



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

# MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN TOL BATANG- SEMARANG STA 448-776 MENGGUNAKAN BOX GIRDER PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL METODE BALANCED CANTILEVER

KEVIN RAENALDO  
NRP 10111510000080

Dosen Pembimbing  
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo,MS.  
NIP. 19600105 198603 1 003

PROGRAM SARJANA TERAPAN  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



FINAL APPLIED PROJECT - VC 181819

# DESIGN MODIFICATION OF BATANG-SEMARANG TOLL ROAD STA 448+776 BRIDGE USING PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL BOX GIRDER WITH CAST IN PLACE BALANCED CANTILEVER METHOD

KEVIN RAENALDO  
NRP 10111510000080

Supervisor  
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS.  
NIP. 19600105 198603 1 003

APPLIED BACHELOR PROGRAM  
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTEMENT  
VOCATIONAL FACULTY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



**TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819**

**MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN TOL BATANG-  
SEMARANG STA 448-776 MENGGUNAKAN BOX  
GIRDER PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL  
METODE BALANCED CANTILEVER**

**KEVIN RAENALDO  
NRP 10111510000080**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo,MS.  
NIP. 19600105 198603 1 003**

**PROGRAM SARJANA TERAPAN  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**FINAL APPLIED PROJECT - VC 181819**

**DESIGN MODIFICATION OF BATANG-SEMARANG  
TOLL ROAD STA 448+776 BRIDGE USING  
PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL BOX  
GIRDER WITH CAST IN PLACE BALANCED  
CANTILEVER METHOD**

**KEVIN RAENALDO  
NRP 10111510000080**

**Supervisor  
Ir. Ibnu Pudji Rahardjo,MS.  
NIP. 19600105 198603 1 003**

**APPLIED BACHELOR PROGRAM  
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTEMENT  
VOCATIONAL FACULTY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN TOL BATANG-  
SEMARANG STA 448-776 MENGGUNAKAN BOX  
GIRDER PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL  
METODE BALANCED CANTILEVER**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Terapan Teknik  
Program Studi Diploma 4 Teknik Sipil  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Surabaya, 24 Juli 2019

Disusun Oleh:  
Mahasiswa



**Kevin Raenaldo**

NRP. 10111510000080

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Surabaya, 24 Juli 2019

Dosen Pembimbing

29 JUL 2019



**Dr. Henu Pudji Rahardjo, MS**

TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
NIP. 196004051986031003



**BERITA ACARA**  
**TUGAS AKHIR TERAPAN**  
 PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK SIPIL  
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :  
 44852/IT2.VI.B.1/PP.05.02/20199

Tanggal : 16 Juli 2019

<b>Judul Tugas Akhir Terapan</b>	Modifikasi Desain Jembatan Tol Batang-Semarang STA 448+776 Menggunakan Box Girder Prestressed Concrete Segmental Metode Balanced Cantilever		
<b>Nama Mahasiswa</b>	Kevin Raenaldo	<b>NRP</b>	10111510000080
<b>Dosen Pembimbing 1</b>	Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS NIP 19600105 198603 1 003	<b>Tanda tangan</b>	
<b>Dosen Pembimbing 2</b>	- NIP -	<b>Tanda tangan</b>	-

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gambar tulangan perseguan dibungkus dg. <del>glt</del> dari <del>st</del> atas</li> <li>- Tlg. kantilever diganti dg yg bawah.</li> </ul>	 R. Buyung Anugraha A, ST. MT NIP 19740203 200212 1 002
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keterangan tulon pada detail layout tulon dan dibungkus <del>tulon</del> tabel ket. in tulon.</li> <li>- Peris antar blok kurangi ke-bawah</li> <li>- Keterangan bahwa mutu beton bisa diturunkan tidak perlu <math>f' = 50 \text{ MPa}</math>.</li> </ul>	 Ir. Chomaedhi, Ces Geo NIP 19550319 198403 1 001
..... ..... .....	-
..... ..... .....	NIP -
..... ..... .....	-
..... ..... .....	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
		-	-
R. Buyung Anugraha A, ST. MT NIP 19740203 200212 1 002	Ir. Chomaedhi, Ces Geo NIP 19550319 198403 1 001	NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1 	Dosen Pembimbing 2 -
	Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS NIP 19600105 198603 1 003	NIP -



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 Kevin Rinaldo 2  
**NRP** : 1011510000080 2  
**Judul Tugas Akhir** : Modifikasi Desain Jembatan Tol Batang-Sematang STA 448+776  
 Menggunakan Box Girder Prestressed Concrete Segmental Metode  
 Balance Cantilever  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Ibnu Pudi Rahardjo MS

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
1.	11 - 2 - 19	Cari referensi traveller (berat, lebar, max)		
		Layout parabola diperbaiki, cari referensi		
		$h$ - ujung & $h$ tengah bentang.		B C K
		$h$ tengah bentang > 1/5 (tinggi cell) $U$ / akses		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.	21 - 2 - 19.	Tendon kantilever ditambahkan.		
		Jarak minimum antar tendon pakai 30cm		
		Target chamber segmen sebelum closure		B C K
		3-4 cm.		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.	24 - 2 - 19.	Berat komponen traveller direvisi		
		cek kondisi unbalaced (selisih 1 segmen)		B C K
		Kontrol deformasi bentang menerus akibat gempa (arah horizontal).		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4.	13 - 3 - 19	Efisiensi pondasi pakai AASHTO.		
		Revisi layout pondasi (jumlah tiang).		B C K
		Jarak antar tiang 3D-4D		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.	26 - 3 - 19	Revisi bentuk pilar		
		Dimensi abutmen terlalu besar (cek lagi).		
		Revisi mass source permedaan.		B C K
		lanjutan gambar.		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS.

Terselesainya Tugas Akhir Terapan ini tentunya tidak terlepas dari bantuan beberapa pihak yang berpegaruh selama proses pengerjaan laporan ini. Untuk itu, penulis mengucapkan terimakasih terutama teruntuk:

1. Bapak ibu tercinta yang selalu mendukung dan mendoakan penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir Terapan ini.
2. Bapak Ir. Ibnu Pudji Rahardjo,MS. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, motivasi dan semangat sehingga laporan TAT ini bisa terselesaikan secara baik.
3. Teman-teman Departemen Teknik Infrastruktur Sipil khususnya kelas B 2015, yang telah bersama sama berjuang sampai pada fase ini.

Penulis menyadari bahwa laporan TAT yang telah penulis buat masih jauh dari kesempurnaan, sehingga saran dan kritik sangat penulis harapkan dalam penyempurnaan laporan di masa depan. Akhir kata, selaku penyusun memohon maaf apabila terdapat kesalahan kata dalam penulisan dan pengolahan data, semoga laporan proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca

Surabaya, Juli 2019

Penulis

**MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN TOL BATANG-  
SEMARANG STA 448-776 MENGGUNAKAN BOX  
GIRDER PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL  
METODE BALANCED CANTILEVER**

**Nama Mahasiswa** : Kevin Raenaldo  
**NRP** : 1011151000080  
**Departemen** : Teknik Infrastruktur Sipil  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS.

**ABSTRAK**

Pembangunan Jalan Tol Batang-Semarang adalah salah satu proyek ruas Jalan Tol Trans Jawa. Pembangunan jalan tol ini mempunyai beberapa tantangan salah satunya adalah pembangunan jembatan *overpass* yang melewati jalan tol aktif pada STA 448+776. Tantangan utama pembangunan jembatan *overpass* pada STA 448+776 adalah lalu lintas pada tol aktif di bawah *overpass* tidak dapat dihentikan untuk bekerja setiap saat.

Selain itu, desain struktur eksisting jembatan *overpass* menggunakan balok girder I dengan bentang 30,8 m, 50,8 m, dan 30,8 m. Penggunaan girder I dengan bentang 50,8 m pada bentang tengah cukup beresiko dalam pekerjaan pelaksanaan. Karena, girder I dengan bentang 50,8 m akan cenderung mudah mengalami tekuk akibat gaya lateral saat pengangkatan. Sehingga resiko terjadinya kecelakaan girder I patah ataupun jatuh ketika pengangkatan dapat terjadi.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi desain jembatan *overpass* tol Batang-Semarang STA 448+776 menggunakan *box girder* prategang dengan metode *cast in place balanced cantilever*. Sistem *box girder* tidak terpengaruh gaya lateral saat pelaksanaan, sehingga resiko kecelakaan dapat

diminimalkan. Penggunaan metode *balanced cantilever* akan mempermudah pelaksanaan pembangunan jembatan karena dalam pelaksanaan tidak akan banyak mengganggu lalu lintas jalan tol aktif di bawahnya.

**Kata Kunci:** *box-girder*, beton prategang, metode *balanced cantilever*, *cast in place*

**DESIGN MODIFICATION OF BATANG-SEMARANG  
TOLL ROAD STA 448+776 BRIDGE USING  
PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL BOX GIRDER  
WITH CAST IN PLACE BALANCED CANTILEVER  
METHOD**

**Student's Name** : Kevin Raenaldo  
**NRP** : 10111510000080  
**Departement** : Teknik Infrastruktur Sipil  
**Supervisor** : Ir. Ibnu Pudji Rahardjo, MS.

**ABSTRACT**

The construction of the Batang-Semarang Toll Road is one of the projects in the Trans Java Toll Road. The construction of this toll road has several challenges, one of which is the construction of an overpass bridge that passes through an active toll road at STA 448 + 776. The main challenge for the construction of overpass bridges at STA 448 + 776 is that traffic on the active toll under the overpass cannot be stopped to work at any time

In addition, the design of the existing structure of the overpass bridge uses girder I beams with a span of 30.8 m, 50.8 m and 30.8 m. The use of girder I with a span of 50.8 m in the middle span is quite risky in the implementation work. Because, girder I with a span of 50.8 m will tend to be easy to experience buckling due to lateral force when lifting. So that the risk of accidental girder I breaks or falls when lifting can occur.

In this final project, modifications to the bridge design of the Batang-Semarang toll overpass STA 448 + 776 will be carried out using prestressed box girder using the cast in place balanced cantilever method. The box girder system is not affected by lateral forces during execution, so the risk of accidents can be minimized.

The use of the balanced cantilever method will facilitate the implementation of bridge construction because in the implementation there will not be much disruption to the active toll road traffic beneath it.

**Key words:** box-girder, prestress concrete, balanced cantilever, cast in place

**DAFTAR ISI**

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Gambar Eksisting dan Rencana.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Umum.....	7
2.2 Material .....	9
2.2.1 Beton Bertulang.....	9
2.2.2 Beton Prategang .....	11
2.3 Peraturan-Peraturan yang Digunakan.....	18
2.4 Pembebanan .....	18
2.4.1 Beban Permanen.....	18
2.4.2 Beban Lalu Lintas .....	20

2.4.3 Beban Aksi Lingkungan .....	26
2.4.4 Kombinasi Pembebanan .....	35
2.5 Perletakan .....	35
2.6 Abutmen dan Pilar .....	36
2.7 Pondasi .....	37
2.7.1 Perencanaan Tiang Tunggal .....	37
2.7.2 Efisiensi Kelompok Tiang .....	41
2.7.3 Konstanta Pegas $K_v$ dan koefisien $k$ Tanah .....	41
2.8 Metode Konstruksi .....	42
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>45</b>
3.1 Diagram Alur Penulisan .....	45
3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	47
3.2.1 Studi Literatur .....	47
3.2.2 Pengumpulan Data .....	48
3.2.3 Preliminary Design .....	49
3.2.4 Analisa Struktur Bangunan Atas .....	49
3.2.5 Kontrol Kekuatan Bangunan Atas .....	50
3.2.6 Penulangan Segmen <i>Box girder</i> .....	51
3.2.7 Perancangan Bangunan Bawah .....	51
3.2.8 Kontrol Kekuatan Bangunan Bawah .....	52
3.2.9 Perencanaan Metode <i>Balanced Cantilever</i> .....	52
3.2.10 Penggambaran Teknik .....	52
<b>BAB IV PERENCANAAN STRUKTUR ATAS .....</b>	<b>53</b>
4.1 Data Perencanaan .....	53
4.2 Preliminary Design .....	54

4.2.1 Dimensi Penampang <i>Box girder</i> .....	54
4.2.2 Formwork Traveller dan Panjang Segmen .....	55
4.3 Penampang <i>Box girder</i> .....	56
4.4 Tegangan Ijin Material .....	57
4.5 Analisa Pembebanan .....	58
4.5.1 Beban Mati Jembatan .....	58
4.5.2 Beban Lalu Lintas .....	60
4.5.3 Beban Aksi Lingkungan.....	62
4.6 Parameter Tendon Prategang.....	64
4.6.1 Tipe Tendon Prategang .....	64
4.6.2 Kehilangan Akibat Gesekan Kabel .....	65
4.6.3 Kehilangan Akibat <i>Slip Anchor</i> .....	65
4.6.4 Kehilangan Akibat Pemendekan Elastis.....	65
4.6.5 Kehilangan Akibat Susut Beton .....	66
4.6.6 Kehilangan Akibat Rangkak Beton .....	66
4.6.7 Kehilangan Akibat Relaksasi Tendon .....	67
4.6.8 Input Parameter Tendon Prategang .....	67
4.7 Perencanaan Struktur Tahap Kantilever.....	68
4.7.1 Pengecoran Segmen A2.....	69
4.7.2 Pengecoran Segmen A3.....	72
4.7.3 Pengecoran Segmen A4.....	75
4.7.4 Pengecoran Segmen A5.....	78
4.7.5 Pengecoran Segmen A6.....	81
4.7.6 Pengecoran Segmen A7.....	84
4.7.7 Pengecoran Segmen A8.....	87



4.7.8	Pengecoran Segmen A9.....	90
4.7.9	Pengecoran Segmen A10.....	93
4.7.10	Pengecoran Segmen CL.....	96
4.7.11	Kontrol Tegangan <i>Top slab Box girder</i> .....	99
4.7.12	Kontrol Momen Retak dan Momen Ultimate.....	99
4.7.13	Kontrol Lendutan Kantilever.....	106
4.7.14	Kontrol Kapasitas <i>Formwork Traveller</i> .....	107
4.8	Perencanaan Struktur Bentang Menerus.....	107
4.8.1	Perencanaan Tendon Sisi Bawah.....	108
4.8.2	Kontrol Tegangan Penampang <i>Box girder</i> .....	110
4.8.3	Kontrol Geser Jembatan Menerus.....	114
4.8.4	Kontrol Geser Pons <i>Top slab</i> .....	116
4.8.5	Kontrol Torsi Jembatan.....	117
4.8.6	Kontrol Momen Retak dan Momen Ultimate.....	119
4.8.7	Kontrol Lendutan Jembatan.....	123
4.8.8	Penulangan <i>Box girder</i> .....	125
4.8.9	Perletakan Jembatan Bentang Menerus.....	133
<b>BAB V PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH.....</b>		<b>135</b>
5.1	Perencanaan Abutmen A1.....	135
5.1.1	Pembebanan Abutmen A1.....	135
5.1.2	Penulangan Abutmen A1.....	137
5.1.3	Kontrol Panjang Perletakan Minimum Abutmen.....	141
5.1.4	Penulangan Pile Cap.....	142
5.1.5	Kontrol Geser Pile Cap.....	143
5.2	Perencanaan Abutmen A2.....	145

5.2.1 Pembebanan Abutmen A2.....	145
5.2.2 Penulangan Abutmen A2.....	147
5.2.3 Kontrol Panjang Perletakan Minimum Abutmen .....	151
5.2.4 Penulangan Pile Cap.....	152
5.2.5 Kontrol Geser Pile Cap.....	153
5.3 Perencanaan Pilar P1 .....	155
5.3.1 Penulangan Pilar P1.....	155
5.3.2 Kontrol Deformasi Horizontal Pilar P1 .....	157
5.3.3 Penulangan Pile Cap.....	158
5.3.4 Kontrol Geser Pile Cap.....	160
5.3.5 Kontrol Pilar Akibat Momen Unbalanced.....	161
5.4 Perencanaan Pilar P2 .....	163
5.4.1 Penulangan Pilar P2.....	163
5.4.2 Kontrol Deformasi Horizontal Pilar P2 .....	165
5.4.3 Penulangan Pile Cap.....	166
5.4.4 Kontrol Geser Pile Cap.....	168
5.4.5 Kontrol Pilar Akibat Momen Unbalanced.....	169
5.5 Perencanaan Pondasi Borepile .....	171
5.5.1 Pondasi Borepile A1.....	174
5.5.2 Pondasi Borepile A2.....	177
5.5.3 Pondasi Borepile P1 .....	179
5.5.4 Pondasi Borepile P2 .....	182
<b>BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER .....</b>	<b>185</b>
6.1. Perencanaan Barrier Tepi .....	185
6.2. Perencanaan Barrier Tengah .....	187

BAB VII METODE PELAKSANAAN JEMBATAN .....	191
7.1. Umum .....	191
7.2. Metode Pelaksanaan Bangunan Bawah .....	191
7.3. Metode Pelaksanaan Bangunan Atas .....	192
7.3.1 Perakitan <i>Form Traveller</i> .....	192
7.3.2 <i>Setting Formwork</i> dan Pengecoran Segmen .....	194
7.3.3 Instalasi <i>Post-Tension</i> Tendon Kantilever .....	194
7.3.4 Pemindahan <i>Form Traveller</i> .....	195
7.3.5 Segmen <i>Closure</i> .....	196
7.3.6 Instalasi <i>Post-Tension</i> Tendon Sisi Bawah .....	197
BAB VIII PENUTUP .....	199
8.1 Kesimpulan .....	199
8.2 Saran .....	201
DAFTAR PUSTAKA .....	203
BIODATA PENULIS .....	205
LAMPIRAN .....	206

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Potongan Memanjang Jembatan Eksisting .....	4
Gambar 1.2 Potongan Melintang Jembatan Eksisting .....	4
Gambar 1.3 Jembatan <i>Overpass</i> STA 448+776 .....	5
Gambar 1.4 Tampak Atas Jembatan <i>Overpass</i> STA 448+776.....	5
Gambar 2.1 Sistem struktur efektif jembatan terhadap bentang ...	7
Gambar 2.2 Komponen Penampang <i>Box girder Multi Cell</i> .....	8
Gambar 2.3 Komponen Penampang <i>Box girder Single Cell</i> .....	8
Gambar 2.4 Grafik Tegangan dan Regangan Material Beton .....	10
Gambar 2.5 Filosofi Desain Beton Bertulang .....	10
Gambar 2.6 Filosofi Desain Beton Prategang .....	12
Gambar 2.7 Prinsip Pengangkuran Tendon.....	12
Gambar 2.8 Komponen Angkur Prategang .....	13
Gambar 2.9 <i>Layout</i> Tendon untuk <i>Box girder Balanced Cantilever</i> .....	13
Gambar 2.10 Beban Lajur (TD) .....	21
Gambar 2.11 Alternatif Penempatan Beban Lajur dalam Arah Memanjang .....	22
Gambar 2.12 Pembebanan Truk (TT) .....	23
Gambar 2.13 Faktor Beban Dinamis (FBD) untuk Beban Truk dan Beban Lajur .....	24
Gambar 2.14 Peta Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) ....	31
Gambar 2.15 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S <sub>s</sub> ) .....	32
Gambar 2.16 Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar (S <sub>1</sub> ).....	32
Gambar 2.17 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah .....	34
Gambar 2.18 Komponen Pot Bearing .....	36
Gambar 2.19 Perbandingan Mekanisme Perletakan Pot Bearing	36
Gambar 2.20 Beban yang Terjadi pada Abutmen .....	37
Gambar 2.22 Mekanisme daya dukung tiang .....	38
Gambar 2.23 Gambar Grafik intensitas daya dukung ultimate untuk ujung tiang.....	40

Gambar 2.24 Ilustrasi Metode Konstruksi Sistem <i>Cast in Place Segmental - Cantilever Construction</i> .....	44
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi .....	47
Gambar 4.1 Potongan Memanjang Jembatan Rencana .....	54
Gambar 4.2 Penampang <i>Box girder</i> Rencana.....	55
Gambar 4.3 Kapasitas Angkut <i>Traveller</i> ULMA CVS 165/4.5 ..	56
Gambar 4.4 Variasi Penampang <i>Box girder</i> .....	57
Gambar 4.5 Input Fungsi Respon Spektrum Rencana CsiBridge	63
Gambar 4.6 Pembebanan Pengaruh Temperatur Jembatan .....	64
Gambar 4.7 Koefisien Kurvatur dan <i>Wobble</i> Tendon VSL.....	65
Gambar 4.8 Input Parameter Tendon Prategang CSiBridge.....	68
Gambar 4.9 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A2	69
Gambar 4.10 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	70
Gambar 4.11 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa)..	71
Gambar 4.12 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A3 .....	72
Gambar 4.13 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	73
Gambar 4.14 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa)..	74
Gambar 4.15 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A4 .....	75
Gambar 4.16 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	76
Gambar 4.17 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa)..	77
Gambar 4.18 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A5 .....	78
Gambar 4.19 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	79
Gambar 4.20 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa)..	80
Gambar 4.21 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A6 .....	81
Gambar 4.22 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	82
Gambar 4.23 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa)..	83
Gambar 4.24 Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A7 .....	84
Gambar 4.25 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	85
Gambar 4.26 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	86

Gambar 4.27 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A8 .....	87
Gambar 4.28 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	88
Gambar 4.29 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa) ..	89
Gambar 4.30 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A9 .....	90
Gambar 4.31 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	91
Gambar 4.32 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa) ..	92
Gambar 4.33 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A10 .....	93
Gambar 4.34 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	94
Gambar 4.35 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa) ..	95
Gambar 4.36 Kantilever Tahap Pengecoran Segmen CL .....	96
Gambar 4.37 Kontrol Tegangan Sisi Atas <i>Box girder</i> (MPa) .....	97
Gambar 4.38 Kontrol Tegangan Sisi Bawah <i>Box girder</i> (MPa) ..	98
Gambar 4.39 Lendutan Tahap Kantilever Pengecoran Segmen A10 .....	106
Gambar 4.40 Potongan Memanjang Tahap Bentang Menerus ..	108
Gambar 4.41 Layout Tendon sisi Bawah <i>Box girder</i> .....	110
Gambar 4.42 Tegangan Sisi Atas Bentang Menerus Output CsiBridge .....	113
Gambar 4.43 Tegangan Sisi Atas Bentang Menerus Output CsiBridge .....	113
Gambar 4.44 Diagram Gaya Geser (V2) dan Kapasitas Geser Jembatan Menerus .....	115
Gambar 4.45 Area Geser Pons Plat Lantai .....	116
Gambar 4.46 Kontrol Mu Kombinasi KUAT ENV .....	122
Gambar 4.47 Kontrol Mu Kombinasi EKSTREM ENV .....	122
Gambar 4.48 Lendutan Jembatan Bentang Menerus .....	123
Gambar 4.49 <i>Pot Bearing</i> Mageba Te 3a with anchor plate .....	134
Gambar 5.1 Struktur Abutmen A1 .....	135
Gambar 5.2 Penulangan <i>Wingwall</i> A1 .....	140
Gambar 5.3 Panjang Perletakan Minimum Abutmen .....	142
Gambar 5.4 Abutmen A2 .....	145

Gambar 5.5 Penulangan <i>Wingwall</i> A2 .....	150
Gambar 5.6 Panjang Perletakan Minimum Abutmen .....	152
Gambar 5.7 Kolom Pilar P1 .....	155
Gambar 5.8 Permodelan Pilar P1 Kondisi <i>Unbalanced</i> .....	162
Gambar 5.9 Momen <i>unbalanced</i> Pilar P1 .....	162
Gambar 5.10 Struktur Kolom Pilar P2 .....	163
Gambar 5.11 Permodelan Pilar P1 Kondisi <i>Unbalanced</i> .....	170
Gambar 5.12 Momen <i>unbalanced</i> Pilar P1 .....	170
Gambar 5.13 Grafik Nilai Intensitas Daya Dukung Ujung Ttiang .....	173
Gambar 6.1 Barrier Tepi Jembatan.....	185
Gambar 6.2 Barrier Tengah Jembatan .....	188
Gambar 7.1 Perakitan <i>Traveller</i> Segmen <i>Hammer</i> .....	193
Gambar 7.2 Perakitan <i>Formwork</i> pada <i>Traveller</i> .....	193
Gambar 7.3 Pemindahan <i>Chain Block Formwork Traveller</i> .....	195
Gambar 7.4 Pengecoran Segmen <i>Closure</i> .....	197
Gambar 7.5 Layout tendon sisi bawah segmen CL span B .....	197

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai K untuk Komponen Pasca Tarik .....	17
Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati .....	19
Tabel 2.3 Faktor Beban Berat Sendiri (MS).....	19
Tabel 2.4 Faktor Beban Mati Tambahan (MA).....	20
Tabel 2.5 Faktor Beban akibat Tekanan Tanah (TA).....	20
Tabel 2.6 Beban untuk Beban Lajur (TD).....	21
Tabel 2.7 Faktor Beban untuk Beban Truk (TT).....	23
Tabel 2.8 Nilai V dan Z untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu .....	27
Tabel 2.9 Tekanan Angin Dasar .....	28
Tabel 2.10 Tekanan Angin Dasar ( $P_B$ ) untuk berbagai sudut serang .....	28
Tabel 2.11 Kelas Situs.....	30
Tabel 2.12 Penjelasan Peta Gempa .....	31
Tabel 2.13 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_s$ ) .....	33
Tabel 2.14 Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 detik ( $F_v$ ) .....	33
Tabel 2.15 Kombinasi Beban dan Faktor Beban.....	35
Tabel 2.16 Faktor Keamanan .....	38
Tabel 2.17 perkiraan q untuk tiang yang dicor di tempat (dalam ton/m <sup>2</sup> ).....	40
Tabel 2.18 Intensitas gaya gesek dinding tiang.....	40
Tabel 2.19 Efisiensi Kelompok Tiang.....	41
Tabel 2.22 Perbandingan metode pelaksanaan <i>box girder cast in place</i> .....	43
Tabel 4.1 Rekapitulasi Properti <i>Box girder</i> .....	57
Tabel 4.2 Berat Sendiri Segmen <i>Box girder</i> .....	59
Tabel 4.3 Tipe Tendon Prategang .....	64
Tabel 4.4 Kontrol Tegangan Ijin <i>Top slab</i> .....	99
Tabel 4.5 Kontrol Kapasitas Angkut Formwork Traveller .....	107
Tabel 4.6 Kehilangan Gaya Prategang Metode Lumpsom.....	108
Tabel 4.7 Tendon Prategang Sisi Bawah Span A-C.....	109
Tabel 4.8 Tendon Prategang Sisi Bawah Span B .....	109



Tabel 4.9 Tegangan Sisi Bawah dan Sisi Atas <i>Box girder</i> Span A .....	111
Tabel 4.10 Tegangan Sisi Bawah dan Sisi Atas <i>Box girder</i> Span B .....	111
Tabel 4.11 Tegangan Sisi Bawah dan Sisi Atas <i>Box girder</i> Span C .....	112
Tabel 4.12 Kontrol Geser Jembatan Menerus Span A .....	114
Tabel 4.13 Kontrol Geser Jembatan Menerus Span B.....	115
Tabel 4.14 Kontrol Geser Jembatan Menerus Span C.....	115
Tabel 4.15 Konstanta Torsi Elemen Box.....	118
Tabel 4.16 Kontrol Mcrack Span A.....	120
Tabel 4.17 Kontrol Mcrack Span B.....	120
Tabel 4.18 Kontrol Mcrack Span C.....	121
Tabel 4.19 Intensitas Penulangan <i>Top slab</i> ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ ) .....	125
Tabel 4.20 Intensitas Penulangan <i>Bottom slab</i> ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ ).....	126
Tabel 4.21 Intensitas Penulangan Interior Girder ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ ) ...	128
Tabel 4.22 Intensitas Penulangan Exterior Girder ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ ) ..	129
Tabel 4.23 Intensitas Penulangan Cantilever Wing ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ )	130
Tabel 4.24 Intensitas Penulangan Diafragma ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ ).....	132
Tabel 4.25 Kontrol Kapasitas Pot Bearing A1 .....	134
Tabel 4.26 Kontrol Kapasitas Pot Bearing A2 .....	134
Tabel 5.1 Output Kebutuhan Tulangan <i>Stopper</i> A1 .....	137
Tabel 5.2 Output Kebutuhan Tulangan <i>Backwall</i> A1.....	138
Tabel 5.3 Penulangan Ast1 <i>Top Face Wingwall</i> A1.....	140
Tabel 5.4 Penulangan Ast2 <i>Top Face Wingwall</i> A1.....	141
Tabel 5.5 Penulangan Ast1 <i>Bottom Face Wingwall</i> A1 .....	141
Tabel 5.6 Penulangan Ast2 <i>Bottom Face Wingwall</i> A1 .....	141
Tabel 5.7 Output Kebutuhan Tulangan Pilecap A1.....	142
Tabel 5.8 Output Kebutuhan Tulangan <i>Stopper</i> A2 .....	147
Tabel 5.9 Output Kebutuhan Tulangan <i>Backwall</i> A2.....	148
Tabel 5.10 Penulangan Ast1 <i>Top Face Wingwall</i> A2.....	150
Tabel 5.11 Penulangan Ast2 <i>Top Face Wingwall</i> A2.....	151
Tabel 5.12 Penulangan Ast1 <i>Bottom Face Wingwall</i> A2 .....	151
Tabel 5.13 Penulangan Ast2 <i>Bottom Face Wingwall</i> A2 .....	151

Tabel 5.14 Output Kebutuhan Tulangan Pilecap A2.....	152
Tabel 5.15 Output Kebutuhan Tulangan Pilecap P1 .....	158
Tabel 5.16 Output Kebutuhan Tulangan Pilecap P2 .....	166
Tabel 5.17 Efisiensi Kelompok Tiang AASHTO-LRFD .....	172
Tabel 5.18 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Borepile D= 1.8 m .....	173
Tabel 5.19 Gaya Ijin Tiang Borepile A1 .....	175
Tabel 5.20 Gaya pada Borepile A1 Akibat Kombinasi Beban..	175
Tabel 5.21 Kontrol Daya Dukung Borepile A1.....	176
Tabel 5.22 Penulangan Pondasi Borepile A1 .....	176
Tabel 5.23 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile A1 .....	176
Tabel 5. 24 Penulangan Geser Spiral Borepile A1 .....	177
Tabel 5.25 Gaya Ijin Tiang Borepile A2.....	177
Tabel 5.26 Gaya pada Borepile A2 Akibat Kombinasi Beban..	178
Tabel 5.27 Kontrol Daya Dukung Borepile A2.....	178
Tabel 5.28 Penulangan Pondasi Borepile A2 .....	179
Tabel 5.29 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile A2.....	179
Tabel 5.30 Penulangan Geser Spiral Borepile A2.....	179
Tabel 5.31 Gaya Ijin Tiang Borepile P1.....	180
Tabel 5.32 Gaya pada Borepile P1 Akibat Kombinasi Beban ..	180
Tabel 5.33 Kontrol Daya Dukung Borepile P1 .....	181
Tabel 5.34 Penulangan Pondasi Borepile P1.....	181
Tabel 5.35 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile P1 .....	181
Tabel 5.36 Penulangan Geser Spiral Borepile P1 .....	182
Tabel 5.37 Gaya Ijin Tiang Borepile P2.....	182
Tabel 5.38 Gaya pada Borepile P2 Akibat Kombinasi Beban ..	183
Tabel 5.39 Kontrol Daya Dukung Borepile P2 .....	183
Tabel 5.40 Penulangan Lentur Pondasi Borepile P2 .....	184
Tabel 5.41 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile P2 .....	184
Tabel 5.42 Penulangan Geser Spiral Borepile P2 .....	184

*“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan bagian yang sangat penting bagi aktivitas ekonomi bangsa Indonesia khususnya dalam proses distribusi. Pentingnya transportasi disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keadaan geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau terbentang dari Sabang hingga Merauke. Dengan kondisi geografis tersebut maka untuk mewujudkan pemerataan ekonomi Indonesia diperlukan sistem transportasi yang baik yang dapat mendukung proses distribusi dari daerah satu ke daerah lain. Perbaikan sistem transportasi dapat berupa perbaikan maupun pembangunan sarana dan prasarana transportasi. Salah satu tindakan pemerintah Indonesia dalam menyikapi masalah tersebut adalah dengan cara membangun prasarana transportasi Jalan Tol Trans Jawa yang akan menghubungkan Merak hingga Banyuwangi. Jalan tol ini akan mendukung proses distribusi dalam aktivitas ekonomi di Pulau Jawa.

Salah satu ruas Jalan Tol Trans Jawa adalah Jalan Tol Batang-Semarang yang menghubungkan Kabupaten Kendal sampai Kota Semarang. Ruas Tol Batang-Semarang memiliki panjang 75 kilometer yang terdiri dari 5 seksi yaitu, Seksi I Batang-Batang Timur (3,2 km), Seksi II Batang Timur-Waleri (36,35 km), Seksi III Waleri-Kendal (11,05 km), Seksi IV Kendal-Kaliwungu (13,5 km), dan Seksi V Kaliwungu-Krapyak (10,9 km). Dalam ruas tol sepanjang 75 km tersebut terdapat beberapa bangunan jembatan baik melewati sungai maupun melewati jalan lain (*overpass*). Salah satu dari bangunan jembatan tersebut adalah *Overpass* Simpang Susun Krapyak STA 448+776.

*Overpass* Simpang Susun Krapyak STA 448+776 mempunyai bentang total 110 m, terdiri dari 3 span yaitu 30 m,

50 m, dan 30 m. Metode pelaksanaan jembatan ini tergolong cukup sulit karena di bawah jembatan ini adalah ruas jalan tol aktif yang tidak bisa ditutup setiap saat untuk bekerja. Selain itu penggunaan girder I dengan bentang 50 m mempunyai resiko yang cukup tinggi. Salah satu resiko adalah girder patah dan jatuh pada saat pengangkatan akibat tekanan gaya lateral.

Pada tugas akhir ini, dilakukan modifikasi perancangan struktur Overpass Simpang Susun Krapyak STA 448+776 menggunakan jembatan *box girder* dengan bentang 160 m. Jembatan *box girder* mempunyai kelebihan:

1. *Box girder* lebih ekonomis untuk bentang panjang dan besar.
2. Saat Pelaksanaan tidak terpengaruh gaya lateral.
3. *Box girder* selain untuk menopang beban luar, interiornya dapat digunakan untuk penggunaan lain seperti jalur pipa gas atau pipa air.
4. Bentuk *box girder* memiliki nilai estetika yang dapat menambah keindahan struktur itu sendiri.

Modifikasi perancangan jembatan *box girder* ini menggunakan peraturan SNI 1725-2016 untuk menentukan pembebanan, SNI 2833-2016 untuk menentukan beban gempa, dan RSNI T-12 2004 untuk perencanaan beton jembatan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan maka diajukan rumusan masalah yaitu

1. Bagaimana menghitung dan merancang bangunan atas jembatan meliputi:
  - a. Merancang penampang *box girder*
  - b. Menghitung kebutuhan gaya prategang dan kebutuhan tendon
  - c. Menghitung dan merancang penulangan segmen *box girder*

2. Bagaimana menghitung dan merancang bangunan bawah jembatan?
  - a. Merancang abutment jembatan
  - b. Merancang pilar jembatan
  - c. Merancang pondasi tiang pancang
3. Bagaimana menghitung dan merancang perletakan jembatan?
4. Bagaimana merancang metode pelaksanaan jembatan?
5. Bagaimana menuangkan hasil hitungan dan perancangan ke dalam bentuk gambar teknik 2 dimensi dan 3 dimensi?

### **1.3 Tujuan**

Dari permasalahan di atas, adapun tujuan yang akan dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah

1. Menghitung dan merencanakan bangunan atas jembatan.
2. Menghitung dan merencanakan bangunan bawah jembatan.
3. Menghitung dan merencanakan perletakan jembatan.
4. Merencanakan metode pelaksanaan jembatan.
5. Memvisualisasikan hasil hitungan dan perencanaan ke dalam bentuk gambar teknik 2 dimensi dan 3 dimensi.

### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan perancangan dan perhitungan jembatan *box girder* kali ini adalah sebagai berikut

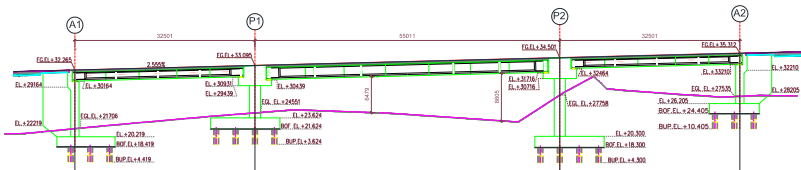
1. Perancangan disini tidak meninjau dari aspek biaya dan waktu tetapi hanya ditinjau dari aspek teknis.
2. Metode pelaksanaan jembatan hanya dibahas secara umum tanpa membahas detail setiap segmennya.
3. Penggambaran teknik menggunakan program bantu AutoCAD

### **1.5 Manfaat**

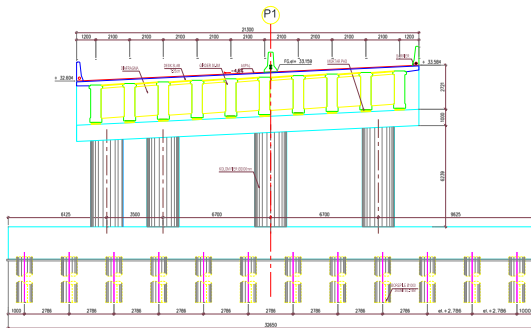
Manfaat yang didapatkan dari laporan tugas akhir ini adalah

1. Pembaca dapat memahami konsep perhitungan dan perancangan jembatan *box girder*
2. Pembaca dapat mengetahui hal-hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan jembatan. Sehingga kegagalan struktur pada jembatan dapat berkurang di masa depan.
3. Sebagai alternatif desain struktur jembatan menggunakan *box girder* dengan medan yang cukup sulit.

## 1.6 Gambar Eksisting dan Rencana



Gambar 1.1 Potongan Memanjang Jembatan Eksisting



Gambar 1.2 Potongan Melintang Jembatan Eksisting



Gambar 1.3 Jembatan *Overpass* STA 448+776



Gambar 1.4 Tampak Atas Jembatan *Overpass* STA 448+776

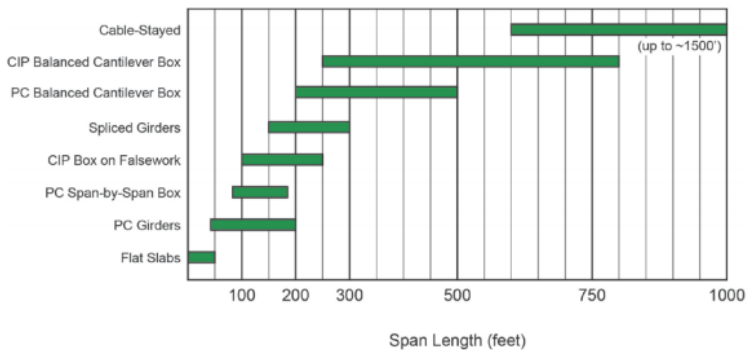


*“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Jembatan *box girder* sudah sangat banyak digunakan di Indonesia, khususnya untuk jembatan dengan bentang menengah. Penggunaan *box girder* untuk struktur jembatan bentang menengah dinilai sangat efektif baik dari segi pelaksanaan, biaya dan sistem struktur. Berikut adalah perbandingan sistem struktur efektif terhadap bentang jembatan menurut *U.S Department of Transportation Federal Highway Administration*.



Gambar 2.1 Sistem struktur efektif jembatan terhadap bentang

Berdasarkan bentuk penampang *box*, jembatan *box girder* dibagi menjadi 2 jenis yaitu

1. *Box girder Multi Cell*

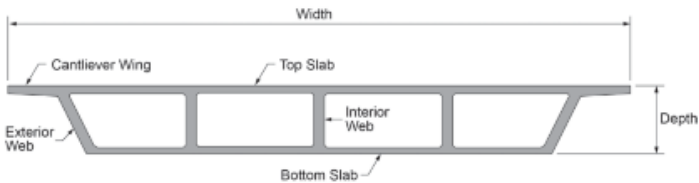
*Box girder* dengan *multi cell* umumnya digunakan untuk lebar jembatan yang besar. Dengan menggunakan *multi cell* maka akan terdapat *interior web* pada tengah penampang segmen. Fungsi dari *interior web* tersebut adalah untuk menopang *top slab* yang memiliki bentang yang cukup besar.

## 2. *Box girder Single Cell*

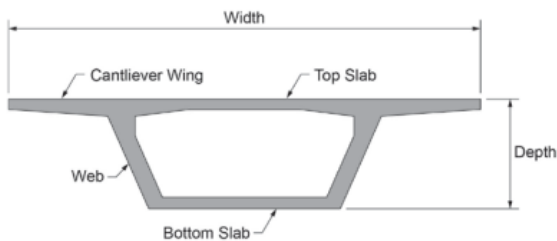
Penampang *box girder single cell* tidak memiliki lebar segmen yang besar. Dengan demikian panjang *top slab* pada arah melintang segmen tidak terlalu besar sehingga tidak memerlukan adanya *interior web*.

Komponen jembatan *box girder* terdiri dari 2 bagian utama yaitu

1. Struktur Bangunan Atas (*Box girder*)
  - a. *Top slab*
  - b. *Web*
  - c. *Cantilever Wing*
  - d. *Bottom slab*
2. Struktur Bangunan Bawah
  - a. Abutmen
  - b. Pondasi



Gambar 2.2 Komponen Penampang *Box girder Multi Cell*



Gambar 2.3 Komponen Penampang *Box girder Single Cell*

Dimensi *box girder* menurut *U.S Department of Transportation Federal Highway Administration* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

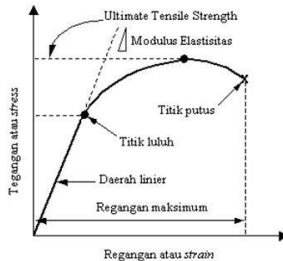
1. Taksiran tinggi *box girder*  
Tinggi *box girder* untuk bentang tunggal dapat digunakan  
$$D = 0.045L$$
2. Ketebalan minimum badan (web) *box girder*
  - a. 300 mm jika terdapat saluran untuk penempatan post tensioning tendon di badan box.
  - b. 350 mm jika terdapat anker tendon yang ditempatkan di badan box.
3. Ketebalan minimum *top slab*
  - a. Untuk lebar antar badan box  $< 3\text{m}$ ,  $tf = 175\text{mm}$
  - b. Untuk lebar antar badan box antara 3 - 4,5 m,  $tf = 200\text{ mm}$
  - c. Untuk lebar antar badan box antara 4,5 - 7,5m,  $tf = 250\text{ mm}$
4. Ketebalan minimum cantilever wing
  - a. Untuk lebar  $< 1,5\text{ m}$ ,  $tf = \frac{L_c}{5}$
  - b. Untuk lebar 1,5 m - 1,8 m,  $tf = 30 + (L_c - 1,5)$   
Dimana  $L_c$  dalam m dan  $tf$  dalam cm

## 2.2 Material

### 2.2.1 Beton Bertulang

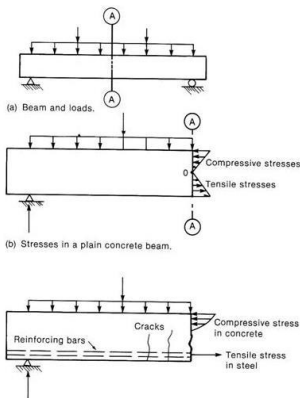
Material beton adalah material yang disusun dari bahan pengikat dan bahan pengisi. Bahan pengikat meliputi semen dan air serta bahan tambahan lain yang mempunyai sifat karakter pozzolan (*fly ash*, abu sekam padi *trash silica fume* dan sebagainya). Bahan pengisi meliputi pasir kerikil atau batu pecah. Bahan lain (*admixture*) dapat ditambahkan pada campuran beton untuk meningkatkan workability, durability dan waktu pengerasan. Beton mempunyai sifat spesifik dengan kuat tekan yang tinggi, dan kuat tarik yang rendah. Beton dapat retak karena adanya tegangan tarik akibat beban, susut yang tertahan atau perubahan temperatur.

Sedangkan beton bertulang adalah kombinasi dari beton dan baja, dimana baja tulangan memberikan kekuatan tarik yang tidak dimiliki beton. Baja tulangan juga dapat memberikan tambahan kekuatan tekan pada struktur beton.



Gambar 2.4 Grafik Tegangan dan Regangan Material Beton

Sifat utama material beton memiliki kuat tarik yang rendah. Oleh karena itu, material beton perlu dikombinasi dengan material baja bertulang yang mempunyai sifat *properties* kuat tarik yang tinggi untuk mengatasi tegangan tarik pada penampang struktur.

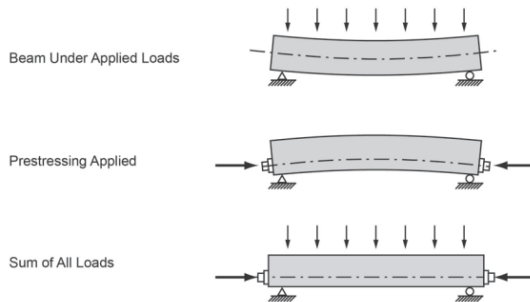


Gambar 2.5 Filosofi Desain Beton Bertulang

### 2.2.2 Beton Prategang

Material beton prategang saat ini sangat banyak digunakan dalam struktur jembatan. Salah satu alasan penggunaan beton prategang adalah dengan beton prategang penggunaan material beton dapat dikurangi sehingga dimensi struktur dapat lebih kecil dibandingkan menggunakan beton konvensional. Dalam perencanaan beton prategang terdapat 3 konsep desain yang umum digunakan, yaitu

1. Prategang sebagai pengubah beton menjadi bahan yang elastis. (Eugene Freyssinet)  
Dalam konsep ini dianggap beton sebagai bahan yang getas diberi tekanan terlebih dahulu, sehingga pada saat beton menerima beban yang menyebabkan terjadinya tegangan tarik akan dapat dipikul karena sudah ada tekanan sebelum ada beban.
2. Prategang sebagai kombinasi kerja baja mutu tinggi dengan beton.  
Konsep ini menganggap beton prategang merupakan kombinasi kerja antara beton sebagai penahan tegangan tekan dan baja mutu tinggi sebagai tulang tarik, dengan demikian resultan gaya pada kedua bahan membentuk kopel momen yang akan digunakan menahan beban luar.
3. Prategang sebagai penyeimbang beton (*load balancing*) (TY Lin - Ned H Burns)  
Konsep ini memanfaatkan gaya prategang sebagai cara untuk membuat seimbang beban dan gaya pada batang/balok. Penerapannya dengan menganggap beton sebagai benda bebas yang didukung oleh suatu beban sebagai pengganti tendin yang bekerja sepanjang bentang



Gambar 2.6 Filosofi Desain Beton Prategang

### Sistem Pengankuran

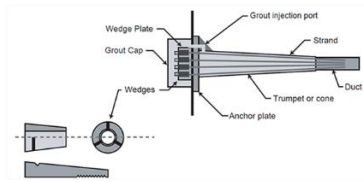
Setelah dilakukan penarikan pada tendon prategang maka untuk menahan dan mendistribusikan gaya prategangan yang diberikan dilakukan pengankuran tendon pada beton. Secara umum prinsip terdapat 3 prinsip pengankuran pada beton prategang.

1. Prinsip kerja pasak dan menghasilkan penjepit gesek
2. Menggunakan perletakan langsung dari kepala paku keling atau baut yang dibuat pada ujung kabel
3. Membelitkan beton ke ujung kabel

Dari beberapa prinsip di atas, sistem pengankuran yang paling populer adalah dengan mengankurkan strand dengan prinsip kerja pasak dengan pemasangan blok ankur yang dijepit dengan baji (*wedge*).



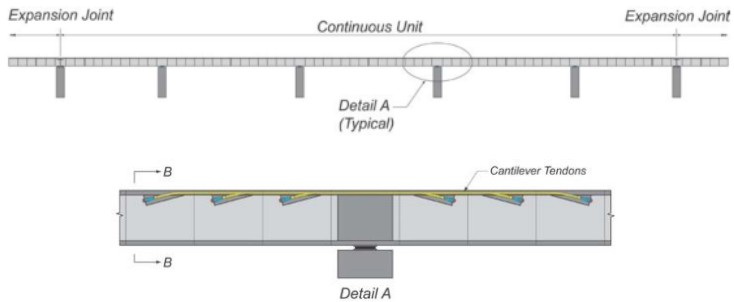
Gambar 2.7 Prinsip Pengankuran Tendon



Gambar 2.8 Komponen Angkur Prategang

### Layout Tendon Balok

Struktur jembatan *box girder* dengan sistem prategang *post-tension* biasanya memiliki tata letak tendon berbentuk parabola. letak tendon pada jembatan rendah pada tengah bentang dan semakin naik pada kedua ujung bentangnya. Pada jembatan *balanced cantilever*, tendon prategang diangkur pada anchor blister yang terpassang pada segmen segmen jembatan yang akan mentransferkan gaya prategang ke penampang *box girder*.



Gambar 2.9 *Layout Tendon* untuk *Box girder Balanced Cantilever*

### Gaya Pratekanan Awal

Gaya pratekanan yang diberikan pada *box girder* diasumsikan tidak melebihi tegangan ijin penampang *box girder*. Tegangan ijin *box girder* terdiri dari dari 2 kondisi yaitu



1. Tegangan ijin beton dalam kondisi awal (Transfer)  
Kondisi transfer beton adalah kondisi beton sesaat setelah beton diberikan gaya pratekan. Kuat tekan beton ( $f_{ci}'$ ) yang direncanakan pada kondisi transfer dinyatakan dalam satuan MPa adalah

$$f_{ci}' = 0.8 f_c'$$

Berdasarkan RSNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2.2 untuk komponen beton prategang pada saat transfer, tegangan tekan dan tarik dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut

$$\bar{\sigma}_{tekan} = 0.6 f_{ci}'$$

$$\bar{\sigma}_{tarik} = 0.6 \sqrt{f_{ci}'}$$

2. Tegangan ijin beton dalam kondisi layan (*Service*)  
Kondisi transfer beton adalah kondisi beton saat beban beban layan sudah terjadi.. Berdasarkan RSNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2.2 untuk komponen beton prategang pada saat transfer, tegangan tekan dan tarik dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut

$$\bar{\sigma}_{tekan} = 0.45 f_c'$$

$$\bar{\sigma}_{tarik} = 0.5 \sqrt{f_c'}$$

Tegangan yang terjadi pada beton akibat gaya pratekanan yang diberikan dapat dihitung dengan persamaan

$$\sigma = \frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o e y}{I} \mp \frac{M y}{I}$$

### Kehilangan Gaya Prategang

Dalam perencanaan beton prategang, analisis gaya-gaya efektif kehilangan gaya prategang dari tendon harus diperhitungkan. Kehilangan gaya prategang akan terjadi dalam

dua tahap dan keduanya akan sangat mempengaruhi hasil akhir gaya-gaya efektif tendon yang akan terjadi (Ned & Burn,1993)

### 1. Kehilangan Tahap Pertama

Pada saat setelah peralihan gaya prategang ke penampang beton, tegangan dievaluasi sebagai tolak ukur perilaku elemen struktur. Pada tahap ini kehilangan gaya prategang meliputi

#### Akibat Gesekan Kabel (*Wobble Effects*)

Selama terjadi pengalihan gaya pratekan pada sistem pasca tarik, kabel yang ditarik sedikit demi sedikit akan mengalami kehilangan tegangannya pada saat tendon melengkung. Kehilangan akibat gesekan kabel dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -KL - \mu\alpha$$

Dimana

K = Koefisien Wobble

L = Panjang Bersih Balok (m)

$F_{1,2}$  = Gaya Pratekan

$\mu$  = Koefisien Kelengkungan

$\alpha$  = Sudut pusat tendon (L/R)

Akibat Pemendekan Elastis (ES)

Pada saat gaya pratekan dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja akan ikut memendek bersamanya yang menyebabkan kehilangan prategang pada baja pula. Untuk memperhitungkan gaya prategang adalah dengan persamaan berikut

$$ES = K_{ES} E_s \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

Nilai  $f_{cir}$  dapat diambil dari persamaan berikut

$$f_{cir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o e y}{I} - \frac{M y}{I}$$

Dimana :

$f_{cir}$  = Tegangan beton pada garis netral baja (cgs) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang

$M$  = Momen akibat beban yang ditinjau

$K_{es}$  = 1 (untuk komponen struktur pratarik)

= 0,5 (untuk komponen struktur pasca tarik)

$E_s$  = Modulus elastisitas tendon prategang

$E_{ci}$  = Modulus elastisitas beton pada saat pengangkutan

Akibat Slip Angkur (SA)

Pada sistem pasca tarik, saat tendon tendon ditarik sampai nilai penuh dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke angkur. Peralatan angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi, jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Besarnya gelincir tergantung dari jenis baji dan tegangan pada kawat, nilai rata rata sekitar 2,5 mm. Persamaan yang digunakan untuk menghitung prategang akibat slip angkur adalah sebagai berikut.

$$ANC = \Delta_{fs} = \frac{\Delta_a E_s}{L}$$

Dimana

$\Delta_a$  = Deformasi pengangkutan (mm)

$E_s$  = Modulus elastisitas strand (MPa)

$L$  = Panjang kabel (mm)

Kehilangan Tahap Kedua

Pada saat beban bekerja setelah semua gaya prategang terjadi dan tingkatan prategang efektif jangka panjang tercapai. Akibat waktu yang lama akan terjadi kehilangan prategang sebagai berikut

### Akibat Susut Beton (SH)

Susut adalah sifat alami beton yang tidak dapat dihindari. Kehilangan gaya prategang akibat susut yang terjadi pada material beton dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_S \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)$$

Dimana

$K$  = koefisien faktor susut

$RH$  = Kelembaban relatif

$V/S$  = Perbandingan volume terhadap luas permukaan

Tabel 2.1 Nilai  $K$  untuk Komponen Pasca Tarik

### Akibat Rangkak Beton (CR)

Rangkak adalah salah satu sifat alami beton yang juga tidak dapat dihindari. Pengaruh rangkak pada beton prategang dapat menyebabkan kehilangan gaya prategang pada beton. Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dihitung menggunakan persamaan

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana

$K_{cr}$  = 1,6 (untuk komponen pasca tarik)

$f_{cds}$  = Tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja

$E_s$  = Modulus elastisitas strand

$E_c$  = Modulus elastisitas beton umur 28 hari

Akibat Relaksasi (RE)

Percobaan pada baja pratekan dengan perpanjangan yang konstan dan dijaga tetap pada suatu selang waktu tertentu. Memperlihatkan bahwa gaya prategang akan berkurang secara perlahan. Kehilangan gaya prategang ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$RE = [K_{RE} - J(SH + CR + ES)]C$$

### **2.3 Peraturan-Peraturan yang Digunakan**

Peraturan yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini adalah sebagai berikut.

1. SNI 1725 – 2016 “Pembebanan untuk Jembatan”
2. SNI 2833 – 2016 “Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa”
3. RSNI T-12 – 2004 “Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”

### **2.4 Pembebanan**

#### **2.4.1 Beban Permanen**

Beban permanen pada jembatan terdiri dari berat struktur maupun berat elemen-elemen tambahan. Setiap elemen struktur maupun tambahan mempunyai berat isi yang berbeda tergantung bahan penyusunnya. Besarnya berat isi untuk berbagai macam bahan dapat diketahui dari tabel berikut.

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati

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

#### 2.4.1.1 Berat Sendiri (MS)

Beban mati permanen (berat sendiri) dari bagian bangunan adalah beban dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap. Berikut faktor beban untuk berat sendiri (MS)

Tabel 2.3 Faktor Beban Berat Sendiri (MS)

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

#### 2.4.1.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Berikut faktor beban untuk beban mati tambahan (MA).

Tabel 2.4 Faktor Beban Mati Tambahan (MA)

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MI}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MI}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MI}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan <sup>(1)</sup>: Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

### 2.4.1.3 Tekanan Tanah (TA)

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari  $\gamma_s$  dan nilai rencana dari  $c$  serta  $O$ . Nilai-nilai rencana dari  $c$  serta  $O$  diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai dengan yang tercantum pada tabel berikut.

Tabel 2.5 Faktor Beban akibat Tekanan Tanah (TA)

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{TA}$ )			
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{TA}^S$ )		Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{TA}^U$ )	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00		<sup>(1)</sup>

Catatan <sup>(1)</sup>: Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.

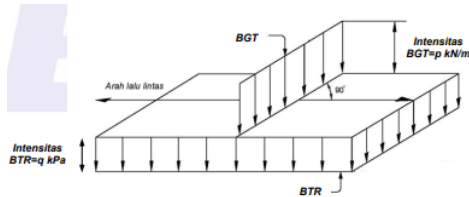
## 2.4.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas menurut SNI 1725-2016 pasal 8 terdiri dari Beban Lajur (TD), beban truk (TT), gaya rem (TB), dan beban pejalan kaki (TP).

### 2.4.2.1 Beban Lajur (TD)

Beban lajur (TD) bekerja pada seluruh lebar lantai kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang

ekivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan sebenarnya. Jumlah beban lajur yang bekerja tergantung pada lebar lajur kendaraan itu sendiri. Beban lajur pada lantai kendaraan terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis terpusat (BGT) seperti pada gambar. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur adalah sebagai berikut.



Gambar 2.10 Beban Lajur (TD)

Tabel 2.6 Beban untuk Beban Lajur (TD)

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

### 1. Intensitas Beban Lajur

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa, dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang jembatan yang dibebani.

$$L \leq 30 \text{ m} \quad : \quad q = 9,0 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m} \quad : \quad q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$$

Keterangan:

$q$  = Intensitas BTR arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  = Panjang jembatan yang dibebani (m)

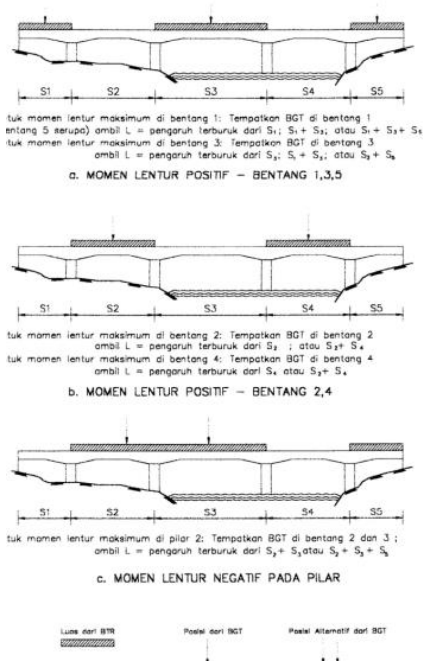


Panjang jembatan yang dibebani  $L$  adalah panjang total BTR yang bekerja pada jembatan.

Beban garis terpusat (BGT) mempunyai intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 19 kN/m.

## 2. Distribusi Beban Lajur

Beban lajur harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen BTR dan BGT dari beban lajur secara umum dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.11 Alternatif Penempatan Beban Lajur dalam Arah Memanjang

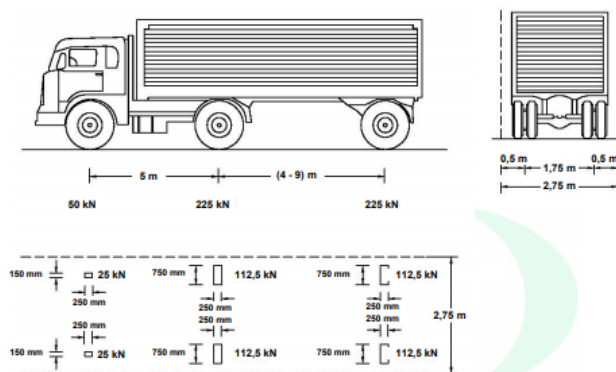
### 2.4.2.2 Beban Truk (TT)

Selain beban lajur, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk (TT), Beban truk (TT) tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban lajur (TD). Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban truk seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2.7 Faktor Beban untuk Beban Truk (TT)

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

Pembebanan truk terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti pada gambar. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai.



Gambar 2.12 Pembebanan Truk (TT)

### 2.4.2.3 Faktor Beban Dinamis (FBD)

Berdasarkan SNI 1725-2016, besarnya BGT dari beban lajur (TD) dan beban truk (TT) harus cukup untuk memberikan

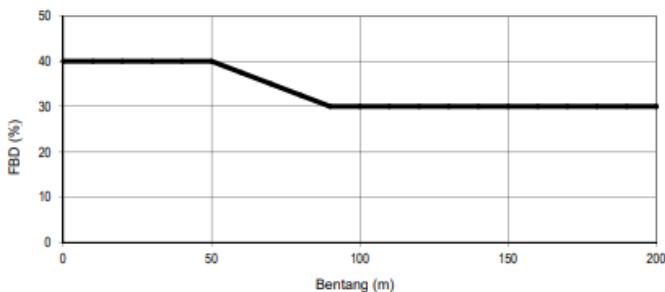
terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari bebas statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari beban lajur (TD) tidak dikali dengan FBD. Seperti tercantum dalam SNI 1725-2016 gambar 28, FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  diambil nilai dari rumus berikut

$$L_E = \sqrt{L_{av}L_{max}}$$

Keterangan

$L_{av}$  = Panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

$L_{max}$  = Panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus



Gambar 2.13 Faktor Beban Dinamis (FBD) untuk Beban Truk dan Beban Lajur

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis

permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya

#### 2.4.2.4 Gaya Rem (TB)

Gaya rem (TB) dalam SNI 1725-2016 pasal 8.7 harus diambil nilai terbesar dari

1. 25% dari berat gandar truk desain.
2. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang di masa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur pada SNI 1725-2016 pasal 8.4.3 berlaku untuk menghitung gaya rem.

#### 2.4.2.5 Gaya Sentrifugal (TP)

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor C sebagai berikut :

$$C = f \frac{v^2}{gR_l}$$

Keterangan

v = Kecepatan rencana jalan raya (m/detik)

f = Faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik

g = Percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik<sup>2</sup>)

$R_l$  = Jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

### 2.4.3 Beban Aksi Lingkungan

Dalam SNI 1725-2016 pasal 9, beban aksi lingkungan memasukkan beban akibat pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

#### 2.4.3.1 Beban Angin

##### 1. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin dalam SNI 1725-2016 pasal 9.6.1 diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90km/jam – 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan lailing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$ , harus dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)$$

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

$V_{10}$  = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas

permukaan air rencana (km/jam)

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

yang akan menghasilkan tekan

$Z$  = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana

beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)

$V_0$  = Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi (km/jam)

$Z_0$  = Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi

Tabel 2.8 Nilai  $V$  dan  $Z$  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

## 2. Beban Angin pada Struktur ( $EW_s$ )

Arah angin rencana harus diasumsikan horzontal kecuali ditentukan lain dalam SNI 1725-2016 pasal 9.6.3. dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

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

$P_B$  = Tekanan angin dasar (MPa)

Tabel 2.9 Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

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

### 3. Beban Angin Kendaraan ( $EW_i$ )

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam SNI 1725-2016 Tabel 31 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan

Tabel 2.10 Tekanan Angin Dasar ( $P_B$ ) untuk berbagai sudut serang

Sudut serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
	Beban lateral MPa	Beban longitudinal MPa	Beban lateral MPa	Beban longitudinal MPa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

### 2.4.3.2 Beban Gempa

#### 1. Gaya Gempa Horizontal Statis

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. 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 persamaan sebagai berikut

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

Dimana

$E_Q$  = gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  = koefisien respons gempa statis

$R_d$  = faktor modifikasi respons

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

#### 2. Spektrum Respons Gempa

Dalam perencanaan jembatan ini direncanakan beban gempa dengan referensi peraturan SNI 2833-2016 “Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa”, dengan metode analisa respons spektrum. Adapun langkah-langkah untuk perhitungan metode analisa respons spektrum adalah sebagai berikut.

#### Menentukan Kelas Situs Tanah

Berdasarkan SNI 2833-2016 pasal 5.3, klasifikasi situs pada pasal ini ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Dalam perencanaan jembatan menggunakan data dari nilai  $N$ . Dari



nilai N dapat ditentukan nilai kelas situs tanah menggunakan tabel di bawah.

$$N = \left( \sum di / \sum \frac{di}{N_i} \right)$$

Dimana

$d_i$  = kedalaman SPT (m)

$N_i$  = Nilai N-SPT

Tabel 2.11 Kelas Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air ( $w$ ) $\geq 40\%$ , dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ 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 $> 3$ m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m		

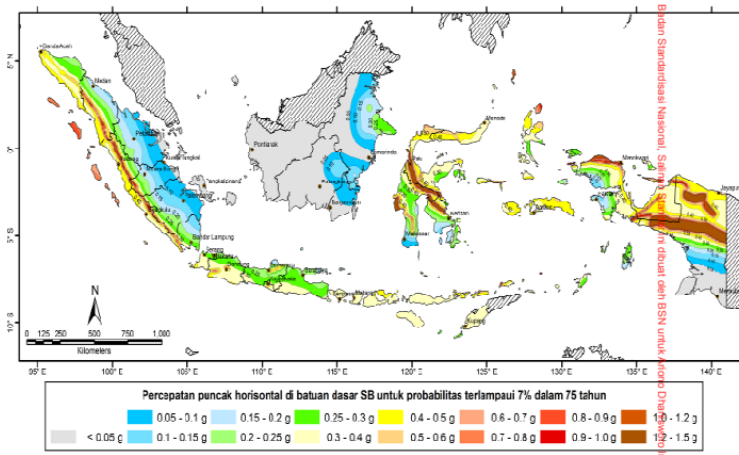
Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

### Menentukan Nilai PGA, S<sub>s</sub> dan S<sub>1</sub>

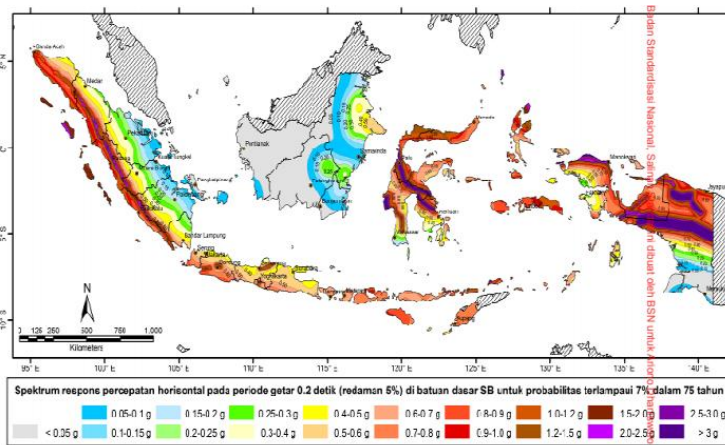
Nilai faktor PGA, S<sub>s</sub> dan S<sub>1</sub> ditentukan dengan melihat lokasi jembatan pada peta gempa. Peta gempa dalam SNI 2833-2016 pasal 5.2.1 meliputi peta PGA dan respon spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili level hazard (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Tabel 2.12 Penjelasan Peta Gempa

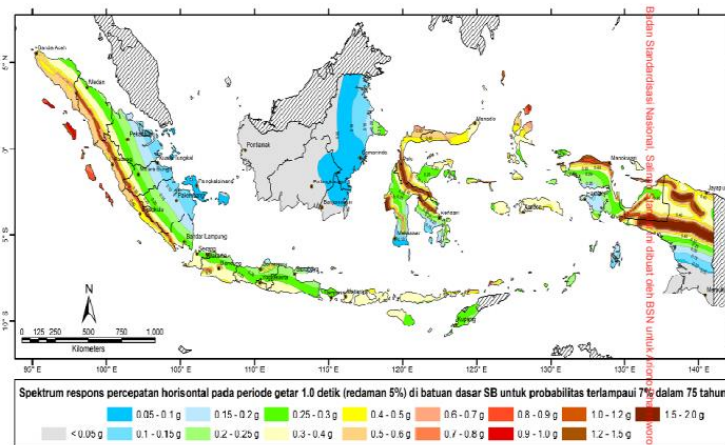
No	No Gambar	Level Gempa	Keterangan
1	Gambar 1	7% dalam 75 tahun (gempa = 1000 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
2	Gambar 2		Peta respons spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar ( $S_2$ )
3	Gambar 3		Peta respons spektra percepatan 1.0 detik di batuan dasar ( $S_1$ )



Gambar 2.14 Peta Percepatan puncak di batuan dasar (PGA)



Gambar 2.15 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (Ss)



Gambar 2.16 Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar (S1)

### Menentukan Faktor Situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ( $T=0,2$  detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar ( $F_{PGA}$ ), faktor amplifikasi periode pendek ( $F_s$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Berikut tabel untuk menentukan nilai  $F_{PGA}$ ,  $F_s$ ,  $F_v$  untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

Tabel 2.13 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik  
( $F_{PGA}/F_s$ )

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

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

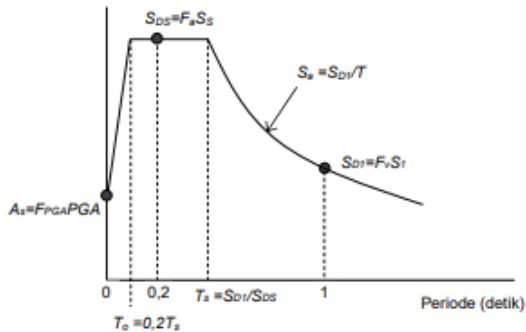
Tabel 2.14 Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 detik ( $F_v$ )

Kelas situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
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

### Perhitungan Respon Spektra Rencana

Berdasarkan SNI 2833-2016 pasal 5.4.1. Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.



Gambar 2.17 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah

$$A_s = F \times \text{PGA}$$

$$S_{DS} = F_s \times S_s$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1$$

$S_{DS}$  = nilai spektra permukaan pada periode pendek ( $T=0,2$  detik)

$S_{D1}$  = nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

#### Koefisien Respon Gempa Elastik

Untuk periode lebih kecil dari  $T_0$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan berikut. (SNI 2833-2016 pers 11)

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s$$

Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , respons spektra percepatan,  $C_{sm}$  adalah sama dengan SDS

Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ): didapatkan dari persamaan berikut. (SNI 2833-2016 pers 12)

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \text{ dimana } T_0 = 0,2 T_S \text{ dan } T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Dari perencanaan perhitungan diatas akan didapatkan nilai spektrum respons yang nantinya akan diinput melalui program bantu CsiBridge v.20 untuk perencanaan beban gempa.

#### 2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan rencana menggunakan referensi dari SNI 1725-2016 tabel 1

Tabel 2.15 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

SNI 1725:2016

Tabel 1 – Kombinasi beban dan faktor beban

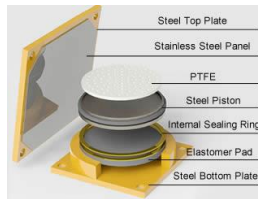
Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW <sub>1</sub>	EW <sub>2</sub>	BF	EU <sub>1</sub>	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$\gamma_p$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TC}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_p$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TC}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_p$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TC}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_p$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TC}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	0	0
Ekstrem II	$\gamma_p$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,0	0
Daya Javan I	1,00	1,00	1,00	0,30	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TC}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Javan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Javan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TC}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Javan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : -  $\gamma_p$  dapat berupa  $\gamma_{SE}$ ,  $\gamma_{WE}$ ,  $\gamma_{TE}$ ,  $\gamma_{RE}$ ,  $\gamma_{SE}$ , tergantung beban yang ditinjau

-  $\gamma_{EQ}$  adalah faktor beban hidup kondisi gempa

#### 2.5 Perletakan

Perletakan yang digunakan dalam perencanaan jembatan *box girder* ini adalah jenis *pot bearing*. *Pot bearing* pada umumnya digunakan pada jembatan bentang sedang hingga jembatan bentang panjang. Perletakan tipe *pot bearing* memikul beban vertikal dengan tekanan pada *elastomeric disc* yang terbuat dari silinder baja dan mengakomodasi rotasi akibat deformasi piringan bearing.



Gambar 2.18 Komponen Pot Bearing

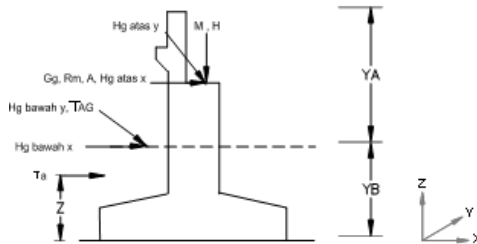
Type	Free sliding bearing	Guided sliding bearing	Fixed bearing
	GL	GGL/GGT	FX
Symbol			
Vertical load			
Rotation			
Movement Horizontal			
	Multidirectional	Unidirectional	Blocked

Gambar 2.19 Perbandingan Mekanisme Perletakan Pot Bearing

## 2.6 Abutmen dan Pilar

Berdasarkan RSNI T-12 2004 abutmen dan pilar direncanakan harus dapat melawan beban-beban yang akan terjadi pada struktur abutmen dan pilar. Pembebanann yangbekerja pada struktur abutmen dan pilar antara lain.

1. Beban Mati (M)
2. Beban Hidup (H)
3. Beban Angin (A)
4. Beban Gesekan Perletakan (HG)
5. Beban Gempa (GG)
6. Tekanan Tanah (TA)
7. Tekanan Tanah Akibat Gempa (Tag)



Gambar 2.20 Beban yang Terjadi pada Abutmen

Untuk menentukan beban maksimal yang akan bekerja pada abutmen dan pilar jembatan digunakan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1725-2016.

## 2.7 Pondasi

### 2.7.1 Perencanaan Tiang Tunggal

#### Daya dukung vertikal yang diijinkan

Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang. Besarnya daya dukung yang diizinkan  $R_u$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$R_a = \frac{1}{n} R_u = \frac{1}{n} (R_P + R_F)$$

Dimana

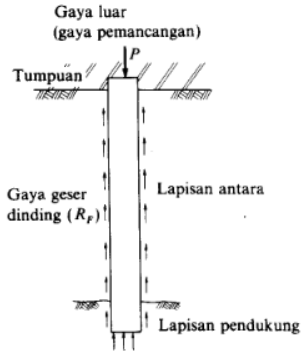
$n$  = Faktor keamanan

$R_u$  = Daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)

$R_P$  = Daya dukung terpusat tiang (ton)

$R_F$  = Gaya gesek dinding tiang (ton)





Gambar 2.21 Mekanisme daya dukung tiang

Tabel 2.16 Faktor Keamanan

	Jembatan jalan raya		Jembatan kereta api	Konstruksi pelabuhan	
	Tiang pendukung	Tiang geser	—	Tiang pendukung	Tiang geser
Beban tetap	3	4	3	Lebih besar dari 2,5	
Beban tetap + Beban sementara	—	—	2	—	
Waktu gempa	2	3	1,5 (1,2)	Lebih besar dari 1,5	Lebih besar dari 2,0

Angka dalam tanda kurung: Bila beban kereta api diperhitungkan

Jika berat sendiri (*dead weight*) tiang cukup besar, maka berat tiang juga harus diperhitungkan. Misalnya pada tiang yang dicor di tempat.

$$R_a = \frac{1}{n}(R_u + W_s) + W_s + W$$

Jika berat sendiri tiang kecil, misalnya tiang pracetak yang berdiameter kecil maka berat sendiri tiang dapat diabaikan

$$R_a = \frac{1}{n}R_u$$

$$R_u = q_d A + U \sum l_i f_i$$

Dimana

$W_s$  = berat efektif tanah yang dipindahkan oleh tiang (ton)

$W$  = berat efektif tiang dan tanah di dalam tiang (ton)

$q_d$  = daya dukung terpusat tiang (ton)

$A$  = luas ujung tiang ( $m^2$ )

$U$  = panjang keliling tiang (m)

$l_i$  = Tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan gesekan dinding tiang

$f_i$  = besarnya gaya gesek maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang ( $ton/m^3$ )

Perkiraan satuan daya dukung terpusat  $q$  diperoleh dari hubungan antara  $L/D$  dan  $q/N$ .  $L$  adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan pendukung dan  $D$  adalah diameter tiang,  $\bar{N}$  adalah harga rata-rata dari  $N$  pada ujung tiang yang dihitung dengan persamaan berikut.

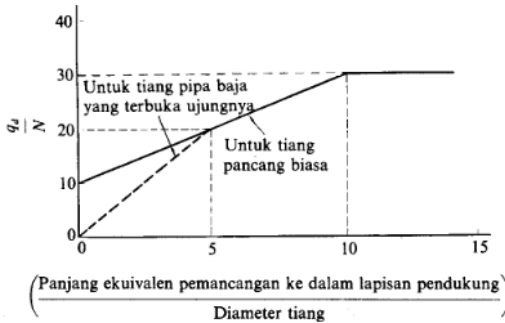
$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2}$$

Dimana

$\bar{N}$  = harga  $N$  rata-rata untuk perencanaan tanah pondasi ujung tiang

$N$  = harga  $N$  pada ujung tiang

$\bar{N}_2$  = harga rata-rata  $N$  pada jarak  $4D$  dari ujung tiang



Gambar 2.22 Gambar Grafik intensitas daya dukung ultimate untuk ujung tiang

Tabel 2.17 perkiraan  $q$  untuk tiang yang dicor di tempat (dalam  $\text{ton/m}^2$ )

Intensitas daya dukung ultimate pada ujung tiang ( $q_u$ )	Lapisan kerikil <sup>1)</sup>	$N \geq 50$ $50 > N \geq 40$ $40 > N \geq 30$	750 525 300
	Lapisan berpasir <sup>1)</sup>	$N \geq 30$	300
	Lapisan lempung keras	$3q_u^2$	

1) Perbedaan antara lapisan kerikil dengan lapisan berpasir dapat dipertimbangkan berdasarkan hasil penyelidikan pada sejumlah kecil tanah tersebut. Lapisan berpasir yang bercampur dengan kerikil dianggap sama dengan lapisan berpasir tanpa kerikil. Harga  $N$  diperoleh dari penyelidikan

2) Pada lapisan lempung keras, intensitas daya dukung ditetapkan berkenaan dengan "Kriteria perencanaan pondasi kaisan  $q_u$  adalah kekuatan geser unconfined ( $t/m^2$ )"

Tabel 2.18 Intensitas gaya gesek dinding tiang

Jenis tanah pondasi \ Jenis tiang	Tiang pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah kohesif	$c$ atau $N (\leq 12)$	$\frac{c}{2}$ atau $\frac{N}{2} (\leq 12)$

Daya dukung tarik yang diijinkan

Gaya tarik tiang yang diijinkan adalah suatu harga yang diperoleh dengan membagi gaya tarik maksimum sebuah tiang dengan suatu faktor keamanan tertentu. Gaya tarik yang diijinkan ini dibatasi oleh gaya penahan tarikan dari tanah pondasi dan tegangan pada tubuh tiang. Jika gaya tarik ultimate diperkirakan berdasarkan perhitungan, maka besarnya gaya geser dinding yang maksimum untuk daya dukung vertikal dapat dipakai. (Nakazawa,2000)

### 2.7.2 Efisiensi Kelompok Tiang

Kapasitas daya dukung dari kelompok tiang untuk setiap jarak antar tiang yang digunakan memiliki tingkat efisiensi. Tingkat efisiensi kelompok tiang pada perencanaan jembatan ini menggunakan referensi peraturan AASHTO LRFD 2014 tabel 10.8.3.6.3-1

Tabel 2. 19 Efisiensi Kelompok Tiang

Table 10.8.3.6.3-1—Group Reduction Factors for Bearing Resistance of Shafts in Sand

Shaft Group Configuration	Shaft Center-to-Center Spacing	Special Conditions	Reduction Factor for Group Effects, $\eta$
Single Row	$2D$		0.90
	$3D$ or more		1.0
Multiple Row	$2.5D$		0.67
	$3D$		0.80
	$4D$ or more		1.0
Single and Multiple Rows	$2D$ or more	Shaft group cap in intimate contact with ground consisting of medium dense or denser soil, and no scour below the shaft cap is anticipated	1.0
Single and Multiple Rows	$2D$ or more	Pressure grouting is used along the shaft sides to restore lateral stress losses caused by shaft installation, and the shaft tip is pressure grouted	1.0

### 2.7.3 Konstanta Pegas $K_v$ dan koefisien $k$ Tanah

Perkiraan konstanta pegas  $K_v$  dalam arah vertikal adalah suatu konstanta elastis yang dinyatakan sebagai gaya dalam arah vertikal yang menimbulkan pergeseran (*displacement*) sebesar satu satuan dalam arah vertikal pada kepala tiang.  $K$

dipakai untuk menghitung besarnya reaksi pada kepala tiang atau besarnya penurunan elastis. (Nakazawa,2000). Nilai  $K_v$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$K_v = a \frac{A_P E_P}{l}$$

Untuk tiang pipa baja  $a = 0,027 (l/D) + 0,2$

Untuk tiang beton pratekan  $a = 0,041 (l/D) + 0,27$

Untuk tiang dicor ditempat  $a = 0,022 (l/D) + 0,05$

Dimana

$A_P$  = Luas penampang netto tiang ( $\text{cm}^2$ )

$E_P$  = modulus elastisitas tiang ( $\text{kg/cm}^2$ )

$l$  = panjang tiang (cm)

$D$  = diameter tiang (cm)

Perkiraan koefisien  $k$  dari reaksi tanah di bawah permukaan dalam arah mendatar. Menurut standar teknik di Jepang, nilai koefisien reaksi tanah di bawah permukaan dalam arah mendatar diperkirakan berdasarkan persamaan berikut.

$$k = k_0 y^{-1/2}$$

$$k_0 = 0,2 E_0 D^{-3/4}$$

Dimana

$k_0$  = harga  $k$  bila pergeseran pada permukaan dibuat sebesar 1 cm ( $\text{kg/cm}^3$ )

$y$  = besarnya pergeseran yang akan dicari (cm)

$E_0$  = modulus deformasi tanah pondasi. Dipakai 28N, nilai N dari data SPT

$D$  = diameter tiang (cm)

## 2.8 Metode Konstruksi

Konstruksi jembatan *box girder cast in place* dapat dilakukan dengan berbagai macam metode diantaranya, adalah

dengan metode *Balanced cantilever*, dan *incremental launching method*, Pemilihan metode pelaksanaan harus mempertimbangkan aspek sistem struktur, waktu pelaksanaan, peralatan dan biaya. Berikut adalah perbandingan dari ketiga metode di atas.

Tabel 2.20 Perbandingan metode pelaksanaan *box girder cast in place*

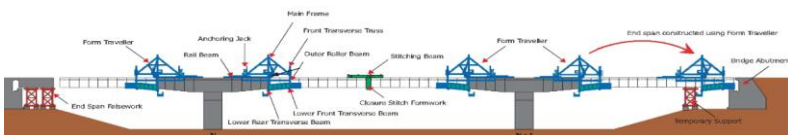
	<i>Balanced Cantilever</i>	ILM	<i>Span-by-span</i>
Sistem Struktur	Komponen struktur temporer menjadi permanen tetapi tidak dibutuhkan seluruhnya pada masa layan	Komponen struktur temporer menjadi permanen tetapi tidak dibutuhkan seluruhnya pada masa layan	Komponen struktur temporer sesuai dengan kebutuhan pada masa layan
Waktu instalasi untuk lalu lintas yang padat	<i>Window time</i> terbatas	<i>Window time</i> tidak terbatas	<i>Window time</i> tidak terbatas
Peralatan yang digunakan	<i>Gantry or Formwork Traveller</i>	<i>Launching Nose</i>	<i>Heavy lifting gantry</i>
Perbandingan biaya	Tidak ada perbedaan yang signifikan	Tidak ada perbedaan yang signifikan	Tidak ada perbedaan yang signifikan

Setiap metode konstruksi memiliki kelebihan dan kekurangan yang harus menjadi pertimbangan dalam pemilihan metode dalam pelaksanaan. Berikut adalah metode konstruksi jembatan *box girder cast in place* yang umum dilakukan menurut VSL

1. *Cast in Place Segmental - Cantilever Construction*
2. *Cast in Place Segmental - Incremental Launching*

Dari beberapa metode konstruksi diatas digunakan metode *Cast in Place Segmental - Cantilever Construction*. Menurut VSL, metode konstruksi *Cast in Place Segmental - Cantilever Construction* memiliki beberapa karakteristik diantaranya

1. Panjang bentang efektif 300 sampai 800 ft
2. Panjang segmen hingga 16 ft
3. Kapasitas crane minimum
4. Efisiensi Pekerja
5. Waktu siklus kerja mencapai 5 hari

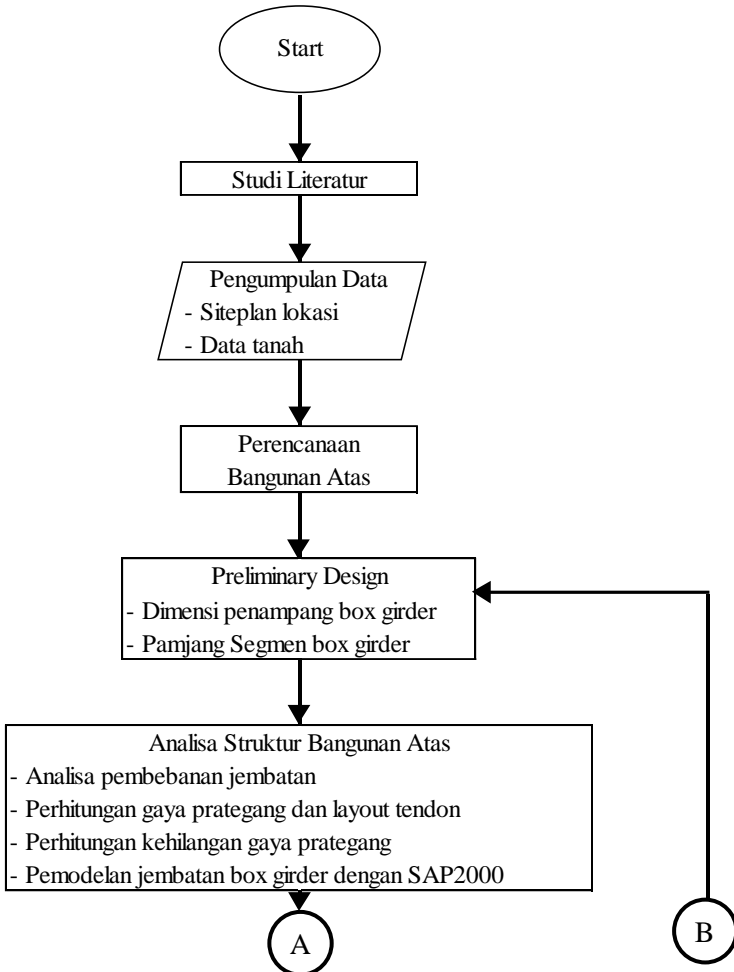


Gambar 2.23 Ilustrasi Metode Konstruksi Sistem *Cast in Place Segmental - Cantilever Construction*

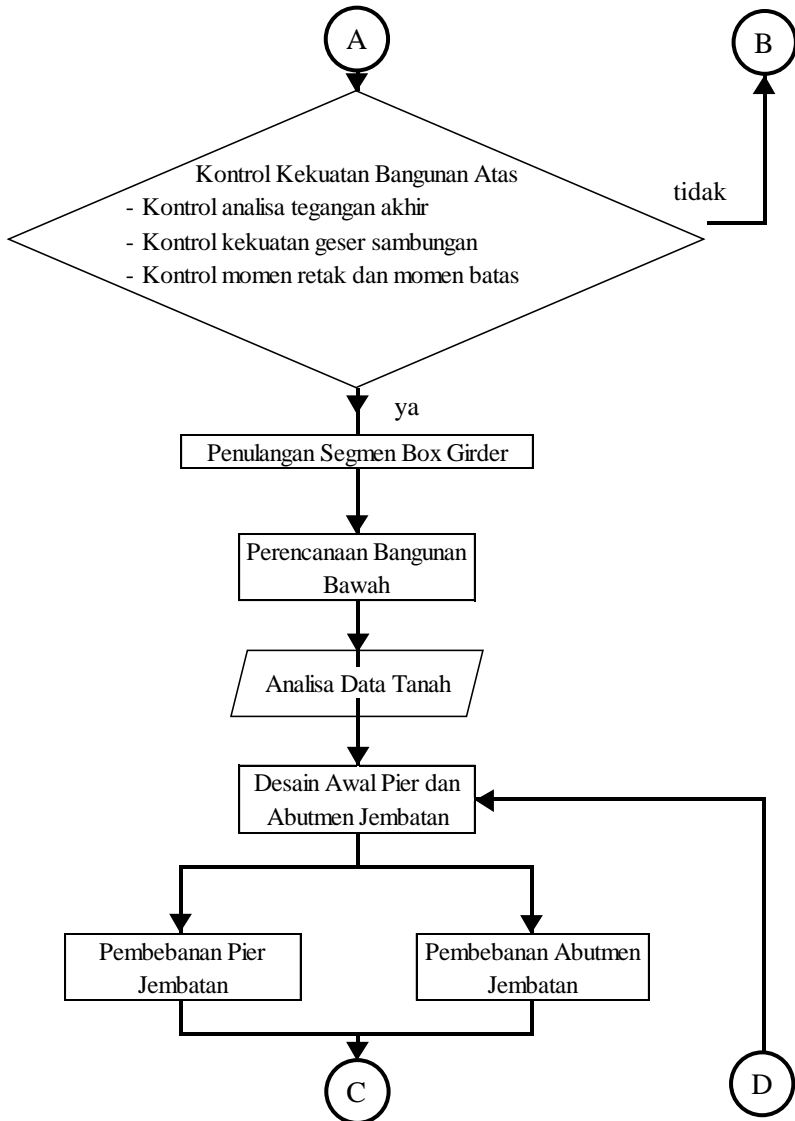
## BAB III METODOLOGI

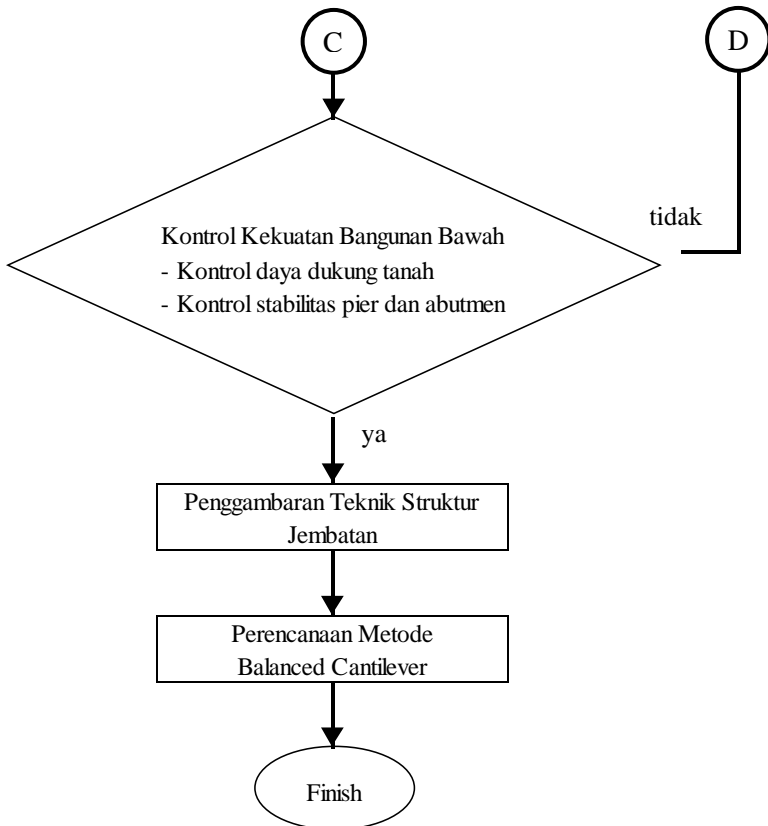
### 3.1 Diagram Alur Penulisan

Berikut adalah diagram alir metodologi modifikasi perancangan jembatan *box girder*.









Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Diagram alir di atas merupakan tahapan perancangan jembatan *box girder* dalam tugas akhir ini, berikut adalah penjelasan dari setiap bagian diagram alir.

#### 3.2.1 Studi Literatur

Literatur yang digunakan terdiri dari peraturan-peraturan perencanaan yang berlaku dan buku-buku tentang perencanaan jembatan *box girder* pratekan. Berikut adalah literatur yang

digunakan dalam penyusunan tugas akhir mengenai perencanaan Jembatan *box girder*.

1. FHWA HIF 15 - 016 “*Post-Tensioned Box girder Design Manual*”
2. FHWA NHI 13 - 026 “*Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual*”
3. FHWA NHI 15 - 047 “*Load Resistance Factor Design for Highway Bridge Structures*”
4. AASHTO LRFD 2017 “*Bridge Design Specification*”

Sementara referensi peraturan yang digunakan adalah

1. SNI 1725 - 2016 “Pembebanan untuk Jembatan”
2. SNI 2833 - 2016 “Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa”
3. RSNI T-12 - 2004 “Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”

### 3.2.2 Pengumpulan Data

Data jembatan eksisting yang diperoleh merupakan data pelaksanaan dari PT. Waskita Karya selaku kontraktor dari proyek Jalan Tol Batang-Semarang. Data yang diperoleh terdiri dari data gambar struktur jembatan eksisting, data *layout site-plan* dan data tanah.

Nama Jembatan : *Overpass* Simpang Susun Krapyak STA 448+776

Lokasi : Tol Batang-Semarang STA 448+776

Tipe Jembatan : Jembatan Beton Pratekan Girder I

Panjang Jembatan : 120 m (as A1 ke as A2)

Lebar Jembatan : 21.3 m

Data tanah : Terlampir

Jenis bangunan bawah : Pondasi *Bore-Pile*

### 3.2.3 Preliminary Design

Preliminary desain merupakan tahap yang dilakukan untuk memperkirakan dimensi jembatan *box girder* berdasarkan referensi yang digunakan, antara lain; penentuan desain penampang *box girder*, tinggi *box girder*, panjang segmen dan jenis pondasi rencana.

1. Data Umum Jembatan Rencana
 

Tipe Jembatan	: Jembatan <i>Box girder</i> Pratekan
Panjang Jembatan	: 160 m (as A1 ke as A2)
Lebar Jembatan	: 21,30 m
Panjang Segmen	: variatif
  
2. Data Material
 

Mutu Beton ( $f_c'$ )	: 50 MPa ( <i>box girder</i> dan pilar)
	30 MPa (Abutmen)
Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ):	240 MPa ( $\emptyset \leq 12$ mm)
	: 400 MPa ( $\emptyset > 12$ mm)
Tipe Strand	: VSL-d 15.7 mm (prEN)
Mutu Strand ( $f_{pu}$ )	: 1860 MPa
Mod Elastisitas Beton ( $E_c$ )	: $4700\sqrt{f_c'}$ MPa
Mod. Elastisitas Baja ( $E_s$ )	: 200000 MPa
Mod. Elastisitas Strand ( $E_1$ )	: 195000 MPa

### 3.2.4 Analisa Struktur Bangunan Atas

1. Analisa Pembebanan Jembatan
 

Dalam tahap ini, dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya beban-beban rencana yang akan memebani jembatan *box girder* yang direncanakan. Pembebanan

rencana jembatan disesuaikan dengan peraturan pembebanan untuk jembatan yaitu SNI 1725-2016. Pembebanan terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban aksi lingkungan.

2. Perhitungan Gaya Prategang dan Layout Tendon  
Layout tendon dapat berupa garis lurus maupun kurva parabolik. Setelah layout tendon ditentukan, gaya prategang yang dibutuhkan dapat dihitung berdasarkan posisi eksentrisitas tendon terhadap garis netral penampang *box girder* dan momen yang terjadi pada *box girder*.
3. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang  
Gaya prategang yang diberikan dapat hilang dikarenakan beberapa faktor. Kehilangan gaya prategang ini tidak dapat dihindari tetapi dalam pelaksanaan dapat diperhitungkan besarnya. Sehingga dapat diketahui apakah gaya prategang yang diberikan sudah memenuhi atau belum. Kehilangan gaya prategang terjadi dalam 2 kondisi yaitu saat kondisi transfer dan kondisi layan. Saat kondisi transfer kehilangan yang terjadi disebabkan oleh slip ankur, pemendekan elastis dan *wobble effect*. Sementara saat kondisi layan kehilangan disebabkan oleh susut rangkai beton serta relaksasi baja prategang.
4. Permodelan Jembatan dengan Program Bantu CSiBridge  
Memasukkan seluruh pembebanan ke permodelan struktur jembatan *box girder* menggunakan program bantu CSiBridge v20.

### **3.2.5 Kontrol Kekuatan Bangunan Atas**

Menghitung kekuatan *box girder* yang direncanakan terhadap beban jembatan. Kekuatan *box girder* dikontrol terhadap peraturan yang digunakan sebagai persyaratan. kontrol yang dilakukan berdasarkan hasil gaya dalam yang terjadi, antara lain.

1. Kontrol tegangan akhir
2. Kontrol kekuatan geser sambungan
3. Kontrol kekuatan lentur
4. Kontrol kekuatan segmen *box girder*

### **3.2.6 Penulangan Segmen *Box girder***

Dalam proses pelaksanaan segmen *box girder* harus mampu menahan beban sendiri saat pengangkatan. Dengan demikian segmen *box girder* harus ditinjau kapasitas kekuatan lentur dan geser sehingga dalam pelaksanaan segmen *box girder* tidak patah. Untuk memperkuat kapasitas lentur dan geser dari segmen *box girder* maka diperlukan pemasangan tulangan lentur dan tulangan geser

### **3.2.7 Perancangan Bangunan Bawah**

Perancangan bangunan bawah jembatan terdiri dari beberapa tahap, meliputi:

1. Merancang dimensi struktur  
Dimensi struktur bangunan bawah menyesuaikan kondisi layout sekitar jembatan, dimensi bangunan atas dan referensi peraturan yang digunakan.
2. Pembebanan struktur bangunan bawah  
Menganalisa seluruh beban pada struktur bangunan bawah termasuk beban yang direncanakan untuk bangunan atas, adapun diantaranya:
  - a. Beban Mati
  - b. Beban Lalu Lintas
  - c. Beban Akibat Tekanan Tanah
  - d. Beban Gempa
3. Penulangan bangunan bawah  
Penulangan pada bangunan bawah meliputi tulangan lentur dan geser

### 3.2.8 Kontrol Kekuatan Bangunan Bawah

Kontrol pada bangunan bawah meliputi kontrol momen guling pada abutmen dan pilar jembatan. Pada perancangan pondasi ting pancang juga dilakukan kontrol terhadap gaya yang terjadi pada setiap tiang pondasi.

### 3.2.9 Perencanaan Metode *Balanced Cantilever*

Metode pelaksanaan yang digunakan dalam perancangan jembatan *box girder* kali ini menggunakan metode *balanced cantilever cast in place*. Perancangan metode yang digunakan meliputi analisa urutan pekerjaan dari penyiapan *formwork traveler* sampai pengecoran segmen *closure* pada tengah bentang.

### 3.2.10 Penggambaran Teknik

Hasil perhitungan dan perancangan struktur bangunan atas dan bangunan bawah jembatan dituangkan dalam bentuk gambar teknik yang meliputi

1. Gambar layout jembatan
2. Gambar tampak jembatan
3. Gambar potongan jembatan
4. Gambar segmen *box girder*
5. Gambar layout tendon prategang
6. Gambar penulangan segmen *box girder*
7. Gambar bangunan bawah bawah jembatan
  - a. Penulangan abutmen dan pilar
  - b. Pondasi

## BAB IV PERENCANAAN STRUKTUR ATAS

### 4.1 Data Perencanaan

Struktur bangunan atas jembatan *overpass* SS Krapyak akan direncanakan menggunakan tipe *box girder* prategang *multicell*. Dalam bab ini akan dibahas setiap tahapan proses desain mulai dari perencanaan penampang *box girder*, perencanaan tahap pelaksanaan kantilever sampai perencanaan saat jembatan dalam tahap bentang menerus. Berikut adalah data perencanaan jembatan *overpass* SS Krapyak.

#### Data Umum Jembatan Rencana

Tipe Jembatan	: Jembatan <i>Box girder</i> Pratekan
Panjang Jembatan	: 160 m (as A1 ke as A2)
Lebar Jembatan	: 21,30 m
Level Superelevasi	: 2%
Jari-jari Tikungan	: 888,4 m
Metode Pelaksanaan	: <i>CiP Balanced Cantilever</i>

#### Data Material

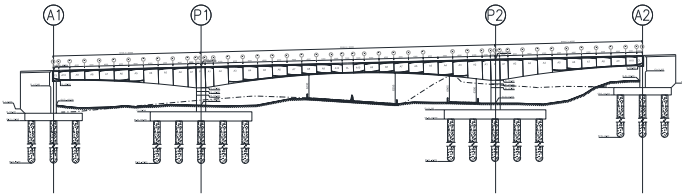
Mutu Beton ( $f_c'$ )	: 50 MPa ( <i>box girder</i> dan pilar) 30 MPa (Abutmen) 25 MPa (Pondasi Borepile)
Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ )	: 240 MPa ( $\varnothing \leq 12$ mm) 400 MPa ( $\varnothing > 12$ mm)
Tipe Strand	: VSL-d 15.7 mm (prEN)
Mutu Strand ( $f_{pu}$ )	: 1860 MPa



Mod. Elastisitas Beton ( $E_c$ ) :  $4700\sqrt{f'c}$  MPa

Mod. Elastisitas Baja ( $E_s$ ) : 200000 MPa

Mod. Elastisitas Strand ( $E_1$ ) : 195000 MPa



Gambar 4.1 Potongan Memanjang Jembatan Rencana

## 4.2 Preliminary Design

### 4.2.1 Dimensi Penampang *Box girder*

Dimensi Penampang *box girder* direncanakan menggunakan referensi dari FHA HIF 15-016 “*Post-Tensioned Box girder Design Manual*”. Diapatkan dimensi *box girder* rencana sebagai berikut.

#### 1. Tinggi *Box girder*

Tinggi *box girder* pada tumpuan harus lebih besar atau sama dengan nilai minimal  $L/25$  m. Maka didapatkan tinggi *box girder* minimum

$$h = \frac{L}{25} = \frac{80}{25} = 3,2 \text{ m}$$

digunakan tinggi *box girder* pada tumpuan = 5,7 m

Tinggi *box girder* pada tengah bentang ditentukan dengan nilai tinggi cell dalam *box girder* tidak kurang dari 1,8 m. Maka digunakan tinggi *box girder* tengah bentang = 2,7 m

#### 2. Tebal *Top slab* dan *Bottom slab*

Tebal plat minimum jika didalamnya terdapat *ducting* prategang didalamnya adalah tidak kurang dari 12 inch atau

30,5 cm. Maka digunakan tebal *top slab* dan *bottom slab* = 30,5 cm

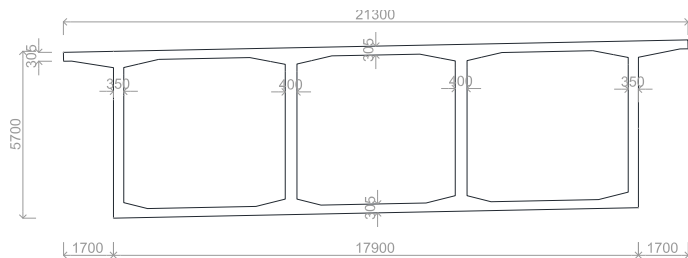
### 3. Tebal *Web Girder*

Tebal dinding minimum dalam *box girder* tidak kurang dari 12 inch atau 30,5 cm untuk dinding yang diberi *ducting* prategang maupun tidak. Maka digunakan tebal dinding untuk *exterior girder* = 35 cm dan untuk *interior girder* = 40 cm

### 4. Dimensi *Cantilever Wing*

Panjang *cantilever wing* dapat diambil antara 1,2 m - 2 m. Maka digunakan panjang *cantilever wing* = 1,7 m

Tebal *cantilever wing* minimum adalah tidak kurang dari  $L_c/5$ . Maka didapatkan tebal minimum  $\frac{1,7m}{5} = 34 \text{ cm}$ . Digunakan tebal = 44,5 m.



Gambar 4.2 Penampang *Box girder* Rencana

#### 4.2.2 Formwork Traveller dan Panjang Segmen

*Formwork Traveller* yang digunakan dalam metode *cast in place balanced cantilever* dalam jembatan ini akan menggunakan spesifikasi sebagai berikut.

Produksi : ULMA CVS  
Tipe : CVS 165/4.5

Berat Traveller : 75.66 ton

Kapasitas angkut traveller didapatkan dari gambar berikut

Maximum pier segment (t)	Pier segment length				
	5 m	4,5 m	4 m	3,5 m	3 m
CVS 165/4,5		165 t	182 t	202 t	227 t
CVS 200/4,5		200 t	220 t	247 t	279 t
CVS 165/5	165 t	180 t	200 t	220 t	248 t
CVS 200/5 (Rentable)	200 t	218 t	240 t	267 t	300 t

Gambar 4.3 Kapasitas Angkut Traveller ULMA CVS 165/4.5

Dengan menggunakan tipe *formwork traveller* di atas maka didapatkan panjang segmen kantilever dapat diambil dengan nilai antara 3 m - 4 m. Tetapi berat setiap segmen rencana akan tetap dikontrol dengan kapasitas angkut *taveller*.

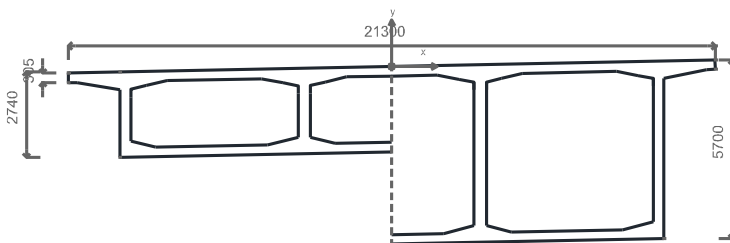
#### 4.3 Penampang *Box girder*

Setelah dilakukan preliminary dimensi elemen *box girder*, untuk tahap perhitungan selanjutnya perlu diketahui properti dari penampang *box girder* yang direncanakan. Penampang *box girder* yang digunakan mempunyai variasi di setiap segmennya maka properti *box girder* akan dihitung untuk setiap segmen yang direncanakan. Properti *box girder* yang dibutuhkan dalam perhitungan antara lain adalah

1.  $h$  = Tinggi *Box girder* (m)
2.  $w$  = Lebar *Box girder* (m)
3.  $L$  = Panjang Segmen *Box girder* (m)
4.  $A$  = Luas Penampang *Box girder* (m<sup>2</sup>)
5.  $y_b$  = Jarak garis netral ke sisi bawah box (m)
6.  $y_t$  = Jarak garis netral ke sisi atas box (m)
7.  $I_x$  = Inersia penampang terhadap sumbu x (cm<sup>4</sup>)
8.  $kt$  = Kern penampang sisi atas (m)
9.  $e$  = Jarak *ducting* tendon atas ke garis netral box (m)
10.  $e'$  = Jarak *ducting* tendon bawah ke garis netral box (m)

Tabel 4.1 Rekapitulasi Properti *Box girder*

Segmen (m)	w (m)	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	y <sub>b</sub> (m)	y <sub>t</sub> (m)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	kt (m)	e (m)	e' (m)	
P	5.70	21.3	1.25	45.692	2.930	2.770	2.44E+10	1.819	2.617	2.78
A1	5.70	21.3	2.25	20.240	3.030	2.668	1.50E+10	2.439	2.516	2.88
A2	5.36	21.3	4	19.766	2.668	2.692	1.19E+10	2.262	2.540	2.52
A3	4.81	21.3	4	18.993	2.564	2.244	9.09E+09	1.866	2.091	2.41
A4	4.32	21.3	4	18.310	2.308	2.012	6.65E+09	1.573	1.860	2.16
A5	3.90	21.3	4	17.717	2.084	1.812	4.93E+09	1.336	1.659	1.93
A6	3.54	21.3	4	17.213	1.894	1.642	3.76E+09	1.154	1.490	1.74
A7	3.24	21.3	4	16.798	1.737	1.503	2.98E+09	1.023	1.351	1.58
A8	3.01	21.3	4	16.473	1.613	1.395	2.49E+09	0.936	1.242	1.46
A9	2.84	21.3	4	16.238	1.522	1.318	2.19E+09	0.887	1.165	1.37
A10	2.74	21.3	3	16.093	1.466	1.270	2.04E+09	0.863	1.118	1.31
CL	2.70	21.3	3	16.042	1.449	1.251	1.97E+09	0.849	1.099	1.30

Gambar 4.4 Variasi Penampang *Box girder*

#### 4.4 Tegangan Ijin Material

Pemberian gaya prategang pada *box girder* harus memperhatikan tegangan ijin material. Tegangan yang terjadi pada material beton harus direncanakan agar tidak melebihi tegangan ijin yang disyaratkan saat kondisi transfer maupun kondisi layan.

Penggunaan metode pelaksanaan *cast in place balanced cantilever* mempunyai resiko terjadinya ketidakseragaman mutu beton pada *box girder*. Ketidakseragaman mutu beton pada *box girder* dalam perencanaan jembatan ini diasumsikan dengan nilai terendah yang dapat dicapai saat pelaksanaan adalah  $f_c' = 40$  MPa dari nilai mutu beton awal yaitu  $f_c' = 50$  MPa

Tegangan ijin material beton ditentukan dalam RSNI T-12-2004 adalah sebagai berikut.

1. Tegangan Ijin Beton pada Kondisi Transfer

Tegangan ijin tekan pada kondisi transfer didapatkan dari persamaan berikut

$$f'_{ci} = 0.8 f'_c = 0.8 \cdot 40 = 32 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{tekan} = 0.6 f'_{ci} = 0.6 \cdot 32 = 19,2 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin tarik pada kondisi transfer didapatkan dari persamaan berikut

$$\bar{\sigma}_{tarik} = 0.6 \sqrt{f'_{ci}} = 0.6 \sqrt{32} = 3,39 \text{ MPa}$$

2. Tegangan Ijin Beton pada Kondisi Layan

Tegangan tekan ijin pada kondisi layan didapatkan dari persamaan berikut

$$\bar{\sigma}_{tekan} = 0.45 f'_c = 0,45 \cdot 40 = 18 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin tarik pada kondisi layan didapatkan dari persamaan berikut

$$\bar{\sigma}_{tarik} = 0.5 \sqrt{f'_c} = 0.5 \sqrt{40} = 3,16 \text{ MPa}$$

## 4.5 Analisa Pembebanan

### 4.5.1 Beban Mati Jembatan

Beban mati jembatan terdiri dari berat sendiri struktur jembatan atau beban mati struktur dan berat sendiri bangunan pelengkap jembatan atau beban mati tambahan. Beban mati struktur dan beban mati tambahan mempunyai faktor beban yang berbeda yang ditentukan oleh SNI 1725-2016.

1. Beban Mati Struktur

Beban mati struktur terdiri dari berat segmen *box girder*. Faktor beban mati struktur untuk kondisi ultimate = 1.3 dan

untuk kondisi layan = 1. Berikut adalah berat setiap segmen *box girder* yang direncanakan.

Tabel 4.2 Berat Sendiri Segmen *Box girder*

Segmen	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	W (kN)
P	1.25	45.692	1370.8
A1	2.25	20.240	1080.2
A2	4	19.766	1860.5
A3	4	18.993	1790.6
A4	4	18.310	1729.3
A5	4	17.717	1676.6
A6	4	17.213	1632.5
A7	4	16.798	1597.0
A8	4	16.473	1570.2
A9	4	16.238	1551.9
A10	3	16.093	1156.8
CL	3	16.042	1155.0

## 2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan terdiri dari berat bangunan pelengkap jembatan seperti barrier tepi, barrier tengah, lapisan aspal pada jembatan, dan genangan air hujan. Faktor beban untuk beban mati tambahan untuk kondisi ultimate = 1,4 dan untuk kondisi layan = 1.

### a. Barrier Tepi

Tebal Sisi Atas (b<sub>2</sub>) = 0,15 m

Tebal Sisi Bawah (b<sub>1</sub>) = 0,3 m

Tinggi bawah (h<sub>1</sub>) = 0,4 m

Tinggi barrier (H) = 1,3 m

$$q = \left( h_1 b_1 + \frac{b_1 + b_2}{2} (H - h_1) \right) 24$$

$$q = \left( 0,4 \cdot 0,3 + \frac{0,3 + 0,15}{2} (1,3 - 0,4) \right) 24 = 8,06 \text{ kN/m}$$

b. Barrier Tengah

$$\text{Tebal Sisi Atas (b2)} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Tebal Sisi Bawah (b1)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bawah (h1)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi barrier (H)} = 1,3 \text{ m}$$

$$q = \left( 0,4 \cdot 0,3 + \frac{0,3 + 0,15}{2} (1,3 - 0,4) \right) 24 = 8,06 \text{ kN/m}$$

c. Lapisan Aspal

$$\text{Berat jenis aspal} = 22.56 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Tebal Aspal Rencana} = 4 \text{ cm}$$

$$q = 22,56 \cdot 0,04 = 0,902 \text{ kN/m}^2$$

d. Air Hujan

$$\text{Tinggi genangan air} = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Berat Jenis air} = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$q = 9,81 \cdot 0,05 = 0,491 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.5.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas (TD) pada jembatan *box girder* yang direncanakan terdiri dari BGT, BTR, Beban Truk, Beban Rem dan Gaya Sentrifugal. Faktor beban untuk beban lalu lintas untuk kondisi ultimate = 1,8 dan untuk kondisi layan = 1.

1. Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban Terbari rata (BTR) jembatan dapat diambil dari persamaan berikut dengan nilai  $L = 80 \text{ m}$

$$q_{BTR} = 9 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) = 9 \left( 0,5 + \frac{15}{80} \right) = 6,18 \text{ kPa}$$

2. Beban Garis Terpusat (BGT)

Lebar Lantai Kendaraan = 19.7 m

FBD = 0,35

P BGT = 49 kN/m

$$P_{BGT} = 49(1 + 0,35)19,7 = 1303,55 \text{ kN}$$

3. Beban Truk (TT)

Beban Truk (T) = 112,5 kN

FBD = 0,35

$$T = 112,5 (1 + 0,35) = 151,87 \text{ kN}$$

4. Beban Rem (TD)

Gaya Truk desain diambil nilai tertinggi dari 25% berat gandar truk desain dan 5% berat truk rencana + beban lajur terbagi rata.

a. 25% berat gandar truk desain

Berat gamdar truk = 303,75 kN

$$TB_1 = 25\% 303,75 = 75,93 \text{ kN}$$

b. 5% berat truk rencana + beban lajur rencana

q BTR = 9 kN/m<sup>2</sup>

T = 151,87

$$TB_2 = 5\%(151,87 + 9 \cdot 80 \cdot 19,7) = 717,01 \text{ kN}$$

Gaya rem (TB) yang menentukan adalah 717,01 kN

5. Gaya Sentrifugal (TR)

Berat gandar truk = 303,75 kN



Kecepatan Rencana ( $v$ )	= 60 km/jam	= 16,67 m/dt
Jari-jari tikungan	= 888,4 m	
$f$	= 1,333	

$$C = f \frac{v^2}{g R} = 1,333 \frac{16,67^2}{9,81 \cdot 888,4} = 0,04$$

$$TR = C T = 0,04 \cdot 303,75 = 12,918 \text{ kN}$$

#### 4.5.3 Beban Aksi Lingkungan

Beban aksi lingkungan pada jembatan terdiri dari beban angin, beban gempa dan pengaruh temperatur.

##### 1. Beban Angin

$V_{DZ}$	= 30,5 km/jam
$V_B$	= 90 km/jam
$P_B$	= 0,0024 MPa

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 = 0,0024 \left( \frac{30,5}{90} \right)^2 = 0,0003 \text{ MPa}$$

##### 2. Beban Gempa

Beban gempapada jembatan menggunakan metode perhitungan gempa respon spektrum berdasarkan data peta gempa SNI 2833-2016. Respon spektrum rencana dihitung dari data berikut

Lokasi	= Semarang, Jawa Tengah
Tipe Jembatan	= Jembatan Penting
$S_s$	= 0,996
$S_1$	= 0,416
PGA	= 0,415

Kelas Situs	= D (tanah sedang)
Fa	= 1,101
Fv	= 1,584
Fpga	= 1,085
Sds	= 1,097
Sd1	= 0,658 (Zona Gempa 4)

Response Spectrum AASHTO 2007 Function Definition

Function Name: SEMARANG, ID

Function Damping Ratio: 0.05

Parameters

Ss, S1 and PGA from USGS - by Lat/Long

Ss, S1 and PGA from USGS - by Zip Code

Ss, S1 and PGA User Specified

Site Latitude (degrees): ?

Site Longitude (degrees): ?

Site Zip Code (5-Digits): ?

0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 0.996

1 Sec Spectral Accel, S1: 0.416

Peak Ground Accel, PGA: 0.415

Site Class: D

Site Coefficient, Fa: 1.1016

Site Coefficient, Fv: 1.584

Site Coefficient, Fpga: 1.085

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = Fa \* Ss: 1.0972

SD1 = Fv \* S1: 0.6589

Convert to User Defined

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.4503
0.04	0.6659
0.0801	0.8816
0.1201	1.0972
0.6006	1.0972
0.8	0.8237
1.	0.6589
1.2	0.5491

Add

Modify

Delete

Function Graph

Display Graph

(0.5175, 1.0972)

OK

Cancel

Gambar 4.5 Input Fungsi Respon Spektrum Rencana CsiBridge

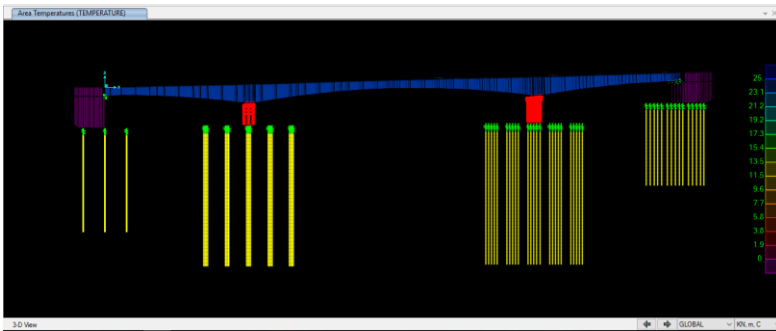
Massa efektif bangunan jembatan diambil dari beban mati struktur, beban mati tambahan dan beban lalu lintas vertikal dengan koefisien = 0,3 (jembatan penting) sesuai dengan SNI 2833-2016 pasal 5.8. Target Partisipasi massa efektif

bangunan dalam permodelan adalah 90% untuk arah x dan arah y.

### 3. Pengaruh Temperatur

Pengaruh temperatur pada jembatan dianalisa dengan nilai perubahan suhu maksimal pada jembatan

Perubahan suhu maksimum =  $25^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.6 Pembebanan Pengaruh Temperatur Jembatan

## 4.6 Parameter Tendon Prategang

### 4.6.1 Tipe Tendon Prategang

Setiap tipe tendon prategang yang digunakan mempunyai parameter input yang berbeda. Berikut adalah properti tendon prategang yang akan digunakan.

Tabel 4.3 Tipe Tendon Prategang

Tipe	Strand	Aps (mm <sup>2</sup> )	F0 (kN)	Ø Duct (mm)	r min (m)	Block Anchor
T5	37	5550	7226.1	130	9	GC 6-37
TB1	12	1800	2343.6	100	5.1	GC 6-12
TB5	15	2250	2929.5	100	5.7	GC 6-15

#### 4.6.2 Kehilangan Akibat Gesekan Kabel

Parameter kehilangan gaya akibat gesekan kabel diambil dari properti material strand VSL yang digunakan dengan nilai sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Tipe Ducting} &= \text{VSL PT-PLUS polymer duct} \\ \text{Koefisien kurvatur } (\mu) &= 0,12 \\ \text{Koefisien wobble } (k) &= 0,005 \end{aligned}$$

Type of tendon and duct	Range	Recommended value
Internal bonded tendon with corrugated steel duct (bare strand)	$\mu = 0.16 - 0.22$ $k = 0.004 - 0.008$	$\mu = 0.18$ $k = 0.005$ ( $k^* = 9 \times 10^{-4}$ )
Internal bonded tendon with PT-PLUS® polymer duct (bare strand)	$\mu = 0.10 - 0.15$ $k = 0.004 - 0.010$	$\mu = 0.12$ $k = 0.005$ ( $k^* = 6 \times 10^{-4}$ )
External tendon with PE pipe (bare strand)	$\mu = 0.10 - 0.14$ $k = 0^{(2)}$	$\mu = 0.12$ $k = 0^{(2)}$ ( $k^* = 0$ )
Internal unbonded tendon with individually greased and sheathed strands	$\mu = 0.04 - 0.07$ $k = 0.004 - 0.006$	$\mu = 0.05$ $k = 0.005$ ( $k^* = 2.5 \times 10^{-4}$ )
Special application: External tendon with greased and sheathed strands	$\mu = 0.04 - 0.07$ $k = 0^{(2)}$	$\mu = 0.06$ $k = 0^{(2)}$ ( $k^* = 0$ )

Gambar 4.7 Koefisien Kurvatur dan Wobble Tendon VSL

#### 4.6.3 Kehilangan Akibat Slip Anchor

Spesifikasi anchor strand produksi VSL mempunyai nilai slip antara 2.5 mm - 6 mm. Maka nilai yang digunakan dalam desain jembatan dalam tugas akhir ini  $\Delta s = 6$  mm.

#### 4.6.4 Kehilangan Akibat Pemendekan Elastis

Kehilangan gaya prategang akibat pemendekan elastis dapat dihitung dengan persamaan.

$$ES = K_{ES} E_s \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

Karena nilai  $f_{cir}$  berubah seiring perubahan segmen maka nilai  $f_{cir}$  diambil = 1 agar dapat mengikuti perubahan properti segmen dalam model. Didapatkan nilai ES untuk permodelan

$$E_s = 195000 \text{ MPa}$$

$$E_{ci} = 33234 \text{ MPa}$$

$$K_{ES} = 0,5$$

$$ES = 0,5 \cdot 195000 \frac{1}{33234} = 2,93 \text{ MPa}$$

#### 4.6.5 Kehilangan Akibat Susut Beton

Kehilangan gaya prategang akibat susut beton dihitung dengan persamaan berikut.

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)$$

Karena nilai V/S berubah seiring perubahan segmen maka nilai  $(1 - 0,06 V/S)$  diambil = 1 agar dapat mengikuti perubahan properti segmen dalam model. Didapatkan nilai SH untuk permodelan

$$E_s = 195000 \text{ MPa}$$

$$RH = 90$$

$$K_{sh} = 0,58$$

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot 0,58 \cdot 195000 (1) (100 - 90) = 9,27 \text{ MPa}$$

#### 4.6.6 Kehilangan Akibat Rangkak Beton

Kehilangan gaya prategang akibat rangkak beton dihitung dengan persamaan berikut.

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

Karena nilai  $f_{cir}$  berubah seiring perubahan segmen maka nilai  $(f_{cir} - f_{cds})$  diambil = 1 agar dapat mengikuti perubahan properti segmen dalam model. Didapatkan nilai CR untuk permodelan

$$K_{cr} = 1,6$$

$$E_s = 195000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 33234 \text{ MPa}$$

$$CR = 1,6 \frac{195000}{33234} (1) = 9,39 \text{ MPa}$$

#### 4.6.7 Kehilangan Akibat Relaksasi Tendon

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi tendon dihitung dengan persamaan berikut.

$$RE = [K_{RE} - J(SH + CR + ES)]C$$

$$SH = 9,274 \text{ MPa}$$

$$CR = 9,388 \text{ MPa}$$

$$ES = 2,93 \text{ MPa}$$

$$K_{RE} = 35$$

$$C = 1,28$$

$$J = 0,004$$

$$RE = [35 - 0,004 (9,274 + 9,388 + 2,93)]1,28 \\ = 44,689 \text{ MPa}$$

#### 4.6.8 Input Parameter Tendon Prategang

Dari perhitungan parameter kehilangan gaya prategang di atas, nilai dari setiap kehilangan akan diinputkan ke dalam permodelan CsiBridge dengan input sebagai berikut.

**Tendon Parameters**

Tendon Parameter Name: T5-37      Units: N, mm, C

Tendon Load Pattern: + Prestress

Prestress Type: Post Tension

Jack From: Both

Material Property: + ten 2

Tendon Area: + 5550

Based on Tendon Size: 1 Tnd(s) 0.6"-37

Max Discretization Length: 200

Design Parameters

Bonding Type: Bonded

Duct Diameter: 130

Min Duct Bend Radius: 9000

Tendon Modeling Options

Model As Loads

Model As Elements

Load Type:  Force      Tendon Load: Force (N)      Stress (N/mm<sup>2</sup>)

Stress

Force (N): 7.226E+06      Stress (N/mm<sup>2</sup>): 9.81

Loss Parameters

Curvature Coefficient (Unitless): 0.12

Wobble Coefficient (1/mm): 5E-06

Anchorage Set Slip (mm): 6

Other Loss Parameters

Elastic Shortening Stress (N/mm<sup>2</sup>): 2.934

Creep Stress (N/mm<sup>2</sup>): 9.39

Shrinkage Stress (N/mm<sup>2</sup>): 9.274

Steel Relaxation Stress (N/mm<sup>2</sup>): 44.68

When tendons are modeled as elements, the Other Loss Parameters (elastic, creep, shrinkage, and relaxation losses) apply in addition to the losses computed by analysis.

OK      Cancel

Gambar 4.8 Input Parameter Tendon Prategang CSiBridge

#### 4.7 Perencanaan Struktur Tahap Kantilever

Struktur jembatan tahap kantilever ditinjau pada saat setelah pengecoran segmen *hammer head* (segmen P dan A1) sampai kedua kantilever P1 dan P2 disambung dengan segmen *closure*. Berikut adalah perencanaan struktur jembatan pada tahap kantilever.

## 4.7.1 Pengecoran Segmen A2

### Preliminary Desain

Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

Bentang Kantilever = 3.5 m

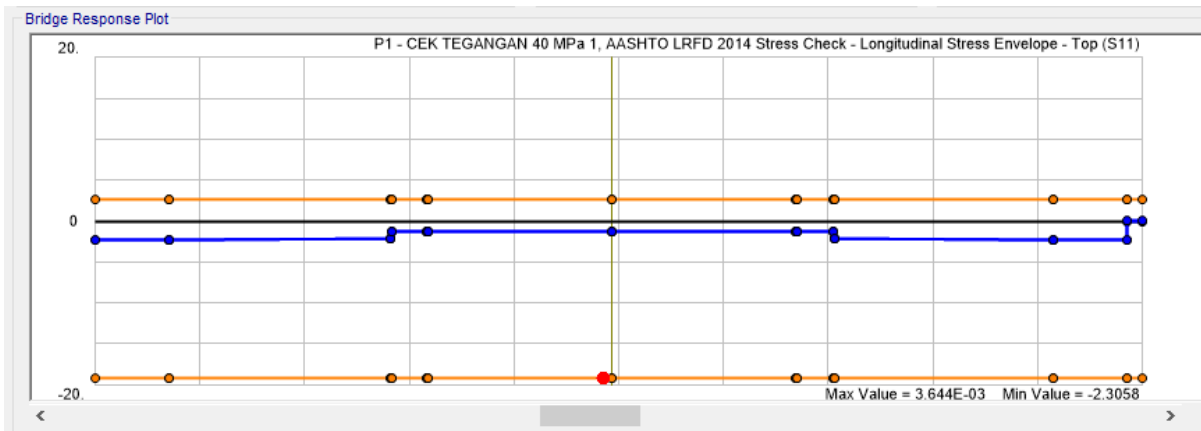
Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	c	F perku	F ijin	Feff seg	F0	F/A	F.e.y/I (MPa)				M.y/I (MPa)				ki (MPa)		Δes	Δfs1	Δfs2	fse	F se	F/A	F.e.y/I (MPa)				M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Kontrol				
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	m	kN.m	m	kN	kN	kN	kN	kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	MPa	MPa	MPa	MPa	kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah				
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	11796	2.62	2659	28904	0	28904	0.63	0.86	0.91	0.13	0.14	1.36	-0.14	3.986	27.20	334.3	1188.95	24635	0.54	0.73	0.78	0.13	0.14	1.14	-0.09	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	6064	2.52	1224	28904	0	28904	1.43	1.30	1.47	0.11	0.12	2.62	0.08	7.677	17.49	334.3	1194.98	24760	1.22	1.11	1.26	0.11	0.12	2.23	0.08	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

### Kontrol Tegangan Box girder

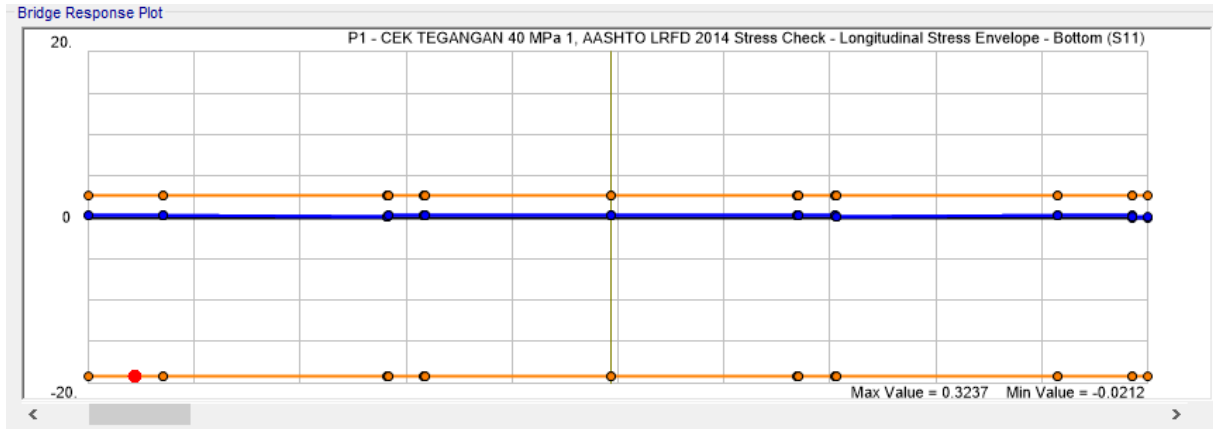


Gambar 4.9 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A2





Gambar 4.10 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.11 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

## 4.7.2 Pengecoran Segmen A3

### Preliminary Desain

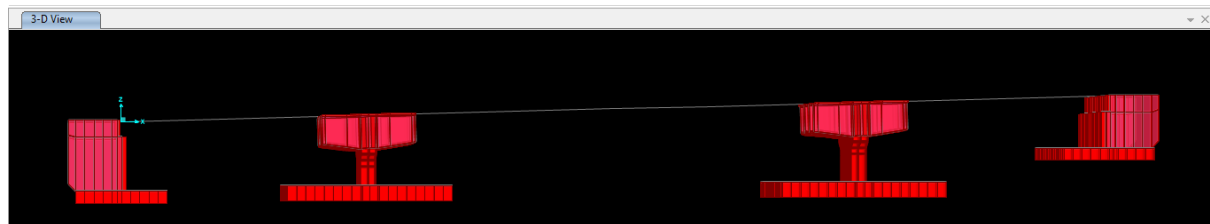
Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

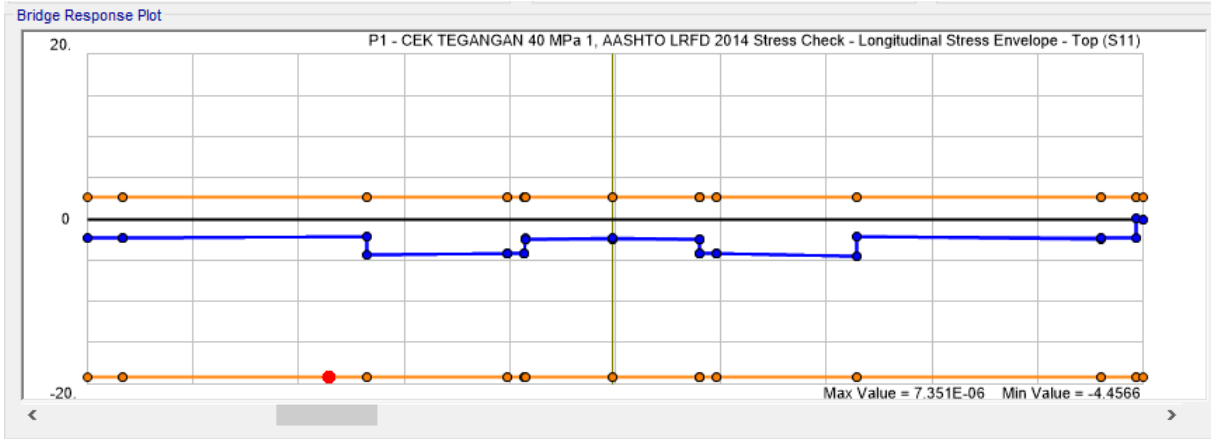
Bentang Kantilever = 7.5 m

Seg	X m	A m <sup>2</sup>	y <sub>b</sub> m	y <sub>t</sub> m	I m <sup>4</sup>	kt m	MG kN.m	e m	F perkh kN	F jin kN	Feff seg A1	F0 kN	F/A MPa	F.e.y/I (MPa) Atas Bawah	M.y/I (MPa) Atas Bawah	fci (MPa) Atas Bawah	Δes MPa	Δfs1 MPa	Δfs2 MPa	fse MPa	F se kN	F/A MPa	F.e.y/I (MPa) Atas Bawah	M.y/I (MPa) Atas Bawah	fci (MPa) Atas Bawah	Kontrol Atas Bawah							
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	33059	2.62	7451	28904	24635	53540	1.17	1.59	1.69	0.38	0.40	2.39	-0.12	7.009	58.29	156.0	1333.13	52258	1.14	1.56	1.65	0.38	0.40	2.32	-0.10	OK	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	27424	2.52	5534	28904	24760	53664	2.65	2.41	2.73	0.49	0.56	4.57	0.47	13.408	48.58	156.0	1336.44	52451	2.59	2.35	2.67	0.49	0.56	4.46	0.47	OK	OK
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	6601	2.54	1375	28904	0	28904	1.46	1.66	1.64	0.15	0.15	2.97	-0.03	8.716	31.09	156.0	1358.62	28151	1.42	1.61	1.60	0.15	0.15	2.89	-0.03	OK	OK

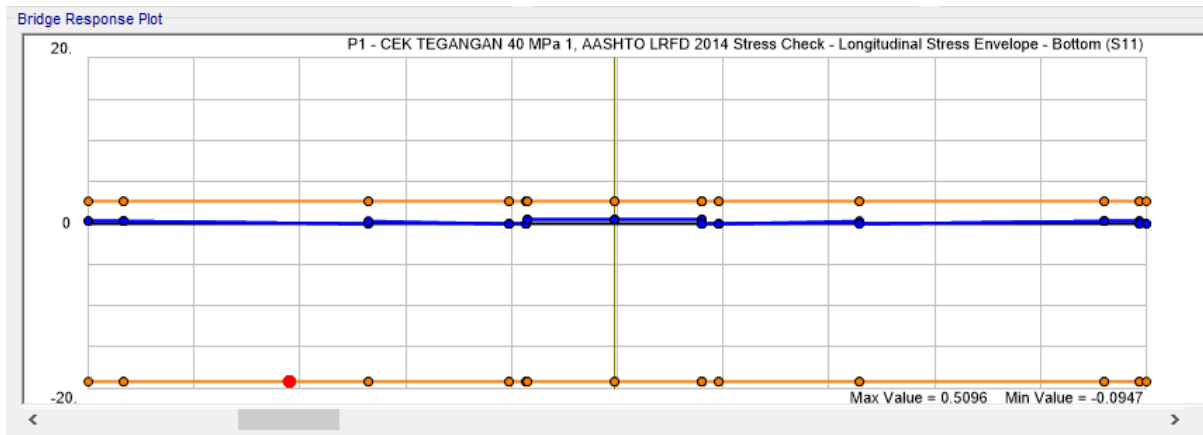
### Kontrol Tegangan Box girder



Gambar 4.12 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A3



Gambar 4.13 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.14 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

### 4.7.3 Pengecoran Segmen A4

#### Preliminary Desain

Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

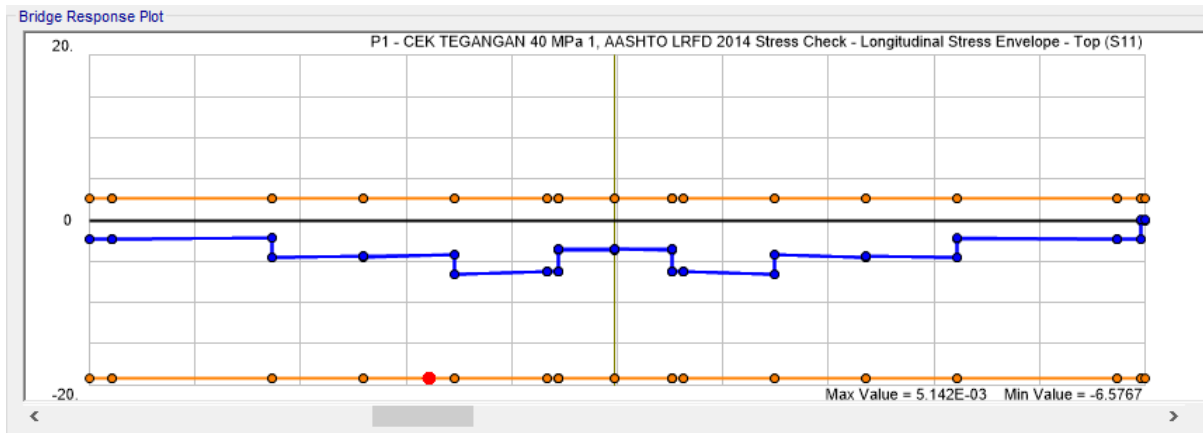
Bentang Kantilever = 11.5 m

Seg	X	A	yb	yt	I	ki	MG	c	F perku	F ijin	Feff seg	F0	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		des	dfs1	dfs2	fse	F se	F/A	F.e.y/I (MPa)				M.y/I (MPa)		fgi (MPa)		Kontrol			
	m	m <sup>2</sup>	m	m	ml	m	kN.m	m	kN	kN	kN	A2	kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	MPa	MPa	MPa	MPa	kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	60975	2.62	13743	28904	1333	30238	0.66	0.90	0.95	0.69	0.73	0.87	0.44	2.547	89.38	101.7	1360.76	29528	0.65	0.88	0.93	0.69	0.73	0.83	0.45	OK	OK				
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	50580	2.52	10207	28904	1336	30241	1.49	1.36	1.54	0.90	1.02	1.95	0.98	5.718	79.66	101.7	1367.31	29667	1.47	1.33	1.51	0.90	1.02	1.89	0.98	OK	OK				
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	34756	2.54	7239	28904	1359	30263	1.53	1.74	1.72	0.78	0.78	2.48	0.59	7.281	62.18	101.7	1383.23	30019	1.52	1.72	1.71	0.78	0.78	2.46	0.59	OK	OK				
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	12855	2.09	3248	28904	0	28904	1.52	1.49	1.71	0.32	0.36	2.70	0.18	7.911	31.09	101.7	1413.69	29292	1.54	1.51	1.73	0.32	0.36	2.74	0.18	OK	OK				

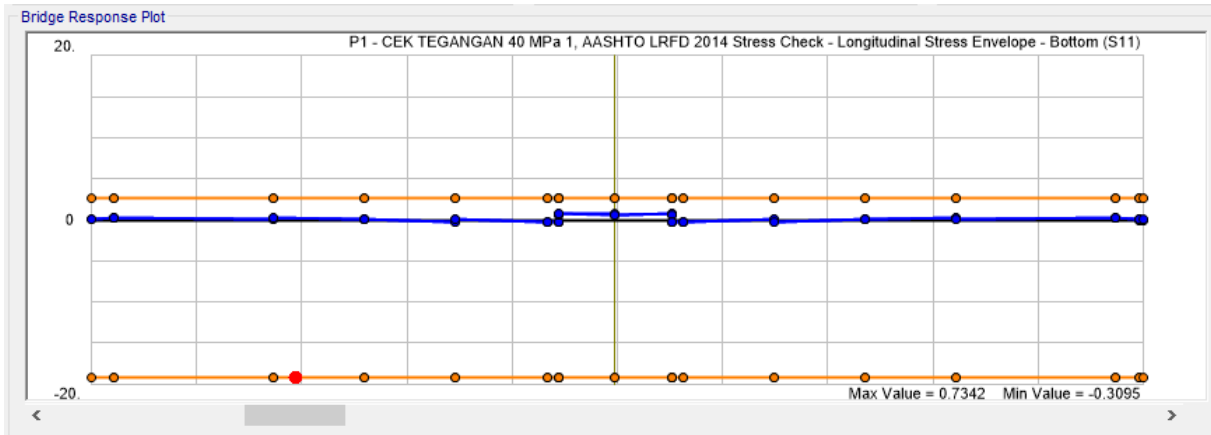
#### Kontrol Tegangan *Box girder*



Gambar 4.15 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A4



Gambar 4.16 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.17 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)



#### 4.7.4 Pengecoran Segmen A5

##### Preliminary Desain

Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

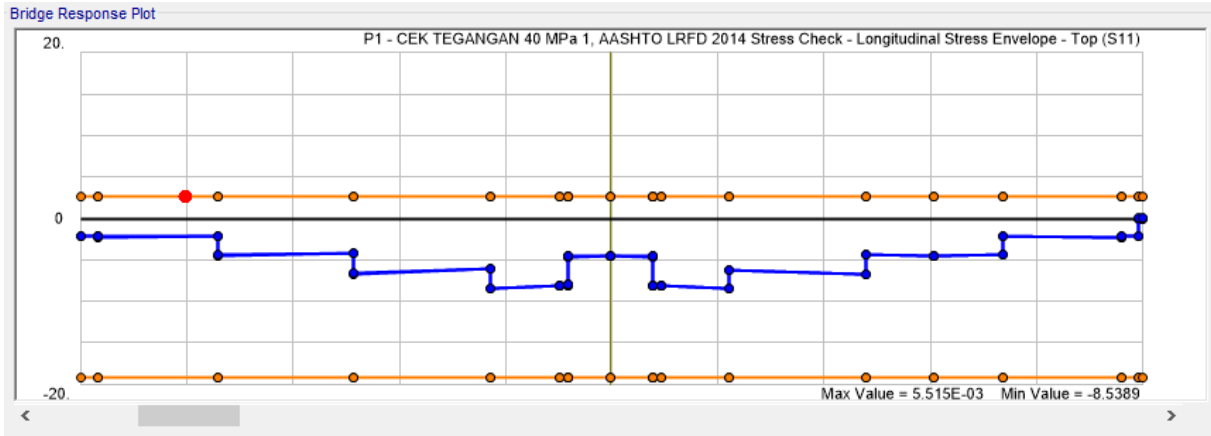
Bentang Kantilever = 15.5 m

Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	e	F perku	F jin	Feff seg	FO		F/A		F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fi (MPa)		Δes	Δfs1	Δfs2	fse	F se	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Kontrol	
												kN	A3	kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah							Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	95154	2.62	21446	28904	29528	58433	1.28	1.74	1.84	1.08	1.14	1.94	0.58	5.679	120.47	75.48	1352.80	57558	1.26	1.71	1.81	1.08	1.14	1.89	0.59	OK	OK		
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	82545	2.52	16657	28904	29667	58571	2.89	2.63	2.98	1.47	1.67	4.05	1.58	11.881	110.75	75.48	1356.31	57770	2.85	2.59	2.94	1.47	1.67	3.97	1.58	OK	OK		
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	62734	2.54	13066	28904	30019	58924	2.98	3.38	3.35	1.42	1.40	4.94	1.04	14.503	93.27	75.48	1371.18	58430	2.96	3.35	3.32	1.42	1.40	4.89	1.04	OK	OK		
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	33747	2.09	8527	28904	29292	58196	3.06	3.00	3.43	0.83	0.95	5.24	0.58	15.358	62.18	75.48	1401.41	58329	3.07	3.01	3.44	0.83	0.95	5.25	0.58	OK	OK		
A4	11.5	18.31	2.31	2.01	66.45	1.57	12511	1.86	3645	28904	0	28904	1.58	1.63	1.87	0.38	0.43	2.83	0.15	8.295	31.09	75.48	1439.56	29828	1.63	1.68	1.93	0.38	0.43	2.93	0.14	OK	OK		

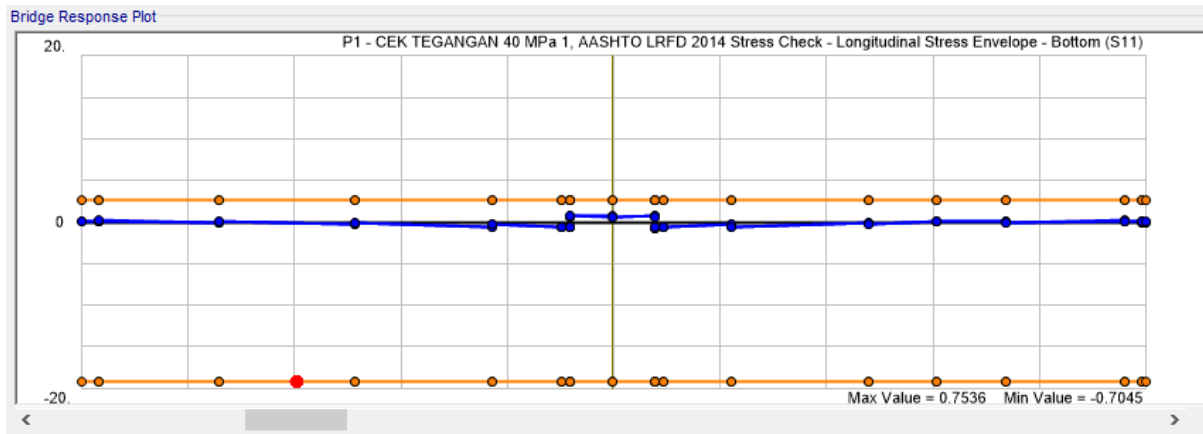
##### Kontrol Tegangan Box girder



Gambar 4.18 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A5



Gambar 4.19 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.20 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

## 4.7.5 Pengecoran Segmen A6

### Preliminary Desain

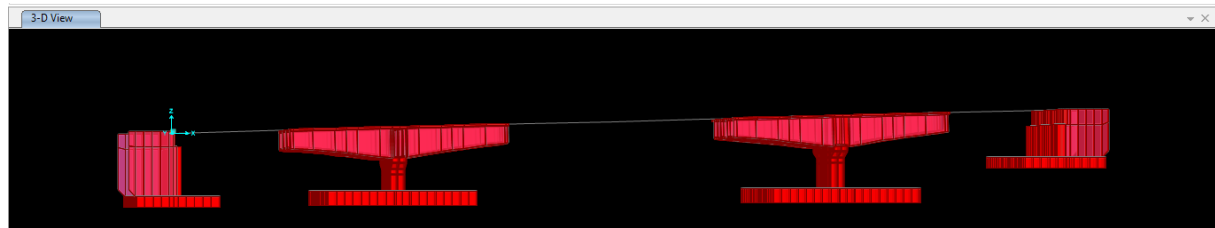
Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

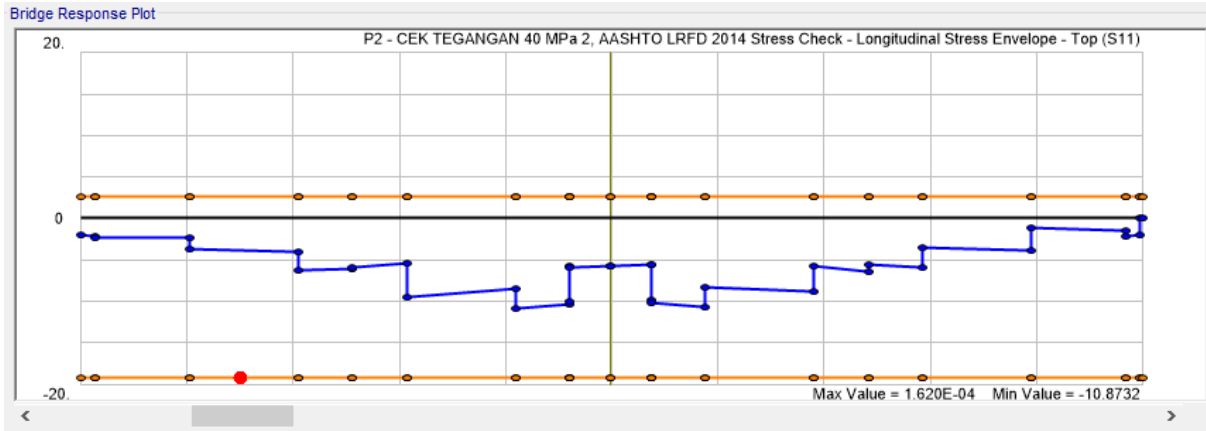
Bentang Kantilever = 19.5 m

Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	e	F perka	F jin	Feff seg	FO	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fi (MPa)		des	dfs1	dfs2	fse	F se	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Kontrol	
	m	m <sup>2</sup>	m	m	ml	m	kN.m	m	kN	kN	A4	kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	MPa	MPa	MPa	MPa	kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	133314	2.62	30498	28904	57558	86462	1.89	2.57	2.72	1.54	1.63	2.93	0.80	8.587	151.56	60.00	1334.28	85204	1.86	2.54	2.68	1.54	1.63	2.86	0.81	OK	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	120552	2.52	24327	28904	57770	86674	4.28	3.89	4.42	2.15	2.44	6.02	2.31	17.666	141.84	60.00	1334.92	85429	4.22	3.83	4.35	2.15	2.44	5.90	2.31	OK	OK
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	96869	2.54	20175	28904	58430	87334	4.42	5.01	4.96	2.19	2.17	7.24	1.62	21.239	124.35	60.00	1348.84	86378	4.37	4.95	4.91	2.19	2.17	7.14	1.63	OK	OK
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	60997	2.09	15413	28904	58329	87233	4.59	4.50	5.15	1.51	1.72	7.59	1.17	22.267	93.27	60.00	1378.90	86900	4.58	4.49	5.13	1.51	1.72	7.56	1.17	OK	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.01	66.45	1.57	32876	1.86	9579	28904	29828	58732	3.21	3.31	3.79	1.00	1.14	5.52	0.56	16.193	62.18	60.00	1416.06	59168	3.23	3.33	3.82	1.00	1.14	5.57	0.55	OK	OK
A5	15.5	17.72	2.08	1.81	49.32	1.34	12216	1.66	4079	28904	0	28904	1.63	1.76	2.03	0.45	0.52	2.94	0.12	8.638	31.09	60.00	1454.70	30141	1.70	1.84	2.11	0.45	0.52	3.09	0.10	OK	OK

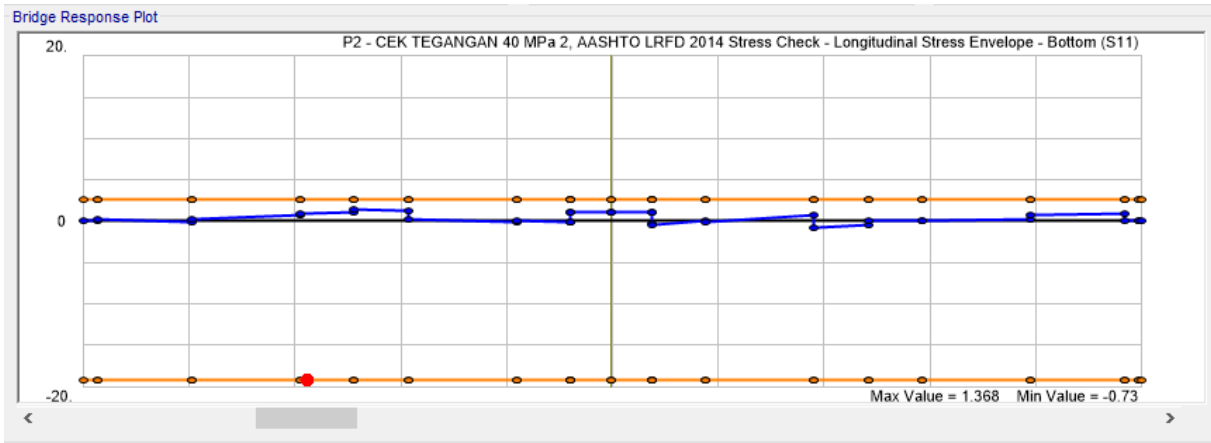
### Kontrol Tegangan Box girder



Gambar 4.21 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A6



Gambar 4.22 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.23 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

### 4.7.6 Pengecoran Segmen A7

#### Preliminary Desain

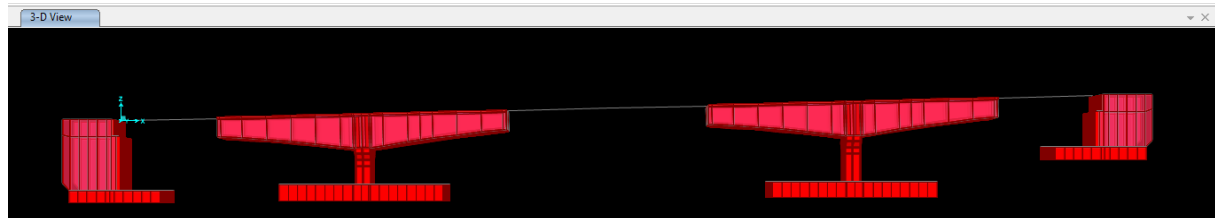
Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

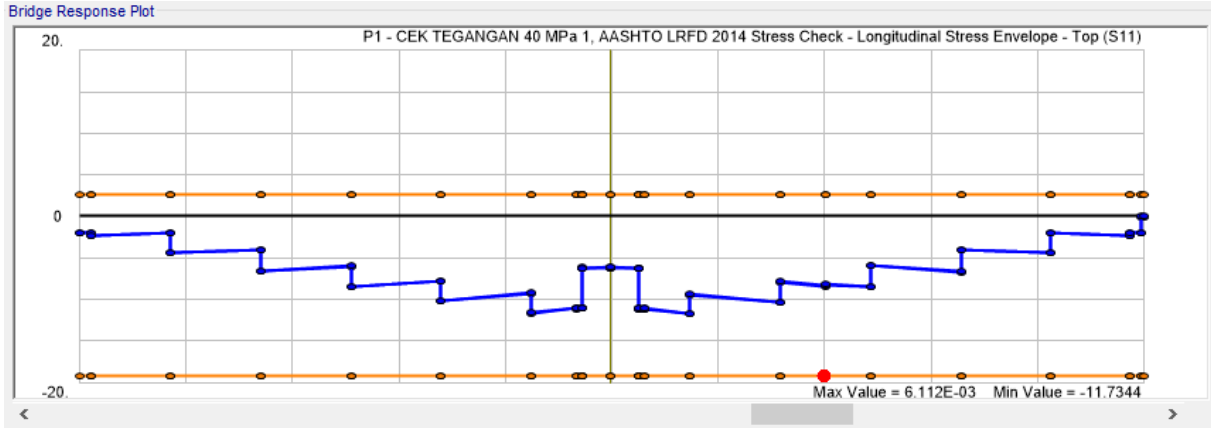
Bentang Kantilever = 23.5 m

Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	e	F perku	F jin	Feff seg	FO		F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Δes	Δfs1	Δfs2	fse	F.se	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Kontrol	
												kN	MPa		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah							Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	181279	2.62	40858	28904	85204	114109	2.50	3.40	3.59	2.06	2.18	3.83	1.09	11.242	182.65	49.79	1310.75	112363	2.46	3.34	3.54	2.06	2.18	3.74	1.10	OK	OK	
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	164418	2.52	33179	28904	85429	114334	5.65	5.13	5.83	2.93	3.33	7.85	3.15	23.021	172.93	49.79	1308.69	112545	5.56	5.05	5.73	2.93	3.33	7.68	3.16	OK	OK	
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	136955	2.54	28524	28904	86378	115282	5.83	6.61	6.55	3.09	3.06	9.35	2.35	27.434	155.44	49.79	1321.76	113765	5.76	6.52	6.46	3.09	3.06	9.19	2.36	OK	OK	
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	94363	2.09	23844	28904	86900	115804	6.10	5.98	6.83	2.33	2.66	9.75	1.93	28.591	124.35	49.79	1351.70	114907	6.05	5.93	6.78	2.33	2.66	9.65	1.93	OK	OK	
A4	11.5	18.31	2.31	2.01	66.45	1.57	59523	1.86	17343	28904	59168	88073	4.81	4.96	5.69	1.80	2.07	7.97	1.19	23.374	93.27	49.79	1388.00	87928	4.80	4.95	5.68	1.80	2.07	7.95	1.19	OK	OK	
A5	15.5	17.72	2.08	1.81	49.32	1.34	32144	1.66	10732	28904	30141	59046	3.33	3.60	4.14	1.18	1.36	5.75	0.55	16.871	62.18	49.79	1425.59	59680	3.37	3.64	4.18	1.18	1.36	5.83	0.54	OK	OK	
A6	19.5	17.21	1.89	1.64	37.62	1.15	11970	1.49	4527	28904	0	28904	1.68	1.88	2.17	0.52	0.60	3.04	0.11	8.908	31.09	49.79	1464.64	30347	1.76	1.97	2.28	0.52	0.60	3.21	0.09	OK	OK	

#### Kontrol Tegangan Box girder

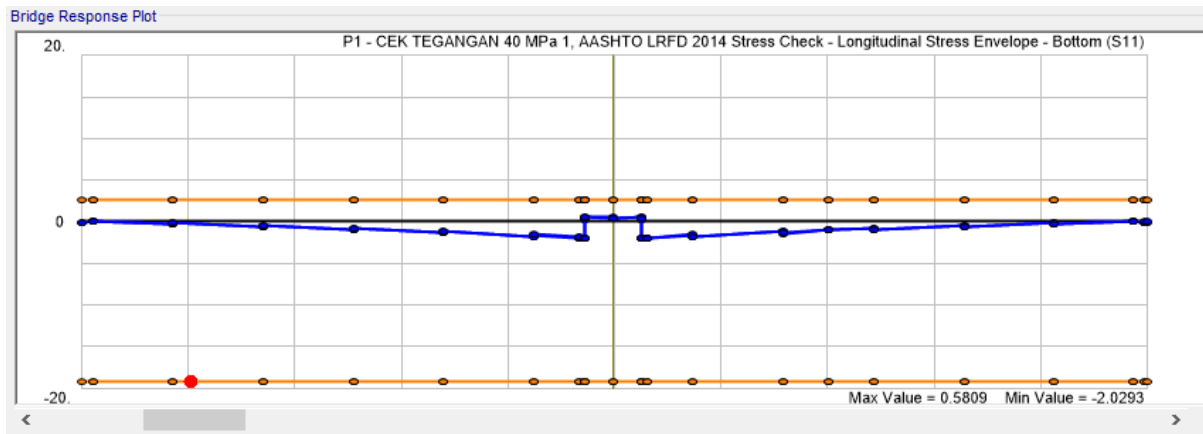


Gambar 4.24 Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A7



Gambar 4.25 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)





Gambar 4.26 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)

### 4.7.7 Pengecoran Segmen A8

#### Preliminary Desain

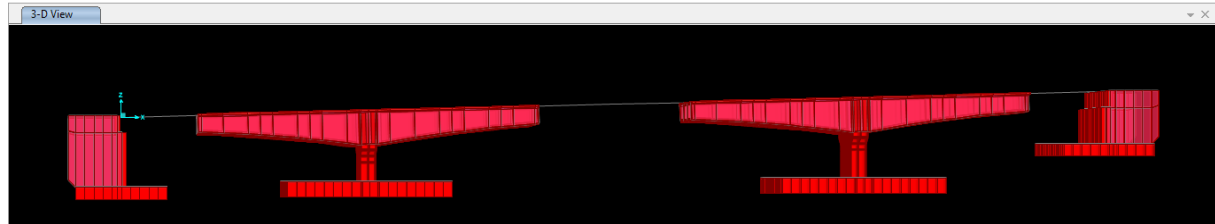
Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

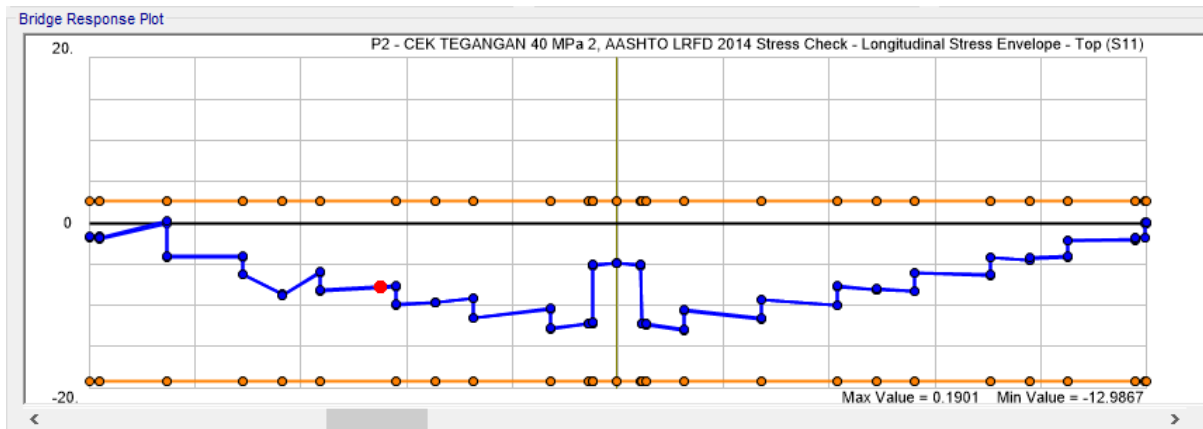
Bentang Kantilever = 27.5 m

Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	e	F perku	F jin	Feff seg	FO		F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		fcs	dfs1	dfs2	fse	Fse	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Kontrol	
												kN	A6		kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah							Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	232983	2.62	52511	28904	112363	141268	3.09	4.20	4.45	2.65	2.80	4.05	1.45	13.633	213.73	42.55	1284.52	138978	3.04	4.14	4.38	2.65	2.80	4.53	1.47	OK	OK	
A1	1.35	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	214063	2.52	43198	28904	112545	141450	6.99	6.35	7.21	3.82	4.34	9.52	4.12	27.923	204.02	42.55	1279.94	139066	6.87	6.24	7.09	3.82	4.34	9.29	4.12	OK	OK	
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	182894	2.54	38092	28904	113765	142669	7.22	8.18	8.11	4.13	4.09	11.27	3.20	33.063	186.53	42.55	1292.29	140541	7.11	8.06	7.99	4.13	4.09	11.04	3.22	OK	OK	
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	133712	2.09	33787	28904	114907	143811	7.57	7.42	8.48	3.30	3.77	11.69	2.86	34.309	155.44	42.55	1322.13	142301	7.49	7.35	8.40	3.30	3.77	11.54	2.87	OK	OK	
A4	11.5	18.31	2.31	2.01	66.45	1.57	92283	1.86	26887	28904	87928	116832	6.38	6.58	7.55	2.79	3.21	10.17	2.04	29.823	124.35	42.55	1357.71	116060	6.34	6.54	7.50	2.79	3.21	10.08	2.05	OK	OK	
A5	15.5	17.72	2.08	1.81	49.32	1.34	58314	1.66	19470	28904	59680	88584	5.00	5.40	6.21	2.14	2.46	8.26	1.25	24.224	93.27	42.55	1394.39	88572	5.00	5.40	6.21	2.14	2.46	8.26	1.25	OK	OK	
A6	19.5	17.21	1.89	1.64	37.62	1.15	31551	1.49	11934	28904	30347	59252	3.44	3.85	4.44	1.38	1.59	5.92	0.59	17.363	62.18	42.55	1432.34	60026	3.49	3.90	4.50	1.38	1.59	6.01	0.57	OK	OK	
A7	23.5	16.80	1.74	1.50	29.85	1.02	11773	1.35	4959	28904	0	28904	1.72	1.97	2.27	0.59	0.68	3.09	0.13	9.078	31.09	42.55	1471.72	30494	1.82	2.07	2.40	0.59	0.68	3.30	0.10	OK	OK	

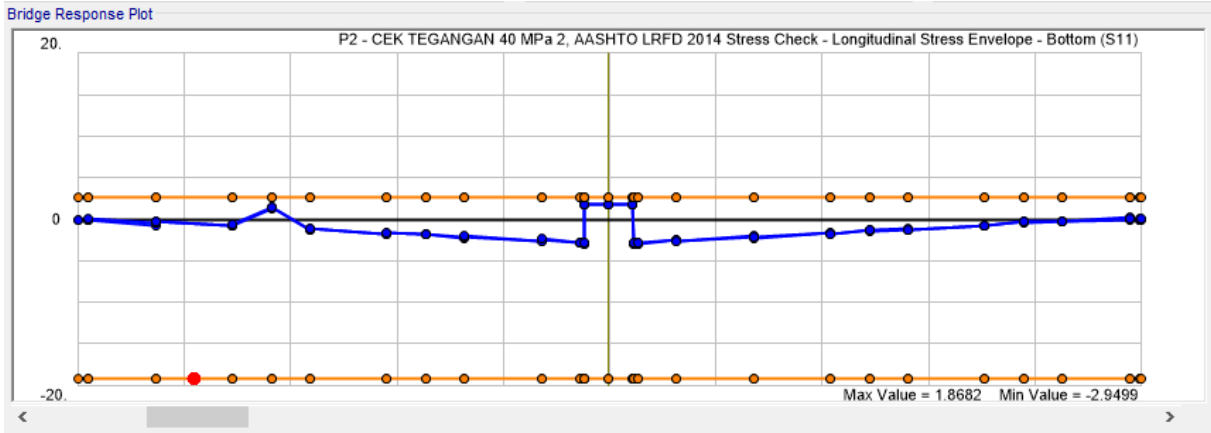
#### Kontrol Tegangan Box girder



Gambar 4.27 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A8



Gambar 4.28 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.29 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

### 4.7.8 Pengecoran Segmen A9

#### Preliminary Desain

Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

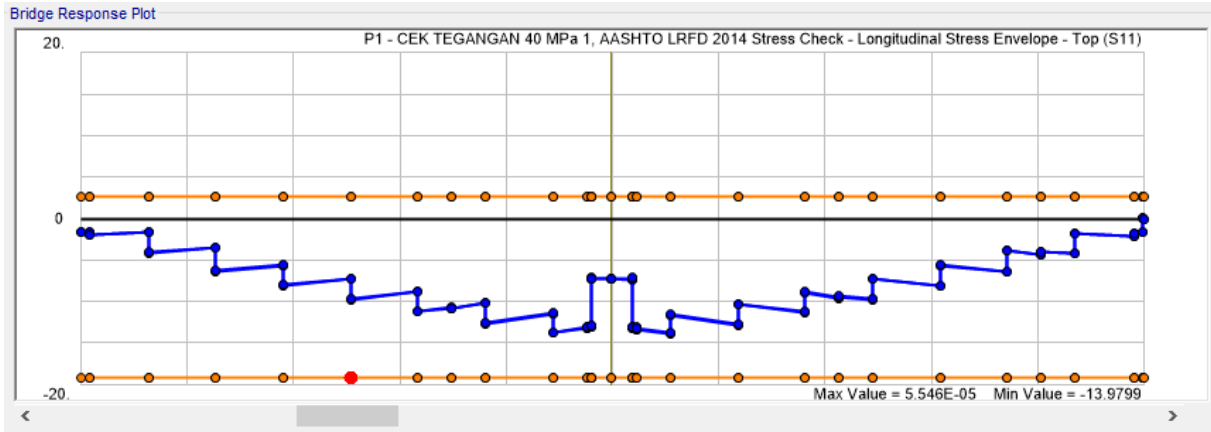
Bentang Kantilever = 31.5 m

Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	e	F perku	F jin	F eff seg	FO	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fi (MPa)		Δes	Δfs1	Δfs2	fse	F se	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Kontrol	
														Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah							Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	290466	2.62	65467	28904	138978	167883	3.67	5.00	5.29	3.30	3.49	5.37	1.88	15.748	244.82	37.14	1256.72	165018	3.61	4.91	5.20	3.30	3.49	5.22	1.91	OK	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	269516	2.52	54388	28904	139066	167970	8.30	7.54	8.56	4.81	5.46	11.03	5.20	32.357	235.11	37.14	1249.82	164962	8.15	7.40	8.41	4.81	5.46	10.75	5.20	OK	OK
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	234693	2.54	48880	28904	140541	169445	8.57	9.72	9.63	5.30	5.25	12.99	4.20	38.111	217.62	37.14	1261.55	166680	8.43	9.56	9.47	5.30	5.25	12.69	4.21	OK	OK
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	179017	2.09	45234	28904	142301	171206	9.01	8.84	10.10	4.42	5.05	13.43	3.96	39.408	186.53	37.14	1291.35	169058	8.90	8.73	9.97	4.42	5.05	13.21	3.98	OK	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.01	66.45	1.57	131092	1.86	38195	28904	116060	144964	7.92	8.16	9.36	3.97	4.55	12.11	3.11	35.530	155.44	37.14	1326.31	143541	7.84	8.08	9.27	3.97	4.55	11.95	3.12	OK	OK
A5	15.5	17.72	2.08	1.81	49.32	1.34	90628	1.66	30259	28904	88572	117476	6.63	7.16	8.24	3.33	3.83	10.46	2.23	30.692	124.35	37.14	1362.24	116797	6.59	7.12	8.19	3.33	3.83	10.38	2.23	OK	OK
A6	19.5	17.21	1.89	1.64	37.62	1.15	57370	1.49	21699	28904	60026	88930	5.17	5.78	6.67	2.50	2.89	8.45	1.39	24.777	93.27	37.14	1399.24	89018	5.17	5.79	6.68	2.50	2.89	8.46	1.38	OK	OK
A7	23.5	16.80	1.74	1.50	29.85	1.02	31097	1.35	13099	28904	30494	59398	3.54	4.04	4.67	1.57	1.81	6.01	0.68	17.635	62.18	37.14	1437.47	60278	3.59	4.10	4.74	1.57	1.81	6.12	0.66	OK	OK
A8	27.5	16.47	1.61	1.39	24.88	0.94	9735	1.24	4469	28904	0	28904	1.75	2.01	2.33	0.55	0.63	3.22	0.06	9.453	31.09	37.14	1476.74	30598	1.86	2.13	2.46	0.55	0.63	3.44	0.02	OK	OK

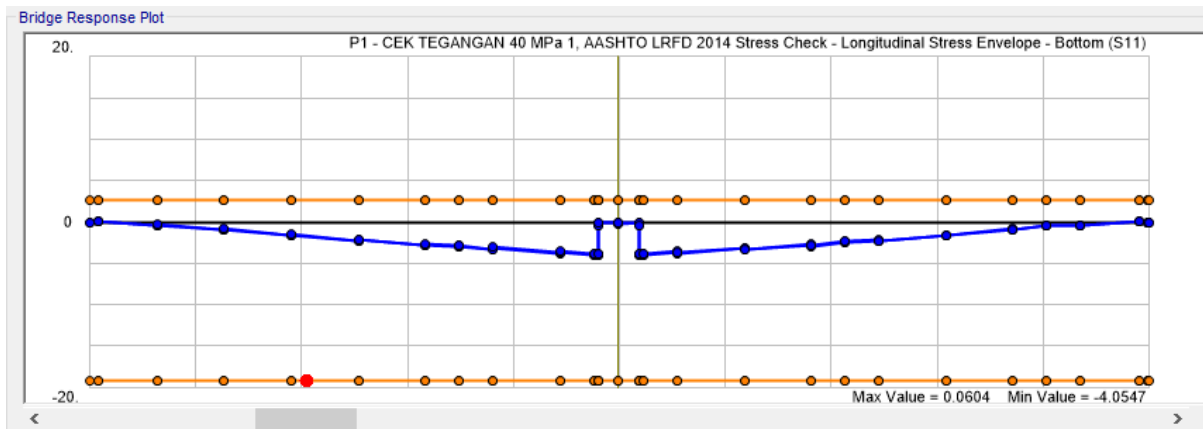
#### Kontrol Tegangan *Box girder*



Gambar 4.30 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A9



Gambar 4.31 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.32 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

### 4.7.9 Pengecoran Segmen A10

#### Preliminary Desain

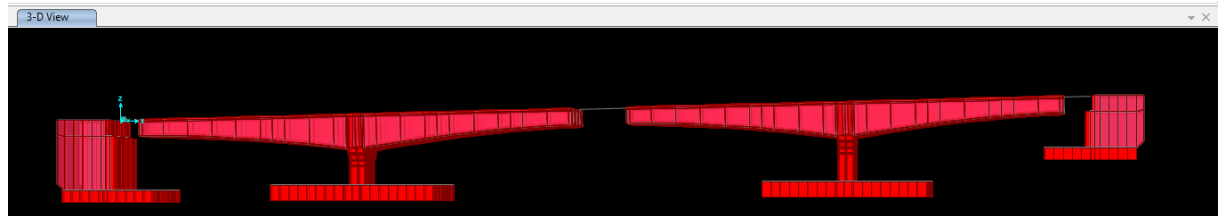
Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

Bentang Kantilever = 35.5 m

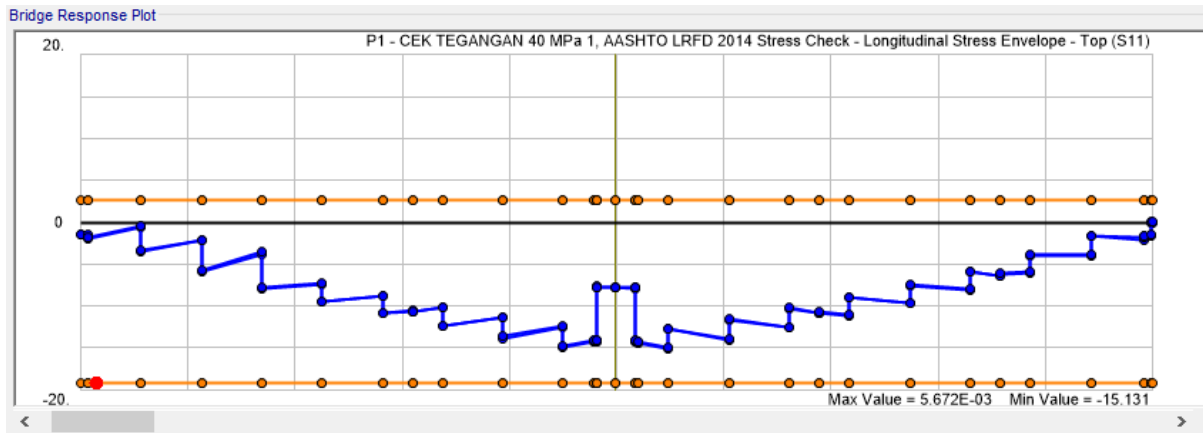
Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	e	F perka	F jijn	Feff seg	FO	F/A	F.e.y/I (MPa)			M.y/I (MPa)			fi (MPa)		Des	dfs1	dfs2	fse	F se	F/A	F.e.y/I (MPa)			M.y/I (MPa)			fci (MPa)		Kontrol	
														Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah							Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	339795	2.62	76588	28904	165018	193922	4.24	5.77	6.11	3.86	4.09	6.15	2.23	18.048	275.91	32.96	1227.51	190452	4.17	5.67	6.00	3.86	4.09	5.97	2.26	OK	OK				
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	317336	2.52	64038	28904	164962	193867	9.58	8.70	9.88	5.66	6.43	12.62	6.13	37.018	266.20	32.96	1218.26	190204	9.40	8.54	9.69	5.66	6.43	12.27	6.13	OK	OK				
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	279798	2.54	58274	28904	166680	195585	9.89	11.22	11.11	6.32	6.26	14.79	5.04	43.400	248.71	32.96	1229.36	192153	9.72	11.02	10.92	6.32	6.26	14.42	5.06	OK	OK				
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	219294	2.09	55412	28904	169058	197962	10.42	10.22	11.68	5.41	6.19	15.23	4.93	44.676	217.62	32.96	1259.17	195148	10.27	10.07	11.51	5.41	6.19	14.93	4.95	OK	OK				
A4	11.5	18.31	2.31	2.01	66.45	1.57	166541	1.86	48523	28904	143541	172445	9.42	9.71	11.14	5.04	5.78	14.09	4.06	41.324	186.53	32.96	1293.62	170344	9.30	9.59	11.00	5.04	5.78	13.85	4.09	OK	OK				
A5	15.5	17.72	2.08	1.81	49.32	1.34	121250	1.66	40483	28904	116797	145702	8.22	8.88	10.22	4.45	5.12	12.65	3.13	37.113	155.44	32.96	1328.91	144332	8.15	8.80	10.12	4.45	5.12	12.49	3.15	OK	OK				
A6	19.5	17.21	1.89	1.64	37.62	1.15	83163	1.49	31453	28904	89018	117922	6.85	7.67	8.84	3.63	4.19	10.89	2.19	31.947	124.35	32.96	1365.17	117304	6.82	7.63	8.80	3.63	4.19	10.81	2.20	OK	OK				
A7	23.5	16.80	1.74	1.50	29.85	1.02	52063	1.35	21930	28904	60278	89183	5.31	6.07	7.01	2.62	3.03	8.75	1.33	25.683	93.27	32.96	1402.52	89339	5.32	6.08	7.02	2.62	3.03	8.77	1.33	OK	OK				
A8	27.5	16.47	1.61	1.39	24.88	0.94	27764	1.24	12745	28904	30598	59503	3.61	4.14	4.79	1.56	1.80	6.20	0.62	18.189	62.18	32.96	1441.11	60458	3.67	4.21	4.87	1.56	1.80	6.32	0.60	OK	OK				
A9	31.5	16.24	1.52	1.32	21.92	0.89	10120	1.17	4932	28904	0	28904	1.78	2.02	2.34	0.61	0.70	3.20	0.14	9.376	31.09	32.96	1481.01	30686	1.89	2.15	2.48	0.61	0.70	3.43	0.11	OK	OK				

#### Kontrol Tegangan Box girder

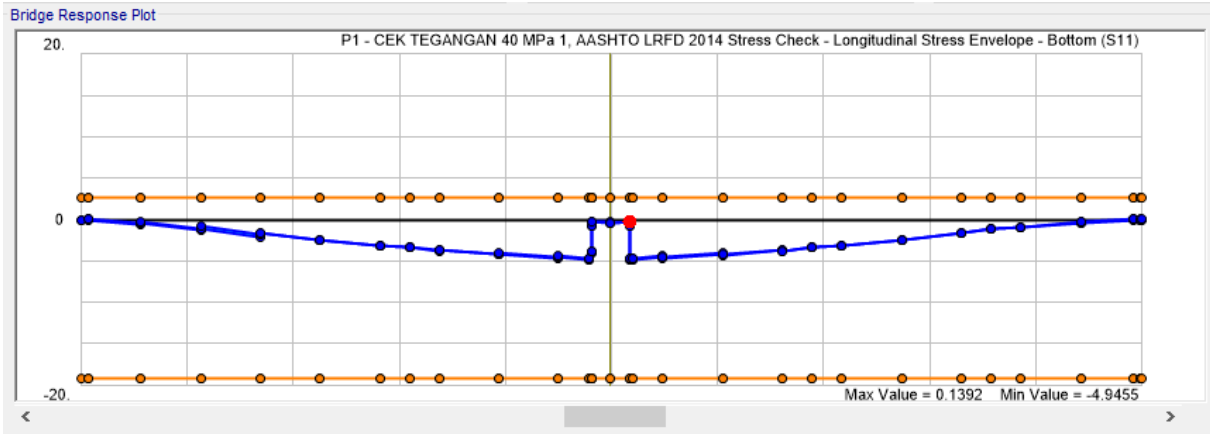


Gambar 4.33 Struktur Kantilever Tahap Pengecoran Segmen A10





Gambar 4.34 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.35 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

### 4.7.10 Pengecoran Segmen CL

#### Preliminary Desain

Tipe Tendon = T5-37 strand

Jumlah *Block Anchor* = 4 buah

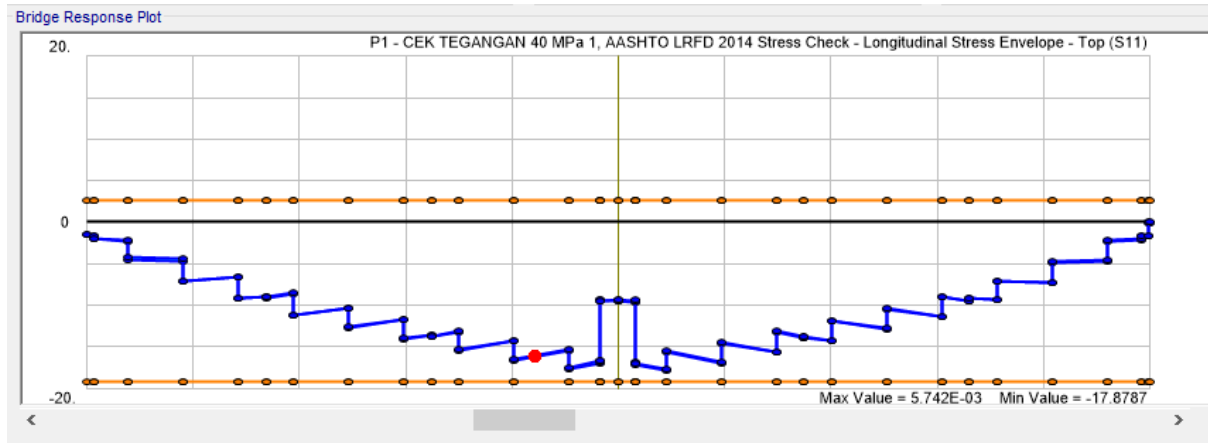
Bentang Kantilever = 38.5 m

Seg	X	A	yb	yt	I	kt	MG	e	F perka	F ijin	Feff seg	FO	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fi (MPa)		Δes	Δfs1	Δfs2	fse	F se	F/A	F.e.y/I (MPa)		M.y/I (MPa)		fci (MPa)		Kontrol	
														kN	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah							Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	0	45.69	2.93	2.77	243.60	1.82	390199	2.62	87945	14452	190452	204904	4.48	6.10	6.45	4.44	4.69	6.15	2.73	18.030	299.23	30.39	1206.78	202954	4.44	6.04	6.39	4.44	4.69	6.05	2.75	OK	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.67	149.61	2.44	366236	2.52	73906	14452	190204	204657	10.11	9.18	10.43	6.53	7.42	12.76	7.10	37.443	289.51	30.39	1197.08	202606	10.01	9.09	10.32	6.53	7.42	12.57	7.10	OK	OK
A2	3.5	19.77	2.67	2.69	119.25	2.26	325991	2.54	67898	14452	192153	206605	10.45	11.85	11.74	7.36	7.29	14.94	6.01	43.830	272.03	30.39	1208.18	204670	10.35	11.74	11.63	7.36	7.29	14.73	6.02	OK	OK
A3	7.5	18.99	2.56	2.24	90.90	1.87	260674	2.09	65868	14452	195148	209600	11.04	10.82	12.37	6.43	7.35	15.42	6.02	45.240	240.94	30.39	1237.86	207972	10.95	10.74	12.27	6.43	7.35	15.25	6.03	OK	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.01	66.45	1.57	203109	1.86	59177	14452	170344	184797	10.09	10.41	11.94	6.15	7.05	14.35	5.21	42.095	209.85	30.39	1272.10	183523	10.02	10.33	11.85	6.15	7.05	14.21	5.22	OK	OK
A5	15.5	17.72	2.08	1.81	49.32	1.34	153004	1.66	51086	14452	144332	158784	8.96	9.68	11.13	5.62	6.47	13.02	4.29	38.197	178.76	30.39	1307.08	157874	8.91	9.62	11.07	5.62	6.47	12.91	4.31	OK	OK
A6	19.5	17.21	1.89	1.64	37.62	1.15	110105	1.49	41646	14452	117304	131756	7.65	8.57	9.88	4.81	5.54	11.42	3.32	33.494	147.67	30.39	1342.87	131216	7.62	8.53	9.84	4.81	5.54	11.35	3.33	OK	OK
A7	23.5	16.80	1.74	1.50	29.85	1.02	74192	1.35	31252	14452	89339	103791	6.18	7.06	8.16	3.74	4.32	9.50	2.34	27.880	116.58	30.39	1379.58	103631	6.17	7.05	8.14	3.74	4.32	9.48	2.34	OK	OK
A8	27.5	16.47	1.61	1.39	24.88	0.94	45081	1.24	20695	14452	60458	74910	4.55	5.22	6.03	2.53	2.92	7.24	1.44	21.232	85.49	30.39	1417.31	75141	4.56	5.23	6.05	2.53	2.92	7.27	1.43	OK	OK
A9	31.5	16.24	1.52	1.32	21.92	0.89	22624	1.17	11025	14452	30686	45139	2.78	3.16	3.65	1.36	1.57	4.58	0.70	13.439	54.41	30.39	1456.19	45773	2.82	3.21	3.70	1.36	1.57	4.66	0.69	OK	OK
A10	35.5	16.09	1.47	1.27	20.36	0.86	6710	1.12	3386	14452	0	14452	0.90	1.01	1.16	0.42	0.48	1.49	0.22	4.364	23.32	30.39	1496.36	15502	0.96	1.08	1.25	0.42	0.48	1.63	0.20	OK	OK

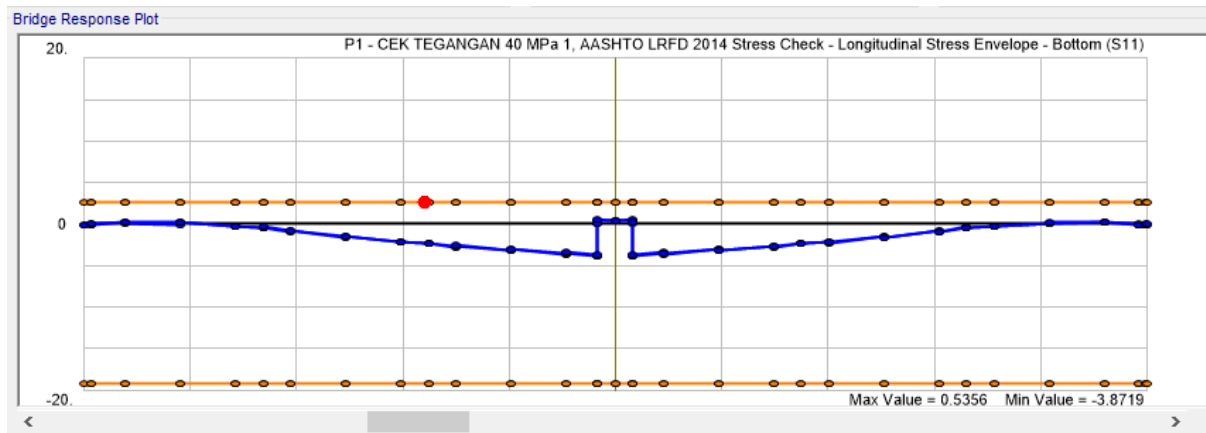
#### Kontrol Tegangan Box girder



Gambar 4.36 Kantilever Tahap Pengecoran Segmen CL



Gambar 4.37 Kontrol Tegangan Sisi Atas *Box girder* (MPa)



Gambar 4.38 Kontrol Tegangan Sisi Bawah *Box girder* (MPa)

#### 4.7.11 Kontrol Tegangan *Top slab Box girder*

Pada bagian *top slab* pada *box girder* terdapat tendon prategang untuk menghindari terjadinya tegangan tarik yang melebihi batas ijin beton. Penambahan tendon prategang akan menyebabkan terjadinya tegangan tekan pada *top slab box girder*. Sehingga tegangan tekan yang terjadi harus dikontrol agar tidak sampai melebihi tegangan ijin beton yang ditentukan.

Tabel 4.4 Kontrol Tegangan Ijin *Top slab*

Segmen	F eff kN	h top slab mm	b top slab mm	f top slab MPa	f ijin MPa	Kontrol
P	215141	700	17906	17.16	18	OK
A1	214482	700	17906	17.11	18	OK
A2	216526	700	17906	17.27	18	OK
A3	220135	700	17906	17.56	18	OK
A4	196098	650	17906	16.85	18	OK
A5	170875	550	17906	17.35	18	OK
A6	144660	450	17906	17.95	18	OK
A7	117532	400	17906	16.41	18	OK
A8	89514	305	17906	16.39	18	OK
A9	60628	305	17906	11.10	18	OK
A10	30846	305	17906	5.65	18	OK

#### 4.7.12 Kontrol Momen Retak dan Momen Ultimate

Momen retak dan momen ultimate jembatan dalam tahap kantilever harus dikontrol terhadap momen akibat beban-beban yang terjadi. Sebagai contoh perhitungan akan diambil momen retak dan momen ultimate pada tumpuan kantilever saat pengecoran segmen A10.

##### 1. Kapasitas Momen Retak

$$F \text{ efektif} = 202954 \text{ kN}$$

$$MG = 390199 \text{ kN.m}$$

$$e = 2,62 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 r^2 &= 5,33 \text{ m}^2 \\
 yt &= 2,77 \text{ m} \\
 I &= 243,6 \text{ m}^4 \\
 fc' &= 50 \text{ MPa} \\
 fr &= 0,62\sqrt{50 \text{ MPa}} = 4,38 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = F \left( e + \frac{r^2}{y} \right) + \frac{f_r I}{y}$$

$$M_{cr} = 202954 \left( 2,62 + \frac{5,33}{2,77} \right) + \frac{4380 \cdot 243,6}{2,77}$$

$$M_{cr} = 1307392 \text{ kN.m} > 390199 \text{ kN.m} \quad (OK)$$

## 2. Kapasitas Momen Ultimate

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ Lentur} &= 0,8 \\
 T &= 202954 \text{ kN} \\
 d &= 5,7 \text{ m} \\
 bw &= 6.4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 f_c bw} = \frac{202954}{0,85 \cdot 50000 \cdot 6.4} = 0,746 \text{ m}$$

$$M_u = \phi T \left( d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \cdot 202954 \left( 5,7 - \frac{0,746}{2} \right)$$

$$M_u = 98044 \text{ kN.m} > 390199 \text{ kN.m} \quad (OK)$$

### Pengecoran Segmen A2

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	24635	11796	2.62	6.40	5.70	0.091	113229	OK	5.33	497451.5	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	24760	6064	2.52	1.40	5.70	0.416	116999	OK	7.39	376687.8	OK

### Pengecoran Segmen A3

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	52258	33059	2.62	6.40	5.70	0.192	242310	OK	5.33	622915.2	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	52451	27424	2.52	1.40	5.70	0.882	257614	OK	7.39	523065.4	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	28151	6601	2.54	1.40	5.36	0.473	126038	OK	6.03	328750.7	OK

### Pengecoran Segmen A4

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	29528	60975	2.62	6.40	5.70	0.109	135930	OK	5.33	519675.9	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	29667	50580	2.52	1.40	5.70	0.499	141166	OK	7.39	402627.2	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	30019	34756	2.54	1.40	5.36	0.505	134780	OK	6.03	337683.2	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	29292	12855	2.09	1.40	4.81	0.492	118435	OK	4.79	301340.8	OK



## Pengecoran Segmen A5

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	57558	95154	2.62	6.40	5.70	0.212	267337	OK	5.33	646990.7	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	57770	82545	2.52	1.40	5.70	0.971	285803	OK	7.39	551180.7	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	58430	62734	2.54	1.40	5.36	0.982	273499	OK	6.03	473504.0	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	58329	33747	2.09	1.40	4.81	0.98	247228	OK	4.79	423999.2	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.012	66.45	29828	12511	1.86	1.40	4.32	0.501	109066	OK	3.63	254047.4	OK

## Pengecoran Segmen A6

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	85204	135314	2.62	6.40	5.70	0.313	399209	OK	5.33	772563.3	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	85429	120552	2.52	1.40	5.70	1.436	438527	OK	7.39	697391.4	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	86378	96869	2.54	1.40	5.36	1.452	420547	OK	6.03	607111.9	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	86900	60997	2.09	1.40	4.81	1.46	385017	OK	4.79	544687.0	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.012	66.45	59168	32876	1.86	1.40	4.32	0.994	228022	OK	3.63	361530.5	OK
A5	15.5	17.717	2.08	1.812	49.32	30141	12216	1.66	1.40	3.90	0.507	100052	OK	2.78	215683.9	OK

### Pengecoran Segmen A7

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	112363	181279	2.62	6.40	5.70	0.413	530943	OK	5.33	895921.3	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	112545	164418	2.52	1.40	5.70	1.892	598236	OK	7.39	840729.2	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	113765	136955	2.54	1.40	5.36	1.912	574831	OK	6.03	738038.4	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	114907	94363	2.09	1.40	4.81	1.931	530741	OK	4.79	662994.2	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.012	66.45	87928	59523	1.86	1.40	4.32	1.478	355854	OK	3.63	466884.1	OK
A5	15.5	17.717	2.08	1.812	49.32	59680	32144	1.66	1.40	3.90	1.003	209954	OK	2.78	310086.6	OK
A6	19.5	17.213	1.89	1.642	37.62	30347	11970	1.49	1.40	3.54	0.51	92038.2	OK	2.19	186026.0	OK

### Pengecoran Segmen A8

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	138978	232983	2.62	6.40	5.70	0.511	662146	OK	5.33	1016810.0	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	139066	214063	2.52	1.40	5.70	2.337	763999	OK	7.39	980918.1	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	140541	182894	2.54	1.40	5.36	2.362	735425	OK	6.03	866045.1	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	142301	133712	2.09	1.40	4.81	2.392	683480	OK	4.79	778713.8	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.012	66.45	116060	92283	1.86	1.40	4.32	1.951	491655	OK	3.63	569938.1	OK
A5	15.5	17.717	2.08	1.812	49.32	88572	58314	1.66	1.40	3.90	1.489	328799	OK	2.78	402423.2	OK
A6	19.5	17.213	1.89	1.642	37.62	60026	31551	1.49	1.40	3.54	1.009	194023	OK	2.19	269736.5	OK
A7	23.5	16.798	1.74	1.503	29.85	30494	11773	1.35	1.40	3.24	0.513	85291.7	OK	1.78	164283.0	OK

## Pengecoran Segmen A9

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	165018	290466	2.62	6.40	5.70	0.607	792526	OK	5.33	1135082.4	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	164962	269516	2.52	1.40	5.70	2.772	934987	OK	7.39	1117808.1	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	166680	234693	2.54	1.40	5.36	2.801	901498	OK	6.03	991007.5	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	169058	179017	2.09	1.40	4.81	2.841	842403	OK	4.79	891738.9	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.012	66.45	143541	131092	1.86	1.40	4.32	2.412	634591	OK	3.63	670609.3	OK
A5	15.5	17.717	2.08	1.812	49.32	116797	90628	1.66	1.40	3.90	1.963	455741	OK	2.78	492630.5	OK
A6	19.5	17.213	1.89	1.642	37.62	89018	57370	1.49	1.40	3.54	1.496	305086	OK	2.19	351512.5	OK
A7	23.5	16.798	1.74	1.503	29.85	60278	31097	1.35	1.40	3.24	1.013	180669	OK	1.78	239722.1	OK
A8	27.5	16.473	1.61	1.395	24.88	30598	9735	1.24	1.40	3.01	0.514	79925.5	OK	1.51	149334.4	OK

## Pengecoran Segmen A10

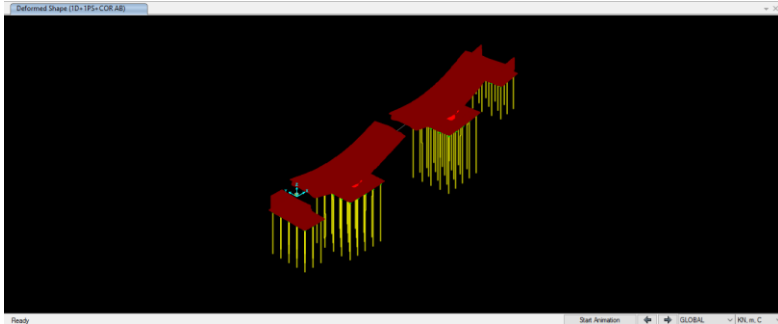
Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	190452	339795	2.62	6.40	5.70	0.7	921800	OK	5.33	1250606.3	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	190204	317336	2.52	1.40	5.70	3.197	1110334	OK	7.39	1251241.0	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	192153	279798	2.54	1.40	5.36	3.229	1072171	OK	6.03	1112781.0	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	195148	219294	2.09	1.40	4.81	3.28	1006636	OK	4.79	1001948.2	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.012	66.45	170344	166541	1.86	1.40	4.32	2.863	783784	OK	3.63	768798.7	OK
A5	15.5	17.717	2.08	1.812	49.32	144332	121250	1.66	1.40	3.90	2.426	589900	OK	2.78	580631.1	OK
A6	19.5	17.213	1.89	1.642	37.62	117304	83163	1.49	1.40	3.54	1.971	424336	OK	2.19	431297.1	OK
A7	23.5	16.798	1.74	1.503	29.85	89339	52063	1.35	1.40	3.24	1.501	285222	OK	1.78	313326.8	OK
A8	27.5	16.473	1.61	1.395	24.88	60458	27764	1.24	1.40	3.01	1.016	170058	OK	1.51	218758.0	OK
A9	31.5	16.238	1.52	1.318	21.92	30686	10120	1.17	1.40	2.84	0.516	76050.1	OK	1.35	140145.1	OK

### Sebelum Pengecoran Segmen CL

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	F <sub>eff</sub>	MG	e	b	d	a	Mu	Kontrol	r <sup>2</sup>	M <sub>cr</sub>	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN.m	m	m	m	m	kN.m	Mu	m <sup>2</sup>	kN.m	M <sub>cr</sub>
P	0	45.692	2.93	2.77	243.6	202954	390199	2.62	6.40	5.70	0.746	986044	OK	5.33	1307392.8	OK
A1	1.25	20.24	3.03	2.668	149.6	202606	366236	2.52	1.40	5.70	3.405	1199623	OK	7.39	1316797.8	OK
A2	3.5	19.766	2.67	2.692	119.2	204670	325991	2.54	1.40	5.36	3.440	1159234	OK	6.03	1172618.9	OK
A3	7.5	18.993	2.56	2.244	90.9	207972	260674	2.09	1.40	4.81	3.495	1090718	OK	4.79	1056120.2	OK
A4	11.5	18.31	2.31	2.012	66.45	183523	203109	1.86	1.40	4.32	3.084	860682	OK	3.63	817076.6	OK
A5	15.5	17.717	2.08	1.812	49.32	157874	153004	1.66	1.40	3.90	2.653	659617	OK	2.78	623908.6	OK
A6	19.5	17.213	1.89	1.642	37.62	131216	110105	1.49	1.40	3.54	2.205	486934	OK	2.19	470538.0	OK
A7	23.5	16.798	1.74	1.503	29.85	103631	74192	1.35	1.40	3.24	1.742	340809	OK	1.78	349527.1	OK
A8	27.5	16.473	1.61	1.395	24.88	75141	45081	1.24	1.40	3.01	1.263	218777	OK	1.51	252896.8	OK
A9	31.5	16.238	1.52	1.318	21.92	45773	22624	1.17	1.40	2.84	0.769	118080	OK	1.35	173181.3	OK
A10	35.5	16.093	1.47	1.27	20.36	15502	6710	1.12	1.40	2.74	0.261	35547	OK	1.27	103046.3	OK

### 4.7.13 Kontrol Lendutan Kantilever

Lendutan pada tahap kantilever yang terjadi akibat berat pengecoran segmen, beban traveller dan pengaruh gaya prategang.



Gambar 4.39 Lendutan Tahap Kantilever Pengecoran Segmen A10

1. Lendutan sesaat setelah pengecoran segmen A10
 

Bentang Kantilever	= 35,5 m
Lendutan Ijin	= $35,5/400 = 0,088$ m
Kombinasi Beban	= 1 D + 1 TRAV + 1 SEG + 1 PS
Lendutan terjadi	= 0,026 m (OK)
  
2. Lendutan sebelum pengecoran segmen CL
 

Bentang Kantilever	= 38,5 m
Lendutan Ijin	= $38,5/400 = 0,096$ m
Kombinasi Beban	= 1 D + 1 TRAV + 1 PS
Lendutan terjadi	= 0,0477 m (OK)

#### 4.7.14 Kontrol Kapasitas *Formwork Traveller*

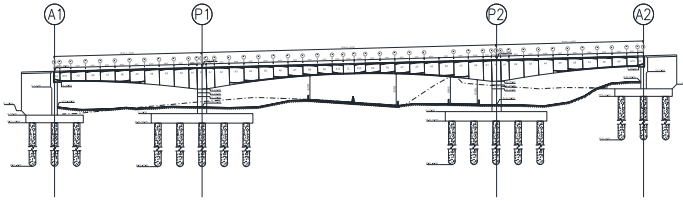
Kapasitas angkut *formwork traveller* saat pengecoran harus dianalisa terhadap beban angkut beton segmen. Berikut adalah beban angkut pada *traveller* saat pengecoran.

Tabel 4.5 Kontrol Kapasitas Angkut *Formwork Traveller*

No	Segmen	Berat Segmen (kN)	Berat Traveller (kN)	Berat Total (kN)	Kapasitas Angkut (kN)	Kontrol
1	P	1427.88	756.62	2184.50	3640	OK
2	A1	1138.51	756.62	1895.13	3640	OK
3	A2	1976.61	756.62	2733.23	3640	OK
4	A3	1899.33	756.62	2655.95	3640	OK
5	A4	1831.01	756.62	2587.63	3640	OK
6	A5	1771.65	756.62	2528.27	3640	OK
7	A6	1721.25	756.62	2477.87	3640	OK
8	A7	1679.81	756.62	2436.43	3640	OK
9	A8	1647.33	756.62	2403.95	3640	OK
9	A9	1623.81	756.62	2380.43	3640	OK
9	A10	1206.94	756.62	1963.56	3640	OK
9	CL	1203.16	756.62	1959.78	3640	OK

#### 4.8 Perencanaan Struktur Bentang Menerus

Setelah segmen *closure* selesai dicor, maka struktur jembatan kantilever akan berubah menjadi struktur bentang menerus. Pada kondisi bentang menerus inilah beban-beban lalu lintas jembatan akan bekerja. Bentang menerus pada jembatan *overpass* SS Krapyak dibagi menjadi 3 span yaitu span A (A1-P1) dengan bentang 40 m, span B (P1-P2) dengan bentang 80 m, dan span C (P2-A2) dengan bentang 40 m.



Gambar 4.40 Potongan Memanjang Tahap Bentang Menerus

Struktur jembatan harus dapat memikul beban lalu lintas yang sudah disyaratkan. Untuk mengetahui hal tersebut maka harus dilakukan beberapa kontrol terhadap kekuatan jembatan yang sudah didesain.

#### 4.8.1 Perencanaan Tendon Sisi Bawah

Pada tahap struktur menerus, tegangan lentur pada sisi bawah penampang *box girder* akan terjadi tegangan tarik. Tegangan tarik yang terjadi akan semakin besar seiring ditambahkannya beban-beban lalu lintas. Agar tegangan tarik pada sisi bawah tidak melebihi batas ijin yang disyaratkan, maka pada sisi bawah *box girder* dipasang tendon prategang.

Kehilangan gaya prategang pada tendon sisi bawah dihitung menggunakan metode *lump sum* dari referensi ACI-ASCE. Kehilangan gaya prategang pada struktur *post-tension* didapatkan dalam tabel berikut.

Tabel 4.6 Kehilangan Gaya Prategang Metode Lumpsum

Kehilangan Prategang	Pre-Tension	Post-Tension
Tahap Transfer Gaya	4 %	1 %
Rangak (CR)	6 %	5 %
Susut (SH)	7 %	6 %
Relaksasi (RE)	8 %	8 %
Jumlah	25 %	20 %

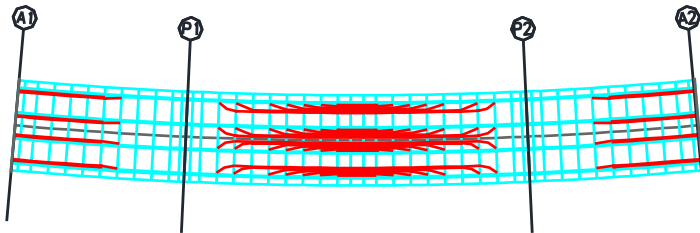
Tabel 4.7 Tendon Prategang Sisi Bawah Span A-C

segmen	Blok Angkur		Tendon		Kehilangan Prategang				Feff Sisi Bawah (kN)
	Anchor	Tipe	total strand	F0	awal	4% akhir	19%		
CL-1A	8	TB1-12	96	18749	749.952	3562.272	14436.576		
A10			96	18749	749.952	3562.272	14436.576		
A9			96	18749	749.952	3562.272	14436.576		
A8			96	18749	749.952	3562.272	14436.576		
A7			96	18749	749.952	3562.272	14436.576		
A6			96	18749	749.952	3562.272	14436.576		
A5	4	TB1-12	96	18749	749.952	3562.272	14436.576		
A4			48	9374.4	374.976	1781.136	7218.288		
A3	4	TB1-12	48	9374.4	374.976	1781.136	7218.288		
A2			0	0	0	0	0		
A1			0	0	0	0	0		
P									

Tabel 4.8 Tendon Prategang Sisi Bawah Span B

segmen	Blok Angkur		Tendon		Kehilangan Prategang				Feff Sisi Bawah (kN)
	Anchor	Tipe	total strand	F0	awal	4% akhir	19%		
P			0	0	0	0	0		
A1			0	0	0	0	0		
A2	4	TB4-15	60	11718	468.72	2226.42	9022.86		
A3	4	TB4-15	120	23436	937.44	4452.84	18045.72		
A4			120	23436	937.44	4452.84	18045.72		
A5	4	TB4-15	180	35154	1406.16	6679.26	27068.58		
A6	4	TB1-12	228	44528	1781.136	8460.396	34286.868		
A7	4	TB1-12	276	53903	2156.112	10241.532	41505.156		
A8	4	TB1-12	324	63277	2531.088	12022.668	48723.444		
A9	4	TB1-12	372	72652	2906.064	13803.804	55941.732		
A10			372	72652	2906.064	13803.804	55941.732		
CL-1B			372	72652	2906.064	13803.804	55941.732		





Gambar 4.41 Layout Tendon sisi Bawah *Box girder*

#### 4.8.2 Kontrol Tegangan Penampang *Box girder*

Tegangan pada sisi atas dan sisi bawah *box girder* tidak boleh melebihi batas tegangan ijin yang disyaratkan. Berikut adalah tegangan maksimum yang terjadi akibat kombinasi beban lalu lintas yang diberikan.

Tegangan Ijin Tarik = 3.54 MPa

Tegangan Ijin Tekan = 22.5 MPa

Kombinasi Beban = KUAT 1 ENV

Tabel 4.9 Tegangan Sisi Bawah dan Sisi Atas *Box girder* Span A

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff1	Feff2	MT	e 1	e 2	F1/A	F1 e1 y <sub>t</sub> /I	F1 e1 y <sub>b</sub> /I	F2/A	F2 e2 y <sub>t</sub> /I	F2 e2 y <sub>b</sub> /I	MT y <sub>t</sub> /I	MT y <sub>b</sub> /I	f (MPa)			KONTROL	
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN	kN.m	m	m	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah
CL-1A	0	16.0	1.45	1.251	19.730	0	14437	274	1.10	1.30	0.00	0.00	0.00	0.90	1.19	1.37	0.02	0.02	-0.27	2.25	OK	OK	
A10	1.5	16.1	1.47	1.27	20.365	15493	14437	12074	1.12	1.31	0.96	1.08	1.25	0.90	1.18	1.36	0.75	0.87	2.51	1.11	OK	OK	
A9	4.5	16.2	1.52	1.318	21.924	45749	14437	30063	1.17	1.37	2.82	3.20	3.70	0.89	1.19	1.37	1.81	2.09	7.53	-0.71	OK	OK	
A8	8.5	16.5	1.61	1.395	24.877	75106	14437	42383	1.24	1.46	4.56	5.23	6.05	0.88	1.18	1.37	2.38	2.75	11.86	-2.00	OK	OK	
A7	12.5	16.8	1.74	1.503	29.849	103588	14437	41293	1.35	1.58	6.17	7.05	8.14	0.86	1.15	1.33	2.08	2.40	15.00	-2.19	OK	OK	
A6	16.5	17.2	1.89	1.642	37.620	131168	14437	26660	1.49	1.74	7.62	8.53	9.84	0.84	1.10	1.27	1.16	1.34	17.06	-1.45	OK	OK	
A5	20.5	17.7	2.08	1.812	49.325	157824	14437	-2629	1.66	1.93	8.91	9.62	11.07	0.81	1.02	1.18	-0.10	-0.11	18.22	-0.05	OK	OK	
A4	24.5	18.3	2.31	2.012	66.450	183476	7218	-51884	1.86	2.16	10.02	10.33	11.85	0.39	0.47	0.54	-1.57	-1.80	18.70	0.91	OK	OK	
A3	28.5	19.0	2.56	2.244	90.898	207927	7218	-115361	2.09	2.41	10.95	10.73	12.27	0.38	0.43	0.49	-2.85	-3.25	18.78	2.81	OK	OK	
A2	32.5	19.8	2.67	2.692	119.247	204623	0	-193372	2.54	2.52	10.35	11.73	11.63	0.00	0.00	0.00	-4.37	-4.33	17.72	3.05	OK	OK	
A1	36.5	20.2	3.03	2.668	149.615	202567	0	-286286	2.52	2.88	10.01	9.09	10.32	0.00	0.00	0.00	-5.11	-4.80	13.99	5.48	OK	OK	
P	38.25	45.7	2.93	2.77	243.596	202928	0	-338456	2.62	2.78	4.44	6.04	6.39	0.00	0.00	0.00	-3.85	-4.07	6.63	2.12	OK	OK	
	40	45.7	2.93	2.77	243.596	202928	0	-347811	2.62	2.78	4.44	6.04	6.39	0.00	0.00	0.00	-3.95	-4.18	6.53	2.24	OK	OK	

Tabel 4.10 Tegangan Sisi Bawah dan Sisi Atas *Box girder* Span B

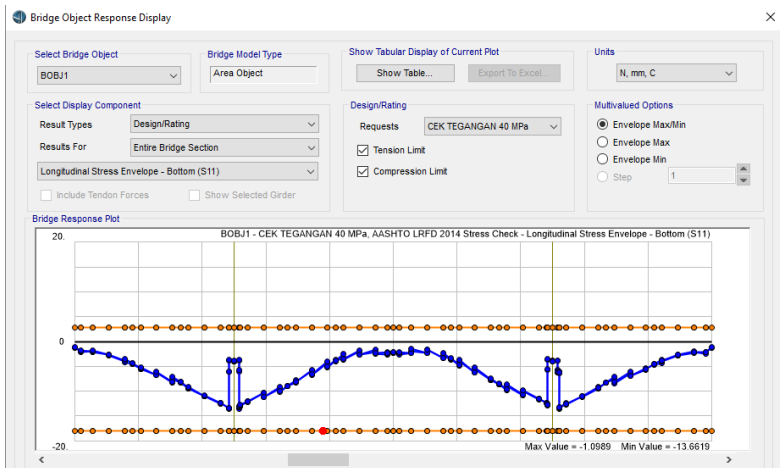
Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff1	Feff2	MT	e 1	e 2	F1/A	F1 e1 y <sub>t</sub> /I	F1 e1 y <sub>b</sub> /I	F2/A	F2 e2 y <sub>t</sub> /I	F2 e2 y <sub>b</sub> /I	MT y <sub>t</sub> /I	MT y <sub>b</sub> /I	f (MPa)			KONTROL	
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN	kN.m	m	m	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Atas	Bawah	Atas	Bawah
P	40	45.7	2.93	2.77	243.596	202928	0	-340792	2.62	2.78	4.44	6.04	6.39	0.00	0.00	0.00	-3.88	-4.10	6.61	2.15	OK	OK	
A1	41.25	45.7	3.03	2.668	149.615	202928	0	-468831	2.52	2.88	4.44	9.11	10.34	0.00	0.00	0.00	-8.36	-9.50	5.19	3.60	OK	OK	
A2	43.5	20.2	2.67	2.692	119.247	202567	9023	-420385	2.54	2.52	10.01	11.62	11.51	0.45	0.51	0.51	-9.49	-9.40	12.07	8.86	OK	OK	
A3	47.5	19.8	2.56	2.244	90.898	204623	18046	-301784	2.09	2.41	10.35	10.56	12.07	0.91	1.07	1.23	-7.45	-8.51	13.30	8.93	OK	OK	
A4	51.5	19.0	2.31	2.012	66.450	207927	18046	-197460	1.86	2.16	10.95	11.71	13.43	0.95	1.18	1.35	-5.98	-6.86	16.45	6.68	OK	OK	
A5	55.5	18.3	2.08	1.812	49.325	183476	18046	-106977	1.66	1.93	10.02	11.18	12.86	0.99	1.28	1.47	-3.93	-4.52	16.98	4.14	OK	OK	
A6	59.5	17.7	1.89	1.642	37.620	157824	27069	-30122	1.49	1.74	8.91	10.26	11.84	1.53	2.06	2.37	-1.31	-1.52	17.33	2.49	OK	OK	
A7	63.5	17.2	1.74	1.503	29.849	131168	34287	33362	1.35	1.58	7.62	8.92	10.31	1.99	2.74	3.16	1.68	1.94	17.48	0.52	OK	OK	
A8	67.5	16.8	1.61	1.395	24.877	103588	41505	83759	1.24	1.46	6.17	7.21	8.34	2.47	3.40	3.93	4.70	5.43	17.15	-1.21	OK	OK	
A9	71.5	16.5	1.52	1.318	21.924	75106	48723	121152	1.17	1.37	4.56	5.26	6.08	2.96	4.01	4.63	7.28	8.41	16.05	-2.34	OK	OK	
A10	75.5	16.3	1.47	1.27	20.365	45749	55942	145741	1.12	1.31	2.82	3.19	3.68	3.45	4.58	5.29	9.09	10.49	13.96	-2.62	OK	OK	
CL-1B	78.5	16.1	1.45	1.251	19.730	15493	55942	155726	1.10	1.30	0.96	1.08	1.25	3.48	4.60	5.33	9.87	11.44	10.79	-2.92	OK	OK	
	80	16.0	1.45	1.251	19.730	15493	55942	158073	1.10	1.30	0.00	0.00	0.00	3.49	4.60	5.33	10.02	11.61	8.91	-2.80	OK	OK	

Tabel 4.11 Tegangan Sisi Bawah dan Sisi Atas *Box girder* Span C

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	I <sub>eff 1</sub>	I <sub>eff 2</sub>	MT	e 1	e 2	F1/A	F1 e1 y <sub>t</sub> /I	F1 e1 y <sub>b</sub> /I	F2/A	F2 e2 y <sub>t</sub> /I	F2 e2 y <sub>b</sub> /I	MT y <sub>t</sub> /I	MT y <sub>b</sub> /I	f (MPa)		KONTROL	
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN	kN.m	m	m	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Atas	Bawah	Atas
P	120.00	45.7	2.93	2.77	243.596	202928	0	-347712	2.62	2.78	4.44	6.04	6.39	0.00	0.00	0.00	-3.95	-4.18	6.53	2.23	OK	OK
A1	121.25	45.7	3.03	2.668	149.615	202928	0	-338249	2.52	2.88	4.44	9.11	10.34	0.00	0.00	0.00	-6.03	-6.85	7.51	0.95	OK	OK
A2	123.50	20.2	2.67	2.692	119.247	202567	0	-286524	2.54	2.52	10.01	11.62	11.51	0.00	0.00	0.00	-6.47	-6.41	15.16	4.91	OK	OK
A3	127.50	19.8	2.56	2.244	90.898	204623	0	-193892	2.09	2.41	10.35	10.56	12.07	0.00	0.00	0.00	-4.79	-5.47	16.13	3.75	OK	OK
A4	131.50	19.0	2.31	2.012	66.450	207927	7218	-116058	1.86	2.16	10.95	11.71	13.43	0.38	0.47	0.54	-3.51	-4.03	19.05	2.47	OK	OK
A5	135.50	18.3	2.08	1.812	49.325	183476	7218	-52690	1.66	1.93	10.02	11.18	12.86	0.39	0.51	0.59	-1.94	-2.23	19.15	0.37	OK	OK
A6	139.50	17.7	1.89	1.642	37.620	157824	14437	-3477	1.49	1.74	8.91	10.26	11.84	0.81	1.10	1.27	-0.15	-0.18	18.74	-0.67	OK	OK
A7	143.50	17.2	1.74	1.503	29.849	131168	14437	25722	1.35	1.58	7.62	8.92	10.31	0.84	1.15	1.33	1.30	1.50	17.53	-2.02	OK	OK
A8	147.50	16.8	1.61	1.395	24.877	103588	14437	40420	1.24	1.46	6.17	7.21	8.34	0.86	1.18	1.37	2.27	2.62	15.32	-2.57	OK	OK
A9	151.50	16.5	1.52	1.318	21.924	75106	14437	41607	1.17	1.37	4.56	5.26	6.08	0.88	1.19	1.37	2.50	2.89	12.01	-2.16	OK	OK
A10	155.50	16.2	1.47	1.27	20.365	45749	14437	29395	1.12	1.31	2.82	3.19	3.68	0.89	1.18	1.36	1.83	2.12	7.55	-0.73	OK	OK
CL-1C	158.50	16.1	1.45	1.251	19.730	15493	14437	11487	1.10	1.30	0.96	1.08	1.25	0.90	1.19	1.37	0.73	0.84	2.48	1.14	OK	OK
	160.00	16.0	1.45	1.251	19.730	0	14437	-273	1.10	1.30	0.00	0.00	0.00	0.90	1.19	1.37	-0.02	-0.02	-0.30	2.29	OK	OK



Gambar 4.42 Tegangan Sisi Atas Bentang Menerus Output CsiBridge



Gambar 4.43 Tegangan Sisi Atas Bentang Menerus Output CsiBridge

### 4.8.3 Kontrol Geser Jembatan Menerus

Gaya Geser yang terjadi akibat kombinasi beban lalu lintas tidak boleh melebihi kapasitas geser *box girder*. Kapasitas geser *box girder* didapatkan dari kekuatan geser beton dan tulangan geser terpasang. Tetapi kekuatan tulangan geser beton tidak boleh melebihi dari kekuatan geser beton. Kekuatan geser beton prategang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{cw} = V_t + V_p$$

$$V_t = 0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pc})b_v d$$

Dimana

- $V_p$  = komponen vertikal dari gaya prategang efektif
- $V_t$  = gaya geser yang dikombinasikan dengan gaya prategang
- $f_{pc}$  = teg tekanan rata-rata pada beton akibat gaya efektif saja
- $b_v$  = lebar blok geser penampang
- $d$  = tinggi efektif blok geser penampang

Tabel 4.12 Kontrol Geser Jembatan Menerus Span A

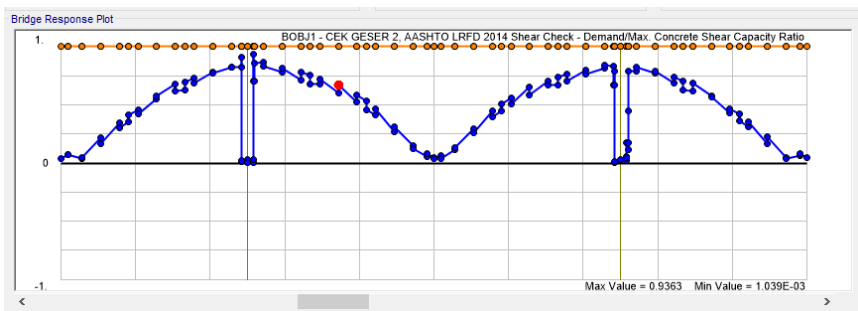
SEGMENT	x (m)	Feff Sisi Atas (kN)	Feff Bawah (kN)	A (m <sup>2</sup> )	f <sub>pc</sub> (MPa)	A <sub>vc</sub> (cm <sup>2</sup> )	V <sub>t</sub> (kN)	n strand		V <sub>p</sub> (kN)	Ø V <sub>cw</sub> (kN)	V <sub>u</sub> (kN)			Kontrol Geser
								atas	bawah			Kuat 1	1.8 BGT	V <sub>u</sub>	
CL-1A	0	0	14436.6	16.04	0.900	36575	8746.2	0	96	0	6122.3	-6493.1	3519.6	10012.7	tulangan geser
A10	1.5	15493	14436.6	16.09	1.800	37205	9968.2	74	96	0	6977.8	-5682.8	3431.6	9114.4	tulangan geser
A9	4.5	45749	14436.6	16.24	3.706	39025	12617.8	222	96	0	8832.5	-3401.4	3255.6	6657.0	OK
A8	8.5	75106	14436.6	16.47	5.436	41965	15745.3	370	96	0	11021.7	490.254	3021.0	3511.2	OK
A7	12.5	103588	14436.6	16.8	7.026	46025	19464.6	518	96	0	13625.2	4021.77	2786.3	6808.1	OK
A6	16.5	131168	14436.6	17.21	8.459	51205	23856.9	666	96	0	16699.8	7253.39	-2141.1	9394.5	OK
A5	20.5	157824	14436.6	17.72	9.723	57505	28972.6	814	96	0	20280.8	10702.5	-2375.7	13078.2	OK
A4	24.5	183476	7218.3	18.31	10.415	64925	34057.8	962	48	0	23840.5	14381	-2610.4	16991.3	OK
A3	28.5	207927	7218.3	18.99	11.327	73465	40549.4	1110	48	0	28384.6	17382.8	-2845.0	20227.8	OK
A2	32.5	204623	0.0	19.77	10.352	83125	43449.3	1258	0	0	30414.5	21461	-3079.6	24540.6	OK
A1	36.5	202567	0.0	20.24	10.008	89051	45627.6	1406	0	0	31939.3	25361.7	-3314.3	28676.0	OK
P	38.3	202928	0.0	45.69	4.441	407200	140633.9	1406	0	0	98443.8	27017.4	-3416.9	30434.3	OK
	40	202928	0.0	45.69	4.441	407200	140633.9	1406	0	0	98443.8	29149.5	-3519.6	32669.1	OK

Tabel 4.13 Kontrol Geser Jembatan Menerus Span B

SEGMENT	x (m)	Feff Sisi Atas (kN)	Feff Bawah (kN)	A (m <sup>2</sup> )	fpc (MPa)	Avc (cm <sup>2</sup> )	Vt (kN)	n strand		Vp (kN)	Ø Vcw (kN)	Vu (kN)			Kontrol Geser
								atas	bawah			Kuat 1	1.8 BGT	Vu	
P	0	202928	0.0	45.69	4.441	407200	140633.9	1406	0	0	98443.8	-35810	3519.6	39330.0	OK
A1	1.25	202928	0.0	45.69	4.441	407200	140633.9	1406	0	0	98443.8	-34152	3482.9	37635.5	OK
A2	3.5	202567	9022.9	20.24	10.454	89051	46818.6	1406	0	0	32773.0	-32164	3416.9	35581.2	ulangan geser
A3	7.5	204623	18045.7	19.77	11.265	83125	45726.0	1258	60	0	32008.2	-28556	3299.6	31856.4	OK
A4	11.5	207927	18045.7	18.99	11.898	73465	41805.8	1110	120	0	29264.0	-24888	3182.3	28070.4	OK
A5	15.5	183476	27068.6	18.31	11.499	64925	36169.4	962	120	0	25318.6	-22932	3065.0	25996.5	ulangan geser
A6	19.5	157824	34286.9	17.72	10.844	57505	30905.5	814	180	0	21633.9	-17792	2947.7	20739.8	OK
A7	23.5	131168	41505.2	17.21	10.032	51205	26272.6	666	228	0	18390.8	-14397	2830.3	17227.1	OK
A8	27.5	103588	48723.4	16.8	9.067	46025	22282.8	518	276	0	15598.0	-10784	2713.0	13497.1	OK
A9	31.5	75106	55941.7	16.47	7.955	41965	18917.3	370	324	0	13242.1	-7629.8	2595.7	10225.5	OK
A10	35.5	45749	55941.7	16.24	6.262	39025	15610.3	222	372	0	10927.2	-4289.8	2478.4	6768.2	OK
CL-1B	38.5	15493	55941.7	16.09	4.439	37205	12847.0	74	372	0	8992.9	-1725.5	2390.4	4115.9	OK
	40	0	55941.732	16.04	4.439	36575	12847.0	0	372	0	8992.9	-266.67	2346.4	2613.1	OK

Tabel 4.14 Kontrol Geser Jembatan Menerus Span C

SEGMENT	x (m)	Feff Sisi Atas (kN)	Feff Bawah (kN)	A (m <sup>2</sup> )	fpc (MPa)	Avc (cm <sup>2</sup> )	Vt (kN)	n strand		Vp (kN)	Ø Vcw (kN)	Vu (kN)			Kontrol Geser
								atas	bawah			Kuat 1	1.8 BGT	Vu	
P	0	202928	0.0	45.69	4.441	407200	140633.9	1406	0	0	98443.8	-28982	3519.6	32501.9	OK
A1	1.25	202928	0.0	45.69	4.441	407200	140633.9	1406	0	0	98443.8	-27325	3446.3	30771.3	OK
A2	3.5	202567	0.0	20.24	10.008	89051	45627.6	1406	0	0	31939.3	-25338	3314.3	28652.0	OK
A3	7.5	204623	0.0	19.77	10.352	83125	43449.3	1258	48	0	30414.5	-21732	3079.6	24811.5	OK
A4	11.5	207927	7218.3	18.99	11.327	73465	40549.4	1110	48	0	28384.6	-18066	2845.0	20910.6	OK
A5	15.5	183476	7218.3	18.31	10.415	64925	34057.8	962	96	0	23840.5	-13917	2610.4	16526.9	OK
A6	19.5	157824	14436.6	17.72	9.723	57505	28972.6	814	96	0	20280.8	-10973	-2317.1	13290.5	OK
A7	23.5	131168	14436.6	17.21	8.459	51205	23856.9	666	96	0	16699.8	-7580	-2551.7	10131.7	OK
A8	27.5	103588	14436.6	16.8	7.026	46025	19464.6	518	96	0	13625.2	-3969.2	-2786.3	6755.0	OK
A9	31.5	75106	14436.6	16.47	5.436	41965	15745.3	370	96	0	11021.7	-816.83	-3021.0	3837.8	OK
A10	35.5	45749	14436.6	16.24	3.706	39025	12617.8	222	96	0	8832.5	3460.71	-3255.6	6716.3	OK
CL-1C	38.5	15493	14436.6	16.09	1.860	37205	9968.2	74	96	0	6977.8	5731.54	-3431.6	9163.3	ulangan geser
	40	0	14436.6	16.04	1.860	36575	9968.2	0	96	0	6977.8	6541.88	-3519.6	10061.5	ulangan geser

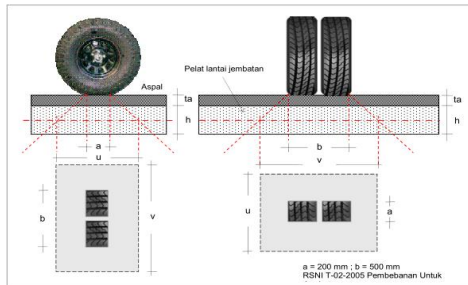
Gambar 4.44 Diagram Gaya Geser ( $V_2$ ) dan Kapasitas Geser Jembatan Menerus Output CSiBridge

Dari perhitungan kontrol geser jembatan pada tahap menerus didapatkan kekuatan geser *box girder* masih belum memenuhi gaya geser yang terjadi akibat beban pada beberapa segmen. Pada beberapa segmen tersebut akan dipasang

tulangan geser darah vertikal untuk menambah kekuatan geser *box girder*.

#### 4.8.4 Kontrol Geser Pons *Top slab*

Plat lantai jembatan yang didesain harus dapat memenuhi persyaratan geser pons akibat beban truk rencana. Area geser pons yang terjadi adalah selebar roda truk rencana yang ditentukan dalam SNI 1725-2016.



Gambar 4.45 Area Geser Pons Plat Lantai

Maka kekuatan geser pons *top slab* dapat dihitung

$$\text{Mutu Beton } (f_c') = 40 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal Top slab } (h) = 30,5 \text{ cm}$$

$$\text{Beban Truk Rencana } (TT) = 151,9 \text{ kN}$$

$$F \text{ Reduksi Geser } (\emptyset) = 0,7$$

$$\text{Tebal aspal } (ta) = 40 \text{ mm}$$

$$u = a + 2 ta + h = 635 \text{ mm}$$

$$v = b + 2ta + h = 1135 \text{ mm}$$

$$b' = 2u + 2v = 3540 \text{ mm}$$

$$d = \frac{h}{2} = 152,5 \text{ mm}$$

Kekuatan geser nominal plat lantai  $\phi V_c$  didapatkan dari persamaan

$$\phi V_c = 0,7 \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b' d = 398336 \text{ N} = 398,336 \text{ kN}$$

$$P_t = 151,9 \text{ kN} < 398,336 \text{ kN}$$

Maka didapatkan kekuatan geser pons *top slab* memenuhi gaya truk rencana yang terjadi.

#### 4.8.5 Kontrol Torsi Jembatan

Momen torsi akibat beban lalu lintas harus ditinjau terhadap kemampuan torsi *box girder*. Apabila momen torsi yang terjadi melebihi kapasitas torsi *box girder*. Maka pada penampang *box girder* perlu dipasang tulangan torsi.

##### 1. Momen Torsi Beban Lalu Lintas

Akibat beban BTR

Ditinjau Panjang Jembatan	=	80 m
q BTR	=	6.1875 kN/m <sup>2</sup>
Lebar Lantai Kendaraan	=	11.29 m
Jarak ke pusat box	=	4.616 m
M BTR	=	25796.75 kN.m

Akibat Beban BGT

P BGT	=	49 kN/m <sup>2</sup>
FBD	=	0.35
Lebar Lantai Kendaraan	=	11.29 m
Jarak ke x0 box	=	4.616 m
M BGT = P/2 L <sup>2</sup>	=	3447.38 kN.m



## Momen Torsi Total

$$\begin{aligned}
 M_{BTR} & 1.8 \times 25796.75 = 46434.1 \text{ kN.m} \\
 M_{BGT} & 1.8 \times 3447.38 = 6205.29 \text{ kN.m} + \\
 T_u & = 52639.4 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

## Kapasitas Torsi Penampang

Konstanta torsi *box girder* dihitung dengan persamaan berikut.

$$\eta_1 = \frac{0.35}{\left[0.75 + \frac{x_1}{y_1}\right]}$$

Tabel 4.15 Konstanta Torsi Elemen *Box*

Elemen	x	y	$\eta_1$	$\eta_1 x^2 y$
<i>Exterior Girder 1</i>	350	2090	0.38	97670032.59
<i>Interior Girder 1</i>	400	2090	0.37	124327115.63
<i>Interior Girder 2</i>	400	2090	0.37	124327115.63
<i>Exterior Girder 2</i>	350	2090	0.38	97670032.59
<i>Top slab</i>	21300	305	0	686132696.39
<i>Bottom slab</i>	17906	305	0.01	575643109.45
				1705770102.29

Maka kapasitas torsi penampang *box girder* dapat dihitung dengan persamaan

$$T_{cr} = 6\sqrt{f'c'} \sqrt{1 + \frac{\left(10 \frac{F}{A}\right)}{f'c'} \Sigma \eta_1 x^2 y}$$

$$\begin{aligned}
 F_{eff} & = 71581 \text{ kN} \\
 A & = 16.0 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{cr} &= 9.956E+10 \text{ N.mm} \\ &= 99555.483 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Syarat penampang *box* tidak memerlukan tulangan torsi dalam RSNI T-12 2004 pers. 5.4-2

$$\frac{T_u}{T_{cr}} < 0,25$$

$$\frac{52639,4 \text{ kN.m}}{99555,48 \text{ kN.m}} = 0.528 > 0,25$$

Penampang *box girder* memerlukan tulangan torsi. Tulangan torsi penampang *box girder* akan dipasang pada daerah dinding *interior girder* dan *exterior girder* dalam arah memanjang jembatan.

#### 4.8.6 Kontrol Momen Retak dan Momen Ultimate

Kekuatan lentur struktur jembatan pada tahap menerus harus dicek terhadap momen ultimate pada saat terjadi beban lalu lintas maupun beban gempa. Kapasitas momen pada jembatan terdiri dari kapasitas momen retak dan kapasitas momen ultimate.

##### 1. Kontrol Momen Retak

Kapasitas momen retak pada jembatan dikontrol pada setiap segmen jembatan terhadap gaya lalu lintas yang terjadi. kapasitas momen retak dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$M_{cr} = F \left( e + \frac{r^2}{y} \right) + \frac{f_r I}{y}$$

Tabel 4.16 Kontrol Mcrack Span A

Seg	X	A	y <sub>b</sub>	yt	I	Feff 1	Feff 2	MT	e l	e 2	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m2	m	m	m4	kN	kN	kN.m	m	m	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
CL-1A	0	16.0	1.45	1.251	19.73	0	14437	274	1.10	1.30	1.23	159805.7	OK
A10	1.5	16.1	1.47	1.27	20.36	15493	14437	12074	1.12	1.31	1.265	195366.8	OK
A9	4.5	16.2	1.52	1.318	21.92	45749	14437	30063	1.17	1.37	1.35	268847.7	OK
A8	8.5	16.5	1.61	1.395	24.88	75106	14437	42383	1.24	1.46	1.51	355023.1	OK
A7	12.5	16.8	1.74	1.503	29.85	103588	14437	41293	1.35	1.58	1.777	462410.1	OK
A6	16.5	17.2	1.89	1.642	37.62	131168	14437	26660	1.49	1.74	2.186	599291.9	OK
A5	20.5	17.7	2.08	1.812	49.32	157824	14437	-2629	1.66	1.93	2.784	774674.5	OK
A4	24.5	18.3	2.31	2.012	66.45	183476	7218	-51884	1.86	2.16	3.629	970042.6	OK
A3	28.5	19.0	2.56	2.244	90.90	207927	7218	-115361	2.09	2.41	4.786	1242215.5	OK
A2	32.5	19.8	2.67	2.692	119.25	204623	0	-193372	2.54	2.52	6.033	1368371.8	OK
A1	36.5	20.2	3.03	2.668	149.61	202567	0	-286286	2.52	2.88	7.392	1533055.4	OK
P	38.25	45.7	2.93	2.77	243.60	202928	0	-338456	2.62	2.78	5.331	1671744.2	OK
	40	45.7	2.93	2.77	243.60	202928	0	-347811	2.62	2.78	5.331	1671744.2	OK

Tabel 4.17 Kontrol Mcrack Span B

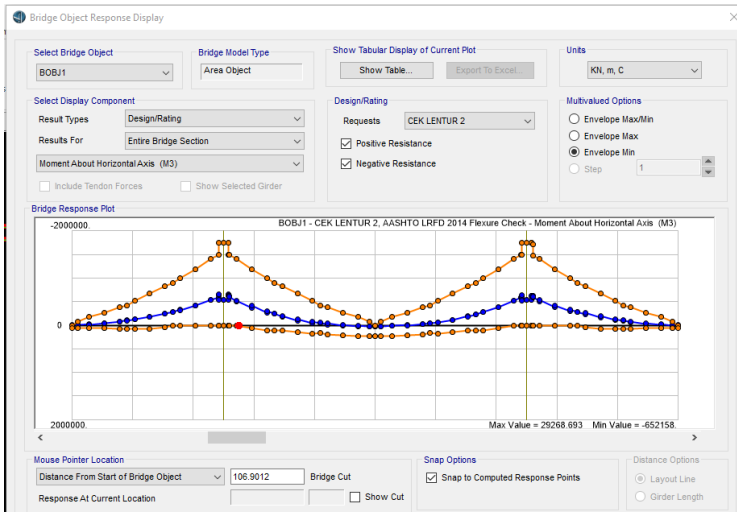
Seg	X	A	y <sub>b</sub>	yt	I	Feff 1	Feff 2	MT	e l	e 2	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m2	m	m	m4	kN	kN	kN.m	m	m	m <sup>2</sup>	kN.m	Mcr
P	40	45.7	2.93	2.77	243.60	202928	0	-340792	2.62	2.78	5.331	1671744.2	OK
A1	41.25	45.7	3.03	2.668	149.61	202928	0	-468831	2.52	2.88	3.274	1221837.1	OK
A2	43.5	20.2	2.67	2.692	119.25	202567	9023	-420385	2.54	2.52	5.892	1390532.3	OK
A3	47.5	19.8	2.56	2.244	90.90	204623	18046	-301784	2.09	2.41	4.599	1256197.5	OK
A4	51.5	19.0	2.31	2.012	66.45	207927	18046	-197460	1.86	2.16	3.499	1085469.7	OK
A5	55.5	18.3	2.08	1.812	49.32	183476	18046	-106977	1.66	1.93	2.694	858525.3	OK
A6	59.5	17.7	1.89	1.642	37.62	157824	27069	-30122	1.49	1.74	2.123	704188.6	OK
A7	63.5	17.2	1.74	1.503	29.85	131168	34287	33362	1.35	1.58	1.734	579446.8	OK
A8	67.5	16.8	1.61	1.395	24.88	103588	41505	83759	1.24	1.46	1.481	483201.3	OK
A9	71.5	16.5	1.52	1.318	21.92	75106	48723	121152	1.17	1.37	1.331	408795.6	OK
A10	75.5	16.2	1.47	1.27	20.36	45749	55942	145741	1.12	1.31	1.254	348824.9	OK
CL-1B	78.5	16.1	1.45	1.251	19.73	15493	55942	155726	1.10	1.30	1.226	280898.5	OK
	80	16.0	1.45	1.251	19.73	0	55942	158073	1.10	1.30	1.23	248843.9	OK

Tabel 4.18 Kontrol Mcrack Span C

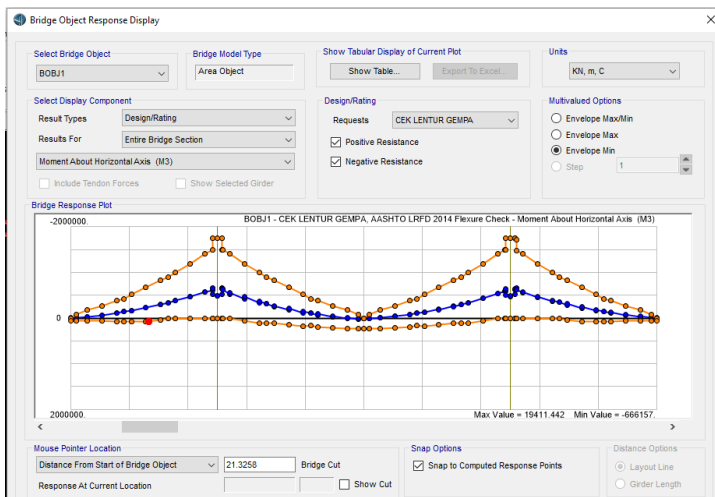
Seg	X	A	y <sub>b</sub>	y <sub>t</sub>	I	Feff 1	Feff 2	MT	e 1	e 2	r <sup>2</sup>	Mcr	Kontrol
	m	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>4</sup>	kN	kN	kN.m	m	m	m <sup>2</sup>	kN.m	
P	120.00	45.7	2.93	2.77	243.60	202928	0	-347712	2.62	2.78	5.331	1671744.2	OK
A1	121.25	45.7	3.03	2.668	149.61	202928	0	-338249	2.52	2.88	3.274	1221837.1	OK
A2	123.50	20.2	2.67	2.692	119.25	202567	0	-286524	2.54	2.52	5.892	1347911.2	OK
A3	127.50	19.8	2.56	2.244	90.90	204623	0	-193892	2.09	2.41	4.599	1180312.9	OK
A4	131.50	19.0	2.31	2.012	66.45	207927	7218	-116058	1.86	2.16	3.499	1045718.9	OK
A5	135.50	18.3	2.08	1.812	49.32	183476	7218	-52690	1.66	1.93	2.694	823615.3	OK
A6	139.50	17.7	1.89	1.642	37.62	157824	14437	-3477	1.49	1.74	2.123	668029.0	OK
A7	143.50	17.2	1.74	1.503	29.85	131168	14437	25722	1.35	1.58	1.734	528179.1	OK
A8	147.50	16.8	1.61	1.395	24.88	103588	14437	40420	1.24	1.46	1.481	418812.5	OK
A9	151.50	16.5	1.52	1.318	21.92	75106	14437	41607	1.17	1.37	1.331	331852.6	OK
A10	155.50	16.2	1.47	1.27	20.36	45749	14437	29395	1.12	1.31	1.254	258809.2	OK
CL-1C	158.50	16.1	1.45	1.251	19.73	15493	14437	11487	1.10	1.30	1.226	191970.6	OK
	160.00	16.0	1.45	1.251	19.73	0	14437	-273	1.10	1.30	1.23	159805.7	OK

## 2. Kontrol Momen Ultimate

Kapasitas momen ultimate pada jembatan dikontrol pada setiap segmen jembatan terhadap kombinasi beban lalu lintas maupun gempa yang direncanakan. Kontrol momen ultimate dilakukan dengan fasilitas *Superstructure Design* dalam program CsiBridge dengan input nilai faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) = 0,8



Gambar 4.46 Kontrol Mu Kombinasi KUAT ENV Output CSiBridge

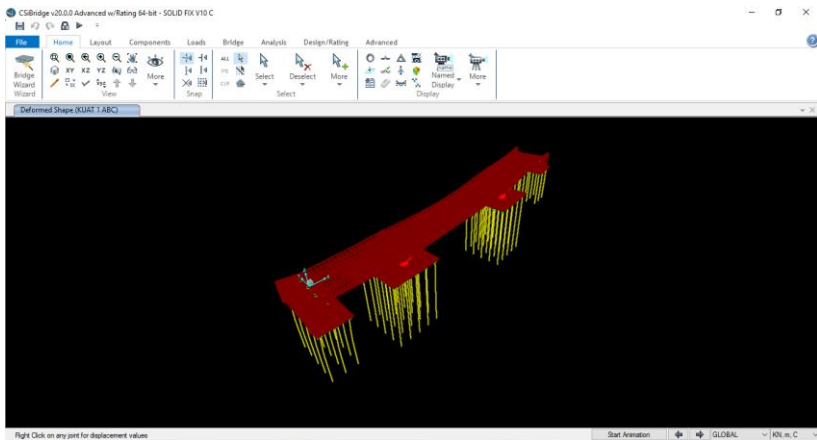


Gambar 4.47 Kontrol Mu Kombinasi EKSTREM ENV Output CSiBridge

#### 4.8.7 Kontrol Lendutan Jembatan

Lendutan pada saat bentang menerus akibat beban lalu lintas pada masal layan jembatan tidak boleh melebihi lendutan ijin yang sudah ditetapkan. Dalam AASHTO LRFD 2014 2.5.2.6.2 ditentukan nilai batas lendutan maksimum jembatan untuk kendaraan adalah dalam persamaan berikut.

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{800}$$



Gambar 4.48 Lendutan Jembatan Bentang Menerus

Maka didapatkan lendutan untuk setiap bentang

1. Span A (A1-P1)

$$L = 40 \text{ m}$$

$$\Delta_{ijin} = L/800 = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Kombinasi Beban} = \text{KUAT 1 AC}$$

$$\Delta u = 0,0139 \text{ m} < 0,05 \text{ m} \text{ (OK)}$$

## 2. Span B (P1-P2)

$$L = 80 \text{ m}$$

$$\Delta \text{ ijin} = L/800 = 0,10 \text{ m}$$

$$\text{Kombinasi Beban} = \text{KUAT 1 B}$$

$$\Delta u = 0,0392 \text{ m} < 0,10 \text{ m} \text{ (OK)}$$

## 3. Span C (P1-P2)

$$L = 40 \text{ m}$$

$$\Delta \text{ ijin} = L/800 = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Kombinasi Beban} = \text{KUAT 1 AC}$$

$$\Delta u = 0,0144 \text{ m} < 0,05 \text{ m} \text{ (OK)}$$

## 4. Full Span (A1-A2)

$$L = 160 \text{ m}$$

$$\Delta \text{ ijin} = L/800 = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Kombinasi Beban} = \text{KUAT 1 B}$$

$$\Delta u = 0,0392 \text{ m} < 0,20 \text{ m} \text{ (OK)}$$

#### 4.8.8 Penulangan *Box girder*

Dari permodelan jembatan bentang menerus didapatkan output intensitas tulangan Ast1 dan Ast2 yang dibutuhkan untuk penampang *box girder*. Dari nilai output intensitas tulangan tersebut dapat diketahui kebutuhan tulangan yang harus dipasang untuk penampang *box girder*. Berikut adalah kebutuhan tulangan untuk setiap elemen *box*

##### 1. Penulangan *Top slab*

Tabel 4.19 Intensitas Penulangan *Top slab* (mm<sup>2</sup>/mm)

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV BOX	4.23	4.87	5.16	4.07

- Top Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 25 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ As &= 491.1 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } As/s &= 4.23 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 116.09 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 25 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ As &= 491.1 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } As/s &= 4.87 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 100.84 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$



- Bottom Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 29 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ As &= 660.8 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } As/s &= 5.16 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 128.06 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 25 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ As &= 491.1 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } As/s &= 4.07 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 120.66 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm OK} \end{aligned}$$

## 2. Penulangan *Bottom slab*

Tabel 4.20 Intensitas Penulangan *Bottom slab* ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ )

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV BOX	3.66	3.74	3.85	3.68

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan	d	=	22 mm
	n	=	1
	As	=	380.3 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	3.66 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	103.9 mm
s pasang		=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan	d	=	22 mm
	n	=	1
	As	=	380.3 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	3.74 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	101.68 mm
s pasang		=	100 mm OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan	d	=	25 mm
	n	=	1
	As	=	491.1 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	3.85 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	127.55 mm
s pasang		=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	22 mm
n	=	1
As	=	380.3 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	3.68 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	103.34 mm
s pasang	=	100 mm OK

3. Penulangan *Interior Girder*Tabel 4.21 Intensitas Penulangan *Interior Girder* (mm<sup>2</sup>/mm)

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV BOX	4.44	5.18	4.31	5.21

## - Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	25 mm
n	=	1
As	=	491.1 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	4.44 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	110.6 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	5.18 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	127.56 mm
s pasang	=	100 mm OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 25 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 491.1 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 4.31 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 113.94 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 29 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 660.8 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 5.21 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 126.83 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

#### 4. Penulangan *Exterior Girder*

Tabel 4.22 Intensitas Penulangan *Exterior Girder* ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ )

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV BOX	4.91	5.33	4.87	5.31

- Top Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 25 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 491.1 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 4.91 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 100.01 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned}
 \text{Digunakan } d &= 29 \text{ mm} \\
 n &= 1 \\
 A_s &= 660.8 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rebar Area } A_s/s &= 5.33 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{s perlu} &= 123.97 \text{ mm} \\
 \text{s pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Bottom Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned}
 \text{Digunakan } d &= 25 \text{ mm} \\
 n &= 1 \\
 A_s &= 491.1 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rebar Area } A_s/s &= 4.87 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{s perlu} &= 100.84 \text{ mm} \\
 \text{s pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned}
 \text{Digunakan } d &= 29 \text{ mm} \\
 n &= 1 \\
 A_s &= 660.8 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rebar Area } A_s/s &= 5.31 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{s perlu} &= 124.44 \text{ mm} \\
 \text{s pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

5. Penulangan *Cantilever Wing*Tabel 4.23 Intensitas Penulangan *Cantilever Wing*  
( $\text{mm}^2/\text{mm}$ )

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV BOX	3.34	5.5	2.71	4.64

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan	d	=	22 mm
	n	=	1
	As	=	380.3 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	3.34 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	113.86 mm
s pasang		=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan	d	=	29 mm
	n	=	1
	As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	5.5 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	120.14 mm
s pasang		=	100 mm OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan	d	=	19 mm
	n	=	1
	As	=	283.6 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	2.71 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	104.67 mm
s pasang		=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	25 mm
n	=	1
As	=	491.1 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	4.64 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	105.8 mm
s pasang	=	100 mm

## 6. Penulangan Diafragma

Tabel 4.24 Intensitas Penulangan Diafragma (mm<sup>2</sup>/mm)

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV BOX	3.6	5.58	3.51	5.36

## - Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	22 mm
n	=	1
As	=	380.3 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	3.6 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	105.63 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	5.58 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	118.42 mm
s pasang	=	100 mm OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	22 mm
n	=	1
As	=	380.3 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	3.51 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	108.34 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

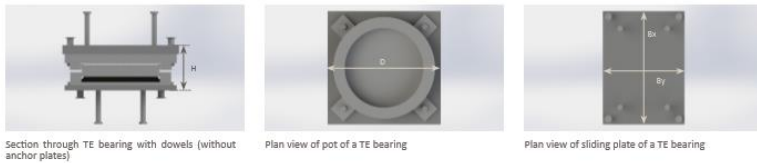
Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	5.36 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	123.28 mm
s pasang	=	100 mm OK

#### 4.8.9 Perletakan Jembatan Bentang Menerus

Perletakan jembatan bentang menerus dipasang di atas abutmen jembatan. Jenis perletakan yang digunakan adalah perletakan jenis *pot bearing*. Perletakan *pot bearing* yang digunakan mempunyai spesifikasi teknis sebagai berikut

Jenis	=	Guiding Sliding Bearing
Produksi	=	MAGEBA - USA
Tipe	=	TE 3a with anchor plates
Pmax	=	2772 kN
Vmax	=	542 kN
Pmin	=	887 kN
D	=	360 mm
H	=	148 mm
Weight	=	195 kg





Gambar 4.49 *Pot Bearing Mageba Te 3a with anchor plate*

Kekuatan perletakan *pot bearing* yang digunakan dikontrol terhadap gaya yang terjadi akibat beban lalu lintas yang terjadi

Kombinasi Beban = KUAT 1 AC

Tabel 4.25 Kontrol Kapasitas *Pot Bearing A1*

Girder	Link Output Reaction						Kontrol	
	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	P	V
Exterior 1	2286.493	-220.359	0	0	0	0	OK	OK
Interior 1	2239.857	-3.924	0	0	0	0	OK	OK
Interior 2	1731.033	-361.164	0	0	0	0	OK	OK
Exterior 2	1668.013	266.802	0	0	0	0	OK	OK

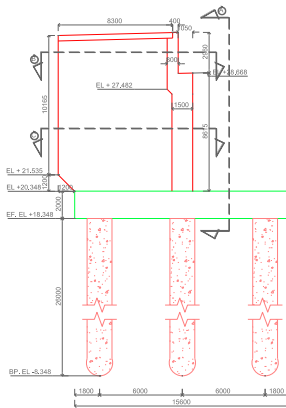
Tabel 4.26 Kontrol Kapasitas *Pot Bearing A2*

Girder	Link Output Reaction						Kontrol	
	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	P	V
Exterior 1	2204.826	-30.785	0	0	0	0	OK	OK
Interior 1	2253.825	-237.673	0	0	0	0	OK	OK
Interior 2	1701.534	-373.176	0	0	0	0	OK	OK
Exterior 2	1626.425	261.189	0	0	0	0	OK	OK

## BAB V PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

### 5.1 Perencanaan Abutmen A1

Bangunan abutmen A1 jembatan direncanakan dapat menahan beban-beban yang terjadi pada bangunan atas yang dipikul serta beban yang terjadi pada abutmen sendiri. Berikut adalah analisa perencanaan abutmen A1



Gambar 5.1 Struktur Abutmen A1

#### 5.1.1 Pembebanan Abutmen A1

Beban pada abutmen terdiri dari beban reaksi perletakan akibat beban bangunan atas, beban tekanan tanah, beban tanah timbunan dan beban gempa. Berikut analisa pembebanan pada abutmen A1

##### 1. Beban Timbunan

Tinggi Dinding Abutmen = 11 m

Berat Jenis Tanah = 17 kN/m<sup>3</sup>

Maka nilai beban merata tanah timbunan didapatkan

$$q = 17 \text{ kN/m}^3 \cdot 11 \text{ m} = 192,98 \text{ kN/m}^2$$

## 2. Beban Tekanan Tanah

$$\text{Berat Plat Injak} = 0,45 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 = 10,8 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Lapisan Aspal} = 0,03 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 6,6 \text{ N/m}^2$$

Koefisien Tanah Aktif

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left( 45 - \frac{20}{2} \right) = 0,490$$

Tekanan Tanah Akibat Beban Hidup

$$h \text{ ekuivalen Abutmen} = 0,6 \text{ m}$$

$$\Delta p = K_a \gamma h_{eq} = 0,490 \cdot 17 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,6 \text{ m} = 5,1 \text{ kN/m}^3$$

Nilai beban merata tekanan tanah didapatkan

- Lapis Aspal	=	6.6 kN/m <sup>2</sup>
- Plat Injak	=	10.8 kN/m <sup>2</sup>
- Beban Hidup	=	<u>5.1 kN/m<sup>2</sup></u> +
Total	=	22.5 kN/m <sup>2</sup>

Maka didapatkan nilai tekanan tanah aktif  $P_a$

Pada ujung atas dinding abutmen

$$P_a = q K_a = 22,5 \cdot 0,49 = 11,0 \text{ kN/m}^2$$

Pada dasar dinding abutmen

$$P_a = q K_a + \gamma h K_a = 22,5 \cdot 0,49 + 17 \cdot 11 \cdot 0,49$$

$$P_a = 100,01 \text{ kN/m}^2$$

### 5.1.2 Penulangan Abutmen A1

Kebutuhan tulangan abutmen A1 diambil dari hasil output Ast1 dan Ast2 pada permodelan jembatan pada program bantu CsiBridge.

#### 1. Penulangan Dinding *Stopper*

Tabel 5.1 Output Kebutuhan Tulangan *Stopper* A1

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	4.76	3.43	5.11	4.52

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan  $d = 25$  mm  
 $n = 1$   
 $As = 491.1$  mm<sup>2</sup>  
 Rebar Area  $As/s = 4.76$  mm<sup>2</sup>/mm  
 $s$  perlu = 103.2 mm  
 $s$  pasang = 100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan  $d = 25$  mm  
 $n = 1$   
 $As = 491.1$  mm<sup>2</sup>  
 Rebar Area  $As/s = 3.43$  mm<sup>2</sup>/mm  
 $s$  perlu = 143.2 mm  
 $s$  pasang = 100 mm OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	5.11 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	129.3 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	25 mm
n	=	1
As	=	491.1 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	4.52 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	108.6 mm
s pasang	=	100 mm OK

## 2. Penulangan *Backwall*

Tabel 5.2 Output Kebutuhan Tulangan *Backwall* A1

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	6.36	4.54	6.74	5.81

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	6.36 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	103.9 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan	d	=	29 mm
	n	=	1
	As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	4.54 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	145.5 mm
s pasang		=	100 mm OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan	d	=	32 mm
	n	=	1
	As	=	804.6 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	6.74 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	119.4 mm
s pasang		=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan	d	=	29 mm
	n	=	1
	As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	As/s	=	5.81 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	113.7 mm
s pasang		=	100 mm OK

Tulangan Geser *Backwall*

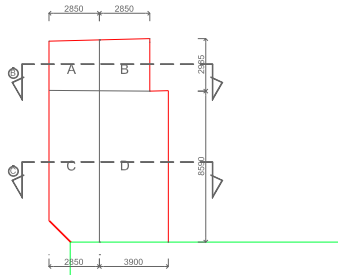
Tegangan Geser Material Beton

$$f_{vc} = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} = \frac{1}{6} \sqrt{30 \text{ MPa}} = 0,912 \text{ MPa}$$

Digunakan Tulangan

Diameter	=	25
Mutu Baja ( $f_y$ )	=	400 MPa
Jumlah ( $n$ )	=	22
$s$ horizontal	=	1022.73 mm
Output S13	=	0.8189 MPa
$V_u$	=	1256267 N
$V_c$	=	1400427 N
$V_s$	=	693351 N
$s$ vertikal	=	424.955 mm
digunakan $s$	=	400 mm OK

### 3. Penulangan *Wingwall*



Gambar 5.2 Penulangan *Wingwall* A1

Tabel 5.3 Penulangan Ast1 *Top Face* *Wingwall* A1

Segmen	Output Csi		Penulangan Top Face				
	Top Face		Ast1				
	Ast1	Ast2	d	As ( $\text{mm}^2$ )	s perlu	s pasang	kontrol
A	1.08	3.02	19	283.64	262.63228	100	OK
B	3.28	3.68	22	380.29	115.94077	100	OK
C	3.41	4.92	22	380.29	111.52074	100	OK
D	3.44	4.48	22	380.29	110.54817	100	OK

Tabel 5.4 Penulangan Ast2 *Top Face Wingwall A1*

Segmen	Output Csi		Penulangan Top Face				
	Top Face		Ast2				
	Ast1	Ast2	d	As (mm <sup>2</sup> )	s perlu	s pasang	kontrol
A	1.08	3.02	25	491.07	162.60643	100	OK
B	3.28	3.68	22	380.29	103.33851	100	OK
C	3.41	4.92	29	660.79	134.30604	100	OK
D	3.44	4.48	25	491.07	109.61416	100	OK

Tabel 5.5 Penulangan Ast1 *Bottom Face Wingwall A1*

Segmen	Output Csi		Penulangan Bottom Face				
	Bottom Face		Ast1				
	Ast1	Ast2	d	As (mm <sup>2</sup> )	s perlu	s pasang	kontrol
A	3.91	2.29	25	491.07	125.59372	100	OK
B	6.02	3.73	29	660.79	109.76507	100	OK
C	3.79	5.12	22	380.29	100.33924	100	OK
D	5.11	4.08	29	660.79	129.31227	100	OK

Tabel 5.6 Penulangan Ast2 *Bottom Face Wingwall A1*

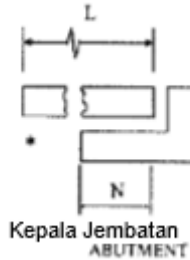
Segmen	Output Csi		Penulangan Bottom Face				
	Bottom Face		Ast2				
	Ast1	Ast2	d	As (mm <sup>2</sup> )	s perlu	s pasang	kontrol
A	3.91	2.29	19	283.64	123.86151	100	OK
B	6.02	3.73	22	380.29	101.95327	100	OK
C	3.79	5.12	29	660.79	129.05971	100	OK
D	5.11	4.08	25	491.07	120.36064	100	OK

### 5.1.3 Kontrol Panjang Perletakan Minimum Abutmen

Panjang perletakan minimum pada abutmen disyaratkan dalam SNI 2833-2016 pasal 6.4. nilai panjang perletakan disyaratkan harus lebih dari nilai yang didapatkan dari persamaan berikut.

$$N = (-0,782 + 0,02L + 0,8H)(1 + 0,000125s^2)$$





Gambar 5.3 Panjang Perletakan Minimum Abutmen

Panjang Bentang (L) = 40 m

Tinggi Pier Rata-rata (H) = 7,25 m

Kemiringan perletakan (s) = 2,55% 0,3 m = 0,00765

$$N = (-0,782 + 0,02(40) + 0,8(7,25))(1 + 0,0001250,007^2)$$

$N = 0,598 \text{ m}$  maka digunakan  $N = 0,7 \text{ (OK)}$

#### 5.1.4 Penulangan Pile Cap

Tabel 5.7 Output Kebutuhan Tulangan Pilecap A1

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	5.37	3.73	9.31	5.86

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan d = 29 mm

n = 1

As = 660.8 mm<sup>2</sup>

Rebar Area As/s = 5.37 mm<sup>2</sup>/mm

s perlu = 123.1 mm

s pasang = 100 mm OK

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 22 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 380.3 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 3.73 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 101.95 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- Bottom Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 36 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 1018 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 9.31 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 109.4 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 29 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 660.8 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 5.86 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 112.76 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

**5.1.5 Kontrol Geser Pile Cap**

$$\text{Lebar Pilecap} = 27,6 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Pilecap} = 15,6 \text{ m}$$

$$\text{Tebal Pilecap} = 2 \text{ m}$$

$$F \text{ Reduksi Geser } (\emptyset) = 0,7$$

Pu 1 tiang = 891 ton

Pu 1 baris tiang = 4268 ton

### 1. Kontrol Geser 1 Arah Tiang Tepi

Panjang Blok Geser = 8 m

Kekuatan Geser Beton

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 8m \cdot 2m = 1022,4 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 1022,4 \text{ ton} > 891 \text{ ton (OK)}$$

### 2. Kontrol Geser 1 Baris Tiang

Panjang Blok Geser (d) = 27,6 m

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 27,6m \cdot 2m = 3527,3 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 3527,3 \text{ ton} < 4268,2 \text{ ton}$$

Karena  $\phi V_c < V_u$ , maka pada tumpuan pilecap perlu dipasang tulangan geser. Kebutuhan tulangan geser didapatkan dari perhitungan

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 4268,2 - 3527,3 = 740,89 \text{ ton}$$

Digunakan tulangan geser D = 16 mm

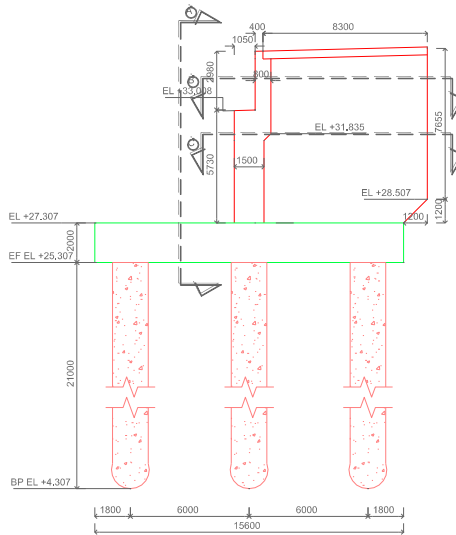
s y = 1000 mm

$$\text{Maka } s_x \text{ perlu} = \frac{A_{vs} f_y d \cdot 0,7}{V_s} = 471,11 \text{ mm}$$

Digunakan s x = 450 mm < 471,11 mm (OK)

## 5.2 Perencanaan Abutmen A2

Bangunan abutmen A2 jembatan direncanakan dapat menahan beban-beban yang terjadi pada bangunan atas yang dipikul serta beban yang terjadi pada abutmen sendiri. Berikut adalah analisa perencanaan abutmen A2



Gambar 5.4 Abutmen A2

### 5.2.1 Pembebanan Abutmen A2

Beban pada abutmen terdiri dari beban reaksi perletakan akibat beban bangunan atas, beban tekanan tanah, beban tanah timbunan dan beban gempa. Berikut analisa pembebanan pada abutmen A2

#### 3. Beban Timbunan

Tinggi Dinding Abutmen = 8,7 m

Berat Jenis Tanah = 17 kN/m<sup>3</sup>

Maka nilai beban merata tanah timbunan didapatkan

$$q = 17 \text{ kN/m}^3 \cdot 8,7 \text{ m} = 148,78 \text{ kN/m}^2$$

#### 4. Beban Tekanan Tanah

$$\text{Berat Plat Injak} = 0,45 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 = 10,8 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Lapisan Aspal} = 0,03 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 6,6 \text{ N/m}^2$$

Koefisien Tanah Aktif

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left( 45 - \frac{20}{2} \right) = 0,490$$

Tekanan Tanah Akibat Beban Hidup

$$h \text{ ekuivalen Abutmen} = 0,6 \text{ m}$$

$$\Delta p = K_a \gamma h_{eq} = 0,490 \cdot 17 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,6 \text{ m} = 5,1 \text{ kN/m}^3$$

Nilai beban merata tekanan tanah didapatkan

- Lapis Aspal	=	6.6 kN/m <sup>2</sup>
- Plat Injak	=	10.8 kN/m <sup>2</sup>
- Beban Hidup	=	<u>5.1 kN/m<sup>2</sup></u> +
Total	=	22.5 kN/m <sup>2</sup>

Maka didapatkan nilai tekanan tanah aktif  $P_a$

Pada ujung atas dinding abutmen

$$P_a = q K_a = 22,5 \cdot 0,49 = 11,0 \text{ kN/m}^2$$

Pada dasar dinding abutmen

$$P_a = q K_a + \gamma h K_a = 22,5 \cdot 0,49 + 17 \cdot 11 \cdot 0,49$$

$$P_a = 78,34 \text{ kN/m}^2$$

### 5.2.2 Penulangan Abutmen A2

Kebutuhan tulangan abutmen A2 diambil dari hasil output Ast1 dan Ast2 pada permodelan jembatan pada program bantu CsiBridge.

#### 1. Penulangan Dinding *Stopper*

Tabel 5.8 Output Kebutuhan Tulangan *Stopper* A2

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	4.44	3.84	4.63	3.99

- Top Face

#### Arah Sumbu x

Digunakan  $d = 25 \text{ mm}$   
 $n = 1$   
 $As = 491.1 \text{ mm}^2$   
 Rebar Area  $As/s = 4.44 \text{ mm}^2/\text{mm}$   
 $s \text{ perlu} = 110.6 \text{ mm}$   
 $s \text{ pasang} = 100 \text{ mm OK}$

#### Arah Sumbu y

Digunakan  $d = 25 \text{ mm}$   
 $n = 1$   
 $As = 491.1 \text{ mm}^2$   
 Rebar Area  $As/s = 3.84 \text{ mm}^2/\text{mm}$   
 $s \text{ perlu} = 127.9 \text{ mm}$   
 $s \text{ pasang} = 100 \text{ mm OK}$

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	25 mm
n	=	1
As	=	491.1 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	4.63 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	106.1 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	25 mm
n	=	1
As	=	491.1 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	3.99 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	123.1 mm
s pasang	=	100 mm OK

## 2. Penulangan *Backwall*

Tabel 5.9 Output Kebutuhan Tulangan *Backwall* A2

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	6.22	4.52	5.81	5.66

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	6.22 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	106.2 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	4.52 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	146.2 mm
s pasang	=	100 mm OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	5.81 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	113.7 mm
s pasang	=	100 mm OK

Arah Sumbu y

Digunakan d	=	29 mm
n	=	1
As	=	660.8 mm <sup>2</sup>
Rebar Area As/s	=	5.66 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu	=	116.7 mm
s pasang	=	100 mm OK

Tulangan Geser *Backwall*

Tegangan Geser Material Beton

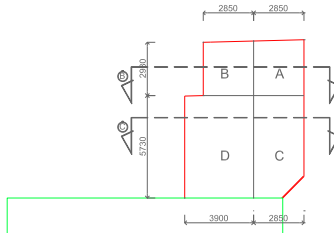
$$f_{vc} = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} = \frac{1}{6} \sqrt{30 \text{ MPa}} = 0,912 \text{ MPa}$$



Digunakan Tulangan

Diameter	=	25
Mutu Baja ( $f_y$ )	=	400 MPa
Jumlah ( $n$ )	=	20
$s$ horizontal	=	1125 mm
Output S13	=	0.783 MPa
$V_u$	=	1321313 N
$V_c$	=	1540470 N
$V_s$	=	661718 N
$s$ vertikal	=	445.269651 mm
digunakan $s$	=	400 mm OK

### 3. Penulangan *Wingwall*



Gambar 5.5 Penulangan *Wingwall* A2

Tabel 5.10 Penulangan Ast1 *Top Face* *Wingwall* A2

Segmen	Output Csi		Penulangan Top Face				
	Top Face		Ast1				
	Ast1	Ast2	d	As ( $\text{mm}^2$ )	s perlu	s pasang	kontrol
A	1.67	3.48	16	201.14	120.4448	100	OK
B	3.02	3.31	22	380.29	125.9224	100	OK
C	2.03	4.27	19	283.64	139.7255	100	OK
D	3.08	3.29	22	380.29	123.4694	100	OK

Tabel 5.11 Penulangan Ast2 *Top Face Wingwall A2*

Segmen	Output Csi		Penulangan Top Face				
	Top Face		Ast2				
	Ast1	Ast2	d	As (mm <sup>2</sup> )	s perlu	s pasang	kontrol
A	1.67	3.48	22	380.29	109.2775	100	OK
B	3.02	3.31	22	380.29	114.8899	100	OK
C	2.03	4.27	25	491.07	115.005	100	OK
D	3.08	3.29	22	380.29	115.5884	100	OK

Tabel 5.12 Penulangan Ast1 *Bottom Face Wingwall A2*

Segmen	Output Csi		Penulangan Bottom Face				
	Bottom Face		Ast1				
	Ast1	Ast2	d	As (mm <sup>2</sup> )	s perlu	s pasang	kontrol
A	3.28	1.67	22	380.29	115.9408	100	OK
B	4.11	3.26	25	491.07	119.4821	100	OK
C	3.2	3.63	22	380.29	118.8393	100	OK
D	4.34	3.66	25	491.07	113.1501	100	OK

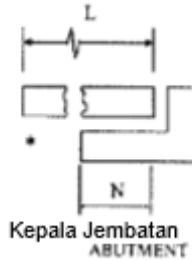
Tabel 5.13 Penulangan Ast2 *Bottom Face Wingwall A2*

Segmen	Output Csi		Penulangan Top Face				
	Bottom Face		Ast2				
	Ast1	Ast2	d	As (mm <sup>2</sup> )	s perlu	s pasang	kontrol
A	3.28	1.67	16	201.14	120.4448	100	OK
B	4.11	3.26	22	380.29	116.6521	100	OK
C	3.2	3.63	25	491.07	135.2814	100	OK
D	4.34	3.66	22	380.29	103.9032	100	OK

### 5.2.3 Kontrol Panjang Perletakan Minimum Abutmen

Panjang perletakan minimum pada abutmen disyaratkan dalam SNI 2833-2016 pasal 6.4. nilai panjang perletakan disyaratkan harus lebih dari nilai yang didapatkan dari persamaan berikut.

$$N = (-0,782 + 0,02L + 0,8H)(1 + 0,000125s^2)$$



Gambar 5.6 Panjang Perletakan Minimum Abutmen

Panjang Bentang (L) = 40 m

Tinggi Pier Rata-rata (H) = 7,25 m

Kemiringan perletakan (s) = 2,55% 0,3 m = 0,00765

$$N = (-0,782 + 0,02(40) + 0,8(7,25))(1 + 0,0001250,007^2)$$

$N = 0,598 \text{ m}$  maka digunakan  $N = 0,7 \text{ (OK)}$

#### 5.2.4 Penulangan Pile Cap

Tabel 5.14 Output Kebutuhan Tulangan Pilecap A2

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	5.14	2.94	6.38	5.52

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan  $d = 29 \text{ mm}$

$n = 1$

$As = 660.8 \text{ mm}^2$

Rebar Area  $As/s = 5.14 \text{ mm}^2/\text{mm}$

s perlu = 128.6 mm

s pasang = 100 mm OK

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 22 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 380.3 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 2.94 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 129 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- Bottom Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 32 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 804.6 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 6.38 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 126.1 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 29 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ A_s &= 660.8 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } A_s/s &= 5.52 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 120 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

**5.2.5 Kontrol Geser Pile Cap**

$$\text{Lebar Pilecap} = 27,6 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Pilecap} = 15,6 \text{ m}$$

$$\text{Tebal Pilecap} = 2 \text{ m}$$

$$F \text{ Reduksi Geser } (\emptyset) = 0,7$$

Pu 1 tiang = 665.89 ton

Pu 1 baris tiang = 3203.8 ton

1. Kontrol Geser 1 Arah Tiang Tepi

Panjang Blok Geser = 8 m

Kekuatan Geser Beton

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 8m \cdot 2m = 1022,4 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 1022,4 \text{ ton} > 665,89 \text{ ton (OK)}$$

2. Kontrol Geser 1 Baris Tiang

Panjang Blok Geser (d) = 27,6 m

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 27,6m \cdot 2m = 3527,3 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 3527,3 \text{ ton} > 3203,83 \text{ ton}$$

Karena  $\phi V_c > V_u$ , maka pada tumpuan pilecap tidak perlu dipasang tulangan geser.



## 1. Tulangan Kolom

Tulangan Vertikal

$$\begin{aligned}
 \text{Rebar Area (As)} &= 0.762 \text{ m}^2 \\
 &= 762068.13 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas Dinding} &= 28.5 \text{ m}^2 \\
 \text{Rebar Area Ratio} &= 2.7 \% \\
 \text{Digunakan } d &= 36 \text{ mm} \\
 n &= 750 \\
 A &= 763714.3 \text{ mm}^2 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Tulangan

n lapis	keliling (mm)	s bersih (mm)	1.5D	40 mm
1	302	27316	54.45	OK
2	296	26864	54.76	OK
3	152	26412	137.76	OK

Tulangan Geser V2

$$\begin{aligned}
 \text{Digunakan } d &= 19 \text{ mm} \\
 n &= 6 \\
 \text{Avs} &= 1702 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rebar Area Av/s} &= 6.124 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{s perlu} &= 277.9 \text{ mm} \\
 \text{s pasang} &= 250 \text{ mm} \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser V3

$$\begin{aligned}
 \text{Digunakan } d &= 22 \text{ mm} \\
 n &= 36 \\
 \text{Avs} &= 13690 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rebar Area Av/s} &= 91.19 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{s perlu} &= 150.1 \text{ mm} \\
 \text{s pasang} &= 150 \text{ mm} \text{ OK}
 \end{aligned}$$

## 2. Tulangan *Pierhead*

Output CSiBridge

F top area = 11192 mm<sup>2</sup>

Digunakan tulangan

Diameter = 29 mm

n = 18

As = 11894 mm<sup>2</sup> OK

F bot area = 20651 mm<sup>2</sup>

Digunakan tulangan

Diameter = 29 mm

n = 32

As = 21145 mm<sup>2</sup> OK

Tulangan Geser

Vrebar = 18.821 mm<sup>2</sup>/mm

Digunakan tulangan

Diameter = 25 mm

n = 6

As = 2946.4 mm<sup>2</sup>

s perlu = 156.55 mm

s = 150 mm OK

### 5.3.2 Kontrol Deformasi Horizontal Pilar P1

Deformasi pada kolom pilar akibat gempa yang terjadi tidak boleh melebihi syarat deformasi ijin menurut SNI 2833-2016 pasal 6.5. Nilai deformasi maksimum yang diijinkan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta Pu < 0,25 \phi M \text{ dimana } \Delta = \Delta e Rd$$

$$Rd = 1$$

$$\emptyset \text{ Lentur} = 0,8$$



$$P_u = 65754,8 \text{ kN}$$

$$M_n x = 229013,93 \text{ kN.m}$$

$$M_n y = 358362,55 \text{ kN.m}$$

$$\Delta e x = 0,0395 \text{ m}$$

$$\Delta e xy = 0,0336 \text{ m}$$

Kontrol deformasi ijin arah sumbu x

$$\Delta e x < \frac{0,25 \phi M_n}{R_d P_u}$$

$$\Delta e x < \frac{0,25 \cdot 0,8 \cdot 229013,93}{1 \cdot (65745,8)}$$

$$0,0395 \text{ m} < 0,696 \text{ m} \text{ (OK)}$$

Kontrol deformasi ijin arah sumbu y

$$\Delta e x < \frac{0,25 \phi M_n}{R_d P_u}$$

$$\Delta e x < \frac{0,25 \cdot 0,8 \cdot 358362,55}{1 \cdot (65745,8)}$$

$$0,0395 \text{ m} < 1,089 \text{ m} \text{ (OK)}$$

### 5.3.3 Penulangan Pile Cap

Tabel 5.15 Output Kebutuhan Tulangan Pilecap P1

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	7.08	6.65	16	14.94

- Top Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 32 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ As &= 804.6 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } As/s &= 7.08 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 114 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 32 \text{ mm} \\ n &= 1 \\ As &= 804.6 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } As/s &= 6.65 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 121 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- Bottom Face

Arah Sumbu x

$$\begin{aligned} \text{Digunakan } d &= 32 \text{ mm} \\ n &= 2 \\ As &= 1609 \text{ mm}^2 \\ \text{Rebar Area } As/s &= 16 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ s \text{ perlu} &= 101 \text{ mm} \\ s \text{ pasang} &= 100 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Arah Sumbu y

Digunakan	d =	32 mm	
	n =	2	
	As =	1609 mm <sup>2</sup>	
Rebar Area	As/s =	14.9 mm <sup>2</sup> /mm	
s perlu	=	108 mm	
s pasang	=	100 mm	OK

**5.3.4 Kontrol Geser Pile Cap**

Lebar Pilecap = 27,6 m

Panjang Pilecap = 27,6 m

Tebal Pilecap = 2,5 m

F Reduksi Geser ( $\emptyset$ ) = 0,7

Pu 1 tiang = 1134,6 ton

Pu 1 baris tiang = 8755,3 ton

## 1. Kontrol Geser 1 Arah Tiang Tepi

Panjang Blok Geser = 8,79 m

Kekuatan Geser Beton

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 8,79 \text{ m } 2,5 \text{ m} = 1403,54 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 1403,54 \text{ ton} > 1134,6 \text{ ton (OK)}$$

## 2. Kontrol Geser 1 Baris Tiang

Panjang Blok Geser (d) = 27,6 m

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 27,6 \text{ m } 2,5 \text{ m} = 4409,17 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 4409,17 \text{ ton} < 8755,32 \text{ ton}$$

Karena  $\phi V_c < V_u$ , maka pada tumpuan pilecap perlu dipasang tulangan geser. Kebutuhan tulangan geser didapatkan dari perhitungan

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 8755,32 - 4409,17 = 4346,1 \text{ ton}$$

$$\text{Digunakan tulangan geser } D = 25 \text{ mm}$$

$$s_y = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Maka } s_{x \text{ perlu}} = \frac{A_{vs} f_y d 0,7}{V_s} = 468,10 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan } s_x = 450 \text{ mm} < 468,10 \text{ mm (OK)}$$

### 5.3.5 Kontrol Pilar Akibat Momen Unbalanced

Saat pelaksanaan pengecoran segmen menggunakan *formwork traveller* akan terjadi kondisi dimana bentang pada sisi kiri dan kanan kantilever berbeda. Perbedaan panjang bentang kantilever ini akan menyebabkan perbedaan berat kantilever pada sisi kanan dan sisi kiri pilar. Sehingga hal tersebut akan menyebabkan terjadinya momen pada pilar. Berikut adalah kontrol kekuatan pilar terhadap kondisi *unbalanced*.

$$\text{Kombinasi Beban} = 1D + 1Trav + 1SEG + PS$$

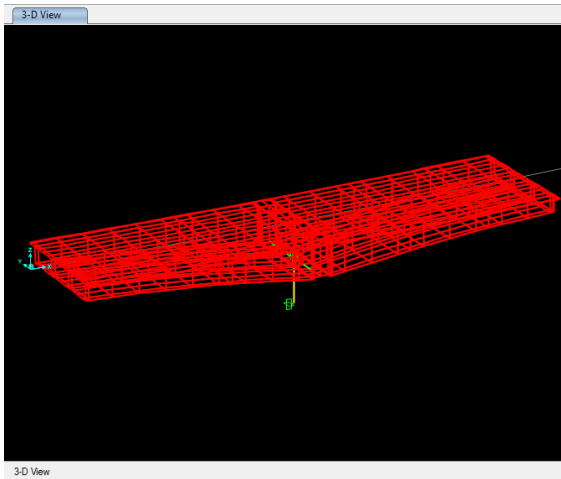
$$\text{Bentang sisi kanan} = 38,5 \text{ m (segmen A10)}$$

$$\text{Tinggi Pilar} = 6.5 \text{ m}$$

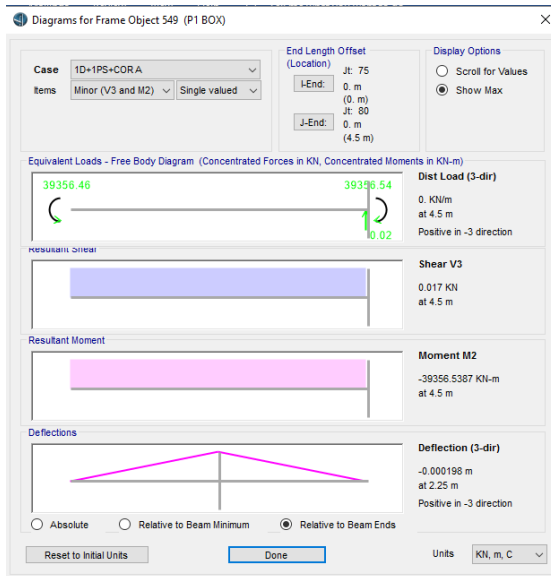
$$\text{Bentang sisi kiri} = 35,5 \text{ m (segmen A9)}$$

$$\text{Kapasitas Momen Pilar} = 229013,93 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen Pilar } Unbalanced = 39356,53 \text{ kN.m (OK)}$$



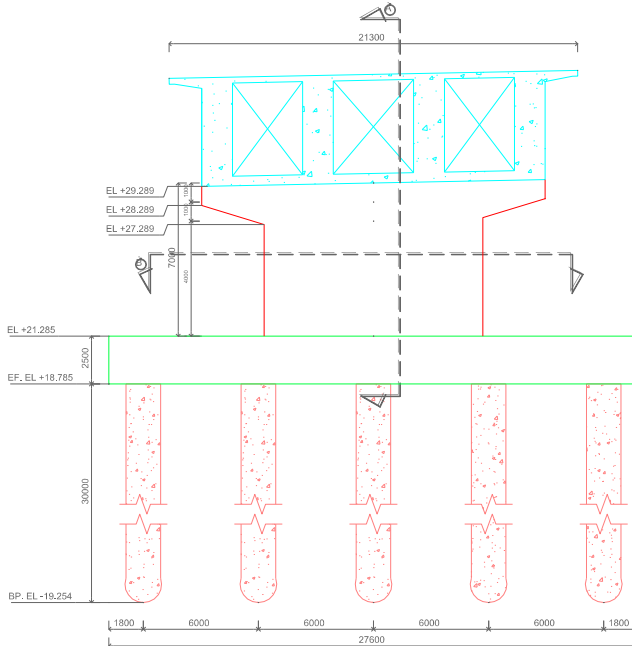
Gambar 5.8 Permodelan Pilar P1 Kondisi *Unbalanced*



Gambar 5.9 Momen *unbalanced* Pilar P1

## 5.4 Perencanaan Pilar P2

Pilar P2 direncanakan dapat menahan beban mati bangunan di atasnya, beban lalu lintas dan pengaruh gempa yang terjadi. berikut adalah perencanaan pilar P2



Gambar 5.10 Struktur Kolom Pilar P2

### 5.4.1 Penulangan Pilar P2

Penulangan pilar P1 didapatkan dari hasil output fasilitas *check design* pada program bantu CsiBridge terhadap kombinasi beban-beban pada jembatan.

Mutu Beton ( $f_c'$ ) = 50 MPa

Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ) = 400 MPa

Kombinasi Beban Max = EKSTREM 1 ABC EY

## 1. Tulangan Kolom

Tulangan Vertikal

$$\begin{aligned}
 \text{Rebar Area (As)} &= 0.708 \text{ m}^2 \\
 &= 708477.2 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas Dinding} &= 28.5 \text{ m}^2 \\
 \text{Rebar Area Ratio} &= 2.5 \% \\
 \text{Digunakan } d &= 36 \text{ mm} \\
 n &= 708 \\
 A &= 720946.3 \text{ mm}^2 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Tulangan

n lapis	keliling (mm)	s bersih (mm)	1.5D	40 mm
1	300	27288	54.96	OK
2	296	26808	54.57	OK
3	112	26328	199.07	OK

Tulangan Geser V2

$$\begin{aligned}
 \text{Digunakan } d &= 19 \text{ mm} \\
 n &= 6 \\
 A_{vs} &= 1702 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rebar Area } A_{v/s} &= 6.17 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 s \text{ perlu} &= 275.8 \text{ mm} \\
 s \text{ pasang} &= 250 \text{ mm} \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser V3

$$\begin{aligned}
 \text{Digunakan } d &= 29 \text{ mm} \\
 n &= 34 \\
 A_{vs} &= 22467 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rebar Area } A_{v/s} &= 85.29 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 s \text{ perlu} &= 263.4 \text{ mm} \\
 s \text{ pasang} &= 250 \text{ mm} \text{ OK}
 \end{aligned}$$

## 2. Tulangan *Pierhead*

Output SAP

F top area = 11191 mm<sup>2</sup>

Digunakan tulangan

Diameter = 29 mm

n = 18

As = 11894 mm<sup>2</sup> OK

F bot area = 20651 mm<sup>2</sup>

Digunakan tulangan

Diameter = 29 mm

n = 32

As = 21145 mm<sup>2</sup> OK

Tulangan Geser

Vrebar = 18.969 mm<sup>2</sup>/mm

Digunakan tulangan

Diameter = 25 mm

n = 6

As = 2946.4 mm<sup>2</sup>

s perlu = 155.33 mm

s = 150 mm OK

### 5.4.2 Kontrol Deformasi Horizontal Pilar P2

Deformasi pada kolom pilar akibat gempa yang terjadi tidak boleh melebihi syarat deformasi ijin menurut SNI 2833-2016 pasal 6.5. Nilai deformasi maksimum yang diijinkan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta Pu < 0,25 \phi M \text{ dimana } \Delta = \Delta e Rd$$

$$Rd = 1$$

$$\emptyset \text{ Lentur} = 0,8$$



$$\begin{aligned}
 P_u &= 64526,4 \text{ kN} \\
 M_n \ x &= 234470,48 \text{ kN.m} \\
 M_n \ y &= 366027,5 \text{ kN.m} \\
 \Delta e \ x &= 0,0418 \text{ m} \\
 \Delta e \ xy &= 0,0337 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol deformasi ijin arah sumbu x

$$\begin{aligned}
 \Delta e x &< \frac{0,25 \phi M_n}{R_d P_u} \\
 \Delta e x &< \frac{0,25 \ 0,8 \ 234470,48}{1 \ (64526,4)} \\
 0,0418 \ m &< 0,7267 \ m \ (OK)
 \end{aligned}$$

Kontrol deformasi ijin arah sumbu y

$$\begin{aligned}
 \Delta e x &< \frac{0,25 \phi M_n}{R_d P_u} \\
 \Delta e x &< \frac{0,25 \ 0,8 \ 366027}{1 \ (64526,4)} \\
 0,0395 \ m &< 1,134 \ m \ (OK)
 \end{aligned}$$

### 5.4.3 Penulangan Pile Cap

Tabel 5.16 Output Kebutuhan Tulangan Tulangan Pilecap P2

Kombinasi	Top Face		Bottom Face	
	Ast1	Ast2	Ast1	Ast2
ENV ABUTMEN	7.19	6.98	15.49	15.28

- Top Face

Arah Sumbu x

Digunakan	d	=	32 mm	
	n	=	1	
	Avs	=	804.6 mm <sup>2</sup>	
Rebar Area	Av/s	=	7.19 mm <sup>2</sup> /mm	
s perlu		=	111.9 mm	
s pasang		=	100 mm	OK

Arah Sumbu y

Digunakan	d	=	32 mm	
	n	=	1	
	Avs	=	804.6 mm <sup>2</sup>	
Rebar Area	Av/s	=	6.98 mm <sup>2</sup> /mm	
s perlu		=	115 mm	
s pasang		=	100 mm	OK

- Bottom Face

Arah Sumbu x

Digunakan	d	=	32 mm	
	n	=	2	
	Avs	=	1609 mm <sup>2</sup>	
Rebar Area	Av/s	=	15.49 mm <sup>2</sup> /mm	
s perlu		=	103.9 mm	
s pasang		=	100 mm	OK

Arah Sumbu y

Digunakan	d	=	32 mm
	n	=	2
	$A_{vs}$	=	1609 mm <sup>2</sup>
Rebar Area	$A_{v/s}$	=	15.3 mm <sup>2</sup> /mm
s perlu		=	105 mm
s pasang		=	100 mm OK

**5.4.4 Kontrol Geser Pile Cap**

Lebar Pilecap = 27,6 m

Panjang Pilecap = 27,6 m

Tebal Pilecap = 2,5 m

F Reduksi Geser ( $\emptyset$ ) = 0,7

Pu 1 tiang = 1157,7 ton

Pu 1 baris tiang = 8741,5 ton

## 1. Kontrol Geser 1 Arah Tiang Tepi

Panjang Blok Geser = 8,79 m

Kekuatan Geser Beton

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 8,79 \text{ m } 2,5 \text{ m} = 1403,54 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 1403,54 \text{ ton} > 1157,67 \text{ ton (OK)}$$

## 2. Kontrol Geser 1 Baris Tiang

Panjang Blok Geser (d) = 27,6 m

$$\phi V_c = 0,7 \frac{\sqrt{30 \text{ MPa}}}{6} 27,6 \text{ m } 2,5 \text{ m} = 4409,17 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 4409,17 \text{ ton} < 8741,54 \text{ ton}$$

Karena  $\phi V_c < V_u$ , maka pada tumpuan pilecap perlu dipasang tulangan geser. Kebutuhan tulangan geser didapatkan dari perhitungan

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 8741,54 - 4409,17 = 4332,3 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Digunakan tulangan geser } D &= 25 \text{ mm} \\ s_y &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

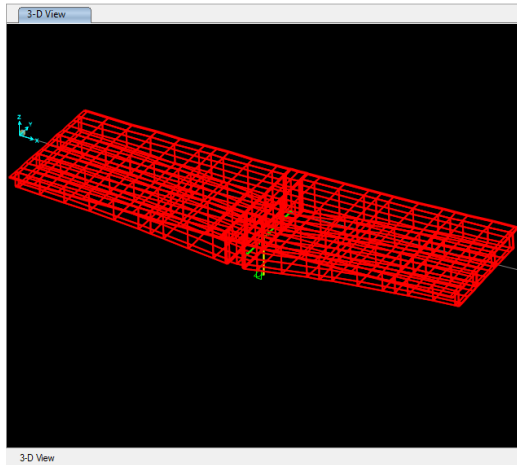
$$\text{Maka } s_{perlu} = \frac{A_{vs} f_y d 0,7}{V_s} = 469,58 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan } s = 450 \text{ mm} < 469,58 \text{ mm (OK)}$$

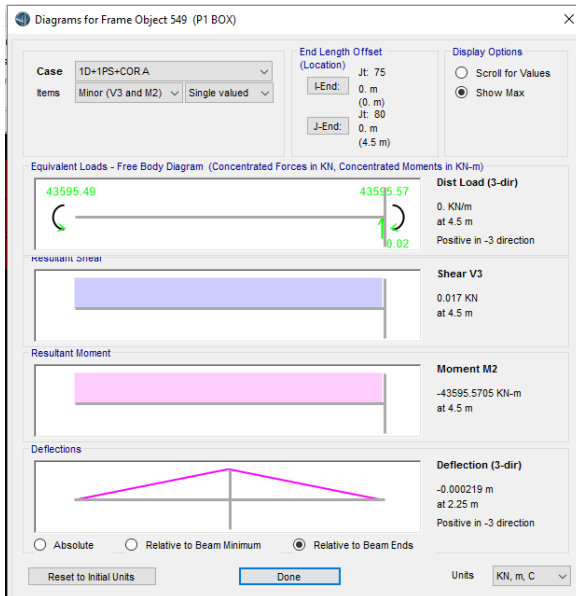
#### 5.4.5 Kontrol Pilar Akibat Momen Unbalanced

Saat pelaksanaan pengecoran segmen menggunakan *formwork traveller* akan terjadi kondisi dimana bentang pada sisi kiri dan kanan kantilever berbeda. Perbedaan panjang bentang kantilever ini akan menyebabkan perbedaan berat kantilever pada sisi kanan dan sisi kiri pilar. Sehingga hal tersebut akan menyebabkan terjadinya momen pada pilar. Berikut adalah kontrol kekuatan pilar terhadap kondisi *unbalanced*.

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi Beban} &= 1D + 1\text{Trav} + 1\text{SEG} + \text{PS} \\ \text{Bentang sisi kanan} &= 38,5 \text{ m (segmen A10)} \\ \text{Tinggi Pilar} &= 7 \text{ m} \\ \text{Bentang sisi kiri} &= 35,5 \text{ m (segmen A9)} \\ \text{Kapasitas Momen Pilar} &= 234470,48 \text{ kN.m} \\ \text{Momen Pilar } \textit{Unbalanced} &= 43595,37 \text{ kN.m (OK)} \end{aligned}$$



Gambar 5.11 Permodelan Pilar P1 Kondisi *Unbalanced*



Gambar 5.12 Momen *unbalanced* Pilar P1

### 5.5 Perencanaan Pondasi Borepile

Pondasi Borepile direncanakan menggunakan metode desain elastis. Pondasi borepile direncanakan dapat memikul beban-beban yang terjadi pada jembatan baik beban tetap, beban lalu lintas maupun beban gempa yang direncanakan. Faktor modifikasi respon gempa digunakan  $R = 1$  sesuai dengan SNI 2833-2016. Berikut adalah data umum perencanaan pondasi borepile jembatan.

Mutu Beton ( $f_c'$ )	= 25 MPa
Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ )	= 400 MPa untuk $d \geq 12$ mm = 280 MPa untuk $d < 12$ mm
Diameter Borepile	= 1.8 m
Tebal Selimut Beton ( $d'$ )	= 100 mm
Jarak Antar Tiang Borepile ( $s$ )	= 6 m

#### 1. Kekuatan Material Borepile

Pondasi borepile yang direncanakan harus dikontrol terhadap kekuatan material beton yang diijinkan. Berikut adalah gaya ijin pada material beton borepile.

$$\text{Luas borepile (A}_p\text{)} = \frac{22 \cdot 1800 \text{ mm}^2}{4} = 2545714 \text{ mm}^2$$

Tegangan Ijin Tekan

$$0,45 f_c' = 11,25 \text{ MPa}$$

Tegangan Tarik Ijin

$$0,6 \sqrt{f_c'} = 3 \text{ MPa}$$

Gaya Tekan Ijin

$$P_{ijin} = 2545714 \text{ mm}^2 \cdot 11,25 \text{ MPa} = 2864 \text{ ton}$$

Gaya Tarik Ijin

$$P'_{ijin} = 2545714 \text{ mm}^2 \cdot 3 \text{ MPa} = 764 \text{ ton}$$

## 2. Efisiensi Kelompok Tiang

Nilai efisiensi kelompok tiang menggunakan referensi peraturan AASHTO-LRFD 2012 Tabel 10.8.3.6.3-1

Tabel 5.17 Efisiensi Kelompok Tiang AASHTO-LRFD

Table 10.8.3.6.3-1—Group Reduction Factors for Bearing Resistance of Shafts in Sand

Shaft Group Configuration	Shaft Center-to-Center Spacing	Special Conditions	Reduction Factor for Group Effects, $\eta$
Single Row	2D		0.90
	3D or more		1.0
Multiple Row	2.5D		0.67
	3D		0.80
	4D or more		1.0
Single and Multiple Rows	2D or more	Shaft group cap in intimate contact with ground consisting of medium dense or denser soil, and no scour below the shaft cap is anticipated	1.0
Single and Multiple Rows	2D or more	Pressure grouting is used along the shaft sides to restore lateral stress losses caused by shaft installation, and the shaft tip is pressure grouted	1.0

$$\text{Diameter Borepile (d)} = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Jarak Antar Tiang (s)} = 6 \text{ m}$$

$$\frac{s}{D} = \frac{6}{1,8} = 3,33$$

Maka didapatkan nilai  $E_g = 0,87$

## 3. Daya Dukung Tiang Tunggal

Kemampuan dukung tiang borepile dihitung dengan persamaan berikut

$$R_a = \frac{1}{n} R_u$$

$$R_u = q_d A + U \sum l_i f_i$$

Dimana

$W_s$  = berat efektif tanah yang dipindahkan oleh tiang (ton)

$W$  = berat efektif tiang dan tanah di dalam tiang (ton)

$q_d$  = daya dukung terpusat tiang (ton)

$A$  = luas ujung tiang ( $m^2$ )

$U$  = panjang keliling tiang (m)

$l_i$  = Tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan gesekan dinding tiang

$f_i$  = besarnya gaya gesek maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang ( $ton/m^3$ )

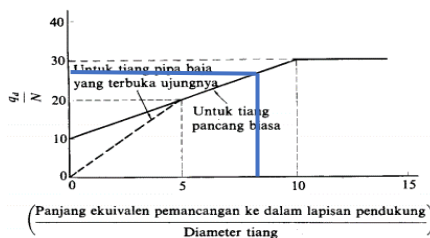
Maka dapat dihitung

Diameter Tiang (D) = 1,8

Panjang Ekuivalen Lapisan (l) = 14,4 m

$l/D$  = 8

$q_d/N$  = 26



Gambar 5.13 Grafik Nilai Intensitas Daya Dukung Ujung Titiang

Tabel 5.18 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Borepile D= 1.8 m



Jenis	Depth (m)	kode	N	Ap (m <sup>2</sup> )	As (m <sup>2</sup> )	Qd (ton)	fs	Qs (ton)	Pu (ton)	Pijin (ton)		Pijin cabut		I/N
										non-gempa SF = 3	gempa SF = 2	non-gempa SF = 4	gempa SF = 3	
Lanau Berpasir	1 s	4	2.546	5.657	265	2	11.31	276.07	92.02	138.03	2.83	3.77	0.25	
	2 s	8	2.546	11.31	530	4	33.94	563.45	187.82	281.73	8.49	11.31	0.13	
	3 s	9	2.546	16.97	596	4.5	59.40	655.10	218.37	327.55	14.85	19.80	0.11	
	4 s	10	2.546	22.63	662	5	87.69	749.57	249.86	374.79	21.92	29.23	0.1	
Lanau Berlempung	5 c	23	2.546	28.29	1522	11.5	152.74	1675.08	558.36	837.54	38.19	50.91	0.04	
	6 c	36	2.546	33.94	2383	12	220.63	2603.42	867.81	1301.71	55.16	73.54	0.03	
Lanau Berpasir	7 c	43	2.546	39.6	2846	12	288.51	3134.62	1044.87	1567.31	72.13	96.17	0.02	
	8 s	50	2.546	45.26	3309	12	356.40	3665.83	1221.94	1832.91	89.10	118.80	0.02	
	9 s	50	2.546	50.91	3309	12	424.29	3733.71	1244.57	1866.86	106.07	141.43	0.02	
	10 s	50	2.546	56.57	3309	12	492.17	3801.60	1267.20	1900.80	123.04	164.06	0.02	
	11 s	50	2.546	62.23	3309	12	560.06	3869.49	1289.83	1934.74	140.01	186.69	0.02	
	12 s	50	2.546	67.89	3309	12	627.94	3937.37	1312.46	1968.69	156.99	209.31	0.02	
	13 s	50	2.546	73.54	3309	12	695.83	4005.26	1335.09	2002.63	173.96	231.94	0.02	
	14 s	50	2.546	79.2	3309	12	763.71	4073.14	1357.71	2036.57	190.93	254.57	0.02	
Pasir Berlanau	15 s	50	2.546	84.86	3309	12	831.60	4141.03	1380.34	2070.51	207.90	277.20	0.02	
	16 s	50	2.546	90.51	3309	12	899.49	4208.91	1402.97	2104.46	224.87	299.83	0.02	
	17 s	50	2.546	96.17	3309	12	967.37	4276.80	1425.60	2138.40	241.84	322.46	0.02	
Lempung Berlanau	18 c	50	2.546	101.8	3309	12	1035.26	4344.69	1448.23	2172.34	258.81	345.09	0.02	
	19 c	50	2.546	107.5	3309	12	1103.14	4412.57	1470.86	2206.29	275.79	367.71	0.02	
	20 c	50	2.546	113.1	3309	12	1171.03	4480.46	1493.49	2240.23	292.76	390.34	0.02	
Lanau Berlempung	21 c	50	2.546	118.8	3309	12	1238.91	4548.34	1516.11	2274.17	309.73	412.97	0.02	
	22 c	50	2.546	124.5	3309	12	1306.80	4616.23	1538.74	2308.11	326.70	435.60	0.02	
	23 c	50	2.546	130.1	3309	12	1374.69	4684.11	1561.37	2342.06	343.67	458.23	0.02	
Lanau Berpasir	24 s	50	2.546	135.8	3309	12	1442.57	4752.00	1584.00	2376.00	360.64	480.86	0.02	
	25 s	50	2.546	141.4	3309	12	1510.46	4819.89	1606.63	2409.94	377.61	503.49	0.02	
	26 s	50	2.546	147.1	3309	12	1578.34	4887.77	1629.26	2443.89	394.59	526.11	0.02	
Pasir Berlanau	27 s	50	2.546	152.7	3309	12	1646.23	4955.66	1651.89	2477.83	411.56	548.74	0.02	
	28 s	50	2.546	158.4	3309	12	1714.11	5023.54	1674.51	2511.77	428.53	571.37	0.02	
	29 s	50	2.546	164.1	3309	12	1782.00	5091.43	1697.14	2545.71	445.50	594.00	0.02	
	30 s	50	2.546	169.7	3309	12	1849.89	5159.31	1719.77	2579.66	462.47	616.63	0.02	
	31 s	50	2.546	175.4	3309	12	1917.77	5227.20	1742.40	2613.60	479.44	639.26	0.02	
	32 s	50	2.546	181	3309	12	1985.66	5295.09	1765.03	2647.54	496.41	661.89	0.02	
	33 s	50	2.546	186.7	3309	12	2053.54	5362.97	1787.66	2681.49	513.39	684.51	0.02	
	34 s	50	2.546	192.3	3309	12	2121.43	5430.86	1810.29	2715.43	530.36	707.14	0.02	
	35 s	50	2.546	198	3309	12	2189.31	5498.74	1832.91	2749.37	547.33	729.77	0.02	
	36 s	50	2.546	203.7	3309	12	2257.20	5566.63	1855.54	2783.31	564.30	752.40	0.02	
	37 s	50	2.546	209.3	3309	12	2325.09	5634.51	1878.17	2817.26	581.27	775.03	0.02	
	38 s	50	2.546	215	3309	12	2392.97	5702.40	1900.80	2851.20	598.24	797.66	0.02	
	39 s	50	2.546	220.6	3309	12	2460.86	5770.29	1923.43	2885.14	615.21	820.29	0.02	
	40 s	50	2.546	226.3	3309	12	2528.74	5838.17	1946.06	2919.09	632.19	842.91	0.02	

### 5.5.1 Pondasi Borepile A1

Pondasi Borepile pada abutmen A1 direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut

Diameter Tiang = 1,8 m

Jumlah Tiang = 15

Kedalaman Tiang = 26 m

Efisiensi = 0,87

Gaya ijin yang dapat dipikul oleh tiang tunggal setelah perhitungan nilai efiesnsni kelompok tiang adalah sebagai berikut

Tabel 5.19 Gaya Ijin Tiang Borepile A1

Pijin	Tekan (kN)	Tarik (kN)
Beban Tetap	1412.0	342.0
Beban Gempa	2118.0	456.0
Material Beton	2863.9	763.7

Dari permodelan menggunakan program bantu CsiBridge v20 didapatkan nilai gaya maksimum dan minimum pada pondasi borepile untuk setiap kombinasi pembebanan sebagai berikut.

Tabel 5.20 Gaya pada Borepile A1 Akibat Kombinasi Beban

Kombinasi		Gaya Maksimum					
		P	V2	V3	T	M2	M3
		tonf	tonf	tonf	tonf.m	tonf.m	tonf.m
Ekstrem 1 EX	Min	-1072.09	-334.29	-114.05	-3.0E-13	-482.1	-1307.3
	Max	442.23	92.01	116.47	2.8E-13	494.7	479.8
Ekstrem 1 EY	Max	-1153.43	-247.55	-268.89	-5.9E-13	-1103	-1000.2
	Max	362.39	45.06	270.32	5.9E-13	1110.5	338.0
Layan 1	Min	-691.75	-127.91	-11.20	-2.2E-14	-67.5	-518.3
	Max	-166.81	21.82	12.18	9.1E-15	71.0	163.1
Layan 2	Min	-696.14	-128.11	-11.24	-2.2E-14	-67.7	-519.5
	Max	-168.63	21.83	12.26	9.1E-15	71.6	163.2
Layan 3	Min	-688.82	-127.78	-11.22	-2.2E-14	-67.5	-517.5
	Max	-165.75	21.81	12.07	9.1E-15	70.4	163.1
Layan 4	Min	-600.39	-125.53	-5.35	-1.4E-14	-36.2	-475.4
	Max	126.64	23.28	6.46	3.0E-15	36.5	174.7

### Kontrol daya dukung tiang pondasi

Gaya yang terjadi akibat kombinasi beban diatas dikontrol terhadap kemampuan dukung pondasi borepile yang telah dihitung

Tabel 5.21 Kontrol Daya Dukung Borepile A1

Kombinasi	P (tonf)		Beban Tetap		Beban Gempa		Material Beton	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ekstrem 1 EX	-1072.09	442.23			OK	OK	OK	OK
Ekstrem 1 EY	-1153.43	362.39			OK	OK	OK	OK
Layan 1	-691.75	-166.81	OK	OK			OK	OK
Layan 2	-696.14	-168.63	OK	OK			OK	OK
Layan 3	-688.82	-165.75	OK	OK			OK	OK
Layan 4	-600.39	126.64	OK	OK			OK	OK

### Penulangan Pondasi Borepile

Penulangan pondasi borepile menggunakan fasilitas *check design* dari program bantu CsiBridge didapatkan nilai kebutuhan tulangan memanjang dan tulangan geser spiral pada borepile.

Tabel 5.22 Penulangan Pondasi Borepile A1

Kedalaman Borepile	Tulangan Lentur					
	As (mm <sup>2</sup> )	Ratio (%)	d (mm)	n	As (mm <sup>2</sup> )	Kontrol
0 - 3	66134.8	2.60%	36	65	66188.6	OK
3 - 10	30497.1	1.20%	36	30	30548.6	OK
10 - 26	25446.9	1.00%	32	32	25746.3	OK

Tabel 5.23 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile A1

Kedalaman Borepile	n tulangan		Jarak Tulangan Luar			Jarak Tulangan Dalam		
	luar	dalam	s (mm)	1.5 d	40 mm	s (mm)	1.5 d	40 mm
0 - 3	30	35	132	OK	OK	90.3	OK	OK
3 - 10	30	0	132	OK	OK			
10 - 26	32	0	125	OK	OK			

Tabel 5. 24 Penulangan Geser Spiral Borepile A1

Kedalaman Borepile			Tulangan Geser Spiral					
			Av/s	d	Avs	s perlu	s pasang	Kontrol
0	-	3	4.04	25	982	243.29	100	OK
3	-	10	5.22	25	982	188.33	150	OK
10	-	26	1.5	19	567	378.19	300	OK

### 5.5.2 Pondasi Borepile A2

Pondasi Borepile pada abutmen A2 direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut

Diameter Tiang = 1,8 m

Jumlah Tiang = 15

Kedalaman Tiang = 21 m

Efisiensi = 0,87

Gaya ijin yang dapat dipikul oleh tiang tunggal setelah perhitungan nilai efisiesnsi kelompok tiang adalah sebagai berikut

Tabel 5.25 Gaya Ijin Tiang Borepile A2

Pijin	Tekan (kN)	Tarik (kN)
Beban Tetap	1314.0	268.4
Beban Gempa	1970.9	357.9
Material Beton	2863.9	763.7

Dari permodelan menggunakan program bantu CsiBridge v20 didapatkan nilai gaya maksimum dan minimum pada pondasi borepile untuk setiap kombinasi pembebanan sebagai berikut.

Tabel 5.26 Gaya pada Borepile A2 Akibat Kombinasi Beban

Kombinasi		Gaya Maksimum					
		P	V2	V3	T	M2	M3
		tonf	tonf	tonf	tonf.m	tonf.m	tonf.m
Ekstrem 1 EX	Min	-848.31	-108.82	-118.47	-0.0123	-488.26	-439.02
	Max	307.16	263.27	103.70	0.0273	447.49	1061.47
Ekstrem 1 EY	Max	-1028.35	-33.50	-290.79	-0.0132	-1191.72	-248.92
	Max	318.70	187.04	272.88	0.02821	1134.69	777.95
Layan 1	Min	-558.31	-13.43	-18.99	-9E-15	-92.60	-99.32
	Max	-201.01	80.46	2.50	0.00831	20.70	333.75
Layan 2	Min	-563.03	-13.44	-19.11	-9E-15	-93.28	-99.40
	Max	-202.53	80.64	2.51	0.00835	21.29	334.85
Layan 3	Min	-555.14	-13.42	-18.97	-9E-15	-92.35	-99.25
	Max	-200.15	80.32	2.50	0.0083	20.09	332.94
Layan 4	Min	-433.48	-14.28	-15.83	-4E-15	20.09	-105.58
	Max	19.87	79.26	2.39	0.00745	17.73	309.34

### Kontrol daya dukung tiang pondasi

Gaya yang terjadi akibat kombinasi beban diatas dikontrol terhadap kemampuan dukung pondasi borepile yang telah dihitung

Tabel 5.27 Kontrol Daya Dukung Borepile A2

Kombinasi	P (tonf)		Beban Tetap		Beban Gempa		Material Beton	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ekstrem 1 EX	-848.31	307.16			OK	OK	OK	OK
Ekstrem 1 EY	-1028.35	318.70			OK	OK	OK	OK
Layan 1	-558.31	-201.01	OK	OK			OK	OK
Layan 2	-563.03	-202.53	OK	OK			OK	OK
Layan 3	-555.14	-200.15	OK	OK			OK	OK
Layan 4	-433.48	19.87	OK	OK			OK	OK

### Penulangan Pondasi Borepile

Penulangan pondasi borepile menggunakan fasilitas *check design* dari program bantu CsiBridge didapatkan nilai kebutuhan tulangan memanjang dan tulangan geser spiral pada borepile.

Tabel 5.28 Penulangan Pondasi Borepile A2

Kedalaman Borepile	Tulangan Lentur					
	As (mm <sup>2</sup> )	Ratio (%)	d (mm)	n	As (mm <sup>2</sup> )	Kontrol
0 - 3	61172.1	2.40%	36	61	62115.4	OK
3 - 12	25446.9	1.00%	36	25	25457.1	OK
12 - 21	25446.9	1.00%	32	32	25746.3	OK

Tabel 5.29 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile A2

Kedalaman Borepile	n tulangan		Jarak Tulangan Luar				Jarak Tulangan Dalam		
	luar	dalam	s (mm)	1.5 d	40 mm	s (mm)	1.5 d	40 mm	
0 - 3	30	31	132	OK	OK	107	OK	OK	
3 - 12	25	0	165	OK	OK				
12 - 21	32	0	125	OK	OK				

Tabel 5.30 Penulangan Geser Spiral Borepile A2

Kedalaman Borepile	Tulangan Geser Spiral					
	Av/s	d	Avs	s perlu	s pasang	Kontrol
0 - 3	2.54	25	982	387	100	OK
3 - 12	1.5	25	982	655	150	OK
12 - 21	1.5	19	567	378	300	OK

### 5.5.3 Pondasi Borepile P1

Pondasi Borepile pada abutmen P1 direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut

Diameter Tiang = 1,8 m

Jumlah Tiang = 25

Kedalaman Tiang = 37 m

Efisiensi = 0,87

Gaya ijin yang dapat dipikul oleh tiang tunggal setelah perhitungan nilai efisiesnsi kelompok tiang adalah sebagai berikut

Tabel 5.31 Gaya Ijin Tiang Borepile P1

Pijin	Tekan (kN)	Tarik (kN)
Beban Tetap	1627.7	503.8
Beban Gempa	2441.6	671.7
Material Beton	2863.9	763.7

Dari permodelan menggunakan program bantu CsiBridge v20 didapatkan nilai gaya maksimum dan minimum pada pondasi borepile untuk setiap kombinasi pembebanan sebagai berikut.

Tabel 5.32 Gaya pada Borepile P1 Akibat Kombinasi Beban

Kombinasi		Gaya Maksimum					
		P	V2	V3	T	M2	M3
		tonf	tonf	tonf	tonf.m	tonf.m	tonf.m
Ekstrem 1 EX	Min	-1400.58	-506.85	-139.87	-5E-13	-626.88	-2092.65
	Max	626.65	382.55	142.25	4E-13	635.67	1621.17
Ekstrem 1 EY	Max	-1603.06	-251.01	-361.23	-6E-13	-1485.36	-1047.12
	Max	571.36	148.38	373.63	4.9E-13	1539.16	688.43
Layan 1	Min	-1047.67	-90.26	-23.52	-3E-14	-151.25	-421.57
	Max	-50.93	12.34	34.19	1.5E-14	194.43	93.07
Layan 2	Min	-1080.24	-87.49	-25.33	-2E-14	-161.19	-413.82
	Max	-55.61	11.74	35.09	1.5E-14	200.74	88.15
Layan 3	Min	-1025.97	-92.11	-22.44	-3E-14	-145.18	-426.72
	Max	-48.03	12.74	33.45	1.5E-14	189.66	96.34
Layan 4	Min	-938.44	-98.79	-17.74	-5E-14	-119.21	-444.52
	Max	-36.44	14.37	30.85	1.5E-14	171.92	108.54

### Kontrol daya dukung tiang pondasi

Gaya yang terjadi akibat kombinasi beban diatas dikontrol terhadap kemampuan dukung pondasi borepile yang telah dihitung

Tabel 5.33 Kontrol Daya Dukung Borepile P1

Kombinasi	P (tonf)		Beban Tetap		Beban Gempa		Material Beton	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ekstrem 1 EX	-1400.58	626.65			OK	OK	OK	OK
Ekstrem 1 EY	-1603.06	571.36			OK	OK	OK	OK
Layan 1	-1047.67	-50.93	OK	OK			OK	OK
Layan 2	-1080.24	-55.61	OK	OK			OK	OK
Layan 3	-1025.97	-48.03	OK	OK			OK	OK
Layan 4	-938.44	-36.44	OK	OK			OK	OK

### Penulangan Pondasi Borepile

Penulangan pondasi borepile menggunakan fasilitas *check design* dari program bantu CsiBridge didapatkan nilai kebutuhan tulangan memanjang dan tulangan geser spiral pada borepile.

Tabel 5.34 Penulangan Pondasi Borepile P1

Kedalaman Borepile	Tulangan Lentur						Kontrol
	As (mm <sup>2</sup> )	Ratio (%)	d (mm)	n	As (mm <sup>2</sup> )		
0 - 3	105440	4.14%	36	104	105902	OK	
3 - 12	44859	1.76%	36	45	45822.9	OK	
12 - 24	37778.9	1.48%	32	47	37814.9	OK	
24 - 37	25446.9	1.00%	32	32	25746.3	OK	

Tabel 5.35 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile P1

Kedalaman Borepile	n tulangan		Jarak Tulangan Luar				Jarak Tulangan Dalam		
	luar	dalam	s (mm)	1.5 d	40 mm	s (mm)	1.5 d	40 mm	
0 - 3	55	49	55.4	OK	OK	54.2	OK	OK	
3 - 12	45	0	75.7	OK	OK				
12 - 24	47	0	75	OK	OK				
24 - 37	32	0	125	OK	OK				



Tabel 5.36 Penulangan Geser Spiral Borepile P1

Kedalaman Borepile	Tulangan Geser Spiral					
	Av/s	d	Avs	s perlu	s pasang	Kontrol
0 - 3	8.53	25	982.14	115.11	100	OK
3 - 12	6.84	25	982.14	143.69	125	OK
12 - 24	1.5	19	567.29	378.19	300	OK
24 - 37	1.5	19	567.29	378.19	300	OK

### 5.5.4 Pondasi Borepile P2

Pondasi Borepile pada abutmen P2 direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut

Diameter Tiang = 1,8 m

Jumlah Tiang = 25

Kedalaman Tiang = 37 m

Efisiensi = 0,87

Gaya ijin yang dapat dipikul oleh tiang tunggal setelah perhitungan nilai efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut

Tabel 5.37 Gaya Ijin Tiang Borepile P2

Pijin	Tekan (kN)	Tarik (kN)
Beban Tetap	1627.7	503.8
Beban Gempa	2441.6	671.7
Material Beton	2863.9	763.7

Dari permodelan menggunakan program bantu CsiBridge v20 didapatkan nilai gaya maksimum dan minimum pada pondasi borepile untuk setiap kombinasi pembebanan sebagai berikut.

Tabel 5.38 Gaya pada Borepile P2 Akibat Kombinasi Beban

Kombinasi		Gaya Maksimum					
		P	V2	V3	T	M2	M3
		tonf	tonf	tonf	tonf.m	tonf.m	tonf.m
Ekstrem 1 EX	Min	-1429.13	-344.32	-169.61	-4E-13	-760.90	-1447.15
	Max	587.43	481.63	145.18	4E-13	651.05	1993.61
Ekstrem 1 EY	Max	-1611.84	-156.79	-379.08	-1E-12	-1571.9	-711.09
	Max	615.89	262.35	351.41	1.1E-12	1437.8	1071.53
Layan 1	Min	-1018.33	-12.22	-33.19	-3E-14	-1873.36	-92.30
	Max	-49.20	88.55	22.24	1.8E-14	144.76	411.03
Layan 2	Min	-1037.63	-11.57	-33.50	-3E-14	-189.80	-87.10
	Max	-53.80	85.16	23.32	1.8E-14	150.66	399.54
Layan 3	Min	-1039.49	-12.77	-34.21	-3E-14	-192.84	-96.50
	Max	-46.80	92.36	22.78	1.8E-14	148.60	428.13
Layan 4	Min	-953.65	-14.39	-32.25	-4E-14	-179.54	-108.74
	Max	-34.89	99.14	18.51	1.8E-14	124.49	446.58

### Kontrol daya dukung tiang pondasi

Gaya yang terjadi akibat kombinasi beban diatas dikontrol terhadap kemampuan dukung pondasi borepile yang telah dihitung

Tabel 5.39 Kontrol Daya Dukung Borepile P2

Kombinasi	P (tonf)		Beban Tetap		Beban Gempa		Material Beton	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ekstrem 1 EX	-1429.13	587.43			OK	OK	OK	OK
Ekstrem 1 EY	-1611.84	615.89			OK	OK	OK	OK
Layan 1	-1018.33	-49.20	OK	OK			OK	OK
Layan 2	-1037.63	-53.80	OK	OK			OK	OK
Layan 3	-1039.49	-46.80	OK	OK			OK	OK
Layan 4	-953.65	-34.89	OK	OK			OK	OK

### Penulangan Pondasi Borepile

Penulangan pondasi borepile menggunakan fasilitas *check design* dari program bantu CsiBridge didapatkan nilai

kebutuhan tulangan lentur memanjang dan tulangan geser spiral pada borepile.

Tabel 5.40 Penulangan Lentur Pondasi Borepile P2

Kedalaman Borepile			Tulangan Lentur					
			As (mm <sup>2</sup> )	Ratio (%)	d (mm)	n	As (mm <sup>2</sup> )	Kontrol
0 -	3		103331.4	4.06%	36	102	103865	OK
3 -	12		43027.39	1.69%	36	43	43786.3	OK
12 -	24		35433.04	1.39%	32	45	36205.7	OK
24 -	37		25446.9	1.00%	32	32	25746.3	OK

Tabel 5.41 Kontrol Jarak Tulangan Lentur Borepile P2

Kedalaman Borepile			n tulangan		Jarak Tulangan Luar			Jarak Tulangan Dalam		
			luar	dalam	s (mm)	1.5 d	40 mm	s (mm)	1.5 d	40 mm
0 -	3		54	48	57.1	OK	OK	56.06	OK	OK
3 -	12		43	0	80.9	OK	OK			
12 -	24		45	0	79.7	OK	OK			
24 -	37		32	0	125	OK	OK			

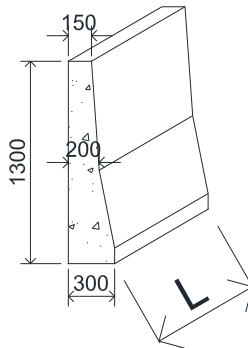
Tabel 5.42 Penulangan Geser Spiral Borepile P2

Kedalaman Borepile			Tulangan Geser Spiral					
			Av/s	d	Avs	s perlu	s pasang	Kontrol
0 -	3		8.23	25	982.14	119.41	100	OK
3 -	12		6.07	25	982.14	161.88	150	OK
12 -	24		1.5	19	567.29	378.19	300	OK
24 -	37		1.5	19	567.29	378.19	300	OK

## BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

### 6.1. Perencanaan Barrier Tepi

Barrier tepi jembatan direncanakan setinggi 130 cm terhitung dari permukaan *box girder*, lebar bawah 30 cm dan lebar atas 15 cm.



Gambar 6.1 Barrier Tepi Jembatan

#### 1. Data Perencanaan dan Material

Mutu Beton ( $f_c'$ ) = 20 MPa

Mutu Baja Tul ( $f_y$ ) = 290 MPa

Tebal Selimut Beton = 40 mm

Lebar yang ditinjau ( $L$ ) = 1 m

Faktor Reduksi Lentur = 0.8

#### 2. Beban pada Barrier

Pembebanan pada barrier menggunakan referensi AASHTO 2013 Tabel 13.2-1 dengan tipe pembebanan F dan test level 4.

$$F \text{ Transverse} = 54 \text{ kips} = 240,19 \text{ kN}$$

$$F \text{ Longitudinal} = 18 \text{ kips} = 80,06 \text{ kN}$$

$$L_c = 10 \text{ ft} = 3,3 \text{ m}$$

$$M_u = \frac{F_y H}{L_c} = 90,984 \text{ kN.m/m}$$

### 3. Penulangan Barrier

Digunakan Tulangan

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan bagi} = 13 \text{ mm}$$

Tulangan Utama

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = 113,73 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b \times d^2)} = 0,98963 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = 16,4422$$

$$\rho_b = \frac{(0,85 f'_c \beta_1) / f_y \times 600}{(600 + f_y)} = 0,035$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,005$$

$$\rho_{\max} = 0,5 \times \rho_b = 0,01743$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times (1 - \sqrt{1 - (2 m R_n) / f_y}) = 0,004$$

Kontrol  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ , maka didapat

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 1191,26 \text{ mm}^2$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Direncanakan tul Utama} & & D \quad 16 \\
 \text{As} & = & 0.25 \quad x \quad \pi \quad x \quad D^2 \\
 & = & 0.25 \quad x \quad \pi \quad x \quad 16^2 \\
 & = & 201.1 \quad \text{mm}^2 \\
 S & = & (As \text{ pasang } x b)/(As \text{ perlu}) = 168.8 \quad \text{mm}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Dipasang tulangan} & & D \quad 16 \quad - \quad 150 \\
 \text{As} & = & 1340.4 \quad (\mathbf{OK})
 \end{array}$$

### Tulangan Bagi

$$\begin{array}{rcl}
 \text{As}' & = & 50\% \quad x \quad \text{As} \\
 & = & 50\% \quad x \quad 1191.26 \\
 & = & 595.6 \quad \text{mm}^2
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Direncanakan tulangan bagi} & & D \quad 13 \\
 \text{As} & = & 0.25 \quad x \quad \pi \quad x \quad 10^2 \\
 & = & 132.73 \quad \text{mm}^2
 \end{array}$$

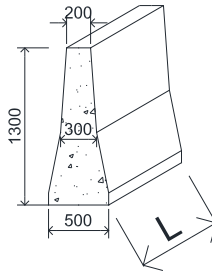
Jumlah tulangan bagi yang diperlukan

$$n = (As \text{ perlu})/(As \text{ tulangan}) = 4.49$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Maka dipasang tulangan bagi} & & 5 \quad D \quad 13 \\
 \text{As} & = & 663.66 \quad (\mathbf{OK})
 \end{array}$$

## 6.2. Perencanaan Barrier Tengah

Barrier tengah jembatan direncanakan setinggi 130 cm terhitung dari permukaan *box girder*, lebar bawah 30 cm dan lebar atas 15 cm.



Gambar 6.2 Barrier Tengah Jembatan

### 1. Data Perencanaan dan Material

Mutu Beton ( $f_c'$ )	= 20 MPa
Mutu Baja Tul ( $f_y$ )	= 290 MPa
Tebal Selimut Beton	= 40 mm
Lebar yang ditinjau ( $L$ )	= 1 m
Faktor Reduksi Lentur	= 0.8

### 2. Beban pada Barrier

Pembebanan pada barrier menggunakan referensi AASHTO 2013 Tabel 13.2-1 dengan tipe pembebanan F dan test level 4.

F Transverse	= 54 kips	= 240,19 kN
F Longitudinal	= 18 kips	= 80,06 kN
$L_c$	= 10 ft	= 3,3 m

$$Mu = \frac{F_y H}{L_c} = 90,984 \text{ kN.m/m}$$

### 3. Penulangan Barrier

Digunakan Tulangan	
Diameter tulangan lentur	= 16 mm

Diameter tulangan bagi = 13 mm

Tulangan Utama

$$Mn = Mu/\phi = 246.716 \text{ kN.m}$$

$$Rn = Mn/(b \times d^2) = 0.43978 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \cdot f'c} = 16.4422$$

$$\rho_b = \frac{(0.85 \cdot f'c \cdot \beta_1)/fy \times 600/(600+fy)}{0.035}$$

$$\rho_{min} = 1.4/fy = 0.005$$

$$\rho_{maks} = 0.5 \times \rho_b = 0.017$$

$$\rho_{perlu} = 1/m \times (1 - \sqrt{1 - (2 \cdot m \cdot Rn)/fy}) = 0.002$$

Kontrol  $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$ , maka didapat

$$\rho_{perlu} = 0.002$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 1150.36 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tul Utama D 16

$$As = 0.25 \times \pi \times D^2$$

$$= 0.25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 201.1 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{(As \text{ pasang} \times b)}{(As \text{ perlu})} = 174.8 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan D 16 - 150

$$As = 1340.4 \text{ (OK)}$$



Tulangan Bagi

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s' &= 50\% \times A_s \\ &= 50\% \times 1150.36 \\ &= 575.2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan bagi  $D$  13

$$\begin{aligned} A_s &= 0.25 \times \pi \times 10^2 \\ &= 132.73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan bagi yang diperlukan

$$n = (A_s \text{ perlu}) / (A_s \text{ tulangan}) = 4.33$$

Maka dipasang tulangan b. 5  $D$  13

$$A_s = 663.66 \quad (\mathbf{OK})$$

## **BAB VII**

### **METODE PELAKSANAAN JEMBATAN**

#### **7.1. Umum**

Pelaksanaan Jembatan *Overpass* SS Krapyak pada tugas akhir ini akan digunakan metode pelaksanaan konstruksi *Balanced Cantilever cast in place*. Jembatan *Overpass* SS Krapyak yang direncanakan mempunyai bentang total 160 m yang terbagi menjadi 3 bentang masing-masing 40 m, 80 m, dan 40 m. Struktur atas jembatan mempunyai lebar total 21,3 m menggunakan tipe *box girder multicell cast in place*. Struktur atas jembatan akan ditumpu dengan 2 abutmen dan 2 pilar.

#### **7.2. Metode Pelaksanaan Bangunan Bawah**

Pelaksanaan bangunan bawah jembatan meliputi pekerjaan persiapan area kerja jembatan, penentuan titik koordinat bangunan, pekerjaan pondasi borepile dan pilecap, sampai pengecoran abutmen dan pilar.

1. Tahap Persiapan. Dalam tahap persiapan terdapat beberapa jenis pekerjaan seperti menyiapkan elevasi tanah rencana dan persiapan alat-alat yang akan digunakan dalam pekerjaan pelaksanaan jembatan.
2. Penentuan Titik Koordinat Bangunan. Sebelum melakukan pekerjaan pondasi dilakukan penentuan titik koordinat bangunan agar jembatan yang akan dibangun sesuai dengan elevasi dan koordinat rencana pada jalan tol.
3. Pekerjaan Borepile dan Pondasi. Setelah ditentukan titik koordinat bangunan dilakukan pekerjaan pondasi borepile. Sebelumnya disiapkan terlebih dahulu peralatan dan tulangan borepile yang akan dipasang. Pondasi borepile dicor dengan jumlah dan kedalaman yang sudah direncanakan. Setelah semua pekerjaan borepile selesai selanjutnya adalah pekerjaan pengecoran pilecap pondasi. Sebelum dilakukan pengecoran pilecap, tulangan pilecap dirangkai sesuai

dengan gambar rencana kemudian dipasang bekisting pada sisi-sisi pilecap.

4. Pekerjaan Abutmen dan Pilar. Setelah pengecoran pilecap selesai dan mutu beton pada pilecap sudah cukup. Dilakukan pengecoran abutmen dan pilar. Tulangan abutmen dan pilar dirangkai sesuai dengan rencana penulangan, kemudian dipasang bekisting abutmen dan pilar. Bekisting dapat dilepas setelah mutu beton dianggap cukup untuk dilepas. Pekerjaan bangunan atas dapat dimulai setelah mutu beton pilecap dan abutmen sudah memenuhi persyaratan.

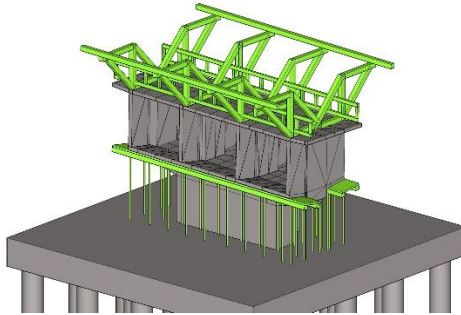
### **7.3. Metode Pelaksanaan Bangunan Atas**

Konstruksi bangunan atas jembatan baru akan dimulai setelah bangunan bawah jembatan (pilar dan abutment) telah ada, Perletakan pada abutmen merupakan perletakan bebas (rol). saat penerapan metode *balanced cantilever* penting sekali mendapat perhatian pada stabilitas struktur akibat diterapkan metode *balanced cantilever*. Dimensi penampang *box girder* dibuat simetris antara sisi-sisi pilar guna menyeimbangkan beban yang ada.

Sistem penarikan tendon (*jacking*) dilakukan sesuai dengan sistem *balanced cantilever* yaitu dengan melakukan *stressing* berturut-turut, yang dimulai dari tumpuan atau pilar hingga ke tengah bentang. *Stressing* pada masing masing segmen dilakukan ketika beton mencapai umur yang izinkan, diperlukan pengujian benda uji kubus atau silinder untuk memastikannya. Alangkah lebih baik bila ditambahkan *admixture* atau bahan kimia untuk mempecepat kekuatan beton.

#### **7.3.1 Perakitan Form Traveller**

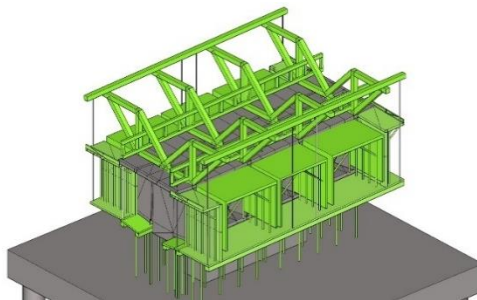
Perakitan *form traveler* akan dilakukan setelah pengerjaan segmen pertama selesai di cor, dilakukan pekerjaan pembongkaran bekisting segmen pertama untuk persiapan pemasangan *form traveler* seperti yang terlihat pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Perakitan *Traveller* Segmen *Hammer*

Pastikan area untuk pergerakan *traveler* bebas dari material yang mengganggu selama proses *traveler* dan *box girder* segmen yang akan dilalui oleh pergerakan *traveler* sudah dilakukan *stressing*.

Pasang *chain block* pada *back support* yang ujungnya dikaitkan dengan angkur yang ada didepan segmen terakhir. Kanan dan kiri *back support* dipasang *chain block* sehingga setiap *back support* terpasang 2 buah *chain block*, Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan bekisting (*formwork system*) terdiri dari *inner formwork* dan *outer formwork* seperti yang terlihat pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Perakitan *Formwork* pada *Traveller*

### 7.3.2 *Setting Formwork* dan Pengecoran Segmen

*Formwork* didesain sesuai dengan bentuk serta ukuran struktur beton yang akan dicetak dimana setiap segmen memiliki dimensi yang berbeda beda dengan variasi ketinggian 2,74 meter hingga 5,7 meter, Dimensi *box girder* yang akan dikerjakan pada pekerjaan Jembatan adalah sebagai berikut:

1. Panjang untuk segmen *rigid* atau *hammer* pada P dan segmen *pier table* pada A1 adalah 9 m yang terletak pada pier (As P1 dan As P2)
2. Panjang untuk segmen cor A2 sampai A9 adalah 4 m
3. Panjang untuk segmen A10 adalah 5 m
4. Panjang *Closure* segmen pada tengah bentang adalah 3 m
5. Berat umum segmen *box girder* untuk tiap segmennya kurang lebih 131 ton
6. Lebar masing-masing *box girder* adalah 21,3 m

### 7.3.3 Instalasi *Post-Tension Tendon* Kantilever

Sebelum *box girder* dicor, terlebih dahulu di pastikan *form traveler* bertumpu dengan baik dan bekisting mampu menerima beban pekerja dan beton basah kemudian dilakukan pemasangan tulangan, selongsong, dan tendon sesuai rencana, Untuk pemasangan selongsong dan tendon yang meliputi banyaknya tendon, koordinat tendon perlu pengawasan yang cukup agar tidak terjadi kesalahan yang mempengaruhi struktur, kemudian dilakukan pemberian bounding agent antara beton lama dengan beton baru. Segmen *box girder* yang sudah di cor di tempat menggunakan form *traveler* sesuai spesifikasi dan umur beton sudah mencapai izin, akan dilakukan stressing.

#### 1. Pemasangan dan penarikan tendon prategang

Strand/kabel prategang dimasukan kedalam *duct* secara manual pada saat posisi/elevasi *box girder* telah sesuai rencana.

*Stressing* dapat segera dilaksanakan setelah umur beton mencapai yang diizinkan yaitu 10 hari,  $f_{ci}=40$  Mpa. *Stressing*

akan dilakukan sesuai dengan perhitungan sebelumnya dari gaya  $F$  yang diperlukan pada setiap segmen.

## 2. *Grouting anchor* prategang

Pekerjaan *grouting* dilakukan guna untuk menghindari korosi pada tendon. Sebelum pekerjaan *grouting* dilakukan, selubung kabel (*duct*) dibersihkan terlebih dahulu dengan mengalirkan air bersih ke dalamnya melalui lubang inlet, Hal ini juga untuk memastikan tidak adanya sumbatan pada lubang inlet dan outlet. Berikut dijelaskan proses *grouting* pada tendon.

1. Bahan untuk grout adalah semen portland, air, dan *grout admixture*, Bahan tambahan tidak boleh mengandung bahan yang berbahaya bagi ketahanan baja prategang.
2. Pada pelaksanaan pekerjaan *grouting* semua bahan-bahan *grouting* harus diaduk sempurna dan benar benar homogen. Kemudian campuran tersebut di *inject* ke dalam lubang *inlet duct*.
3. Setelah pekerjaan *grouting* selesai maka sisa strand dapat dipotong.

### 7.3.4 Pemindahan *Form Traveller*

Pemindahan *form traveler* dilakukan setelah beton mencapai umur yang di izinkan dan dilakukan *stressing*, Berikut tahapan pekerjaan geser *form traveler* (Ardyansyah, 2009).



Gambar 7.3 Pemindahan *Chain Block Formwork Traveller*

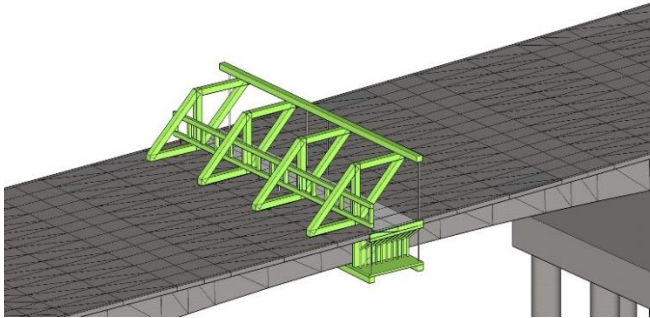
1. *Chain block* seperti yang terlihat pada Gambar 7.3 yang dipasang pada *back support* ditarik secara perlahan dan bersamaan agar selama pergerakan *traveler* tetap dalam kondisi lurus pergerakan *traveler* didukung dengan sistem hidrolik.
2. Setelah *traveler* bergerak pada posisinya, *chain block* yang menahan *traveler* dikencangkan kembali.
3. Kemudian dilakukan setting *formwork* kembali yang sebelumnya *formwork* di bersihkan dahulu dari kotoran pengecoran sebelumnya, Permukaan *formwork* diberi pelumas dahulu sebelum pekerjaan selanjutnya, *bottom formwork* dan *outer formwork* disetting kembali untuk pengecoran segmen selanjutnya.
4. Sebelum digeser pada posisinya *inner formwork* dipotong dahulu bagian bawahnya untuk disesuaikan dimensinya dengan segmen selanjutnya.
5. *Form traveler* akan bergerak dari segmen kedua hingga segmen terakhir (tengah bentang), Setelah pengerjaan segmen pertama selesai di cor dan tendon sudah di tarik pada umur yang cukup dilanjutkan pada segmen berikutnya.

### **7.3.5 Segmen Closure**

Pekerjaan segmen *closure* adalah pekerjaan pengecoran segmen penutup yang berada di tengah bentang seperti yang terlihat pada gambar diatas. Segmen ini untuk menghubungkan kantilever kantilever *box girder* yang berdiri sendiri-sendiri pada saat pemasangan awal karena menggunakan metode balanced cantilever. Pada tahap segmen *closure*, sebelum beton di cor akan dilakukan pemasangan tulangan dan tendon jembatan terlebih dahulu.

Setelah dilakukan pemasangan tulangan dan tendon pada segmen *closure*, *closure* dibersihkan jika terdapat kotoran, kemudian diberi bounding agent sebelum di cor. Bekisting akan dilepas ketika mencapai umur yang di izinkan, untuk

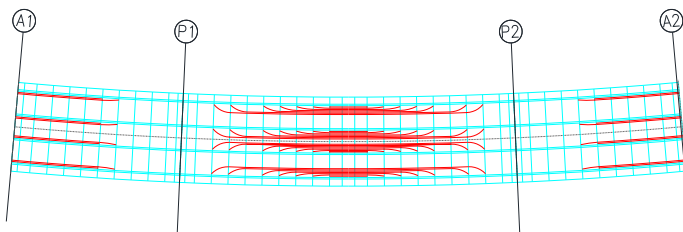
memastikan bahwa beton mampu menahan beban yang ada diperlukan pengujian benda uji kubus atau silinder. Beton segmen *closure* menggunakan beton *shrinkage*, dimana beton yang mengalami sedikit susut untuk menghindari retaknya *closure*.



Gambar 7.4 Pengecoran Segmen *Closure*

### 7.3.6 Instalasi *Post-Tension* Tendon Sisi Bawah

Setelah dilakukan pengecoran segmen *closure*, maka sistem struktur jembatan yang pada awalnya adalah struktur kantilever berubah menjadi struktur bentang menerus. Perubahan sistem struktur ini akan menyebabkan berubahnya momen yang terjadi pada *box girder*. Untuk memperkuat *box girder* terhadap terjadinya momen bentang menerus. Maka, dipasang tendon prategang pada sisi bawah girder pada posisi terjadinya momen positif bentang menerus.



Gambar 7.5 Layout tendon sisi bawah segmen CL span B



*“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”*

## **BAB VIII**

### **PENUTUP**

#### **8.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa perencanaan, dapat ditarik kesimpulan berdasarkan tujuan tugas akhir ini.

1. Bangunan atas jembatan OP SS Krpyak menggunakan tipe struktur *box girder* multicell beton prategang dengan spesifikasi teknis sebagai berikut.
  - a. Total bentang jembatan 160 m dengan bentang span A (A1-P1) 40 m, span B (P1-P2) 80 m, dan span C (P2-A2) 40 m.
  - b. *Box girder* menggunakan material beton dengan mutu  $f_c' = 50$  MPa.
  - c. Metode pengecoran *cast in place* akan menyebabkan ketidakseragaman mutu beton *box girder*. Nilai terendah akibat ketidakseragaman yang dapat dicapai saat pelaksanaan diasumsikan mencapai nilai  $f_c' = 40$  MPa. Nilai tersebut masih memenuhi persyaratan kekuatan beton terhadap kontrol kekuatan *box girder* yang dilakukan.
  - d. Penampang *box girder* mempunyai lebar 21,3 m, dan tinggi bervariasi antara 5,7 m pada segmen tumpuan dan 2,74 pada segmen *closure*.
  - e. Panjang segmen yang digunakan adalah 2,25 m, 4 m, 3 m dan 2 m.
  - f. Spesifikasi strand prategang menggunakan *7-wired strand* produksi VSL dengan diameter 15,7 mm dengan *breaking load* 279 kN. *Stressing* tendon digunakan 70% dari kekuatan maksimum.
  - g. Jumlah tendon kantilever 40 tendon dengan spesifikasi 37 *strand*. Tendon sisi bawah span A-C berjumlah 8 tendon dengan spesifikasi 12 *strand* dan tendon sisi bawah span B berjumlah 28 tendon dengan spesifikasi 12 *strand*.

- h. Tulangan *box girder* menggunakan mutu baja tulangan  $f_y$  400 MPa dengan spesifikasi sebagai berikut.
  1. Plat kantilever, arah x D25-100, arah y D29-100.
  2. *Top slab*, arah x D29-100, arah y D25-100.
  3. *Bottom slab*, arah x D25-100, arah y D22-100.
  4. *Interior Girder*, arah x D25-100, arah y D29-100.
  5. *Exterior Girder*, arah x D25-100, arah y D29-100.
2. Bangunan bawah jembatan OP SS Krapyak terdiri dari 2 buah kolom pier dan 2 abutmen.
  - a. Abutmen menggunakan material beton dengan mutu  $f_c'$  30 MPa dan baja tulangan dengan mutu  $f_y$  400 MPa.
  - b. Abutmen jembatan mempunyai lebar 22.5 m dengan tinggi 11 m untuk A1 dan 8,7 m untuk A2.
  - c. Pier jembatan menggunakan material material beton dengan mutu  $f_c'$  50 MPa dan baja tulangan dengan mutu  $f_y$  400 MPa.
  - d. Dimensi kolom pilar adalah 2.5 x 11.4 m dengan tinggi 6,5 m untuk P1 dan 8 m untuk P2
  - e. Pondasi jembatan menggunakan tipe pondasi borepile dengan mutu beton  $f_c'$  25 MPa dan mutu baja tulangan  $f_y$  400 MPa.
  - f. Spesifikasi pondasi borepile untuk setiap kolom pier dan abutmen adalah sebagai berikut
    1. Abutmen A1, Jumlah tiang 15, kedalaman 26 m
    2. Kolom Pier P1, Jumlah tiang 25, kedalaman 37 m
    3. Kolom Pier P2, Jumlah tiang 25, kedalaman 37 m
    4. Abutmen A2, Jumlah tiang 15, kedalaman 21 m
3. Perletakan Jembatan menggunakan perletakan tipe *pot bearing* produksi Mageba-USA tipe TE 3a *with anchor plates* dengan spesifikasi  $P_{max} = 2772$  kN,  $P_{min} = 887$  kN, dan

$V_{max} = 887$  kN. Diameter pot bearing = 360 mm dengan tinggi  $H = 148$  mm dan berat  $W = 195$  kg.

4. Tahapan metode pelaksanaan jembatan OP SS Krpyak secara umum adalah sebagai berikut
  - a. Pelaksanaan bangunan bawah jembatan
    1. Tahap Persiapan
    2. Pekerjaan borepile
    3. Pengecoran pilecap abutmen dan pier
    4. Pengecoran abutmen
    5. Pengecoran pier
  - b. Pelaksanaan bangunan atas jembatan
    1. Pengecoran segmen *hammerhead*
    2. Perakitan form traveller dan setting *formwork*
    3. Pengecoran segmen *box girder*
    4. Stressing tendon *box girder* dan *grouting*
    5. Pindahan *form traveller* untuk pengecoran segmen berikutnya
    6. Pengecoran segmen *closure*
    7. Stressing tendon sisi bawah *box girder* dan *grouting*
    8. Pemasangan bangunan pelengkap (barrier dan aspal)

## 8.2 Saran

Ada beberapa hal yang dapat penulis sarankan terkait hasil dari perencanaan jembatan dalam tugas akhir ini, antara lain

1. Metode pekerjaan pengecoran *box girder* dan pilar harus sangat diperhatikan agar resiko ketidakseragaman mutu beton dapat diminimalkan.
2. Mutu beton yang digunakan pada *box girder* dan pilar adalah  $f_{c'} = 50$  MPa. Nilai  $f_{c'} = 40$  MPa dalam perhitungan hanya sebagai estimasi nilai terendah akibat ketidakseragaman saat pelaksanaan. Bukan berarti mutu beton *box girder* dan pilar dapat diambil kurang dari  $f_{c'} = 50$  MPa.

*“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”*

**DAFTAR PUSTAKA**

- Lin, T.Y., Burns, N.H., 1988. **Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1 Edisi Ketiga**. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nawy, Edward G., 2001. **Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar Jilid 1 Edisi Ketiga**. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- US-FHWA. 2015. **HIF 15 - 016 “Post-Tensioned Box girder Design Manual”**. Washington: FHWA (Federal Highway Administration)
- US-FHWA. 2013. **NHI 13 - 026 “Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual”**. Washington: FHWA (Federal Highway Administration)
- US-FHWA. 2015. **NHI 15 - 047 “Load Resistance Factor Design for Highway Bridge Structures”**. Washington: AASHTO
- AASHTO. 2012. **AASHTO LRFD Bridge Design Specification**. Washington: FHWA (Federal Highway Administration)
- BSN. 2016. **SNI 1725 - 2016 : Pembebanan untuk Jembatan**. Jakarta: BSN (Badan Standarisasi Nasional)
- BSN. 2016. **SNI 2833 - 2016 : Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa**. Jakarta: BSN (Badan Standarisasi Nasional)
- BSN. 2004. **RSNI T-12 - 2004 : Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan**. Jakarta: BSN (Badan Standarisasi Nasional)

Sosrodarsono, S., Nakazawa, K. 2000. **Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi**. Jakarta: PT Pradnya Paramita

Sward, B. 2012. **Segmental Bridge Construction Techniques**. Nashville: VSL.

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Kevin Raenaldo dilahirkan di Madiun, 2 November 1996, Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Rejomulyo Madiun, SMP Negeri 1 Madiun, kemudian SMA Negeri 2 Madiun. Setelah lulus dari pendidikan Sekolah Menengah Atas pada tahun 2015, Penulis menempuh pendidikan Program Studi D4 Teknik Infrastruktur Sipil, FV – ITS pada tahun 2015.

Pada masa perkuliahan di ITS, penulis telah berkesempatan untuk berperan aktif di kegiatan organisasi dan kegiatan perlombaan. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, penulis mengambil bidang konsentrasi bangunan transportasi. Penulis berharap agar Tugas Akhir Terapan ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya dan juga bagi penulis sendiri.

[k.raenaldo@gmail.com](mailto:k.raenaldo@gmail.com)



## **LAMPIRAN**



STA- 440+341  
CS KRAPAK ABT 1

PT. PRISMA SARANA JAYA UTAMA  
JL. RAWA DOLAR NO. 1A, JATIHADEN  
JATISAMPURNA BEKASI 17433  
TELP: (021) 8448221, FAX: (021) 8430216,  
e-mail: admin@prismasarana.co.id



DRILLING LOG		BOREHOLE NO.	24Y. 46
PROJECT	JL. TOC BATANG - SEMARANG	START DATE	02.02.13
LOCATION	KRAPAK SEMARANG	END DATE	06.02.13
COORDINATE	X: 42017.933 Y: 922649.888	GWL	
ELV		DRILLED BY	Wahyu
DEPTH	40 m	LOGGED BY	

DATE	DEPTH (F)	SYMBOL	SAMPLING	SAMPLE NO.	SOIL DESCRIPTION	SPT		
						N10	N15	N30
	20							
	21							
	22	SM	SP18	22-01	pasir lanau, kaku, banyak pasir	50		50
	23					7		
	24	SM	SP18	24-01	pasir lanau, kaku, banyak pasir	50		50
	25					12		
	26	SM	SP18	26-01	"	50		50
	27					7		
	28	SM	SP18	28-01	"	50		50
	29					5		
	30	CH	SP18	30-01	lempung, pasir, plastisitas tinggi, kohesif, keras	10	15	51
	31					10	10	15
	32	SM	SP18	32-01	pasir, pasir lanau, banyak pasir	50		50
	33					19		
	34	SM	SP18	34-01	"	30		50
	35					7		
	36	SM	SP18	36-01	pasir, pasir lanau, banyak pasir	11	50	50
	37					15	16	
	38	SM	SP18	38-01	"	50		50
	39					5		
	40	SM	SP18	40-01	"	50		50
						10		

REMARK:

- Undisturbed Sample
- Disturbed sample
- Core Sample



# Typical Dimensions – Type TE

**RESTON®POT Bearings of Type TE** can move along one horizontal axis and resist horizontal forces transverse to that axis, while accommodating rotations about every axis. The bearing is connected to the superstructure and substructure by means of dowels or anchor plates with shear studs.

Small bearings are generally equipped with external guide bars (type “a”) for space reasons. Large bearings are normally equipped with an internal guide bar along the bearing’s axis (type “i”). Depending on the size of the horizontal force in relation to the vertical force, bearings of intermediate size can be equipped with external or, as provided here, internal guide bars.

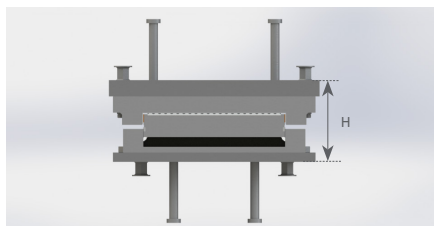
Bearing dimensions and weights for deviating requirements can be determined upon request.

## Dimensions for concrete class C30/37 (based on EN 1337)

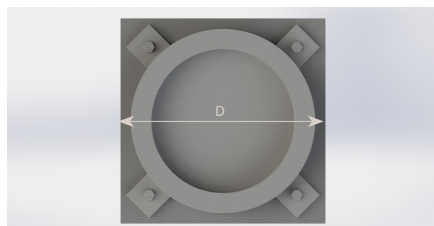
Type	N <sub>Rd</sub>	V <sub>Rd</sub>	D	Without anchor plates					With anchor plates						
				N <sub>d,min</sub>	H	Bx	By	Weight	N <sub>d,min</sub>	Anchor plates*				H**	Weight
										Bu	Lu	Bo	Lo		
[kN]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
TE 1a	620	192	200	356	91	390	270	50	356	330	220	290	410	125	70
TE 1.5a	1,113	240	240	477	90	430	300	60	422	375	255	320	440	130	93
TE 2a	1,486	329	270	488	102	450	330	80	488	420	290	350	470	135	115
TE 2.5a	2,231	418	315	714	101	490	360	95	685	465	335	395	505	142	155
TE 3a	2,772	542	360	887	113	520	420	135	881	510	380	440	540	148	195
TE 3.5a	3,577	662	400	1,145	125	560	450	175	958	555	425	485	575	160	258
TE 4a	4,395	897	450	1,425	140	590	510	245	1,034	600	470	530	610	172	320
TE 4.5a	5,267	982	490	1,620	139	640	540	280	1,230	650	510	540	640	177	358
TE 5i	4,780	1,071	525	1,785	144	650	530	290	1,425	700	550	550	670	181	395
TE 5.5i	6,288	1,150	570	1,968	149	660	575	335	1,567	740	590	595	705	186	463
TE 6i	7,011	1,248	610	2,158	154	710	615	390	1,708	780	630	640	740	191	530
TE 6.5i	8,838	1,336	650	2,356	155	740	655	440	1,892	820	670	675	775	194	603
TE 7i	9,627	1,422	685	2,527	159	790	690	500	2,076	860	710	710	810	197	675
TE 7.5i	11,146	1,508	730	2,621	160	820	735	580	2,264	900	750	755	850	199	758
TE 8i	12,678	1,599	770	2,687	163	870	775	645	2,451	940	790	800	890	201	840
TE 8.5i	14,402	1,671	810	2,847	164	900	815	695	2,638	995	830	840	930	203	935
TE 9i	16,128	1,775	850	3,062	167	950	855	780	2,825	1,050	870	880	970	205	1,030
TE 9.5i	18,011	1,846	895	3,258	169	980	900	850	3,012	1,090	910	920	1,010	210	1,145
TE 10i	19,917	1,950	930	3,435	174	1,030	935	950	3,199	1,130	950	960	1,050	214	1,260
TE 10.5i	22,034	2,028	990	3,623	183	1,060	995	1,110	3,387	1,180	1,000	1,005	1,100	221	1,440
TE 11i	24,169	2,126	1,025	3,812	188	1,130	1,030	1,230	3,575	1,230	1,050	1,050	1,150	228	1,620
TE 12i	28,820	2,303	1,105	4,192	202	1,210	1,110	1,520	3,954	1,310	1,130	1,130	1,230	242	1,970
TE 13i	33,771	2,477	1,175	4,566	216	1,280	1,180	1,830	4,335	1,380	1,200	1,200	1,300	262	2,410
TE 14i	38,782	2,654	1,255	4,947	225	1,360	1,260	2,140	4,708	1,460	1,280	1,280	1,380	271	2,810
TE 15i	44,098	2,831	1,340	5,329	238	1,440	1,345	2,570	5,090	1,540	1,360	1,370	1,460	285	3,340
TE 16i	49,671	3,757	1,450	7,266	250	1,550	1,455	3,180	7,028	1,670	1,470	1,480	1,570	302	4,180
TE 17i	55,665	3,978	1,525	7,741	266	1,630	1,530	3,730	7,504	1,750	1,550	1,550	1,650	318	4,780
TE 18i	62,000	4,199	1,600	8,218	280	1,700	1,605	4,300	7,979	1,890	1,620	1,630	1,720	335	5,620
TE 19i	68,577	4,416	1,680	8,687	294	1,780	1,685	4,980	8,676	1,970	1,700	1,710	1,800	349	6,420
TE 20i	75,590	4,637	1,755	9,164	302	1,860	1,760	5,540	8,925	2,050	1,780	1,780	1,880	357	7,120

\* Bu, Bo: Widths of anchor plates, below and above; Lu, Lo: Lengths of anchor plates, below and above

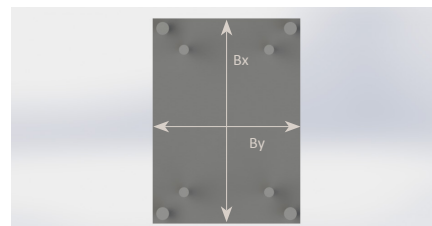
\*\* Including anchor plates



Section through TE bearing with dowels (without anchor plates)



Plan view of pot of a TE bearing



Plan view of sliding plate of a TE bearing

### 1.3 - STRAND PROPERTIES 15mm (0.6")

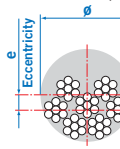
Strand type		prEN 10138 – 3 (2006) Y1860S7		ASTM A 416-06 Grade 270
Nominal diameter	d (mm)	15.3	15.7	15.24
Nominal cross section	A <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )	140	150	140
Nominal mass	M (kg/m)	1.093	1.172	1.102
Nominal yield strength	f <sub>p0.1k</sub> (MPa)	1636 <sup>1)</sup>	1640 <sup>1)</sup>	1676 <sup>2)</sup>
Nominal tensile strength	f <sub>pk</sub> (MPa)	1860	1860	1860
Specif./min. breaking load	F <sub>pk</sub> (kN)	260	279	260.7
Young's modulus	(GPa)	approx. 195		
Relaxation <sup>3)</sup> after 1000 h at 20°C and 0.7 x F <sub>pk</sub>	(%)	max. 2.5		

1) Characteristic value measured at 0.1% permanent extension

2) Minimum load at 1% extension for low-relaxation strand

3) Valid for relaxation class acc. to prEN 10138-3 or low-relaxation grade acc. to ASTM A 416-06

### 1.4 - TENDON PROPERTIES 15mm (0.6")

Unit	Strands numbers	Steel area		Breaking load			Corrugated steel duct <sup>1)</sup> (recommended)		Corrugated plastic duct VSL PT-PLUS <sup>®</sup>		Steel pipes	
		A <sub>p</sub> acc. to prEN		ASTM	Y1860S7 (prEN)		Grade 270 (ASTM)	Ø <sub>i</sub> / Ø <sub>e</sub>	e	Ø <sub>i</sub> / Ø <sub>e</sub>	e	Ø ext. x t
		d=15.3 mm A <sub>p</sub> =140 mm <sup>2</sup>	d=15.7 mm A <sub>p</sub> =150 mm <sup>2</sup>	d=15.24 mm A <sub>p</sub> =140 mm <sup>2</sup>	d=15.3 mm A <sub>p</sub> =140 mm <sup>2</sup>	d=15.7 mm A <sub>p</sub> =150 mm <sup>2</sup>	d=15.24 mm A <sub>p</sub> =140 mm <sup>2</sup>	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
		[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN]	[kN]					
6-1	1	140	150	140	260	279	260.7	25/30	5	22/25	4	25.0 x 2.0
6-2	2	280	300	280	520	558	521	40/45	9	76/25 <sup>2)</sup>	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
6-3	3	420	450	420	780	837	782	40/45	6	76/25 <sup>2)</sup>	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
6-4	4	560	600	560	1040	1116	1043	45/50 <sup>3)</sup>	7	76/25 <sup>2)</sup>	-	48.3 x 2.0/2.5/3.0
6-7	5	700	750	700	1300	1395	1304	50/57	8	58/63	13	76.1 x 2.0/2.5/3.0
	6	840	900	840	1560	1674	1564	55/62	9	58/63	11	
6-7	7	980	1050	980	1820	1953	1825	55/62	7	58/63	9	76.1 x 2.0/2.5/3.0
6-12	8	1120	1200	1120	2080	2232	2086	65/72	11	76/81	18	80.0 x 2.0/2.5
	9	1260	1350	1260	2340	2511	2346	65/72	9	76/81	16	
	10	1400	1500	1400	2600	2790	2607	70/77	11	76/81	15	
	11	1540	1650	1540	2860	3069	2868	70/77	9	76/81	13	
6-12	12	1680	1800	1680	3120	3348	3128	75/82	11	76/81	12	80.0 x 2.0/2.5
6-15	13	1820	1950	1820	3380	3627	3389	80/87	13	100/106	25	101.6 x 3.0/4.0/5.0
	14	1960	2100	1960	3640	3906	3650	80/87	11	100/106	24	
6-15	15	2100	2250	2100	3900	4185	3911	80/87	10	100/106	23	101.6 x 3.0/4.0/5.0
6-19	16	2240	2400	2240	4160	4464	4171	85/92	12	100/106	22	101.6 x 3.0/4.0/5.0
	17	2380	2550	2380	4420	4743	4432	85/92	11	100/106	20	
	18	2520	2700	2520	4680	5022	4693	90/97	13	100/106	19	
6-19	19	2660	2850	2660	4940	5301	4953	90/97	12	100/106	18	101.6 x 3.0/4.0/5.0
6-22	20	2800	3000	2800	5200	5580	5214	100/107	17	100/106	17	114.3 x 3.0/4.0/5.0
	21	2940	3150	2940	5460	5859	5475	100/107	16	100/106	16	
6-22	22	3080	3300	3080	5720	6138	5735	100/107	15	100/106	15	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-27	23	3220	3450	3220	5980	6417	5996	100/107	14	115/121	22	114.3 x 3.0/4.0/5.0
	24	3360	3600	3360	6240	6696	6257	100/107	13	115/121	22	
	25	3500	3750	3500	6500	6975	6518	110/117	18	115/121	21	
	26	3640	3900	3640	6760	7254	6778	110/117	17	115/121	21	
6-27	27	3780	4050	3780	7020	7533	7039	110/117	16	115/121	20	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-31	28	3920	4200	3920	7280	7812	7300	110/117	15	130/136	27	127.0 x 3.0/4.0/5.0
	29	4060	4350	4060	7540	8091	7560	120/127	21	130/136	27	
	30	4200	4500	4200	7800	8370	7821	120/127	20	130/136	26	
6-31	31	4340	4650	4340	8060	8649	8082	120/127	19	130/136	25	127.0 x 3.0/4.0/5.0
6-37	32	4480	4800	4480	8320	8928	8342	120/127	18	130/136	24	139.7 x 3.0/4.0
	33	4620	4950	4620	8580	9207	8603	120/127	17	130/136	23	
	34	4760	5100	4760	8840	9486	8864	120/127	16	130/136	22	
	35	4900	5250	4900	9100	9765	9125	130/137	22	130/136	22	
	36	5040	5400	5040	9360	10044	9385	130/137	21	130/136	21	
6-37	37	5180	5550	5180	9620	10323	9646	130/137	20	130/136	20	139.7 x 3.0/4.0
6-43	43	6020	6450	6020	11180	11997	11210	140/147	21	150/157	27	152.4 x 3.0/4.0/5.0
6-55	55	7700	8250	7700	14300	15345	14339	160/167	26	150/157	21	168.3 x 3.0/4.0

1) Flat ducts possible as well

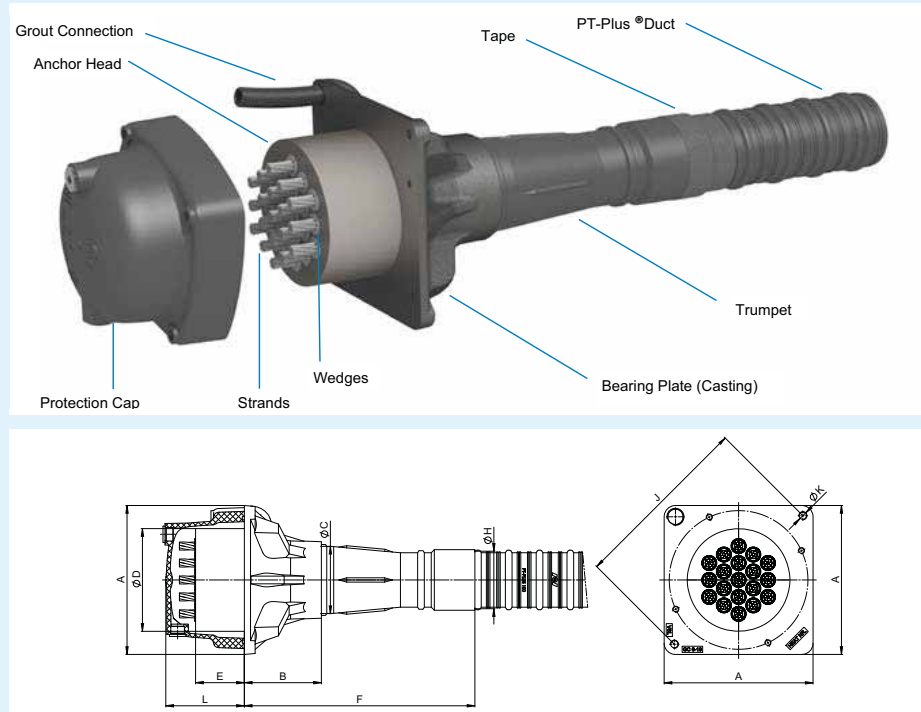
2) Flat duct PT-PLUS<sup>®</sup> with rectangular slab anchorages, for PT-PLUS<sup>®</sup> see also under 3.1.3.

3) If flat ducts (steel or PT PLUS<sup>®</sup>) to be used with square type castings please contact your VSL representative. In plan view, tendons with slab type anchorages must be straight between anchorages or have only unidirectional turns with min. radii of > 6 m. Strands must always be pushed-in prior to concreting. Eccentricity e: negligible

4) Given values may slightly vary depending on local availability of ducts. They are minimal for most applications. For special cases (long tendons, many curvatures, small radii etc.) greater size duct is recommended – please verify with VSL. In any case the filling ratio (cross-section steel / duct) must not exceed 0.5 (EN523).

5) Please check with the nearest VSL office for the complete anchorage list.

Multistrand Post-Tensioning System  
Internal Bonded Post-Tensioning  
ANCHORAGE TYPE GC

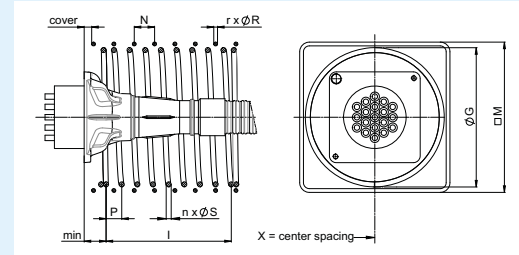


Unit	A	B	ØC	ØD	E	F	ØH <sup>(2)</sup>	J <sup>(1)</sup>	ØK	L
6-3	130	120	50	95	50	120	50	140	M12	105
6-4	140	120	60	110	55	120	60	154	M12	110
6-7	180	135	76	135	60	135	69	210	M12	120
6-12	230	220	92	170	75	220	92	264	M16	135
6-15	260	240	113	190	85	240	113	316	M16	145
6-19	290	150	131	200	95	450	112	354	M16	155
6-22	320	150	153	220	100	640	112	400	M16	160
6-27	350	170	164	240	110	620	127	430	M16	170
6-31	375	170	173	260	120	580	143	470	M16	180
6-37	410	170	196	280	135	770	142	524	M16	200
6-43	470	180	230	320	145	935	166	420	M20	215
6-55	520	180	240	340	160	1035	166	452	M20	230

**Notes**

- All dimensions in [mm]
- System applicable to strands with  $A_p = 140 \text{ mm}^2$  or  $A_p = 150 \text{ mm}^2$
- (1) J-spacing of bolts for fixation to formwork
- (2) ØH-Inner dia of the trumpet
- System can be used with corrugated steel duct or with PT-Plus\* duct

Multistrand Post-Tensioning System  
Internal Bonded Post-Tensioning  
ANCHORAGE TYPE GC (Strand  $F_{pk} = 279 \text{ kN}$ )  
LOCAL ZONE REINFORCEMENT  $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$



Reinforcement consists of a combination of spiral and stirrups

CONCRETE 25/30 MPa

Unit	Spiral Reinforcement				Orthogonal Reinf.				X	
	ØS	n <sup>(1)</sup>	P	ØG	l	ØR	r <sup>(2)</sup>	N		M
6-3	10	5	50	150	150	8	4.0	60	180	200
6-4	12	5	60	180	180	8	5.0	50	210	230
6-7	12	7	50	250	250	10	6.0	55	280	305
6-12	16	7	60	345	300	10	5.0	85	380	405
6-15	16	9	50	395	350	8	7.0	70	425	440
6-19	16	10	50	445	400	12	7.0	70	480	495
6-22	20	9	60	480	420	10	6.0	100	515	535
6-27	16	12	50	530	500	16	9.0	65	570	590
6-31	16	13	50	570	550	16	11.0	60	615	635
6-37	20	11	60	630	540	16	10.0	70	670	690

CONCRETE 32/40 MPa

Unit	Spiral Reinforcement				Orthogonal Reinf.				X	
	ØS	n <sup>(1)</sup>	P	ØG	l	ØR	r <sup>(2)</sup>	N		M
6-3	12	5	55	155	165	-	-	-	-	175
6-4	12	6	45	180	180	-	-	-	-	200
6-7	12	6	50	215	200	10	6.0	50	245	265
6-12	16	7	55	295	275	10	5.0	90	325	345
6-15	16	8	50	335	300	10	7.0	65	365	385
6-19	16	10	45	375	360	12	7.0	65	410	430
6-22	20	8	60	410	360	12	6.0	85	445	465
6-27	16	11	45	455	405	16	8.0	65	495	515
6-31	16	12	45	490	450	16	10.0	55	530	550
6-37	20	12	50	540	500	16	8.0	85	580	600

CONCRETE 40/50 MPa

Unit	Spiral Reinforcement				Orthogonal Reinf.				X	
	ØS	n <sup>(1)</sup>	P	ØG	l	ØR	r <sup>(2)</sup>	N		M
6-3	12	5	50	135	150	-	-	-	-	155
6-4	12	6	40	160	160	-	-	-	-	180
6-7	16	6	60	220	240	-	-	-	-	240
6-12	16	7	50	295	250	-	-	-	-	315
6-15	20	7	60	330	300	-	-	-	-	350
6-19	16	8	50	335	300	12	8.0	50	370	390
6-22	20	7	60	370	300	12	7.0	65	400	420
6-27	20	8	60	400	360	16	6.0	85	445	465
6-31	20	9	60	435	420	16	7.0	75	480	500
6-37	20	9	60	480	420	20	7.0	80	530	550

**Notes**

- All dimension in [mm]
- Min. yield strength for local zone reinforcement  $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$
- Min. required concrete strength  $f_{c\_cylinder} / f_{c\_cube}$  in MPa at stressing
- Strand  $A_p = 150 \text{ mm}^2$ ,  $F_{pk} = 1860 \text{ N/mm}^2$  (GUTS),  $F_{pk} = 279 \text{ kN}$
- For max. tendon force and temporary over stressing refer to 4.1 and 4.2.8 resp.
- For units 6-43 and 6-55 used with Strand  $F_{pk} = 279 \text{ kN}$  please contact VSL

CONCRETE 28/35 MPa

Unit	Spiral Reinforcement				Orthogonal Reinf.				X	
	ØS	n <sup>(1)</sup>	P	ØG	l	ØR	r <sup>(2)</sup>	N		M
6-3	10	5	50	140	150	8	4.0	55	165	185
6-4	12	5	60	170	180	8	5.0	50	195	215
6-7	12	6	50	230	200	10	6.0	50	260	280
6-12	16	7	60	320	300	10	6.0	75	350	370
6-15	16	9	50	365	350	8	9.0	50	390	410
6-19	16	9	50	410	360	12	9.0	55	440	460
6-22	20	9	60	445	420	10	7.0	80	475	495
6-27	16	11	50	490	450	16	9.0	60	530	550
6-31	16	13	45	530	495	16	10.0	60	570	590
6-37	20	12	55	585	550	16	9.0	80	625	645

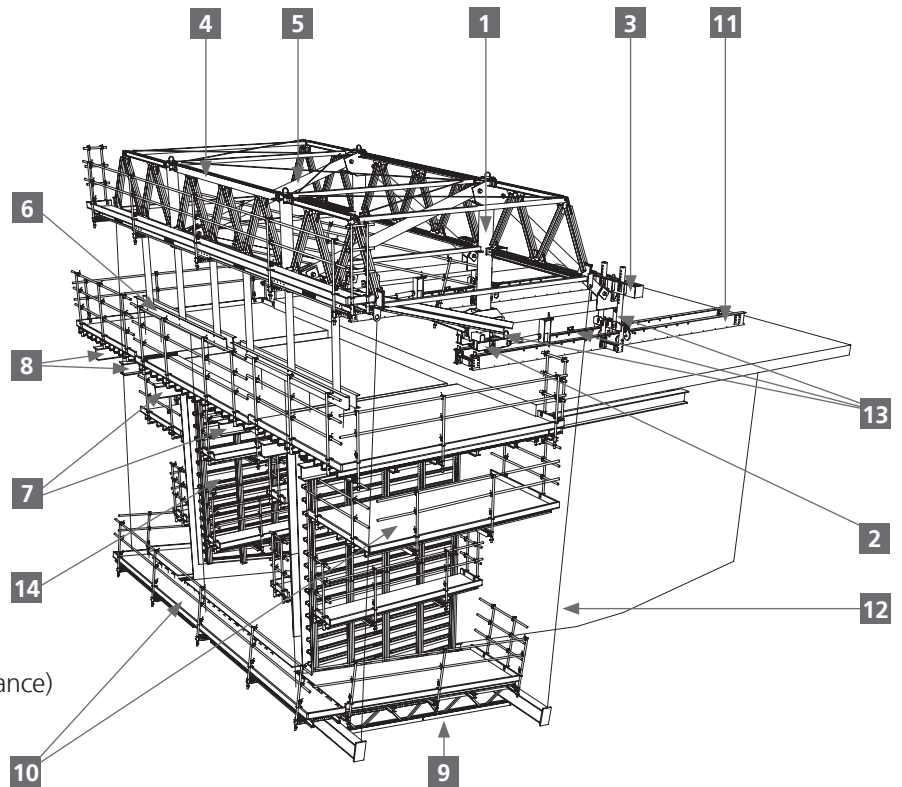
CONCRETE 36/45 MPa

Unit	Spiral Reinforcement				Orthogonal Reinf.				X	
	ØS	n <sup>(1)</sup>	P	ØG	l	ØR	r <sup>(2)</sup>	N		M
6-3	12	5	55	145	165	-	-	-	-	165
6-4	12	6	45	170	180	-	-	-	-	190
6-7	16	6	65	230	260	-	-	-	-	250
6-12	16	8	50	305	300	-	-	-	-	325
6-15	16	8	50	315	300	10	6.0	65	345	365
6-19	16	9	45	355	315	12	7.0	65	390	410
6-22	20	8	60	385	360	12	6.0	79	420	440
6-27	16	11	45	425	405	16	8.0	60	465	485
6-31	16	11	45	460	405	16	10.0	50	500	520
6-37	20	10	55	510	440	16	10.0	60	550	570

- X = minimal center spacing between anchorages
- For calculation of minimum edge distance refer to 4.4.1
- n = number of spiral turns including first and last required as anchorage length
- Reinforcement, edge distance, center spacing may be modified, contact VSL

## | System Components

- 1** Main load truss
- 2** Front rolling and support system
- 3** Rear rolling and support system
- 4** Transverse bracing
- 5** Horizontal bracing
- 6** Suspension brackets
- 7** Upper slab support structure
- 8** Flange support structure
- 9** Lower slab support structure
- 10** Platforms
- 11** Guiding rails for advance
- 12** Form ties
- 13** Hydr. syst. (loading, containment, advance)
- 14** Formwork



## | Forming carriages with different load capacities

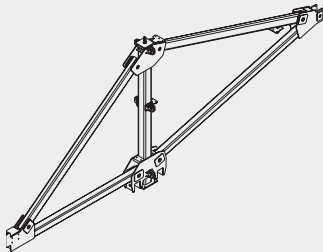
Maximum pier segment (t)	Pier segment length				
	5 m	4,5 m	4 m	3,5 m	3 m
Carriage type					
CVS 165/4,5		165 t	182 t	202 t	227 t
CVS 200/4,5		200 t	220 t	247 t	279 t
CVS 165/5	165 t	180 t	200 t	220 t	248 t
CVS 200/5 (Rentable)	200 t	218 t	240 t	267 t	300 t





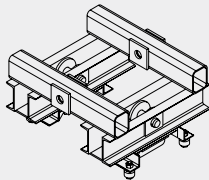
## Basic components

		kg
<b>MAIN TRUSS</b>		
Central post CVS165 C5	3200053	979
Central post CVS200 C5	3200290	1034
Rear lower ledger CVS165 C4	3200072	479
Rear lower ledger CVS200 C4	3200300	524
Rear diagonal CVS165 C2	3200094	334
Rear diagonal CVS200 C2	3200295	387
Lower diagonal CVS165 45 C3	3200084	562
Lower diagonal CVS165 50 C3	3200284	591
Lower diagonal CVS200 45 C3	3200305	568
Lower diagonal CVS200 50 C3	3200335	597
Upper diagonal CVS165 45 C1	3200097	347
Upper diagonal CVS165 50 C1	3200277	373
Upper diagonal CVS200 45 C1	3200310	400
Upper diagonal CVS200 50 C1	3200340	431



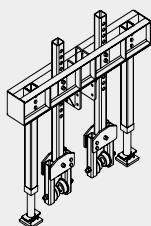
### ROLLING-FRONT SUPPORT

Front rolling set	3200028	283
40 tn Roller	1990657	30,8



### ROLLING-REAR SUPPORT

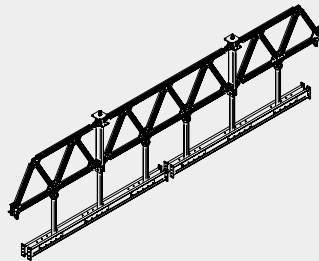
Prestressing screw jack 85 tn	3200010	87
Tube 120x120x8/1765	3200020	44,3
Rear rolling set	3200021	46,1
Tube 100x100x8/540	3200027	11,3
Clamps UPN profile	3200039	69
Rear pincer	3200047	14,2
Rear clamp	3200048	20,3
Rear roller IPN380	3200104	11,1
Rear prestressing profile for curve	3200610	521



		kg
<b>TRANSVERSAL BRACING</b>		
Transversal bracing post	3200106	283
Node 60 hinge MK	1990362	37
Node 180 hinge MK	1990481	55
Node 180 MK	1990485	30,6
Node 180 D40 MK	1990480	31,8
Node 120 MK	1990420	24
Node 90 MK	1990390	18,8
Node 60 F MK	1990360	16
Node 60 M MK	1990361	21,3
Node axial M D40 MK	1990300	15
Waler MK-120 (from 1.125 to 5.625 m)		

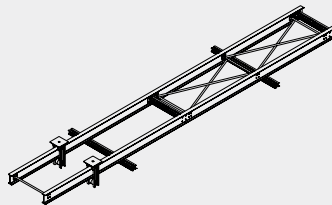
### HANGING SUPPORT

Hanging support post 1,75	3200563	95
Hanging syst. profile UPN-320/1250	3200695	111
Hanging syst. profile UPN-320/2250	3200630	173
Hanging syst. profile UPN-320/4500	3200648	313
Hanging syst. profile UPN-320/6750	3200649	453
Hanging syst. profile UPN-320/11250	3200625	734



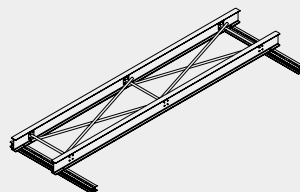
### TOP SLAB STRUCTURE

IPN-320/11400 (segment 4.5 m)	3200568	693
IPN-320/11900 (segment 5 m)	3200470	724
Formwork hanging roller	3200175	74
Internal formwork wheel	3200220	10,5
Waler MK-120 (from 1.375 to 4.125 m)		

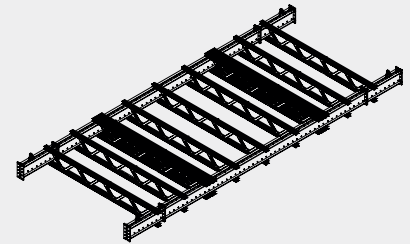


### WING SLAB STRUCTURE

IPN-300/6000 (segment 4.5 m)	3200569	351
IPN-300/6500 (segment 5 m)	3200450	351
Waler MK-120 (from 1.875 to 4.125 m)		

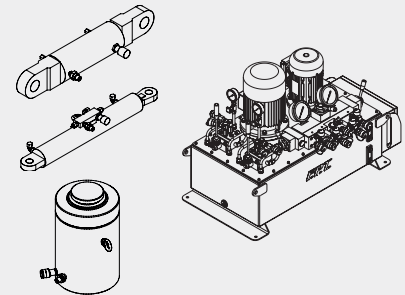


		kg
<b>BOTTOM SLAB STRUCTURE</b>		
Truss diagonal 625-DUPN500	3200586	7,3
Truss diagonal 687-DUPN500	3200650	8,8
Vertical tube 625-DUPN500	3200587	5,3
Profile UPN 500/2000	3200685	220
Profile UPN 500/2500	3200640	263
Profile UPN 500/3000	3200673	306
Profile UPN 500/6000	3200676	564
Profile UPN 500/9000	3200679	821
Profile UPN 500/11500	3200680	1036



### HYDRAULICS AND ACCESSORIES

Power unit CVS FPT5	1992120	300
Hyd.Cyl.CRI-200/160-GS-TA	1992105	160
Hyd.Cyl.CRI-10/500-UL	1992115	45
Hyd.Cyl.CRI-25/200-UL	1992110	70



### ADVANCING RAILS

Advancing rail 4,5 m segment	3200123	968
Advancing rail 5 m segment	3200406	1030
Rail union element	3200128	45,5
Rail outer anchor	3200364	39,2
Advancing rail flange anchor	3200655	42
Advancing rail spacer	3200670	4,8

