang	→ Ikatan Angin → Portal Akhir	
	18/10/19	→ Box Non Prismatik → Stiffner pada Box Girder AASHTO → Sambungan Rigid Connection (1m) → PORTAL AKHIR di Ujung Tinggi (6m)	→ Box non prismatik → Stiffner → Sambungan Rigid	
	25/10/19	→ Jarak Stiffner → Rigid Connection pada Balok Memanjang → Sambungan double plate	→ Cable Hanger + Sambungan (Steel) → Perencanaan Ranyta Utama →	

Biodata Penulis

Penulis memiliki nama Achmad Mirza Nurul Haq. Lahir di Kabupaten Banyuwangi pada tanggal 27 April 1997. Penulis menempuh pendidikan formal di MI Sunan Giri Srono Banyuwangi, SMP Darul Ulum 1 Peterongan Jombang, dan MA Amanatul Ummah Surabaya. Setelah lulus dari MA Amanatul Ummah Surabaya, penulis melanjutkan Pendidikan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil FTSPK - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015. Penulis memilih bidang Struktur untuk Tugas Akhir yang dikerjakan. Pada masa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi dalam Himpunan Mahasiswa Sipil di bidang sosial dan kemasyarakatan selama 2 tahun. Jika pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: mirza.achmad777@gmail.com