



TUGAS AKHIR – RC 18-4803

**PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED  
BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER***

NAURA ASSYIFA SALMA  
NRP. 0311154000092

Dosen Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

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



TUGAS AKHIR – RC 18-4803

**PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED  
BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER***

NAURA ASSYIFA SALMA  
NRP. 0311154000092

Dosen Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

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

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



FINAL ASSIGNMENT – RC 18-4803

***STRUCTURAL DESIGN OF SIRNOBOYO BRIDGE  
USING PRECAST POSTTENSIONED BOX GIRDER  
WITH BALANCED CANTILEVER METHOD***

NAURA ASSYIFA SALMA  
NRP. 0311154000092

Academic Supervisor :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Civil Engineering Department  
Faculty of Civil, Environmental and Earth Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED BOX-  
GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER***

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**NAURA ASSYIFA SALMA**

**NRP 0311154000092**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. I G P Raka, DEA ..... (Pembimbing I)



**SURABAYA  
JULI, 2019**

**PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED BOX-  
GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER***

**Nama Mahasiswa** : Naura Assyifa Salma  
**NRP** : 03111540000092  
**Departemen** : Teknik Sipil FTSLK – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

**Abstrak**

*Jembatan Sirnobojo membentang pada ruas Jalan Pantai Selatan (Pansela) antara Ploso-Sirnobojo, di Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Jembatan ini pada awalnya direncanakan menggunakan prestressed I-girder yang terdiri dari 6 bentang dengan panjang total jembatan 230,4 m dan panjang bentang terpanjang 42,9 m. Dalam tugas akhir ini, direncanakan Jembatan Sirnobojo menggunakan box girder pratekan dengan panjang total 230,4 meter yang terdiri dari 3 bentang, masing-masing 67,2 meter, 96 meter dan 67,2 meter. Jenis jembatan bentang panjang pada khususnya akan memungkinkan untuk menghindari keberadaan pilar pada badan sungai, yang mana dengan adanya 2 pilar penopang Jembatan Sirnobojo yang terletak pada badan sungai dapat menimbulkan potensi terjadinya masalah berupa gerusan lokal yang terjadi di sekeliling pilar. Metode yang akan digunakan untuk pelaksanaan konstruksi jembatan Sirnobojo adalah dengan sistem balanced cantilever karena sistem ini termasuk jenis segmental construction dengan metode yang ekonomis, cepat dan efisien untuk jembatan bentang panjang dan menengah.*

*Pada tugas akhir ini dalam pengerjaannya dibantu dengan program bantu analisa struktur Midas Civil. Analisa kekuatan struktur diperhitungkan dalam tahap pemasangan segmen dan dalam tahap layan yaitu sistem statis tak tentu. Perencanaan jembatan sesuai dengan peraturan RSNI T-12-2004,*

untuk pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725:2016 dan gempa untuk jembatan mengacu pada RSNI 2833:201X. Setelah diketahui gaya dalam pada masing-masing tahap, berikutnya dilakukan penentuan gaya prategang dan tendon yang dibutuhkan. Selanjutnya dilakukan perhitungan penulangan box kemudian menghitung kehilangan gaya prategang, kontrol stabilitas struktur yang meliputi kontrol momen retak, kontrol momen batas, kontrol torsi, kontrol lendutan dan kontrol geser. Setelah selesai merencanakan bangunan atas, dilakukan perencanaan perletakan dan bangunan bawah yang berupa abutment dan pier serta pondasinya.

Tendon yang digunakan pada jembatan ini bertipe VSL ASTM A 416-06 grade 270. Berdasar hasil perencanaan box girder, diperlukan tendon kantilever dengan jenis tendon 6-15-15 sejumlah 46 buah pada pelat atas box dan tendon servis dengan jenis tendon 6-27-27 sejumlah 30 buah pada pelat bawah box. Perletakan yang digunakan adalah produk POT bearing dari TENSA dan hasil desain sendiri. Desain abutment dengan tinggi 8.6 m, lebar 13.5 m, tebal breastwall 2.3 m, lebar pilecap 21.6 m, panjang pilecap 15.6 m, tebal pilecap 1.5 m dengan 35 buah tiang borepile diameter 1.2 m sedalam 60 m. Desain pilar berongga dengan lebar 5 m, panjang 7.5 m, tebal dinding 0.8 m, lebar pilecap 28.2 m, panjang pilecap 22.2 m, tebal pilecap 1.5 m dengan 63 buah tiang borepile diameter 1.4 m sedalam 60 m.

***Kata Kunci: beton pratekan, box girder, balanced cantilever, precast segmental***



# ***STRUCTURAL DESIGN OF SIRNOBOYO BRIDGE USING PRECAST POSTTENSIONED BOX GIRDER WITH BALANCED CANTILEVER METHOD***

**Student Name** : Naura Assyifa Salma  
**NRP** : 0311154000092  
**Department** : Teknik Sipil FTSLK – ITS  
**Academic Supervisor** : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

## **Abstract**

*Sirnobojo bridge is located at South Coast Road (Jalan Pantai Selatan) between Ploso-Sirnobojo, Pacitan Regency, East Java. Initially, this bridge was designed using prestressed I-girder which consisted of 6 spans with total length of 230.4 m and longest span 42.9 m. In this final assignment, Sirnobojo Bridge is designed using precasted box girder with total length of 230.4 meters which consists of 3 spans, with 67.2 meters, 96 meters and 67.2 meters each. In particular, the use of long span bridges can decrease the amount of pillars on river body, meanwhile there were 2 pillars of Sirnobojo Bridge which are located on the river body and potentially lead to local scouring around those pillars. The method used for Sirnobojo Bridge construction is the balanced cantilever system, because this system is one of the most economical method in segmental construction and is efficient for long span and medium span bridges.*

*In this final assignment, Midas Civil software is used in structural analysis. Structural analysis is considered in construction stage and service condition, which is classified as statically indeterminate structure. Bridge is designed based on RSNI T-12-2004, the load analysis refers to SNI 1725:2016 and seismic load for bridges refers to RSNI 2833:201X. After internal forces for each stage is obtained, the prestress load and tendons are defined. Then we estimate box reinforcement, calculate the prestress loss and control the structural stability which consists of crack moment, ultimate moment, torsion, chamber and shear. After*

*the superstructure design, the bearings and substructure in terms of abutments, piers and also the footings are designed as well.*

*The type of tendon used in this bridge is VSL ASTM A 416-06 grade 270. Based on the design of box girders, the amount of cantilever tendons with the type of 6-15-15 needed is 46 pieces which are placed inside the upper plate of the box girder and the amount of service tendons with the type of 6-27-27 needed is 30 pieces which are placed inside the bottom plate of the box girder. Bearings used on the structure are POT bearing products from TENSA and by design. Abutments are designed with the height 8.6 m, width 13.5 m, breastwall thickness 2.3 m, pilecap thickness 21.6 m, pilecap length 15.6 m, pilecap thickness 1.5 m and 35 borepiles with diameter of 1.2 m and 60 m in depth. The piers are designed hollow with the width of 5 m, length 7.5 m, wall thickness 0.8 m, pilecap width 28.2 m, pilecap length 22.2 m, pilecap thickness 1.5 m and 63 borepiles with diameter of 1.4 m and 60 m in depth.*

***Keywordsi: beton pratekan, box girder, balanced cantilever, precast segmental***

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis ingin mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memudahkan dan melancarkan proses penyusunan tugas akhir yang berjudul *Perencanaan Jembatan Sirnobojo Menggunakan Precast Posttensioned Box-Girder dengan Metode Balanced Cantilever*, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dan turut membantu serta memberi dukungan selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini. Terutama untuk:

1. Kedua orang tua dan adik kami tercinta, sebagai penyemangat dan yang telah memberi dukungan dan doa, serta kepercayaan yang begitu besar.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Teman-teman terdekat dan para senior yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terima kasih atas bantuan dan sarannya yang telah diberikan selama proses pengerjaan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat di dalam penulisan tugas akhir ini, sehingga dengan kerendahan hati penulis mengharapkan saran dan kritik untuk hasil yang lebih baik. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

Abstrak .....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Beton Prategang .....	5
2.2 <i>Box Girder</i> .....	5
2.3 Metode Pelaksanaan Konstruksi.....	7
2.3.1 Sistem Konstruksi Segmental.....	7
2.3.2 Balok Menerus dan Kantilever pada Struktur <i>Precast Posttensioned Box Girder</i> .....	11
BAB 3 METODOLOGI .....	13
3.1 Diagram Alir.....	13
3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur .....	14
3.3 <i>Preliminary Design</i> .....	15
3.3.1 Mutu Bahan .....	15
3.3.2 Tinggi Penampang.....	15
3.3.3 Jarak Antar Badan Box ( <i>Web</i> ).....	15
3.3.4 Sisi Kantilever .....	15
3.3.5 Pelat Atas.....	16
3.3.6 Badan Box .....	17
3.3.7 Pelat Bawah.....	17
3.3.8 Panjang Segmen Box.....	18
3.4 Perencanaan Struktur Sekunder.....	18
3.5 Analisa Pembebanan .....	18
3.6 Analisa Struktur Utama .....	22

3.7	Penentuan Gaya Prategang.....	23
3.8	Analisa Kehilangan Gaya Prategang.....	24
3.8.1	Perpendekan Elastis Beton (ES).....	24
3.8.2	Gesekan (FR).....	25
3.8.3	Slip Angkur (SA).....	25
3.8.4	Rangkak Beton (CR).....	26
3.8.5	Susut Beton (SH).....	27
3.8.6	Relaksasi Baja (RE).....	27
3.9	Perhitungan Struktur.....	27
3.9.1	Perhitungan Penulangan Lentur.....	28
3.9.2	Perhitungan Penulangan Geser.....	29
3.9.3	Perhitungan Penulangan Torsi.....	31
3.9.4	Sambungan antar Segmen Box Girder ( <i>Shear Key</i> ) 31	
3.10	Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur Utama.....	32
3.10.1	Kontrol Tegangan.....	32
3.10.2	Kontrol Momen <i>Crack</i> .....	32
3.10.3	Kontrol Momen Batas.....	33
3.10.4	Lendutan.....	34
3.11	Perencanaan Bangunan Bawah.....	35
3.11.1	Perencanaan Perletakan.....	35
3.11.2	Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal.....	35
3.11.3	Daya Dukung Tiang dalam Grup.....	36
3.11.4	Kontrol Konfigurasi Tiang Kelompok.....	37
3.11.5	Penulangan Pilar, <i>Abutment</i> dan <i>Pile Cap</i> .....	37
3.12	Gambar Rencana.....	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Data Perencanaan.....	39
4.2	<i>Preliminary Design</i> .....	39
4.2.1	Mutu Bahan.....	39
4.2.2	Tegangan Ijin Bahan.....	40
4.2.3	Tinggi Box Girder.....	41
4.2.4	Ketebalan Bagian-bagian Box Girder.....	42
4.2.5	Perhitungan <i>Properties</i> Penampang Box Girder.....	43
4.3	Perencanaan Struktur Sekunder.....	47

4.3.1	Pembebanan Parapet.....	47
4.3.2	Kombinasi Pembebanan Parapet .....	49
4.3.3	Penulangan Parapet .....	49
4.4	Analisa Pembebanan Struktur Utama.....	52
4.4.1	Beban Mati (MS).....	52
4.4.2	Beban Mati Tambahan (MA) .....	54
4.4.3	Beban Angin.....	54
4.4.4	Beban Hidup Kendaraan.....	56
4.4.5	Beban Pejalan Kaki (TP).....	57
4.4.6	Beban Rem (TB) .....	58
4.4.7	Pengaruh Gempa (EQ) .....	58
4.4.8	Pengaruh Gaya Prategang (PR).....	60
4.4.9	Beban Temperatur .....	60
4.4.10	Pengaruh Susut dan Rangkak (SH) .....	61
4.4.11	Beban Pelaksanaan (PL).....	61
4.4.12	Pembebanan saat <i>Balanced Cantilever</i> .....	61
4.4.13	Pembebanan saat Tahap Servis .....	63
4.5	Penentuan Gaya Prategang .....	67
4.5.1	Kontrol Tegangan Box Girder saat Transfer pada Keadaan <i>Balanced Cantilever</i> .....	67
4.5.2	Kontrol Tegangan Box Girder saat Servis.....	86
4.6	Analisa Kehilangan Gaya Prategang .....	93
4.6.1	Kehilangan Gaya Prategang Tendon Atas.....	93
4.6.2	Kehilangan Gaya Prategang Tendon Bawah .....	102
4.7	Perhitungan Struktur.....	114
4.7.1	Perhitungan Penulangan Lentur .....	114
4.7.2	Perhitungan Penulangan Geser.....	124
4.7.3	Perhitungan Penulangan Torsi.....	127
4.7.4	Sambungan antar Segmen Box Girder ( <i>Shear Key</i> )	129
4.8	Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur Utama .....	132
4.8.1	Kontrol Tegangan .....	132
4.8.2	Kontrol Momen Retak.....	138
4.8.3	Kontrol Momen Batas .....	144
4.8.4	Lendutan .....	150

4.9	Perencanaan Bangunan Bawah .....	153
4.9.1	Perencanaan Perletakan .....	153
4.9.2	Perencanaan Abutment .....	156
4.9.3	Perencanaan Pilar .....	181
4.10	Metode Pelaksanaan .....	199
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>		<b>207</b>
5.1	Kesimpulan.....	207
5.2	Saran.....	209
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>211</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Perbandingan defleksi antara balok beton bertulang (RCC) dengan balok beton prategang (PSC) saat diberikan beban tertentu (Sharma & Kushwah, 2015).....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Penampang (a) single cell box, (b) multiple spine, dan (c) multicell with a common bottom flange (Sennah and Kennedy, 2002) .....	6
<b>Gambar 2. 3</b> Contoh desain penampang (a) constant depth dan (b) variable depth (Muller, 1975).....	6
<b>Gambar 2. 4</b> Metode balanced cantilever menggunakan form traveller (VSL International, 2012) .....	7
<b>Gambar 2. 5</b> Metode incremental launching (VSL International, 2012).....	7
<b>Gambar 2. 6</b> Metode balanced cantilever menggunakan launching gantry (VSL International, 2012) .....	8
<b>Gambar 2. 7</b> Metode balanced cantilever menggunakan lifting frames (VSL International, 2012) .....	8
<b>Gambar 2. 8</b> Metode balanced cantilever menggunakan crane (VSL International, 2012) .....	9
<b>Gambar 2. 9</b> Metode span-by-span menggunakan launching gantry (VSL International, 2012) .....	9
<b>Gambar 2. 10</b> Metode span-by-span menggunakan falsework (VSL International, 2012) .....	9
<b>Gambar 2. 11</b> Metode full span menggunakan launching gantry (VSL International, 2012) .....	10
<b>Gambar 2. 12</b> Metode full span menggunakan heavy lift (VSL International, 2012) .....	10
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir .....	14
<b>Gambar 3. 2</b> Geometri dari sisi kantilever (Benaim, 2008) .....	16
<b>Gambar 3. 3</b> Ketebalan pelat atas yang umum untuk lebar badan box tertentu (Benaim, 2008).....	17
<b>Gambar 3. 4</b> Konfigurasi slab bagian bawah (Benaim, 2008) ...	17
<b>Gambar 3. 5</b> Alternatif penempatan beban “D” dalam arah memanjang untuk jembatan menerus (SNI 1725:2016).....	19

<b>Gambar 3. 6</b> Beban lajur “D” (SNI 1725:2016) .....	20
<b>Gambar 4. 1</b> Potongan melintang penampang box girder segmen S1.....	43
<b>Gambar 4. 2</b> Dimensi struktur parapet.....	50
<b>Gambar 4. 3</b> Input beban kerb pada Midas Civil .....	53
<b>Gambar 4. 4</b> Input beban parapet pada Midas Civil .....	53
<b>Gambar 4. 5</b> Input beban aspal pada Midas Civil.....	54
<b>Gambar 4. 6</b> Input beban angin struktur pada Midas Civil.....	55
<b>Gambar 4. 7</b> Input beban angin kendaraan pada Midas Civil....	55
<b>Gambar 4. 8</b> Input beban lajur pada Midas Civil (konfigurasi 1) .....	56
<b>Gambar 4. 9</b> Input beban lajur pada Midas Civil (konfigurasi 2) .....	57
<b>Gambar 4. 10</b> Input beban lajur pada Midas Civil (konfigurasi 3) .....	57
<b>Gambar 4. 11</b> Input beban pejalan kaki pada Midas Civil.....	57
<b>Gambar 4. 12</b> Input beban rem pada Midas Civil.....	58
<b>Gambar 4. 13</b> Input <i>response spectrum analysis</i> pada Midas Civil .....	59
<b>Gambar 4. 14</b> Gradien temperatur nominal arah vertikal untuk bangunan atas .....	60
<b>Gambar 4. 15</b> Penggunaan <i>launching gantry</i> pada metode <i>balanced cantilever</i> .....	61
<b>Gambar 4. 16</b> Diagram momen ( <i>envelope</i> ) untuk setengah jembatan saat servis.....	66
<b>Gambar 4. 17</b> Diagram geser ( <i>envelope</i> ) untuk setengah jembatan saat servis .....	66
<b>Gambar 4. 18</b> Diagram torsi untuk setengah jembatan saat servis .....	66
<b>Gambar 4. 19</b> Pemasangan segmen S3 .....	67
<b>Gambar 4. 20</b> Letak tendon kantilever saat pemasangan segmen S3.....	68
<b>Gambar 4. 21</b> Diagram tegangan penampang segmen S2 akibat pemasangan segmen S3.....	69

<b>Gambar 4. 22</b>	Letak tendon kantilever.....	70
<b>Gambar 4. 23</b>	Letak tendon saat pemasangan S1 .....	71
<b>Gambar 4. 24</b>	Letak tendon saat pemasangan S2 .....	72
<b>Gambar 4. 25</b>	Letak tendon saat pemasangan S3 .....	73
<b>Gambar 4. 26</b>	Letak tendon saat pemasangan S4 .....	74
<b>Gambar 4. 27</b>	Letak tendon saat pemasangan S5 .....	75
<b>Gambar 4. 28</b>	Letak tendon saat pemasangan S6 .....	76
<b>Gambar 4. 29</b>	Letak tendon saat pemasangan S7 .....	77
<b>Gambar 4. 30</b>	Letak tendon saat pemasangan S8 .....	78
<b>Gambar 4. 31</b>	Letak tendon saat pemasangan S9 .....	79
<b>Gambar 4. 32</b>	Letak tendon saat pemasangan S10 .....	80
<b>Gambar 4. 33</b>	Letak tendon saat pemasangan S11 .....	81
<b>Gambar 4. 34</b>	Letak tendon saat pemasangan S12 .....	82
<b>Gambar 4. 35</b>	Letak tendon saat pemasangan S13 .....	83
<b>Gambar 4. 36</b>	Letak tendon saat pemasangan S14 .....	84
<b>Gambar 4. 37</b>	Letak tendon saat pemasangan S15 .....	85
<b>Gambar 4. 38</b>	Letak tendon atas dan bawah pada bentang tengah .....	86
<b>Gambar 4. 39</b>	Diagram tegangan penampang segmen S15 saat masa layan .....	88
<b>Gambar 4. 40</b>	Permodelan <i>cross section</i> box girder .....	116
<b>Gambar 4. 41</b>	Diagram momen pada penampang S1A.....	116
<b>Gambar 4. 42</b>	Letak tambahan tulangan torsi sengkang .....	128
<b>Gambar 4. 43</b>	Detail sambungan antar segmen .....	130
<b>Gambar 4. 44</b>	Permodelan layout tendon layan pada Midas Civil .....	152
<b>Gambar 4. 45</b>	Lendutan pada Midas Civil .....	152
<b>Gambar 4. 46</b>	Denah perletakan .....	153
<b>Gambar 4. 47</b>	Konfigurasi tiang pancang pada pilecap abutment .....	159
<b>Gambar 4. 48</b>	<i>Preliminary design</i> abutment.....	160
<b>Gambar 4. 49</b>	Ilustrasi gaya lalu lintas dan tekanan tanah.....	165
<b>Gambar 4. 50</b>	Desain penulangan abutment pada Sp Column.	171
<b>Gambar 4. 51</b>	Hasil analisa penulangan abutment untuk momen arah x pada SpColumn .....	171

<b>Gambar 4. 52</b> Hasil analisa penulangan abutment untuk momen arah y pada SpColumn .....	172
<b>Gambar 4. 53</b> Ilustrasi penulangan breastwall abutment .....	173
<b>Gambar 4. 54</b> Jarak-jarak lengan gaya pada sisi lebar pilecap	174
<b>Gambar 4. 55</b> Desain penulangan pile abutment pada Sp Column .....	179
<b>Gambar 4. 56</b> Hasil analisa penulangan pile abutment pada SpColumn.....	180
<b>Gambar 4. 57</b> Konfigurasi tiang pancang pada pilecap pilar...	183
<b>Gambar 4. 58</b> Desain penulangan pilar pada Sp Column .....	188
<b>Gambar 4. 59</b> Hasil analisa penulangan pilar untuk momen arah x pada SpColumn .....	189
<b>Gambar 4. 60</b> ilustrasi penulangan pilar .....	191
<b>Gambar 4. 61</b> Jarak-jarak lengan gaya pada sisi lebar pilecap	192
<b>Gambar 4. 62</b> Jarak-jarak lengan gaya pada sisi lebar pilecap	194
<b>Gambar 4. 63</b> Desain penulangan pile pilar pada Sp Column .	197
<b>Gambar 4. 64</b> Hasil analisa penulangan pile pilar pada SpColumn .....	198
<b>Gambar 4. 65</b> <i>Launching gantry</i> yang digunakan untuk pemasangan segmen jembatan .....	199
<b>Gambar 4. 66</b> Pemasangan segmen S1 hingga S7 .....	200
<b>Gambar 4. 67</b> Pemasangan segmen S8 hingga C1 .....	201
<b>Gambar 4. 68</b> Bagian pier .....	202
<b>Gambar 4. 69</b> Layout tendon atas dan bawah pada bentang tengah untuk setengah bentang .....	203
<b>Gambar 4. 70</b> Layout tendon atas dan bawah pada bentang tepi .....	204
<b>Gambar 4. 71</b> Bagian abutment .....	205

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Ketebalan Minimum Pelat Atas Berdasarkan Jarak Antar Badan Box .....	16
<b>Tabel 4. 1</b> Tinggi penampang box tiap segmen .....	42
<b>Tabel 4. 2</b> Ketebalan pelat dan dinding box girder .....	42
<b>Tabel 4. 3</b> <i>Properties</i> penampang box girder dari Midas Civil ..	43
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil perhitungan <i>properties</i> penampang box girder	45
<b>Tabel 4. 5</b> Kombinasi pembebanan struktur sekunder .....	49
<b>Tabel 4. 6</b> Beban mati struktur utama .....	52
<b>Tabel 4. 7</b> Beban angin dengan $q > 4.4$ kN/m .....	55
<b>Tabel 4. 8</b> Kombinasi pembebanan saat pelaksanaan .....	62
<b>Tabel 4. 9</b> Gaya dalam (momen) <i>envelope</i> per stage .....	62
<b>Tabel 4. 10</b> Kombinasi pembebanan saat servis .....	63
<b>Tabel 4. 11</b> Gaya dalam yang terjadi pada tahap servis .....	65
<b>Tabel 4. 12</b> Eksentrisitas tendon kantilever .....	70
<b>Tabel 4. 13</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S1 .....	71
<b>Tabel 4. 14</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S2 .....	72
<b>Tabel 4. 15</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S3 .....	73
<b>Tabel 4. 16</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S4 .....	74
<b>Tabel 4. 17</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S5 .....	75
<b>Tabel 4. 18</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S6 .....	76
<b>Tabel 4. 19</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S7 .....	77
<b>Tabel 4. 20</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S8 .....	78
<b>Tabel 4. 21</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S9 .....	79
<b>Tabel 4. 22</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S10 .....	80

<b>Tabel 4. 23</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S11 .....	81
<b>Tabel 4. 24</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S12 .....	82
<b>Tabel 4. 25</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S13 .....	83
<b>Tabel 4. 26</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S14 .....	84
<b>Tabel 4. 27</b> Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S15 .....	85
<b>Tabel 4. 28</b> Tegangan yang terjadi pada penampang saat servis	89
<b>Tabel 4. 29</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton saat pemasangan segmen S3 .....	94
<b>Tabel 4. 30</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton untuk tendon kantilever.....	95
<b>Tabel 4. 31</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi saat pemasangan segmen S3.....	96
<b>Tabel 4. 32</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi untuk tendon kantilever .....	97
<b>Tabel 4. 33</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat rangkai untuk tendon kantilever .....	99
<b>Tabel 4. 34</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat susut untuk tendon kantilever .....	100
<b>Tabel 4. 35</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk tendon kantilever .....	101
<b>Tabel 4. 36</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang total untuk tendon kantilever .....	101
<b>Tabel 4. 37</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton untuk tendon servis pada bentang tengah .....	104
<b>Tabel 4. 38</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton untuk tendon servis pada bentang tepi .....	105
<b>Tabel 4. 39</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi untuk tendon servis pada bentang tepi.....	107

<b>Tabel 4. 40</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi untuk tendon servis pada bentang tengah.....	108
<b>Tabel 4. 41</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat rangkai untuk tendon servis.....	110
<b>Tabel 4. 42</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat susut untuk tendon servis.....	112
<b>Tabel 4. 43</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk tendon servis .....	113
<b>Tabel 4. 44</b> Rekapitulasi kehilangan gaya prategang total untuk tendon servis.....	114
<b>Tabel 4. 45</b> Rekapitulasi perhitungan tulangan geser .....	126
<b>Tabel 4. 46</b> Rekapitulasi jumlah <i>shear key</i> .....	131
<b>Tabel 4. 47</b> Rekapitulasi kontrol tegangan box girder.....	134
<b>Tabel 4. 48</b> Kontrol momen retak pada tiap segmen .....	140
<b>Tabel 4. 49</b> Kontrol momen batas pada tiap segmen.....	146
<b>Tabel 4. 50</b> Perhitungan kontrol lendutan saat <i>staging</i> .....	151
<b>Tabel 4. 51</b> Reaksi horizontal pada perletakan .....	154
<b>Tabel 4. 52</b> Reaksi vertikal pada perletakan .....	154
<b>Tabel 4. 53</b> Rekapitulasi gaya pada perletakan.....	154
<b>Tabel 4. 54</b> Jenis <i>POT Bearing</i> untuk masing-masing titik .....	155
<b>Tabel 4. 55</b> Nilai $N_{SPT}$ <i>Bore Hole</i> -1 .....	156
<b>Tabel 4. 56</b> <i>Base coefficient</i> , $\alpha$ .....	157
<b>Tabel 4. 57</b> <i>Shaft coefficient</i> , $\beta$ .....	158
<b>Tabel 4. 58</b> Kombinasi pembebanan untuk struktur bawah jembatan .....	161
<b>Tabel 4. 59</b> Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 1 .....	162
<b>Tabel 4. 60</b> Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 3 .....	162
<b>Tabel 4. 61</b> Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 4 .....	162
<b>Tabel 4. 62</b> Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 5 .....	163
<b>Tabel 4. 63</b> Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi ekstrem 1.....	163

<b>Tabel 4. 64</b> Perhitungan pembebanan akibat berat struktur bawah .....	164
<b>Tabel 4. 65</b> Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 1 .....	168
<b>Tabel 4. 66</b> Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 3 .....	168
<b>Tabel 4. 67</b> Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 4 .....	168
<b>Tabel 4. 68</b> Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 5 .....	168
<b>Tabel 4. 69</b> Rekapitulasi beban untuk kombinasi ekstrem 1 ....	169
<b>Tabel 4. 70</b> Rekapitulasi beban untuk semua kombinasi .....	169
<b>Tabel 4. 71</b> Perhitungan konfigurasi tiang .....	170
<b>Tabel 4. 72</b> Input untuk diagram interaksi pada abutment.....	170
<b>Tabel 4. 73</b> Input untuk diagram interaksi pada pile abutment.	179
<b>Tabel 4. 74</b> Nilai $N_{SPT}$ <i>Bore Hole-2</i> .....	181
<b>Tabel 4. 75</b> <i>Base coefficient</i> , $\alpha$ .....	182
<b>Tabel 4. 76</b> <i>Shaft coefficient</i> , $\beta$ .....	183
<b>Tabel 4. 77</b> Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 1 .....	185
<b>Tabel 4. 78</b> Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 3 .....	185
<b>Tabel 4. 79</b> Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 4 .....	185
<b>Tabel 4. 80</b> Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 5 .....	185
<b>Tabel 4. 81</b> Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi ekstrem 1 .....	185
<b>Tabel 4. 82</b> Rekapitulasi beban untuk semua kombinasi .....	186
<b>Tabel 4. 83</b> Perhitungan konfigurasi tiang .....	187
<b>Tabel 4. 84</b> Input untuk diagram interaksi pada pilar .....	187
<b>Tabel 4. 85</b> Input untuk diagram interaksi pada pile pilar .....	197



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) saat ini tengah menyelesaikan pembangunan jalan Lintas Pantai Selatan (Pansela) Jawa yang dulu dikenal dengan nama Jalan Lintas Selatan (JLS) untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi di Selatan Jawa serta mengurangi kesenjangan dengan kawasan Pantai Utara Jawa (Pantura) yang lebih maju. Keberadaan jalan akses menuju Pelabuhan Barang dan Niaga di Desa Kembang, Kecamatan Pacitan pada gilirannya akan mendukung pertumbuhan ekonomi Pacitan khususnya dan kawasan Selatan Jawa pada umumnya. Kondisi jalan Pansela yang baik juga mendukung pengembangan kawasan wisata di Pacitan (Biro Komunikasi Publik Kementerian PUPR, 2018).

Jembatan Sironoboyo membentang pada ruas Jalan Pantai Selatan (Pansela) antara Ploso-Sironoboyo, di Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Jembatan ini pada awalnya direncanakan menggunakan *prestressed I-girder* yang terdiri dari 6 bentang dengan panjang total jembatan 230,4 m dan panjang bentang terpanjang 42,9 m sehingga masih dikategorikan jembatan bentang pendek. Jembatan ini direncanakan melewati sungai Grindulu dan dengan jenis jembatan bentang pendek serta penampang sungai yang ada, tidak dimungkinkan untuk menghindari keberadaan pilar pada badan sungai sehingga dibutuhkan pilar yang mampu menahan beban-beban baik dari bangunan atas maupun dari lingkungan sungai itu sendiri, terlebih jika terjadi bencana yang tidak diinginkan seperti banjir. Keberadaan Jembatan Sironoboyo yang berada pada ruas Jalan Pantai Selatan mengakibatkan keberadaan jembatan ini sangat penting, maka dari itu metode pelaksanaan konstruksi jembatan ini harus diperhatikan sehingga dapat dilaksanakan dengan durasi waktu secepat mungkin dan seefisien mungkin.

Dalam tugas akhir kali ini, penulis akan merencanakan Jembatan Sironoboyo menggunakan *precast posttensioned box*

*girder* sehingga dimungkinkan penggunaan material berkualitas tinggi dan proses ereksi yang relatif mudah dengan sistem *precast* (Muller, 1975). Dalam hal kecepatan konstruksi, penggunaan *box girder* memiliki efektivitas yang signifikan dibandingkan *I-girder* (Avendaño et al. 2013). Metode yang akan digunakan untuk pelaksanaan konstruksi jembatan Sironoboyo adalah dengan sistem *balanced cantilever*. Sistem ini termasuk jenis *segmental construction* dengan metode yang ekonomis, cepat dan efisien untuk jembatan bentang panjang dan menengah (Muller, 1975). Jenis jembatan bentang panjang pada khususnya akan memungkinkan untuk menghindari keberadaan pilar pada badan sungai, yang mana dengan adanya 2 pilar penopang Jembatan Sironoboyo yang terletak pada badan sungai dapat menimbulkan potensi terjadinya masalah berupa gerusan lokal yang terjadi di sekeliling pilar. Selain itu, sistem ini dapat mengakomodasi banyak rintangan baik keterbatasan yang disebabkan oleh lingkungan, lalu lintas eksisting maupun medan yang sulit (Barker, 1980).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan utama yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merencanakan Jembatan Sironoboyo menggunakan *precast posttensioned box girder* dengan metode *balanced cantilever* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan dimensi awal penampang elemen struktur jembatan Sironoboyo?
2. Bagaimana menganalisa pembebanan pada struktur bangunan atas jembatan?
3. Bagaimana menganalisa perhitungan kekuatan *box girder* untuk menahan gaya-gaya yang bekerja?
4. Bagaimana menganalisa kehilangan gaya prategang yang terjadi pada *precast posttensioned box girder*?
5. Bagaimana mengontrol desain *precast posttensioned box girder* terhadap kekuatan dan kestabilan struktur saat pelaksanaan maupun setelah konstruksi?
6. Bagaimana metode pelaksanaan konstruksi jembatan Sironoboyo dengan sistem *balanced cantilever*?

7. Bagaimana menuangkan hasil perancangan ke dalam bentuk gambar teknik yang sesuai standar?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini perlu difokuskan sehingga diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan pendekat.
2. Tidak membahas analisa biaya dan waktu konstruksi.
3. Tidak membahas *mechanical*, *electrical* dan *plumbing*.
4. Tidak meninjau aspek arsitektural dan geometri jalan raya (*alignment* vertikal dan horizontal).
5. Tidak meninjau gaya gempa vertikal serta gaya gempa saat konstruksi.

### 1.4 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara menentukan dimensi awal penampang elemen struktur jembatan Sirnobojo.
2. Mengetahui cara menganalisa pembebanan pada struktur bangunan atas jembatan.
3. Mengetahui cara menganalisa perhitungan kekuatan box girder untuk menahan gaya-gaya yang bekerja.
4. Mengetahui cara menganalisa kehilangan gaya prategang yang terjadi pada *precast posttensioned box girder*.
5. Mengetahui cara mengontrol desain *precast posttensioned box girder* terhadap kekuatan dan kestabilan struktur saat pelaksanaan maupun setelah konstruksi.
6. Mengetahui metode pelaksanaan konstruksi jembatan Sirnobojo dengan sistem *balanced cantilever*.
7. Mengetahui cara menuangkan hasil perancangan ke dalam bentuk gambar teknik yang sesuai standar.

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa diperoleh dari tugas akhir ini adalah dengan adanya desain struktur jembatan Sirnobojo yang diharapkan mampu menjadi solusi dalam merancang sebuah jembatan maupun jalan layang yang kuat secara struktural. Dalam dunia ketekniksipilan, dengan adanya desain jembatan Sirnobojo

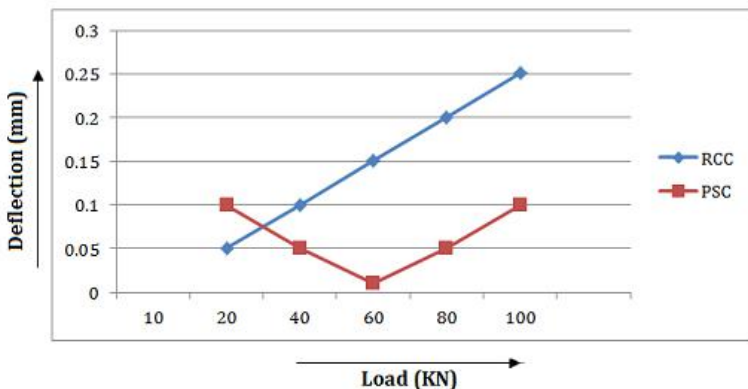
ini diharapkan dapat menjadi inspirasi pembangunan jembatan atau jalan layang bentang panjang masa depan yang lebih modern. Manfaat yang dapat dirasakan penulis sendiri yaitu dapat meningkatkan pengetahuan dan kemampuan dalam ilmu perencanaan jembatan maupun ilmu beton pratekan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton Prategang

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Beton prategang terdiri dari beton mutu tinggi dan baja mutu tinggi yang dapat berupa kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*) atau batang (*bar*) untuk memberikan gaya prategang (Lin and Burns, 1982). Menurut Sharma & Kushwah (2015), balok beton prategang lebih efektif dibandingkan dengan beton bertulang dalam menahan lentur pada berbagai kondisi pembebanan. Struktur beton prategang memiliki kelebihan dalam perilaku struktural dan ketahanan struktur dibanding dengan beton bertulang.

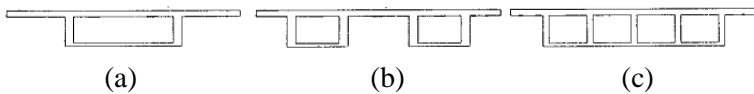


**Gambar 2. 1** Perbandingan defleksi antara balok beton bertulang (RCC) dengan balok beton prategang (PSC) saat diberikan beban tertentu (Sharma & Kushwah, 2015)

#### 2.2 Box Girder

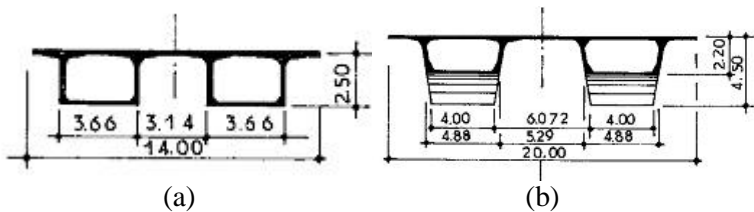
*Box girder* memiliki efektivitas yang signifikan dibandingkan *I-girder* dalam hal kecepatan konstruksi (Avenidaño et al. 2013). *Box girder* memiliki stabilitas saat konstruksi maupun saat pemakaian yang cukup baik akibat kekakuan torsi pada

penampang (Muller, 1975). *Box-girder* beton biasanya berupa beton *cast in situ* atau *precast* dalam bentuk segmen-segmen yang dikonstruksi menggunakan *falsework* atau *launching frame* yang kemudian diberikan gaya prategang. Lantai kendaraan pada *box-girder* dapat berupa baja, beton bertulang atau beton prategang. Tipikal penampang *box girder* beton dapat berupa *single cell box* (box tunggal), *multiple spine* (dua atau lebih box yang terpisah) atau *multicell with a common bottom flange* (dua atau lebih box yang bersebelahan) (Sennah and Kennedy, 2002).



**Gambar 2. 2** Penampang (a) *single cell box*, (b) *multiple spine*, dan (c) *multicell with a common bottom flange* (Sennah and Kennedy, 2002)

Desain penampang *box girder* beton dapat berupa *constant depth* atau *variable depth*. *Box girder* dengan desain *constant depth* memiliki beberapa kelebihan yaitu sederhananya proses konstruksi dan sisi estetik yang baik. Namun, desain penampang *constant depth* hanya ekonomis untuk bentang di bawah 60 meter. Untuk bentang yang lebih panjang, desain penampang *variable depth* harus digunakan karena penampang yang lebih tinggi dapat mengatasi momen kantilever dengan lebih baik (Muller, 1975).



**Gambar 2. 3** Contoh desain penampang (a) *constant depth* dan (b) *variable depth* (Muller, 1975)

## 2.3 Metode Pelaksanaan Konstruksi

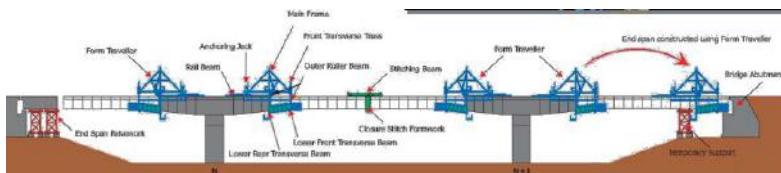
### 2.3.1 Sistem Konstruksi Segmental

Salah satu kelebihan dari sistem segmental untuk konstruksi jembatan beton adalah ekonomis dan efisien untuk struktur bentang panjang. Metode ini juga termasuk yang tercepat di antara metode-metode *erection* lain dalam konstruksi jembatan (Muller, 1975). Menurut VSL International (2012), berikut adalah beberapa teknik konstruksi jembatan segmental:

a. Metode untuk jenis beton cor di tempat:

1. Metode *balanced cantilever* dengan menggunakan *form traveller*

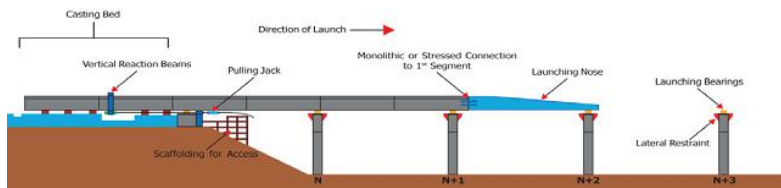
Dalam metode ini, panjang bentang dapat berkisar antara 300 hingga 800 ft (92 hingga 244 meter). Panjang per segmen rata-rata untuk metode ini adalah sekitar 16 ft (5 meter) dengan *cycle time* rata-rata mencapai 5 hari.



**Gambar 2. 4** Metode *balanced cantilever* menggunakan *form traveller* (VSL International, 2012)

2. Metode *incremental launching*

Dalam metode ini, panjang bentang dapat berkisar antara 200 hingga 350 ft (61 hingga 107 meter). Metode ini menggunakan bekisting standar dengan *cycle time* tiap segmen mencapai 7 hari.



**Gambar 2. 5** Metode *incremental launching* (VSL International, 2012)

b. Metode untuk jenis beton pracetak:

1. Metode *balanced cantilever* dengan menggunakan *launching gantry*

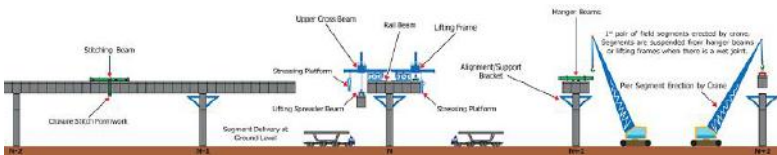
Dalam metode ini, panjang bentang dapat mencapai 350 ft (107 meter). Metode ini dapat mempercepat proses *erection* sampai dengan 6 pasang segmen per *cycle*. Segmen dapat diangkat langsung dari bawah atau dengan menggeser segmen terlebih dahulu sebelum pemasangan. Kekurangan dari metode ini adalah keterbatasan lengkung horizontal pada geometri jembatan yang bisa dicapai dan beban sementara yang langsung bertumpu pada pilar jembatan.



**Gambar 2. 6** Metode *balanced cantilever* menggunakan *launching gantry* (VSL International, 2012)

2. Metode *balanced cantilever* dengan menggunakan *lifting frames*

Metode ini dapat digunakan untuk bentang yang lebih panjang dan segmen yang lebih besar. Proses *erection* pada metode ini relatif lebih sederhana dan konstruksi *deck* jembatan dapat dilakukan secara non-linier.



**Gambar 2. 7** Metode *balanced cantilever* menggunakan *lifting frames* (VSL International, 2012)

3. Metode *balanced cantilever* dengan menggunakan *crane*



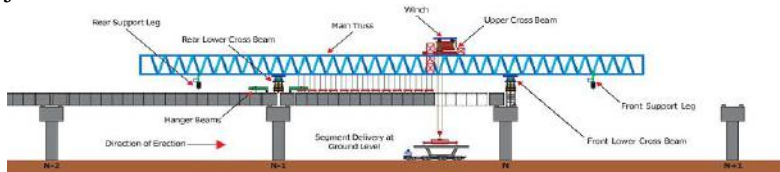
Metode ini dapat digunakan untuk bentang yang lebih panjang dengan ukuran segmen yang kecil. Kelebihan dari metode ini adalah penggunaan peralatan yang relatif umum dan tenaga kerja yang lebih sedikit.



**Gambar 2. 8** Metode *balanced cantilever* menggunakan *crane* (VSL International, 2012)

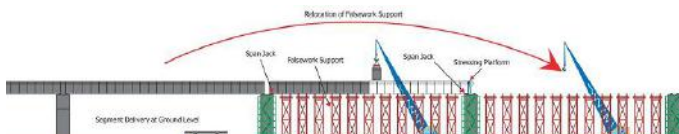
4. Metode *span-by-span* dengan menggunakan *launching gantry*

Panjang bentang untuk metode ini umumnya lebih pendek dari 170 ft (52 meter) dengan kecepatan *erection* hingga 1 bentang per hari. Dalam metode ini, segmen dapat diangkat langsung dari bawah atau dengan menggeser segmen terlebih dahulu sebelum pemasangan. Kelebihan dari metode ini adalah kebutuhan tenaga kerja yang lebih sedikit, sedangkan kekurangan dari metode ini adalah beban sementara yang langsung bertumpu pada pilar jembatan.



**Gambar 2. 9** Metode *span-by-span* menggunakan *launching gantry* (VSL International, 2012)

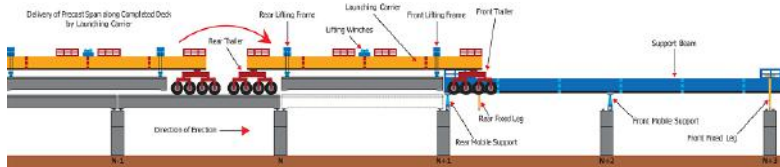
5. Metode *span-by-span* dengan menggunakan *falsework*



**Gambar 2. 10** Metode *span-by-span* menggunakan *falsework* (VSL International, 2012)

Metode ini hanya dapat digunakan untuk bentang pendek dan keadaan lingkungan yang terbatas. Kelebihan dari metode ini adalah peralatan yang mudah didapat dan dapat digunakan berkali-kali.

1. Metode *full span* dengan menggunakan *launching gantry* atau *heavy lift*



**Gambar 2. 11** Metode *full span* menggunakan *launching gantry* (VSL International, 2012)

Metode ini pada umumnya hanya digunakan untuk jembatan bentang pendek. Kelebihan dari metode ini adalah durasi pelaksanaan yang sangat cepat dan kualitas material dapat terjaga dengan baik. Kekurangan dari metode ini adalah besarnya beban sementara yang terjadi akibat peralatan *erection* dan besarnya ukuran segmen.



**Gambar 2. 12** Metode *full span* menggunakan *heavy lift* (VSL International, 2012)

### **2.3.2 Balok Menerus dan Kantilever pada Struktur *Precast Posttensioned Box Girder***

Pada struktur kantilever, defleksi akibat perbedaan susut terjadi sendiri-sendiri untuk masing-masing struktur sebelum disambung menjadi struktur menerus. Sambungan pada bagian bentang tengah dapat berupa seperti sendi (*hinged*) atau *moment-resisting*. Pada struktur bentang panjang, penampang yang berbeda-beda tiap segmen hanya menyebabkan defleksi yang kecil jika menggunakan sambungan jenis *moment-resisting*. Pada umumnya, struktur box girder menerus yang menggunakan sambungan jenis *moment-resisting* pada bentang tengah mengalami defleksi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan sambungan jenis sendi.

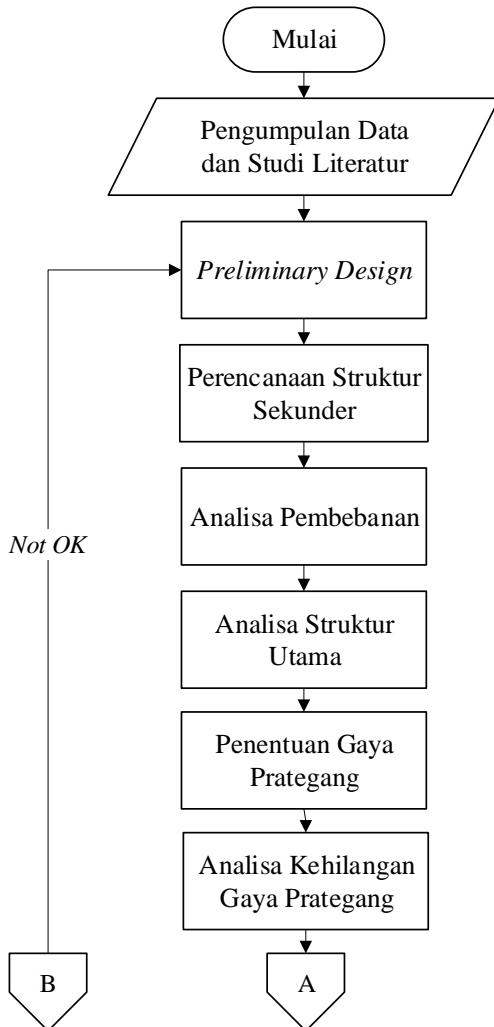
Pengamatan lapangan terhadap jembatan-jembatan jenis ini menunjukkan defleksi jembatan cor di tempat akan terus-menerus bertambah untuk jangka waktu yang lama. Sedangkan untuk jembatan precast segmental, defleksi pada umumnya akan lebih kecil dan lebih stabil (pertambahan defleksi tidak meningkat dari waktu ke waktu) (Kristek et al. 2006).

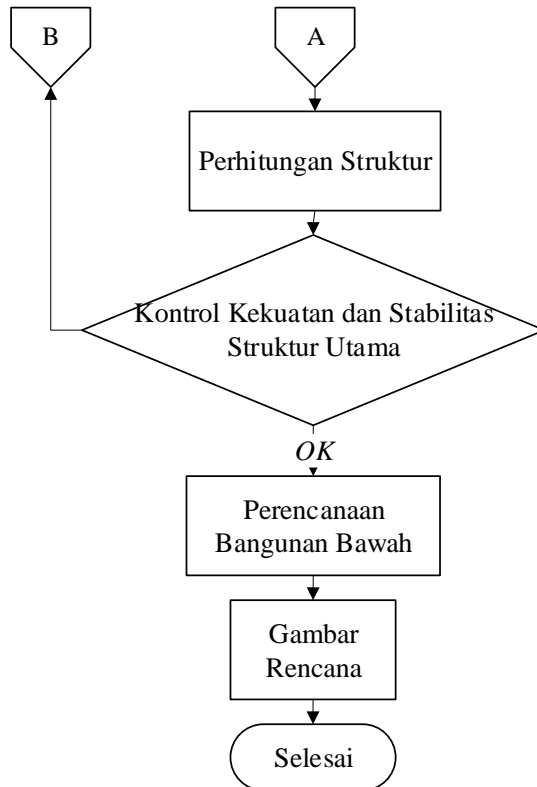
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir dalam pengerjaan tugas akhir ini:





**Gambar 3. 1** Diagram Alir

### 3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Berikut adalah data perencanaan Jembatan Sironboyo menggunakan *posttensioned box girder*:

1. Panjang jembatan: 230,4 m (67.2 + 96 + 67.2 m)
2. Lebar jembatan : 13.5 m
3. Jenis jembatan : *Multi Span Continuous Posttensioned Box Girder*
4. Peruntukan jembatan : Jalan raya
5. Lokasi jembatan : Kabupaten Pacitan, Jawa Timur

### 3.3 Preliminary Design

Tahap preliminary design meliputi desain dimensi bagian-bagian dari box girder. Bagian-bagian box girder meliputi mutu bahan, tinggi penampang, sisi kantilever, slab atas, badan box, slab bawah dan panjang segmen box.

#### 3.3.1 Mutu Bahan

Mutu beton untuk struktur *precast posttensioned box girder* adalah  $f_c' = 60$  MPa dan baja tendon prategang adalah *seven-wire grade 270, low relaxation strand* sesuai ASTM A 416.

#### 3.3.2 Tinggi Penampang

Untuk model jembatan *box girder* yang memiliki bentuk mengecil di tengah (*variable depth*), ketentuan tinggi penampang adalah sebagai berikut (Podolny et al. 1982):

$$\text{Area tumpuan} = \frac{1}{16} > \frac{h_1}{L} > \frac{1}{20} \quad (3.1)$$

$$\text{Area tengah bentang} = \frac{1}{30} > \frac{h_1}{L} > \frac{1}{50} \quad (3.2)$$

Dengan :

$h_0$  = tinggi penampang di tumpuan

$h_1$  = tinggi penampang di tengah bentang atau lapangan

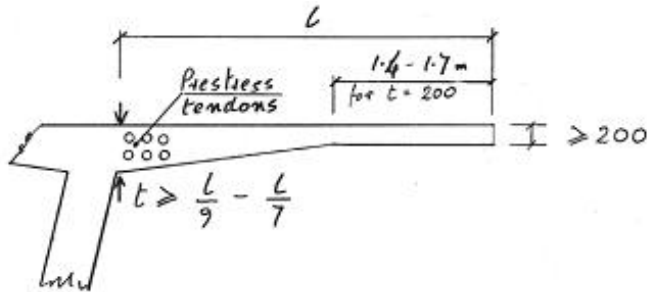
L = panjang bentang jembatan.

#### 3.3.3 Jarak Antar Badan Box (*Web*)

Jarak antar badan box pada umumnya adalah sebesar 4,5 m hingga 7,5 m untuk mengurangi jumlah badan box yang diperlukan dengan tetap menjaga besar momen lentur transversal yang dipikul oleh pelat atas maupun bawah (Podolny et al. 1982).

#### 3.3.4 Sisi Kantilever

Panjang sisi kantilever pada umumnya adalah sekitar  $\frac{1}{4}$  lebar total box girder (Podolny et al. 1982). Ketebalan minimum pelat kantilever tidak boleh kurang dari 200 mm pada ujungnya, dengan panjang pelat kantilever dengan tebal konstan antara 1,4 hingga 1,7 m. Sedangkan ketebalan pelat di daerah pertemuan dengan *web* tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{7}$  hingga  $\frac{1}{9}$  panjang pelat kantilever (Benaim, 2008).



**Gambar 3. 2** Geometri dari sisi kantilever (Benaim, 2008)

### 3.3.5 Pelat Atas

Tebal pelat atas minimal untuk mencegah *punching shear* yang diakibatkan oleh beban terpusat roda adalah sebesar 150 mm. Namun, ketebalan pelat minimum direkomendasikan sebesar 175 mm. Berikut adalah ketebalan minimum untuk pelat berdasarkan jarak antar badan box (Podolny et al. 1982):

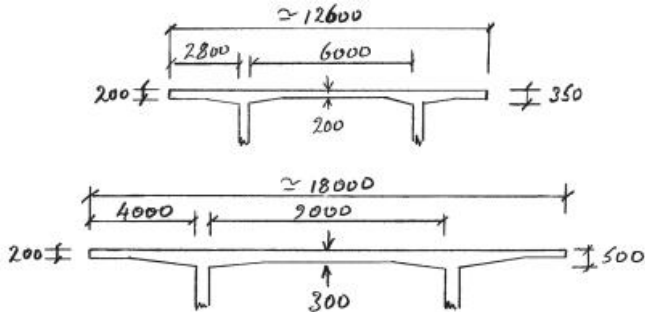
**Tabel 3. 1** Ketebalan Minimum Pelat Atas Berdasarkan Jarak Antar Badan Box

Jarak Antar Badan Box	Ketebalan Minimum Pelat Atas
< 3 m	175 mm
3 m – 4,5 m	200 mm
4,5 m – 7,5 m	250 mm
> 7,5 m	Direkomendasikan untuk menggunakan sistem <i>rib</i> atau <i>voided slab</i>

Jika dilihat dari segi *practical*-nya, ketebalan pelat atas untuk lebar badan sampai dengan 6 m (lebar struktur jembatan sekitar 12,6 m) adalah 200 mm dengan ketebalan di daerah pertemuan dengan *web* adalah 350 mm. Untuk lebar badan hingga 9 m (lebar struktur jembatan sekitar 18 m), diperlukan ketebalan pelat atas 300 mm dengan ketebalan di daerah pertemuan dengan



*web* adalah 500 mm. Untuk lebar jembatan yang lebih lebar, diperlukan untuk menambah jumlah box (Benaim, 2008).



**Gambar 3. 3** Ketebalan pelat atas yang umum untuk lebar badan box tertentu (Benaim, 2008)

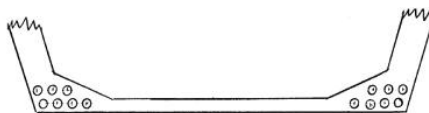
### 3.3.6 Badan Box

Ketebalan minimum untuk badan *box* adalah sebagai berikut (Podolny et al. 1982):

- 200 mm jika selongsong tendon tidak berada pada *box*;
- 250 mm jika terdapat selongsong tendon berukuran kecil yang dipasca-tarik secara vertikal maupun longitudinal pada badan *box*;
- 300 mm jika terdapat selongsong tendon (12 ½ in) pada badan *box*;
- 350 mm jika terdapat ankur tendon (12 ½ in) pada badan *box*.

### 3.3.7 Pelat Bawah

Ketebalan pelat bawah minimal sebesar 1/20 jarak antar *web* dan tidak boleh kurang dari 200 mm (Benaim, 2008). Jika terdapat tendon pada arah longitudinal di pelat bawah, maka ketebalan minimumnya harus sebesar 200 hingga 250 mm (Podolny et al. 1982).



**Gambar 3. 4** Konfigurasi slab bagian bawah (Benaim, 2008)

### 3.3.8 Panjang Segmen Box

Panjang tiap segmen pada umumnya adalah sekitar 3 hingga 5 m dengan panjang minimum 2,5 meter, kecuali segmen pada bagian *pier* yang dibatasi hanya 2 hingga 2,5 m (Benaim, 2008).

### 3.4 Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder yang digunakan adalah pembatas samping dari beton atau disebut dengan parapet. Kuat tekan beton untuk pembatas jalan  $f'c = 30$  MPa. Mutu baja untuk pembatas jalan  $f_y = 400$  Mpa.

### 3.5 Analisa Pembebanan

Pembebanan yang diberikan pada struktur jembatan ini mengacu pada SNI 1725:2016. Beban terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (3.3)$$

Dengan:

$\eta_i$  = faktor pengubah respons

$\gamma_i$  = faktor beban

$Q_i$  = beban yang bekerja pada jembatan

Jenis pembebanan yang perlu ditinjau antara lain:

- Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri (MS) dan beban mati tambahan/utilitas (MA).

- Beban hidup kendaraan

Beban lalu lintas terdiri dari beban lajur “D” yang terdiri dari beban terbagi rata (BTR) serta beban garis terpusat (BGT) dan beban truk “T”. Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  yaitu:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9.0 \text{ kPa} \quad (3.4)$$

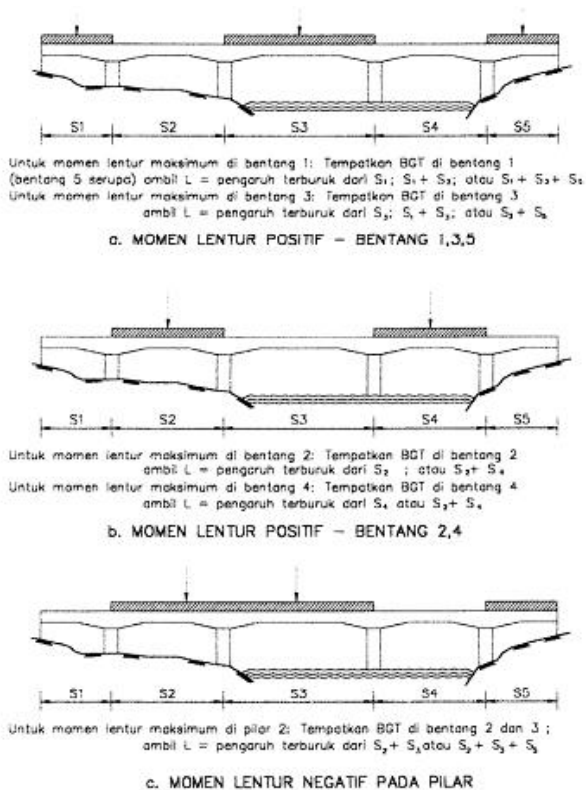
$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9.0 \left( 0.5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (3.5)$$

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas  $p = 49,0$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada

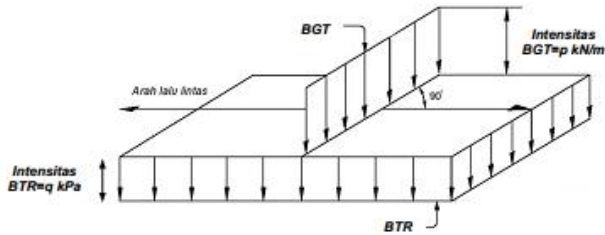
jembatan. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil yang terbesar dari:

- Pengaruh beban truk dikalikan faktor beban dinamis (FBD)
- Pengaruh beban terdistribusi “D” dan beban garis terpusat BGT dikalikan FBD



**Gambar 3.5** Alternatif penempatan beban “D” dalam arah memanjang untuk jembatan menerus (SNI 1725:2016)



**Gambar 3. 6** Beban lajur “D” (SNI 1725:2016)

- Gaya rem  
Gaya rem (TB) harus diambil yang terbesar dari:
  - 25% dari berat gandar truk desain
  - 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

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

- Beban angin

Tekanan angin diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $v_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau air, kecepatan angin rencana  $v_{DZ}$  harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$v_{DZ} = 2.5 \frac{v_{10}}{v_B} \ln \frac{z}{z_0} \quad (3.6)$$

Dengan:

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

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

$v_B$  = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm

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

$v_0$  = kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi (km/jam)

$Z_0$  = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi (mm)

Tekanan angin rencana pada struktur ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{v_{DZ}}{v_B} \right)^2 \quad (3.7)$$

Dengan:

$P_D$  = tekanan angin rencana pada struktur (MPa)

$P_B$  = tekanan angin dasar (MPa)

Tekanan angin rencana pada kendaraan harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan.

- Beban gempa

Beban gempa (EQ) direncanakan sesuai RSNI 2833:201x. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan dengan persamaan berikut:

$$E_Q = \frac{c_{sm}}{R_D} \times W_t \quad (3.8)$$

Dengan:

$E_Q$  = gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  = koefisien respons gempa elastis

$R_D$  = faktor modifikasi respons

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

- Pengaruh pra-tegang

Prategang (PR) akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit.

- Pengaruh susut dan rangkak  
Pengaruh rangkak dan penyusutan (SH) harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

- Beban temperatur (T)  
Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut.

### **3.6 Analisa Struktur Utama**

Jembatan box girder dianalisa untuk mendapatkan gaya dalam yang dialami oleh struktur yang diakibatkan oleh beban yang bekerja. Dalam perhitungan gaya dalam, beban yang digunakan meliputi :

1. Beban mati
2. Beban hidup kendaraan
3. Gaya rem
4. Beban angin
5. Beban gempa
6. Pengaruh prategang
7. Pengaruh susut dan rangkak
8. Beban temperatur

Karena metode konstruksi yang digunakan merupakan *balanced cantilever* dengan menggunakan *launching gantry*, maka pembebanan pada tahap konstruksi harus diperhatikan (saat struktur merupakan kantilever). Masing-masing beban di atas dikombinasikan dengan menggunakan kombinasi beban servis atau layan untuk struktur statis tak tentu serta beban sementara dan beban gempa untuk struktur kantilever. Untuk perhitungan gaya dalam yang terjadi pada struktur statis tak tentu dan struktur kantilever, digunakan program bantu analisa struktur Midas Civil.

### 3.7 Penentuan Gaya Prategang

Untuk menentukan tegangan yang dialami beton pratekan, termasuk untuk menentukan gaya prategang digunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{F \times e \times y}{I} \pm \frac{M \times y}{I} \quad (3.9)$$

Dengan:

- $\sigma$  = tegangan pada beton pratekan (Mpa)
- F = gaya pada serat atas / bawah (N)
- A = luas daerah yang dikenai gaya (mm<sup>2</sup>)
- e = eksentrisitas (mm)
- I = inersia penampang (mm<sup>4</sup>).
- M = momen akibat beban sendiri / luar (kNm).
- y = jarak dari sumbu yang melalui titik berat (mm)

Tegangan ijin beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang sesuai RSNI T-12-2004 adalah sebagai berikut:

- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan tidak boleh melebihi  $0,60 f_{ci}'$
- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tarik tidak boleh melebihi  $0,25 \sqrt{f_{ci}'}$

Tegangan ijin beton saat beban layan sesuai RSNI T-12-2004 dan SNI 2847:2013 adalah sebagai berikut:

- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban tetap tidak boleh melebihi  $0,45 f_{c'}$
- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban total tidak boleh melebihi  $0,60 f_{c'}$
- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tarik tidak boleh melebihi  $0,5 \sqrt{f_{c'}}$

Tegangan ijin baja saat beban layan sesuai RSNI T-12-2004 dan adalah sebagai berikut:

- Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, tidak boleh melebihi  $0,70 f_{pu}$
- Untuk kondisi layan, tidak boleh melebihi  $0,60 f_{pu}$

Tegangan ijin baja saat transfer gaya prategang sesuai RSNI T-12-2004 dan adalah sebagai berikut:

- Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar 0,94 fpy tetapi tidak lebih besar dari 0,85 fpu atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator, pembuat tendon prategang atau jangkar.
- Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar 0,82 fpy, tetapi tidak lebih besar dari 0,74 fpu

### 3.8 Analisa Kehilangan Gaya Prategang

Dalam perencanaan beton pratekan, analisis gaya-gaya efektif dari tendon penting sekali untuk diketahui. Menurut Lin dan Burns (1982), disebutkan bahwa kehilangan gaya prategang akan terjadi dalam dua tahap dan keduanya akan sangat mempengaruhi hasil akhir gaya-gaya efektif tendon yang akan terjadi.

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:

#### 3.8.1 Perpendekan Elastis Beton (ES)

Pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja prategang juga akan ikut memendek, sehingga akan menimbulkan kehilangan prategang. Untuk sistem pasca-tarik, jika tendon yang dimiliki lebih dari satu dan tendon-tendon tersebut ditarik secara berurutan, maka gaya prategang secara bertahap bekerja pada beton, perpendekan beton bertambah apabila setiap kabel diikatkan padanya sehingga kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis berbeda-beda pada tendon. Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastik beton dihitung dengan rumus:

$$\sigma_{es} = K_{es} \times \frac{E_s}{E_c} \times f_{cir} \quad (3.10)$$

Dengan nilai  $f_{cir}$  sebagai berikut:



$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 e^2}{I} - \frac{M_G e}{I} \quad (3.11)$$

Dimana:

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton (MPa)

$K_{ES}$  = koefisien elastis  
= 0,5 (pasca-tarik)

$E_{ci}$  = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa)

$E_s$  = modulus elastisitas baja (MPa)

$f_{cir}$  = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa)

### 3.8.2 Gesekan (FR)

Kehilangan daya prategang akibat gesekan terjadi karena desakan tendon pada selongsong saat terjadi penarikan tendon. Besarnya nilai kehilangan tegangan akibat gesekan adalah sebagai berikut:

$$FR = F_0(1 - e^{-\mu\alpha - KL}) \quad (3.12)$$

Dengan:

FR = kehilangan prategang akibat gesekan (MPa)

$F_0$  = tegangan awal (N)

$\mu$  = koefisien friksi

$\alpha$  = perubahan sudut  
= 8 f/L

K = koefisien wobble

L = panjang kabel (m)

### 3.8.3 Slip Angkur (SA)

Untuk kebanyakan sistem pasca tarik, pada saat tendon ditarik sampai kekuatan tertentu kemudian dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke angkur, peralatan angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi, jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Slip angkur hanya berpengaruh sejauh X dari angkur ke arah memanjang

masing-masing tendon. Berikut adalah perhitungan nilai X untuk tendon yang nyaris lurus:

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times g}{\sigma_0 \times K}} \quad (3.13)$$

Dengan:

- X = jarak pengaruh slip ankur (mm)
- $E_s$  = modulus elastisitas tendon prategang (MPa)
- g = 2.5 (brosur VSL)
- $\sigma_0$  = tegangan tendon prategang awal (MPa)
- K = koefisien wobble

Tahap kedua, pada saat beban bekerja setelah semua gaya prategang terjadi dan tingkatan prategang efektif jangka panjang telah tercapai. Akibat waktu yang lama akan terjadi kehilangan gaya prategang sebagai berikut:

#### 3.8.4 Rangkak Beton (CR)

Kehilangan gaya prategang akibat rangkak beton harus diperhitungkan dari analisis regangan rangkak yang tergantung dari waktu. Kehilangan tegangan akibat rangkak beton dihitung dengan rumus:

$$CR = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times (f_{cir} - f_{cds}) \quad (3.14)$$

Dengan:

- CR = kehilangan prategang akibat rangkak (MPa)
- $K_{CR}$  = koefisien elastis  
= 1,6 (pascatarik)
- $E_s$  = modulus elastisitas baja (MPa)
- $E_c$  = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa)
- $f_{cir}$  = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa)
- $f_{cds}$  = tegangan beton pada c.g.s akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktural setelah diberi gaya prategang (MPa)

### 3.8.5 Susut Beton (SH)

Karena susut tergantung dari waktu, kita tidak mengalami 100% kehilangan tegangan batas dalam beberapa tahun. Besarnya susut yang terjadi pada beton pratekan dapat dijelaskan menggunakan persamaan berikut ini:

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} \times K_{SH} \times \left(1 - 0.0236 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH) \quad (3.15)$$

Dengan:

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

$K_{SH}$  = koefisien susut beton

$E_S$  = modulus elastisitas baja (MPa)

V = luas penampang box ( $\text{cm}^2$ )

S = keliling penampang box (cm)

RH = kelembaban relatif

### 3.8.6 Relaksasi Baja (RE)

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

$$RE = (K_{RE} - J(SH + CR + ES)) \times C \quad (3.16)$$

Dengan:

RE = kehilangan prategang akibat relaksasi baja (MPa)

$K_{RE}$  = koefisien relaksasi (MPa)

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

CR = kehilangan prategang akibat rangkai (MPa)

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton (MPa)

C = konstanta berdasarkan nilai  $f_{pi}/f_{pu}$

J = faktor berdasarkan tipe tendon

### 3.9 Perhitungan Struktur

Selain adanya tendon, *box girder* juga perlu diberi tulangan untuk menahan gaya – gaya yang terjadi ataupun rangkai dan susut pada saat pelaksanaan maupun kondisi layan. Perhitungan

tulangan mengacu pada RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.

### 3.9.1 Perhitungan Penulangan Lentur

Penentuan tulangan lentur dihitung berdasarkan arah melintang *box girder*. Hal ini karena lebar dari *box girder* lebih panjang dari panjang segmen sehingga momen lintang akan lebih besar, dan untuk arah memanjang menggunakan tulangan susut karena semua momen memanjang telah dilawan oleh tendon.

Berdasarkan RSNI T-12-2004 perhitungan tulangan minimum untuk struktur lentur adalah sebagai berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \quad (3.17)$$

Dan tidak lebih kecil dari:

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (3.18)$$

Berdasarkan RSNI T-12-2004 perhitungan tulangan maksimum untuk struktur lentur adalah sebagai berikut:

$$\rho_{balance} = \frac{0.85f_c' \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.19)$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_{balance} \quad (3.20)$$

Berdasarkan RSNI T-12-2004 perhitungan kebutuhan tulangan untuk struktur lentur adalah sebagai berikut:

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c'} \quad (3.21)$$

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} \quad (3.22)$$

$$R_n = \frac{M_n}{bdx^2} \quad (3.23)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \quad (3.24)$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max} \quad (3.25)$$

$$A_s = \rho b dx \quad (3.26)$$

### 3.9.2 Perhitungan Penulangan Geser

Kekuatan penampang untuk menahan retak akibat geser ditentukan oleh kekuatan dari beton dan tulangan geser yang dipasang. Adapun prosedur perhitungan dari perencanaan tulangan geser berdasarkan peraturan RSNI T-12-2004 adalah sebagai berikut :

1. Retak geser pada bagian badan akibat geseran pada badan penampang (*web cracking*),  $V_{CW}$

$$V_{CW} = V_t + V_p \quad (3.27)$$

$$v_t = 0.3(\sqrt{f_c'} + f_{pc} \times b_w \times d) \quad (3.28)$$

$$f_{pc} = \frac{f_{eff}}{A_c} \quad (3.29)$$

Dengan:

$V_{CW}$  = kuat geser pada bagian badan

$f_c'$  = mutu beton prategang (MPa)

$f_{pc}$  = Tegangan tekan rata-rata pada beton akibat gaya prategang efektif (sesudah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang) pada titik berat penampang yang menahan beban luar (MPa)

$b_w$  = lebar badan

$V_p$  = tekanan tendon ke atas

$d$  = jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik longitudinal

2. Retak miring akibat lentur (*inclined flexure shear cracking*),  $V_{ci}$

$$v_{ci} = \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{20} \times b_w \times d \right) + v_d + \left( \frac{v_t M_{cr}}{M_{max}} \right) \geq \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{7} \times b_w \times d \right) \quad (3.30)$$

Dengan:

$V_{ci}$  = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser

$V_d$  = Gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor

$V_i$  = Gaya geser pada penampang akibat beban luar tidak terfaktor

$M_{cr}$  = Momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar

Dari kekuatan penampang yang ada dan geseran eksternal yang terjadi, maka dapat ditentukan apakah penampang perlu tulangan geser atau cukup dipasang tulangan geser minimum. Besarnya gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan sesuai RSNI T-12-2004 adalah:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.31)$$

Keterangan :

$V_n$  = Kuat geser nominal

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat geser tulangan

Dengan mengetahui besarnya gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan maka dapat direncanakan tulangan geser untuk menahan gaya geser tersebut. Berikut merupakan rumus untuk perhitungan tulangan geser:

1. Untuk tulangan geser tegak lurus berdasarkan RSNI T-12-2004:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3.32)$$

Beberapa ketentuan untuk tulangan geser :

- Tulangan geser dipasang minimum berdasarkan RSNI T-12-2004:

$$\text{Syarat: } \frac{2}{3} < \frac{V_u}{\phi} < V_c \quad (3.33)$$

$$A_{v,\min} = \frac{b_w s}{a f_y} \quad (3.34)$$

- Kemampuan tulangan geser maksimum berdasarkan RSNI T-12-2004:

$$v_{s.\max} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d \quad (3.35)$$

- Jarak tulangan:

$$\text{Jika } v_s \leq \frac{\sqrt{f_c'}}{a} b_w d \quad \text{maka } S \leq \frac{1}{2} d \text{ atau } 600 \text{ mm} \quad (3.36)$$

$$\text{Jika } v_s \geq \frac{\sqrt{f_c'}}{a} b_w d \quad \text{maka } S \leq \frac{1}{4} d \text{ atau } 300 \text{ mm} \quad (3.37)$$

Kontrol tulangan geser dilakukan pada bentang yang terpanjang yaitu pada bentang tengah dengan asumsi bentang ini mengalami gaya gesekan terbesar karena memiliki bentang terbesar.

### 3.9.3 Perhitungan Penulangan Torsi

Berdasarkan RSNI T-12-2004, tulangan puntir tidak diperlukan apabila:

$$\frac{T_u}{\phi T_c} < 0.25 \quad (3.38)$$

Dengan:

$$\phi = 0.7$$

$$T_c = J_t (0.3 \sqrt{f_c'}) \sqrt{1 + \frac{10 f_{pe}}{f_c'}} \quad (3.39)$$

$$J_t = \text{modulus puntir} \\ = 0.4 \sum x^2 y \quad (3.40)$$

$f_{pe}$  = tegangan tekan dalam beton akibat gaya prategang efektif saja (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang pada serat terluar dari penampang di mana tegangan tarik terjadi akibat beban luar (MPa))

### 3.9.4 Sambungan antar Segmen Box Girder (*Shear Key*)

Desain sambungan (*shear key*) antar segmen mengacu pada *Bridge Design Specifications - American Segmental Bridge*

*Institute*, 2005. Desain sambungan untuk box girder precast segmental terbagi menjadi dua bagian sambungan:

- *Shear key* : terletak pada sisi muka badan box girder yang biasanya dibuat bergelombang untuk mendapatkan kinerja sambungan geser yang optimal.
- *Alignment key*: terletak pada pelat atas dan bawah box girder. Sambungan ini tidak diharapkan untuk menyalurkan gaya geser utama yang terjadi, melainkan sebagai penyelaras antara dua segmen yang diangkat secara vertical dan horizontal. Untuk *single cell box girder*, umumnya tiga buah *alignment key* dipasang pada plat atas dan plat bawah.

### 3.10 Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur Utama

Berdasarkan Lin dan Burns (1982), kontrol kekuatan dan stabilitas struktur meliputi:

#### 3.10.1 Kontrol Tegangan

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi pada saat transfer gaya prategang dan kondisi batas layan apakah dimensi balok dapat menerima tegangan yang diberikan.

Tegangan prategang + tegangan akibat beban mati adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{F \times e \times y}{I} \pm \frac{M_{\text{mati}} \times y}{I} \quad (3.41)$$

Tegangan prategang + tegangan akibat beban mati + tegangan akibat beban hidup adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{F \times e \times y}{I} \pm \frac{M_{\text{mati}} \times y}{I} \pm \frac{M_{\text{hidup}} \times y}{I} \quad (3.42)$$

#### 3.10.2 Kontrol Momen Crack

Momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok beton prategang dihitung dengan teori elastik, dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya. Pada kondisi beton telah mengalami retak akibat beban berlebihan, susut atau sebab -sebab lainnya, maka retak-retak dapat terlihat



pada tegangan tarik yang terkecil (Lin dan Burns, 1982). Rumus untuk menentukan momen *crack* adalah :

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= f_{eff} \cdot e + \frac{f_{eff} \times I}{A \times y_b} + \frac{f_r \times I}{y_b} & (3.43) \\
 &= f_{eff} \left(1 + \frac{I}{A \times y_b}\right) + \frac{f_r \times I}{y_b} \\
 &= f_{eff} (e + K_1) + f_r \times W_b \\
 &= M_1 + M_2
 \end{aligned}$$

Dengan:

$M_1$  = momen akibat eksentrisitas gaya prategang

$M_2$  = momen tahanan dari beton

$f_{eff}$  = gaya prategang efektif (setelah dikurangi kehilangan)

$E$  = eksentrisitas

$W_b$  = tahanan serat bawah

$W_b$  = tahanan serat atas

$f_r$  = modulus retak

$$= 0,62 \sqrt{f_c'}$$

### 3.10.3 Kontrol Momen Batas

Kekuatan batas diestimasi dari terjadinya sendi plastis pada titik-titik kritis momen maksimum. Tetapi hal itu tidak dapat terjadi pada balok bertulang lebih (*over reinforced*) yang mengalami aksi plastis tidak sempurna. Perumusan kontrol momen batas adalah sebagai berikut:

$$M_u = \phi A_{ps} f_{ps} \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.44)$$

Dengan:

$M_u$  = momen batas

$\phi$  = 0.9

$A_{ps}$  = luas baja prategang

$f_{ps}$  = tegangan tarik pada tendon pada saat keruntuhan balok

$d$  = tinggi efektif

a = kedalaman sumbu netral

### 3.10.4 Lendutan

Perhitungan lendutan pada balok prategang merupakan perhitungan pendekatan untuk mendapatkan lendutan ke atas (*chamber*) dan lendutan ke bawah. Perhitungan lendutan dilakukan saat staging dan layan.

#### 3.10.4.1 Perhitungan lendutan saat *balance cantilever*

Pada saat *balance cantilever*, terdapat 3 macam lendutan yang terjadi yaitu lendutan ke atas akibat eksentrisitas tendon, lendutan ke bawah akibat kelengkungan tendon dan lendutan ke bawah akibat beban mati.

a. Lendutan ke atas (*chamber*) akibat eksentrisitas tendon

$$\Delta = \frac{F \cdot e \cdot L^2}{2EI} \quad (3.45)$$

Dimana:

F = gaya prategang setelah kehilangan langsung

e = eksentrisitas tendon prategang

L = panjang bentang kantilever

E = modulus elastisitas beton

I = momen inersia penampang pada perletakan

b. Lendutan ke bawah akibat kelengkungan tendon

$$\Delta = \frac{wL^4}{8EI} \quad (3.46)$$

Dengan:

w = beban merata kelengkungan tendon

$$w = \frac{2F \cdot e}{L^2} \quad (3.47)$$

c. Lendutan ke bawah akibat beban mati struktur

$$\Delta = \frac{wL^4}{8EI} \quad (3.48)$$

Dengan:

w = beban merata akibat berat struktur

### 3.10.4.2 Perhitungan lendutan saat masa layan

Pada saat masa layan, struktur merupakan balok menerus dengan tendon kantilever yang memikul beban mati struktur dan tendon layan yang memikul beban hidup saat masa layan serta beban mati tambahan. Karena struktur jembatan merupakan struktur statis tak tentu dan profil tendon cukup rumit, maka penggunaan Midas Civil diperlukan untuk perhitungan lendutan saat masa layan.

## 3.11 Perencanaan Bangunan Bawah

### 3.11.1 Perencanaan Perletakan

Perletakan adalah perangkat struktural yang berfungsi untuk mentransfer gaya dari suatu bagian jembatan ke bagian lainnya, biasanya dari struktur atas (*superstructure*) ke struktur bawah (*substructure*) serta mengakomodasi pergerakan, translasi dan/atau rotasi. Ada bermacam-macam tipe *bearing* seperti *rocker bearing*, *roller bearing*, *knuckle pin bearing*, *leaf bearing*, *pot bearing*, *sliding bearing*, *disc bearing*, *elastomer bearing*, dan lainnya seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan.

Dalam tugas akhir ini, dipilih tipe *pot bearing* yang terdiri dari piston baja menumpu pada cakram elastomer yang “terkurung” dalam pot/silinder baja. *Pot bearing* memiliki tiga jenis utama yaitu *Fixed Type* (TF), *Guided Type* (TGe) dan *Free Type* (TGa). Hasil gaya vertikal dan horizontal pada masing-masing perletakan yang didapatkan dari analisa struktur akan digunakan untuk penentuan dimensi *pot bearing* sesuai kapasitasnya (terdapat pada brosur produsen pembuat *pot bearing*).

### 3.11.2 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dalam menghitung daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan data tanah hasil Standard Penetration Test (SPT) pada lokasi proyek. Sesuai Wahyudi, 2009 daya dukung pondasi tiang pancang tunggal ditentukan oleh perlawanan tanah pada ujung tiang ( $Q_p$ ) dan unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ). Harga  $N$  untuk lempung atau pasir berlanau di bawah muka air tanah

harus dikoreksi menjadi  $N'$  berdasarkan rumusan sebagai berikut (Terzaghi dan Peck) :

$$N' = 15 + 0,5 (N-15) , \text{ untuk } N > 15 \quad (3.49)$$

Sedangkan harga  $N$  untuk jenis lempung, lanau dan pasir kasar bila  $N < 15$ , tidak ada koreksi.

Pada tugas akhir struktur bangunan bawah jembatan ini digunakan rumusan Luciano Decourt untuk perhitungan daya dukung pondasi dalam. Luciano Decourt menyajikan metode sebagai berikut:

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3.50)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} Q_L &= \text{Daya dukung tanah maksimum pada pondasi} \\ Q_P &= \text{Resistance Ultimate di dasar pondasi} \\ &= N_p \times K \times A_p \quad (3.51) \end{aligned}$$

Dengan:

$N_p$  = Harga rata-rata SPT disekitar  $4B$  di atas hingga  $4B$  di bawah dasar tiang pondasi ( $B$  = diameter pondasi)

$K$  = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi  
 =  $12 \text{ t/m}^2$ , untuk lempung (*clay*)  
 =  $20 \text{ t/m}^2$ , untuk lempung berlanau (*silty clay*)  
 =  $25 \text{ t/m}^2$ , untuk pasir berlanau (*silty sand*)  
 =  $40 \text{ t/m}^2$ , untuk pasir (*sand*)

$$\begin{aligned} Q_S &= \text{Resistance Ultimate akibat tekanan lateral} \\ &= q_s \times A_s = (N_s/3 + 1) \times A_s \quad (3.52) \end{aligned}$$

Dengan:

$q_s$  = Tegangan akibat lekukan lateral dalam  $\text{t/m}^2$

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

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

Sedangkan daya dukung ijin untuk 1 tiang adalah:

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = Q_L / 3 \quad (3.53)$$

### 3.11.3 Daya Dukung Tiang dalam Grup

Daya dukung ijin untuk 1 tiang dalam grup adalah:

$$P_{\text{ijin grup}} = C_e \times P_{\text{ijin 1 tiang}} \quad (3.54)$$

Dengan  $C_e$  dihitung menggunakan rumus Converse-Labarre sebagai berikut:

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\phi}{S}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad (3.55)$$

Dimana :

- $\phi$  = diameter tiang pancang (m)
- $S$  = jarak antar tiang pancang (m)
- $m$  = jumlah baris tiang pancang
- $n$  = jumlah kolom tiang pancang

### 3.11.4 Kontrol Konfigurasi Tiang Kelompok

Gaya yang terjadi pada tiang pancang dalam grup akibat beban-beban yang ada harus dikontrol dengan daya dukung tiang dalam grup. Berikut adalah cara mencari gaya pada tiang pancang dalam grup:

$$P_v = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2} \quad (3.56)$$

Dimana :

- $P$  = gaya aksial tiang pancang (ton)
- $M$  = momen yang terjadi pada tiang pancang pada arah x dan y (ton.m)
- $x$  dan  $y$  = koordinat tiang pancang dari pusat *pile cap* (m)

Dengan nilai  $P_v$  harus lebih kecil dari  $P_{ijin \text{ grup}}$ .

### 3.11.5 Penulangan Pilar, *Abutment* dan *Pile Cap*

Penulangan longitudinal pilar dan *abutment* ekuivalen dengan penulangan longitudinal kolom. Perhitungannya dapat menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya aksial dan momen akibat beban-beban yang ada pada badan *abutment* dan pilar. Sedangkan penulangan longitudinal arah memendek dan memanjang *pile cap* dapat menggunakan persamaan (3.17) hingga (3.26).

Kekuatan geser pilar dan *abutment* menggunakan rumus berikut :

$$v_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \quad (3.57)$$

Dimana :

$N_u$  = gaya aksial pada *abutment* atau pilar

$A_g$  = luas penampang badan *abutment* atau pilar

Sedangkan perhitungan penulangan geser *abutment* dan pilar dapat menggunakan persamaan (3.31) hingga (3.37).

### **3.12 Gambar Rencana**

Setelah semua desain selesai dan memenuhi persyaratan, maka selanjutnya menuangkan hasil desain ke dalam gambar dengan menggunakan program bantu AutoCad.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data Perencanaan**

Berikut adalah data perencanaan Jembatan Simoboyo menggunakan *posttensioned box girder*:

6. Panjang jembatan : 230,4 m (67.2 + 96 + 67.2 m)
7. Lebar jembatan : 13.5 m
8. Jenis jembatan : *Multi Span Continuous Precast Posttensioned Box Girder* non-prismatis tipe *single cell*
9. Peruntukan jembatan : Jalan raya
10. Lokasi jembatan : Kabupaten Pacitan, Jawa Timur
11. Metode pelaksanaan : metode pracetak dengan *balance cantilever* menggunakan *launching gantry*

#### **4.2 Preliminary Design**

Bagian-bagian box girder meliputi mutu bahan, tinggi penampang, sisi kantilever, slab atas, badan box, slab bawah dan panjang segmen box.

##### **4.2.1 Mutu Bahan**

###### **4.2.1.1 Beton**

- Kuat tekan beton prategang dan struktur bawah,  $f_c' = 60$  MPa
- Kuat tekan beton untuk struktur sekunder,  $f_c' = 30$  MPa

###### **4.2.1.2 Baja Tulangan Non-prategang**

- Mutu baja yang digunakan untuk tulangan *box girder* (struktur utama),  $f_y = 420$  MPa
- Mutu baja yang digunakan untuk tulangan struktur sekunder,  $f_y = 400$  MPa

###### **4.2.1.3 Baja Prategang**

Baja tendon prategang menggunakan jenis *seven-wire grade 270, low-relaxation strand* sesuai ASTM A 416 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Jenis *strand* : VSL ASTM A 416-06 grade 270  
Diameter nominal,  $d$  : 15.24 mm  
Luas penampang,  $A_p$  : 140 mm<sup>2</sup>

Tegangan leleh, $f_{py}$	: 1676 MPa
Tegangan putus, $f_{pu}$	: 1860 MPa
Modulus elastisitas, $E_s$	: 195000 MPa
Jenis tendon kantilever	: 6-15-15
Beban putus tendon kantilever	: 3911 kN
Jenis tendon servis	: 6-27-27
Beban putus tendon servis	: 7039 kN

## 4.2.2 Tegangan Ijin Bahan

### 4.2.2.1 Tegangan ijin beton sesaat setelah transfer

Transfer gaya prategang dilakukan saat umur beton melampaui 28 hari (beton *precast*), sehingga kuat tekan beton saat transfer,  $f_{ci}' = f_c' = 60$  MPa. Tegangan ijin beton saat transfer gaya prategang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tekan ijin}} &= 0.6 f_c' \\ &= 0.6 \times 60 \\ &= 36 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tarik ijin}} &= 0.25 \sqrt{f_c'} \\ &= 0.25 \times \sqrt{60} \\ &= 1.94 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### 4.2.2.2 Tegangan ijin beton saat beban layan

Tegangan ijin beton saat beban layan terjadi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tekan ijin}} &= 0.45 f_c' \\ &= 0.45 \times 60 \\ &= 27 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tarik ijin}} &= 0.5 \sqrt{f_c'} \\ &= 0.5 \times \sqrt{60} \\ &= 3.87 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### 4.2.2.3 Tegangan ijin baja sesaat setelah transfer

Tegangan ijin baja saat transfer gaya prategang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}0.94 f_{py} &= 0.94 \times 1676 \\ &= 1575.44 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0.85 f_{pu} &= 0.85 \times 1860 \\ &= 1581 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Maka  $f_0$  maksimum yang dapat digunakan adalah sebesar 1575.44 MPa.

#### 4.2.2.4 Tegangan ijin baja saat layan

Tegangan ijin baja saat beban layan terjadi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0.6 f_{py} &= 0.6 \times 1676 \\ &= 1116 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.7 f_{pu} &= 0.7 \times 1860 \\ &= 1302 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka  $f_{eff}$  maksimum yang dapat digunakan adalah sebesar 1116 MPa.

#### 4.2.3 Tinggi Box Girder

Karena bentang utama jembatan merupakan bentang panjang, maka tinggi penampang box girder dibuat lebih kecil di area lapangan daripada area tumpuan dan tinggi penampang pada jarak tertentu dari tumpuan mengikuti fungsi parabola. Tinggi penampang pada area tumpuan direncanakan sebagai berikut:

$$\text{Area tumpuan} = \frac{1}{16} > \frac{h_1}{L} > \frac{1}{20}$$

$$h_{1 \text{ max}} = \frac{L}{16} = \frac{96}{16} = 6 \text{ m}$$

$$h_{1 \text{ min}} = \frac{L}{20} = \frac{96}{20} = 4.8 \text{ m}$$

Maka digunakan  $h_1 = 5.3 \text{ m}$

$$\text{Area tengah bentang} = \frac{1}{30} > \frac{h_1}{L} > \frac{1}{50}$$

$$h_{2 \text{ max}} = \frac{L}{30} = \frac{96}{30} = 3.2 \text{ m}$$

$$h_{2 \text{ min}} = \frac{L}{50} = \frac{96}{50} = 1.92 \text{ m}$$

Maka digunakan  $h_2 = 2 \text{ m}$

Rekapitulasi tinggi penampang tiap segmen adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 1** Tinggi penampang box tiap segmen

segmen	tinggi (m)	segmen	tinggi (m)
S0	5.3	S8	2.88
S1	5.12	S9	2.67
S2	4.75	S10	2.49
S3	4.36	S11	2.33
S4	4.01	S12	2.21
S5	3.69	S13	2.12
S6	3.39	S14	2.05
S7	3.12	S15	2.01
		C, S16-S21	2

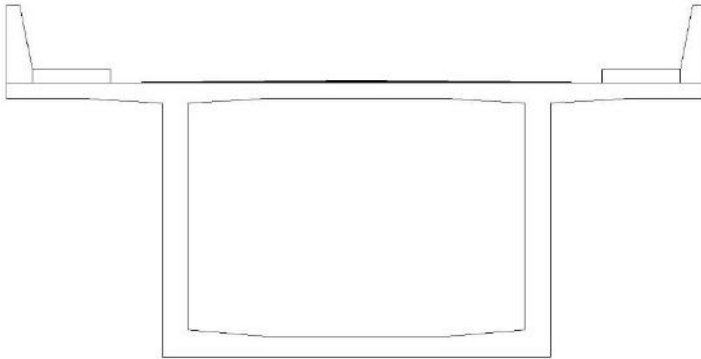
#### 4.2.4 Ketebalan Bagian-bagian Box Girder

Ketebalan pelat maupun dinding box girder disajikan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4. 2** Ketebalan pelat dan dinding box girder

label	tebal (mm)	legenda
HO1	300	
HO2	100	
HI1	300	
HI2	100	
HI4	100	
HI5	400	
tebal web	500	

Berikut merupakan contoh salah satu potongan penampang box girder:



**Gambar 4. 1** Potongan melintang penampang box girder segmen S1

#### 4.2.5 Perhitungan *Properties* Penampang Box Girder

Sesuai RSNI T-12-2004, selimut beton minimum untuk tendon prategang adalah 40 mm untuk serat atas dan 50 mm untuk serat bawah. Dengan mempertimbangkan ketebalan slab box girder, maka selimut beton untuk tendon atas diambil sebesar 150 mm dan selimut beton untuk tendon bawah diambil sebesar 200 mm. Dari modelisasi menggunakan Midas Civil, didapatkan rekapitulasi beberapa *properties* box girder sebagai berikut:

**Tabel 4. 3** *Properties* penampang box girder dari Midas Civil

segmen	S0	S1	S2	S3
Area (mm <sup>2</sup> )	12100000	11923580	11548600	11165860
I <sub>xx</sub> (mm <sup>4</sup> )	8.7652E+13	8.2568E+13	7.20198E+13	6.18252E+13
I <sub>yy</sub> (mm <sup>4</sup> )	5.29234E+13	4.88689E+13	4.08618E+13	3.3522E+13
panjang (mm)	5000	3000	3000	3000
tinggi (mm)	5300	5123.578	4748.604	4365.857
y <sub>a</sub> (mm)	2371.694	2288.983	2113.743	1935.719
y <sub>b</sub> (mm)	2928.306	2834.595	2634.861	2430.138

segmen	S4	S5	S6	S7
Area (mm <sup>2</sup> )	10811820	10486480	10189850	9921928
Ixx (mm <sup>4</sup> )	5.27778E+13	4.46636E+13	3.79484E+13	3.22368E+13
Iyy (mm <sup>4</sup> )	2.74577E+13	2.24796E+13	1.84215E+13	1.5139E+13
panjang (mm)	3000	3000	3000	3000
tinggi (mm)	4011.816	3686.481	3389.851	3121.928
y <sub>a</sub> (mm)	1771.888	1622.126	1486.296	1364.253
y <sub>b</sub> (mm)	2239.928	2064.355	1903.555	1757.675
segmen	S8	S9	S10	S11
Area (mm <sup>2</sup> )	9682711	9472200	9290395	9137296
Ixx (mm <sup>4</sup> )	2.74404E+13	2.3472E+13	2.02324E+13	1.76825E+13
Iyy (mm <sup>4</sup> )	1.25068E+13	1.04179E+13	8.78111E+12	7.52072E+12
panjang (mm)	3000	3000	3000	3000
tinggi (mm)	2882.711	2672.201	2490.395	2337.297
y <sub>a</sub> (mm)	1255.843	1160.911	1079.3	1010.862
y <sub>b</sub> (mm)	1626.868	1511.29	1411.095	1326.435
segmen	S12	S13	S14	S15
Area (mm <sup>2</sup> )	9012903	8917216	8850236	8811961
Ixx (mm <sup>4</sup> )	1.57358E+13	1.42859E+13	1.33076E+13	1.27674E+13
Iyy (mm <sup>4</sup> )	6.57467E+12	5.89387E+12	5.44131E+12	5.19151E+12
panjang (mm)	3000	3000	3000	3000
tinggi (mm)	2212.9034	2117.2166	2050.2354	2011.9613
y <sub>a</sub> (mm)	955.4584	912.9696	883.2964	866.3663
y <sub>b</sub> (mm)	1257.445	1204.247	1166.939	1145.595
segmen	C	S16-S20	S21	
Area (mm <sup>2</sup> )	8800000	8800000	8800000	
Ixx (mm <sup>4</sup> )	1.25987E+13	1.25987E+13	1.25987E+13	
Iyy (mm <sup>4</sup> )	5.11475E+12	5.11475E+12	5.11475E+12	
panjang (mm)	2000	3000	3200	
tinggi (mm)	2000	2000	2000	
y <sub>a</sub> (mm)	861.0795	861.0795	861.0795	
y <sub>b</sub> (mm)	1138.92	1138.92	1138.92	

Berikut adalah contoh perhitungan *properties* dari box girder segmen S1:

- Tahanan momen sisi atas ( $S_a$ ) dan sisi bawah ( $S_b$ )

$$S_a = \frac{I_{yy}}{y_a} = \frac{4.89 \times 10^{13}}{2288.98} = 2.13 \times 10^{10} \text{ mm}^3$$

$$S_b = \frac{I_{yy}}{y_b} = \frac{4.89 \times 10^{13}}{2834.59} = 1.72 \times 10^{10} \text{ mm}^3$$

- Kern sisi atas ( $K_a$ ) dan sisi bawah ( $K_b$ )

$$K_a = \frac{S_b}{A} = \frac{1.72 \times 10^{10}}{1.19 \times 10^7} = 1445.89 \text{ mm}$$

$$K_b = \frac{S_a}{A} = \frac{2.13 \times 10^{10}}{1.19 \times 10^7} = 1790.54 \text{ mm}$$

- Eksentrisitas tendon kantilever dan tendon layan

Tendon ditempatkan pada jarak setengah ketebalan pelat dari serat terluar sehingga cover untuk tendon kantilever adalah sebesar 150 mm dan untuk tendon servis adalah sebesar 200 mm.

$$\begin{aligned} e_{\text{kantilever}} &= y_a - \text{cover} \\ &= 2288.98 - 150 \\ &= 2138.98 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{layan}} &= y_b - \text{cover} \\ &= 2834.59 - 200 \\ &= 2634.59 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan *properties* box girder disajikan pada tabel 4.4.

**Tabel 4. 4** Hasil perhitungan *properties* penampang box girder

segmen	S0	S1	S2	S3
$S_a$ ( $\text{mm}^3$ )	22314594547	21349616839	19331498673	17317616865
$S_b$ ( $\text{mm}^3$ )	18073039498	17240173640	15508150145	13794294810
$K_a$ (mm)	1493.639628	1445.88904	1342.859753	1235.399227
$K_b$ (mm)	1844.181368	1790.537476	1673.925729	1550.943399
$e_{\text{kantilever}}$ (mm)	2221.694	2138.983	1963.743	1785.719
$e_{\text{service}}$ (mm)	2728.306	2634.595	2434.861	2230.138

segmen	S4	S5	S6	S7
Sa (mm <sup>3</sup> )	15496312408	13858078842	12394233719	11096885988
Sb (mm <sup>3</sup> )	12258309196	10889381913	9677419355	8613059866
Ka (mm)	1133.787762	1038.421083	949.7116596	868.0832864
Kb (mm)	1433.275102	1321.518645	1216.331322	1118.42033
e <sub>cantilever</sub> (mm)	1621.888	1472.126	1336.296	1214.253
e <sub>service</sub> (mm)	2039.928	1864.355	1703.555	1557.675
segmen	S8	S9	S10	S11
Sa (mm <sup>3</sup> )	9958912061	8973857600	8135926990	7439904755
Sb (mm <sup>3</sup> )	7687673493	6893349390	6222902073	5669872252
Ka (mm)	793.9587883	727.745338	669.8210434	620.5197086
Kb (mm)	1028.525179	947.3889487	875.7353148	814.2348409
e <sub>cantilever</sub> (mm)	1105.843	1010.911	929.3	860.862
e <sub>service</sub> (mm)	1426.868	1311.29	1211.095	1126.435
segmen	S12	S13	S14	S15
Sa (mm <sup>3</sup> )	6881170337	6455708931	6160227756	5992278324
Sb (mm <sup>3</sup> )	5228596082	4894233492	4662888977	4531713215
Ka (mm)	580.1234166	548.8521857	526.8660606	514.2684148
Kb (mm)	763.4799062	723.9601385	696.0523715	680.0164372
e <sub>cantilever</sub> (mm)	805.4584	762.9696	733.2964	716.3663
e <sub>service</sub> (mm)	1057.445	1004.247	966.939	945.595
segmen	C	S16-S20	S21	
Sa (mm <sup>3</sup> )	5939931214	5939931214	5939931214	
Sb (mm <sup>3</sup> )	4490879956	4490879956	4490879956	
Ka (mm)	510.3272678	510.3272678	510.3272678	
Kb (mm)	674.9921834	674.9921834	674.9921834	
e <sub>cantilever</sub> (mm)	711.0795	711.0795	711.0795	
e <sub>service</sub> (mm)	938.92	938.92	938.92	

### 4.3 Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak mempengaruhi struktur utama atau hanya sebagai beban yang membebani struktur utama. Dalam tugas akhir ini akan dihitung pagar pembatas (parapet) yang merupakan pengaman tepi jalan untuk penyangga atau pengaman pejalan kaki yang melintas maupun kendaraan.

#### 4.3.1 Pembebanan Parapet

Parapet jembatan direncanakan setinggi 1500 mm. Beban yang bekerja pada parapet yaitu beban angin, beban pelaksanaan dan beban tumbukan kendaraan sesuai SNI 1725:2016 dan AASHTO LRFD Bridge Design.

##### 4.3.1.1 Beban angin

- Kecepatan angin dasar ( $V_0$ )  
Kabupaten Pacitan merupakan daerah suburban, sehingga diambil  $V_0 = 17.6$  km/jam
- Kecepatan angin rencana ( $V_b$ )  
Kecepatan angin direncanakan sebesar  $V_b = 126$  km/jam.
- Kecepatan angin pada elevasi 10 m di atas permukaan air rencana ( $V_{10}$ )  
Karena tidak ada data yang lebih baik, direncanakan besar  $V_{10}$  adalah sebesar  $V_{10} = V_b = 126$  km/jam
- Elevasi struktur ( $Z$ )  
Elevasi struktur  $Z$  harus diambil di atas 10000 mm. karena tinggi asli struktur =  $7000 + 1500/2 = 7750$  mm (tinggi bagian tengah parapet dari permukaan air), maka diambil nilai  $Z = 10000$  mm.
- Panjang gesekan di hulu jembatan ( $Z_0$ )  
Untuk kawasan suburban, diambil  $Z_0 = 1000$  mm.
- Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana  $Z$  ( $V_{DZ}$ )

$$V_{dz} = 2.5V_0 \frac{V_{10}}{V_b} \ln\left(\frac{Z_0}{Z}\right)$$

$$V_{dz} = 2.5 \times 17.6 \times \frac{126}{126} \ln\left(\frac{1000}{10000}\right) = 101.31 \text{ km/jam}$$

- Tekanan angin dasar ( $P_B$ )

Untuk angin tekan pada komponen struktur dengan permukaan datar, besar  $P_B = 0.0019$  MPa

- Tekanan angin pada parapet ( $P_D$ )

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

$$P_D = 0.0019 \times \left( \frac{101.31}{126} \right)^2 = 0.0012 \text{ MPa}$$

- Gaya angin per satuan panjang pada parapet

$$q = P_D \times h$$

$$q = 0.0012 \times 1500$$

$$= 1.8 \text{ N/mm} = 1.8 \text{ kN/m}$$

Karena gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4.4 kN/m, maka  $q_{\text{pakai}} = 4.4$  kN/m.

- Momen akibat angin pada pangkal parapet

$$M_{\text{angin}} = \frac{1}{2} q L^2$$

$$M_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \times 4.4 \times 1.5 \times 1 = 3.3 \text{ kNm/m}$$

#### 4.3.1.2 Beban tumbukan kendaraan (TV)

Sesuai AASHTO LRFD Bridge Design, terdapat gaya ke arah horizontal ( $F_t$ ) dan vertikal ( $F_v$ ) yang terjadi pada parapet akibat tumbukan kendaraan.

$$F_t = 54 \text{ kips} = 240203.97 \text{ N/m}$$

$$F_v = 18 \text{ kips} = 80067.99 \text{ N/m}$$

Gaya vertikal hanya digunakan untuk penambahan beban pada struktur utama. Sedangkan gaya horizontal akibat tumbukan kendaraan menyebabkan momen pada pangkal parapet.

$$M_{TV} = F_t \times h$$

$$= 240.2 \times 1.5$$

$$= 360.306 \text{ kNm/m}$$



### 4.3.1.3 Beban pelaksanaan

Asumsi terdapat beban pekerja sebesar  $F_{PL} = 10 \text{ kN/m}$  pada ujung parapet ke arah horizontal.

$$\begin{aligned} M_{PL} &= F_{PL} \times h \\ &= 10 \times 1.5 \\ &= 18.3 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

### 4.3.2 Kombinasi Pembebanan Parapet

Kombinasi pembebanan jembatan yang digunakan pada struktur sekunder sesuai SNI 1725:2016 adalah kombinasi kuat 1, kuat 3, kuat 5, ekstrem 2, layan 1 dan layan 3. Hasil perhitungan kombinasi pembebanan terdapat pada tabel 4.5.

**Tabel 4. 5** Kombinasi pembebanan struktur sekunder

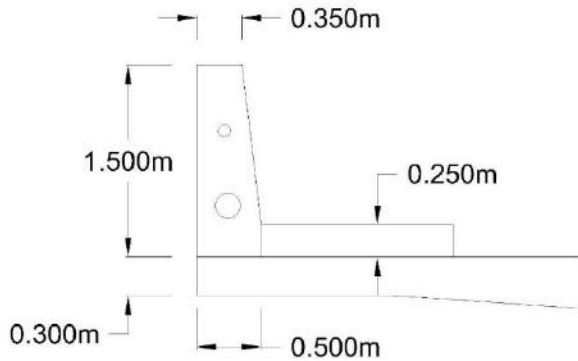
kombinasi	$M_{TV}$ (kNm/m)	$\gamma$	$M_{Ews}$ (kNm/m)	$\gamma$	$M_{PL}$ (kNm/m)	$\gamma$	$M_{tot}$ (kNm/m)
kuat 1	360.306	0	3.3	0	18.3	1	18.3
kuat 3	360.306	0	3.3	1.4	18.3	1	22.92
kuat 5	360.306	0	3.3	0.4	18.3	1	19.62
ekstrem 2	360.306	1	3.3	0	18.3	1	378.606
layan 1	360.306	0	3.3	0.3	18.3	0	0.99
layan 3	360.306	0	3.3	0	18.3	0	0
$M_{max}$ (kNm/m)							378.60595

Berdasarkan tabel 4.5, gaya dan momen yang terbesar terjadi saat kombinasi ekstrem 2 sehingga untuk perhitungan penulangan struktur sekunder menggunakan  $M = 378.61 \text{ kNm/m}$ .

### 4.3.3 Penulangan Parapet

Direncanakan parapet dengan dimensi dan mutu bahan sebagai berikut:

Tebal ujung ( $h_a$ )	= 350 mm
Tebal pangkal ( $h_b$ )	= 500 mm
Lebar ( $b$ )	= 1000 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Mutu tulangan ( $f_y$ )	= 400 MPa
Selimit beton ( $cc$ )	= 40 mm
D tulangan utama	= 25 mm
D sengkang	= 13 mm



**Gambar 4. 2** Dimensi struktur parapet

#### 4.3.3.1 Tulangan pada pangkal parapet

- Tulangan memanjang

$$A_s = 490.87 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d &= h_b - d_{\text{utama}}/2 - cc \\ &= 500 - 25/2 - 40 \\ &= 447.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = 378.6 \text{ kNm/m} = 37860.6 \text{ Nm/m}$$

$$\Phi = 0.8$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{37860.6}{0.8 \times 1000 \times 447.5^2} = 2.36 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.69$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{15.69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15.69 \cdot 2.36}{400}} \right) = 0.0062$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0.0325$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_{balance} = 0.0244$$

$$\rho_{min} = 1.4/f_y = 0.0035$$

maka dipakai  $\rho_{pakai} = \rho_{perlu} = 0.0062$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{pakai} bd = 0.0062 \times 1000 \times 447.5 = 2779.28 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 2779.28/490.87 \approx 6$$

$$s = 1000/6 = 166.67 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 125 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan memanjang **D25-125 mm** pada bagian pangkal parapet.

- Tulangan susut (senggang)

$$A_s = 132.73 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 0.002$$

$$b = 1500 \text{ mm (tinggi parapet)}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h_b - d_{utama} - d_{senggang}/2 - cc \\ &= 500 - 25 - 13/2 - 40 \\ &= 428.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho bd = 0.002 \times 1500 \times 428.5 = 1285.5 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}}/A_s = 1285.5/132.73 \approx 10$$

$$s = 1500/10 = 150 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan susut **D13-100 mm** pada bagian pangkal parapet.

#### 4.3.3.2 Tulangan pada ujung parapet

- Tulangan memanjang

$$A_s = 490.87 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d &= h_b - d_{utama}/2 - cc \\ &= 350 - 25/2 - 40 \\ &= 297.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = 0$$

$$\rho_{min} = 1.4/f_y = 0.0035$$

maka dipakai  $\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0.0035$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{pakai} bd = 0.0035 \times 1000 \times 297.5 = 1041.25 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 1041.25/490.87 \approx 3$$

$$s = 1000/3 = 333.33 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 250 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan memanjang **D25-250 mm** pada bagian ujung parapet.

- Tulangan susut (sejangkang)

$$A_s = 132.73 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 0.002$$

$$b = 1500 \text{ mm (tinggi parapet)}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$d = h_b - d_{\text{utama}} - d_{\text{sejangkang}}/2 - cc$$

$$= 350 - 25 - 13/2 - 40$$

$$= 278.5 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho bd = 0.002 \times 1500 \times 278.5 = 835.5 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}}/A_s = 835.5/132.73 \approx 7$$

$$s = 1500/7 = 214.23 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan susut **D13-150 mm** pada bagian ujung parapet.

#### 4.4 Analisa Pembebanan Struktur Utama

##### 4.4.1 Beban Mati (MS)

Beban mati struktur sendiri yang terdiri dari berat box girder didapatkan dari hasil modelisasi struktur pada Midas Civil, berat kerb dan parapet. Berat sendiri struktur tersaji dalam Tabel 4.6.

**Tabel 4. 6** Beban mati struktur utama

segmen	S0	S1	S2	S3
berat (N)	730319	848822	820691	794668
segmen	S4	S5	S6	S7
berat (N)	770756	748954	729262	711679
segmen	S8	S9	S10	S11
berat (N)	696207	682844	671591	662448
segmen	S12	S13	S14	S15
berat (N)	655415	650492	647679	647599
segmen	C	S16	S17-S21	
berat (N)	431200	689920	689920	

Beban dari kerb dan parapet merupakan beban mati dengan besaran tetap yang terjadi setelah pelaksanaan *balanced cantilever* selesai. Berikut adalah perhitungan berat kerb dan parapet:

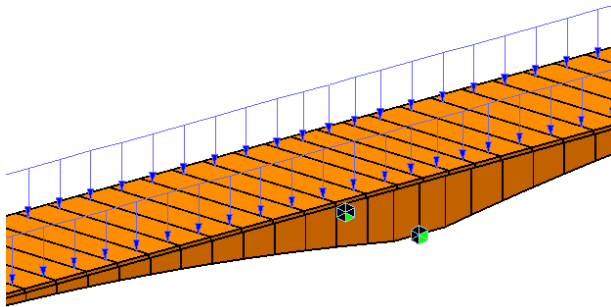
Berat jenis,  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

Tebal kerb,  $t = 0.25 \text{ m}$

Lebar kerb,  $b = 1.5 \text{ m}$

Permodelan dalam Midas Civil berupa beban garis,

$$\begin{aligned} q_{\text{kerb}} &= \gamma \times b \times t \\ &= 24 \times 1.5 \times 0.25 \\ &= 9 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

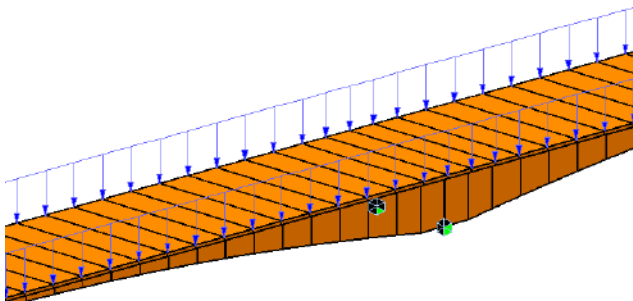


**Gambar 4. 3** Input beban kerb pada Midas Civil

Luas parapet,  $A = 0.617 \text{ m}^2$

Permodelan dalam Midas Civil berupa beban garis,

$$\begin{aligned} q_{\text{parapet}} &= \gamma \times A \\ &= 24 \times 0.617 \\ &= 14.51 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 4** Input beban parapet pada Midas Civil

#### 4.4.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan yang dihitung terdiri dari beban aspal.

Berikut adalah perhitungan beban aspal:

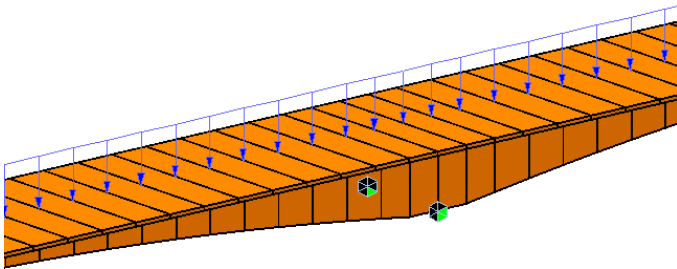
Berat jenis,  $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$

Tebal aspal,  $t = 0.05 \text{ m}$

Lebar aspal,  $b = 9.5 \text{ m}$

Permodelan dalam Midas Civil berupa beban garis,

$$\begin{aligned} q_{\text{aspal}} &= \gamma \times b \times t \\ &= 22 \times 0.05 \times 9.5 \\ &= 10.45 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 5** Input beban aspal pada Midas Civil

#### 4.4.3 Beban Angin

Beban angin yang terjadi pada saat masa layan merupakan beban angin struktur ( $E_{ws}$ ) dan beban angin kendaraan ( $E_{wl}$ ) yang bekerja pada arah transversal balok. Beban angin akan memberikan efek torsi pada struktur utama.

##### 4.4.3.1 Beban angin struktur ( $E_{ws}$ )

Data kecepatan angin sama seperti yang digunakan pada beban angin struktur sekunder, kecuali parameter tekanan angin dasar.

$P_B = 0.0024 \text{ MPa}$  (balok)

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

$$P_D = 0.0024 \times \left( \frac{101.31}{126} \right)^2 = 0.00155 \text{ MPa}$$

Permodelan dalam Midas Civil berupa beban garis,

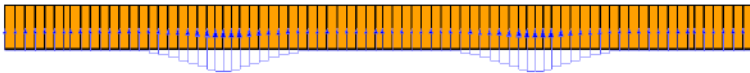
$$q = P_D \times h$$

Namun karena tinggi balok berbeda-beda, maka balok yang mendapat  $q < 4.4$  kN/m akan dianggap mendapatkan gaya angin sebesar 4.4 kN/m. Berikut adalah rekapitulasi pembebanan angin struktur utama yang melebihi 4.4 kN/m:

**Tabel 4. 7** Beban angin dengan  $q > 4.4$  kN/m

segmen	S0	S1	S2	S3	S4
tinggi (m)	5.30	5.12	4.75	4.37	4.01
PD (kN/m <sup>2</sup> )	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
q (kN/m)	8.22	7.95	7.37	6.77	6.23
segmen	S5	S6	S7	S8	
tinggi (m)	3.69	3.39	3.12	2.88	
PD (kN/m <sup>2</sup> )	1.55	1.55	1.55	1.55	
q (kN/m)	5.72	5.26	4.84	4.47	

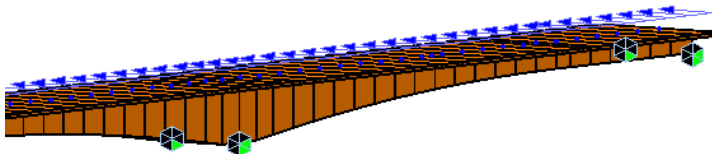
Beban angin dimodelkan sebagai beban garis yang bekerja pada box girder dari arah samping dengan tampak atas pada Midas Civil sebagai berikut:



**Gambar 4. 6** Input beban angin struktur pada Midas Civil

#### 4.4.3.2 Beban angin kendaraan (E<sub>wl</sub>)

Tekanan angin rencana pada kendaraan harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan.



**Gambar 4. 7** Input beban angin kendaraan pada Midas Civil

#### 4.4.4 Beban Hidup Kendaraan

Beban lalu lintas terdiri dari beban lajur “D” yang terdiri dari beban terbagi rata (BTR) serta beban garis terpusat (BGT) dan beban truk “T”. Karena jumlah bentang lebih dari satu, beban BGT dan BTR dikonfigurasi seperti pada Gambar 3.5 untuk mendapatkan momen lentur terbesar pada masing-masing bentang.

##### 4.4.4.1 Beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT)

Untuk konfigurasi 1, beban terbagi rata diletakkan pada kedua *side span* sehingga panjang  $L1 = 2 \times 67.2 = 134.4$  m dan lebar jalan  $b = 9.5$  m

$$q = 9.0 \cdot \left(0.5 + \frac{15}{L1}\right) = 9.0 \cdot \left(0.5 + \frac{15}{134.4}\right) = 5.504464 \text{ kPa}$$

$$q = 5.504464 \times 9.5 = 52.29 \text{ N/mm}$$

Untuk konfigurasi 2, beban terbagi rata diletakkan pada bentang tengah saja sehingga panjang  $L2 = 96$  m dan lebar jalan  $b = 9.5$  m

$$q = 9.0 \cdot \left(0.5 + \frac{15}{L2}\right) = 9.0 \cdot \left(0.5 + \frac{15}{96}\right) = 5.90625 \text{ kPa}$$

$$q = 5.90625 \times 9.5 = 56.11 \text{ N/mm}$$

Untuk konfigurasi 3, beban terbagi rata diletakkan pada bentang tengah dan salah satu *side span* sehingga panjang  $L3 = 96 + 67.2 = 163.2$  m dan lebar jalan  $b = 9.5$  m

$$q = 9.0 \cdot \left(0.5 + \frac{15}{L3}\right) = 9.0 \cdot \left(0.5 + \frac{15}{163.2}\right) = 5.327206 \text{ kPa}$$

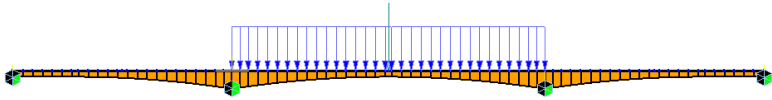
$$q = 5.327206 \times 9.5 = 50.61 \text{ N/mm}$$

Sedangkan beban garis terpusat sebesar  $P = 49$  kN/m diletakkan di tengah masing-masing bentang yang terbebani beban terbagi rata (BTR) sesuai dengan masing-masing konfigurasi.

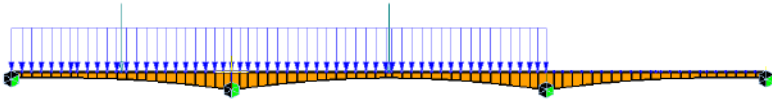


**Gambar 4. 8** Input beban lajur pada Midas Civil (konfigurasi 1)





**Gambar 4. 9** Input beban lajur pada Midas Civil (konfigurasi 2)



**Gambar 4. 10** Input beban lajur pada Midas Civil (konfigurasi 3)

Untuk mendapatkan gaya dalam dengan kombinasi pembebanan yang mengandung beban lajur, hasil gaya dalam dari beban-belan ini harus dibuat *envelope*-nya.

#### 4.4.4.2 Beban truk “T”

Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Maka dari itu, hasil gaya dalam dari beban truk yang telah dikalikan dengan Faktor Beban Dinamis (FBD) dan beban lajur harus dibuat *envelope*-nya. Berdasarkan SNI 1725:2016, FBD untuk panjang bentang 96 m adalah 0.3 sehingga beban truk harus dikali dengan 1.3. Pada tugas akhir ini, beban truk dimodelkan sebagai *moving load* pada Midas Civil agar didapatkan gaya dalam terbesar untuk tiap titik secara otomatis.

#### 4.4.5 Beban Pejalan Kaki (TP)

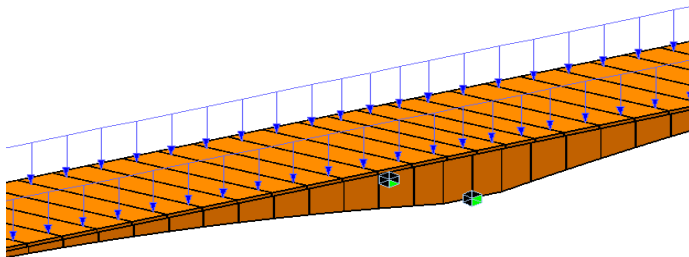
Berikut adalah perhitungan besarnya beban pejalan kaki:

Beban area,  $\sigma = 5 \text{ kPa}$

Lebar kerb,  $b = 1.5 \text{ m}$

Permodelan dalam Midas Civil berupa beban garis,

$q_{\text{pejalan kaki}} = \sigma \times b = 5 \times 1.5 = 7.5 \text{ kN/m}$



**Gambar 4. 11** Input beban pejalan kaki pada Midas Civil

#### 4.4.6 Beban Rem (TB)

Gaya rem (TB) harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain  
 $TT = 225 \text{ kN}$   
 $TB = 0.25 TT$   
 $= 0.25 \times 225 = 56.25 \text{ kN}$
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Digunakan beban lajur sepanjang bentang tengah dengan  $L = 96 \text{ m}$ ,  $b = 9.5/2 \text{ m}$  dan  $q = 5.9 \text{ kPa}$  (konfigurasi 2 pada pembebanan lajur "D")

$$W_{\text{truk}} = 225 + 50 = 500 \text{ kN}$$

$$TB = 5\% (W_{\text{truk}} + \text{BTR})$$

$$= 5\% (500 + 96 \times 5.9 \times 9.5/2) = 159.66 \text{ kN}$$

Maka digunakan gaya rem  $TB = 159.66 \text{ kN}$  untuk 1 perletakan.

Beban rem ini bekerja di sumbu-x (memanjang) jembatan pada perletakan yang dimodelkan sebagai sendi dengan jarak 1800 mm di atas permukaan jalan sehingga mengakibatkan momen terhadap perletakan.

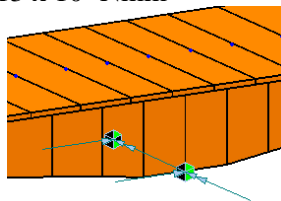
$$\text{Beban rem, } TB = 159.66 \text{ kN}$$

$$\text{Lengan, } l = 1800 + 5300 = 7100 \text{ mm}$$

$$\text{Momen, } M = TB \times l$$

$$= 159.66 \times 7100 = 1133603.75 \text{ kNmm}$$

$$= 1.13 \times 10^9 \text{ Nmm}$$



**Gambar 4. 12** Input beban rem pada Midas Civil

#### 4.4.7 Pengaruh Gempa (EQ)

Analisa beban gempa dinamis dilakukan dengan cara *response spectrum analysis* menggunakan Midas Civil dengan mengacu pada RSNI 2833:201X. Perancangan jembatan terhadap

beban gempa dapat dilihat dari posisi kabupaten Pacitan dalam peta gempa dan mengacu pada website [www.pusjatan.pu.go.id](http://www.pusjatan.pu.go.id). Sehingga didapatkan data sebagai berikut:

Kelas situs (berdasarkan data tanah) = Tanah lunak (E)

Percepatan puncak di batuan dasar,  $PGA = 0.382 \text{ g}$

Percepatan 0.2 detik di batuan dasar,  $S_S = 0.762 \text{ g}$

Percepatan 1 detik di batuan dasar,  $S_1 = 0.384 \text{ g}$

Nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek,  $S_{DS} = 0.903 \text{ g}$

Nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek,  $S_{D1} = 0.903 \text{ g}$

Periode  $T_0 = 0.21 \text{ s}$

Periode  $T_S = 1.048 \text{ s}$

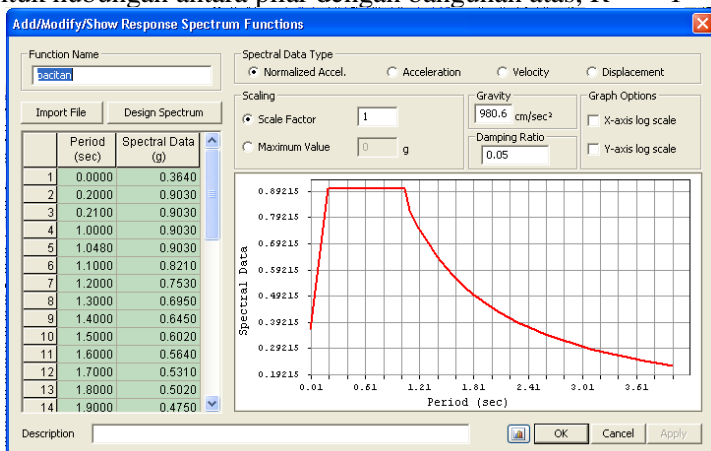
Grafik respons spektrum pada Gambar 4.13 diinput ke Midas Civil untuk analisis gaya gempa dinamis. Sesuai RSNI 2883:201X, faktor modifikasi respons sebagai pembagi gaya gempa dinamis adalah sebagai berikut:

Untuk kolom tunggal,  $R = 2$

Untuk pilar tipe dinding,  $R = 1.5$

Untuk hubungan antara bangunan atas dengan kepala jembatan (abutment),  $R = 0.8$

Untuk hubungan antara pilar dengan bangunan atas,  $R = 1$



**Gambar 4. 13** Input response spectrum analysis pada Midas Civil

Adapun gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan harus dikombinasi sehingga memiliki 2 tinjauan pembebanan sebagai berikut:

- Gempa arah X maksimum, di mana 100% gaya gempa pada arah x,  $E_{Qx}$  dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah y,  $E_{Qy}$
- Gempa arah Y maksimum, di mana 100% gaya gempa pada arah y,  $E_{Qy}$  dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah x,  $E_{Qx}$

#### 4.4.8 Pengaruh Gaya Prategang (PR)

Perhitungan gaya prategang dan kehilangan gaya prategang akan disajikan pada subbab berikutnya.

#### 4.4.9 Beban Temperatur

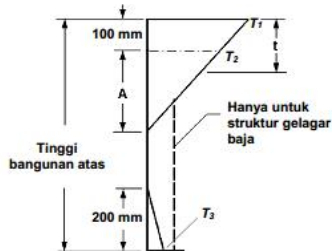
Beban temperatur terdiri dari temperatur merata (EUn) dan gradien temperatur (TG).

##### 4.4.9.1 Temperatur merata (Eun)

Beban EUn berpengaruh pada deformasi pada perletakan. Berdasarkan SNI 1725:2016, pengaturan temperatur jembatan rata-rata minimum ( $T_{initial}$ ) adalah sebesar  $15^{\circ}\text{C}$  dan temperatur jembatan rata-rata maksimum ( $T_{final}$ ) adalah sebesar  $40^{\circ}\text{C}$ .

##### 4.4.9.2 Gradien temperatur (TG)

Variasi temperature (TG) di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam.



**Gambar 4. 14** Gradien temperatur nominal arah vertikal untuk bangunan atas

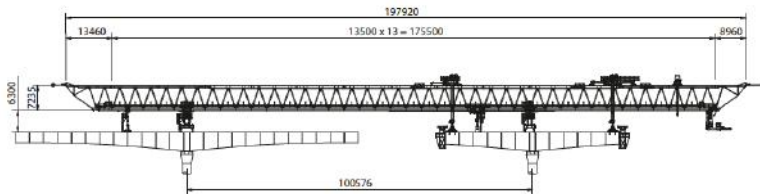
Untuk bangunan atas jembatan dengan material beton dan lokasi jembatan < 500 m di atas permukaan laut, digunakan  $T1 = 12^{\circ}\text{C}$  dan  $T2 = 8^{\circ}\text{C}$  sehingga  $T1 - T2 = 4^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.4.10 Pengaruh Susut dan Rangkak (SH)

Pengaruh susut terjadi pada kehilangan gaya prategang akibat susut dan rangkak.

#### 4.4.11 Beban Pelaksanaan (PL)

Beban pelaksanaan berupa *launching gantry* hanya diperhitungkan pada tahap konstruksi (saat keadaan *balanced cantilever*). Berikut adalah spesifikasi *launching gantry* yang digunakan:



**Gambar 4. 15** Penggunaan *launching gantry* pada metode *balanced cantilever*

Tipe <i>launching gantry</i>	= Deal LGS 200-100
Panjang rangka	= 175.5 m
Tinggi rangka	= 7.2 m
Kapasitas angkut	= 200 ton
Berat total	= 932 ton
Bentang maksimum	= 100.6 m

Pada saat pelaksanaan, semua kaki *gantry* bertumpu pada pilar sehingga gaya yang terjadi pada pilar akibat *gantry* adalah berupa beban terpusat:

$$P = 932/2 = 466 \text{ ton}$$

#### 4.4.12 Pembebanan saat *Balanced Cantilever*

Sesuai dengan SNI 1725:2016, berikut adalah rekapitulasi kombinasi pembebanan beserta *load factor* untuk tahap pelaksanaan:

**Tabel 4. 8** Kombinasi pembebanan saat pelaksanaan

jenis	beban	faktor		
		kuat 1	kuat 3	layan 1
MS	struktur utama	1.2	1.2	1
PR	prategang cantilever	1	1	1
Eun	temperatur merata	0.5	0.5	1
PL	pelaksanaan	1.5	1	1

Berikut adalah hasil gaya dalam (*envelope*) pada tahap pelaksanaan:

**Tabel 4. 9** Gaya dalam (momen) *envelope* per stage

My (Nmm) per stage					
segmen	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5
S0	-2.4E+09	-7.63E+09	-1.56E+10	-2.61E+10	-3.91E+10
S1	-2.65E+08	-3E+09	-8.54E+09	-1.67E+10	-2.74E+10
S2		-3.7E+08	-3.26E+09	-8.88E+09	-1.71E+10
S3			-3.59E+08	-3.16E+09	-8.63E+09
S4				-3.48E+08	-3.08E+09
S5					-3.39E+08
My (Nmm) per stage					
segmen	CS6	CS7	CS8	CS9	CS10
S0	-5.44E+10	-7.19E+10	-9.16E+10	-1.13E+11	-1.37E+11
S1	-4.05E+10	-5.59E+10	-7.35E+10	-9.32E+10	-1.15E+11
S2	-2.77E+10	-4.07E+10	-5.59E+10	-7.34E+10	-9.29E+10
S3	-1.66E+10	-2.7E+10	-3.97E+10	-5.46E+10	-7.18E+10
S4	-8.4E+09	-1.62E+10	-2.63E+10	-3.88E+10	-5.35E+10
S5	-3E+09	-8.19E+09	-1.58E+10	-2.58E+10	-3.8E+10
S6	-3.3E+08	-2.92E+09	-8E+09	-1.55E+10	-2.52E+10
S7		-3.22E+08	-2.86E+09	-7.83E+09	-1.52E+10
S8			-3.15E+08	-2.8E+09	-7.69E+09
S9				-3.09E+08	-2.75E+09
S10					-3.04E+08

segmen	My (Nmm) per stage					
	CS11	CS12	CS13	CS14	CS15	CS16
S0	-1.63E+11	-1.91E+11	-2.21E+11	-2.53E+11	-2.88E+11	-2.9E+11
S1	-1.39E+11	-1.65E+11	-1.93E+11	-2.23E+11	-2.56E+11	-2.6E+11
S2	-1.15E+11	-1.38E+11	-1.64E+11	-1.92E+11	-2.23E+11	-2.3E+11
S3	-9.1E+10	-1.12E+11	-1.36E+11	-1.62E+11	-1.9E+11	-2E+11
S4	-7.03E+10	-8.94E+10	-1.11E+11	-1.34E+11	-1.6E+11	-1.6E+11
S5	-5.24E+10	-6.91E+10	-8.8E+10	-1.09E+11	-1.32E+11	-1.4E+11
S6	-3.73E+10	-5.16E+10	-6.81E+10	-8.68E+10	-1.08E+11	-1.1E+11
S7	-2.48E+10	-3.67E+10	-5.08E+10	-6.72E+10	-8.59E+10	-8.9E+10
S8	-1.49E+10	-2.44E+10	-3.62E+10	-5.03E+10	-6.66E+10	-6.9E+10
S9	-7.57E+09	-1.47E+10	-2.41E+10	-3.58E+10	-4.98E+10	-5.1E+10
S10	-2.71E+09	-7.47E+09	-1.45E+10	-2.39E+10	-3.56E+10	-3.6E+10
S11	-3E+08	-2.68E+09	-7.39E+09	-1.44E+10	-2.37E+10	-2.4E+10
S12		-2.96E+08	-2.65E+09	-7.33E+09	-1.43E+10	-1.3E+10
S13			-2.94E+08	-2.63E+09	-7.3E+09	-5.7E+09
S14				-2.92E+08	-2.62E+09	-2.2E+08
S15					-2.91E+08	2.87E+09
C						3.68E+09

#### 4.4.13Pembebanan saat Tahap Servis

Sesuai dengan SNI 1725:2016, berikut adalah rekapitulasi kombinasi pembebanan beserta *load factor* pada saat servis:

**Tabel 4. 10** Kombinasi pembebanan saat servis

jenis	beban	faktor			
		kuat 1	kuat 3	kuat 4	kuat 5
MS	struktur utama	1.2	1.2	1.2	1.2
MS	kerb	1.3	1.3	1.3	1.3
MS	parapet	1.3	1.3	1.3	1.3
MA	aspal	2	2	2	2
EWs	angin struktur	0	1.4	0	0.4
Ewl	angin kendaraan	0	0	0	1
D	BGT dan BTR	1.8	0	0	0
TT	truk	1.8	0	0	0

jenis	beban	faktor			
		kuat 1	kuat 3	kuat 4	kuat 5
TP	pejalan kaki	1.8	0	0	0
TB	rem	1.8	0	0	0
TC	tumbukan kendaraan	0	0	0	0
EQ	gempa horizontal	0	0	0	0
PR	prategang servis	1	1	1	1
SH	susut dan rangkai	0.5	0.5	0.5	0.5
TG	gradien temperatur	0	0	0	0
Eun	temperatur merata	0.5	0.5	0.5	0.5
jenis	beban	faktor			
		ekstrem 1	ekstrem 2	layan 1	layan 3
MS	struktur utama	1.2	1.2	1	1
MS	kerb	1.3	1.3	1	1
MS	parapet	1.3	1.3	1	1
MA	aspal	2	2	1	1
EWS	angin struktur	0	0	0.3	0
Ewl	angin kendaraan	0	0	1	0
D	BGT dan BTR	0.3	0.5	1	1
TT	truk	0.3	0.5	1	1
jenis	beban	faktor			
		ekstrem 1	ekstrem 2	layan 1	layan 3
TP	pejalan kaki	0.3	0.5	1	0.8
TB	rem	0.3	0.5	1	0.8
TC	tumbukan kendaraan	0	1	0	0
EQ	gempa horizontal	1	0	0	0
PR	prategang servis	1	1	1	1
SH	susut dan rangkai	0.5	0.5	1	1
TG	gradien temperatur	0	0	0.5	0.5
Eun	temperatur merata	0	0	1	1

Kombinasi ekstrem 1 hanya digunakan untuk perencanaan perletakan dan bangunan bawah, kombinasi ekstrem 2 hanya digunakan saat perhitungan torsi, sedangkan kombinasi layan



hanya digunakan untuk pengecekan *chamber* dan lendutan. Kombinasi lain digunakan untuk mencari momen *envelope* yang digunakan dalam penentuan gaya prategang dan kontrol kekuatan struktur utama. Berikut adalah hasil gaya dalam pada tahap servis:

**Tabel 4. 11** Gaya dalam yang terjadi pada tahap servis

segmen	S21	S20	S19	S18	S17
My (Nmm)	1.539E+10	4.184E+10	6.321E+10	8.042E+10	9.348E+10
V (N)	9248369.5	7816567.6	6430952.9	5101806.8	4080718.6
T (Nmm)	1.274E+09	1.178E+09	1.085E+09	991612506	898651911
segmen	S16	C2	S15B	S14B	S13B
My (Nmm)	1.024E+11	1.066E+11	1.096E+11	1.121E+11	1.116E+11
V (N)	3059630.4	2210102.3	-1959951	-3065546	-4175653
T (Nmm)	805804295	728677383	652813867	734295676	820439378
segmen	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B
My (Nmm)	1.08E+11	1.012E+11	9.137E+10	7.846E+10	-7.94E+10
V (N)	-5474683	-6874438	-8286040	-9711925	-11154523
T (Nmm)	900329026	972620006	1.037E+09	1.093E+09	1.141E+09
segmen	S7B	S6B	S5B	S4B	S3B
My (Nmm)	-1.11E+11	-1.46E+11	-1.85E+11	-2.27E+11	-2.74E+11
V (N)	-12616256	-14099539	-15606779	-17140376	-18702721
T (Nmm)	1.182E+09	1.217E+09	1.247E+09	1.272E+09	1.294E+09
segmen	S2B	S1B	S0	S1A	S2A
My (Nmm)	-3.33E+11	-3.91E+11	-4.47E+11	-3.87E+11	-3.28E+11
V (N)	-20296200	-21786244	-23601202	-22166398	-20676461
T (Nmm)	1.312E+09	1.327E+09	1.337E+09	1.329E+09	1.316E+09
segmen	S3A	S4A	S5A	S6A	S7A
My (Nmm)	-2.69E+11	-2.14E+11	-1.63E+11	-1.17E+11	-7.74E+10
V (N)	-19083088	-17520841	-15987333	-14480172	-12996960
T (Nmm)	1.299E+09	1.28E+09	1.257E+09	1.23E+09	1.199E+09
segmen	S8A	S9A	S10A	S11A	S12A
My (Nmm)	9.062E+10	1.136E+11	1.334E+11	1.501E+11	1.636E+11
V (N)	-11535288	-10092744	-8666905	-7255341	-5855617
T (Nmm)	1.162E+09	1.119E+09	1.069E+09	1.012E+09	947229388

segmen	S13A	S14A	S15A	C1
My (Nmm)	1.739E+11	1.811E+11	1.852E+11	1.863E+11
V (N)	-4465288	-3081907	-1703021	-555648.5
T (Nmm)	876122414	799523362	719042663	651122231

Berikut adalah diagram momen untuk setengah jembatan pada tahap servis:



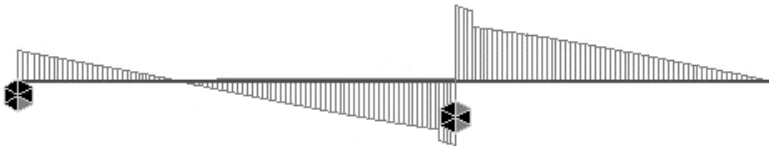
**Gambar 4. 16** Diagram momen (*envelope*) untuk setengah jembatan saat servis

Berikut adalah diagram geser untuk setengah jembatan pada tahap servis:



**Gambar 4. 17** Diagram geser (*envelope*) untuk setengah jembatan saat servis

Berikut adalah diagram torsi untuk setengah jembatan pada tahap servis:



**Gambar 4. 18** Diagram torsi untuk setengah jembatan saat servis

## 4.5 Penentuan Gaya Prategang

### 4.5.1 Kontrol Tegangan Box Girder saat Transfer pada Keadaan *Balanced Cantilever*

Pada keadaan *balanced cantilever*, tegangan pada box hanya ditinjau saat transfer saja dan direncanakan menggunakan tendon dengan kabel jenis strand *seven wires stress relieved* (7 kawat untaian), dengan mengacu pada tabel VSL. Berikut adalah spesifikasi tendon yang digunakan :

Jenis *strand* : VSL ASTM A 416-06 *grade 270*

Diameter nominal,  $d$  : 15.24 mm

Luas penampang,  $A_p$  : 140 mm<sup>2</sup>

Tegangan leleh,  $f_{py}$  : 1676 MPa

Tegangan putus,  $f_{pu}$  : 1860 MPa

Modulus elastisitas,  $E_s$  : 195000 MPa

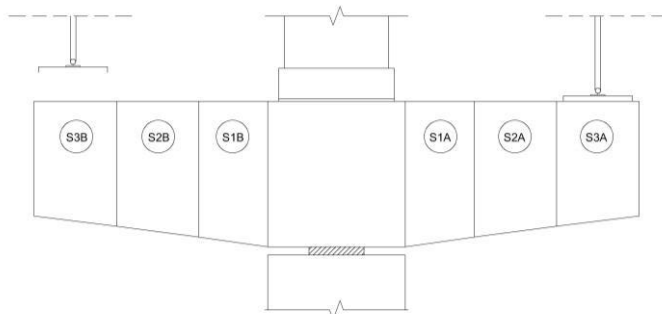
Jenis tendon kantilever : 6-15-15

Beban putus tendon

kantilever : 3911 kN

Diameter selubung,  $\phi$  : 80 mm

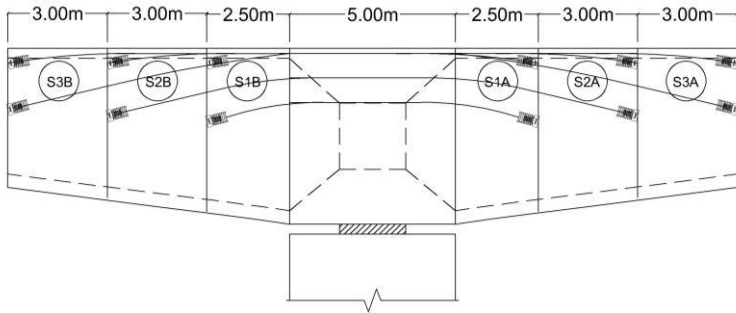
Direncanakan 2 jenis tendon yaitu tendon kantilever yang melengkung dengan sisi teratas berada pada pelat atas box girder dan letak angkur hidup berada pada dinding box, serta tendon kantilever lurus dengan letak angkur hidup berada pada blister yang menempel di pelat atas box. Box girder perlu dikontrol kekuatan penampang akibat kekuatan tendon dan momen yang terjadi. Sebagai contoh akan dikontrol tegangan pada penampang



**Gambar 4. 19** Pemasangan segmen S3

segmen S2 saat pemasangan segmen S3. Berikut adalah *properties* penampang segmen S2:

$$\begin{array}{ll}
 M_3 &= -3.3 \times 10^9 \text{ Nmm} & I &= 4.09 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \\
 A &= 11548600 \text{ mm}^2 & h &= 4748.6 \text{ mm} \\
 S_b &= 1.55 \times 10^{13} \text{ mm}^3 & S_a &= 1.93 \times 10^{13} \text{ mm}^3 \\
 \text{cover} &= 150 \text{ mm} & e &= 1963.74 \text{ mm (2 tendon)} \\
 e_1 &= 1343.2 \text{ mm (2 tendon)} & e_2 &= 457.4 \text{ mm (2 tendon)}
 \end{array}$$



**Gambar 4. 20** Letak tendon kantilever saat pemasangan segmen S3

Saat pemasangan segmen S3, terdapat 3 pasang tendon kantilever berjenis 6-15-15 yang terpasang pada segmen S2 (kontrol dilakukan saat tendon pertama pada segmen terluar terpasang). Berdasarkan perhitungan tegangan ijin baja prategang yang telah dihitung pada sub bab 4.2.2.3, tegangan maksimal pada baja saat transfer gaya prategang adalah  $f_0 = 1575.44$  MPa. Sehingga untuk 1 tendon:

$$\begin{aligned}
 F_{0 \max} &= A_p \times f_0 \\
 &= 15 \times 140 \times 1575.44 = 3308424 \text{ N/tendon} \\
 &= 3308.4 \text{ kN/tendon}
 \end{aligned}$$

Digunakan  $F_0 = 2400$  kN/tendon, dan asumsi kehilangan prategang total sebanyak 20%

Cek tegangan pada serat atas:

$$f_{ci} = -\sum \frac{0.8F_0}{A} - \sum \frac{0.8F_0 e}{S_a} - \frac{M_{\text{pelaksanaan}}}{S_a}$$

$$f_{ci} = -\frac{6 \times 0.8 \times 2400000}{11548600} - \frac{2 \times 0.8 \times 2400000 \times (1963.74 + 1343.2 + 457.4)}{1.93 \times 10^{13}} - \frac{(-3.3 \times 10^9)}{1.93 \times 10^{13}}$$

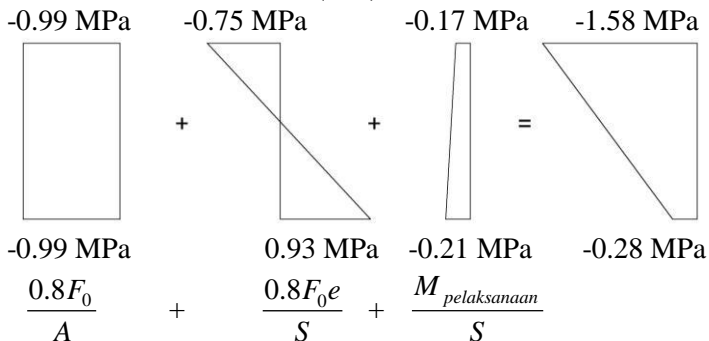
$$f_{ci} = -0.99 - (0.39 + 0.27 + 0.09) - (-0.17) = -1.58 \text{ MPa} > -36 \text{ MPa (OK)}$$

Cek tegangan pada serat bawah:

$$f_{ci} = -\sum \frac{0.8F_0}{A} + \sum \frac{0.8F_0e}{S_b} + \frac{M_{pelaksanaan}}{S_b}$$

$$f_{ci} = -\frac{6 \times 0.8 \times 2400000}{11548600} + \frac{2 \times 0.8 \times 2400000 \times (1963.74 + 1343.2 + 457.4)}{1.55 \times 10^{13}} + \frac{(-3.3 \times 10^9)}{1.55 \times 10^{13}}$$

$$f_{ci} = -0.99 + (0.49 + 0.33 + 0.11) + (-0.21) = -0.28 \text{ MPa} > -36 \text{ MPa (OK)}$$

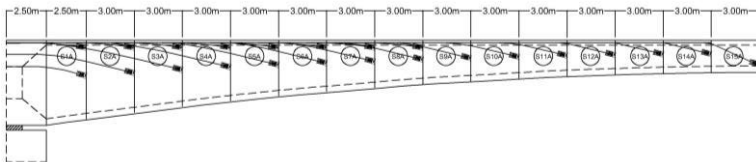


**Gambar 4. 21** Diagram tegangan penampang segmen S2 akibat pemasangan segmen S3

Besar eksentrisitas tendon kantilever disajikan pada Tabel 4.12. Kontrol tegangan penampang box girder pada segmen lainnya untuk masing-masing tahap pemasangan segmen dapat dilihat pada Tabel 4.13 sampai 4. 27.

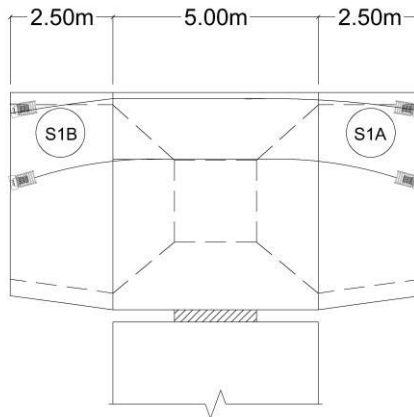
**Tabel 4. 12** Eksentrisitas tendon kantilever

segmen	$e_{cant}$ (mm)	n	$e_1$ (mm)	n	$e_2$ (mm)	n
S1	2138.983	42	1223.2	2	395.4	2
S2	1963.743	38	1343.2	2	457.4	2
S3	1785.719	34	1339.4	2	471.4	2
S4	1621.888	30	1284.4	2	450.9	2
S5	1472.126	26	1262.8	2	444.1	2
S6	1336.296	22	1186.3	2	423.1	2
S7	1214.253	20	422.2	2	-	
S8	1105.843	16	439.6	2	-	
S9	1010.911	12	401.5	2	-	
S10	929.3	10	418.7	2	-	
S11	860.862	8	405.7	2	-	
S12	805.4584	6	394.7	2	-	
S13	762.9696	4	389.5	2	-	
S14	733.2964	2	378.1	2	-	
S15	716.3663	0	0	2	-	

**Gambar 4. 22** Letak tendon kantilever

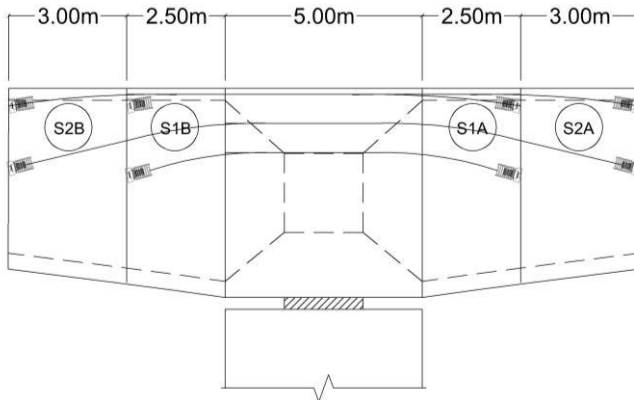
**Tabel 4. 13** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S1

Segmen		S1
Mtot (Nmm)		-2.65E+08
n tendon		2
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	0.32
	Fo e/Sa	0.00
	Fo e1/Sa	0.22
	Fo e2/Sa	0.00
	M/Sa	-0.01
	$\sigma$	-0.53
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	0.32
	Fo e/Sb	0.00
	Fo e1/Sb	0.27
	Fo e2/Sb	0.09
	M/Sb	-0.02
	$\sigma$	0.02
Cek	serat atas	OK
	serat bwh	OK

**Gambar 4. 23** Letak tendon saat pemasangan S1

**Tabel 4. 14** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S2

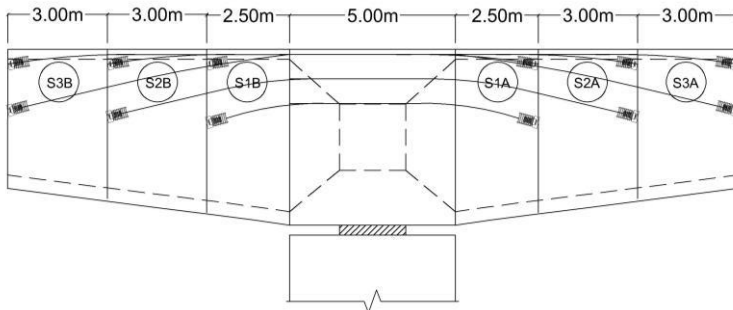
Segmen		S1	S2
Mtot (Nmm)		-3.00E+09	-3.70E+08
n tendon		6	2
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	0.97	0.33
	Fo e/Sa	0.38	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27
	Fo e2/Sa	0.07	0.00
	M/Sa	-0.14	-0.02
	$\sigma$	-1.50	-0.58
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	0.97	0.33
	Fo e/Sb	0.48	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33
	Fo e2/Sb	0.09	0.11
	M/Sb	-0.17	-0.02
	$\sigma$	-0.30	0.09
Cek	serat atas	OK	OK
	serat bwh	OK	OK

**Gambar 4. 24** Letak tendon saat pemasangan S2



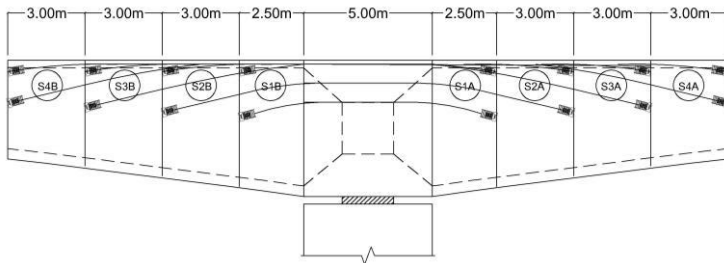
**Tabel 4. 15** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S3

Segmen		S1	S2	S3
Mtot (Nmm)		-8.54E+09	-3.26E+09	-3.59E+08
n tendon		10	6	2
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	1.61	1.00	0.34
	Fo e/Sa	1.15	0.39	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.00
	M/Sa	-0.40	-0.17	-0.02
	$\sigma$	-2.66	-1.58	-0.62
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	1.61	1.00	0.34
	Fo e/Sb	1.43	0.49	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13
	M/Sb	-0.50	-0.21	-0.03
	$\sigma$	-0.32	-0.28	0.13
Cek	serat atas	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK

**Gambar 4. 25** Letak tendon saat pemasangan S3

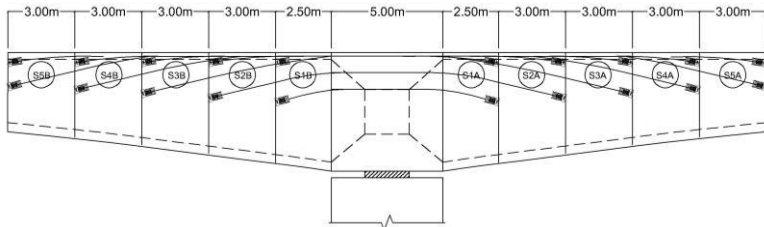
**Tabel 4. 16** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S4

Segmen	S1	S2	S3	S4	
Mtot (Nmm)	-1.67E+10	-8.88E+09	-3.16E+09	-3.48E+08	
n tendon	14	10	6	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	2.25	1.66	1.03	0.36
	Fo e/Sa	1.92	1.17	0.40	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.00
	M/Sa	-0.78	-0.46	-0.18	-0.02
	$\sigma$	-3.69	-2.73	-1.65	-0.65
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	2.25	1.66	1.03	0.36
	Fo e/Sb	2.38	1.46	0.50	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14
	M/Sb	-0.97	-0.57	-0.23	-0.03
	$\sigma$	-0.48	-0.33	-0.26	0.16
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 26** Letak tendon saat pemasangan S4

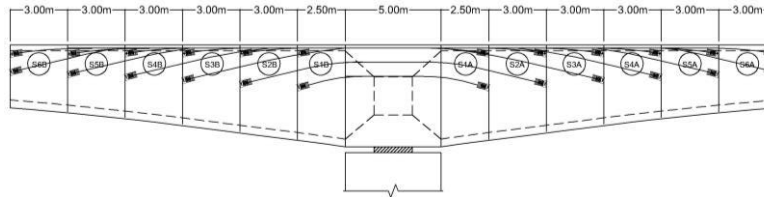
**Tabel 4. 17** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S5

Segmen		S1	S2	S3	S4	S5
Mtot (Nmm)		-2.74E+10	-1.71E+10	-8.63E+09	-3.08E+09	-3.39E+08
n tendon		18	14	10	6	2
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	2.90	2.33	1.72	1.07	0.37
	Fo e/Sa	2.69	1.95	1.19	0.40	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.00
	M/Sa	-1.29	-0.88	-0.50	-0.20	-0.02
	$\sigma$	-4.60	-3.75	-2.81	-1.70	-0.69
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	2.90	2.33	1.72	1.07	0.37
	Fo e/Sb	3.33	2.43	1.49	0.51	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16
	M/Sb	-1.59	-1.10	-0.63	-0.25	-0.03
	$\sigma$	-0.79	-0.55	-0.35	-0.26	0.20
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 27** Letak tendon saat pemasangan S5

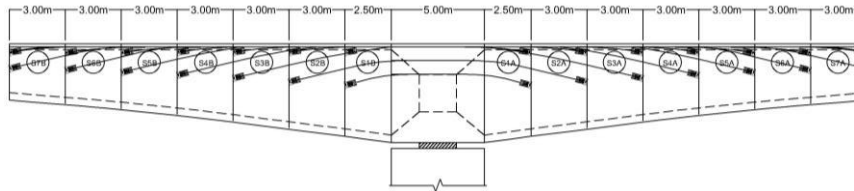
**Tabel 4. 18** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S6

Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Mtot (Nmm)	-4.05E+10	-2.77E+10	-1.66E+10	-8.40E+09	-3.00E+09	-3.30E+08	
n tendon	22	18	14	10	6	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	3.54	2.99	2.41	1.78	1.10	0.38
	Fo e/Sa	3.46	2.73	1.98	1.21	0.41	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.00
	M/Sa	-1.90	-1.43	-0.96	-0.54	-0.22	-0.03
	$\sigma$	-5.40	-4.65	-3.83	-2.87	-1.76	-0.72
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	3.54	2.99	2.41	1.78	1.10	0.38
	Fo e/Sb	4.29	3.40	2.49	1.52	0.52	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17
	M/Sb	-2.35	-1.79	-1.20	-0.68	-0.28	-0.03
	$\sigma$	-1.25	-0.93	-0.62	-0.39	-0.25	0.23
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 28** Letak tendon saat pemasangan S6

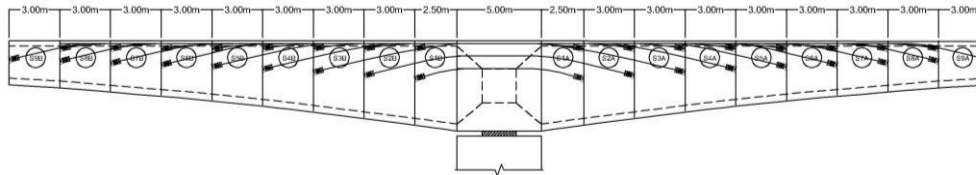
**Tabel 4. 19** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S7

Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
Mtot (Nmm)	-5.59E+10	-4.07E+10	-2.70E+10	-1.62E+10	-8.19E+09	-2.92E+09	-3.22E+08	
n tendon	26	22	18	14	10	6	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	4.19	3.66	3.10	2.49	1.83	1.13	0.39
	Fo e/Sa	4.23	3.51	2.77	2.01	1.22	0.41	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00
	M/Sa	-2.62	-2.11	-1.56	-1.04	-0.59	-0.24	-0.03
	$\sigma$	-6.09	-5.42	-4.71	-3.88	-2.94	-1.81	-0.50
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	4.19	3.66	3.10	2.49	1.83	1.13	0.39
	Fo e/Sb	5.24	4.38	3.48	2.54	1.56	0.53	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00
	M/Sb	-3.24	-2.62	-1.96	-1.32	-0.75	-0.30	-0.04
	$\sigma$	-1.83	-1.46	-1.07	-0.72	-0.42	-0.26	-0.24
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 29** Letak tendon saat pemasangan S7

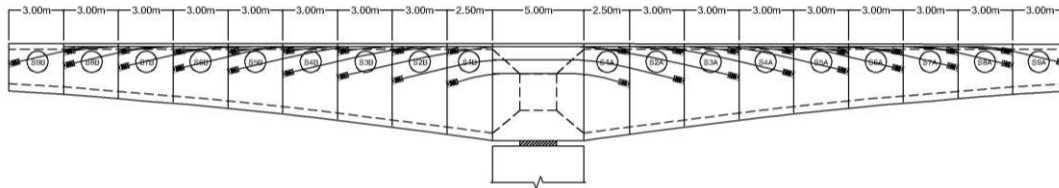
**Tabel 4. 20** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S8

Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
Mtot (Nmm)	-7.35E+10	-5.59E+10	-3.97E+10	-2.63E+10	-1.58E+10	-8.00E+09	-2.86E+09	-3.15E+08	
n tendon	30	26	22	18	14	10	6	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	4.83	4.32	3.78	3.20	2.56	1.88	1.16	0.40
	Fo e/Sa	5.00	4.29	3.56	2.81	2.04	1.24	0.84	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15	0.17
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00	0.00
	M/Sa	-3.44	-2.89	-2.29	-1.70	-1.14	-0.65	-0.26	-0.03
	$\sigma$	-6.68	-6.08	-5.46	-4.74	-3.94	-2.98	-1.89	-0.53
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	4.83	4.32	3.78	3.20	2.56	1.88	1.16	0.40
	Fo e/Sb	6.19	5.35	4.47	3.56	2.60	1.59	1.08	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19	0.22
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00	0.00
	M/Sb	-4.26	-3.61	-2.88	-2.15	-1.45	-0.83	-0.33	-0.04
	$\sigma$	-2.54	-2.14	-1.68	-1.25	-0.82	-0.48	-0.22	-0.22
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 30** Letak tendon saat pemasangan S8

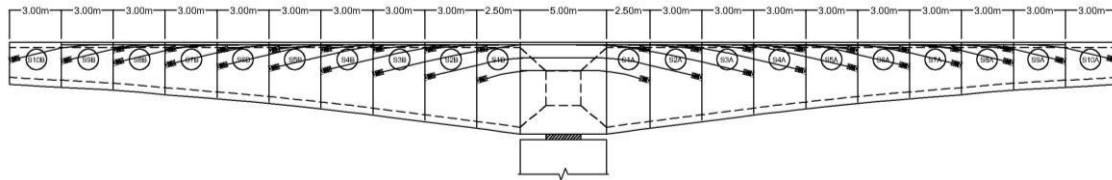
**Tabel 4. 21** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S9

Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	
Mtot (Nmm)	-9.32E+10	-7.34E+10	-5.46E+10	-3.88E+10	-2.58E+10	-1.55E+10	-7.83E+09	-2.80E+09	-3.09E+08	
n tendon	34	30	26	22	18	14	10	6	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	5.47	4.99	4.47	3.91	3.30	2.64	1.94	1.19	0.41
	Fo e/Sa	5.77	5.07	4.36	3.62	2.86	2.07	1.68	0.85	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15	0.17	0.17
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00	0.00	0.00
	M/Sa	-4.36	-3.80	-3.15	-2.50	-1.86	-1.25	-0.71	-0.28	-0.03
	$\sigma$	-7.17	-6.62	-6.07	-5.45	-4.77	-3.96	-3.06	-1.93	-0.54
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	5.47	4.99	4.47	3.91	3.30	2.64	1.94	1.19	0.41
	Fo e/Sb	7.15	6.32	5.47	4.57	3.63	2.65	2.17	1.10	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19	0.22	0.22
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00	0.00	0.00
	M/Sb	-5.40	-4.73	-3.96	-3.16	-2.37	-1.60	-0.91	-0.36	-0.04
	$\sigma$	-3.37	-2.95	-2.46	-1.96	-1.43	-0.95	-0.49	-0.23	-0.23
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 31** Letak tendon saat pemasangan S9

**Tabel 4. 22** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S10

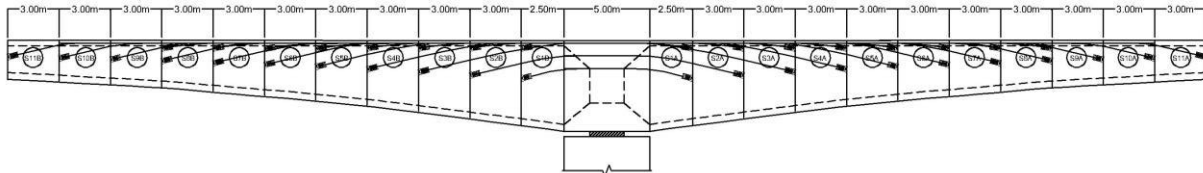
Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
Mtot (Nmm)	-1.15E+11	-9.29E+10	-7.18E+10	-5.35E+10	-3.80E+10	-2.52E+10	-1.52E+10	-7.69E+09	-2.75E+09	-3.04E+08	
n tendon	36	32	28	24	20	16	12	8	4	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	5.80	5.32	4.81	4.26	3.66	3.01	2.32	1.59	0.81	0.41
	Fo e/Sa	6.16	5.46	4.75	4.02	3.26	2.48	2.10	1.28	0.43	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15	0.17	0.17	0.20
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sa	-5.39	-4.81	-4.14	-3.45	-2.74	-2.04	-1.37	-0.77	-0.31	-0.04
	$\sigma$	-6.86	-6.33	-5.82	-5.26	-4.66	-3.96	-3.20	-2.26	-1.11	-0.57
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	5.80	5.32	4.81	4.26	3.66	3.01	2.32	1.59	0.81	0.41
	Fo e/Sb	7.62	6.81	5.97	5.08	4.15	3.18	2.71	1.66	0.56	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19	0.22	0.22	0.26
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sb	-6.67	-5.99	-5.20	-4.36	-3.49	-2.61	-1.76	-1.00	-0.40	-0.05
	$\sigma$	-4.48	-4.06	-3.55	-3.00	-2.40	-1.80	-1.19	-0.71	-0.42	-0.20
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 32** Letak tendon saat pemasangan S10



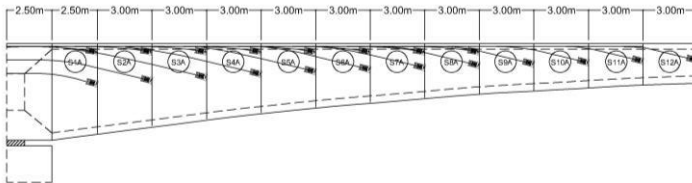
**Tabel 4. 23** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S11

Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Mtot (Nmm)	-1.39E+11	-1.15E+11	-9.10E+10	-7.03E+10	-5.24E+10	-3.73E+10	-2.48E+10	-1.49E+10	-7.57E+09	-2.71E+09	-3.00E+08	
n tendon	38	34	30	26	22	18	14	10	6	4	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	6.12	5.65	5.16	4.62	4.03	3.39	2.71	1.98	1.22	0.83	0.42
	Fo e/Sa	6.54	5.85	5.15	4.42	3.67	2.90	2.52	1.71	0.87	0.44	0.00
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15	0.17	0.17	0.20	0.21
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sa	-6.51	-5.93	-5.26	-4.54	-3.78	-3.01	-2.24	-1.50	-0.84	-0.33	-0.04
	$\sigma$	-6.45	-5.93	-5.45	-4.93	-4.39	-3.78	-3.14	-2.36	-1.41	-1.13	-0.59
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	6.12	5.65	5.16	4.62	4.03	3.39	2.71	1.98	1.22	0.83	0.42
	Fo e/Sb	8.10	7.29	6.46	5.59	4.67	3.71	3.25	2.21	1.13	0.57	0.00
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19	0.22	0.22	0.26	0.27
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sb	-8.06	-7.39	-6.60	-5.74	-4.82	-3.85	-2.88	-1.94	-1.10	-0.44	-0.05
	$\sigma$	-5.71	-5.30	-4.79	-4.22	-3.57	-2.90	-2.15	-1.49	-0.96	-0.43	-0.20
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

**Gambar 4. 33** Letak tendon saat pemasangan S11

**Tabel 4. 24** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S12

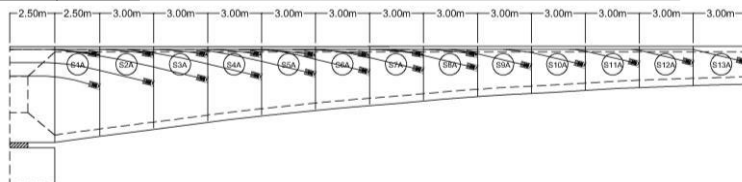
Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Mtot (Nmm)	-1.65E+11	-1.38E+11	-1.12E+11	-8.94E+10	-6.91E+10	-5.16E+10	
n tendon	40	36	32	28	24	20	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	6.44	5.99	5.50	4.97	4.39	3.77
	Fo e/Sa	6.93	6.24	5.54	4.82	4.08	3.31
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13
	M/Sa	-7.72	-7.16	-6.49	-5.77	-4.99	-4.16
	$\sigma$	-5.94	-5.42	-4.95	-4.46	-3.96	-3.42
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	6.44	5.99	5.50	4.97	4.39	3.77
	Fo e/Sb	8.58	7.78	6.96	6.10	5.19	4.24
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17
	M/Sb	-9.56	-8.93	-8.15	-7.29	-6.35	-5.33
	$\sigma$	-7.07	-6.69	-6.19	-5.62	-4.95	-4.22
Cek serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Cek serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Segmen	S7	S8	S9	S10	S11	12	
Mtot (Nmm)	-3.67E+10	-2.44E+10	-1.47E+10	-7.47E+09	-2.68E+09	-2.96E+08	
n tendon	16	12	8	6	4	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	3.10	2.38	1.62	1.24	0.84	0.43
	Fo e/Sa	2.94	2.13	1.30	0.88	0.44	0.00
	Fo e1/Sa	0.15	0.17	0.17	0.20	0.21	0.22
	Fo e2/Sa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sa	-3.31	-2.45	-1.64	-0.92	-0.36	-0.04
	$\sigma$	-2.88	-2.23	-1.45	-1.40	-1.13	-0.60
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	3.10	2.38	1.62	1.24	0.84	0.43
	Fo e/Sb	3.79	2.76	1.69	1.15	0.58	0.00
	Fo e1/Sb	0.19	0.22	0.22	0.26	0.27	0.29
	Fo e2/Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sb	-4.26	-3.18	-2.13	-1.20	-0.47	-0.06
	$\sigma$	-3.38	-2.58	-1.84	-1.03	-0.45	-0.19
Cek serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Cek serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	



**Gambar 4. 34** Letak tendon saat pemasangan S12

**Tabel 4. 25** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S13

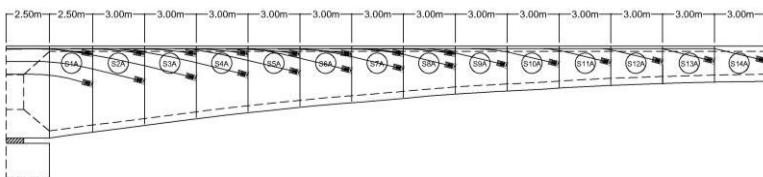
Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
Mtot (Nmm)	-1.93E+11	-1.64E+11	-1.36E+11	-1.11E+11	-8.80E+10	-6.81E+10	-5.08E+10	
n tendon	42	38	34	30	26	22	18	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	6.76	6.32	5.85	5.33	4.76	4.15	3.48
	Fo e/Sa	7.31	6.63	5.94	5.22	4.49	3.73	3.36
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00
	M/Sa	-9.04	-8.50	-7.85	-7.14	-6.35	-5.49	-4.58
	$\sigma$	-5.33	-4.81	-4.33	-3.85	-3.37	-2.88	-2.41
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	6.76	6.32	5.85	5.33	4.76	4.15	3.48
	Fo e/Sb	9.05	8.27	7.46	6.60	5.71	4.77	4.33
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00
	M/Sb	-11.19	-10.60	-9.86	-9.02	-8.08	-7.03	-5.90
	$\sigma$	-8.54	-8.20	-7.75	-7.20	-6.53	-5.77	-4.87
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Segmen	S8	S9	S10	S11	S12	S13		
Mtot (Nmm)	-3.62E+10	-2.41E+10	-1.45E+10	-7.39E+09	-2.65E+09	-2.94E+08		
n tendon	14	10	8	6	4	2		
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	2.78	2.03	1.65	1.26	0.85	0.43	
	Fo e/Sa	2.56	1.73	1.32	0.89	0.45	0.00	
	Fo e1/Sa	0.17	0.17	0.20	0.21	0.22	0.23	
	Fo e2/Sa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	M/Sa	-3.64	-2.69	-1.79	-0.99	-0.39	-0.05	
	$\sigma$	-1.87	-1.24	-1.38	-1.37	-1.14	-0.62	
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	2.78	2.03	1.65	1.26	0.85	0.43	
	Fo e/Sb	3.31	2.25	1.72	1.17	0.59	0.00	
	Fo e1/Sb	0.22	0.22	0.26	0.27	0.29	0.31	
	Fo e2/Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	M/Sb	-4.71	-3.50	-2.34	-1.30	-0.51	-0.06	
	$\sigma$	-3.95	-3.05	-2.01	-1.12	-0.48	-0.19	
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	



**Gambar 4. 35** Letak tendon saat pemasangan S13

**Tabel 4. 26** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S14

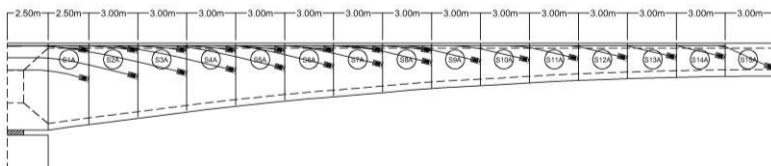
Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
Mtot (Nmm)	-2.23E+11	-1.92E+11	-1.62E+11	-1.34E+11	-1.09E+11	-8.68E+10	-6.72E+10	
n tendon	44	40	36	32	28	24	20	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	7.09	6.65	6.19	5.68	5.13	4.52	3.87
	Fo e/Sa	7.69	7.02	6.34	5.63	4.90	4.14	3.78
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00
	M/Sa	-10.45	-9.95	-9.34	-8.65	-7.87	-7.00	-6.06
	$\sigma$	-4.62	-4.08	-3.59	-3.09	-2.63	-2.16	-1.74
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	7.09	6.65	6.19	5.68	5.13	4.52	3.87
	Fo e/Sb	9.53	8.75	7.95	7.11	6.23	5.30	4.87
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00
	M/Sb	-12.94	-12.41	-11.73	-10.93	-10.01	-8.97	-7.80
	$\sigma$	-10.14	-9.86	-9.46	-8.96	-8.31	-7.55	-6.61
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Segmen	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	
Mtot (Nmm)	-5.03E+10	-3.58E+10	-2.39E+10	-1.44E+10	-7.33E+09	-2.63E+09	-2.92E+08	
n tendon	16	12	10	8	6	4	2	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	3.17	2.43	2.07	1.68	1.28	0.86	0.43
	Fo e/Sa	2.98	2.16	1.75	1.33	0.90	0.45	0.00
	Fo e1/Sa	0.17	0.17	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24
	Fo e2/Sa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sa	-5.05	-3.99	-2.94	-1.94	-1.07	-0.41	-0.05
	$\sigma$	-1.28	-0.77	-1.08	-1.29	-1.33	-1.14	-0.62
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	3.17	2.43	2.07	1.68	1.28	0.86	0.43
	Fo e/Sb	3.87	2.82	2.29	1.75	1.18	0.60	0.00
	Fo e1/Sb	0.22	0.22	0.26	0.27	0.29	0.31	0.31
	Fo e2/Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M/Sb	-6.54	-5.20	-3.84	-2.54	-1.40	-0.54	-0.06
	$\sigma$	-5.62	-4.59	-3.35	-2.20	-1.21	-0.50	-0.19
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	serat bwh	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK



**Gambar 4. 36** Letak tendon saat pemasangan S14

**Tabel 4. 27** Tegangan yang terjadi akibat pemasangan segmen S15

Segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
Mtot (Nmm)	-2.56E+11	-2.23E+11	-1.90E+11	-1.60E+11	-1.32E+11	-1.08E+11	-8.59E+10	-6.66E+10	
n tendon	46	42	38	34	30	26	22	18	
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	7.41	6.98	6.53	6.04	5.49	4.90	4.26	3.57
	Fo e/Sa	8.08	7.41	6.73	6.03	5.30	4.55	4.20	3.41
	Fo e1/Sa	0.22	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.15	0.17
	Fo e2/Sa	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.00	0.00
	M/Sa	-11.97	-11.52	-10.96	-10.30	-9.55	-8.70	-7.74	-6.69
	$\sigma$	-3.80	-3.23	-2.71	-2.20	-1.72	-1.26	-0.87	-0.46
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	7.41	6.98	6.53	6.04	5.49	4.90	4.26	3.57
	Fo e/Sb	10.00	9.24	8.45	7.62	6.75	5.83	5.41	4.42
	Fo e1/Sb	0.27	0.33	0.37	0.40	0.45	0.47	0.19	0.22
	Fo e2/Sb	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.00	0.00
	M/Sb	-14.83	-14.36	-13.75	-13.02	-12.15	-11.14	-9.97	-8.66
	$\sigma$	-11.87	-11.66	-11.33	-10.89	-10.29	-9.56	-8.63	-7.59
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	serat bwah	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Segmen	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15		
Mtot (Nmm)	-4.98E+10	-3.56E+10	-2.37E+10	-1.43E+10	-7.30E+09	-2.62E+09	-2.91E+08		
n tendon	14	12	10	8	6	4	2		
Tegangan serat atas (MPa)	Fo/A	2.84	2.48	2.10	1.70	1.29	0.87	0.44	
	Fo e/Sa	2.60	2.19	1.78	1.35	0.91	0.46	0.00	
	Fo e1/Sa	0.17	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.00	
	Fo e2/Sa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	M/Sa	-5.55	-4.37	-3.19	-2.08	-1.13	-0.43	-0.05	
	$\sigma$	-0.05	-0.50	-0.90	-1.19	-1.30	-1.13	-0.39	
Tegangan serat bawah (MPa)	Fo/A	2.84	2.48	2.10	1.70	1.29	0.87	0.44	
	Fo e/Sb	3.38	2.87	2.33	1.77	1.20	0.60	0.00	
	Fo e1/Sb	0.22	0.26	0.27	0.29	0.31	0.31	0.00	
	Fo e2/Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	M/Sb	-7.23	-5.71	-4.19	-2.74	-1.49	-0.56	-0.06	
	$\sigma$	-6.46	-5.07	-3.68	-2.38	-1.28	-0.52	-0.50	
Cek	serat atas	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
	serat bwah	OK	OK	OK	OK	OK	OK		



**Gambar 4. 37** Letak tendon saat pemasangan S15



$$\begin{array}{ll}
 M_{15A} &= 1.85 \times 10^{11} \text{ Nmm} & I &= 5.19 \times 10^{12} \text{ mm}^4 \\
 A &= 8811961 \text{ mm}^2 & h &= 2011.96 \text{ mm} \\
 S_a &= 5.99 \times 10^9 \text{ mm}^3 & S_b &= 4.53 \times 10^9 \text{ mm}^3 \\
 c. \text{ atas} &= 150 \text{ mm} & c. \text{ bawah} &= 200 \text{ mm} \\
 e_{\text{atas}} &= 0 \text{ (pada cgc)} & e_{\text{bawah}} &= 945.59 \text{ mm (30 tendon)}
 \end{array}$$

Pada segmen S15A, terdapat 1 pasang tendon kantilever dan tambahan 15 pasang tendon servis dengan jenis 6-27-27 yang ditambahkan pada pelat bawah box girder untuk mengkompensasi momen positif. Berdasarkan perhitungan tegangan ijin baja prategang yang telah dihitung pada sub bab 4.2.2.3, tegangan maksimal pada baja saat transfer gaya prategang adalah  $f_0 = 1575.44 \text{ MPa}$ . Sehingga untuk 1 tendon:

$$\begin{aligned}
 F_{0 \text{ max}} &= A_p \times f_0 \\
 &= 27 \times 140 \times 1575.44 = 5955163 \text{ N/tendon} \\
 &= 5955.2 \text{ kN/tendon}
 \end{aligned}$$

Digunakan  $F_0 = 5200 \text{ kN/tendon}$ , dan asumsi kehilangan prategang total sebanyak 20%

Cek tegangan pada serat atas:

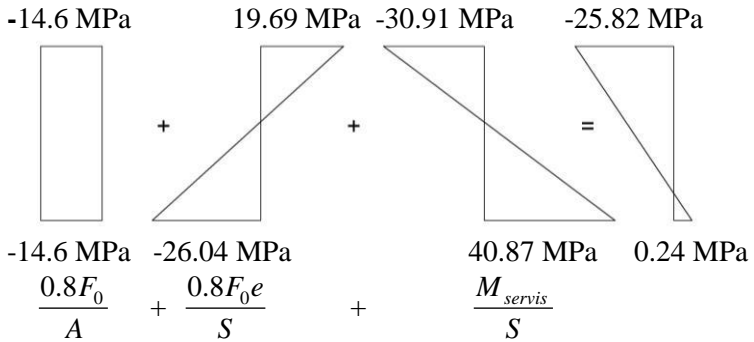
$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= -\sum \frac{0.8F_0}{A} - \frac{0.8F_{0.cant} e_{cant}}{S_a} + \frac{0.8F_{0.servis} e_{servis}}{S_a} - \frac{M_{servis}}{S_a} \\
 f_{ci} &= -\frac{0.8 \times (4.8 \cdot 10^6 + 1.56 \cdot 10^8)}{8811961} - \frac{0.8 \times 4.8 \cdot 10^6 \times 0}{5.99 \cdot 10^9} \\
 &+ \frac{0.8 \times 1.56 \cdot 10^8 \times 945.59}{5.99 \cdot 10^9} - \frac{1.85 \cdot 10^{11}}{5.99 \cdot 10^9} \\
 f_{ci} &= - (0.44 + 14.16) - 0 + 19.69 - 30.91 \\
 &= - 25.82 \text{ MPa} > - 27 \text{ MPa (OK)}
 \end{aligned}$$

Cek tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= -\sum \frac{0.8F_0}{A} + \frac{0.8F_{0.cant} e_{cant}}{S_b} - \frac{0.8F_{0.servis} e_{servis}}{S_b} + \frac{M_{servis}}{S_b} \\
 f_{ci} &= -\frac{0.8 \times (4.8 \cdot 10^6 + 1.56 \cdot 10^8)}{8811961} + \frac{0.8 \times 4.8 \cdot 10^6 \times 0}{4.53 \cdot 10^9} \\
 &- \frac{0.8 \times 1.56 \cdot 10^8 \times 945.59}{4.53 \cdot 10^9} + \frac{1.85 \cdot 10^{11}}{4.53 \cdot 10^9}
 \end{aligned}$$

$$f_{ci} = -(0.44+14.16) + 0 - 26.04 + 40.87$$

$$= 0.24 \text{ MPa} < 3.87 \text{ MPa (OK)}$$



**Gambar 4. 39** Diagram tegangan penampang segmen S15 saat masa layan

Kontrol tegangan penampang box girder pada segmen lainnya pada tahap layan dapat dilihat pada Tabel 4.28.











## 4.6 Analisa Kehilangan Gaya Prategang

### 4.6.1 Kehilangan Gaya Prategang Tendon Atas

Kehilangan gaya prategang dibagi dalam dua kategori yaitu secara langsung dan akibat fungsi waktu. Untuk kehilangan gaya prategang secara langsung meliputi akibat elastis beton (ES), gesekan (FR), dan slip ankur (SA). Sedangkan untuk kehilangan gaya prategang akibat fungsi waktu meliputi rangkai (CR), susut (SH), dan relaksasi baja (RE). Pada saat keadaan *balanced cantilever*, kehilangan prategang yang terjadi hanya secara langsung, sedangkan saat servis, telah terjadi kehilangan gaya prategang fungsi waktu.

#### 4.6.1.1 Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton (ES)

Berikut merupakan contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton pada segmen S2 ketika pemasangan segmen S3:

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 e^2}{I} - \frac{M_G e}{I}$$

Dengan  $M_G$  adalah momen akibat berat sendiri struktur sesaat setelah gaya prategang dikerjakan pada beton.

Menentukan  $f_{cir}$ ,

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 e^2}{I} - \frac{M_G e}{I}$$

$$f_{cir} = \frac{2400000}{1.15 \cdot 10^7} + \frac{2400000 \cdot 1963.7^2}{4.09 \cdot 10^{13}} - \frac{(-3.59 \cdot 10^8) \cdot 1963.7}{4.09 \cdot 10^{13}}$$

$$f_{cir} = 0.28 \text{ MPa}$$

Menentukan kehilangan akibat perpendekan elastis

$$\sigma_{es} = K_{es} \times \frac{E_s}{E_c} \times f_{cir}$$

Untuk beton pasca tarik, nilai  $K_{es} = 0.5$

$$\sigma_{es} = 0.5 \times \frac{195000}{36406.04} \times 0.28$$

$$\sigma_{es} = 0.74 \text{ MPa (terjadi penambahan gaya prategang)}$$

Terdapat 2 pasang tendon baru yang terpasang di segmen S2 pada saat pemasangan segmen S3 dan sepasang tendon yang telah terpasang sebelumnya. Setiap tendon yang telah terpasang mengalami kehilangan perpendekan elastis ketika dilakukan *jacking* pada tendon lainnya. Berikut contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (sampai dengan pemasangan segmen S3) pada tendon yang di-*jacking* pertama:

$$\begin{aligned} ES_1 &= 2 \times 2 \times ES + \text{kehilangan sebelumnya} = 4 \times 0.74 + 2.23 \\ &= 5.21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang pada tiap segmen saat pemasangan segmen S3 akibat perpendekan elastis terdapat pada Tabel 4.29.

**Tabel 4. 29** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton saat pemasangan segmen S3

segmen	S1	S2	S3
tendon 1	5.93		
tendon 2	3.72		
tendon 3	2.14	5.21	
tendon 4	0.56	2.97	
tendon 5	0.28	1.49	2.27
tendon 6	0.00	0.00	0.00
ES (MPa)	12.62	9.67	2.27

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.30.

**Tabel 4. 30** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton untuk tendon kantilever

segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
tendon 1	-333.14														
tendon 2	-335.36														
tendon 3	-336.94	-289.76													
tendon 4	-338.52	-291.99													
tendon 5	-338.80	-293.48	-244.85												
tendon 6	-339.08	-294.96	-247.12												
tendon 7	-337.44	-295.01	-248.59	-203.15											
tendon 8	-335.79	-295.05	-250.06	-205.46											
tendon 9	-331.64	-292.98	-249.98	-206.90	-165.05										
tendon 10	-327.49	-290.91	-249.89	-208.35	-167.39										
tendon 11	-320.27	-286.10	-247.52	-208.11	-168.81	-130.91									
tendon 12	-313.05	-281.29	-245.16	-207.88	-170.22	-133.29									
tendon 13	-302.23	-273.14	-239.83	-205.18	-169.81	-134.67	-101.04								
tendon 14	-291.40	-264.99	-234.50	-202.48	-169.41	-136.04	-103.45								
tendon 15	-276.46	-252.91	-225.55	-196.56	-166.33	-135.44	-104.77	-75.56							
tendon 16	-261.52	-240.84	-216.60	-190.65	-163.25	-134.84	-106.09	-78.00							
tendon 17	-241.96	-224.28	-203.38	-180.80	-156.68	-131.33	-105.27	-79.26	-54.36						
tendon 18	-217.28	-202.68	-185.28	-166.30	-145.82	-124.03	-101.30	-78.20	-55.55	-34.47					
tendon 19	-187.00	-175.50	-161.68	-146.47	-129.89	-112.05	-93.19	-73.72	-54.23	-35.58	-18.86				
tendon 20	-150.63	-142.19	-131.97	-120.62	-108.11	-94.52	-79.97	-64.73	-49.21	-34.00	-19.90	-7.87			
tendon 21	-107.68	-102.22	-95.54	-88.05	-79.73	-70.58	-60.68	-50.16	-39.28	-28.40	-18.04	-8.82	-1.46		
tendon 22	-57.645	-55.0084	-51.7614	-48.0824	-43.952	-39.366	-34.345	-28.9459	-23.276	-17.5059	-11.8782	-6.70521	-2.34727	0.829555	
tendon 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ES (MPa)	-6081.35	-4845.26	-3729.28	-2785.03	-2004.43	-1377.06	-890.11	-528.57	-275.90	-149.96	-68.68	-23.39	-3.81	0.83	0.00
% ES	-11.6%	-10.1%	-8.6%	-7.2%	-5.8%	-4.6%	-3.5%	-2.6%	-1.7%	-1.1%	-0.6%	-0.3%	-0.1%	0.0%	0.0%

#### 4.6.1.2 Kehilangan gaya prategang akibat gesekan (FR)

Berikut merupakan contoh perhitungan kehilangan prategang akibat friksi dan *wobble effect* pada segmen S2 saat pemasangan S3:

$$FR = F_0(1 - e^{-\mu\alpha - KL})$$

Pada segmen S2 terdapat 3 pasang tendon dengan panjang dan sudut  $\alpha$  yang berbeda-beda. Berikut contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat friksi pada tendon pertama:

$$\sigma_0 = \frac{F_0}{n_{strand} \times Ap} = \frac{2400000}{15 \times 140} = 1142.86 \text{ MPa}$$

$$\text{Panjang } \frac{1}{2} \text{ tendon (L)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Letak } x = \frac{1}{3} L$$

$$\text{Sudut } \alpha = 0.4538 \text{ rad}$$

$$\text{Koefisien } wobble \text{ (K)} = 0.001 \text{ (brosur VSL)}$$

$$\text{Koefisien friksi } (\mu) = 0.2 \text{ (brosur VSL)}$$

$$FR_1 = 2 \times 1142.86 \times (1 - e^{-0.2 \cdot 0.4538 - 0.001 \cdot 8/3})$$

$$FR_1 = 203.87 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang pada tiap segmen saat pemasangan segmen S3 akibat friksi terdapat pada Tabel 4.31.

**Tabel 4. 31** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi saat pemasangan segmen S3

segmen	S1	S2	S3
tendon 1	203.52		
tendon 2	5.71		
tendon 3	209.41	203.87	
tendon 4	12.16	6.09	
tendon 5	215.46	209.76	204.04
tendon 6	18.78	12.54	6.28
FR (MPa)	665.04	432.25	210.32

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat friksi untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.32.



**Tabel 4. 32** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi untuk tendon kantilever

segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
tendon 1	203.52														
tendon 2	5.71														
tendon 3	209.41	203.87													
tendon 4	12.16	6.09													
tendon 5	215.46	209.76	204.04												
tendon 6	18.78	12.54	6.28												
tendon 7	221.56	215.77	209.97	204.15											
tendon 8	25.46	19.12	12.76	6.39											
tendon 9	227.67	221.83	215.98	210.10	204.22										
tendon 10	32.15	25.76	19.35	12.92	6.47										
tendon 11	233.79	227.92	222.03	216.13	210.20	204.27									
tendon 12	38.85	32.42	25.97	19.51	13.02	6.52									
tendon 13	239.90	234.01	228.10	222.18	216.24	208.72	204.30								
tendon 14	45.54	39.09	32.62	26.14	19.63	11.40	6.56								
tendon 15	246.00	240.10	234.18	228.24	222.29	216.32	210.34	204.33							
tendon 16	52.22	45.76	39.28	32.78	26.26	19.72	13.17	6.59							
tendon 17	252.09	246.18	240.26	234.32	228.36	222.38	216.39	210.38	204.35						
tendon 18	258.16	252.25	251.07	240.39	234.43	228.45	222.46	204.37	210.42	204.37					
tendon 19	264.22	258.31	252.39	246.45	240.50	234.52	228.53	222.52	216.49	210.45	204.39				
tendon 20	270.26	264.36	258.44	252.51	246.56	240.59	234.60	228.60	222.57	218.05	210.48	204.40			
tendon 21	276.29	270.39	264.48	258.55	252.61	246.65	240.67	234.67	228.65	222.62	216.57	210.50	204.41		
tendon 22	282.30	276.41	270.51	264.59	258.65	252.70	246.72	240.73	234.73	228.70	222.66	216.60	210.52	204.42	
tendon 23	288.29	282.41	276.52	270.61	264.68	258.74	252.77	246.79	240.79	234.78	228.74	222.69	216.62	210.54	204.43
FR (MPa)	3919.77	3584.35	3264.23	2945.94	2644.11	2350.98	2076.51	1798.99	1558.02	1318.97	1082.84	854.19	631.56	414.96	204.43
% FR	-7.5%	-7.5%	-7.5%	-7.6%	-7.7%	-7.9%	-8.3%	-8.7%	-9.7%	-9.6%	-9.5%	-9.3%	-9.2%	-9.1%	-8.9%

#### 4.6.1.3 Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur (SA)

Slip angkur hanya berpengaruh sejauh X dari angkur ke arah memanjang masing-masing tendon. Berikut adalah perhitungan nilai X untuk tendon yang nyaris lurus:

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times g}{\sigma_0 \times K}}$$

Diambil nilai  $g = 2.5$

$$X = \sqrt{\frac{195000 \times 2.5}{1142.86 \times 0.001}}$$

$$X = 653.12 \text{ mm}$$

Dikarenakan panjang masing-masing segmen berkisar sepanjang 3 meter, pengaruh slip angkur tidak perlu diperhitungkan.

#### 4.6.1.4 Kehilangan gaya prategang akibat rangkak (CR)

Berikut adalah contoh kehilangan gaya prategang akibat rangkak dihitung dengan keadaan tendon terekat pada segmen S2:

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

Untuk tendon pasca tarik, nilai  $K_{cr} = 1.6$

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 e^2}{I} - \frac{M_G e}{I}$$

$$f_{cir} = \frac{2400000}{1.15 \cdot 10^7} + \frac{2400000 \cdot 1963.7^2}{4.09 \cdot 10^{13}} - \frac{(-1.49 \cdot 10^{11}) \cdot 1963.7}{4.09 \cdot 10^{13}}$$

$$f_{cir} = -6.72 \text{ MPa}$$

$f_{cds}$  = tegangan beton pada c.g.s akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

$$f_{cds} = -\frac{M_G e}{I}$$

Dengan  $M_g$  adalah berat beban mati tambahan yang berupa aspal, kerb dan parapet jembatan.

$$f_{cds} = -\frac{3.77 \cdot 10^{10} \times 1963.74}{4.09 \cdot 10^{13}} = -1.81 \text{ MPa}$$

$$CR = -1.6 \times \frac{195000}{36406.04} \times (6.72 - 1.81) = -42.12 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.33.

**Tabel 4.33** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk tendon kantilever

segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
M <sub>G</sub> (Nmm)	-1.77E+11	-1.49E+11	-1.21E+11	-9.47E+10	-7.11E+10	-4.99E+10	-3.10E+10	-1.42E+10
f <sub>cir</sub> (MPa)	-7.33	-6.72	-5.98	-5.14	-4.20	-3.15	-2.01	-0.77
f <sub>cds</sub> (MPa)	-1.95	-1.81	-1.64	-1.44	-1.21	-0.96	-0.67	-0.36
CR (MPa)	-46.16	-42.12	-37.21	-31.71	-25.59	-18.83	-11.46	-3.54
% CR	-4.04%	-3.69%	-3.26%	-2.77%	-2.24%	-1.65%	-1.00%	-0.31%
segmen	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
M <sub>G</sub> (Nmm)	480248771	1.304E+10	2.355E+10	3.205E+10	3.856E+10	4.31E+10	4.569E+10	
f <sub>cir</sub> (MPa)	0.54	1.87	3.19	4.43	5.50	6.32	6.81	
f <sub>cds</sub> (MPa)	-0.02	0.32	0.66	0.98	1.26	1.48	1.61	
CR (MPa)	-4.38	-13.32	-21.70	-29.53	-36.29	-41.47	-44.62	
% CR	-0.38%	-1.17%	-1.90%	-2.58%	-3.18%	-3.63%	-3.90%	

#### 4.6.1.5 Kehilangan gaya prategang akibat susut (SH)

Berikut adalah contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut pada segmen S2:

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} \times K_{SH} \times \left(1 - 0.0236 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH) \text{ (SI)}$$

Dengan data berikut:

K<sub>SH</sub> = 0.58 (pemasangan segmen dilakukan 30 hari setelah fabrikasi beton)

RH = 90% (Kabupaten Pacitan)

Besar area beton (V) dan perimeter luar box (S) berbeda-beda untuk setiap segmen, dengan besar V/S segmen S2 adalah sebagai berikut:

$$V = 11923580 \text{ mm}^2$$

$$S = 36303.87 \text{ mm}$$

$$V/S = 318.1 \text{ mm}$$

Koefisien pembebanan jembatan untuk beban susut adalah 0.5 pada kombinasi kuat 1 dan kuat 3

$$SH = 0.5 \times 8.2 \times 10^{-6} \times 0.58 \times (1 - 0.0236 \frac{11923580}{36303.87}) \times (100 - 90)$$

$$SH = -30.18 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.34.

**Tabel 4. 34** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat susut untuk tendon kantilever

segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
V (mm <sup>2</sup> )	1.19E+07	1.15E+07	1.12E+07	1.08E+07	1.05E+07	1.02E+07	9.92E+06	9.68E+06
S (mm)	37053.81	36303.87	35538.37	34830.29	34179.62	33586.36	33050.52	32572.08
V/S (mm)	321.79	318.11	314.19	310.41	306.81	303.39	300.20	297.27
SH (MPa)	-30.58	-30.18	-29.75	-29.33	-28.94	-28.56	-28.22	-27.89
% SH	-2.68%	-2.64%	-2.60%	-2.57%	-2.53%	-2.50%	-2.47%	-2.44%
segmen	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
V (mm <sup>2</sup> )	9472200	9290395	9137296	9012903	8917216	8850236	8811961	
S (mm)	32151.06	31787.45	31481.25	31232.47	31041.09	30907.13	30854.50	
V/S (mm)	294.62	292.27	290.25	288.57	287.27	286.35	285.60	
SH (MPa)	-27.60	-27.35	-27.13	-26.94	-26.80	-26.70	-26.62	
% SH	-2.42%	-2.39%	-2.37%	-2.36%	-2.35%	-2.34%	-2.33%	

#### 4.6.1.6 Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (RE)

Berikut adalah contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja pada segmen tengah bentang utama:

$$RE = (K_{RE} - J (SH + CR + ES)) \times C$$

Untuk tendon *low-relaxation* dengan  $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$ , koefisien relaksasi  $K_{RE} = 35 \text{ MPa}$  dan  $J = 0.04$

Dari tabel VSL, untuk  $f_{pi}/f_{pu} = 0.6$  digunakan  $C = 0.33$

$$RE = - (35 - 0.04 \times (30.18 + 42.12 + 4845.26)) \times 0.33$$

$$RE = - 9.07 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.35.

**Tabel 4. 35** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk tendon kantilever

segmen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
SH (MPa)	-30.58	-30.18	-29.75	-29.33	-28.94	-28.56	-28.22	-27.89
CR (MPa)	-46.16	-42.12	-37.21	-31.71	-25.59	-18.83	-11.46	-3.54
ES (MPa)	-6081.35	-4845.26	-3729.28	-2785.03	-2004.43	-1377.06	-890.11	-528.57
RE (MPa)	8.79	9.07	9.37	9.66	9.95	10.23	10.49	10.75
% RE	-0.77%	-0.79%	-0.82%	-0.85%	-0.87%	-0.89%	-0.92%	-0.94%
segmen	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
SH (MPa)	-27.60	-27.35	-27.13	-26.94	-26.80	-26.70	-26.62	
CR (MPa)	-4.38	-13.32	-21.70	-29.53	-36.29	-41.47	-44.62	
ES (MPa)	-275.90	-149.96	-68.68	-23.39	-3.81	0.83	0.00	
RE (MPa)	10.87	10.85	10.81	10.77	10.71	10.65	10.61	
% RE	-0.95%	-0.95%	-0.95%	-0.94%	-0.94%	-0.93%	-0.93%	

#### 4.6.1.7 Total kehilangan gaya prategang secara langsung dan tak langsung pada tendon kantilever

Untuk kehilangan gaya prategang secara langsung meliputi akibat elastis beton (ES), gesekan (FR), dan slip ankur (SA). Sedangkan untuk kehilangan gaya prategang akibat fungsi waktu meliputi rangkai (CR), susut (SH), dan relaksasi baja (RE). Pada saat keadaan *balanced cantilever*, kehilangan prategang yang terjadi hanya secara langsung, sedangkan saat servis, telah terjadi kehilangan gaya prategang fungsi waktu.

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.36.

**Tabel 4. 36** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang total untuk tendon kantilever

% ES	-11.57%	-10.09%	-8.59%	-7.17%	-5.85%	-4.63%	-3.54%	-2.57%
% FR	-7.46%	-7.47%	-7.52%	-7.58%	-7.71%	-7.91%	-8.26%	-8.75%
% CR	-4.04%	-3.69%	-3.26%	-2.77%	-2.24%	-1.65%	-1.00%	-0.31%
% SH	-2.68%	-2.64%	-2.60%	-2.57%	-2.53%	-2.50%	-2.47%	-2.44%
% RE	-0.77%	-0.79%	-0.82%	-0.85%	-0.87%	-0.89%	-0.92%	-0.94%
% total	-26.51%	-24.68%	-22.78%	-20.94%	-19.20%	-17.59%	-16.19%	-15.01%
segmen	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
% ES	-1.72%	-1.09%	-0.60%	-0.26%	-0.06%	0.02%	0.00%	
% FR	-9.74%	-9.62%	-9.47%	-9.34%	-9.21%	-9.08%	-8.94%	
% CR	-0.38%	-1.17%	-1.90%	-2.58%	-3.18%	-3.63%	-3.90%	
% SH	-2.42%	-2.39%	-2.37%	-2.36%	-2.35%	-2.34%	-2.33%	
% RE	-0.95%	-0.95%	-0.95%	-0.94%	-0.94%	-0.93%	-0.93%	
% total	-15.21%	-15.22%	-15.29%	-15.48%	-15.72%	-15.96%	-16.11%	

#### 4.6.2 Kehilangan Gaya Prategang Tendon Bawah

Kehilangan gaya prategang dibagi dalam dua kategori yaitu secara langsung dan akibat fungsi waktu. Untuk kehilangan gaya prategang secara langsung meliputi akibat elastis beton (ES), gesekan (FR), dan slip ankur (SA). Sedangkan untuk kehilangan gaya prategang akibat fungsi waktu meliputi rangkai (CR), susut (SH), dan relaksasi baja (RE).

##### 4.6.2.1 Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton (ES)

Berikut merupakan contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton pada segmen S15A:

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 e^2}{I} - \frac{M_G e}{I}$$

Dengan  $M_G$  adalah momen akibat berat sendiri struktur sesaat setelah gaya prategang dikerjakan pada beton.

Menentukan  $f_{cir}$ ,

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 e^2}{I} - \frac{M_G e}{I}$$

$$f_{cir} = \frac{5200000}{8.81 \cdot 10^6} + \frac{5200000 \cdot 945.6^2}{5.19 \cdot 10^{12}} - \frac{4.57 \cdot 10^{10} \cdot 945.6}{5.19 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{cir} = -6.84 \text{ MPa}$$

Menentukan kehilangan akibat perpendekan elastis

$$\sigma_{es} = K_{es} \times \frac{E_s}{E_c} \times f_{cir}$$

Untuk beton pasca tarik, nilai  $K_{es} = 0.5$

$$\sigma_{es} = 0.5 \times \frac{195000}{36406.04} \times 6.84$$

$$\sigma_{es} = -18.31 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan gaya prategang, didapatkan jumlah tendon bawah yang dipasang pada segmen S15A sebanyak 30 buah dengan pemasangan yang berurutan dari tendon terpendek sebanyak 2 tendon per *jacking*, sehingga terdapat 15 kali *jacking* untuk tendon

yang berada pada segmen S15A. Setiap tendon yang telah terpasang mengalami kehilangan perpendekan elastis ketika dilakukan *jacking* pada tendon lainnya. Berikut contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis pada tendon yang di-*jacking* pertama:

$$ES_1 = 2 \times 14 \times ES = 28 \times (-18.31)$$

$$ES_1 = -512.61 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis untuk tiap segmen terdapat pada tabel 4.37 dan 4.38.

**Tabel 4. 37** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton untuk tendon servis pada bentang tengah

segmen	S7A	S8A	S9A	S10A	S11A	S12A	S13A	S14A	S15A	C1
tendon 1									-512.61	-526.67
tendon 2								-430.15	-476.00	-489.05
tendon 3							-327.58	-397.06	-439.38	-451.43
tendon 4							-300.28	-363.97	-402.77	-413.82
tendon 5						-197.81	-272.98	-330.88	-366.15	-376.20
tendon 6					-100.32	-178.03	-245.68	-297.80	-329.54	-338.58
tendon 7					-89.17	-158.25	-218.39	-264.71	-292.92	-300.96
tendon 8				-13.88	-78.03	-138.47	-191.09	-231.62	-256.31	-263.34
tendon 9				-11.90	-66.88	-118.68	-163.79	-198.53	-219.69	-225.72
tendon 10			36.07	-9.91	-55.73	-98.90	-136.49	-165.44	-183.08	-188.10
tendon 11			28.86	-7.93	-44.59	-79.12	-109.19	-132.35	-146.46	-150.48
tendon 12		48.21	21.64	-5.95	-33.44	-59.34	-81.89	-99.27	-109.85	-112.86
tendon 13		32.14	14.43	-3.97	-22.29	-39.56	-54.60	-66.18	-73.23	-75.24
tendon 14	24.33	16.07	7.21	-1.98	-11.15	-19.78	-27.30	-33.09	-36.62	-37.62
tendon 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ES (MPa)	24.33	96.41	108.21	-55.52	-501.59	-1087.94	-2129.27	-3011.05	-3844.60	-3950.05
% ES	0.44%	0.88%	0.66%	-0.25%	-1.82%	-3.59%	-5.95%	-7.82%	-9.32%	-9.57%



**Tabel 4. 38** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat pempendekan elastis beton untuk tendon servis pada bentang tepi

segmen	S21	S20	S19	S18	S17	S16	C2	S15B
tendon 1					-233.83	-256.51	-263.75	-257.93
tendon 2					-204.61	-224.45	-230.78	-225.69
tendon 3				-146.92	-175.38	-192.38	-197.81	-193.44
tendon 4				-122.43	-146.15	-160.32	-164.84	-161.20
tendon 5	6.28	-37.11	-71.35	-97.95	-116.92	-128.26	-131.87	-128.96
tendon 6	4.71	-27.83	-53.51	-73.46	-87.69	-96.19	-98.91	-96.72
tendon 7	3.14	-18.56	-35.67	-48.97	-58.46	-64.13	-65.94	-64.48
tendon 8	1.57	-9.28	-17.84	-24.49	-29.23	-32.06	-32.97	-32.24
tendon 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tendon 10								
tendon 11								
tendon 12								
tendon 13								
tendon 14								
tendon 15								
ES (MPa)	15.70	-92.78	-178.36	-514.22	-1052.26	-1154.30	-1186.87	-1160.67
% ES	0.11%	-0.67%	-1.30%	-2.67%	-4.25%	-4.66%	-4.79%	-4.69%
segmen	S14B	S13B	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B	S7B
tendon 1	-232.82	-189.97						
tendon 2	-203.71	-166.22	-116.77					
tendon 3	-174.61	-142.47	-100.09	-50.99				
tendon 4	-145.51	-118.73	-83.41	-42.49	1.19			
tendon 5	-116.41	-94.98	-66.73	-33.99	0.95	36.16		
tendon 6	-87.31	-71.24	-50.05	-25.49	0.71	27.12		
tendon 7	-58.20	-47.49	-33.36	-17.00	0.47	18.08	35.09	
tendon 8	-29.10	-23.75	-16.68	-8.50	0.24	9.04	17.54	
tendon 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tendon 10								
tendon 11								
tendon 12								
tendon 13								
tendon 14								
tendon 15								
ES (MPa)	-1047.67	-854.85	-467.10	-178.46	3.56	90.41	52.63	0.00
% ES	-4.23%	-3.45%	-2.12%	-0.93%	0.02%	0.66%	0.64%	0.00%

#### 4.6.2.2 Kehilangan gaya prategang akibat gesekan (FR)

Berikut merupakan contoh perhitungan kehilangan prategang akibat friksi dan *wobble effect* pada segmen S15A:

$$FR = F_0(1 - e^{-\mu\alpha - KL})$$

Pada segmen S15A terdapat 15 pasang tendon dengan panjang dan sudut  $\alpha$  yang berbeda-beda. Berikut contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat friksi pada tendon pertama:

$$\sigma_0 = \frac{F_0}{n_{strand} \times Ap} = \frac{5200000}{27 \times 140} = 1375.66 \text{ MPa}$$

$$\text{Panjang } \frac{1}{2} \text{ tendon (L)} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Letak x} = \frac{1}{2} L$$

$$\text{Sudut } \alpha \approx 0$$

$$\text{Koefisien } wobble \text{ (K)} = 0.001 \text{ (brosur VSL)}$$

$$\text{Koefisien friksi } (\mu) = 0.2 \text{ (brosur VSL)}$$

$$FR_1 = 2 \times 1375.66 \times (1 - e^{-0-0.001 \cdot 8/2})$$

$$FR_1 = -5.5 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat gesekan untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.39 dan 4.40.

**Tabel 4. 39** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi untuk tendon servis pada bentang tepi

segmen	S21	S20	S19	S18	S17	S16	C2	S15B
tendon 1					-26.87	-34.58	-42.27	-42.27
tendon 2					-25.96	-32.77	-39.56	-46.33
tendon 3				-35.73	-42.78	-49.82	-56.83	-63.83
tendon 4				-36.55	-44.41	-52.25	-60.06	-67.86
tendon 5	-46.12	-54.07	-62.00	-69.90	-77.78	-85.64	-93.47	-93.47
tendon 6	-46.12	-54.07	-62.00	-69.90	-77.78	-85.64	-85.64	-93.47
tendon 7	-45.63	-53.10	-60.54	-67.96	-75.37	-82.75	-90.11	-97.45
tendon 8	-45.63	-53.10	-60.54	-67.96	-75.37	-82.75	-90.11	-97.45
tendon 9	-55.57	-63.51	-71.43	-79.32	-87.19	-95.04	-102.86	-110.66
tendon 10								
tendon 11								
tendon 12								
tendon 13								
tendon 14								
tendon 15								
FR (MPa)	-239.08	-277.85	-316.50	-427.32	-533.51	-601.21	-660.90	-712.78
% FR	-1.74%	-2.02%	-2.30%	-2.22%	-2.15%	-2.43%	-2.67%	-2.88%
segmen	S14B	S13B	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B	S7B
tendon 1	-34.58	-26.87						
tendon 2	-39.56	-32.77	-25.96					
tendon 3	-56.83	-49.82	-42.78	-35.73				
tendon 4	-67.86	-60.06	-52.25	-44.41	-36.55			
tendon 5	-85.64	-77.78	-69.90	-62.00	-54.07	-46.12		
tendon 6	-85.64	-77.78	-69.90	-62.00	-54.07	-46.12		
tendon 7	-90.11	-82.75	-75.37	-67.96	-60.54	-53.10	-45.63	
tendon 8	-90.11	-82.75	-75.37	-67.96	-60.54	-53.10	-45.63	
tendon 9	-110.66	-102.86	-95.04	-87.19	-79.32	-71.43	-63.51	-55.57
tendon 10								
tendon 11								
tendon 12								
tendon 13								
tendon 14								
tendon 15								
FR (MPa)	-660.98	-593.43	-506.56	-427.25	-345.09	-269.86	-154.78	-55.57
% FR	-2.67%	-2.40%	-2.30%	-2.22%	-2.09%	-1.96%	-1.88%	-2.02%

**Tabel 4. 40** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat friksi untuk tendon servis pada bentang tengah

segmen	S7A	S8A	S9A	S10A	S11A	S12A	S13A	S14A	S15A	C1
tendon 1									-5.50	-10.98
tendon 2								-25.51	-31.86	-38.20
tendon 3							-44.92	-51.68	-58.42	-65.15
tendon 4							-44.92	-51.68	-58.42	-65.15
tendon 5						-45.19	-52.22	-59.23	-66.22	-73.19
tendon 6					-64.20	-71.36	-78.49	-85.61	-92.71	-99.79
tendon 7					-64.20	-71.36	-78.49	-85.61	-92.71	-99.79
tendon 8				-64.33	-71.61	-78.87	-86.12	-93.34	-100.55	-107.73
tendon 9				-64.33	-71.61	-78.87	-86.12	-93.34	-100.55	-107.73
tendon 10			-83.12	-90.44	-97.75	-105.04	-112.31	-119.55	-126.78	-133.99
tendon 11			-83.12	-90.44	-97.75	-105.04	-112.31	-119.55	-126.78	-133.99
tendon 12		-83.19	-90.59	-97.97	-105.33	-112.67	-119.99	-127.29	-134.57	-141.83
tendon 13		-83.19	-90.59	-97.97	-105.33	-112.67	-119.99	-127.29	-134.57	-141.83
tendon 14	-101.81	-109.22	-116.61	-123.97	-131.32	-138.65	-145.95	-153.24	-160.50	-167.74
tendon 15	-101.81	-109.22	-116.61	-123.97	-131.32	-138.65	-145.95	-153.24	-160.50	-167.74
FR (MPa)	-203.62	-384.82	-580.63	-753.44	-940.43	-1058.37	-1227.79	-1346.17	-1450.64	-1554.83
%FR	-3.70%	-3.50%	-3.52%	-3.42%	-3.42%	-3.50%	-3.43%	-3.49%	-3.52%	-3.77%

#### 4.6.2.3 Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur (SA)

Slip angkur hanya berpengaruh sejauh X dari angkur ke arah memanjang masing-masing tendon. Berikut adalah perhitungan nilai X untuk tendon yang nyaris lurus:

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times g}{\sigma_0 \times K}}$$

Diambil nilai  $g = 2.5$

$$X = \sqrt{\frac{195000 \times 2.5}{1375.66 \times 0.001}}$$

$$X = 595.29 \text{ mm}$$

Dikarenakan panjang masing-masing segmen berkisar sepanjang 3 meter, pengaruh slip angkur tidak perlu diperhitungkan.

#### 4.6.2.4 Kehilangan gaya prategang akibat rangkak (CR)

Berikut adalah contoh kehilangan gaya prategang akibat rangkak dihitung dengan keadaan tendon terekat pada segmen tengah bentang utama:

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

Untuk tendon pasca tarik, nilai  $K_{cr} = 1.6$

$f_{cds}$  = tegangan beton pada c.g.s akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

$$f_{cds} = -\frac{M_g e}{I}$$

Dengan  $M_g$  adalah berat beban mati tambahan yang berupa aspal, kerb dan parapet jembatan.

$$f_{cds} = -\frac{1.17 \cdot 10^{10} \cdot 945.6}{5.19 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{cds} = -2.12 \text{ MPa}$$

$$CR = -1.6 \times \frac{195000}{36406.04} \times (6.84 - 2.12)$$

$$CR = -40.4 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat rangkai untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.41.

**Tabel 4. 41** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat rangkai untuk tendon servis

segmen	S21	S20	S19	S18	S17	S16	C2	S15B	S14B
MG (Nmm)	1.72E+09	4.64E+09	6.93E+09	8.71E+09	9.98E+09	1.07E+10	1.09E+10	1.08E+10	1.02E+10
fcir (MPa)	0.29	-1.73	-3.33	-4.57	-5.46	-5.99	-6.16	-6.02	-5.43
fcds (MPa)	-0.32	-0.85	-1.27	-1.60	-1.83	-1.97	-2.01	-1.97	-1.81
CR (MPa)	0.20	-7.55	-17.63	-25.47	-31.07	-34.44	-35.53	-34.71	-31.06
% CR	0.01%	-0.55%	-1.28%	-1.85%	-2.26%	-2.50%	-2.58%	-2.52%	-2.26%
segmen	S13B	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B	S7B	S7A	S8A
MG (Nmm)	9.03E+09	7.36E+09	5.17E+09	2.47E+09	-7.52E+08	-4.49E+09	-8.75E+09	-8.35E+09	-4.04E+09
fcir (MPa)	-4.43	-3.11	-1.59	0.04	1.69	3.28	4.76	4.54	3.00
fcds (MPa)	-1.54	-1.18	-0.77	-0.34	0.09	0.51	0.90	0.86	0.46
CR (MPa)	-24.81	-16.55	-6.96	2.54	-13.65	-23.68	-33.08	-31.56	-21.76
% CR	-1.80%	-1.20%	-0.51%	0.18%	-0.99%	-1.72%	-2.40%	-0.02	-0.02
segmen	S9A	S10A	S11A	S12A	S13A	S14A	S15A	C1	
MG (Nmm)	-2.46E+08	3.03E+09	5.79E+09	8.03E+09	9.75E+09	1.10E+10	1.17E+10	1.18E+10	
fcir (MPa)	1.35	-0.37	-2.08	-3.69	-5.10	-6.18	-6.84	-7.02	
fcds (MPa)	0.03	-0.42	-0.87	-1.29	-1.66	-1.95	-2.12	-2.17	
CR (MPa)	-11.28	0.41	-10.40	-20.58	-29.43	-36.25	-40.40	-41.58	
% CR	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	

#### 4.6.2.5 Kehilangan gaya prategang akibat susut (SH)

Berikut adalah contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut pada segmen tengah bentang utama:

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} \times K_{SH} \times \left(1 - 0.0236 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH) \text{ (SI)}$$

Dengan data berikut:

$K_{SH} = 0.58$  (pemasangan segmen dilakukan 30 hari setelah fabrikasi beton)

$RH = 90\%$  (Kabupaten Pacitan)

Besar area beton (V) dan perimeter luar box (S) berbeda-beda untuk setiap segmen, dengan besar V/S segmen tengah adalah sebagai berikut:

$$V = 8859236 \text{ mm}^2$$

$$S = 30830.58 \text{ mm}$$

$$V/S = 285.5 \text{ mm}$$

Koefisien pembebanan jembatan untuk beban susut adalah 0.5 pada kombinasi kuat 1 dan kuat 3

$$SH = 0.5 \times 8.2 \times 10^{-6} \times 0.58 \times (1 - 0.0236 \cdot 285.5) \times (100 - 90)$$

$$SH = -26.64 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.42.





#### 4.6.2.6 Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (RE)

Berikut adalah contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja pada segmen tengah bentang utama:

$$RE = (K_{RE} - J(\text{SH} + \text{CR} + \text{ES})) \times C$$

Untuk tendon *low-relaxation* dengan  $f_{pu} = 1860$  MPa, koefisien relaksasi  $K_{RE} = 35$  MPa dan  $J = 0.04$

Dari tabel VSL, untuk  $f_{pi}/f_{pu} = 0.75$  digunakan  $C = 1$

$$RE = -(35 - 0.04 \times (26.6 + 40.4 + 3844.6)) \times 1$$

$$RE = -27.19 \text{ MPa}$$

Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.41.

**Tabel 4. 43** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk tendon servis

segmen	S21	S20	S19	S18	S17	S16	C2	S15B	S14B
SH (MPa)	-26.62	-26.62	-26.62	-26.62	-26.62	-26.62	-26.62	-26.64	-26.70
CR (MPa)	0.20	-7.55	-17.63	-25.47	-31.07	-34.44	-35.53	-34.71	-31.06
ES (MPa)	15.70	-92.78	-178.36	-514.22	-1052.26	-1154.30	-1186.87	-1160.67	-1047.67
RE (MPa)	-33.86	-33.26	-32.52	-31.45	-30.35	-29.99	-29.88	-29.97	-30.36
% RE	-2.46%	-2.42%	-2.36%	-2.29%	-2.21%	-2.18%	-2.17%	-2.18%	-2.21%
segmen	S13B	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B	S7B	S7A	S8A
SH (MPa)	-26.80	-26.94	-27.13	-27.35	-27.60	-27.89	-29.14	-28.22	-27.89
CR (MPa)	-24.81	-16.55	-6.96	2.54	-13.65	-23.68	-33.08	-31.56	-21.76
ES (MPa)	-854.85	-467.10	-178.46	3.56	90.41	52.63	0.00	24.33	96.41
RE (MPa)	-31.04	-32.09	-33.13	-33.79	-32.99	-32.59	-32.51	32.37	32.53
% RE	-2.26%	-2.33%	-2.41%	-2.46%	-2.40%	-2.37%	-2.36%	-2.35%	-2.36%
segmen	S9A	S10A	S11A	S12A	S13A	S14A	S15A	C1	
SH (MPa)	-27.60	-27.35	-27.13	-26.94	-26.80	-26.70	-26.64	-26.62	
CR (MPa)	-11.28	0.41	-10.40	-20.58	-29.43	-36.25	-40.40	-41.58	
ES (MPa)	108.21	-55.52	-501.59	-1087.94	-2129.27	-3011.05	-3844.60	-3950.05	
RE (MPa)	33.08	33.75	32.50	31.12	29.47	28.18	27.19	27.01	
% RE	-2.40%	-2.45%	-2.36%	-2.26%	-2.14%	-2.05%	-1.98%	-1.96%	

#### 4.6.2.7 Total kehilangan gaya prategang secara langsung dan tak langsung pada tendon kantilever

Untuk kehilangan gaya prategang secara langsung meliputi akibat elastis beton (ES), gesekan (FR), dan slip angkur (SA). Sedangkan untuk kehilangan gaya prategang akibat fungsi waktu meliputi rangkai (CR), susut (SH), dan relaksasi baja (RE).

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang untuk tiap segmen terdapat pada Tabel 4.42.

**Tabel 4. 44** Rekapitulasi kehilangan gaya prategang total untuk tendon servis

segmen	S21	S20	S19	S18	S17	S16	C2	S15B	S14B
% ES	0.11%	-0.67%	-1.30%	-2.67%	-4.25%	-4.66%	-4.79%	-4.69%	-4.23%
% FR	-1.74%	-2.02%	-2.30%	-2.22%	-2.15%	-2.43%	-2.67%	-2.88%	-2.67%
% CR	0.01%	-0.55%	-1.28%	-1.85%	-2.26%	-2.50%	-2.58%	-2.52%	-2.26%
% SH	-1.94%	-1.94%	-1.94%	-1.94%	-1.94%	-1.94%	-1.94%	-1.94%	-1.94%
% RE	-2.46%	-2.42%	-2.36%	-2.29%	-2.21%	-2.18%	-2.17%	-2.18%	-2.21%
% total	-6.01%	-7.60%	-9.18%	-10.96%	-12.80%	-13.71%	-14.15%	-14.20%	-13.31%
segmen	S13B	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B	S7B	S7A	S8A
% ES	-3.45%	-2.12%	-0.93%	0.02%	0.66%	0.64%	0.00%	0.44%	0.88%
% FR	-2.40%	-2.30%	-2.22%	-2.09%	-1.96%	-1.88%	-2.02%	-3.70%	-3.50%
% CR	-1.80%	-1.20%	-0.51%	0.18%	-0.99%	-1.72%	-2.40%	-2.29%	-1.58%
% SH	-1.95%	-1.96%	-1.97%	-1.99%	-2.01%	-2.03%	-2.12%	-2.05%	-2.03%
% RE	-2.26%	-2.33%	-2.41%	-2.46%	-2.40%	-2.37%	-2.36%	-2.35%	-2.36%
% total	-11.86%	-9.92%	-8.03%	-6.33%	-6.70%	-7.36%	-8.91%	-9.96%	-8.60%
segmen	S9A	S10A	S11A	S12A	S13A	S14A	S15A	C1	
% ES	0.66%	-0.25%	-1.82%	-3.59%	-5.95%	-7.82%	-9.32%	-9.57%	
% FR	-3.52%	-3.42%	-3.42%	-3.50%	-3.43%	-3.49%	-3.52%	-3.77%	
% CR	-0.82%	0.03%	-0.76%	-1.50%	-2.14%	-2.63%	-2.94%	-3.02%	
% SH	-2.01%	-1.99%	-1.97%	-1.96%	-1.95%	-1.94%	-1.94%	-1.94%	
% RE	-2.40%	-2.45%	-2.36%	-2.26%	-2.14%	-2.05%	-1.98%	-1.96%	
% total	-8.09%	-8.09%	-10.33%	-12.81%	-15.62%	-17.94%	-19.68%	-20.26%	

## 4.7 Perhitungan Struktur

### 4.7.1 Perhitungan Penulangan Lentur

Penulangan lentur box girder terdiri dari tulangan lentur memanjang dan tulangan lentur melintang. Direncanakan dimensi dan mutu bahan sebagai berikut:

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 60 MPa

Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 420 MPa

Selimut beton (cc) = 40 mm

D tulangan memanjang = 22 mm

D tulangan melintang = 25 mm

#### 4.7.1.1 Tulangan lentur memanjang

Tulangan lentur memanjang menggunakan tulangan susut karena semua momen arah memanjang telah dilawan oleh tendon.

Berikut adalah contoh perhitungan tulangan lentur memanjang untuk segmen S1.

- Tulangan pada pelat atas

$$A_s = 380.13 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 0.002$$

$$b = 13500 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm (tebal pelat atas)}$$

$$\begin{aligned} d &= h_b - d_{\text{melintang}} - d_{\text{memanjang}}/2 - cc \\ &= 300 - 25 - 22/2 - 40 \\ &= 224 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho b d = 0.002 \times 13500 \times 224 = 6048 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}}/A_s = 6048/380.13 \approx 16$$

$$s = 13500/16 = 843.75 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan lentur memanjang **D22-300 mm** pada pelat atas.

- Tulangan pada pelat bawah

$$A_s = 380.13 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 0.002$$

$$b = 7500 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm (tebal pelat bawah)}$$

$$\begin{aligned} d &= h_b - d_{\text{melintang}} - d_{\text{memanjang}}/2 - cc \\ &= 400 - 25 - 22/2 - 40 \\ &= 324 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho b d = 0.002 \times 7500 \times 324 = 4860 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}}/A_s = 4860/380.13 \approx 13$$

$$s = 7500/13 = 576.92 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan lentur memanjang **D22-300 mm** pada pelat bawah.

- Tulangan pada web

$$A_s = 380.13 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 0.002$$

$$b = 5300 \text{ mm (tinggi segmen S1)}$$

$$h = 500 \text{ mm (tebal web)}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h_b - d_{\text{melintang}} - d_{\text{memanjang}}/2 - cc \\
 &= 500 - 25 - 22/2 - 40 \\
 &= 424 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho b d = 0.002 \times 5300 \times 424 = 4494.4 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}}/A_s = 4494.4/380.13 \approx 12$$

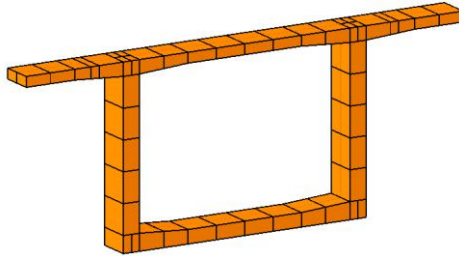
$$s = 5300/12 = 625 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan lentur memanjang **D22-300 mm** pada web box girder.

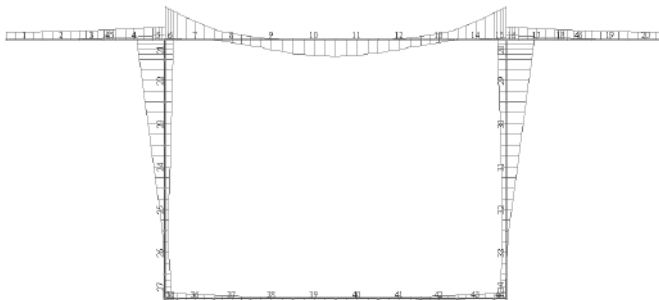
#### 4.7.1.2 Tulangan lentur melintang

*Cross section* penampang dimodelkan sepanjang 1 meter untuk menentukan desain pembebanan per unit panjang seperti pada Gambar 4.40.



**Gambar 4. 40** Permodelan *cross section* box girder

Sebagai contoh, dilakukan perhitungan tulangan lentur melintang untuk segmen S1A dengan hasil analisa pembebanan sesuai Gambar 4.41.



**Gambar 4. 41** Diagram momen pada penampang S1A

- Tulangan pada pelat kantilever
- $A_s = 490.87 \text{ mm}^2$   
 $b = 1000 \text{ mm}$   
 $h = 400 \text{ mm}$  (tebal pangkal pelat kantilever)  
 $d = h - d_{\text{melintang}}/2 - cc$   
 $= 400 - 25/2 - 40$   
 $= 347.5 \text{ mm}$   
 $M_u = -2.05 \times 10^8 \text{ Nmm/m}$   
 $\Phi = 0.8$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{2.05 \times 10^8}{0.8 \times 1000 \times 347.5^2} = 2.12 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 60} = 8.23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{8.23} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8.23 \cdot 2.12}{420}} \right) = 0.0052$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times 60 \times 0.85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.061$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_{\text{balance}} = 0.045$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0046$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0.0052$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0052 \times 1000 \times 347.5 = 1794.99 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 1794.99/490.87 \approx 4$$

$$s = (1000 - 25 \times 4)/3 = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan melintang **D25-300 mm** pada bagian atas pelat kantilever.

- Tulangan bawah pada pelat atas
- $A_s = 490.87 \text{ mm}^2$   
 $b = 1000 \text{ mm}$   
 $h = 300 \text{ mm}$  (bagian tengah)  
 $d = h - d_{\text{melintang}}/2 - cc$   
 $= 300 - 25/2 - 40$   
 $= 247.5 \text{ mm}$   
 $M_u = 2.91 \times 10^8 \text{ Nmm/m}$   
 $\Phi = 0.8$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{2.91 \times 10^8}{0.8 \times 1000 \times 247.5^2} = 5.94 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 60} = 8.23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{8.23} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8.23 \cdot 5.94}{420}} \right) = 0.0151$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times 60 \times 0.85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.061$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_{\text{balance}} = 0.045$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0046$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0.0151$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0151 \times 1000 \times 247.5 = 3729.3 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 3729.3/490.87 \approx 8$$

$$s = (1000 - 25 \times 8)/7 = 114.29 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan melintang **D25-100 mm** pada bagian bawah pelat atas.

- Tulangan atas pada pelat atas
- $A_s = 490.87 \text{ mm}^2$   
 $b = 1000 \text{ mm}$   
 $h = 400 \text{ mm}$  (bagian pinggir)  
 $d = h - d_{\text{melintang}}/2 - cc$   
 $= 400 - 25/2 - 40$   
 $= 347.5 \text{ mm}$   
 $M_u = -4.52 \times 10^8 \text{ Nmm/m}$   
 $\Phi = 0.8$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{4.52 \times 10^8}{0.8 \times 1000 \times 347.5^2} = 4.67 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 60} = 8.23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{8.23} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8.23 \cdot 4.67}{420}} \right) = 0.0117$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times 60 \times 0.85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.061$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_{\text{balance}} = 0.045$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0046$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0.0117$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0117 \times 1000 \times 347.5 = 4062.7 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 4062.7/490.87 \approx 9$$

$$s = (1000 - 25 \times 9)/8 = 96.9 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan melintang **D25-75 mm** pada bagian atas di ujung pelat atas.

- Tulangan bawah pada pelat bawah
- $A_s = 490.87 \text{ mm}^2$   
 $b = 1000 \text{ mm}$   
 $h = 400 \text{ mm}$  (bagian tengah)  
 $d = h - d_{\text{melintang}}/2 - cc$   
 $= 400 - 25/2 - 40$   
 $= 347.5 \text{ mm}$   
 $M_u = 4.97 \times 10^7 \text{ Nmm/m}$   
 $\Phi = 0.8$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{4.97 \times 10^7}{0.8 \times 1000 \times 347.5^2} = 0.515 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 60} = 8.23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{8.23} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8.23 \cdot 0.515}{420}} \right) = 0.0012$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times 60 \times 0.85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.061$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_{\text{balance}} = 0.045$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0046$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0.0046$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0046 \times 1000 \times 347.5 = 1602.2 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 1602.2/490.87 \approx 4$$

$$s = (1000 - 25 \times 4)/3 = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan melintang **D25-300 mm** pada bagian bawah pelat bawah.



- Tulangan atas pada pelat bawah
- $A_s = 490.87 \text{ mm}^2$   
 $b = 1000 \text{ mm}$   
 $h = 525 \text{ mm}$  (bagian tengah)  
 $d = h - d_{\text{melintang}}/2 - cc$   
 $= 525 - 25/2 - 40$   
 $= 472.5 \text{ mm}$   
 $M_u = -4.52 \times 10^8 \text{ Nmm/m}$   
 $\Phi = 0.8$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{4.52 \times 10^8}{0.8 \times 1000 \times 472.5^2} = 2.53 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 60} = 8.23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{8.23} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8.23 \cdot 5.23}{420}} \right) = 0.0062$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times 60 \times 0.85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.061$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_{\text{balance}} = 0.045$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0046$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{pakai}} = 0.0062$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0062 \times 1000 \times 472.5 = 2918.3 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 2918.3/490.87 \approx 6$$

$$s = (1000 - 25 \times 6)/5 = 370 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan melintang **D25-100 mm** pada bagian atas di ujung pelat bawah.

- Tulangan sisi luar web

$$\begin{aligned} A_s &= 490.87 \text{ mm}^2 \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ h &= 500 \text{ mm (bagian tengah)} \\ d &= h - d_{\text{melintang}}/2 - cc \\ &= 500 - 25/2 - 40 \\ &= 447.5 \text{ mm} \\ M_u &= 4.39 \times 10^8 \text{ Nmm/m} \\ \Phi &= 0.8 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{4.39 \times 10^8}{0.8 \times 1000 \times 447.5^2} = 2.74 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 60} = 8.23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{8.23} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8.23 \cdot 2.7}{420}} \right) = 0.0067$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times 60 \times 0.85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.061$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_{\text{balance}} = 0.045$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0046$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0.0067$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0067 \times 1000 \times 447.5 = 2999.43 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 2999.43/490.87 \approx 7$$

$$s = (1000 - 25 \times 7)/6 = 137.5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan melintang **D25-100 mm** pada bagian luar web.

- Tulangan sisi dalam web
- $A_s = 490.87 \text{ mm}^2$   
 $b = 1000 \text{ mm}$   
 $h = 500 \text{ mm}$  (bagian tengah)  
 $d = h - d_{\text{melintang}}/2 - cc$   
 $= 500 - 25/2 - 40$   
 $= 447.5 \text{ mm}$   
 $M_u = 8.81 \times 10^7 \text{ Nmm/m}$   
 $\Phi = 0.8$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{8.81 \times 10^7}{0.8 \times 1000 \times 472.5^2} = 0.55 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 60} = 8.23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{8.23} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8.23 \cdot 0.55}{420}} \right) = 0.0013$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times 60 \times 0.85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.061$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_{\text{balance}} = 0.045$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0046$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0.0046$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0046 \times 1000 \times 447.5 = 2063.29 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 2063.99/490.87 \approx 5$$

$$s = (1000 - 25 \times 5)/4 = 218.75 \text{ mm}$$

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

maka digunakan tulangan melintang **D25-200 mm** pada bagian luar web.

#### 4.7.2 Perhitungan Penulangan Geser

Kontrol tulangan geser dilakukan berdasarkan diagram geser yang terjadi. Diagram geser dapat dilihat pada Gambar 4.17.

Berikut merupakan contoh perhitungan tulangan geser pada penampang S1A.

Mutu beton ( $f_c'$ )	= 60 MPa
Mutu tulangan ( $f_y$ )	= 420 MPa
Selimit beton (cc)	= 40 mm
D tulangan geser	= 25 mm
As tulangan geser	= 380.13 mm <sup>2</sup>
Gaya prategang tendon atas ( $F_{atas}$ )	= 81135730 N
Gaya prategang tendon bawah ( $F_{bawah}$ )	= 0 N
Lebar ( $b_w$ )	= 1000 mm
Tinggi segmen (h)	= 5123.6 mm
Eksentrisitas tendon atas ( $e_{cantilever}$ )	= 2138.98 mm
Eksentrisitas tendon bawah ( $e_{service}$ )	= 2634.6 mm
Jarak titik berat terhadap serat atas ( $y_a$ )	= 2288.98 mm
Luas penampang ( $A_g$ )	= $1.19 \times 10^7$ mm <sup>2</sup>
Momen inersia (I)	= $4.88 \times 10^{13}$ mm <sup>2</sup>

Kuat geser penampang beton ( $V_c$ ) diambil yang terkecil dari  $V_{cw}$  dan  $V_{ci}$ .

- Retak geser pada bagian badan akibat geseran,  $V_{cw}$

$$f_{pc} = \frac{(F_{eff.atas} + F_{eff.bawah})}{A} = \frac{(81135730 + 0)}{1.21 \times 10^7} = 6.80$$

$$d = h - cc - d_{geser}/2 = 5123.6 - 40 - 25/2 = 5071.1 \text{ mm}$$

$$v_{cw} = 0.3(\sqrt{f_c'} + f_{pc} \times b_w \times d) + V_p$$

Tendon hampir lurus,  $V_p = 0$

$$v_{cw} = 0.3(\sqrt{60} + 6.80 \times 1000 \times 5071.1) + 0$$

$$V_{cw} = 22136186 \text{ N}$$

- Retak geser pada bagian badan akibat lentur,  $V_{ci}$

$$f_{pe} = \frac{F_{tot}}{A} + \frac{F_{atas} \cdot e_{cantilever} \cdot y_a}{I} + \frac{F_{bawah} \cdot e_{service} \cdot y_a}{I}$$

$$f_{pe} = \frac{81135730}{1.21 \times 10^7} + \frac{81135730 \cdot 2138.98 \cdot 2288.98}{4.88 \times 10^{13}} + 0$$

$$f_{pe} = 14.93 \text{ MPa}$$

- Momen dan gaya geser akibat beban mati (tanpa faktor pembebanan)

$$M_d = 2.22 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$f_d = \frac{M_d \cdot y_a}{I} = \frac{2.22 \times 10^{11} \cdot 2288.98}{4.88 \times 10^{13}} = 10.38 \text{ MPa}$$

$$V_d = 1.32 \times 10^7 \text{ N}$$

- Momen dan gaya geser akibat beban total (*envelope*)

$$M_{\max} = -3.87 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$V_i = 2.22 \times 10^7 \text{ N}$$

$$M_{cr} = \frac{I}{y_a} \times \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{2} + f_{pe} + f_d \right)$$

$$M_{cr} = \frac{4.88 \times 10^{13}}{2288.98} \times \left( \frac{\sqrt{60}}{2} + 14.93 + 10.38 \right) = 1.8 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{20} \times b_w \times d \right) + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{\max}}$$

$$V_{ci} = \left( \frac{\sqrt{60}}{20} \times 1000 \times 5072.6 \right) + 1.32 \times 10^7 + \frac{2.22 \times 10^7 \cdot 1.8 \times 10^{11}}{3.87 \times 10^{11}}$$

$$V_{ci} = 2.54 \times 10^7 \text{ N}$$

$$V_{ci.min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{7} \times b_w \times d = \frac{\sqrt{60}}{7} \times 1000 \times 5072.6 = 5.6 \times 10^6 \text{ N}$$

Maka digunakan  $V_{ci} = 2.54 \times 10^7 \text{ N}$ .

Selanjutnya diambil nilai  $V_c$  yang terkecil dari  $V_{cw}$  dan  $V_{ci}$ , maka

$$V_c = V_{cw} = 22136186 \text{ N}$$

$$V_s = V_n - V_c$$

$$V_u = V_i = \phi V_n$$

Untuk kuat geser,  $\phi = 0.7$

$$V_n = 2.21 \times 10^7 / 0.7 = 3.17 \times 10^7 \text{ N}$$

$$V_s = V_n - V_c = 3.17 \times 10^7 - 22136186 = 9.53 \times 10^6 \text{ N}$$

Senggang 2 kaki,

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2 \cdot 490.87 \cdot 420 \cdot 5072.6}{9.53 \times 10^6} = 219.41 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $s_{pakai} = 100 \text{ mm}$ .

- Cek  $V_{s \text{ max}}$

$$V_{s.pakai} = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{2 \times 490.87 \cdot 420 \cdot 5072.6}{100} = 2.09 \times 10^7 \text{ N}$$

$$v_{s.max} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c} b_w d = \frac{2}{3} \sqrt{60} \times 1000 \times 5072.6 = 2.62 \times 10^7 \text{ N}$$

$V_{s \text{ pakai}} < V_{s \text{ max}}$  (OK)

Berikut adalah rekapitulasi perhitungan penulangan geser untuk masing-masing segmen.

**Tabel 4. 45** Rekapitulasi perhitungan tulangan geser

segmen	S21	S20	S19	S18	S17	S16	C2	S15B
Vi (N)	9248370	7816568	6430953	5101807	4080719	3059630	2210102	-1.96E+06
Vc (N)	7770600	7715721	7661115	8591651	6990621	4550108	2896515	3294475
Vn (N)	13211956	11166525	9187076	7288295	5829598	4370901	3157289	2799930
Vs (N)	5441357	3450805	1525961	-1303355	-1161023	-179207.3	260773.6	-494545.1
s	100	100	300	300	300	300	300	300
segmen	S14B	S13B	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B	S7B
Vi (N)	-3.07E+06	-4.18E+06	-5.47E+06	-6.87E+06	-8.29E+06	-9.71E+06	-1.12E+07	-1.26E+07
Vc (N)	5525132	8372175	11576800	11856963	12188781	12476669	12331182	12204843
Vn (N)	4379351	5965219	7820976	9820626	11837200	13874178	15935033	18023223
Vs (N)	-1145781	-2406956	-3755824	-2036337	-351581	1397510	3603851	5818380
s	300	300	300	300	300	300	200	100
segmen	S6B	S5B	S4B	S3B	S2B	S1B	S1A	S2A
Vi (N)	-1.41E+07	-1.56E+07	-1.71E+07	-1.87E+07	-2.03E+07	-2.18E+07	-2.22E+07	-2.07E+07
Vc (N)	12808067	14492710	16288455	18184596	20174477	22136186	22136186	20174477
Vn (N)	20142199	22295399	24486251	26718173	28994571	31123206	31666283	29537801
Vs (N)	7334132	7802689	8197796	8533577	8820095	8987019	9530097	9363324
s	100	100	100	100	100	100	100	100
segmen	S3A	S4A	S5A	S6A	S7A	S8A	S9A	S10A
Vi (N)	-1.91E+07	-1.75E+07	-1.60E+07	-1.45E+07	-1.30E+07	-1.15E+07	-1.01E+07	-8.67E+06
Vc (N)	18184596	16288455	14492710	12808067	12977838	13130845	13209690	13607435
Vn (N)	27261555	25029773	22839047	20685960	18567085	16478984	14418206	12381293
Vs (N)	9076959	8741318	8346336	7877893	5589248	3348138	1208516	-1226142
s	100	100	100	100	100	200	300	300

segmen	S11A	S12A	S13A	S14A	S15A	C1
V <sub>i</sub> (N)	-7.26E+06	-5.86E+06	-4.47E+06	-3.08E+06	-1.70E+06	-5.56E+05
V <sub>c</sub> (N)	13829991	10929917	8056171	5341175	3052368	2155039
V <sub>n</sub> (N)	10364773	8365167	6378983	4402725	2432887	793783.6
V <sub>s</sub> (N)	-3465218	-2564750	-1677188	-938450.3	-619481.5	-1361255
s	300	300	300	300	300	300

### 4.7.3 Perhitungan Penulangan Torsi

Kontrol torsi digunakan untuk menganalisa kemampuan box girder saat menerima beban eksentris. Kekuatan torsi dihitung pada penampang dengan beban torsi terbesar sesuai dengan diagram torsi yang terjadi. Berdasarkan diagram yang tersaji pada Gambar 4.18, diketahui besar torsi maksimum terjadi pada segmen S1. Berikut adalah kontrol torsi pada segmen S1:

$$T_u = 1022244974 \text{ Nmm}$$

$$T_c = J_t (0.3 \sqrt{f_c'}) \sqrt{1 + \frac{10 f_{pe}}{f_c'}}$$

$$J_t = 0.4 \sum x_i^2 y_i$$

- Modulus puntir ( $J_t$ ) plat atas

$$x_i = \text{tebal pelat} = 300 \text{ mm}$$

$$y_i = \text{lebar pelat} = 7500 \text{ mm}$$

$$J_t = 0.4 x_i^2 y_i = 2.7 \times 10^8$$

- Modulus puntir ( $J_t$ ) plat bawah

$$x_i = \text{tebal pelat} = 400 \text{ mm}$$

$$y_i = \text{lebar pelat} = 7500 \text{ mm}$$

$$J_t = 0.4 x_i^2 y_i = 4.8 \times 10^8$$

- Modulus puntir ( $J_t$ ) web

$$x_i = \text{tebal web} = 500 \text{ mm}$$

untuk segmen S1,

$$y_i = \text{tinggi segmen} = 5123.6 \text{ mm}$$

$$J_t = 0.4 x_i^2 y_i = 5.12 \times 10^8$$

$$J_{t \text{ tot}} = J_{t \text{ atas}} + J_{t \text{ bawah}} + J_{t \text{ web}} = 1.26 \times 10^9$$

$$T_c = 1.26 \times 10^9 \cdot (0.3 \cdot \sqrt{60}) \sqrt{1 + \frac{10 \cdot 15.44}{60}} = 5.27 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

Cek kontrol torsi,

$$\frac{1}{4} \phi T_c = \frac{1}{4} \times 0.7 \times 5.27 \times 10^9 = 9.7 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$\frac{1}{4} \phi T_c < T_u$ , maka butuh tulangan torsi tambahan pada segmen S1.

Berdasarkan RSNIT-12-2004, tulangan tambahan untuk torsi terdiri dari tulangan sengkang dan tulangan memanjang. Berikut adalah contoh perhitungan tambahan tulangan torsi pada segmen S1:

- Tulangan torsi sengkang

Direncanakan tulangan torsi sebagai berikut:

Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 420 MPa

Diameter ( $d$ ) = 25 mm

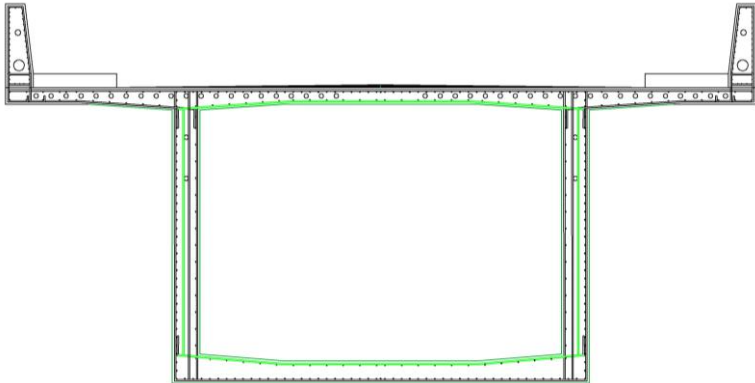
Luas penampang ( $A_{sw}$ ) = 490.87 mm<sup>2</sup>

Jarak sengkang ( $s$ ) = 100 mm

$$T_s = f_y \left( \frac{A_{sw}}{s} \right) 2 A_{ct} \cot \theta_t$$

Untuk balok prestress,  $\theta_t = 37.5^\circ$

$A_{ct}$  = luas penampang beton di dalam sengkang



**Gambar 4. 42** Letak tambahan tulangan torsi sengkang

Dari AutoCAD, didapatkan  $A_{ct} = 4.74 \times 10^6 \text{ mm}^2$

$$T_s = 420 \times \left( \frac{490.87}{100} \right) \times 2 \times 4.74 \cdot 10^6 \times \cot 37.5 = 2.54 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$T_n = T_s + T_c$$

$$T_n = 2.54 \times 10^{10} + 5.27 \times 10^9 = 3.09 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$



Tulangan torsi harus dipasang sedemikian sehingga ketidaksamaan berikut terpenuhi:

$$\frac{T_u}{\phi T_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$$

Dengan nilai  $\phi = 0.7$

$$\frac{1.02 \times 10^9}{0.7 \cdot 3.09 \times 10^{10}} + \frac{2.22 \times 10^7}{0.7 \cdot 3.17 \times 10^7} = 0.797 < 1 \text{ (OK)}$$

- Tulangan torsi memanjang

Tulangan torsi memanjang yang diperlukan harus memenuhi kriteria berikut:

$$A_s \geq 0.2 \frac{y_1 u_t}{f_y}$$

$u_t$  = keliling sengkang

berdasarkan AutoCAD,  $u_t = 10890$  mm

$y_1 = 7445$  mm

untuk 1 sisi,

$$A_s \geq 0.2 \cdot \frac{7395 \cdot 10890}{420}$$

$A_{s \text{ perlu}} = 9587.09$  mm<sup>2</sup> per sisi

Digunakan tulangan D29 dengan  $A_{sw} = 660.52$  mm<sup>2</sup>

$n = A_{s \text{ perlu}} / A_{sw} = 9587.09 / 660.52 \approx 15$

$s = 5300 / (15 - 1) = 378.57$  mm

$S_{pakai} = 300$  mm

#### 4.7.4 Sambungan antar Segmen Box Girder (*Shear Key*)

Desain sambungan (*shear key*) antar segmen mengacu pada *Bridge Design Specifications - American Segmental Bridge Institute*, 2005. Berikut adalah contoh perhitungan *shear key* pada *Section 1-1*:

Data penampang box girder:

$h = 5300$  mm

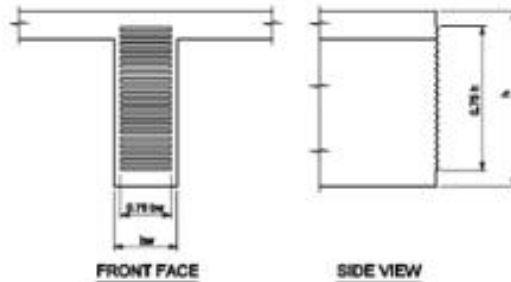
$b_w = 500$  mm

Parameter desain *shear key*:

$$d = 0.75 h = 0.75 \times 5300 = 3975 \text{ mm}$$

$$\text{panjang} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{lebar} = 0.75 b_w = 0.75 \times 500 = 375 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 43** Detail sambungan antar segmen

Pada Section 1-1, perhitungan kekuatan geser sambungan menggunakan berat sendiri segmen S1. Gaya geser akibat berat sendiri segmen:

$$V_{dc} = W$$

$$= 730319 \text{ N}$$

Gaya geser terfaktor:

$$\text{Diff} = 2\% V_{dc}$$

$$= 0.02 \times 730319 = 14606.4 \text{ N}$$

$$V_u = 1.1 (V_{dc} + \text{diff})$$

$$= 1.1 \times (730319 + 14606.4) = 819418 \text{ N}$$

Kuat geser yang dibutuhkan untuk 1 segmen:

$$V_c = \frac{0.5V_u}{\phi}$$

$$= \frac{0.5 \cdot 819418}{0.9} = 455232 \text{ N}$$

Kuat geser pada 1 gigi *shear key*:

$$A_k = \text{luas shear key} = \text{panjang} \times \text{lebar}$$

$$= 100 \times 375$$

$$= 37500 \text{ mm}^2$$

$$V = 2\sqrt{f'c'} \text{ (psi)} = 2\sqrt{60 \times 145.038}$$

$$= 186.572 \text{ psi} = 1.29 \text{ MPa}$$

$$V_c = A_k \times V$$

$$= 37500 \times 1.29 = 48205.5 \text{ N}$$

Banyaknya gigi *shear key*:

$$n = V_c \text{ per segmen} / V_c \text{ per gigi}$$

$$= 455232 / 48205.5$$

$$\approx 10 \text{ buah}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan jumlah *shear key* untuk masing-masing *section* sebagai berikut:

**Tabel 4. 46** Rekapitulasi jumlah *shear key*

<i>section</i>	d (mm)	n <i>shear key</i>
1-1	3975	10
2-2	3690	11
3-3	3442.5	11
4-4	3150	11
5-5	2880	10
6-6	2602.5	10
7-7	2452.5	10
8-8	2265	10
9-9	2055	10
10-10	1942.5	9
11-11	1822.5	9
12-12	1702.5	9
13-13	1620	9
14-14	1560	9
15-15	1522.5	9

## 4.8 Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur Utama

### 4.8.1 Kontrol Tegangan

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi pada saat transfer gaya prategang dan kondisi batas layan apakah dimensi balok dapat menerima tegangan yang diberikan. Untuk pengecekan kontrol tegangan kali ini, besar kehilangan gaya prategang sudah tidak lagi menggunakan asumsi awal namun berdasar hasil perhitungan pada subbab sebelumnya. Sebagai contoh akan dikontrol tegangan pada penampang S15A dengan besar kehilangan gaya prategang yang telah dihitung pada subbab 4.6. berikut adalah kontrol tegangan pada segmen S15A:

$$\begin{array}{ll}
 M_{15A} &= 1.85 \times 10^{11} \text{ Nmm} & I &= 5.19 \times 10^{12} \text{ mm}^4 \\
 A &= 8811961 \text{ mm}^2 & h &= 2011.96 \text{ mm} \\
 S_a &= 5.99 \times 10^9 \text{ mm}^3 & S_b &= 4.53 \times 10^9 \text{ mm}^3 \\
 c. \text{ atas} &= 150 \text{ mm} & c. \text{ bawah} &= 200 \text{ mm} \\
 e_{\text{atas}} &= 0 \text{ (pada cgc)} & e_{\text{bawah}} &= 945.59 \text{ mm (30 tendon)}
 \end{array}$$

Pada segmen S15A, terdapat 1 pasang tendon kantilever dan tambahan 15 pasang tendon servis dengan jenis 6-27-27 yang ditambahkan pada pelat bawah box girder untuk mengkompensasi momen positif. Berdasarkan perhitungan tegangan ijin baja prategang yang telah dihitung pada sub bab 4.2.2.3, tegangan maksimal pada baja saat transfer gaya prategang adalah  $f_0 = 1575.44 \text{ MPa}$ .

Untuk 1 tendon kantilever:

$$\begin{aligned}
 F_{0 \text{ max}} &= A_p \times f_0 \\
 &= 15 \times 140 \times 1575.44 = 3308424 \text{ N/tendon} \\
 &= 3308.4 \text{ kN/tendon}
 \end{aligned}$$

Digunakan  $F_0 = 2400 \text{ kN/tendon}$  dengan besar kehilangan gaya prategang total pada segmen S15A sebesar 16.11%.

Untuk 1 tendon servis:

$$\begin{aligned}
 F_{0 \text{ max}} &= A_p \times f_0 \\
 &= 27 \times 140 \times 1575.44 = 5955163 \text{ N/tendon} \\
 &= 5955.2 \text{ kN/tendon}
 \end{aligned}$$

Digunakan  $F_{0 \text{ servis}} = 5200 \text{ kN/tendon}$  dengan besar kehilangan gaya prategang total pada segmen S15A sebesar 19.68%.

Cek tegangan pada serat atas:

$$f_{ci} = -\sum \frac{F}{A} - \frac{F_{cant} e_{cant}}{S_a} + \frac{F_{servis} e_{servis}}{S_a} - \frac{M_{servis}}{S_a}$$

$$f_{ci} = -\frac{(4.8 \cdot 10^6 \times 16.11\% + 1.56 \cdot 10^8 \times 19.68\%)}{8811961}$$

$$- \frac{16.11\% \times 4.8 \cdot 10^6 \times 0}{5.99 \cdot 10^9} + \frac{16.98\% \times 1.56 \cdot 10^8 \times 945.59}{5.99 \cdot 10^9} - \frac{1.85 \cdot 10^{11}}{5.99 \cdot 10^9}$$

$$f_{ci} = - (0.46 + 14.22) - 0 + 19.77 - 30.91$$

$$= - 25.82 \text{ MPa} > - 27 \text{ MPa (OK)}$$

Cek tegangan pada serat bawah:

$$f_{ci} = -\sum \frac{F}{A} + \frac{F_{cant} e_{cant}}{S_b} - \frac{F_{servis} e_{servis}}{S_b} + \frac{M_{servis}}{S_b}$$

$$f_{ci} = -\frac{(16.11\% \times 4.8 \cdot 10^6 + 19.68\% \times 1.56 \cdot 10^8)}{8811961}$$

$$+ \frac{16.11\% \times 4.8 \cdot 10^6 \times 0}{4.53 \cdot 10^9} - \frac{19.68\% \times 1.56 \cdot 10^8 \times 945.59}{4.53 \cdot 10^9} + \frac{1.85 \cdot 10^{11}}{4.53 \cdot 10^9}$$

$$f_{ci} = - (0.46 + 14.22) + 0 - 26.04 + 40.87$$

$$= 0.16 \text{ MPa} < 3.87 \text{ MPa (OK)}$$

Kontrol tegangan penampang box girder pada segmen lainnya pada tahap layan dapat dilihat pada Tabel 4.46.











#### 4.8.2 Kontrol Momen Retak

Kontrol momen retak dibagi menjadi 2 yaitu pada daerah momen positif dan momen negatif saat tahap layan. Untuk daerah momen positif pada saat tahap layan, momen retak ditinjau menggunakan tegangan tarik serat bawah. Sedangkan untuk daerah momen negatif pada saat tahap layan momen retak ditinjau menggunakan tegangan tarik serat atas. Kontrol momen retak saat tahap layan meninjau tegangan tarik dengan memperhitungkan keberadaan tendon atas dan tendon bawah.

##### 4.8.2.1 Kontrol momen retak pada daerah momen positif

Dengan menggunakan analisa elastik beton prategang, perumusan tegangan saat layan untuk daerah tarik serat bawah pada daerah momen positif adalah sebagai berikut:

$$f_r = -\frac{(F_{eff.atas} + F_{eff.bawah})}{A} + \frac{(F_{eff.atas} - F_{eff.bawah})e}{S_b} + \frac{M_{CR}}{S_b}$$

$$M_{cr} = \frac{(F_{eff.atas} + F_{eff.bawah})S_b}{A} + (F_{eff.bawah} - F_{eff.atas})e + f_r \times S_b$$

Dengan

$$f_r = 0.62\sqrt{f_c'}$$

$$f_r = 0.62\sqrt{60}$$

$$f_r = 4.8 \text{ MPa}$$

Berikut adalah contoh perhitungan momen retak pada segmen S15A:

Pada segmen S15A terdapat 2 buah tendon atas dengan gaya prategang efektif total sebesar 4027 kN dan 30 buah tendon bawah dengan gaya prategang efektif total sebesar 125298.1 kN.

$$M_{cr} = \frac{(4027 \times 10^3 + 125298.1 \times 10^3) \times 4.53 \cdot 10^9}{8.81 \times 10^6} +$$

$$125298.1 \times 10^3 \cdot 945.6 - 4027 \times 10^3 \cdot 716.36 + 4.8 \times 4.53 \cdot 10^9$$

$$M_{cr} = 1.85 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$M_{max} = 1.795 \times 10^{11} \text{ Nmm} < M_{cr} \text{ (OK)}$$

#### 4.8.2.2 Kontrol momen retak pada daerah momen negatif

Berikut adalah perumusan tegangan saat layan untuk daerah tarik serat atas pada daerah momen negatif:

$$f_r = -\frac{(F_{eff.atas} + F_{eff.bawah})}{A} + \frac{(F_{eff.bawah} - F_{eff.atas})e}{S_a} - \frac{M_{CR}}{S_a}$$

$$M_{cr} = -\frac{(F_{eff.atas} + F_{eff.bawah})S_a}{A} + (F_{eff.bawah} - F_{eff.atas})e - f_r \times S_a$$

Dengan

$$f_r = 4.8 \text{ MPa}$$

Berikut adalah contoh perhitungan momen retak pada segmen S5A:

Pada segmen S5A terdapat 30 buah tendon atas dengan gaya prategang efektif total sebesar 58176 kN.

$$M_{cr} = -\frac{(58176 \times 10^3) \cdot 4.53 \cdot 10^9}{8.81 \times 10^6} + (-58176 \times 10^3) \cdot 1472.13 - 4.8 \times 1.39 \cdot 10^{10}$$

$$M_{cr} = 2.29 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$M_{max} = 1.795 \times 10^{11} \text{ Nmm} < M_{cr} \text{ (OK)}$$

Hasil perhitungan momen retak untuk segmen lainnya terdapat pada tabel 4.47.



segmen	S12B	S11B	S10B	S9B	S8B	S7B	S6B	S5B	S4B	S3B
$M_{\max}$ (Nmm)	1.08E+11	1.01E+11	9.14E+10	7.85E+10	-7.94E+10	-1.11E+11	-1.46E+11	-1.85E+11	-2.27E+11	-2.74E+11
n tendon cant.	8	10	12	14	18	22	26	30	34	38
n tendon servis	16	14	12	10	6	2	-	-	-	-
$F_{\text{eff.cantilever}}$ (N)	16227494	20329312	24417175	28488813	3.67E+07	44252286	51424929	58176139	64516535	70422711
$F_{\text{eff.servis}}$ (N)	74948200	66953607	58450834	48515148	28905122	10400000	-	-	-	-
$f_r S$ (Nmm)	2.51E+10	2.72E+10	2.99E+10	3.31E+10	4.78E+10	5.33E+10	5.95E+10	6.66E+10	7.44E+10	8.32E+10
$F_{\text{bwh e}}$ (Nmm)	7.93E+10	7.54E+10	7.08E+10	6.36E+10	4.12E+10	1.62E+10	-	-	-	-
$F_{\text{atas e}}$ (Nmm)	1.31E+10	1.75E+10	2.27E+10	2.88E+10	4.06E+10	5.37E+10	6.87E+10	8.56E+10	1.05E+11	1.26E+11
$F_{\text{atas S/A}}$ (Nmm)	9.41E+09	1.26E+10	1.64E+10	2.07E+10	3.78E+10	4.95E+10	6.25E+10	7.69E+10	9.25E+10	1.09E+11
$F_{\text{bwh S/A}}$ (Nmm)	4.35E+10	4.15E+10	3.92E+10	3.53E+10	2.97E+10	1.16E+10	-	-	-	-
Mcr (Nmm)	1.44E+11	1.39E+11	1.33E+11	1.24E+11	-1.15E+11	-1.52E+11	-1.91E+11	-2.29E+11	-2.72E+11	-3.18E+11
Cek serat atas	OK	OK	OK	OK	-	-	-	-	-	-
cek serat bwh	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK





### 4.8.3 Kontrol Momen Batas

Kontrol momen nominal dilakukan untuk mengecek secara keseluruhan apakah tendon baja pratekan yang telah dipasang telah memenuhi kontrol momen. Momen batas balok ditinjau pada serat yang mengalami tekan. Syarat-syarat momen batas harus memenuhi kriteria berikut:

$$1.2 M_{cr} < \phi M_n$$

$$M_{max} < \phi M_n$$

Data bahan:

$$f_c' = 60 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.65$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 1676 \text{ MPa}$$

$$A_{strand} = 140 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_p = 0.28 \text{ (row-relaxation strand)}$$

Berikut adalah contoh perhitungan kontrol momen batas pada segmen S15A:

$$M_{max} = 1.85 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} = 2.04 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$\text{jenis tendon} = 6-27-27$$

$$n \text{ tendon bawah} = 30 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{ps} \text{ bawah} &= n \times 27 \times A_{strand} \\ &= 30 \times 27 \times 140 = 113400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$y_b = 1145.6 \text{ mm}$$

$$e = 945.6 \text{ mm}$$

$$b = 7500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d_b &= y_b + e \\ &= 1145.6 + 945.6 = 2091.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_p &= A_{ps}/bd \\ &= 113400/(7500 \times 2091.2) = 0.012 \end{aligned}$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \left[ \rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} \right] \right)$$

$$f_{ps} = 1860 \left( 1 - \frac{0.28}{0.65} \cdot \left[ 0.012 \cdot \frac{1860}{60} \right] \right) = 1560.55 \text{ MPa}$$



Kesetimbangan aksial,

$$T_p = C$$

$$T_p = A_{ps} \times f_{ps} = 113400 \times 1560.55 \\ = 1.77 \times 10^8 \text{ N}$$

$$C = 0.85 f_c' \cdot a \cdot b \\ = 0.85 \times 60 \times a \times 7500$$

$$T_p = C$$

$$a = \frac{T_p}{0.85 f_c' \cdot b}$$

$$a = \frac{1.77 \times 10^8}{0.85 \cdot 60 \cdot 7500} = 462.66 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 113400 \cdot 1560.55 \left( 2091.2 - \frac{462.66}{2} \right)$$

$$M_n = 3.29 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 3.29 \times 10^{11}$$

$$= 2.96 \times 10^{11} \text{ Nmm} > M_{\max} = 1.85 \times 10^{11} \text{ Nmm (OK)}$$

$$1.2 M_{cr} = 1.2 \times 2.04 \times 10^{11}$$

$$= 2.45 \times 10^{11} \text{ Nmm} < \phi M_n = 2.96 \times 10^{11} \text{ Nmm (OK)}$$

Perhitungan kontrol momen batas untuk segmen lainnya terdapat pada tabel 4.48.









#### 4.8.4 Lendutan

Perhitungan lendutan pada balok prategang merupakan perhitungan pendekatan untuk mendapatkan lendutan ke atas (*chamber*) dan lendutan ke bawah. Perhitungan lendutan dilakukan saat staging dan layan.

##### 4.8.4.1 Lendutan ijin

Berdasarkan RSNI T-12-2004, batas lendutan ijin untuk struktur kantilever adalah sebesar  $L/400$ , sedangkan untuk struktur menerus adalah sebesar  $L/800$  dengan  $L$  adalah panjang bentang.

##### 4.8.4.2 Perhitungan lendutan saat *balance cantilever*

Pada saat *balance cantilever*, terdapat 3 macam lendutan yang terjadi yaitu lendutan ke atas akibat eksentrisitas tendon, lendutan ke bawah akibat kelengkungan tendon dan lendutan ke bawah akibat beban mati. Berikut adalah contoh perhitungan lendutan di ujung segmen pada saat pemasangan segmen S10:

- Lendutan ke atas (*chamber*) akibat eksentrisitas tendon  
Saat pemasangan segmen S10, terdapat 36 buah tendon yang terpasang dengan gaya prategang total setelah dikurangi kehilangan langsung sebesar  $F = 77567900.29$  N.

Eksentrisitas tendon,  $e = 929.3$  mm

Panjang bentang kantilever,  $L = 32$  m

Modulus elastisitas beton,  $E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 36406.04$  MPa

Momen inersia penampang box pada perletakan,  $I = 5.29 \times 10^{13}$  mm<sup>4</sup>

Besar lendutan ke atas akibat eksentrisitas tendon:

$$\Delta = \frac{F \cdot e \cdot L^2}{2EI}$$

$$\Delta = \frac{77567900.29 \cdot 929.3 \cdot 32000^2}{2 \cdot 36406.04 \cdot 5.29 \times 10^{13}} = 19.155 \text{ mm } (\uparrow)$$

- Lendutan ke bawah akibat kelengkungan tendon  
Beban merata yang terjadi akibat tendon yang melengkung:

$$F \cdot e = \frac{w \cdot L^2}{2}$$

$$w = \frac{2 \cdot F \cdot e}{L^2} = \frac{2 \cdot 77567900 \cdot 29 \cdot 929.3}{32000^2} = 140.78 \text{ N/mm}$$

Besar lendutan ke bawah akibat kelengkungan tendon:

$$\Delta = \frac{wL^4}{8EI}$$

$$\Delta = \frac{140.78 \cdot 32000^4}{8 \cdot 36406.04 \cdot 5.29 \times 10^{13}} = 9.578 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Lendutan ke bawah akibat beban mati struktur

Dari hasil analisa struktur pada Midas Civil, didapatkan lendutan akibat berat sendiri struktur pada ujung segmen saat pemasangan segmen S10 adalah sebesar  $\Delta = 7.519 \text{ mm } (\downarrow)$ .

- Cek kontrol lendutan

Lendutan total yang terjadi:

$$\Delta = 19.155 - 9.578 - 7.519 = 2.059 \text{ mm } (\uparrow)$$

Syarat:

$$L/400 = 32000/400 = 80 \text{ mm} > 2.059 \text{ mm } (\text{OK})$$

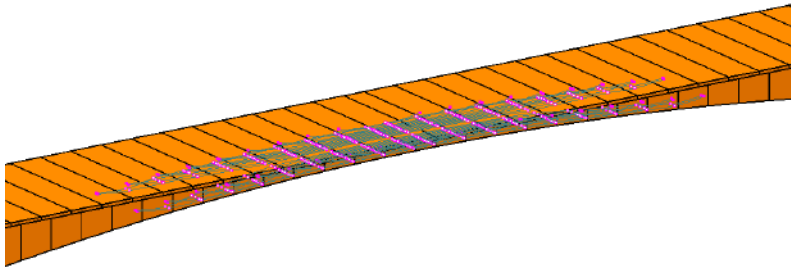
Hasil perhitungan kontrol lendutan pada saat pemasangan segmen lain terdapat pada tabel 4.49.

**Tabel 4.50** Perhitungan kontrol lendutan saat *staging*

CS	F <sub>efektif</sub> (kN)	e (mm)	L (mm)	w (N/mm)	Δ <sub>e</sub> (mm)	Δ <sub>DL</sub> (mm)	Δ <sub>lengkung</sub> (mm)	Δ (mm)	Δ <sub>max</sub> (mm)	Cek
1	4365.28	2139	5000	746.98	0.061	-0.062	-0.030	-0.031	12.5	OK
2	13516.56	1963.7	8000	829.47	0.441	-0.172	-0.220	0.049	20	OK
3	22629.92	1785.7	11000	667.95	1.269	-0.350	-0.634	0.285	27.5	OK
4	31666.34	1621.9	14000	524.07	2.612	-0.638	-1.306	0.668	35	OK
5	40572.48	1472.1	17000	413.34	4.479	-1.078	-2.240	1.162	42.5	OK
6	49281.54	1336.3	20000	329.27	6.836	-1.715	-3.418	1.703	50	OK
7	57713.9	1214.3	23000	264.95	9.620	-2.605	-4.810	2.205	57.5	OK
8	65777.67	1105.8	26000	215.21	12.760	-3.813	-6.380	2.567	65	OK
9	74190.98	1010.9	29000	178.36	16.368	-5.420	-8.184	2.765	72.5	OK
10	77567.9	929.3	32000	140.79	19.155	-7.519	-9.578	2.059	80	OK
11	80668.55	860.86	35000	113.38	22.076	-10.226	-11.038	0.813	87.5	OK
12	83449.93	805.46	38000	93.10	25.188	-13.677	-12.594	-1.083	95	OK
13	86445.98	762.97	41000	78.47	28.772	-18.034	-14.386	-3.648	102.5	OK
14	87866.25	733.3	44000	66.56	32.371	-23.483	-16.185	-7.298	110	OK
15	89397.64	716.37	47000	57.98	36.712	-30.242	-18.356	-11.886	117.5	OK

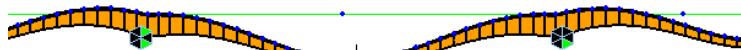
#### 4.8.4.3 Perhitungan lendutan saat masa layan

Pada saat masa layan, struktur merupakan balok menerus dengan tendon kantilever yang memikul beban mati struktur dan tendon layan yang memikul beban hidup saat masa layan serta beban mati tambahan. Karena struktur jembatan merupakan struktur statis tak tentu dan profil tendon cukup rumit, maka penggunaan Midas Civil diperlukan untuk perhitungan lendutan saat masa layan.



**Gambar 4. 44** Permodelan layout tendon layan pada Midas Civil

Pada bentang tengah, ditinjau lendutan maksimum untuk kombinasi pembebanan layan. Berikut adalah hasil analisa pada Midas Civil untuk kombinasi pembebanan layan:



```

Load : CBmax: layan 1,Max
Node: 48
Coordinates : X=49000, Y=0, Z=0
Displacement:
DX: 19.94824176
DY: 0.2771429267
DZ: -99.71816119
RX: 3.316825332e-005
RY: -0.000103018624
RZ: 3.47042144e-007
  
```

**Gambar 4. 45** Lendutan pada Midas Civil

Berdasarkan hasil analisa Midas civil, lendutan di bentang tengah pada saat layan adalah  $\Delta = 99.71$  mm.

Syarat:

$$L/800 = 96000/800 = 120 \text{ mm} > 99.71 \text{ mm (OK)}$$

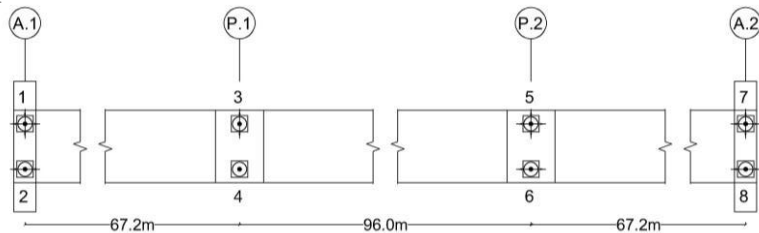


## 4.9 Perencanaan Bangunan Bawah

### 4.9.1 Perencanaan Perletakan

Perletakan yang digunakan adalah jenis *POT Bearing* yang didesain mampu menahan beban horizontal dan vertikal akibat beban yang bekerja pada jembatan. Pembebanan vertikal menggunakan kombinasi *envelope* dari pembebanan pada bangunan atas sesuai SNI 1725:2016, sedangkan pembebanan horizontal menggunakan kombinasi ekstrim 1 sesuai SNI 1725:2016. Gaya horizontal yang terjadi akibat beban gempa merupakan gaya gempa dinamis dengan input ke Midas Civil yang telah dibahas di subbab sebelumnya.

Direncanakan 3 tipe *POT Bearing* pada jembatan ini yaitu tipe *fixed* yang tidak mengakomodasi pergerakan ke segala arah, tipe *guided* yang hanya mengakomodasi pergerakan ke salah satu arah horizontal serta tipe *free* yang mengakomodasi pergerakan ke arah x dan y. Letak dari masing-masing tipe *POT Bearing* seperti pada Gambar 4.46.



Gambar 4. 46 Denah perletakan

#### 4.9.1.1 Pembebanan Horizontal akibat Gempa

Berikut adalah rekapitulasi gaya-gaya horizontal yang terjadi akibat kombinasi ekstrim 1 pada masing-masing perletakan dari hasil analisa dengan Midas Civil:

**Tabel 4. 51** Reaksi horizontal pada perletakan

Titik	Hx (N)	Hy (N)	Titik	Hx (N)	Hy(N)
1	0	0	5	0	0
2	0	4942603.1	6	0	12328872
3	15460738	0	7	0	0
4	15462970	8896891.8	8	0	6842079.1

#### 4.9.1.2 Pembebanan vertikal

Pembebanan vertikal menggunakan kombinasi envelope dari pembebanan pada bangunan atas sesuai SNI 1725:2016. Untuk menghitung gaya vertikal yang terjadi pada perletakan digunakan program bantu Midas Civil. Berikut adalah reaksi vertikal perletakan:

**Tabel 4. 52** Reaksi vertikal pada perletakan

Titik	V (kN)	Titik	V (kN)
1	24540.37	5	5425.674
2	24540.41	6	5395.11
3	5492.39	7	22748.51
4	5522.965	8	22748.53

#### 4.9.1.3 Pemilihan *POT bearing*

Berikut adalah rekapitulasi gaya yang bekerja pada perletakan:

**Tabel 4. 53** Rekapitulasi gaya pada perletakan

Titik	1	2	3	4	5	6	7	8
Hx (kN)	0	0	15460.738	15462.97	0	0	0	0
Hy (kN)	0	4942.6031	0	8896.8918	0	12328.87	0	6842.079
V (kN)	5492.3901	5522.9646	24540.372	24540.41	22748.514	22748.53	5425.674	5395.11

Pada perencanaan ini, digunakan *POT bearing* dari brosur TENSA yang mengacu pada European Standard (EN). Berikut adalah hasil rekapitulasi *POT bearing* untuk perletakan pada masing-masing titik:

**Tabel 4. 54** Jenis *POT Bearing* untuk masing-masing titik

Titik	Type	H (kN)	V (kN)	Jenis Pot Bearing	Hmax (kN)	Vmax (kN)
1	<i>free</i>	0	5492.39	TPM 6000 /±50 /±20	0	6000
2	<i>guided</i>	4942.6	5522.965	TPL 30000/7200/±50	7200	30000
3	<i>guided</i>	15460.7	24540.37	TPL 80000/16000/±50	16000	80000
4	<i>fixed</i>	15463	24540.41	TPF 80000/16000	16000	80000
5	<i>free</i>	0	22748.51	TPM 25000 /±50 /±20	0	25000
6	<i>guided</i>	12328.9	22748.53	TPL 70000/14000/±50	14000	70000
7	<i>free</i>	0	5425.674	TPM 6000 /±50 /±20	0	6000
8	<i>guided</i>	6842.08	5395.11	TPL 30000/7200/±50	7200	30000

## 4.9.2 Perencanaan Abutment

### 4.9.2.1 Pengolahan data tanah

- Daya dukung tiang pancang tunggal

Dalam menghitung daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan data tanah hasil Standard Penetration Test (SPT) pada lokasi proyek. Daya dukung pondasi tiang pancang tunggal ditentukan oleh perlawanan tanah pada ujung tiang ( $Q_p$ ) dan unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ). Pada contoh perhitungan abutment, digunakan data tanah pada *Bore Hole* - 1. Berikut adalah nilai  $N_{SPT}$  untuk masing-masing kedalaman:

**Tabel 4. 55** Nilai  $N_{SPT}$  *Bore Hole*-1

z (m)	t (m)	$N_{SPT}$	konsistensi
1.25	2	4	clay
3.25	2	3	
5.25	2	5	
7.25	2	10	sand
9.25	2	15	
11.25	2	13	
13.25	2	15	
15.25	2	14	
17.25	2	4	sandy clay
19.25	2	2	
21.25	2	3	
23.25	2	1	
25.25	2	2	
27.25	2	3	
29.25	2	5	
31.25	2	6	
33.25	2	5	
35.25	2	6	
36.75	1.5	6	
38.25	1.5	8	
39.75	1.5	11	

Pada tugas akhir struktur bangunan bawah jembatan ini, digunakan rumusan Luciano Decourt untuk perhitungan daya dukung pondasi dalam. Luciano Decourt (1996) menyajikan metode sebagai berikut:

$$Q_L = Q_P + Q_S$$

$Q_P = \text{Resistance Ultimate}$  di dasar pondasi

$$= \alpha \times N_p \times K \times A_p$$

$N_p =$  Harga rata-rata SPT disekitar  $4B$  di atas hingga  $4B$  di bawah dasar tiang pondasi ( $B =$  diameter pondasi)

Digunakan tiang pancang berupa *bore pile* dengan diameter  $B = 1.2$  m hingga kedalaman 60 m. Karena data tanah hanya tersedia hingga kedalaman 40 m, maka diasumsikan tanah dari kedalaman 40 m hingga 60 m memiliki harga NSPT dan konsistensi yang sama.

$$N_p \approx 11$$

Pada tanah sekitar pondasi yang berupa lempung berpasir, nilai  $K = 20 \text{ t/m}^2$

Berikut adalah besar *base coefficient* ( $\alpha$ ) menurut Luciano Decourt:

**Tabel 4. 56** *Base coefficient,  $\alpha$*

Soil/Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (bentonik)	Continuous Hollow Anger	Root Pile	Infected Pile (High Pressure)
Clay	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Intermediate Soil	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Sands	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

Berdasarkan tabel 4.56, untuk keadaan tanah di sekitar *bore pile* yang berupa lempung diambil nilai  $\alpha = 0.85$ .

Luas penampang *borepile*,  $A_p = 1.13 \text{ m}^2$

$$Q_P = \alpha \times N_p \times K \times A_p = 0.85 \times 11 \times 20 \times 1.13 = 211.49 \text{ ton}$$

$Q_S = \text{Resistance Ultimate}$  akibat tekanan lateral

$$= \beta \times (N_s/3 + 1) \times A_s$$

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

$N_s \approx 8$

Luas selimut tiang,  $A_s = 226.19 \text{ m}^2$

Berikut adalah besar *shaft coefficient* ( $\beta$ ) menurut Luciano Decourt:

**Tabel 4. 57** *Shaft coefficient,  $\beta$*

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

Berdasarkan tabel 4.57, untuk keadaan tanah di sekitar *bore pile* yang berupa lempung diambil nilai  $\beta = 0.8$ .

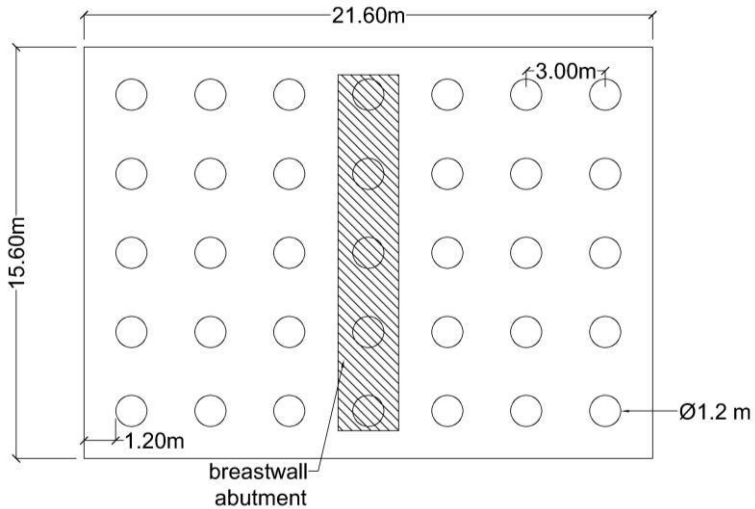
$$Q_s = \beta \times (N_s/3 + 1) \times A_s = 0.8 \times (8/3+1) \times 226.19 \\ = 829.38 \text{ ton}$$

$$Q_L = Q_P + Q_s = 211.49 + 829.38 \\ = 1040.87 \text{ ton}$$

Digunakan SF = 3,

$$P_{ijin \ 1 \ tiang} = Q_L/3 = 1040.87 /3 \\ = 346.96 \text{ ton}$$

- Daya dukung tiang dalam grup
- Berikut adalah konfigurasi tiang pancang pada abutment:



**Gambar 4. 47** Konfigurasi tiang pancang pada pilecap abutment

Dimensi pilecap : 21600 mm x 15600 mm x 1500 mm  
 Diameter pile (D) : 1200 mm  
 Jumlah tiang : 35 buah  
 Jumlah baris (m) : 5 buah  
 Jumlah kolom (n) : 7 buah

Jarak antar tiang sesuai syarat,

$$2D \leq S \leq 3D$$

$$2.4 \text{ m} \leq S \leq 3.6 \text{ m}$$

Maka digunakan  $S = 3 \text{ m}$

Jarak tiang ke tepi sesuai syarat,

$$S1 \geq D$$

$$S1 \geq 1.2 \text{ m}$$

Maka digunakan  $S1 = 1.2 \text{ m}$

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

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

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{1.2}{3}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{7} - \frac{1}{5}\right) = 0.6$$

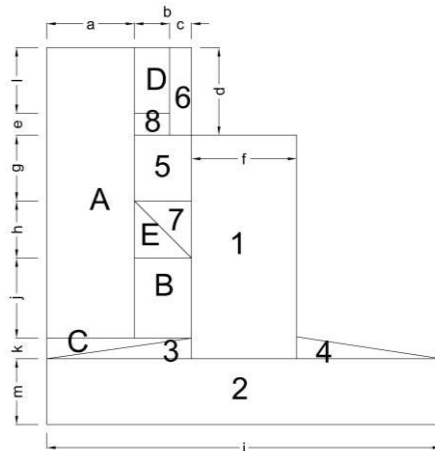
$$P_{\text{ijin grup}} = C_e \times P_{\text{ijin 1 tiang}}$$

$$P_{\text{ijin grup}} = 0.6 \times 346.96$$

$$P_{\text{ijin grup}} = 207.68 \text{ ton}$$

#### 4.9.2.2 Preliminary design abutment

Sebelum menghitung beban-beban yang akan diterima oleh abutment, maka harus ditentukan terlebih dahulu rencana dimensi abutment yang akan dibangun. Berikut adalah rencana design abutment yang dipakai:



**Gambar 4. 48** Preliminary design abutment

Angka 1-8 menunjukkan bagian abutment dan huruf A-E menunjukkan bagian tanah. Dimensi abutment adalah sebagai berikut:

$$a = 8350 \text{ mm}$$

$$h = 1300 \text{ mm}$$



b	= 800 mm	i	= 21600 mm
c	= 500 mm	j	= 1500 mm
d	= 2000 mm	k	= 1000 mm
e	= 500 mm	l	= 1500 mm
f	= 2300 mm	m	= 1500 mm
g	= 1500 mm		

Titik putar abutment berada pada titik tengah dasar abutment.

#### 4.9.2.3 Pembebanan abutment

- Kombinasi pembebanan

Berikut adalah kombinasi pembebanan dan faktor beban untuk struktur abutment:

**Tabel 4. 58** Kombinasi pembebanan untuk struktur bawah jembatan

Beban	Kombinasi				
	kuat 1	kuat 3	kuat 4	kuat 5	ekstrem 1
Berat sendiri (MS)	γ	γ	γ	γ	γ
Beban mati tambahan (MA)	γ	γ	γ	γ	γ
beban lajur (D)	γ				γ
beban truk (T)	γ				γ
beban pejalan kaki (TP)	γ				γ
tekanan tanah (TA)	1.25	1.25	1.25	1.25	
beban rem (TB)	perletakan rol, tidak dihitung				
beban angin (Ews+Ewt)		γ		γ	
beban gesekan (BF)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
beban temperatur (EUn)	perletakan rol, tidak dihitung				
beban gempa					γ
tekanan tanah dinamis					1.25

- Beban dari struktur atas

Beban vertikal yang diteruskan dari struktur atas melalui perletakan terdiri dari beban mati akibat struktur atas (MS), beban mati tambahan (MA), beban lajur (D), beban truk (T), beban pejalan kaki (TP). Beban horizontal yang bekerja hanya yang ke arah sumbu y (melintang) karena perletakan berupa rol ke arah x dan salah satu perletakan arah y berupa sendi. Beban horizontal

yang bekerja berupa beban angin struktur (Ews) dan beban angin kendaraan (Ewl). Beban dari struktur atas didapatkan dari hasil analisa reaksi perletakan pada Midas civil untuk masing-masing kombinasi pembebanan.

**Tabel 4. 59** Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 1

kuat 1			
titik	V (kg)	y (m)	Mx (kgm)
1	509214.2	3.75	-1909553
2	509213.5	-3.75	1909551
total			-2.625

**Tabel 4. 60** Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 3

kuat 3			
titik	V (kg)	y (m)	Mx (kgm)
1	340448.4	3.75	-1276682
2	335089.6	-3.75	1256586
total			-20095.5
titik	Hy (m)	z (m)	Mx (kgm)
1	0	6.6	0
2	-15735.1	-6.6	-103852
total			-103852
total Mx			-123947

**Tabel 4. 61** Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 4

kuat 4			
titik	V (kg)	y (m)	Mx (kgm)
1	337769.3	3.75	-1266635
2	337768.7	-3.75	1266633
total			-2.25

**Tabel 4. 62** Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi kuat 5

kuat 5			
titik	V (kg)	y (m)	Mx (kgm)
1	340676.8	3.75	-1277538
2	334861.2	-3.75	1255730
total			-21808.5
titik	Hy (m)	z (m)	Mx (kgm)
1	0	6.6	0
2	-8147.7	-6.6	-53774.8
total			-53774.8
total Mx			-75583.3

**Tabel 4. 63** Beban yang diteruskan dari struktur atas untuk kombinasi ekstrem 1

ekstrem 1			
titik	V (kg)	y (m)	Mx (kgm)
1	594837.2	3.75	-2230640
2	594862.8	-3.75	2230736
total			96
titik	Hy (m)	z (m)	Mx (kgm)
1	0	6.6	0
2	-268841	-6.6	-1774349
total			-1774349
total Mx			-1774253

- Beban Mati (MS) akibat berat tanah dan berat struktur bawah

Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan pembebanan akibat berat struktur bawah:

**Tabel 4. 64** Perhitungan pembebanan akibat berat struktur bawah

No	luas (m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m)	lengan (m)	M (kgm/m)	M (kgm)
1	11.73	2400	28152	0	0	0
2	32.4	2400	77760	0	0	0
3	4.825	2400	11580	-4.366667	-50566	-682641
4	4.825	2400	11580	4.3666667	50566	682641
5	1.69	2400	4056	-1.65	-6692.4	-90347.4
6	1	2400	2400	-0.25	-600	-8100
7	0.845	2400	2028	-0.4333333	-878.8	-11863.8
8	0.4	2400	960	-2.05	-1968	-26568
TOTAL					-10139.2	-136879.2
A	54.275	1800	97695	-6.625	-647229.38	-8737597
B	1.95	1800	3510	-1.65	-5791.5	-78185.25
C	4.825	1800	8685	-7.5833333	-65861.25	-889126.9
D	1.2	1800	2160	-2.05	-4428	-59778
E	0.845	1800	1521	-2.016667	-3067.35	-41409.23
TOTAL					-726377.48	-9806096
MOMEN BANGUNAN BAWAH					-736516.68	-9942975

Faktor untuk beban mati struktur adalah 1.3 untuk beton cor di tempat, sehingga besar beban terfaktor:

$$P_{tot} = W_{tot} \times 1.3$$

$$= 882304.5 \times 1.3 = 1146995.9 \text{ kg}$$

$$M_{y_{tot}} = M_{tot} \times 1.3$$

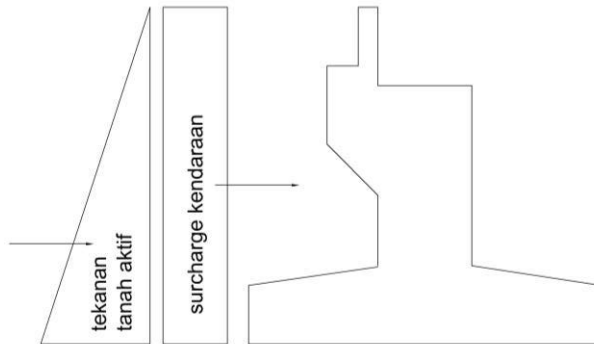
$$= -9942975 \times 1.3 = -12925868 \text{ kgm}$$

- Beban lalu lintas dan tekanan tanah

Berikut adalah data tanah timbunan di belakang abutment:

Jenis tanah : pasir  
 $\gamma_{pasir}$  : 1800 kg/m<sup>3</sup>  
 $\phi$  : 30°  
 C : 0 kPa

Beban lalu lintas yang bekerja pada timbunan dan tekanan tanah aktif dihitung sebagai berikut,



**Gambar 4. 49** Ilustrasi gaya lalu lintas dan tekanan tanah  
Beban lalu lintas diekivalensikan dengan timbunan setinggi 0.7 m diletakkan di atas permukaan timbunan.

$$q_{\text{kendaraan}} = 0.7 \gamma_{\text{timbunan}}$$

$$= 0.7 \times 1800 = 1260 \text{ kg/m}^2$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi)$$

$$= \tan^2(45 - 30/2) = 0.3333$$

Pa1 adalah tekanan tanah aktif akibat beban kendaraan,

$$Pa_1 = K_a \times q_{\text{kendaraan}} \times H$$

$$= 0.333 \times 1260 \times 8.6 = 3612 \text{ kg/m}$$

Pa2 adalah tekanan tanah aktif akibat beban timbunan,

$$Pa_2 = \frac{1}{2} \times K_a \times (\gamma_{\text{timbunan}} \times H) \times H$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.333 \times (1800 \times 8.6) \times 8.6 = 22188 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{tot}} = Pa_1 + Pa_2 = 3612 + 22188$$

$$= 25800 \text{ kg/m}$$

Lebar abutment = 13.5 m,

$$P_{\text{tot}} = 25800 \times 13.5 = 348300 \text{ kg}$$

Lengan untuk Pa 1 = 4.3 m dari dasar abutment,

$$Ma_1 = 4.3 \times 3612 = 15532 \text{ kgm/m}$$

Lebar abutment = 13.5 m,

$$Ma_1 = 15532 \times 13.5 = 209676.6 \text{ kgm}$$

Lengan untuk Pa 2 = 2.8667 m dari dasar abutment,

$$Ma_2 = 2.8667 \times 22188 = 63606 \text{ kgm/m}$$

Lebar abutment = 13.5 m,

$$Ma_2 = 63606 \times 13.5 = 21201.87 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = M_{a1} + M_{a2} = 230878.5 \text{ kgm}$$

Faktor untuk tekanan tanah adalah 1.25, sehingga beban terfaktor:

$$P_{tot} = 1.25 \times 348300 = 435375 \text{ kg}$$

$$M_{a1} = 1.25 \times 230878.5 = 288598.1 \text{ kgm}$$

- Beban gempa pada struktur bawah

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan dengan persamaan berikut:

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

Dari perhitungan perletakan, didapatkan  $W_t = 68634977 \text{ N}$  untuk struktur atas sehingga:

$$\begin{aligned} W_t &= W_t \text{ atas} + W_t \text{ bawah} \\ &= 6863497.7 + 1869966 = 8733464 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$C_{sm} = S_{DS} = 0.903$$

Untuk abutment,  $R_D = 1.5$

$$E_Q = \frac{0.903}{1.5} \times 8733464 = 5257545 \text{ kg}$$

Beban gempa bekerja pada titik berat abutment,  $z = 1.898 \text{ m}$

$$M_{EQ} = 5257545 \times 1.898 = 9979907 \text{ kgm}$$

- Beban gesekan (BF)

Koefisien gesek pada perletakan  $\mu = 0.018$

Reaksi perletakan akibat beban mati (MS) dan beban mati tambahan (MA) pada titik 1 dan 2:

$$MS \ 1 = 260430.3 \text{ kg}$$

$$MS \ 2 = 260429.8 \text{ kg}$$

$$MA \ 1 = MA \ 2 = 10313.4 \text{ kg}$$

Gaya gesekan total pada abutment:

$$\begin{aligned} F_{ges} &= (MS \ 1 + MS \ 2 + MA \ 1 + MA \ 2) \times \mu \\ &= 9746.765 \text{ kg} \end{aligned}$$

Lengan  $h = 6.6 \text{ m}$  dari dasar abutment,

$$M_{ges} = 6.6 \times 9746.765 = 64328.65 \text{ kgm}$$

Faktor beban untuk gesekan = 1.3,

$$F_{ges} = 1.3 \times 9746.765 = 12670.79 \text{ kg}$$

$$M_{ges} = 1.3 \times 64328.65 = 83627.24 \text{ kgm}$$

- Tekanan tanah dinamis

Tekanan tanah dinamis bekerja pada tanah timbunan di belakang abutment.

Koefisien Tekanan Aktif Seismik:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cos^2\beta(\delta + \theta + \beta)} \times \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \theta + \beta) \cos(i - \beta)}} \right)^2$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$K_H = A_s/2 = 0.2267$$

$$K_V = 0$$

$$\theta = 0.222912 \text{ rad}$$

$$\beta = 0$$

$$\delta = 0$$

$$i = 0$$

$$K_{AE} = 0.459$$

Gaya Tekan Tanah Akibat Gempa:

Faktor beban untuk tekanan tanah = 1.25,

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \times \gamma \times Ht^2 \times (1 - K_V) \times K_{AE} \times 1.25$$

$$Ht = 8.6 \text{ m (tinggi timbunan)}$$

$$\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{AE} = 41325.02 \text{ kg/m}$$

$$y_{AE} = 5.733 \text{ m (2/3 Ht)}$$

$$M_{AE} = E_{AE} \times y_{AE} \times L = 3198556 \text{ kgm}$$

#### 4.9.2.4 Repartisi beban di atas tiang grup

Pembebanan yang didapat pada subbab sebelumnya digunakan untuk mendapatkan gaya yang diterima tiang dalam grup. Berikut adalah rekapitulasi kombinasi pembebanan pada bangunan bawah:

**Tabel 4. 65** Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 1

kuat 1					
Beban	V (kg)	Hx (kg)	Hy (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
MS+MA+D+T+TP atas	1018428	0	0	0	-2.625
MS bawah	1146996	0	0	-12925867.6	0
tekanan tanah (TA)	0	435375	0	288598.0833	0
beban gesekan (BF)	0	12670.79	0	83627.23962	0
TOTAL	2165424	448045.8	0	-12553642.3	-2.625

**Tabel 4. 66** Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 3

kuat 3					
Beban	V (kg)	Hx (kg)	Hy (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
MS+MA+angin atas	675538	0	-15735.1	0	-123947
MS bawah	1146996	0	0	-12925867.6	0
tekanan tanah (TA)	0	435375	0	288598.0833	0
beban gesekan (BF)	0	12670.79	0	83627.23962	0
TOTAL	1822534	448045.8	-15735.1	-12553642.3	-123947

**Tabel 4. 67** Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 4

kuat 4					
Beban	V (kg)	Hx (kg)	Hy (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
MS+MA atas	675538	0	0	0	-2.25
MS bawah	1146996	0	0	-12925867.6	0
tekanan tanah (TA)	0	435375	0	288598.0833	0
beban gesekan (BF)	0	12670.79	0	83627.23962	0
TOTAL	1822534	448045.8	0	-12553642.3	-2.25

**Tabel 4. 68** Rekapitulasi beban untuk kombinasi kuat 5

kuat 5					
Beban	V (kg)	Hx (kg)	Hy (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
MS+MA+angin atas	675538	0	-8147.7		-75583.3
MS bawah	1146996	0	0	-12925867.6	0
tekanan tanah (TA)	0	435375	0	288598.0833	0
beban gesekan (BF)	0	12670.79	0	83627.23962	0
TOTAL	1822534	448045.8	-8147.7	-12553642.3	-75583.3



**Tabel 4. 69** Rekapitulasi beban untuk kombinasi ekstrem 1

ekstrem 1					
Beban	V (kg)	Hx (kg)	Hy (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
MS+MA+D+T+TP atas	1189700	0	0	0	96
MS bawah	1146996	0	0	-12925867.6	0
beban gesekan (BF)	0	12670.79	0	83627.23962	0
beban gempa (EQ)					
arah x	0	5257545	0	0	9979907.422
arah y	0	0	5257545	9979907.422	0
tekanan tanah dinamis (TA)	0	557887.7	0	3198556.363	0
TOTAL	2336696	5828104	5257545	336223.3778	9980003.422

**Tabel 4. 70** Rekapitulasi beban untuk semua kombinasi

kombinasi	V (kg)	Hx (kg)	Hy (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
kuat 1	2165424	448045.8	0	-12553642.3	-2.625
kuat 3	1822534	448045.8	-15735.1	-12553642.3	-123947.16
kuat 4	1822534	448045.8	0	-12553642.3	-2.25
kuat 5	1822534	448045.8	-8147.7	-12553642.3	-75583.32
ekstrem 1	2336696	5828104	5257545	336223.3778	9980003.422

Dari konfigurasi tiang pada pilecap didapatkan jarak-jarak momen untuk arah x dan y sebagai berikut:

$$\Sigma x^2 = 2918 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 1434 \text{ m}^2$$

Perhitungan gaya pada tiang pancang dalam grup:

$$P_v = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\Sigma x^2}$$

Terdapat total 4 nilai P yang merupakan gaya tiang pancang terluar pada masing-masing kombinasi pembebanan. Berikut adalah perhitungan kontrol konfigurasi tiang kelompok:

**Tabel 4. 71** Perhitungan konfigurasi tiang

Kombinasi	V/n	x	$\Sigma x$	$M_{y.x}/\Sigma x^2$	y	$\Sigma y$
kuat 1	61869.24	9	1260	-89668.9	6	495
kuat 3	52072.4	9	1260	-89668.9	6	495
kuat 4	52072.4	9	1260	-89668.9	6	495
kuat 5	52072.4	9	1260	-89668.9	6	495
ekstrem 1	66762.74	9	1260	2401.596	6	495
Kombinasi	$M_{x.y}/\Sigma y^2$	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	P4 (kg)	
kuat 1	-0.03182	-27799.6	-27799.7	151538.1	151538.1	
kuat 3	-1502.39	-36094.1	-39098.9	140238.9	143243.7	
kuat 4	-0.02727	-37596.5	-37596.5	141741.2	141741.3	
kuat 5	-916.161	-36680.3	-38512.6	140825.1	142657.4	
ekstrem 1	120969.7	-51805.4	190134.1	185330.9	-56608.6	

Dari tabel, didapatkan  $V_{\max} = 190.13 \text{ ton} < P_{\text{ijin grup}} = 207.68 \text{ ton}$  (**OK**)

Direncanakan mutu *bore pile*  $f_c' = 30 \text{ MPa}$ ,

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= V_{\max}/A_{\text{pile}} \\ &= 1901300/1130973.355 = 1.68 \text{ MPa} < f_c' = 30 \text{ MPa} \text{ (**OK**)} \end{aligned}$$

#### 4.9.2.5 Penulangan longitudinal *breastwall* abutment

Penulangan terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan transversal/geser/ penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan syarat-syarat sesuai SNI 2847:2013. Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya sesuai perhitungan sebelumnya sebagai berikut:

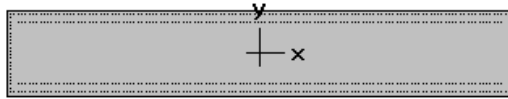
**Tabel 4. 72** Input untuk diagram interaksi pada abutment

kombinasi	V (kN)	My (kNm)	Mx (kNm)
kuat 1	21654.24	-125536.4	-0.02625
kuat 3	18225.34	-125536.4	-1239.472
kuat 4	18225.34	-125536.4	-0.0225
kuat 5	18225.34	-125536.4	-755.8332
ekstrem 1	23366.96	3362.2338	99800.034

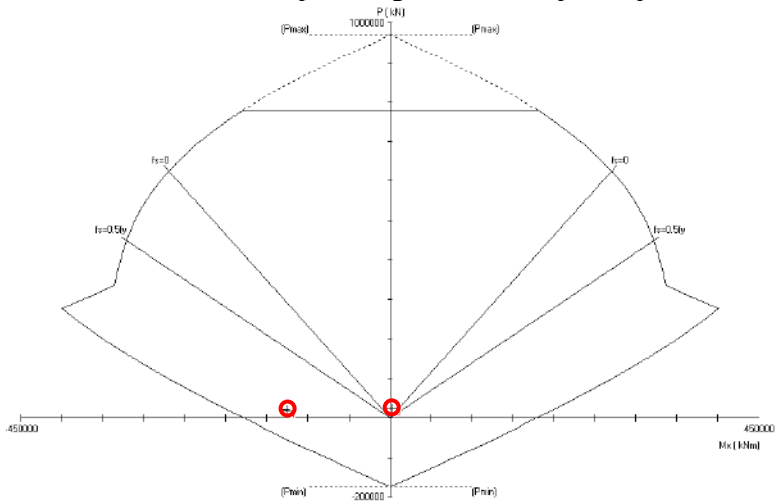
Dimensi *breastwall* abutment adalah sebagai berikut:

$$\text{Panjang (p)} = 13500 \text{ mm}$$

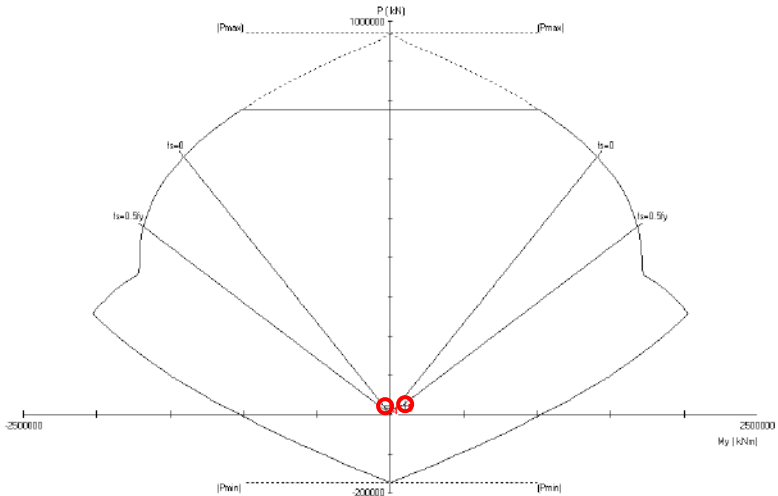
Lebar (l)	= 2300 mm
Tulangan utama	= D32 dengan rasio 1.47%
Luas 1 tulangan ( $A_s$ )	= 804.2477 mm <sup>2</sup>
Tulangan geser ( $\phi$ )	= 18 mm
Cover	= 100 mm
Jarak antar tulangan (s)	= 100 mm
$f_c'$	= 50 MPa
$f_y$	= 420 MPa



**13500 × 2300 mm**  
**1.47% reinf.**  
**Gambar 4. 50** Desain penulangan abutment pada Sp Column



**Gambar 4. 51** Hasil analisa penulangan abutment untuk momen arah x pada SpColumn



**Gambar 4. 52** Hasil analisa penulangan abutment untuk momen arah y pada SpColumn

Dari hasil analisa di SpColumn, konfigurasi penulangan longitudinal pada *breastwall* abutment memenuhi.

#### 4.9.2.6 Penulangan geser *breastwall* abutment

Dari perhitungan sebelumnya, gaya geser yang terjadi pada *breastwall* abutment adalah sebagai berikut:

$$V_x = 58281036.63 \text{ N}$$

$$V_y = 52575451.31 \text{ N}$$

Perhitungan kuat geser beton adalah sebagai berikut:

$$v_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d$$

$$v_c = \left(1 + \frac{2336696}{14 \cdot 2300 \cdot 13500}\right) \cdot \frac{\sqrt{50}}{6} \cdot 13500 \cdot 2300 = 39183928.34 \text{ N}$$

Karena  $V_x$  dan  $V_y > V_c$ , maka diperlukan tulangan geser tambahan.

$$V_{sx} = V_x / \phi - V_c$$

$$= 58281036.63 / 0.7 - 39183928.34 = 44074695.41 \text{ N}$$

Digunakan sengkang 20 kaki,

$$s_x = \frac{A_v f_y d}{V_{s,x}} = \frac{254.47 \times 20 \cdot 420 \cdot 2200}{44074695.41} = 106.7 \text{ mm}$$

Syarat:

$$s < 8d = 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$$

$$s < 24\phi = 24 \times 18 = 432 \text{ mm}$$

$$s < \frac{1}{2} b \text{ atau } h = \frac{1}{2} \times 2300 = 1150 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

maka digunakan  $s_x = 100 \text{ mm} - 20 \text{ kaki}$

$$V_{sy} = V_y / \phi - V_c$$

$$= 52575451.31 / 0.7 - 39183928.34 = 35923859.25 \text{ N}$$

Digunakan sengkang 4 kaki,

$$s_y = \frac{A_v f_y d}{V_{s,y}} = \frac{254.47 \times 4 \cdot 420 \cdot 13400}{35923859.25} = 159.46 \text{ mm}$$

Syarat:

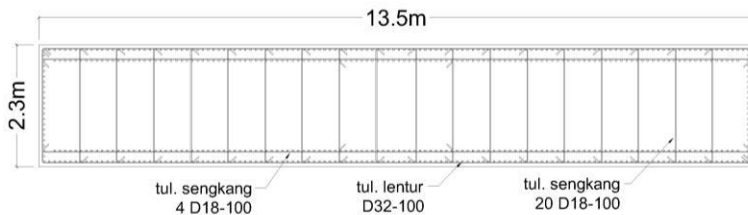
$$s < 8d = 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$$

$$s < 24\phi = 24 \times 18 = 432 \text{ mm}$$

$$s < \frac{1}{2} b \text{ atau } h = \frac{1}{2} \times 2300 = 1150 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

maka digunakan  $s_y = 100 \text{ mm} - 4 \text{ kaki}$



**Gambar 4. 53** Ilustrasi penulangan breastwall abutment

#### 4.9.2.7 Penulangan pilecap abutment

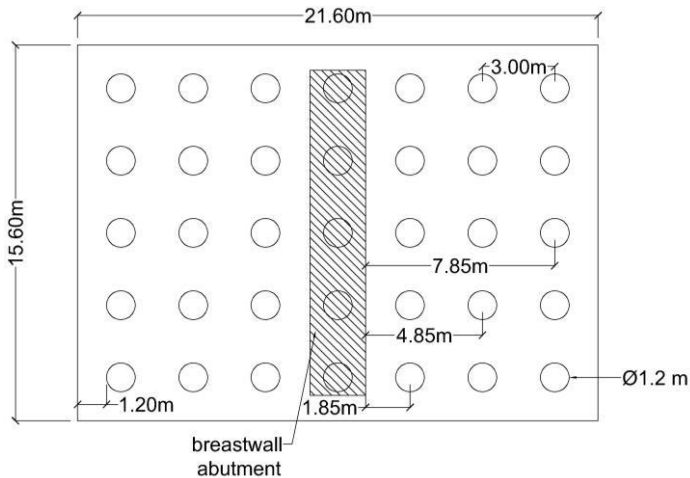
Penulangan pile cap terdapat pada sisi bawah dan sisi atas. Data perencanaan adalah sebagai berikut:

$$\text{Panjang (p)} = 15.6 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (l)} = 21.6 \text{ m}$$

Tebal (t)	= 1.50 m
Tulangan utama	= D32
Luas 1 tulangan ( $A_s$ )	= 804.25 mm <sup>2</sup>
Cover	= 75 mm
$f_c'$	= 50 MPa
$f_y$	= 420 MPa
$n_x$	= 7 buah
$n_y$	= 5 buah
jumlah tiang	= 35 buah

- Penulangan longitudinal sisi lebar  
Untuk sisi lebar, penulangan longitudinal dihitung sebagai berikut:



**Gambar 4. 54** Jarak-jarak lengan gaya pada sisi lebar pilecap

Jarak tiang terhadap sisi luar breastwall:

$$X_{p1} = 7.85 \text{ m}$$

$$X_{p2} = 4.85 \text{ m}$$

$$X_{p3} = 1.85 \text{ m}$$

$$P_{\max} \text{ aktual 1 tiang, } P_{\max} = 190130 \text{ kg}$$

$$M_p = n_y \times P_{\max} \times \sum X_p$$

$$= 5 \times 190130 \times (7.85 + 4.85 + 1.85)$$

$$= 13832253.78 \text{ kgm}$$

$$W_s = \frac{1}{2} \gamma p \left( \frac{1}{2} l - \frac{1}{2} \times 2.3 \right) \times (2t + 1)$$

$$= \frac{1}{2} \times 2400 \times 15.6 \left( \frac{1}{2} \times 21.6 - \frac{1}{2} \times 2.3 \right) \times (2 \times 1.5 + 1)$$

$$= 722592 \text{ kg}$$

Faktor beban untuk berat struktur = 1.3

Lengan berat sendiri pilecap = 5.85 m

$$M_s = 1.3 \times W_s \times 5.85$$

$$= 1.3 \times 722592 \times 5.85$$

$$= 4227163.2 \text{ kgm}$$

Mu rencana,

$$M_{ur} = M_p - M_s$$

$$= 13832253.78 - 4227163.2$$

$$= 8336941.62 \text{ kgm}$$

Mu per meter,

$$M_u = M_{ur}/p$$

$$= 8336941.62 / 15.6$$

$$= 534419.33 \text{ kgm/m}$$

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

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

$$h = 1500 + 1000 = 2500 \text{ mm}$$

$$d = h - d_{\text{longitudinal}}/2 - cc$$

$$= 2500 - 32/2 - 75$$

$$= 2409 \text{ mm}$$

$$M_u = 5344193346 \text{ Nmm/m}$$

$$\Phi = 0.9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{5344193346}{0.9 \times 1000 \times 2409^2} = 1.023 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 50} = 9.88$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9.88} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9.88 \cdot 1.023}{420}} \right) = 0.0025$$

$$\rho_{max} = 0.025$$

$$\rho_{min} = 1.4/f_y = 0.0033$$

maka dipakai  $\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0.0033$

$$A_{s\ pakai} = \rho_{pakai} \cdot b \cdot d = 0.0033 \times 1000 \times 2409 = 8030 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s\ pakai} / A_s = 8030 / 804.25 \approx 10$$

$$s = 1000 / 10 = 100 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi lebar pilecap untuk tulangan bawah.

- Penulangan susut sisi lebar

Tulangan susut dipasang pada sisi atas pilecap.

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \rho_{min} = 0.0033$$

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

$$d = 2384 \text{ mm}$$

$$A_{s\ min} = \rho \cdot b \cdot d = 0.0033 \times 1000 \times 2409 = 8030 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s\ min} / A_s = 8030 / 804.25 \approx 10$$

$$s = 1000 / 10 = 100 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi lebar pilecap untuk tulangan atas.

- Penulangan longitudinal sisi panjang

Untuk sisi panjang, penulangan longitudinal dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_s &= \frac{1}{2} \gamma l \left( \frac{1}{2} p - \frac{1}{2} \times 13.5 \right) \times (2t + 1) \\ &= \frac{1}{2} \times 2400 \times 21.6 \left( \frac{1}{2} \times 15.6 - \frac{1}{2} \times 13.5 \right) \times (2 \times 1.5 + 1) \\ &= 108864 \text{ kg} \end{aligned}$$

Faktor beban untuk berat struktur = 1.3

Lengan berat sendiri pilecap = 4.23 m

$$\begin{aligned} M_s &= 1.3 \times W_s \times 4.23 \\ &= 1.3 \times 108864 \times 4.23 \\ &= 1984418.28 \text{ kgm} \end{aligned}$$



Mu rencana,

$$\begin{aligned} \text{Mur} &= M_p - M_s \\ &= 0 - 1984418.28 \\ &= -1984418.28 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Mu per meter,

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \text{Mur}/l \\ &= 1984418.28 / 21.6 \\ &= 91871.2167 \text{ kgm/m} \end{aligned}$$

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

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

$$h = 2500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_{\text{long.panjang}}/2 - d_{\text{long.lebar}} - cc \\ &= 2500 - 32/2 - 32 - 75 \\ &= 2377 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = 918712166.7 \text{ Nmm/m}$$

$$\Phi = 0.9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{918712166.7}{0.9 \times 1000 \times 2377^2} = 0.181 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 50} = 9.88$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{9.88} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9.88 \cdot 0.181}{420}} \right) = 0.00043$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.025$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0033$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0.0033$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0033 \times 1000 \times 2377 = 7923.33 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 7923.33/804.25 \approx 10$$

$$s = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi panjang pilecap untuk tulangan atas.

- Penulangan susut sisi lebar

Tulangan susut dipasang pada sisi atas pilecap.

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \rho_{\min} = 0.0033$$

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

$$d = 2377 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho b d = 0.0033 \times 1000 \times 2377 = 7923.33 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}} / A_s = 7923.33 / 804.25 \approx 10$$

$$s = 1000 / 10 = 100 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi panjang pilecap untuk tulangan bawah.

#### 4.9.2.8 Penulangan pile abutment

Tulangan borepile abutment terdiri dari tulangan utama dan tulangan sengkang. Data perencanaan adalah sebagai berikut:

$$\text{Diameter pile (D)} = 1.2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pile (L)} = 60 \text{ m}$$

$$\text{Tulangan utama} = 30 \text{ D25 (rasio 1.252\%)}$$

$$\text{Tulangan sengkang } (\phi) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Luas 1 tulangan (A}_v) = 132.7323 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cover} = 75 \text{ mm}$$

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya sebagai berikut:

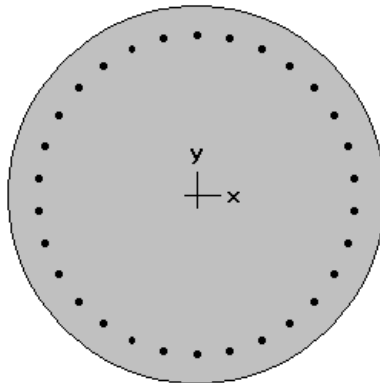
$$M_{\max} = Z_f \times H_{\max} / 2 \text{ (fixed)}$$

Dengan:

$$Z_f = 3 \text{ m (desain praktis untuk pile di tanah lempung lunak)}$$

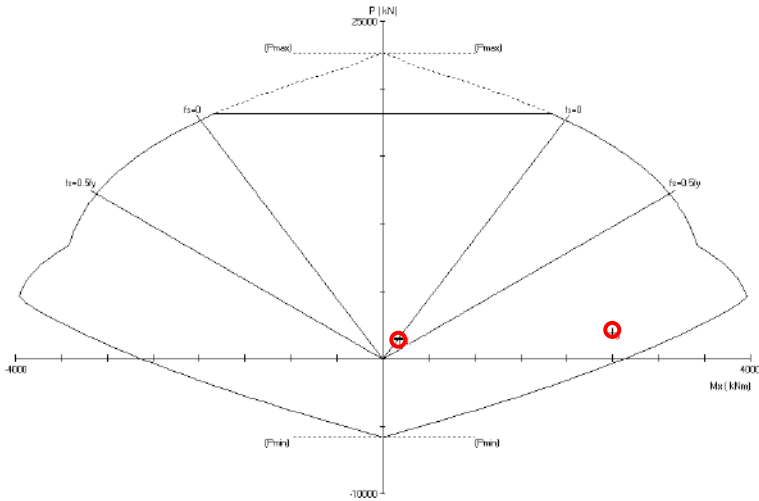
**Tabel 4. 73** Input untuk diagram interaksi pada pile abutment

Kombinasi	Pmax (kN)	Hmax (kN)	Mmax (kNm)
kuat 1	1515.381498	128.013084	192.0196259
kuat 3	1432.436593	128.013084	192.0196259
kuat 4	1417.412967	128.013084	192.0196259
kuat 5	1426.574309	128.013084	192.0196259
ekstrem 1	1901.340726	1665.172475	2497.758713



1200 mm diam.  
1.35% reinf.

**Gambar 4. 55** Desain penulangan pile abutment pada Sp Column



**Gambar 4. 56** Hasil analisa penulangan pile abutment pada SpColumn

Dari hasil analisa di SpColumn, konfigurasi penulangan longitudinal pada pile abutment memenuhi.

Perhitungan kuat geser beton adalah sebagai berikut:

$$v_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} bd$$

$$v_c = \left(1 + \frac{1901340.73}{14 \cdot 1130973.355}\right) \frac{\sqrt{30}}{6} 1130973.355 = 1156409.746 \text{ N}$$

Karena  $V_c < H_{max}$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s = V / \phi - V_c$$

$$= 1665172.475 / 0.7 = 1222408.076 \text{ N}$$

Digunakan sengkang 2 kaki,

$$s_x = \frac{A_v f_y d}{V_{s,x}} = \frac{132.7323 \times 2 \cdot 420 \cdot 1200}{1222408.076} = 109.45$$

Maka digunakan  $s = 100 \text{ mm}$ .

### 4.9.3 Perencanaan Pilar

#### 4.9.3.1 Pengolahan data tanah

- Daya dukung tiang pancang tunggal

Dalam menghitung daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan data tanah hasil Standard Penetration Test (SPT) pada lokasi proyek. Daya dukung pondasi tiang pancang tunggal ditentukan oleh perlawanan tanah pada ujung tiang ( $Q_p$ ) dan unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ). Pada contoh perhitungan pilar, digunakan data tanah pada *Bore Hole* – 2. Berikut adalah nilai  $N_{SPT}$  untuk masing-masing kedalaman:

**Tabel 4. 74** Nilai  $N_{SPT}$  *Bore Hole*-2

z (m)	t (m)	$N_{SPT}$	$N'$	konsistensi
1.25	2	2	2	clayey sand
3.25	2	2	2	
5.25	2	8	8	
7.25	2	12	12	
9.25	2	16	15	
11.25	2	22	18	
13.25	2	12	12	
15.25	2	18	16	
17.25	2	5	5	sand
19.25	2	4	4	
21.25	2	3	3	
23.25	2	3	3	
25.25	2	4	4	
27.25	2	4	4	
29.25	2	4	4	
31.25	2	5	5	
33.25	2	5	5	
35.25	2	7	7	
36.75	1.5	7	7	
38.25	1.5	8	8	
39.75	1.5	10	10	clay

Pada tugas akhir struktur bangunan bawah jembatan ini, digunakan rumusan Luciano Decourt untuk perhitungan daya dukung pondasi dalam. Luciano Decourt (1996) menyajikan metode sebagai berikut:

$$Q_L = Q_P + Q_S$$

$Q_P = \text{Resistance Ultimate}$  di dasar pondasi

$$= \alpha \times N_p \times K \times A_p$$

$N_p =$  Harga rata-rata SPT disekitar  $4B$  di atas hingga  $4B$  di bawah dasar tiang pondasi ( $B =$  diameter pondasi)

Digunakan tiang pancang berupa *bore pile* dengan diameter  $B = 1.4$  m hingga kedalaman 60 m. Karena data tanah hanya tersedia hingga kedalaman 40 m, maka diasumsikan tanah dari kedalaman 40 m hingga 60 m memiliki harga NSPT dan konsistensi yang sama.

$$N_p \approx 10$$

Pada tanah sekitar pondasi yang berupa lempung, nilai  $K = 12 \text{ t/m}^2$

**Tabel 4. 75** *Base coefficient,  $\alpha$*

Soil/Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (bentonik)	Continuous Hollow Anger	Root Pile	Infected Pile (High Pressure)
Clay	1,0	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Intermediate Soil	1,0	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Sands	1,0	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

Berdasarkan tabel 4.73, untuk keadaan tanah di sekitar *bore pile* yang berupa lempung diambil nilai  $\alpha = 0.85$ .

Luas penampang *borepile*,  $A_p = 1.54 \text{ m}^2$

$$Q_P = \alpha \times N_p \times K \times A_p = 0.85 \times 10 \times 12 \times 1.54 \\ = 92.36 \text{ ton}$$

$$Q_S = \text{Resistance Ultimate akibat tekanan lateral} \\ = \beta \times (N_s/3 + 1) \times A_s$$

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

$$N_s \approx 8$$

Luas selimut tiang,  $A_s = 263.89 \text{ m}^2$

**Tabel 4. 76** Shaft coefficient,  $\beta$

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

Berdasarkan tabel 4.74, untuk keadaan tanah di sekitar *bore pile* yang berupa lempung diambil nilai  $\beta = 0.8$ .

$$Q_S = \beta \times (N_S/3 + 1) \times A_s = 0.8 \times (8/3+1) \times 263.89 \\ = 967.61 \text{ ton}$$

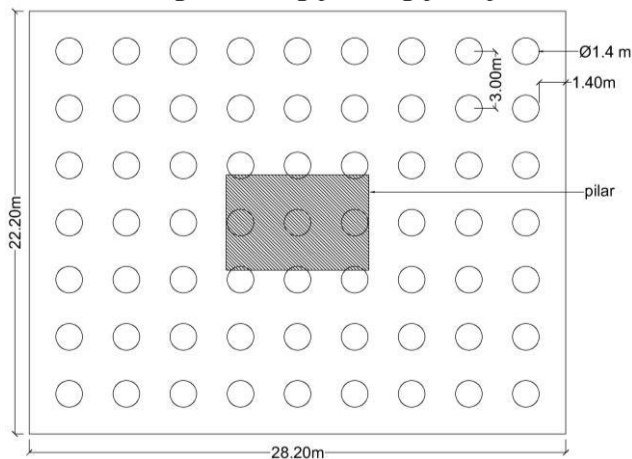
$$Q_L = Q_P + Q_S = 92.36 + 967.61 \\ = 1059.97 \text{ ton}$$

Digunakan SF = 3,

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = Q_L/3 = 1059.97 / 3 \\ = 353.32 \text{ ton}$$

- Daya dukung tiang dalam grup

Berikut adalah konfigurasi tiang pancang pada pilar:



**Gambar 4. 57** Konfigurasi tiang pancang pada pilecap pilar

Dimensi pilecap : 28200 mm x 22200 mm x 1500 mm

Diameter pile (D) : 1400 mm

Jumlah tiang : 63 buah

Jumlah baris (m) : 9 buah

Jumlah kolom (n) : 7 buah

Jarak antar tiang sesuai syarat,

$$2D \leq S \leq 3D$$

$$2.8 \text{ m} \leq S \leq 4.2 \text{ m}$$

Maka digunakan  $S = 3 \text{ m}$

Jarak tiang ke tepi sesuai syarat,

$$S1 \geq D$$

$$S1 \geq 1.4 \text{ m}$$

Maka digunakan  $S1 = 1.4 \text{ m}$

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

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

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{1.4}{3}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{9} - \frac{1}{7}\right) = 0.51$$

$$P_{ijin \text{ grup}} = C_e \times P_{ijin \text{ 1 tiang}}$$

$$P_{ijin \text{ grup}} = 0.51 \times 353.32$$

$$P_{ijin \text{ grup}} = 181.84 \text{ ton}$$

- Beban dari pilar

Beban vertikal dan momen yang diteruskan dari pilar ke pilecap terdiri dari beban mati akibat struktur atas (MS), beban mati tambahan (MA), beban lajur (D), beban truk (T), beban pejalan kaki (TP), beban angin struktur (Ews) dan beban angin kendaraan (Ewl). Beban dari struktur atas didapatkan dari hasil analisa reaksi perletakan pada Midas civil di bagian bawah pilar untuk masing-masing kombinasi pembebanan.



**Tabel 4. 77** Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 1

kuat 1		
V (kg)	Mx (kgm)	My (kgm)
5051471	74477.19	0.001319

**Tabel 4. 78** Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 3

kuat 3		
V (kg)	Mx (kgm)	My (kgm)
3752135	521836.1	0.00112

**Tabel 4. 79** Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 4

kuat 4		
V (kg)	Mx (kgm)	My (kgm)
3752135	-5.00736	0.001108

**Tabel 4. 80** Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi kuat 5

kuat 5		
V (kg)	Mx (kgm)	My (kgm)
3752135	295586.3	0.001115

**Tabel 4. 81** Beban yang diteruskan dari pilar untuk kombinasi ekstrem 1

ekstrem 1			
arah	V (kg)	Mx (kgm)	My (kgm)
EQ_x	4279114	2305311	7875024
EQ_y	4018938	7654289	2362535
pakai	4279114	7654289	7875024

- Beban Mati (MS) akibat berat struktur bawah  
Berat sendiri pilar sudah termasuk di dalam perhitungan sebelumnya, berikut adalah perhitungan berat sendiri pilecap:

$$W = \gamma p l t$$

$$= 2400 \times 28.2 \times 22.2 \times 1.5 = 1164096 \text{ kg}$$

Faktor beban untuk berat struktur = 1.3,

$$V = 1.3 \times W$$

$$= 1.3 \times 1164096 = 1513325 \text{ kg}$$

#### 4.9.3.2 Repartisi beban di atas tiang grup

Pembebanan yang didapat pada subbab sebelumnya digunakan untuk mendapatkan gaya yang diterima tiang dalam grup. Berikut adalah rekapitulasi kombinasi pembebanan pada bangunan bawah:

**Tabel 4. 82** Rekapitulasi beban untuk semua kombinasi

kombinasi	V (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
kuat 1	6215567	74477.19	0.001319
kuat 3	4916231	521836.1	0.00112
kuat 4	4916231	-5.00736	0.001108
kuat 5	4916231	295586.3	0.001115
ekstrem 1	5443210	7654289	7875024

Dari konfigurasi tiang pada pilecap didapatkan jarak-jarak momen untuk arah x dan y sebagai berikut:

$$\Sigma x^2 = 1260 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 2565 \text{ m}^2$$

Berikut adalah perhitungan kontrol konfigurasi tiang kelompok:

**Tabel 4. 83** Perhitungan konfigurasi tiang

Kombinasi	V/n	x	$\Sigma x$	$M_{y.x}/\Sigma x^2$	y	$\Sigma y$
kuat 1	98659.8	9	1260	531.9799	12	2565
kuat 3	78035.41	9	1260	3727.401	12	2565
kuat 4	78035.41	9	1260	-0.03577	12	2565
kuat 5	78035.41	9	1260	2111.331	12	2565
ekstrem 1	86400.15	9	1260	54673.49	12	2565
Kombinasi	$M_{x.y}/\Sigma y^2$	P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	P4 (kg)	
kuat 1	6.17E-06	99191.78	99191.78	98127.82	98127.82	
kuat 3	5.24E-06	81762.81	81762.81	74308	74308	
kuat 4	5.18E-06	78035.37	78035.37	78035.44	78035.44	
kuat 5	5.22E-06	80146.74	80146.74	75924.07	75924.07	
ekstrem 1	36842.22	104231.4	177915.9	68568.87	-5115.56	

Dari tabel, didapatkan  $V_{\max} = 126.70 \text{ ton} < P_{\text{ijin grup}} = 130.73 \text{ ton}$  (**OK**)

Direncanakan mutu *bore pile*  $f_c' = 30 \text{ MPa}$ ,

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= V_{\max}/A_{\text{pile}} \\ &= 1779159/ 1539380 = 1.16 \text{ MPa} < f_c' = 30 \text{ MPa} \text{ (**OK**)}\end{aligned}$$

#### 4.9.3.3 Penulangan longitudinal pilar

Penulangan terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan transversal/geser/ penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan syarat-syarat sesuai SNI 2847:2013. Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya sesuai perhitungan sebelumnya sebagai berikut:

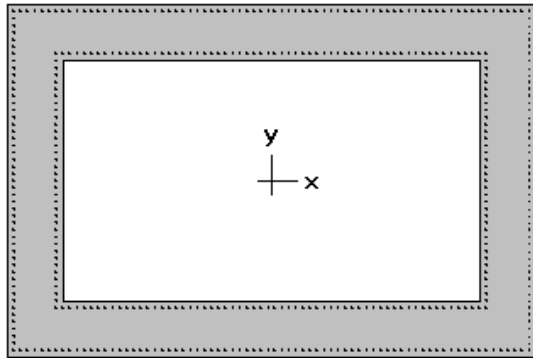
**Tabel 4. 84** Input untuk diagram interaksi pada pilar

kombinasi	P (kN)	My (kNm)	Mx (kNm)
kuat 1	49538.01	0	730.37173
kuat 3	36795.87	-298.1145	5117.4645
kuat 4	36795.87	0	-0.049105
kuat 5	36795.87	0	2898.7116
ekstrem 1	41963.77	77227.602	75062.935

Dimensi pilar adalah sebagai berikut:

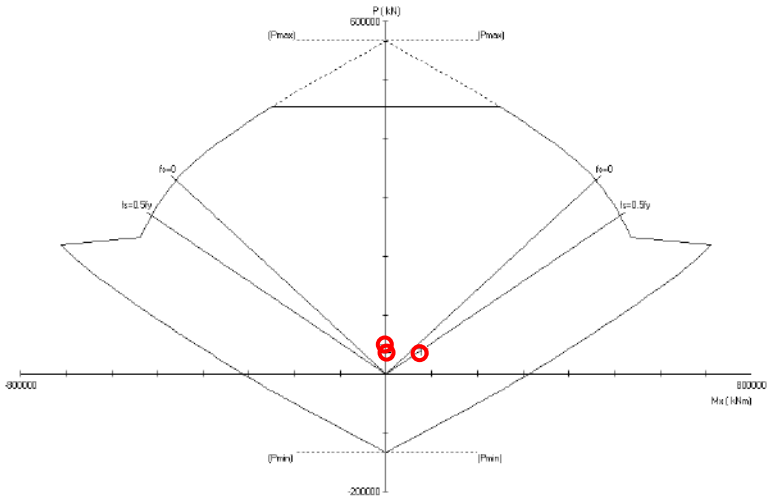
$$\text{Panjang (p)} = 7500 \text{ mm}$$

Lebar (l)	= 5000 mm
Tulangan utama	= D32 dengan rasio 2.02%
Luas 1 tulangan ( $A_s$ )	= 804.2477 mm <sup>2</sup>
Tulangan geser ( $\phi$ )	= 18 mm
Cover	= 100 mm
Jarak antar tulangan (s)	= 100 mm
$f_c'$	= 50 MPa
$f_y$	= 420 MPa

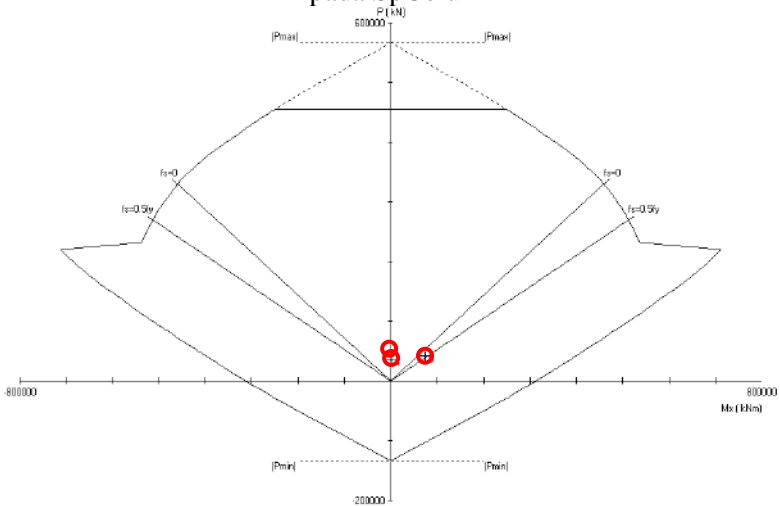


**7500 × 5000 mm**  
**2.02% reinf.**

**Gambar 4. 58** Desain penulangan pilar pada Sp Column



**Gambar 4. 59** Hasil analisa penulangan pilar untuk momen arah x pada SpColumn



Dari hasil analisa di SpColumn, konfigurasi penulangan longitudinal pada pilar memenuhi.

#### 4.9.3.4 Penulangan geser pilar

Dari reaksi perletakan, gaya geser yang terjadi pada pilar adalah sebagai berikut:

$$V_x = 49538009.87 \text{ N}$$

$$V_y = 8602919.79 \text{ N}$$

Perhitungan kuat geser beton adalah sebagai berikut:

$$v_{c.x} = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d_x$$

$$v_{c.y} = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d_y$$

Tebal wall = 800 mm,

$$b_w = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$$

$$v_{c.x} = \left(1 + \frac{49538.01}{14 \cdot (7500 \cdot 5000 - 5900 \cdot 3400)}\right) \cdot \frac{\sqrt{50}}{6} \cdot 1600 \cdot 4900$$

$$v_{c.x} = 11336434.25 \text{ N}$$

$$v_{c.y} = \left(1 + \frac{49538.01}{14 \cdot (7500 \cdot 5000 - 5900 \cdot 3400)}\right) \cdot \frac{\sqrt{50}}{6} \cdot 1600 \cdot 3400$$

$$v_{c.y} = 17120329.28 \text{ N}$$

Karena  $V_x < V_c$ , maka diperlukan tulangan geser tambahan.

$$V_{sx} = V_x / \phi - V_{cx}$$

$$= 49538009.87 / 0.7 - 11336434.25 = 59432151.27 \text{ N}$$

Digunakan sengkang 12 kaki,

$$s_x = \frac{A_v f_y d}{V_{s.x}} = \frac{254.47 \times 12 \cdot 420 \cdot 4900}{59432151.27} = 105.7 \text{ mm}$$

Syarat:

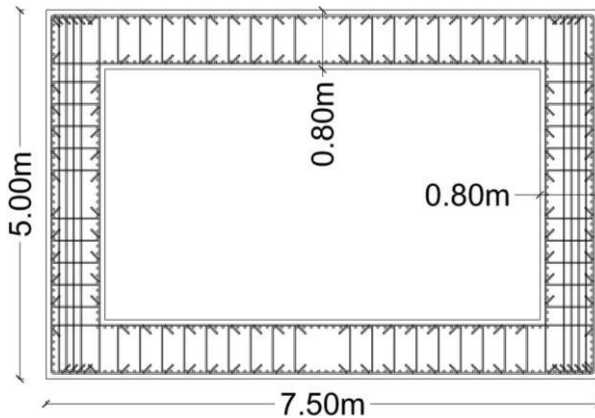
$$s < 8d = 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$$

$$s < 24\phi = 24 \times 28 = 432 \text{ mm}$$

$$s < \frac{1}{2} b \text{ atau } h = \frac{1}{2} \times 2300 = 2500 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

maka digunakan  $s_x = 100 \text{ mm} - 12 \text{ kaki}$  dan  $s_y = 200 \text{ mm} - 2 \text{ kaki}$



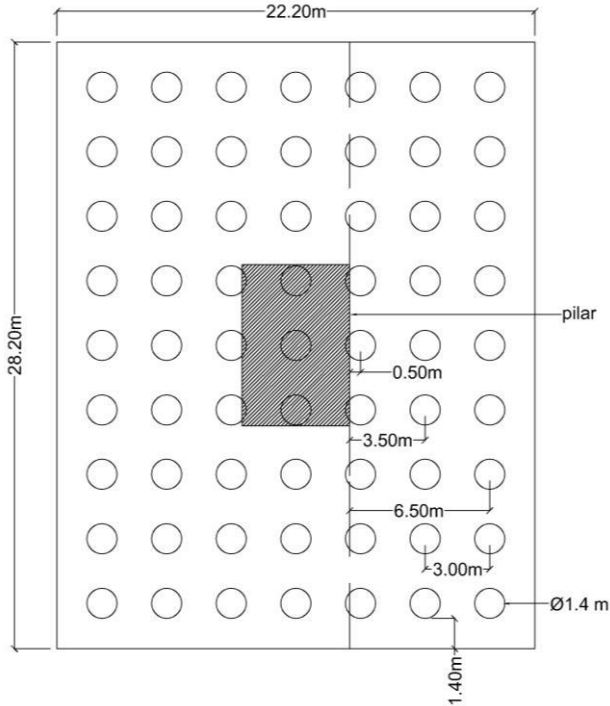
**Gambar 4. 60** ilustrasi penulangan pilar

#### 4.9.3.5 Penulangan pilecap pilar

Penulangan pile cap terdapat pada sisi bawah dan sisi atas. Data perencanaan adalah sebagai berikut:

Panjang (p)	= 28.2 m
Lebar (l)	= 22.2 m
Tebal (t)	= 1.50 m
Tulangan utama	= D32
Luas 1 tulangan ( $A_s$ )	= 804.25 mm <sup>2</sup>
Cover	= 75 mm
$f_c'$	= 50 MPa
$f_y$	= 420 MPa
$n_x$	= 7 buah
$n_y$	= 9 buah
jumlah tiang	= 63 buah

- Penulangan longitudinal sisi lebar  
Untuk sisi lebar, penulangan longitudinal dihitung sebagai berikut:



**Gambar 4. 61** Jarak-jarak lengan gaya pada sisi lebar pilecap  
 Jarak tiang terhadap sisi luar pilar:

$$X_{p1} = 6.5 \text{ m}$$

$$X_{p2} = 3.5 \text{ m}$$

$$X_{p3} = 0.5 \text{ m}$$

$$P_{\max} \text{ aktual 1 tiang, } P_{\max} = 177915.863 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_p &= n_y \times P_{\max} \times \sum X_p \\ &= 9 \times 177915.863 \times (6.5 + 3.5 + 0.5) \\ &= 16813049.06 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_s &= \frac{1}{2} \gamma_p \left( \frac{1}{2} l - \frac{1}{2} \times 5 \right) \times (2t + 1) \\ &= \frac{1}{2} \times 2400 \times 28.2 \left( \frac{1}{2} \times 22.2 - \frac{1}{2} \times 5 \right) \times (2 \times 1.5 + 1) \\ &= 1164096 \text{ kg} \end{aligned}$$

Faktor beban untuk berat struktur = 1.3

Lengan berat sendiri pilecap = 3.94 m



$$\begin{aligned}
 M_s &= 1.3 \times W_s \times 3.94 \\
 &= 1.3 \times 1164096 \times 5.85 \\
 &= 5965021.92 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Mu rencana,

$$\begin{aligned}
 M_{ur} &= M_p - M_s \\
 &= 13832253.78 - 4227163.2 \\
 &= 8336941.62 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Mu per meter,

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_{ur}/p \\
 &= 8336941.62 / 28.2 \\
 &= 384681.8134 \text{ kgm/m}
 \end{aligned}$$

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

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

$$h = 1500 + 1000 = 2500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_{\text{longitudinal}}/2 - cc \\
 &= 2500 - 32/2 - 75 \\
 &= 2409 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = 3846818134 \text{ Nmm/m}$$

$$\Phi = 0.9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3846818134}{0.9 \times 1000 \times 2409^2} = 0.736 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 50} = 9.88$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{9.88} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9.88 \cdot 0.736}{420}} \right) = 0.00177$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.025$$

$$\rho_{\text{min}} = 1.4/f_y = 0.0033$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0.0033$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{\text{pakai}} b d = 0.0033 \times 1000 \times 2409 = 8030 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 8030/804.25 \approx 10$$

$$s = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi lebar pilecap untuk tulangan bawah.

- Penulangan susut sisi lebar

Tulangan susut dipasang pada sisi atas pilecap.

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \rho_{\text{min}} = 0.0033$$

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

$$d = 2384 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho b d = 0.0033 \times 1000 \times 2409 = 8030 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}}/A_s = 8030 / 804.25 \approx 10$$

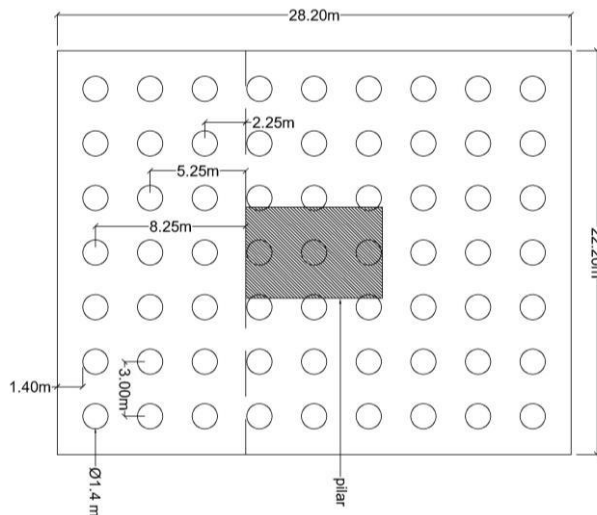
$$s = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi lebar pilecap untuk tulangan atas.

- Penulangan longitudinal sisi panjang

Untuk sisi panjang, penulangan longitudinal dihitung sebagai berikut:



**Gambar 4. 62** Jarak-jarak lengan gaya pada sisi lebar pilecap

Jarak tiang terhadap sisi luar pilar:

$$X_{p1} = 8.25 \text{ m}$$

$$X_{p2} = 5.25 \text{ m}$$

$$X_{p3} = 2.25 \text{ m}$$

P<sub>max</sub> aktual 1 tiang, P<sub>max</sub> = 177915.863 kg

$$\begin{aligned} M_p &= n_x \times P_{\max} \times \sum Y_p \\ &= 7 \times 177915.863 \times (8.25 + 5.25 + 2.25) \\ &= 19615224 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_s &= \frac{1}{2} \gamma l \left( \frac{1}{2} p - \frac{1}{2} \times 13.5 \right) \times (2t + 1) \\ &= \frac{1}{2} \times 2400 \times 22.2 \left( \frac{1}{2} \times 28.2 - \frac{1}{2} \times 7.5 \right) \times (2 \times 1.5 + 1) \\ &= 1236096 \text{ kg} \end{aligned}$$

Faktor beban untuk berat struktur = 1.3

Lengan berat sendiri pilecap = 4.74 m

$$\begin{aligned} M_s &= 1.3 \times W_s \times 4.74 \\ &= 1.3 \times 1236096 \times 4.74 \\ &= 7622849.52 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Mu rencana,

$$\begin{aligned} M_{ur} &= M_p - M_s \\ &= 19615224 - 7622849.52 \\ &= 11992374 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Mu per meter,

$$\begin{aligned} M_u &= M_{ur}/l \\ &= 11992374 / 22.2 \\ &= 540197 \text{ kgm/m} \end{aligned}$$

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

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

$$h = 2500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_{\text{long. panjang}}/2 - d_{\text{long. lebar}} - cc \\ &= 2500 - 32/2 - 32 - 75 \\ &= 2377 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = 5401970441 \text{ Nmm/m}$$

$$\Phi = 0.9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{5401970441}{0.9 \times 1000 \times 2377^2} = 1.062 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{420}{0.85 \times 50} = 9.88$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9.88} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9.88 \cdot 1.062}{420}} \right) = 0.00256$$

$$\rho_{max} = 0.025$$

$$\rho_{min} = 1.4/f_y = 0.0033$$

maka dipakai  $\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0.0033$

$$A_{s \text{ pakai}} = \rho_{pakai} b d = 0.0033 \times 1000 \times 2377 = 7923.33 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ pakai}}/A_s = 7923.33/804.25 \approx 10$$

$$s = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi panjang pilecap untuk tulangan bawah.

- Penulangan susut sisi lebar

Tulangan susut dipasang pada sisi atas pilecap.

$$A_s = 804.25 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \rho_{min} = 0.0033$$

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

$$d = 2377 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho b d = 0.0033 \times 1000 \times 2377 = 7923.33 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s \text{ min}}/A_s = 7923.33/804.25 \approx 10$$

$$s = 1000/10 = 100 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

maka digunakan tulangan longitudinal **D32-100 mm** pada bagian sisi panjang pilecap untuk tulangan atas.

#### 4.9.3.6 Penulangan pile pilar

Tulangan borepile pilar terdiri dari tulangan utama dan tulangan sengkang. Data perencanaan adalah sebagai berikut:

$$\text{Diameter pile (D)} = 1.4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pile (L)} = 60 \text{ m}$$

Tulangan utama	= 40 D25 (rasio 1.325%)
Tulangan sengkang ( $\phi$ )	= 10 mm
Luas 1 tulangan ( $A_v$ )	= 78.54 mm <sup>2</sup>
Cover	= 75 mm
$f_c'$	= 30 MPa
$f_y$	= 420 MPa

Penulangan longitudinal menggunakan program bantu SpColumn dengan input gaya sebagai berikut:

$$M_{\max} = Z_f \times H_{\max}/2 \text{ (fixed)}$$

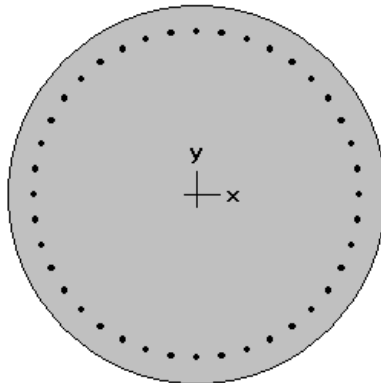
Dengan:

$$H_{\max} = 690.82 \text{ kN}$$

$$Z_f = 3 \text{ m (desain praktis untuk pile di tanah lempung lunak)}$$

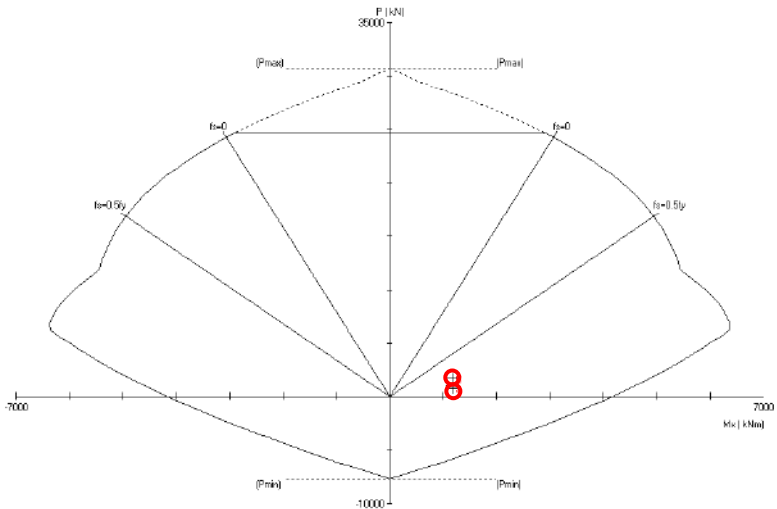
**Tabel 4. 85** Input untuk diagram interaksi pada pile pilar

kombinasi	Pmax (kN)	Hmax (kN)	Mmax kNm)
kuat 1	991.917765	786.317617	1179.47643
kuat 3	817.628066	786.317617	1179.47643
kuat 4	780.354413	786.317617	1179.47643
kuat 5	801.467364	786.317617	1179.47643
ekstrem 1	1779.15863	786.317617	1179.47643



1400 mm diam.  
1.33% reinf.

**Gambar 4. 63** Desain penulangan pile pilar pada Sp Column



**Gambar 4. 64** Hasil analisa penulangan pile pilar pada SpColumn

Dari hasil analisa di SpColumn, konfigurasi penulangan longitudinal pada pile pilar memenuhi.

Perhitungan kuat geser beton adalah sebagai berikut:

$$v_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} bd$$

$$v_c = \left(1 + \frac{1779159}{14 \cdot 1539380}\right) \frac{\sqrt{50}}{6} 1539380 = 1521266 \text{ N}$$

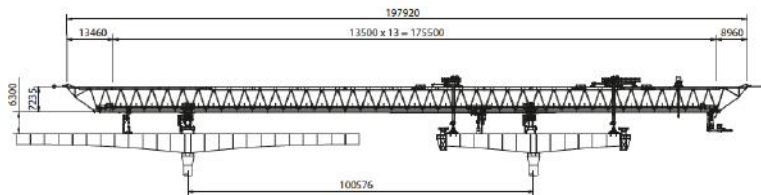
Karena  $V_c > H_{max}$ , maka digunakan tulangan geser minimum dengan  $s = 300 \text{ mm}$ .

#### 4.10 Metode Pelaksanaan

Salah satu metode alternatif pelaksanaan pembangunan jembatan adalah dengan menggunakan metode konstruksi kantilever seimbang dengan segmen pracetak. Segmen pracetak yang telah dicor didatangkan untuk kemudian dilakukan *erection* di lapangan saat umur beton tertentu menggunakan bantuan peralatan berupa *crane* dan sejenisnya. Setiap tahapan pemasangan segmen, dilakukan *jacking* pada box untuk menjaga tegangan beton saat masih dalam keadaan kantilever seimbang.

Dalam tugas akhir ini akan digunakan metode pelaksanaan konstruksi kantilever seimbang dengan *erection* segmen pracetak menggunakan *launching gantry*. Jembatan ini berupa jembatan box girder dengan panjang total 230.4 m yang dibagi menjadi 3 bentang dengan panjang masing-masing 67.2 m, 96 m dan 67.2 m yang ditumpu 2 pilar dan 2 abutment di ujungnya. Struktur utama jembatan ini menggunakan box girder non-prismatis tipe *single cell* pracetak dengan lebar pelat atas 13.5 m, panjang per segmen berkisar antara 2 m hingga 3.2 m dan tinggi box berkisar antara 2 m di tengah bentang dan 5.3 m pada tumpuan.

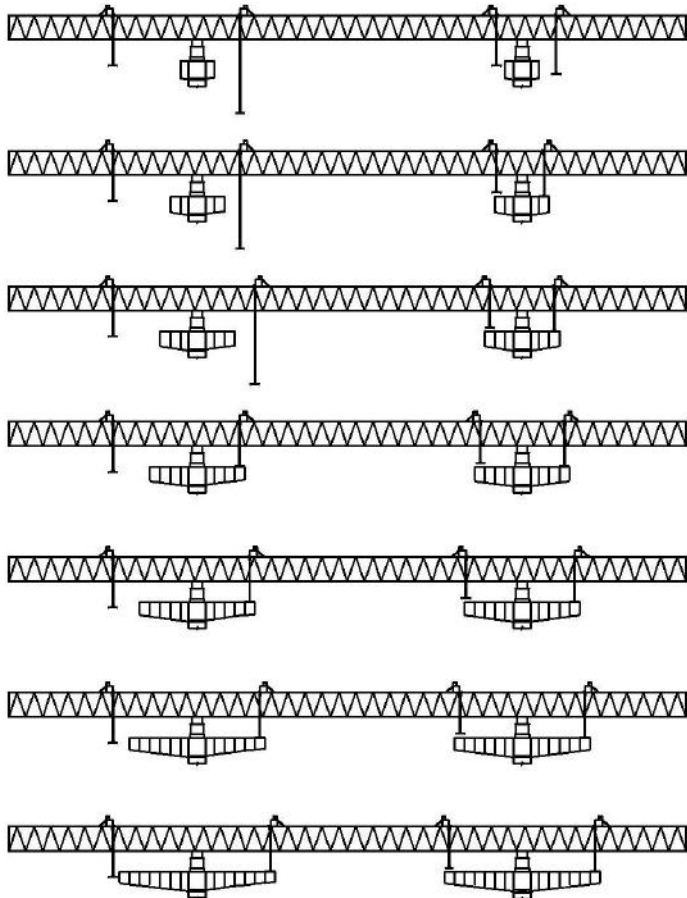
Berikut adalah spesifikasi *launching gantry* yang digunakan pada tugas akhir ini:



**Gambar 4. 65** *Launching gantry* yang digunakan untuk pemasangan segmen jembatan

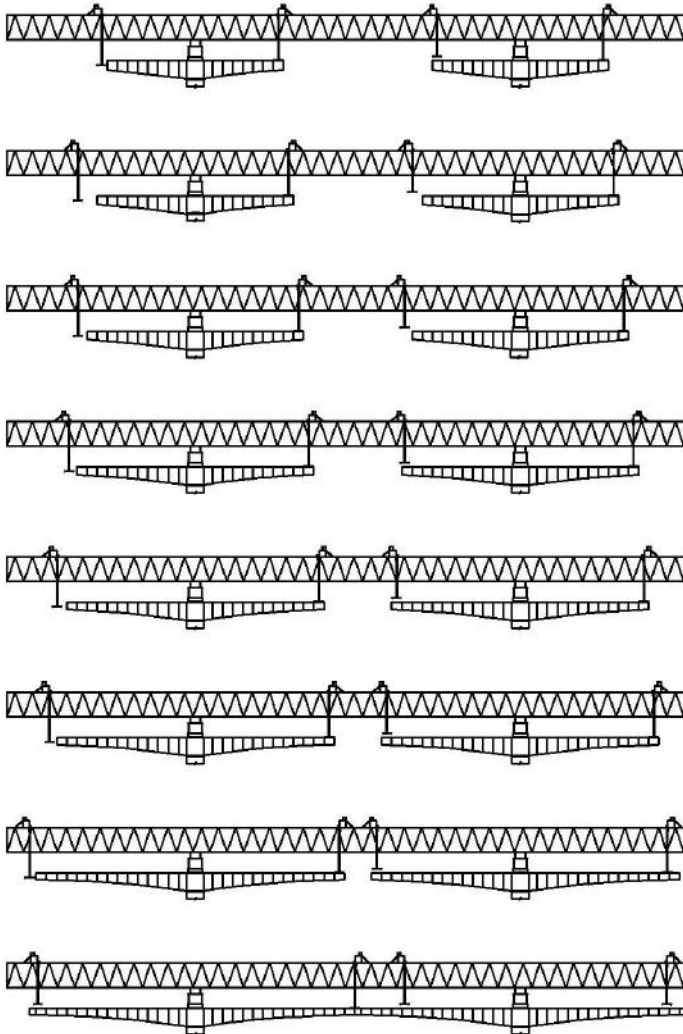
Tipe <i>launching gantry</i>	= Deal LGS 200-100
Panjang rangka	= 175.5 m
Tinggi rangka	= 7.2 m
Kapasitas angkut	= 200 ton
Berat total	= 932 ton
Bentang maksimum	= 100.6 m

Pekerjaan pemasangan segmen jembatan bermula dari pilar ke arah tengah bentang secara simetris untuk menjaga kesetimbangan dan mencegah adanya momen pada pilar akibat beban yang tidak simetris. Tahapan pemasangan segmen pada metode *balanced cantilever* dapat dilihat pada gambar 4.65 sampai gambar 4.66.



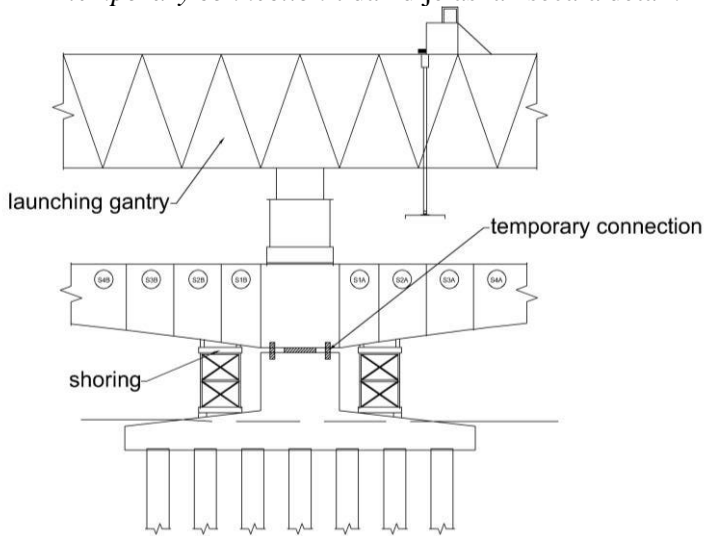
**Gambar 4. 66** Pemasangan segmen S1 hingga S7





**Gambar 4. 67** Pemasangan segmen S8 hingga C1

Konstruksi jembatan pada bagian atas jalan raya secara *balance cantilever* baru akan dimulai setelah kedua pilar telah berdiri. Meskipun setelah proses konstruksi selesai perletakan pada struktur atas merupakan sendi-rol, namun pada saat pelaksanaan *balanced cantilever* perletakan pada pier merupakan perletakan jepit. Karena di lapangan kemungkinan terjadi perbedaan beban pada sisi jembatan akibat beban pelaksanaan dan karena dimensi pilar yang terbatas untuk bisa menahan momen lentur yang dihasilkan oleh konstruksi kantilever, maka diperlukan angkur sementara (*temporary connection*) pada tumpuan, dan tambahan *shoring* dekat pier. *Temporary connection* dapat berupa *prestressing* secara vertikal antara box girder dengan pilar atau dapat menggunakan tulangan beton pada umumnya. Dalam tugas akhir ini *temporary connection* tidak dijelaskan secara detail.

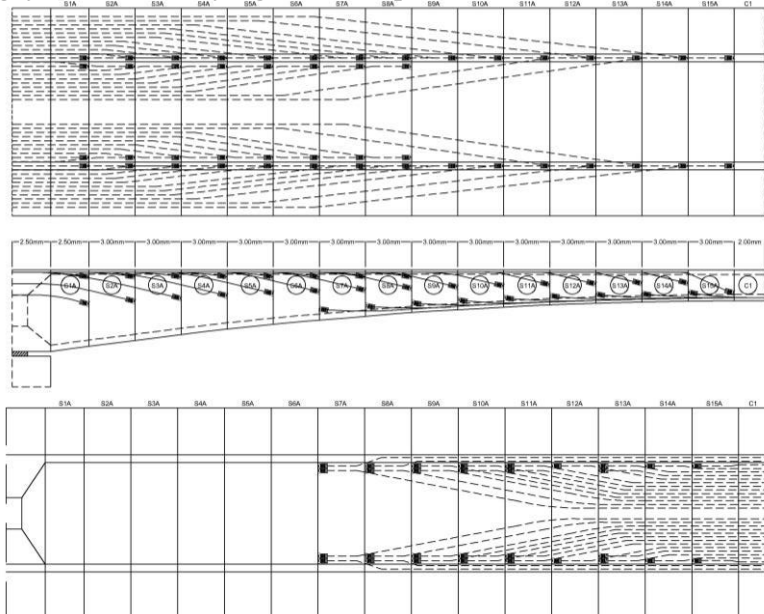


**Gambar 4. 68** Bagian pier

Penarikan tendon dilakukan pada dua kondisi pembebanan yaitu saat pelaksanaan dan saat beban penuh. Tendon yang dilakukan *jacking* untuk beban pelaksanaan adalah tendon kantilever saja, sedangkan tendon servis ditambahkan untuk mengatasi gaya dalam yang terjadi akibat beban jembatan dalam

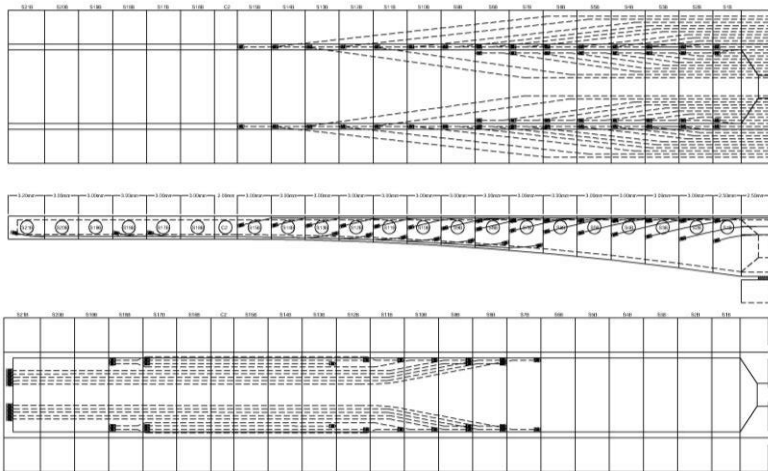
keadaan layan. Dalam 1 kali penarikan, dilakukan penarikan 1 pasang tendon untuk mencegah terjadinya eksentrisitas.

Tendon kantilever dipasang pada tiap penambahan segmen. Angkur hidup untuk tendon kantilever diletakkan pada web (dinding) box girder dan pada *blister* yang menempel pada pelat atas dan bawah box girder. Setelah dilakukan *jacking*, tendon terlebih dahulu dilakukan *grouting* untuk memastikan gaya prategang telah ditransfer ke beton. Setelah kering, dilakukan penyambungan dengan segmen selanjutnya menggunakan *epoxy*. Ikatan dengan *launching gantry* maupun *shoring* belum boleh dilepas ketika sambungan *epoxy* belum mengeras seluruhnya pada *section* tersebut. Sesaat setelah pengaplikasian *epoxy*, harus segera diberikan tekanan yang cukup pada sambungan dengan bantuan gaya *post-tension* yang diberikan pada tendon kantilever.



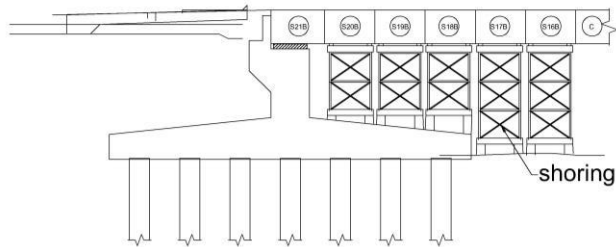
**Gambar 4. 69** Layout tendon atas dan bawah pada bentang tengah untuk setengah bentang

Sambungan antara segmen *closure* di antara 2 segmen kantilever dengan salah satu segmen kantilever berupa *wet joint* yaitu beton cast-in-situ yang memiliki mutu yang sama dengan segmen-segmen *precast*. Setelah pemasangan segmen *closure*, dilakukan pemasangan tendon servis yang dimulai dari tendon terpendek di tengah bentang. Angkur hidup untuk tendon servis diletakkan pada *blister* yang menempel pada pelat bawah box girder. Setelah dilakukan jacking, tendon diberi *grouting* untuk memastikan gaya prategang telah ditransfer ke beton.



**Gambar 4. 70** Layout tendon atas dan bawah pada bentang tepi

Beberapa segmen pada daerah abutment yang berada di luar jangkauan *balanced cantilever* harus dipasang di atas *shoring*. Hal ini membantu menyeimbangkan momen yang terjadi pada bentang-bentang yang ada ketika beban servis bekerja dan membuat reaksi perletakan tetap positif (bukan tarik) di abutment.



**Gambar 4. 71** Bagian abutment

Sambungan antara segmen *closure* yang menghubungkan segmen di atas *shoring* dengan salah satu segmen kantilever juga berupa *wet joint* yaitu beton *cast-in-situ* yang memiliki mutu yang sama dengan segmen-segmen *precast*. Setelah pemasangan segmen *closure*, dilakukan pemasangan tendon servis yang dimulai dari tendon terpendek di bentang tepi. Angkur hidup untuk tendon servis diletakkan pada *blister* yang menempel pada pelat bawah box girder dan pada diafragma di segmen *deviator* (segmen di atas abutment). Setelah dilakukan jacking, tendon diberi *grouting* untuk memastikan gaya prategang telah ditransfer ke beton. Setelah semua sambungan kering, *crane*, *shoring* dan *temporary connection* baru boleh dilepas lalu dilanjutkan dengan pengerjaan struktur sekunder serta *finishing*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut:

1. Perencanaan jembatan Sironoboyo berupa jembatan box girder dengan panjang total 230.4 m yang dibagi menjadi 3 bentang dengan panjang masing-masing 67.2 m, 96 m dan 67.2 m yang ditumpu 2 pilar dan 2 abutment di ujungnya. Struktur utama jembatan ini menggunakan box girder non-prismatis tipe *single cell* pracetak dengan lebar pelat atas 13.5 m, panjang per segmen berkisar antara 2 m hingga 3.2 m dan tinggi box berkisar antara 2 m di tengah bentang dan 5.3 m pada tumpuan.
2. Pembebanan yang diberikan pada struktur jembatan ini mengacu pada SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan dan RSNI 2833:201X Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Analisa struktur utama jembatan menggunakan program bantu Midas Civil.
3. Tendon yang digunakan pada jembatan ini bertipe VSL ASTM A 416-06 *grade 270*. Berdasar hasil perencanaan box girder, diperlukan tendon kantilever dengan jenis tendon 6-15-15 sejumlah 46 buah pada pelat atas box dan tendon servis dengan jenis tendon 6-27-27 sejumlah 30 buah pada pelat bawah box untuk bentang tengah serta 18 buah pada pelat bawah box untuk bentang tepi.
4. Kehilangan prategang yang dihitung pada saat tahap *balanced cantilever* adalah kehilangan langsung, sedangkan ketika masa layan adalah kehilangan langsung dan tidak langsung. Total kehilangan gaya prategang yang terjadi adalah sebesar 26.51% pada tendon kantilever dan 20.26% pada tendon servis.
5. Kontrol kapasitas momen *crack* dan momen batas yang terjadi akibat tendon pratekan di setiap segmen terhadap

momen yang terjadi akibat beban luar masih dalam batas persyaratan baik dalam pembebanan pelaksanaan ataupun beban service. Tulangan geser dan puntir (torsion) tambahan diperlukan berdasarkan perhitungan akibat gaya geser pada badan penampang ( $V_{cw}$ ) dan akibat lentur ( $V_{ci}$ ) serta perhitungan cek kontrol torsion. Lenturan pada struktur diperiksa pada kondisi pelaksanaan (*balance cantilever*) dan kondisi beban penuh. Lenturan yang terjadi masih memenuhi persyaratan.

6. Perletakan yang digunakan adalah produk *POT bearing* dari TENSA dan hasil desain sendiri dengan rekapitulasi sebagai berikut:

Perletakan 1	: TPM 6000 / $\pm 50$ / $\pm 20$ ( <i>free</i> )
Perletakan 2	: TPL 30000/7200/ $\pm 50$ ( <i>guided</i> , pergerakan arah x)
Perletakan 3	: TPL 80000/16000/ $\pm 50$ ( <i>guided</i> , pergerakan arah y)
Perletakan 4	: TPF 80000/16000 ( <i>fixed</i> )
Perletakan 5	: TPM 25000 / $\pm 50$ / $\pm 20$ ( <i>free</i> )
Perletakan 6	: TPL 70000/14000/ $\pm 50$ ( <i>guided</i> , pergerakan arah x)
Perletakan 7	: TPM 6000 / $\pm 50$ / $\pm 20$ ( <i>free</i> )
Perletakan 8	: TPL 30000/7200/ $\pm 50$ ( <i>guided</i> , pergerakan arah x)

7. Desain abutment dengan tinggi 8.6 m, lebar 13.5 m, tebal *breastwall* 2.3 m, lebar pilecap 21.6 m, panjang pilecap 15.6 m, tebal pilecap 1.5 m dengan 35 buah tiang *borepile* diameter 1.2 m sedalam 60 m. Desain pilar berongga dengan lebar 5 m, panjang 7.5 m, tebal dinding 0.8 m, lebar pilecap 28.2 m, panjang pilecap 22.2 m, tebal pilecap 1.5 m dengan 63 buah tiang *borepile* diameter 1.4 m sedalam 60 m.
8. Metode konstruksi yang digunakan adalah *balanced cantilever* dengan sistem *precast* menggunakan *launching gantry*. Pekerjaan struktur dimulai dari kedua pilar secara bersamaan ke arah abutment, kemudian pengerjaan *closure*



tengah, lalu untuk segmen S16, S17, S18, S19, S20, dan S21 pengerjaan menggunakan *shoring* sebagai penahan. Saat tahap *staging*, perletakan dibantu dengan anker sementara (*temporary connection*) agar perletakan menjadi bersifat jepit.

## 5.2 Saran

Dalam laporan Tugas Akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dalam pengerjaannya. Saran dari penulis untuk perencanaan jembatan *precast post-tension box girder* sebaiknya:

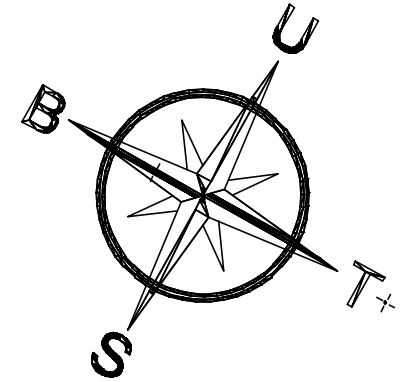
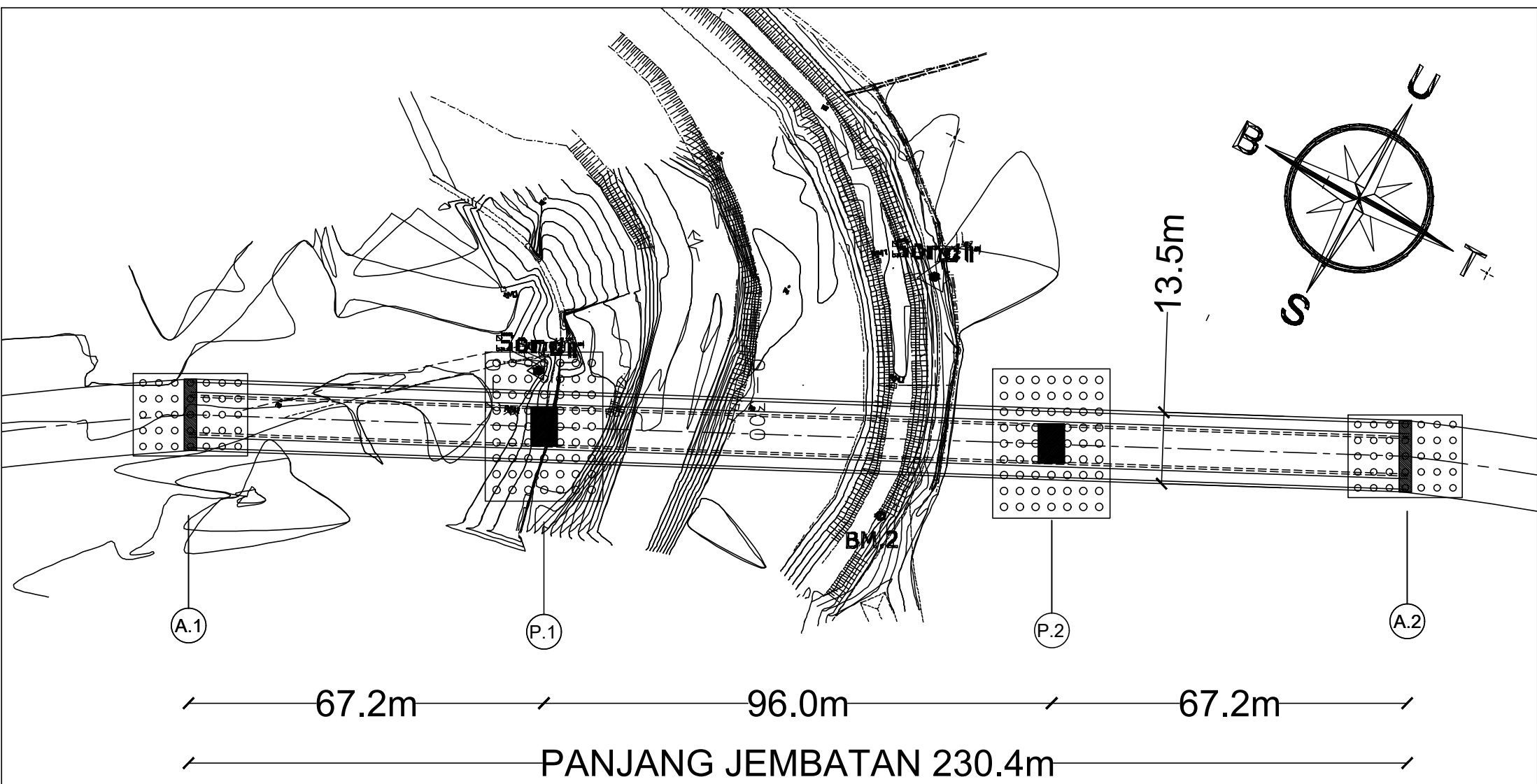
1. Dalam perencanaan sebaiknya diperhitungkan pula gempa pada saat *staging*, terutama gempa arah vertikal.
2. Dalam permodelan di Midas Civil sebaiknya juga memasukkan parameter tendon dan tulangan sehingga hasil analisa dari *software* tersebut lebih akurat, terutama hasil dari lendutan dan tegangan yang terjadi.
3. Jika ingin mempermudah dalam tahap pelaksanaan, sebaiknya menggunakan *pierhead* atau segmen yang menggabung dengan pier sehingga struktur lebih stabil terhadap beban tidak seimbang, terutama pada jembatan yang melengkung.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Avendaño, Alejandro, Catherine Hovell, Andrew Moore, and Guadalupe Street. 2013. "Pretensioned Box Beams: Prestress Transfer and Shear Behaviour." **Texas University**, 7: 278.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. **Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004)**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. **Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. **Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016)**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. **Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa (RSNI 2833:201X)**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Barker, James M. 1980. "Construction Techniques for Segmental Concrete Bridges." **PCI Journal**.
- Benaim, Robert. 2008. **The Design of Prestressed Concrete Bridges: Concepts and Principles**. New York: Taylor & Francis.
- Biro Komunikasi Publik Kementerian PUPR. 2018. **Bangun Jalan Pansela Jawa, Kementerian PUPR Tingkatkan Konektivitas Dan Dukung Pariwisata**. Jakarta.
- Kristek, Vladimir, Zdenek P. Bazant, Milos Zich, and Alena Kohoutkova. 2006. "Box Girder Bridge Deflections." **ACI Concrete Journal** 28(1): 55–63.
- Lin, T. Y, and H. Burns. 1982. **Design of Prestressed Concrete Structures**. 3rd ed. Berkeley: John Wiloey & Sons, Inc.
- Muller, Jean. 1975. "Ten Years of Experience in Precast Segmental Construction." **PCI Journal** Jan-Feb 19: 28–61.
- Podolny, Walter, D Ph, Jean M Muller, and John Wiley. 1982. **Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges**. Berkeley: John Wiloey & Sons, Inc.

- Sennah, Khaled M., and John B. Kennedy. 2002. "Literature Review in Analysis of Box-Girder Bridges." **Journal of Bridge Engineering** 7(2): 134–43.
- Sharma, Anupam, and Suresh Singh Kushwah. 2015. "Comparative Analysis of Reinforcement & Prestressed Concrete Beams." **International Journal of Current Engineering and Technology** 5(4): 2564–66.
- VSL International, Ltd. 2012. **Segmental Bridge Construction Techniques**. Nashville.
- Wahyudi, Herman. 2009. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: ITS Press.

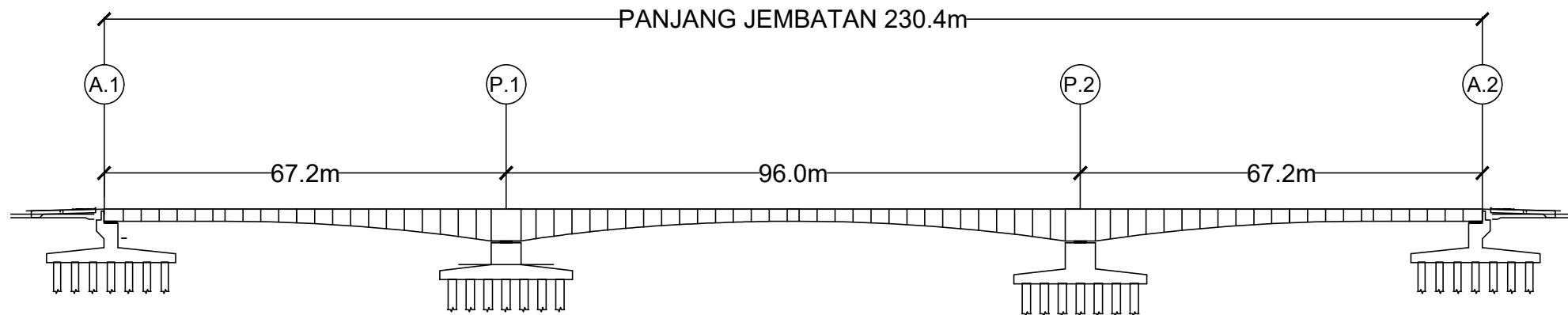
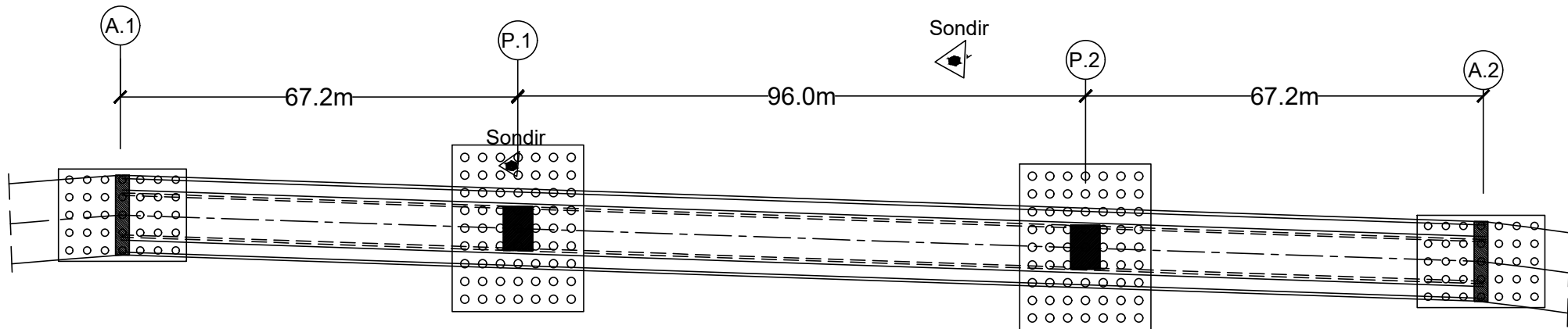


**PLAN JEMBATAN SIRNOBOYO**



SKALA 1:1000

<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
	PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED</i> <i>BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED</i> <i>CANTILEVER</i>	PLAN JEMBATAN SIRNOBOYO	1:1000	1	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
				JUMLAH		
				45		



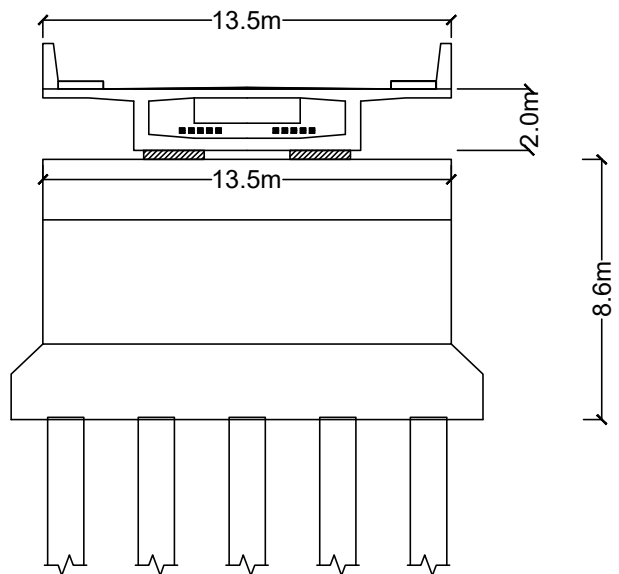
### POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN

SKALA 1:1000



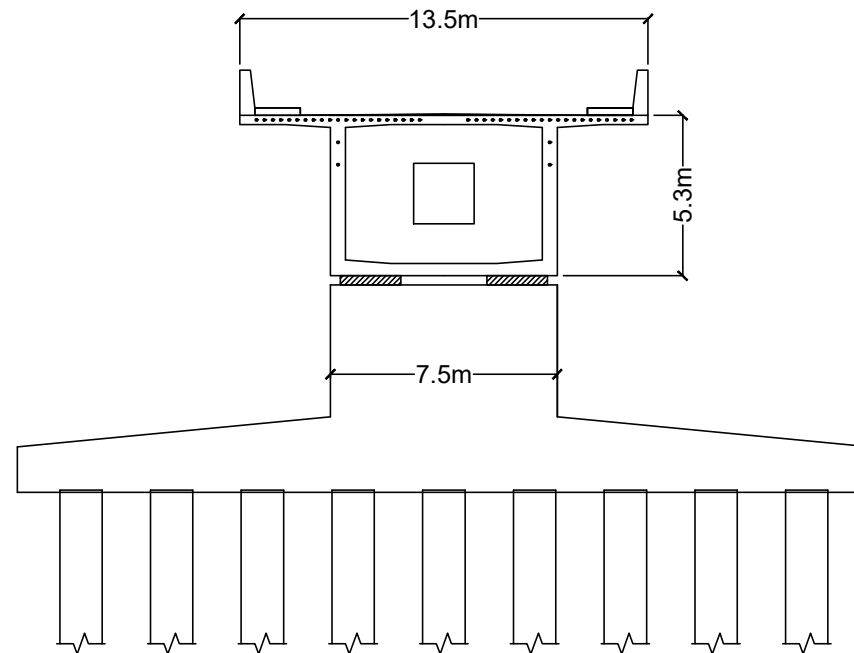
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	POT. MEMANJANG JEMBATAN	1:1000	2	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



**POTONGAN MELINTANG A.1 & A.2**

SKALA 1:250



**POTONGAN MELINTANG P.1 & P.2**

SKALA 1:250



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POT. MELINTANG  
A.1, A.2, P.1 & P.2

SKALA

1:250

NO

3

JUMLAH

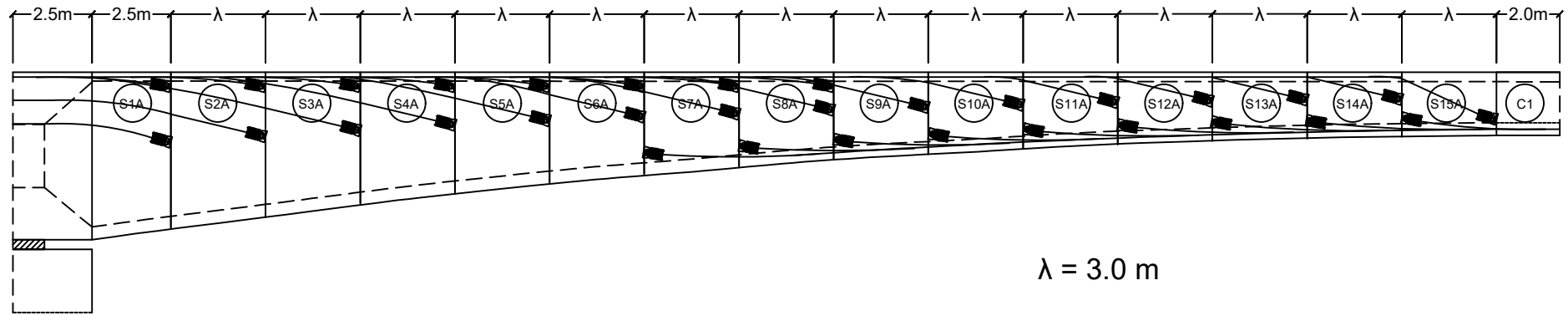
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

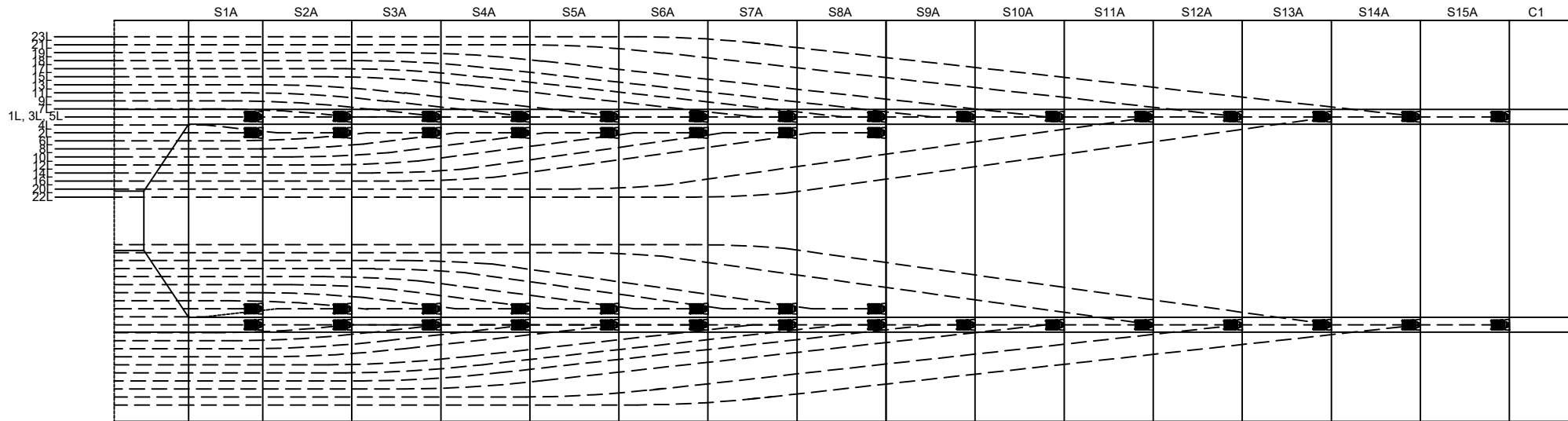
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



### POTONGAN MEMANJANG BENTANG TENGAH

SKALA 1:200



### LAYOUT TENDON ATAS BENTANG TENGAH

SKALA 1:200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR  
POT. MEMANJANG  
BENTANG TENGAH  
LAYOUT TENDON ATAS  
BENTANG TENGAH

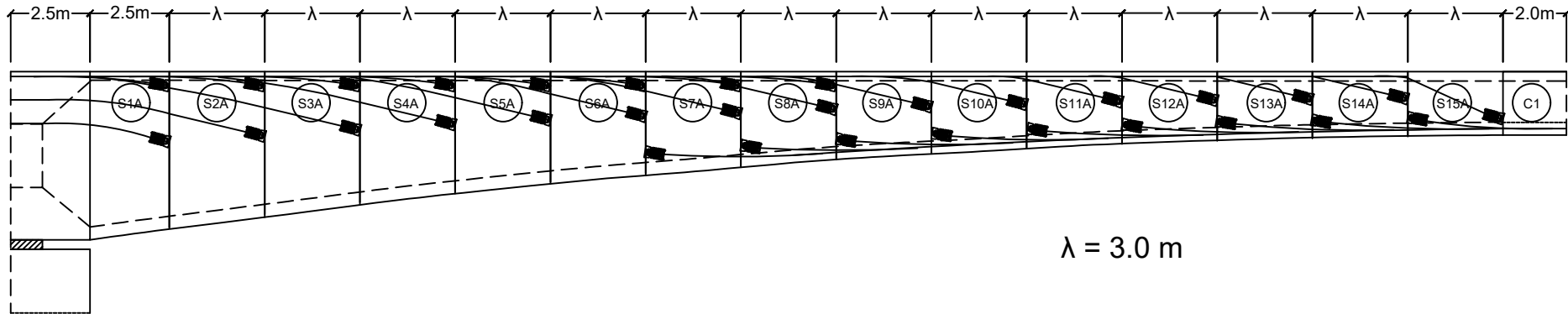
SKALA  
1:200

NO  
4  
JUMLAH  
45

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

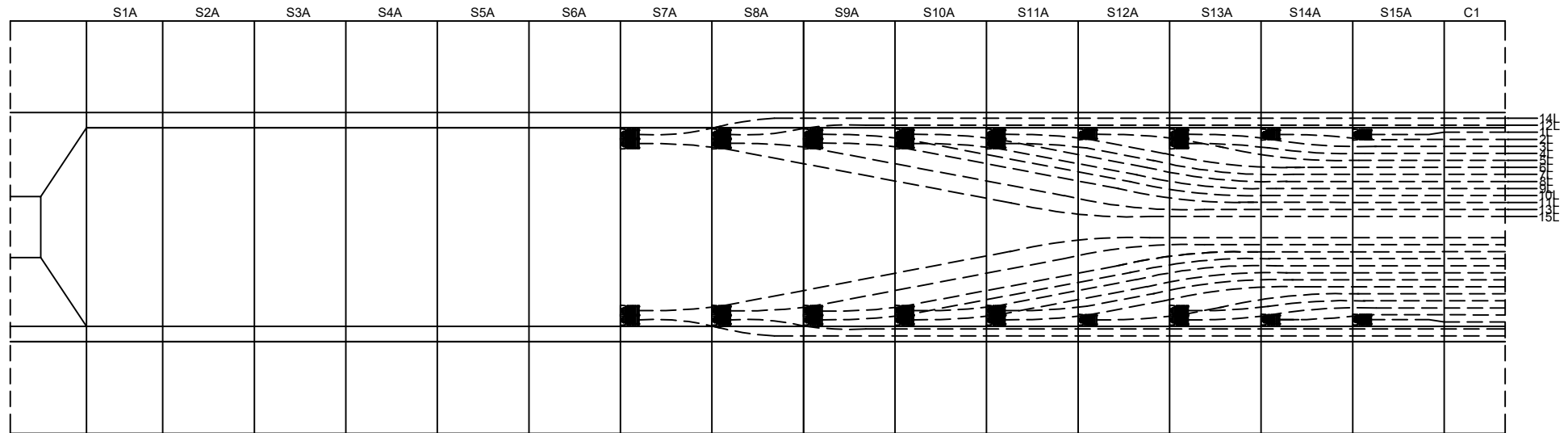
MAHASISWA  
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092





### POTONGAN MEMANJANG BENTANG TENGAH

SKALA 1:200



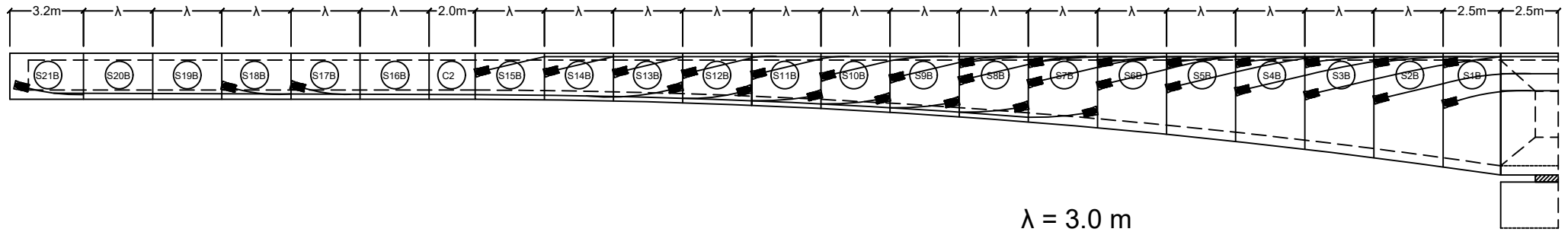
### LAYOUT TENDON BAWAH BENTANG TENGAH

SKALA 1:200



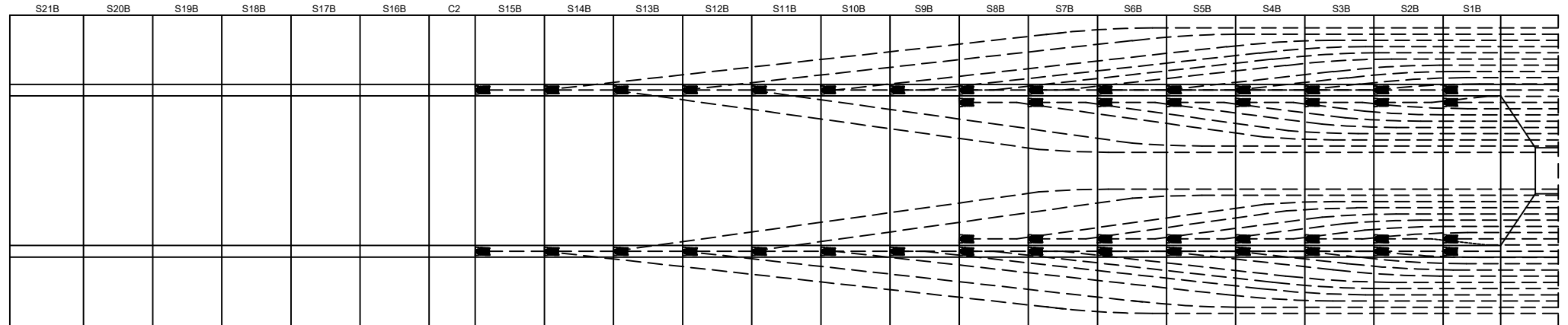
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED</i> <i>BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED</i> <i>CANTILEVER</i>	POT. MEMANJANG BENTANG TENGAH	1:200	5	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
	LAYOUT TENDON BAWAH BENTANG TENGAH		JUMLAH		
			45		



### POTONGAN MEMANJANG BENTANG TEPI

SKALA 1:250



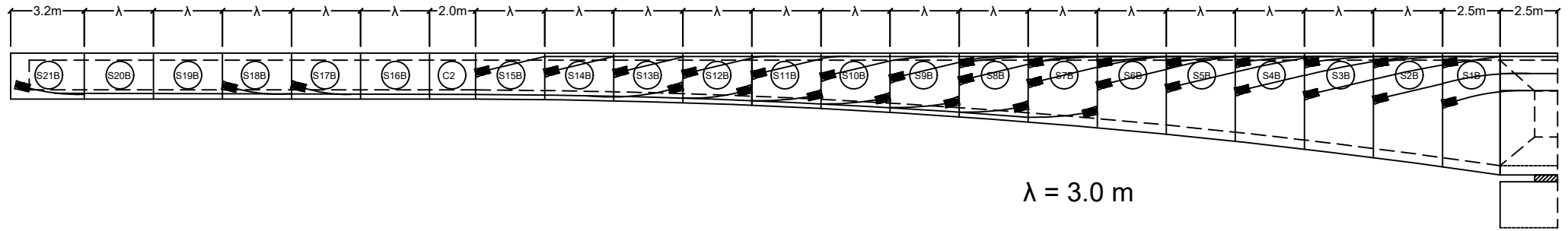
### LAYOUT TENDON ATAS BENTANG TEPI

SKALA 1:250



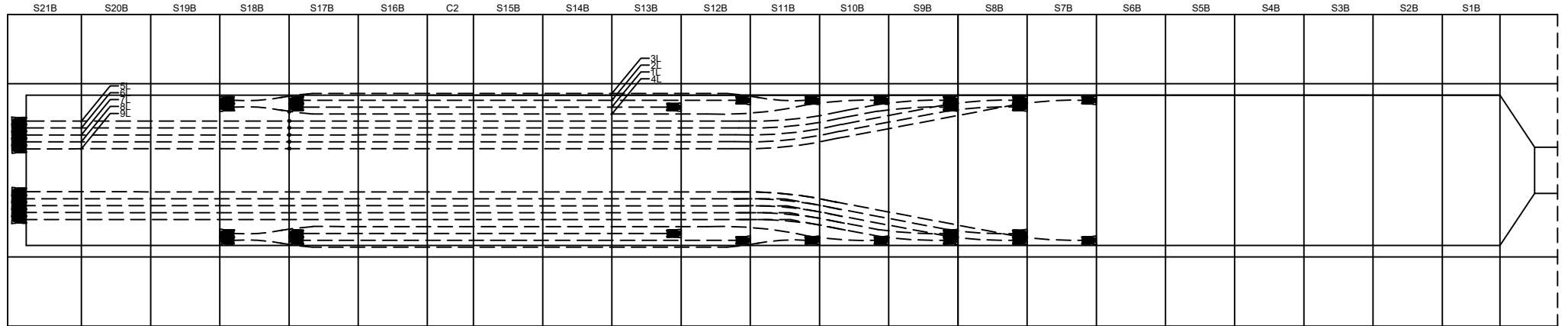
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED</i> <i>BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED</i> <i>CANTILEVER</i>	POT. MEMANJANG BENTANG TEPI  LAYOUT TENDON ATAS BENTANG TEPI	1:250	6	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



### POTONGAN MEMANJANG BENTANG TEPI

SKALA 1:250



### LAYOUT TENDON BAWAH BENTANG TEPI

SKALA 1:250



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POT. MEMANJANG  
BENTANG TEPI  
LAYOUT TENDON BAWAH  
BENTANG TEPI

SKALA

1:250

NO

7

JUMLAH

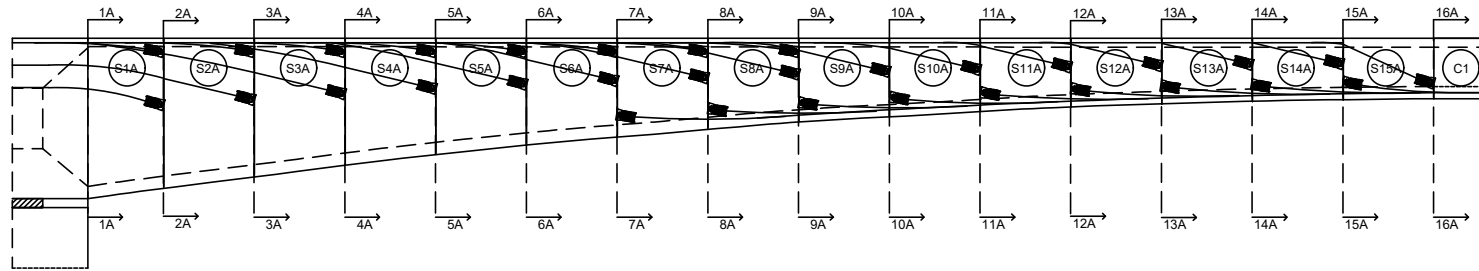
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

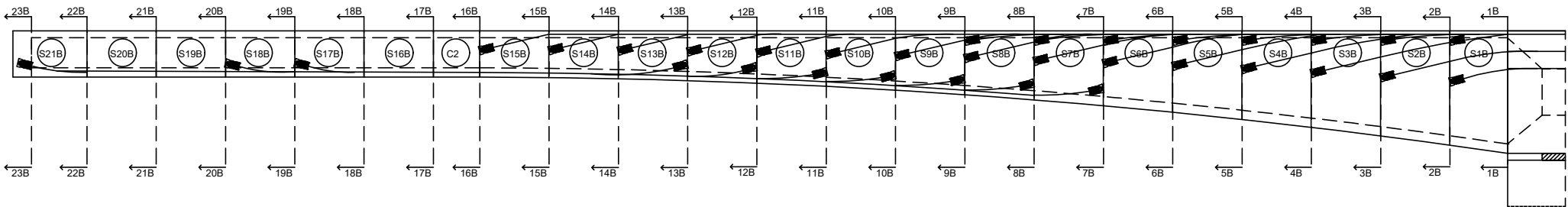
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



### POTONGAN MEMANJANG BENTANG TENGAH

SKALA 1:250



### POTONGAN MEMANJANG BENTANG TEPI

SKALA 1:250



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED  
BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POT. MEMANJANG  
BENTANG TENGAH  
  
POT. MEMANJANG  
BENTANG TEPI

SKALA

1:250

NO

8

JUMLAH

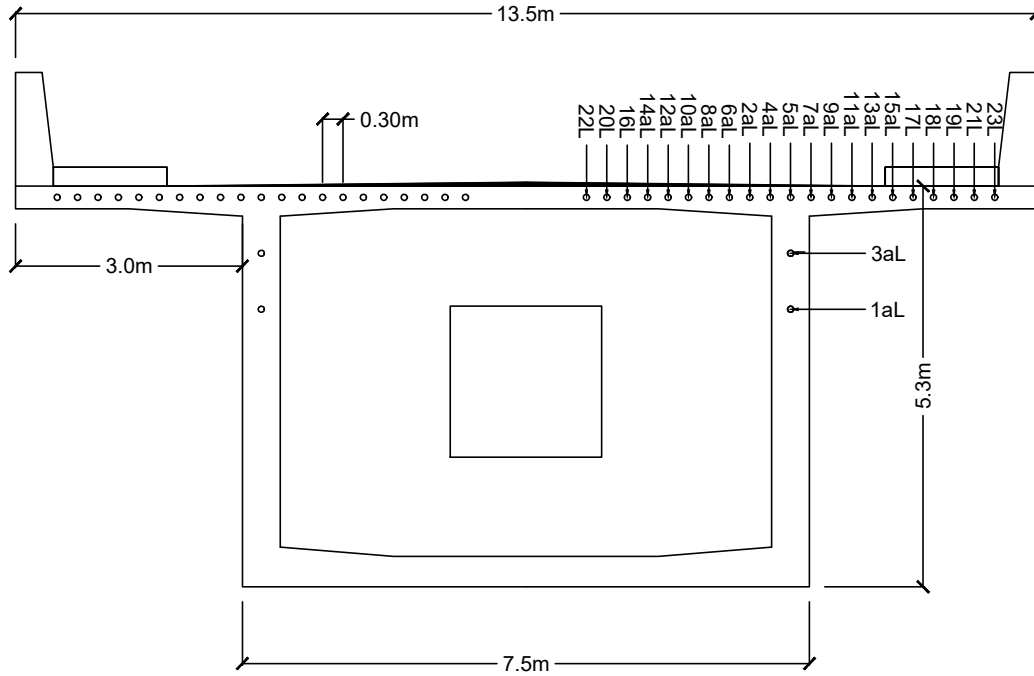
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

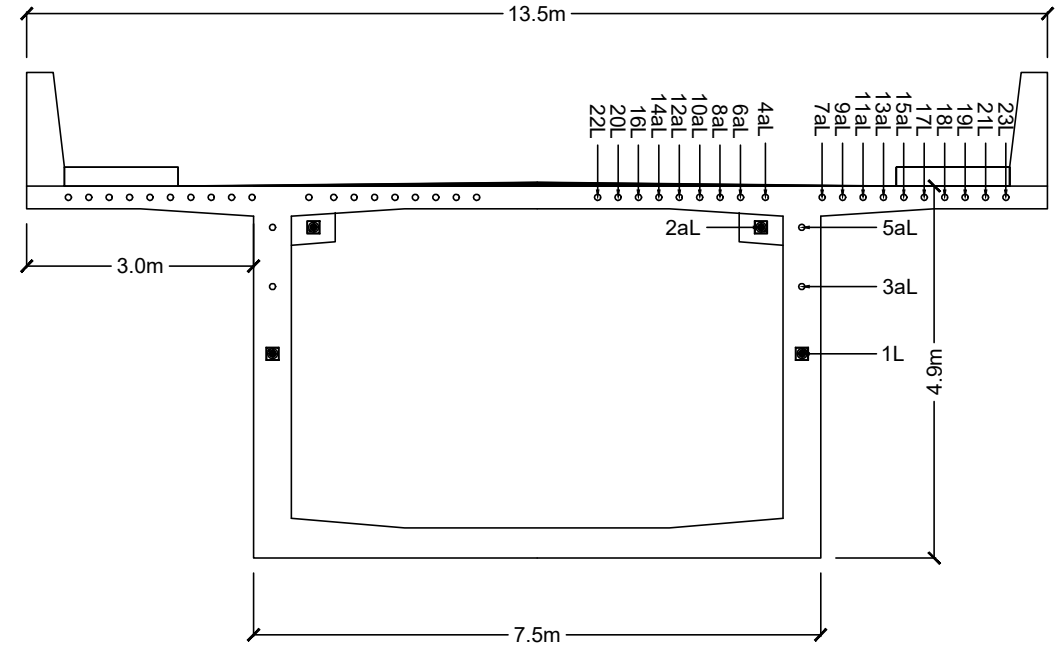
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 1-1**

SKALA 1:100



**POTONGAN 2-2**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 1-1  
POTONGAN 2-2

SKALA

1:100

NO

9

JUMLAH

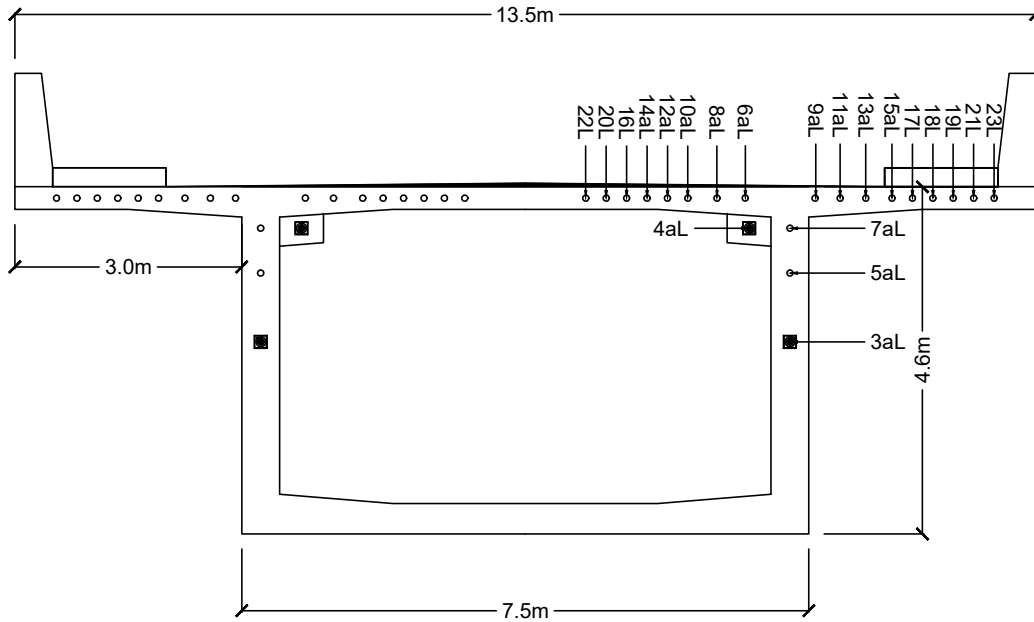
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

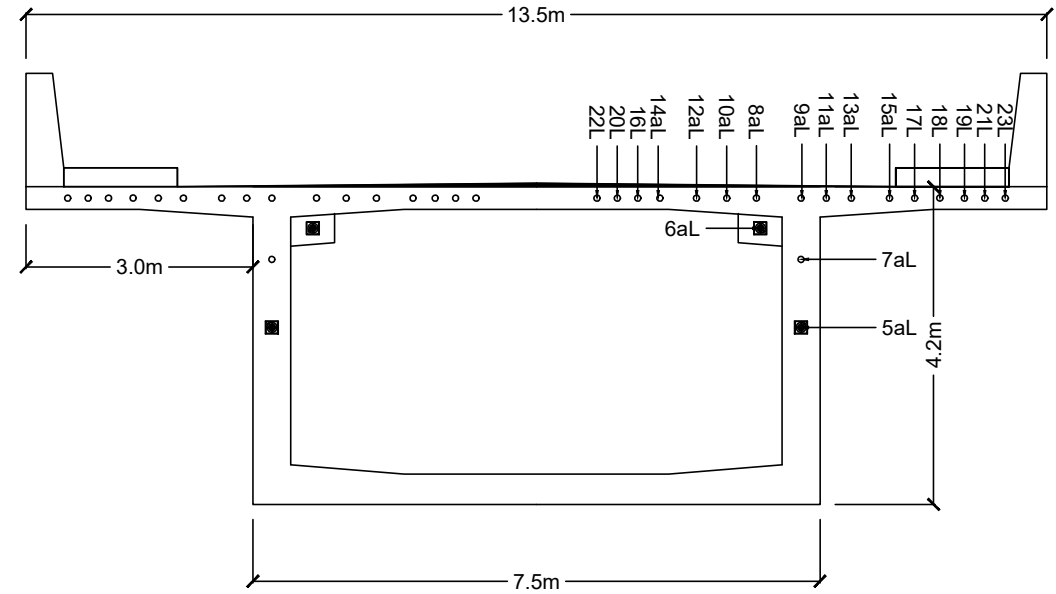
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 3-3**

SKALA 1:100



**POTONGAN 4-4**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

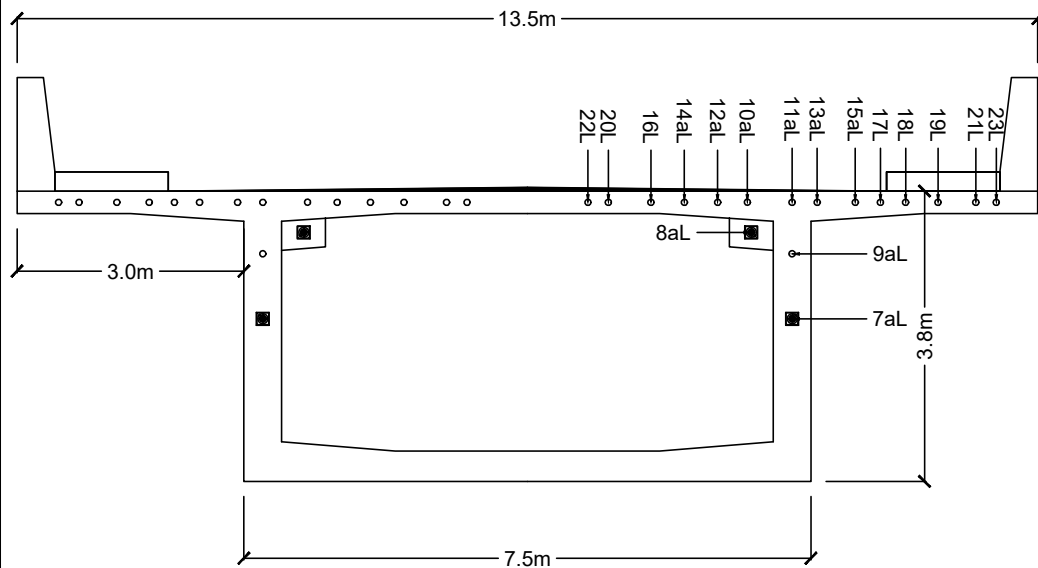
JUDUL GAMBAR  
POTONGAN 3-3  
POTONGAN 4-4

SKALA  
1:100

NO  
10  
JUMLAH  
45

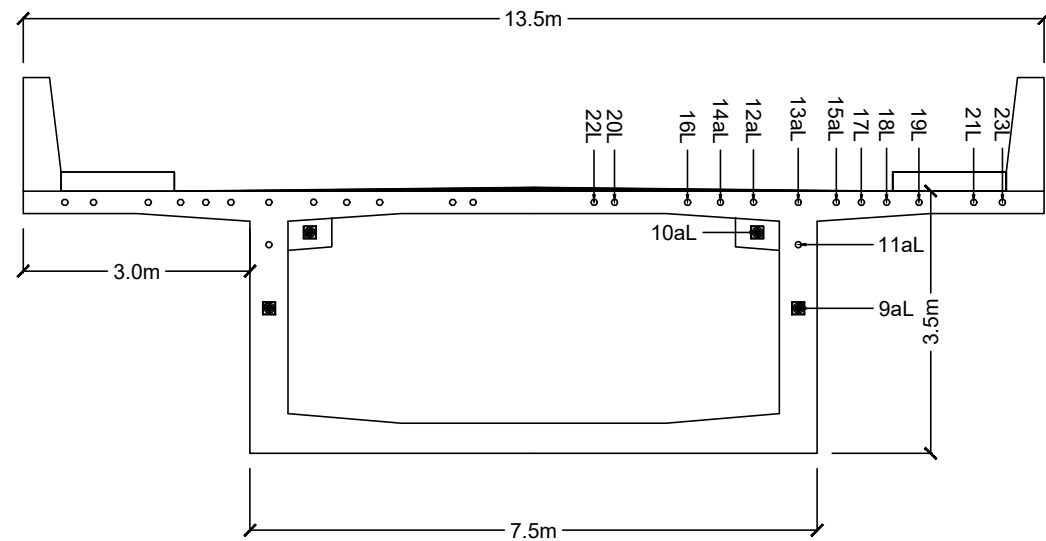
DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA  
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 5-5**

SKALA 1:100



**POTONGAN 6-6**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 5-5  
POTONGAN 6-6

SKALA

1:100

NO

11

JUMLAH

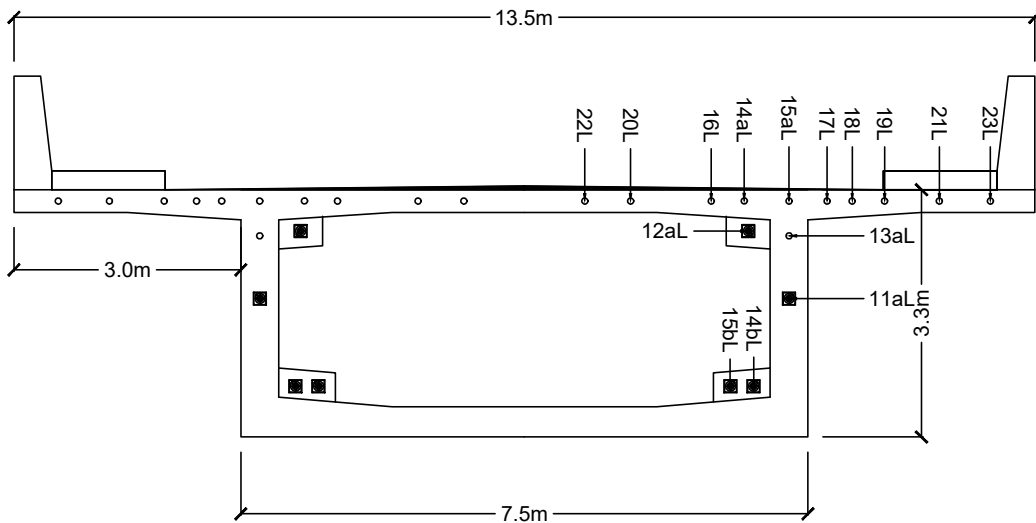
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

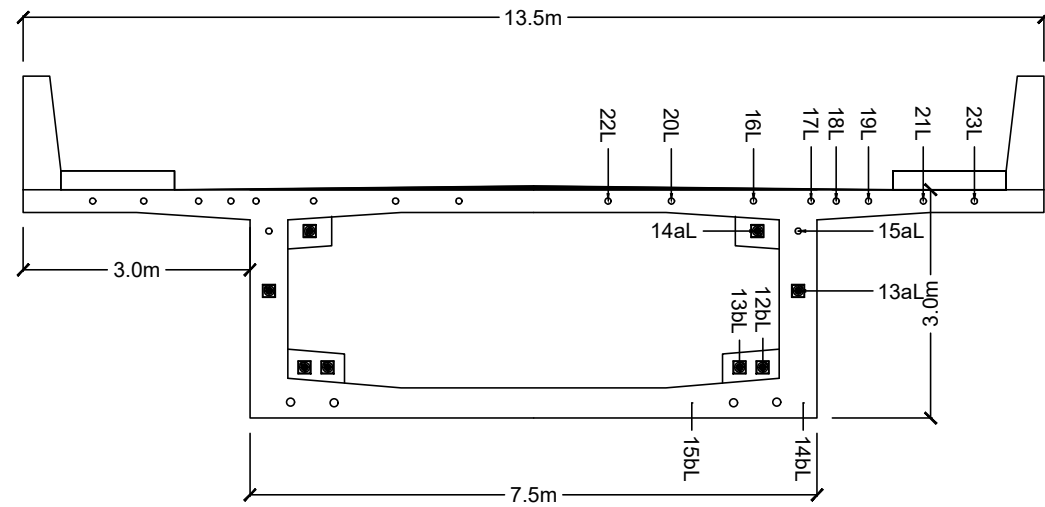
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 7a-7a**

SKALA 1:100



**POTONGAN 8a-8a**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 7a-7a  
POTONGAN 8a-8a

SKALA

1:100

NO

12

JUMLAH

45

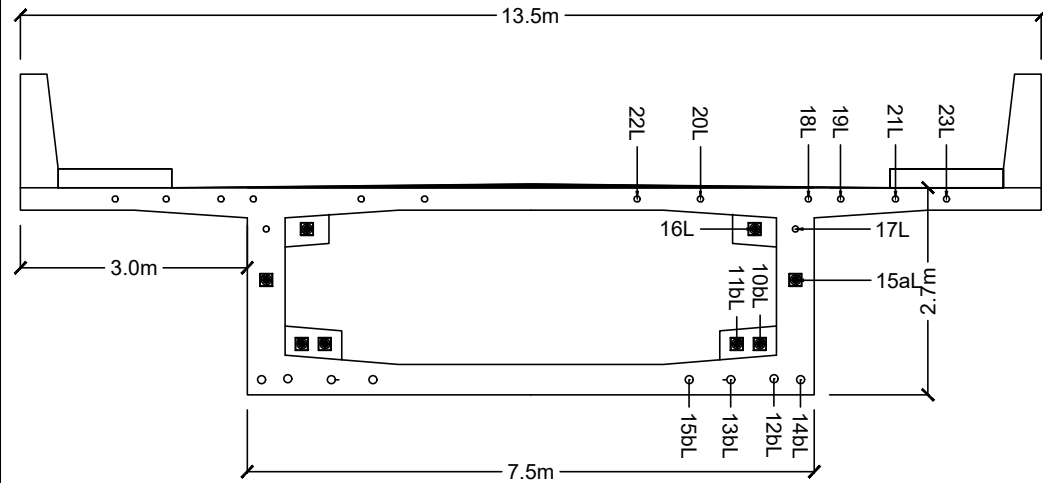
DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA

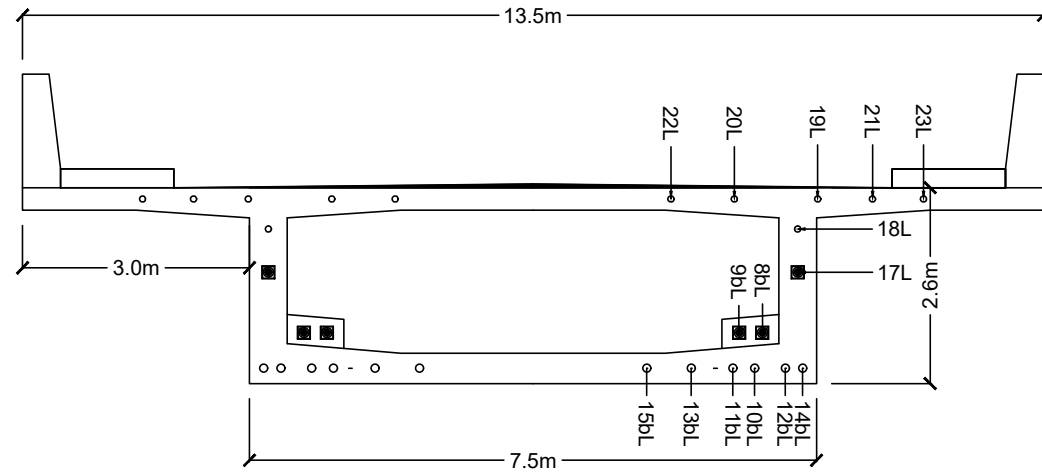
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092





**POTONGAN 9a-9a**

SKALA 1:100



**POTONGAN 9a-9a**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 9a-9a  
POTONGAN 10a-10a

SKALA

1:100

NO

13

JUMLAH

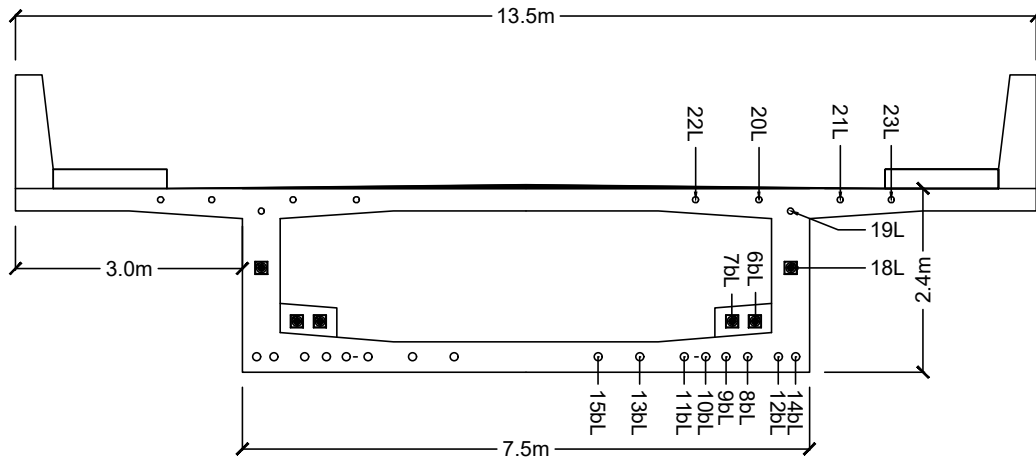
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

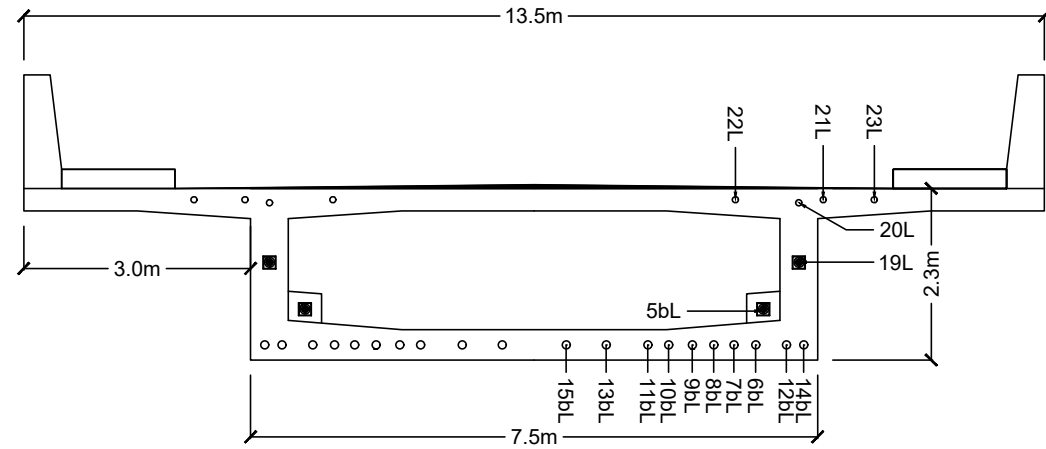
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 11a-11a**

SKALA 1:100



**POTONGAN 12a-12a**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 11a-11a  
POTONGAN 12a-12a

SKALA

1:100

NO

14

JUMLAH

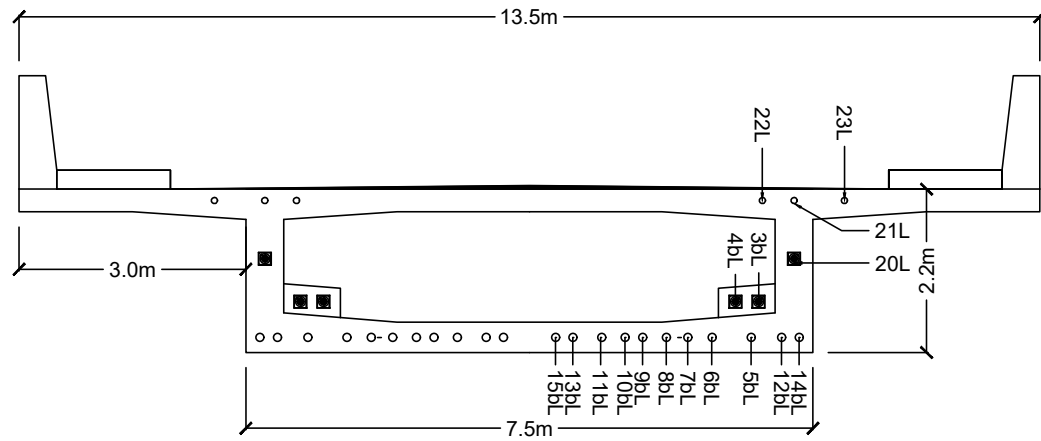
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

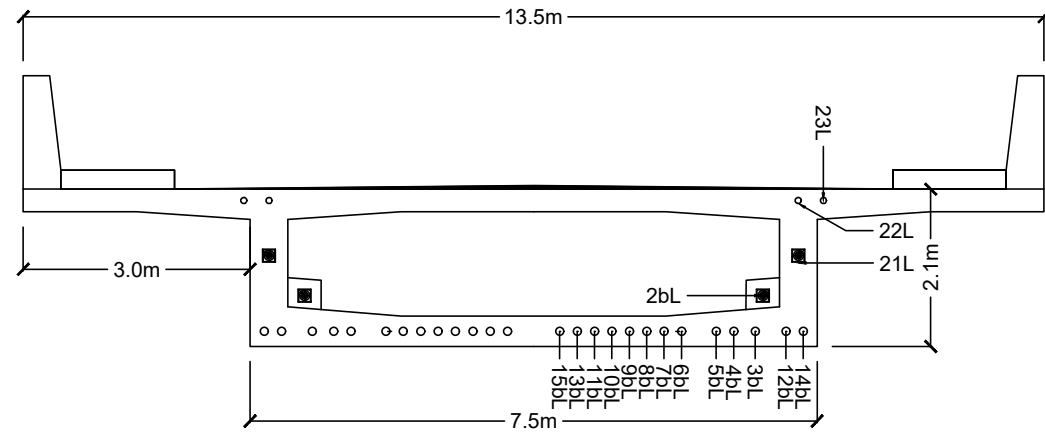
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 13a-13a**

SKALA 1:100



**POTONGAN 14a-14a**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 13a-13a  
POTONGAN 14a-14a

SKALA

1:100

NO

15

JUMLAH

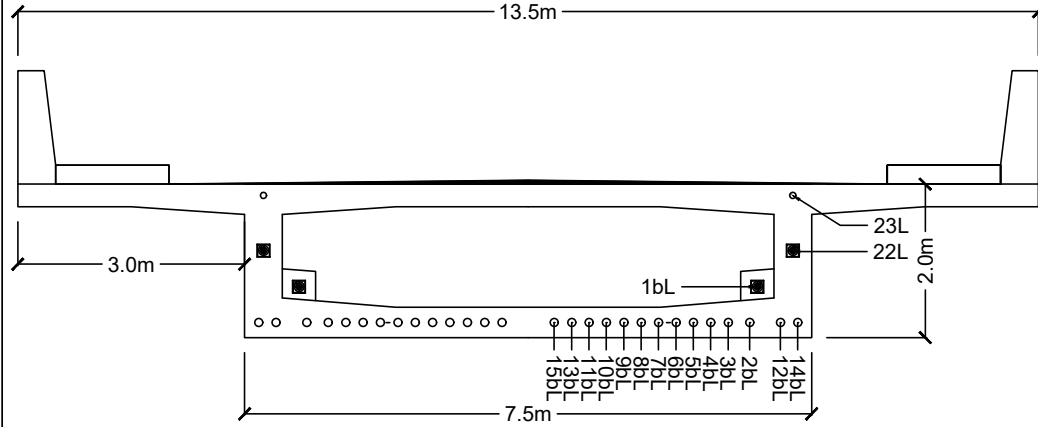
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

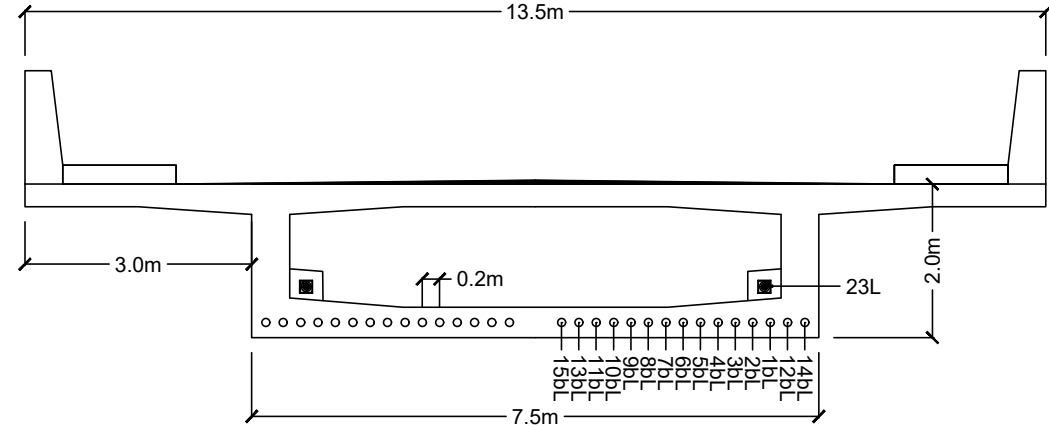
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 15a-15a**

SKALA 1:100



**POTONGAN 16a-16a**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 15a-15a  
POTONGAN 16a-16a

SKALA

1:100

NO

16

JUMLAH

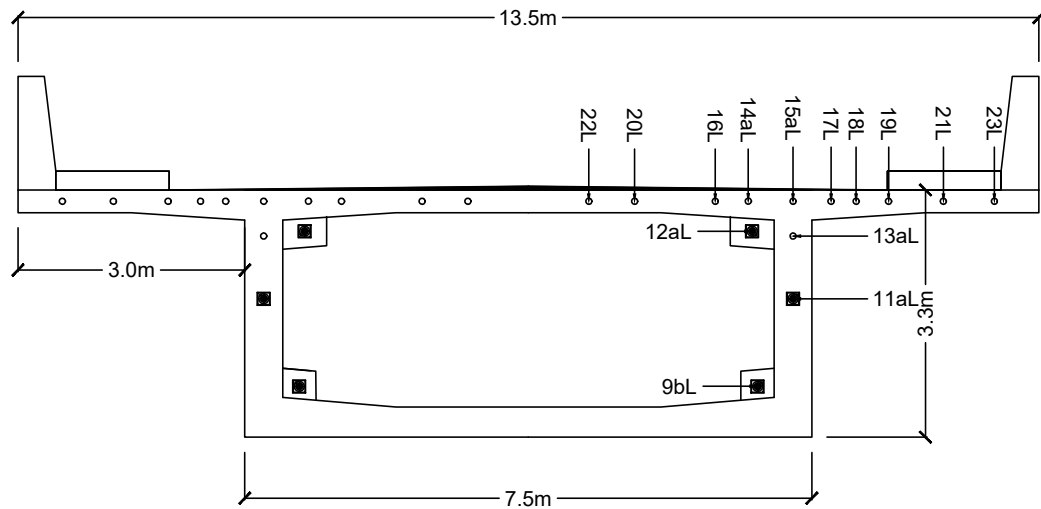
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

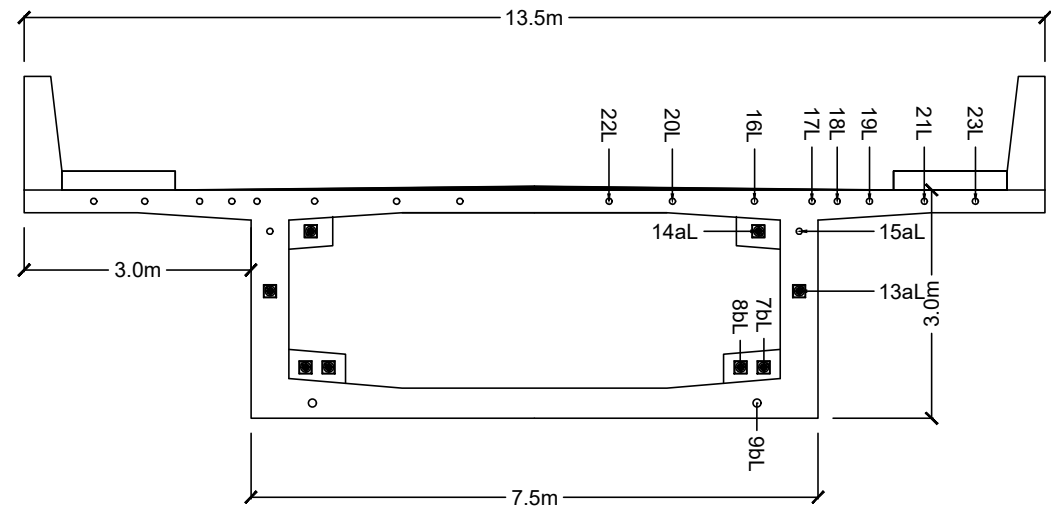
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 7b-7b**

SKALA 1:100



**POTONGAN 8b-8b**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 7b-7b  
POTONGAN 8b-8b

SKALA

1:100

NO

17

JUMLAH

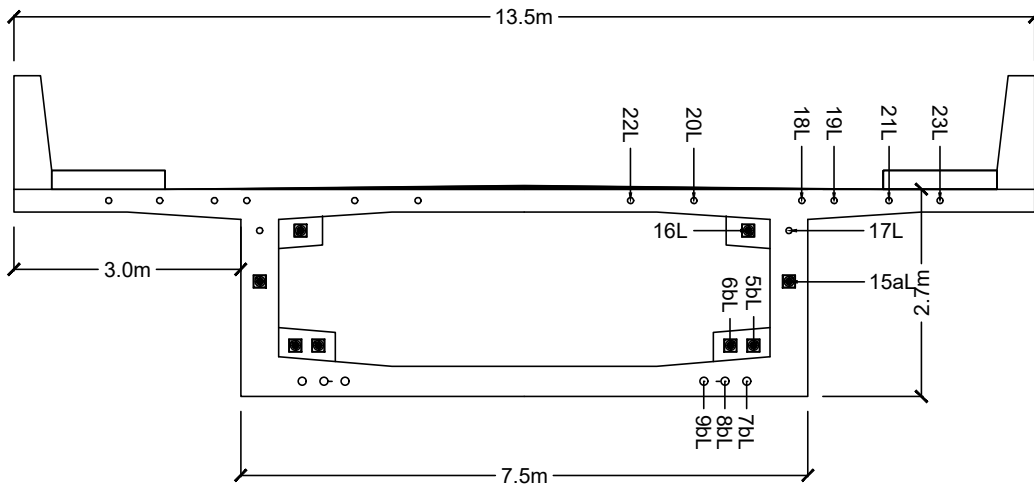
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

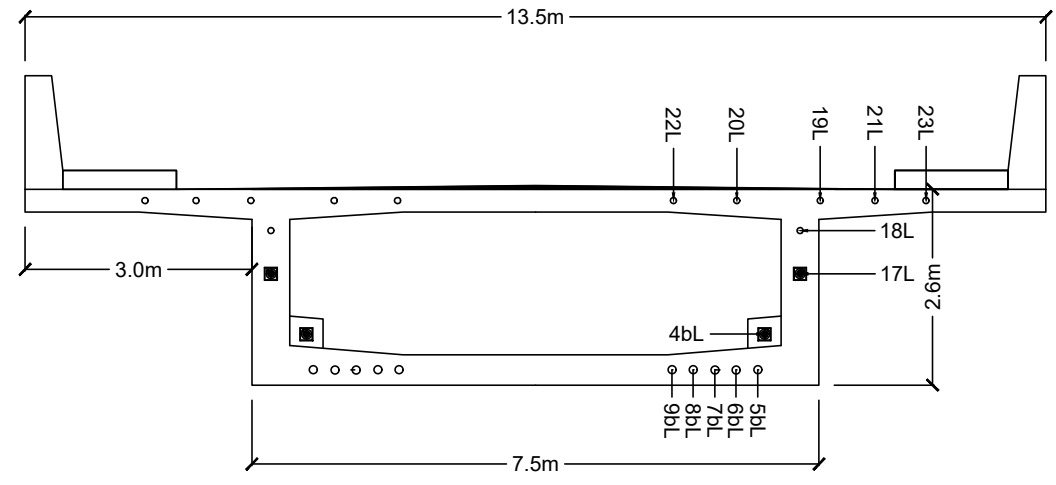
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 9b-9b**

SKALA 1:100



**POTONGAN 10b-10b**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 9b-9b  
POTONGAN 10b-10b

SKALA

1:100

NO

18

JUMLAH

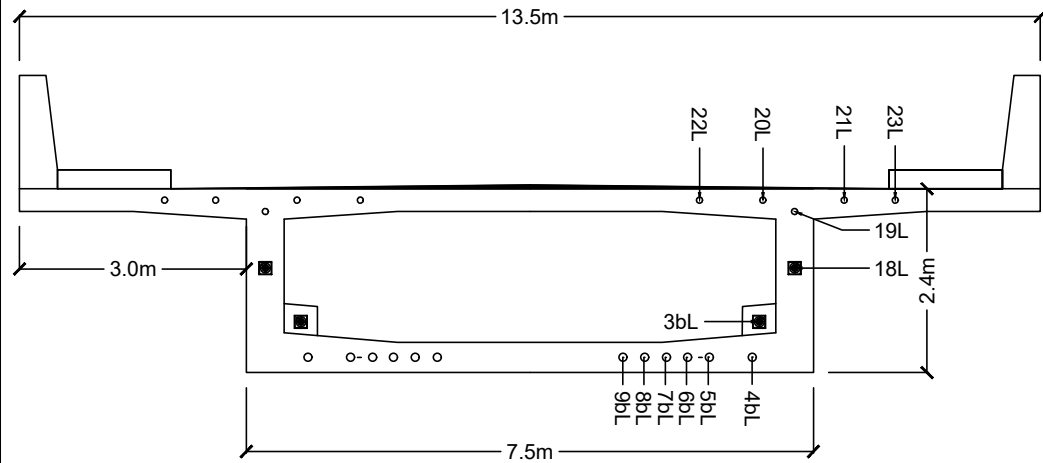
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

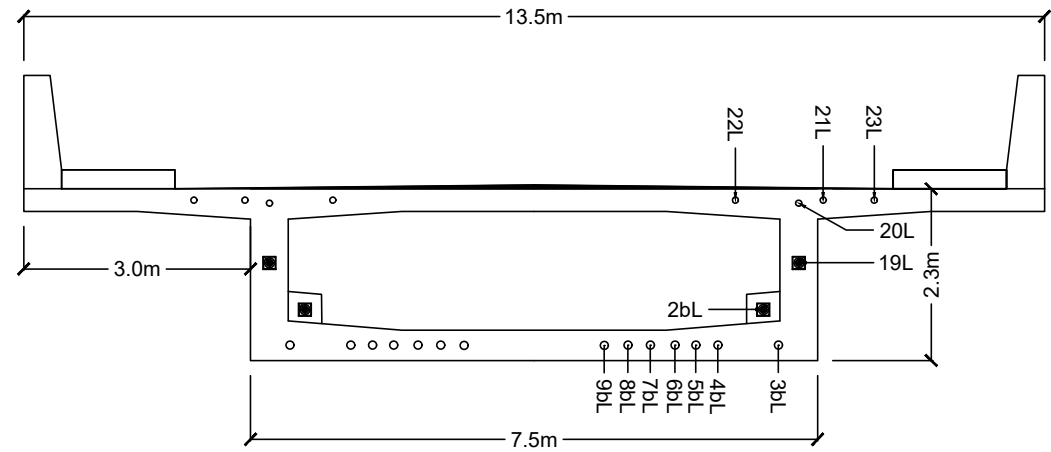
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 11b-11b**

SKALA 1:100



**POTONGAN 12b-12b**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 11b-11b  
POTONGAN 12b-12b

SKALA

1:100

NO

19

JUMLAH

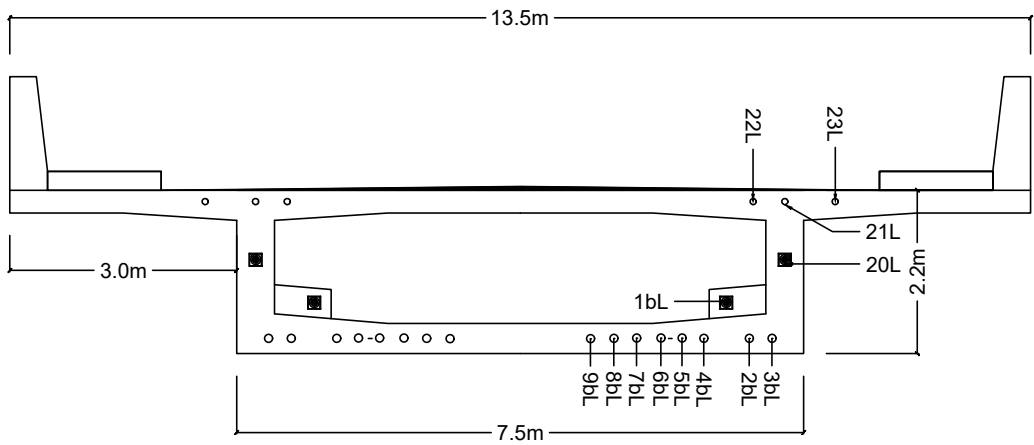
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

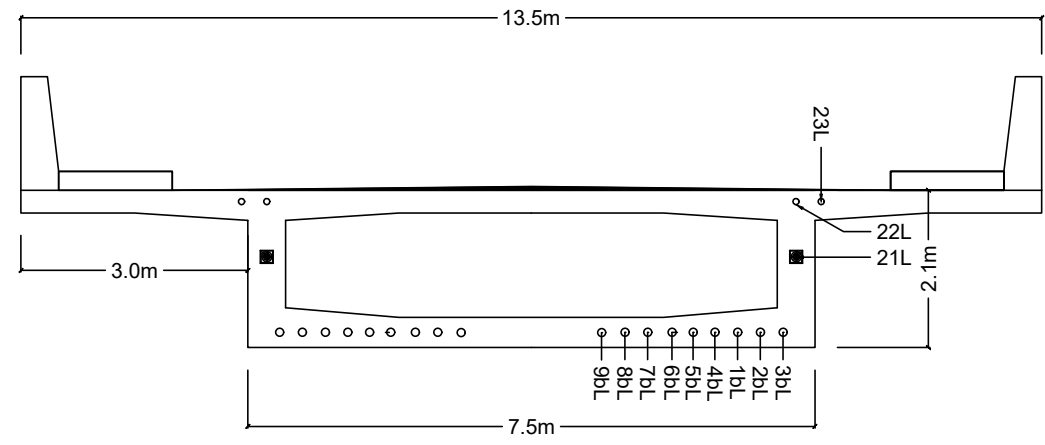
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 13b-13b**

SKALA 1:100



**POTONGAN 14b-14b**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR  
  
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR  
  
POTONGAN 13b-13b  
POTONGAN 14b-14b

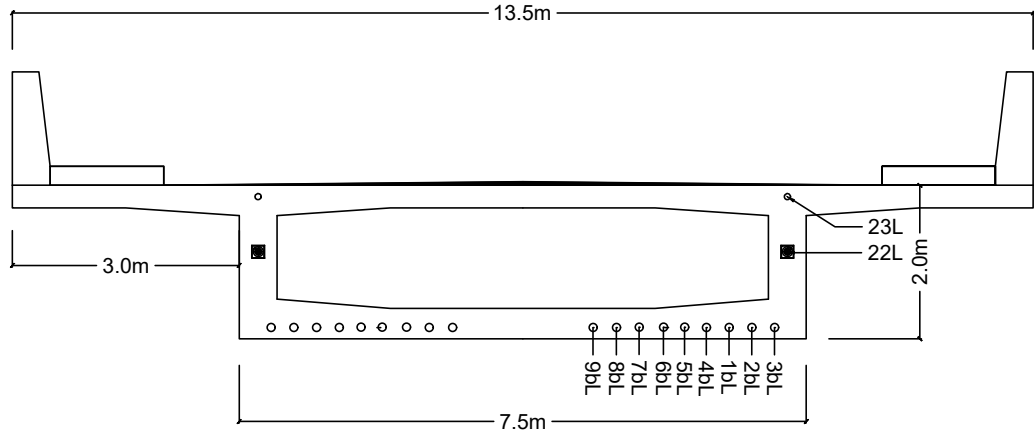
SKALA  
  
1:100

NO  
20  
JUMLAH  
45

DOSEN PEMBIMBING  
  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

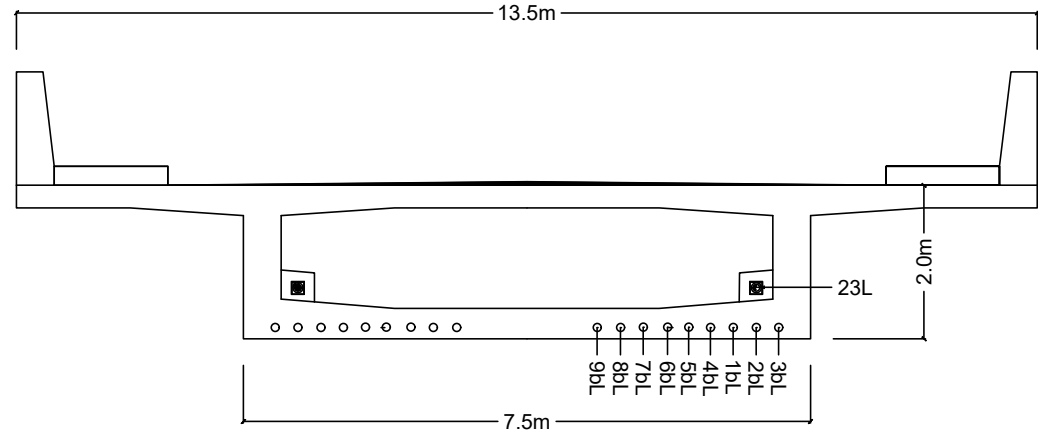
MAHASISWA  
  
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092





**POTONGAN 15b-15b**

SKALA 1:100



**POTONGAN 16b-16b**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 15b-15b  
POTONGAN 16b-16b

SKALA

1:100

NO

21

JUMLAH

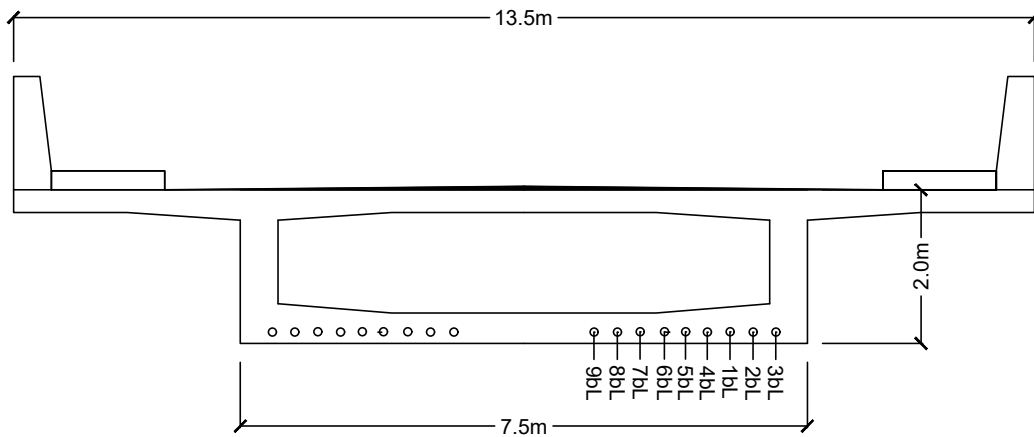
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

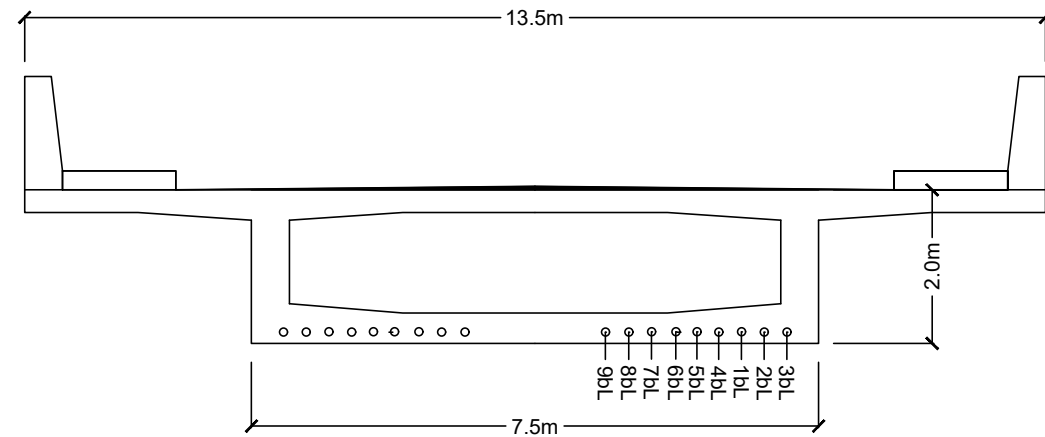
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 17b-17b**

SKALA 1:100



**POTONGAN 18b-18b**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 17b-17b  
POTONGAN 18b-18b

SKALA

1:100

NO

22

JUMLAH

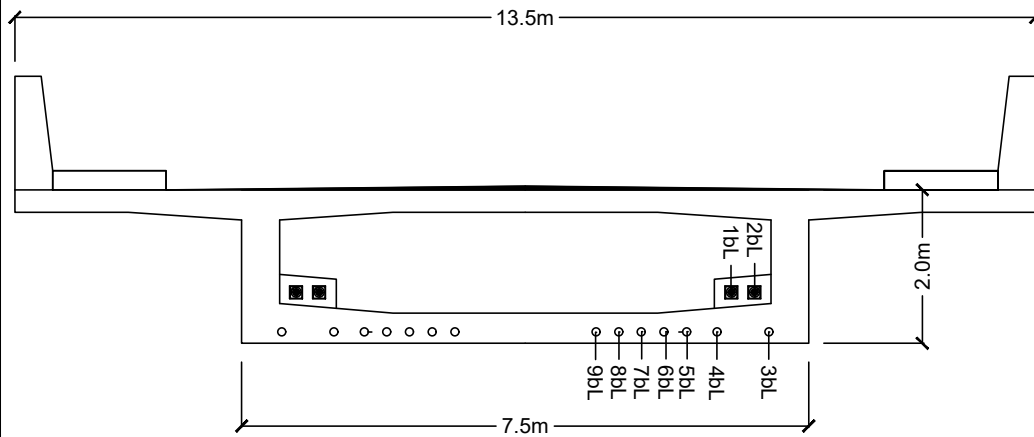
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

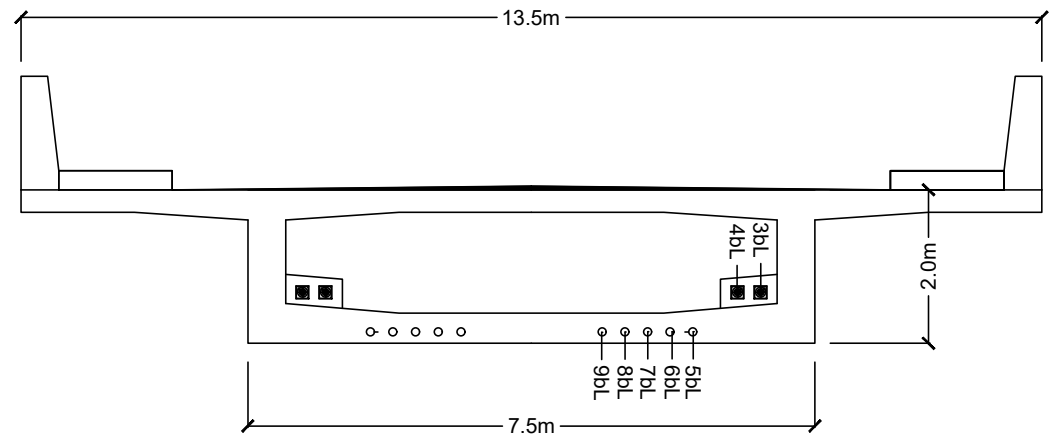
MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 19b-19b**

SKALA 1:100



**POTONGAN 20b-20b**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

POTONGAN 19b-19b  
POTONGAN 20b-20b

SKALA

1:100

NO

23

JUMLAH

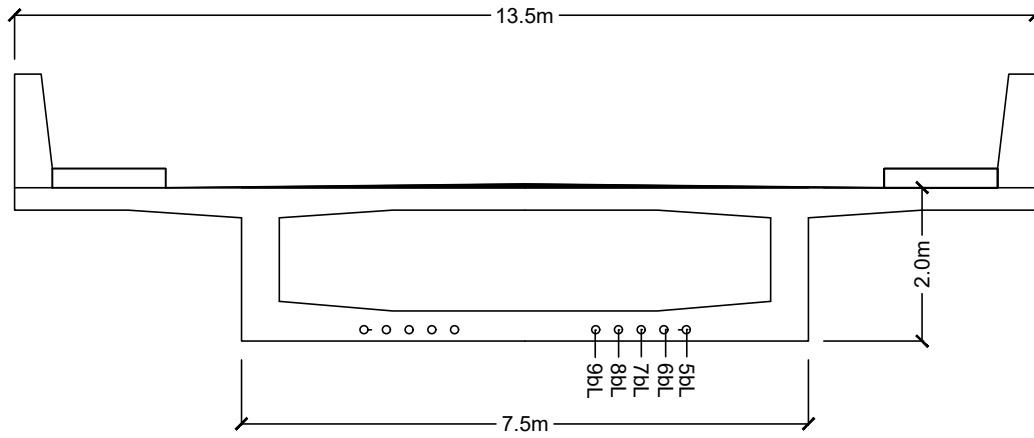
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA

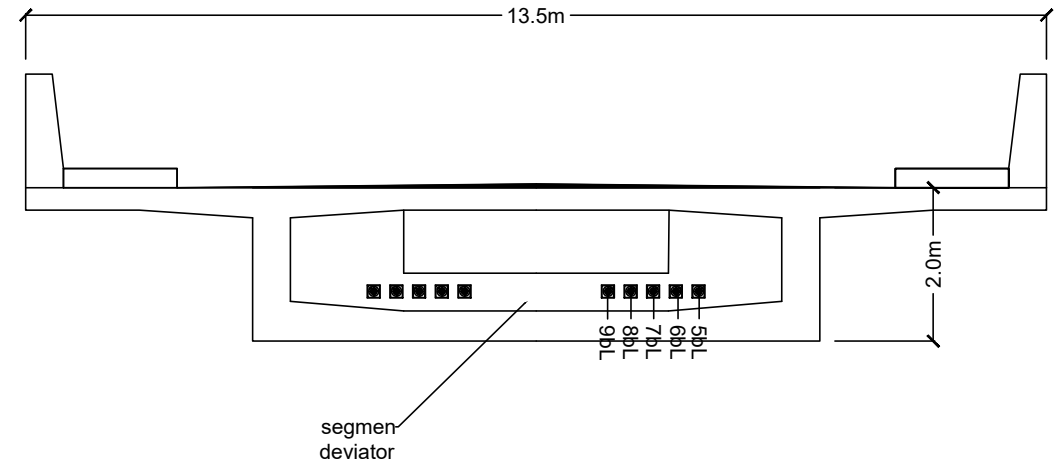
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN 21b-21b**  
**POTONGAN 22b-22b**



SKALA 1:100



**POTONGAN 23b-23b**



SKALA 1:100

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR  
  
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR  
  
POTONGAN 21b-21b  
POTONGAN 22b-22b  
  
POTONGAN 23b-23b

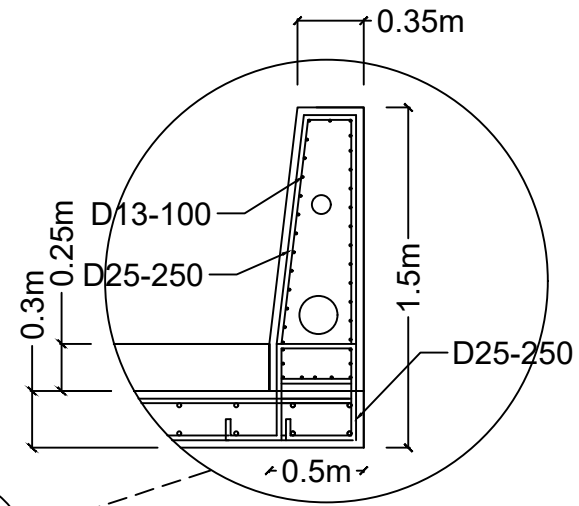
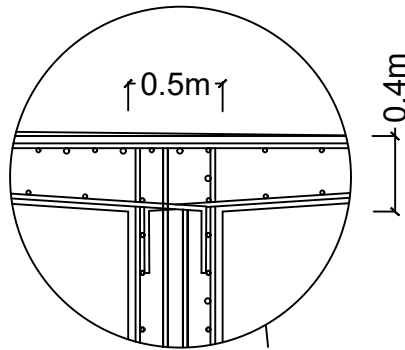
SKALA  
  
1:100

NO  
24  
JUMLAH  
45

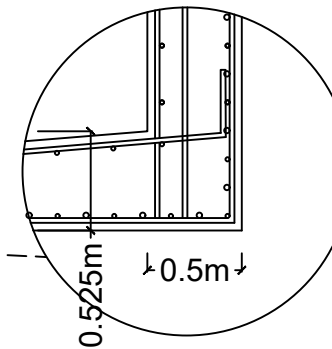
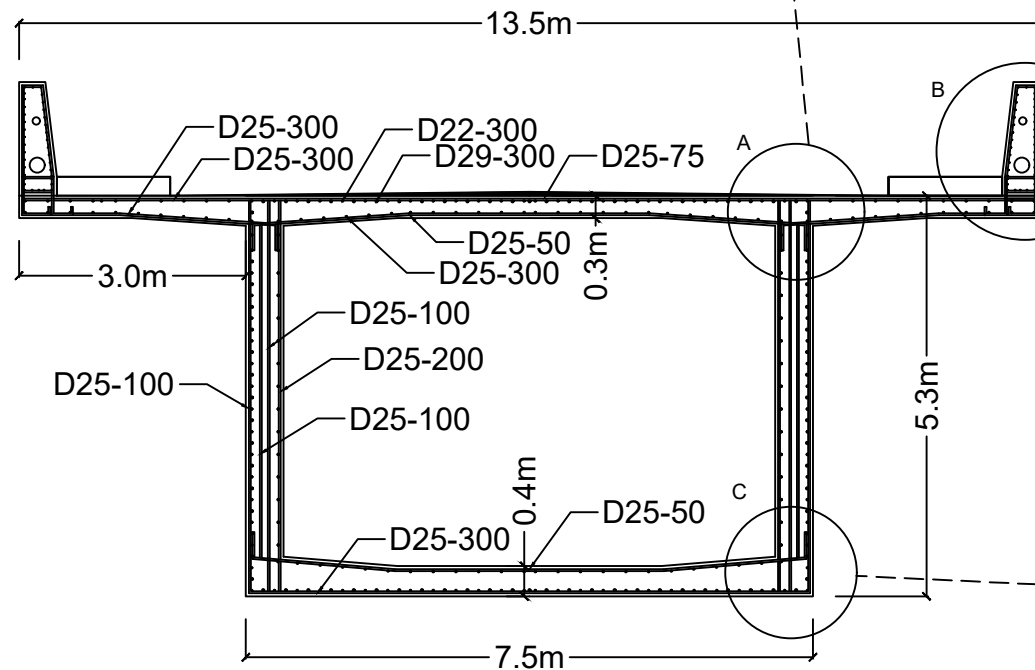
DOSEN PEMBIMBING  
  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA  
  
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092

**DETAIL A**  
SKALA 1:50



**DETAIL B**  
SKALA 1:50



**DETAIL C**  
SKALA 1:150

**DETAILING BOX GIRDER (TIPIKAL)**  
SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

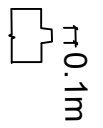
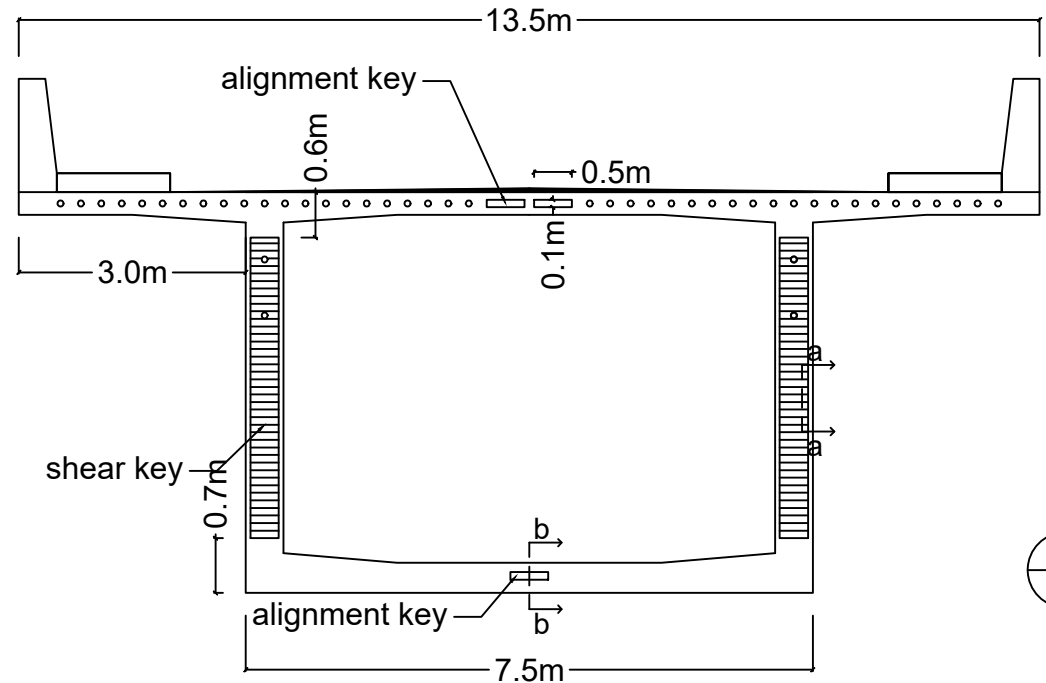
JUDUL GAMBAR  
DETAILING BOX GIRDER  
(TIPIKAL)  
DETAIL A  
DETAIL B  
DETAIL C

SKALA  
1:100

NO  
25  
JUMLAH  
45

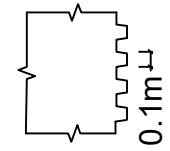
DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA  
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



**POTONGAN b-b**

SKALA 1:50



**POTONGAN a-a**

SKALA 1:50



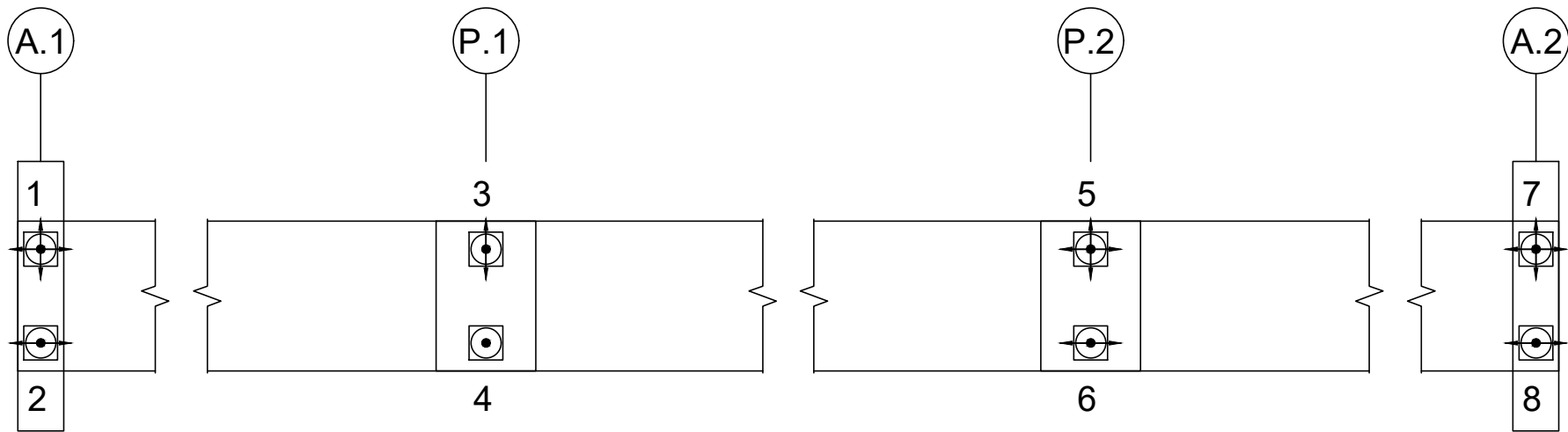
**ALIGNMENT KEY & SHEAR KEY (TIPIKAL)**

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED</i> <i>BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED</i> <i>CANTILEVER</i>	ALIGNMENT KEY & SHEAR KEY (TIPIKAL)	1:100	26	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		

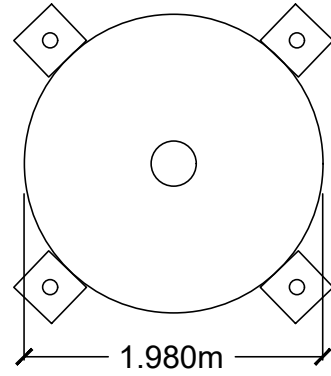


## DENAH PERLETAKAN

SKALA NTS

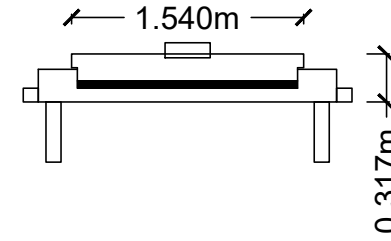


JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	DENAH PERLETAKAN	NTS	27	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



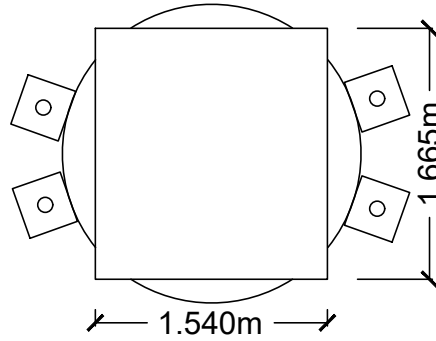
**TPF 80000/16000**

SKALA1:50



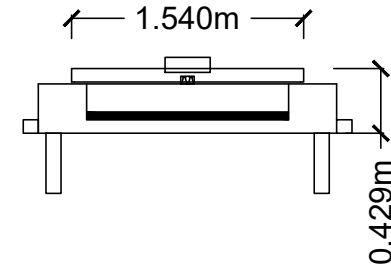
**POTONGAN  
TPF 80000/16000**

SKALA1:50



**TPL 80000/16000/±50**

SKALA1:50



**POTONGAN  
TPL 80000/16000/±50**

SKALA1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED  
BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

TPF 80000/16000  
TPL 80000/16000/±50

SKALA

1:50

NO

28

JUMLAH

45

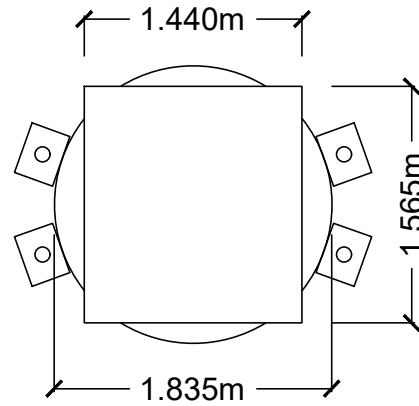
DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA

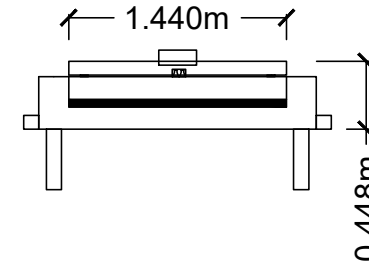
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092





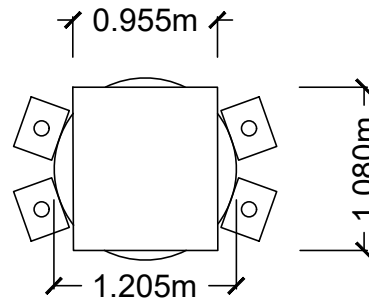
**TPL 70000/14000/±50**

SKALA1:50



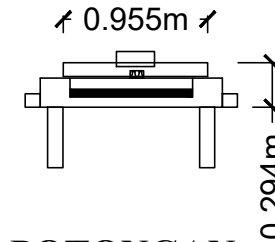
**POTONGAN  
TPL 70000/14000/±50**

SKALA1:50



**TPL 30000/7200/±50**

SKALA1:50



**POTONGAN  
TPL 30000/7200/±50**

SKALA1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED  
BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

TPL 70000/14000/±50  
TPL 30000/7200/±50

SKALA

1:50

NO

29

JUMLAH

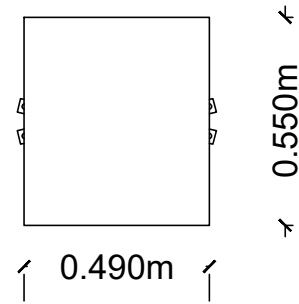
45

DOSEN PEMBIMBING

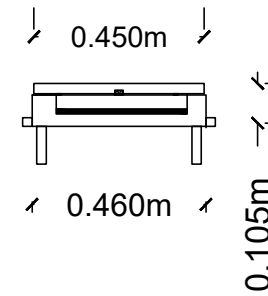
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA

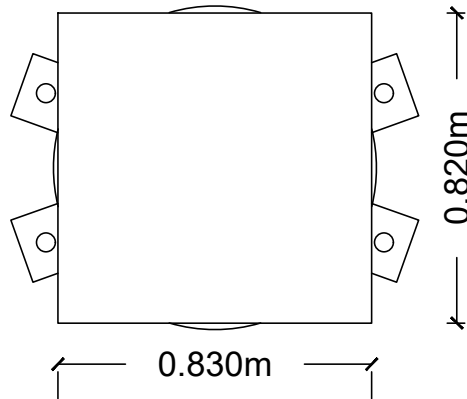
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



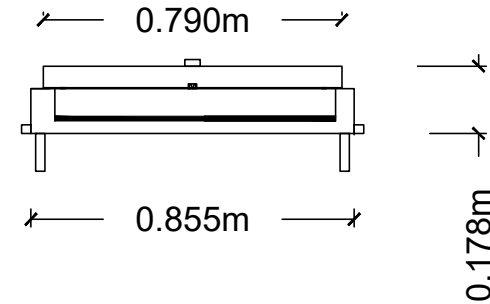
**TPM 6000 /±50 /±20**  
SKALA1:20



**POTONGAN**  
**TPM 6000 /±50 /±20**  
SKALA1:20



**TPM 25000 /±50 /±20**  
SKALA1:20



**POTONGAN**  
**TPM 25000 /±50 /±20**  
SKALA1:20



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

TPM 6000 /±50 /±20  
TPM 25000 /±50 /±20

SKALA

1:20

NO

30

JUMLAH

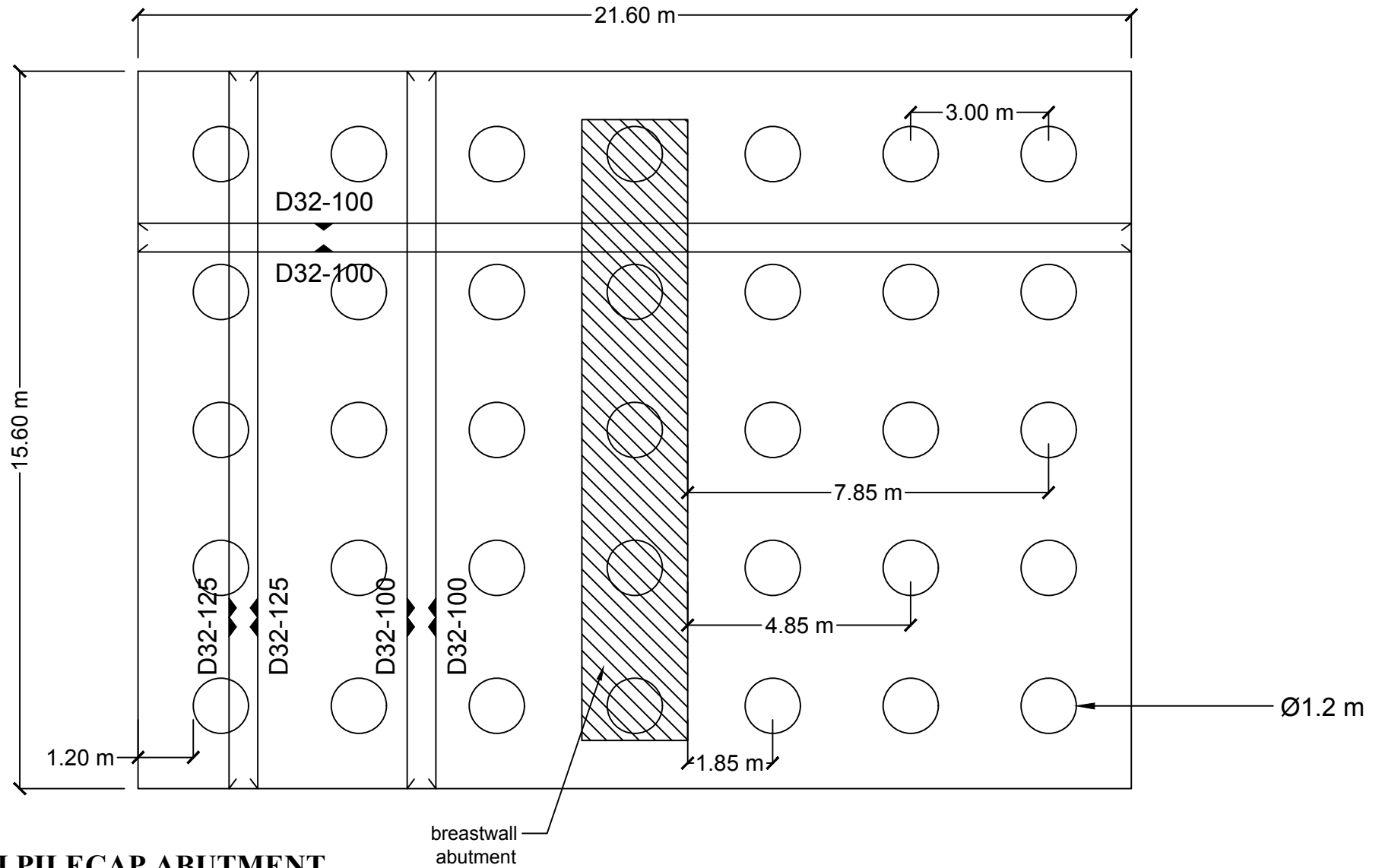
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



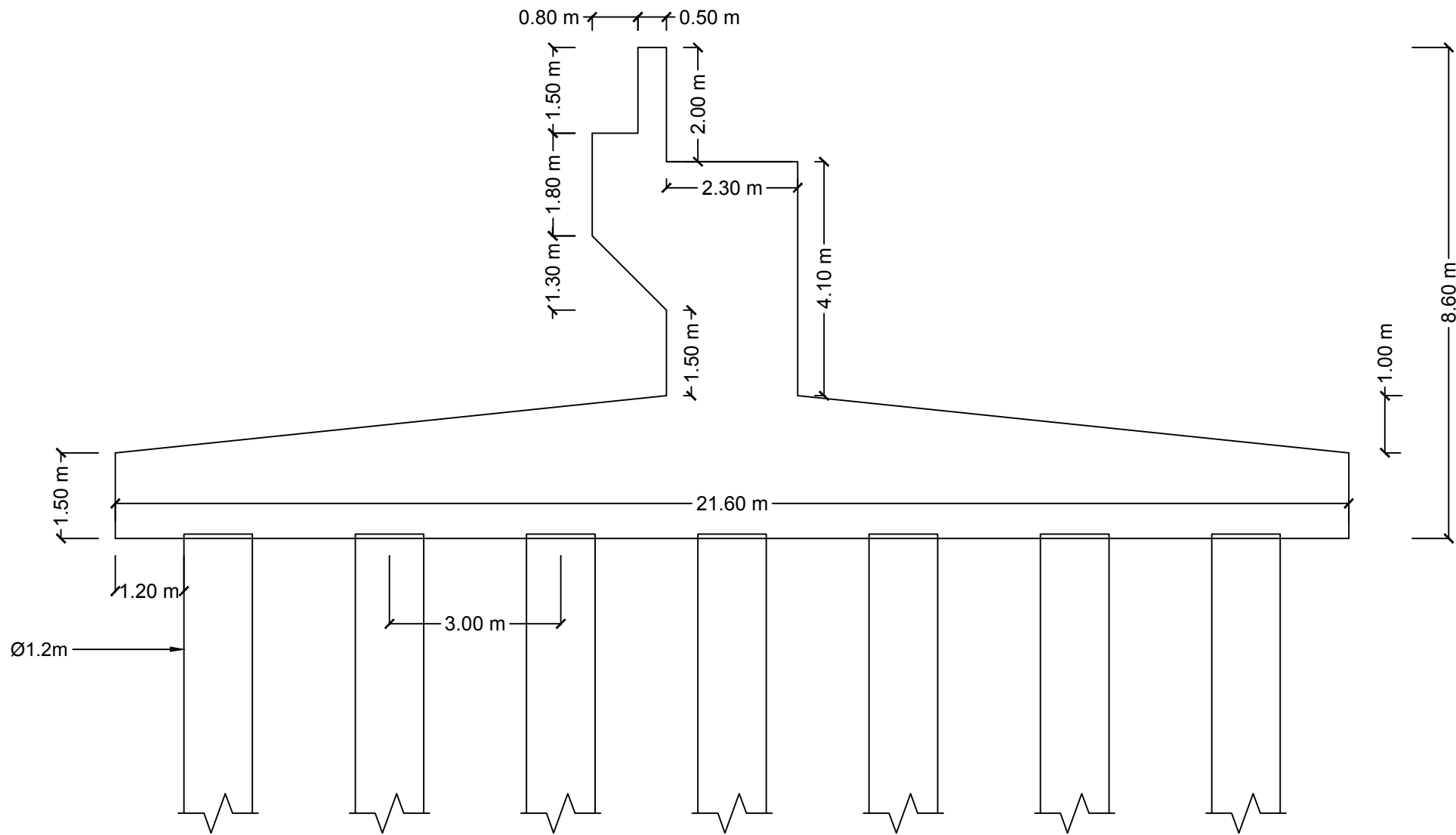
### DENAH PILECAP ABUTMENT



SKALA 1:125



JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	DENAH PILECAP ABUTMENT	1:125	31	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



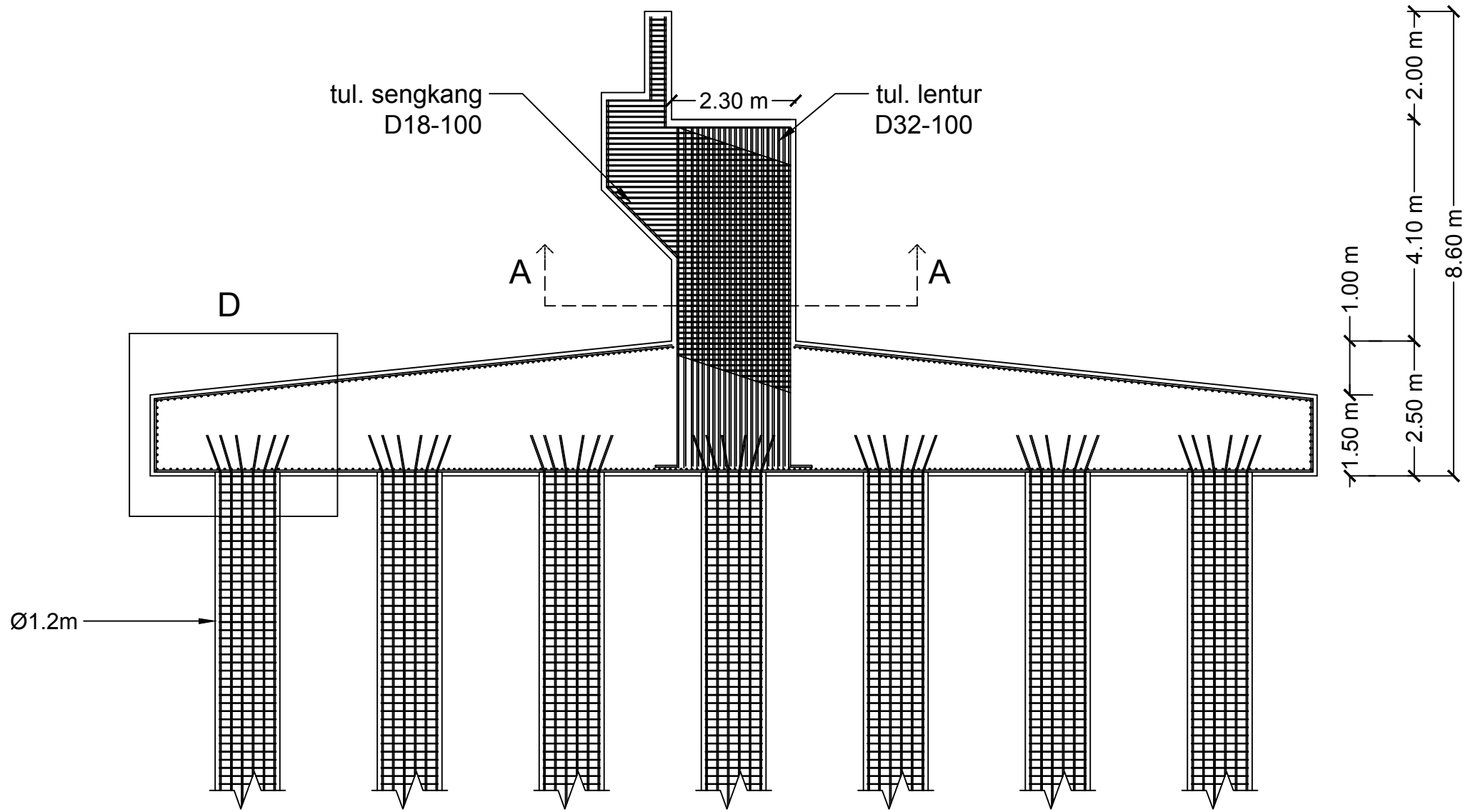
### POTONGAN MELINTANG ABUTMENT

SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED</i> <i>BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED</i> <i>CANTILEVER</i>	POT. MELINTANG ABUTMENT	1:100	32	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



### TULANGAN PILAR

SKALA 1:200



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED  
BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED  
CANTILEVER*

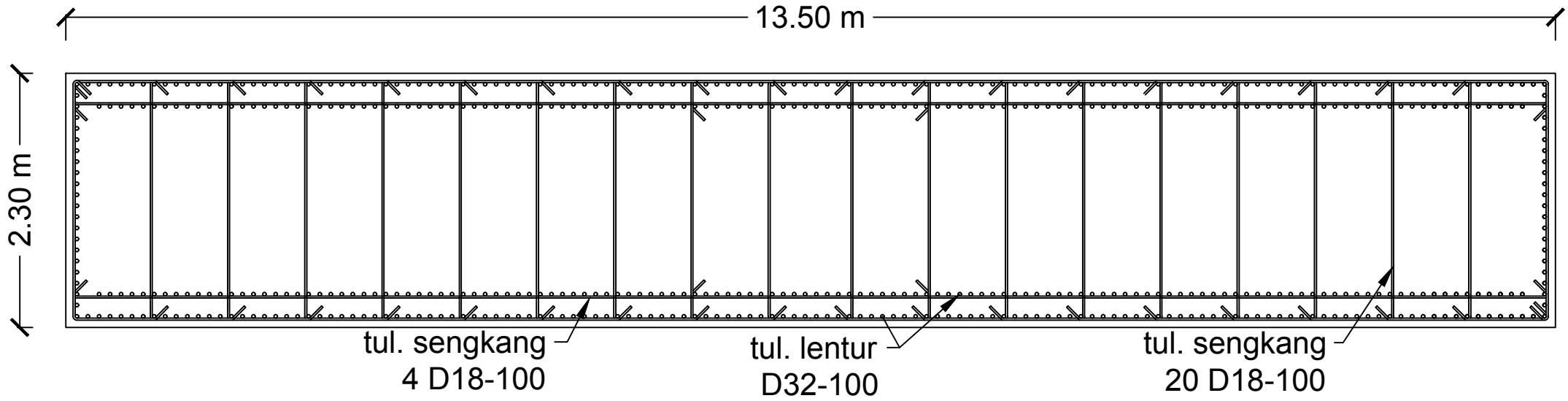
JUDUL GAMBAR  
TULANGAN PILAR

SKALA  
1:200


NO  
33  
JUMLAH  
45

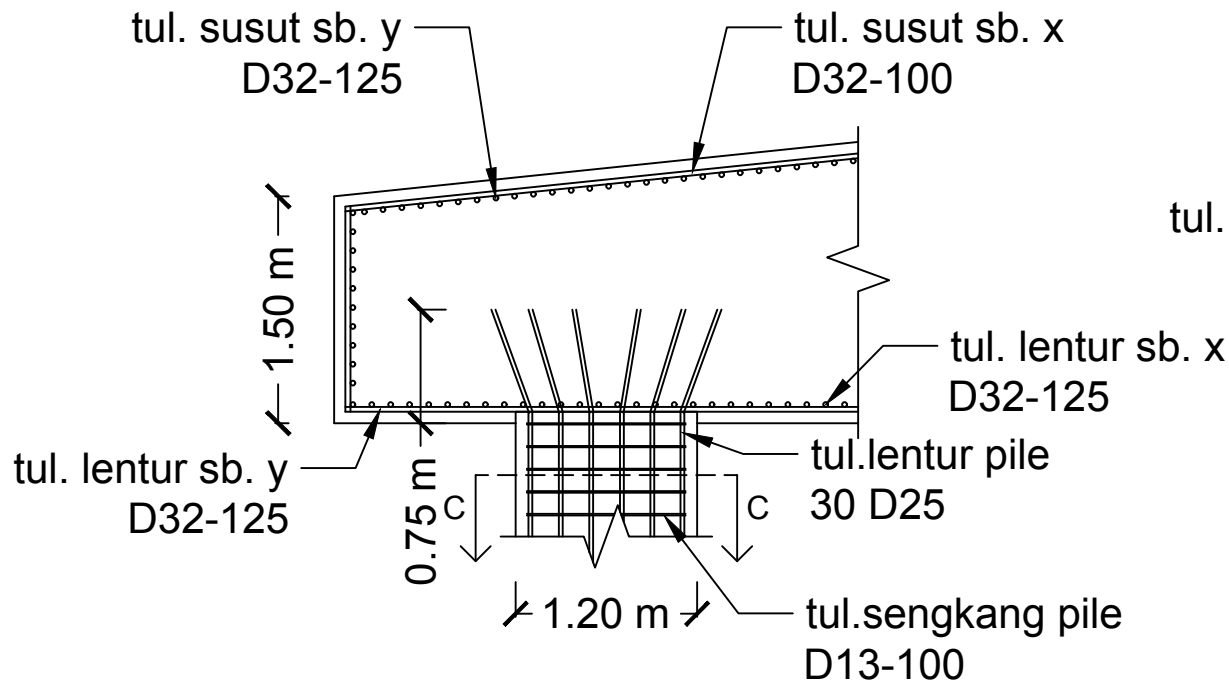
DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA  
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092

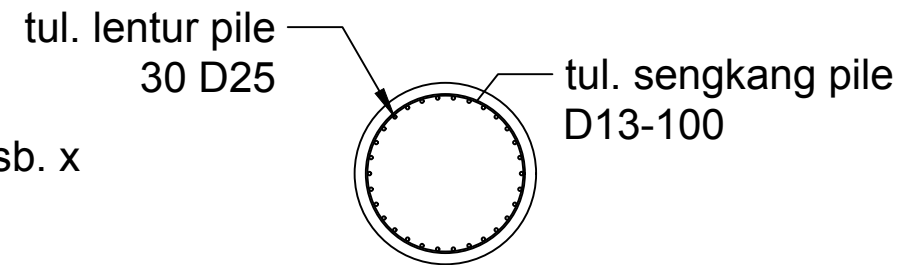
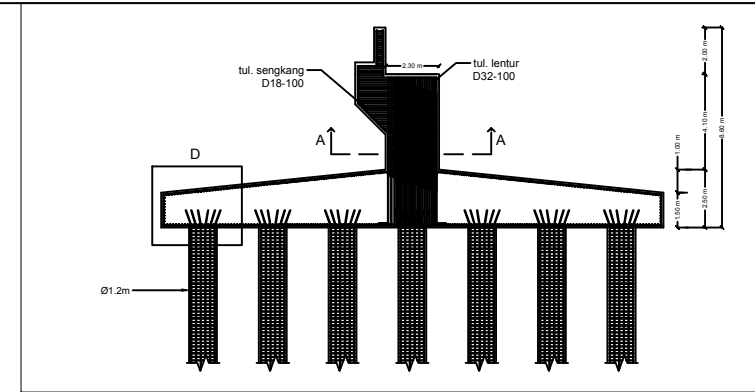


 **POTONGAN A-A**  
SKALA 1:50

 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
	PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED</i> <i>BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED</i> <i>CANTILEVER</i>	POTONGAN A-A	1:50	34	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
				JUMLAH		
				45		



**DETAIL D**  
SKALA 1:50



**POTONGAN C-C**  
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR  
  
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

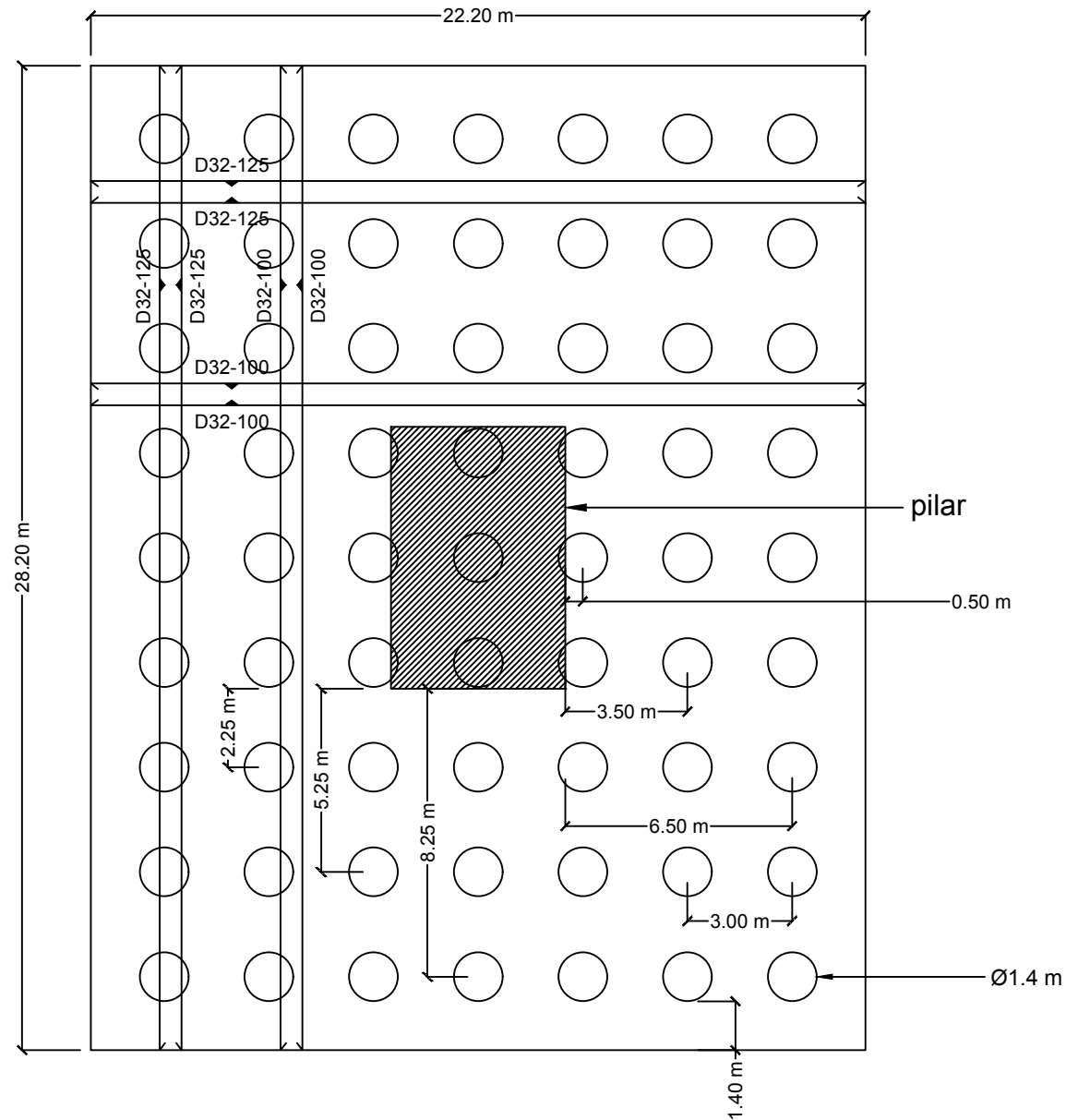
JUDUL GAMBAR  
  
DETAIL D  
POTONGAN C-C

SKALA  
  
1:50

NO  
35  
JUMLAH  
45

DOSEN PEMBIMBING  
  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA  
  
NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



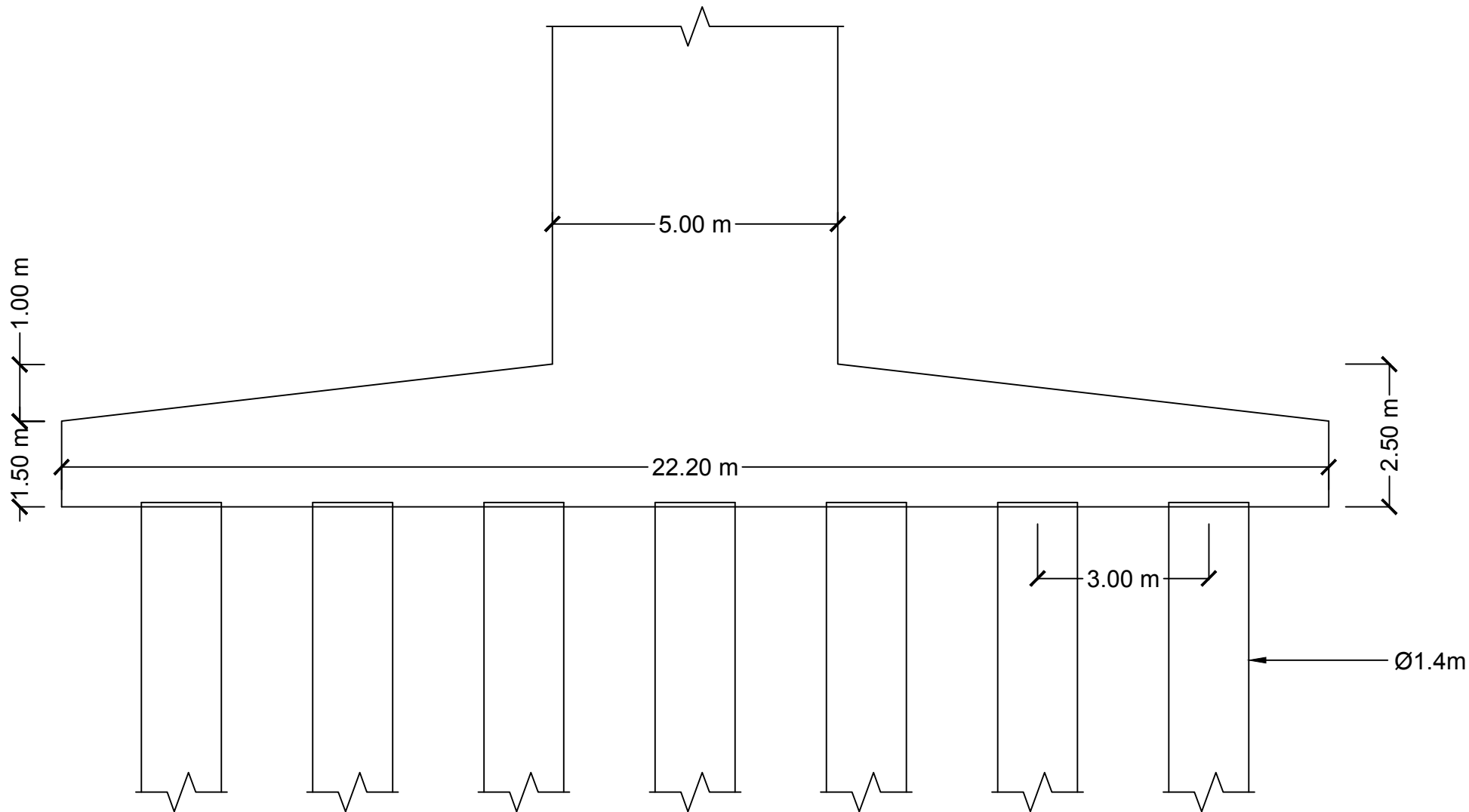
### DENAH PILECAP PILAR

SKALA 1:200



JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	DENAH PILECAP PILAR	1:200	36	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		





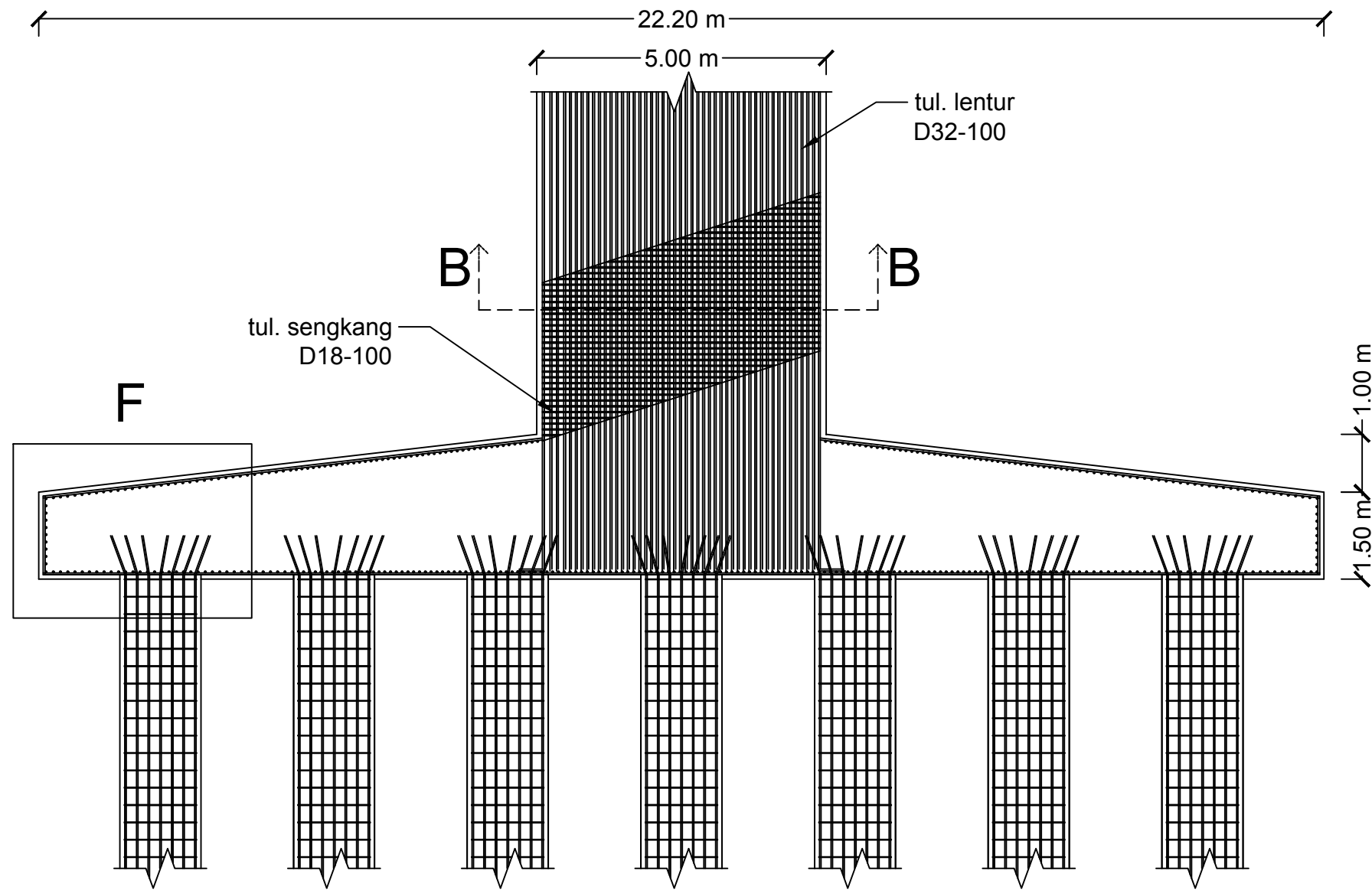
**POTONGAN MELINTANG PILAR**



SKALA 1:100



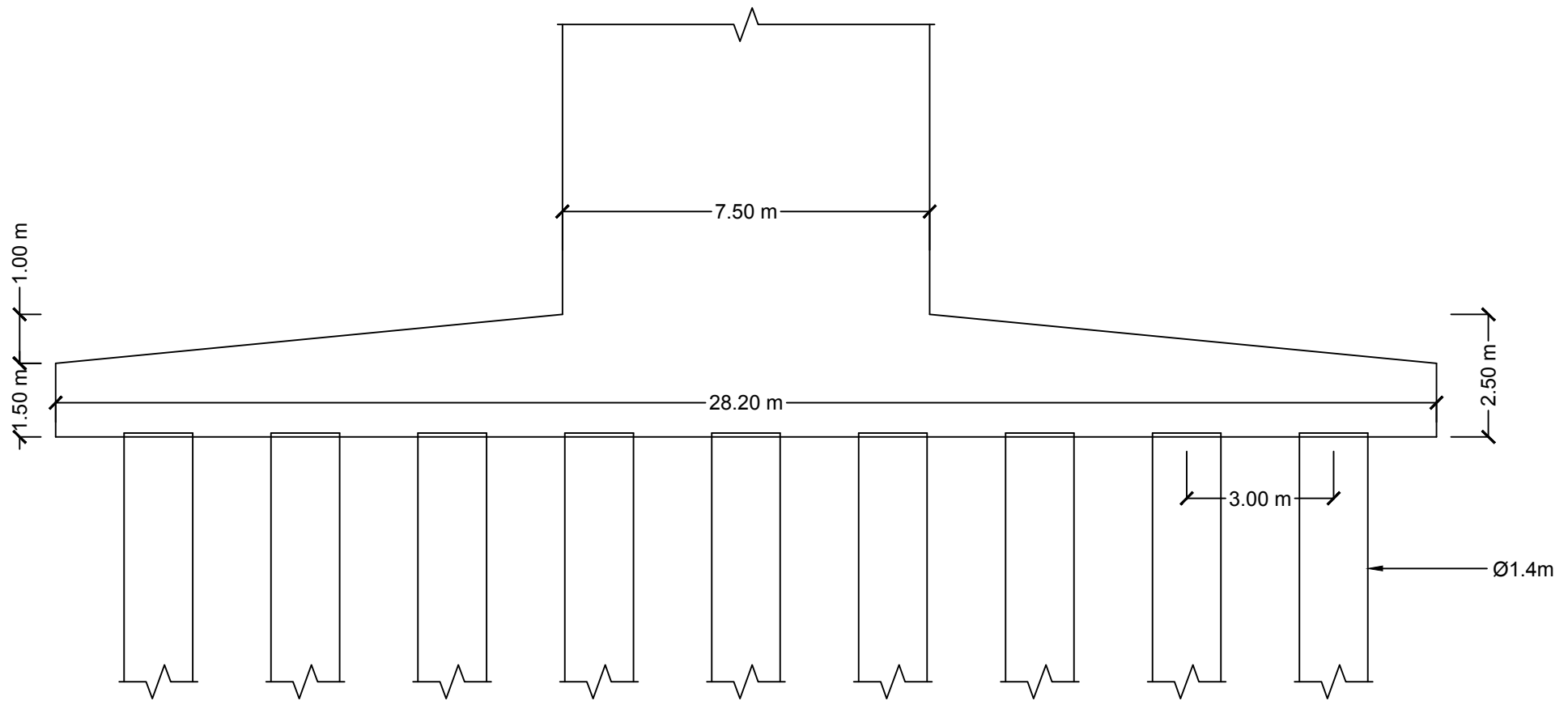
JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	POT. MELINTANG PILAR	1:100	37	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



## TULANGAN PILAR



SKALA 1:100

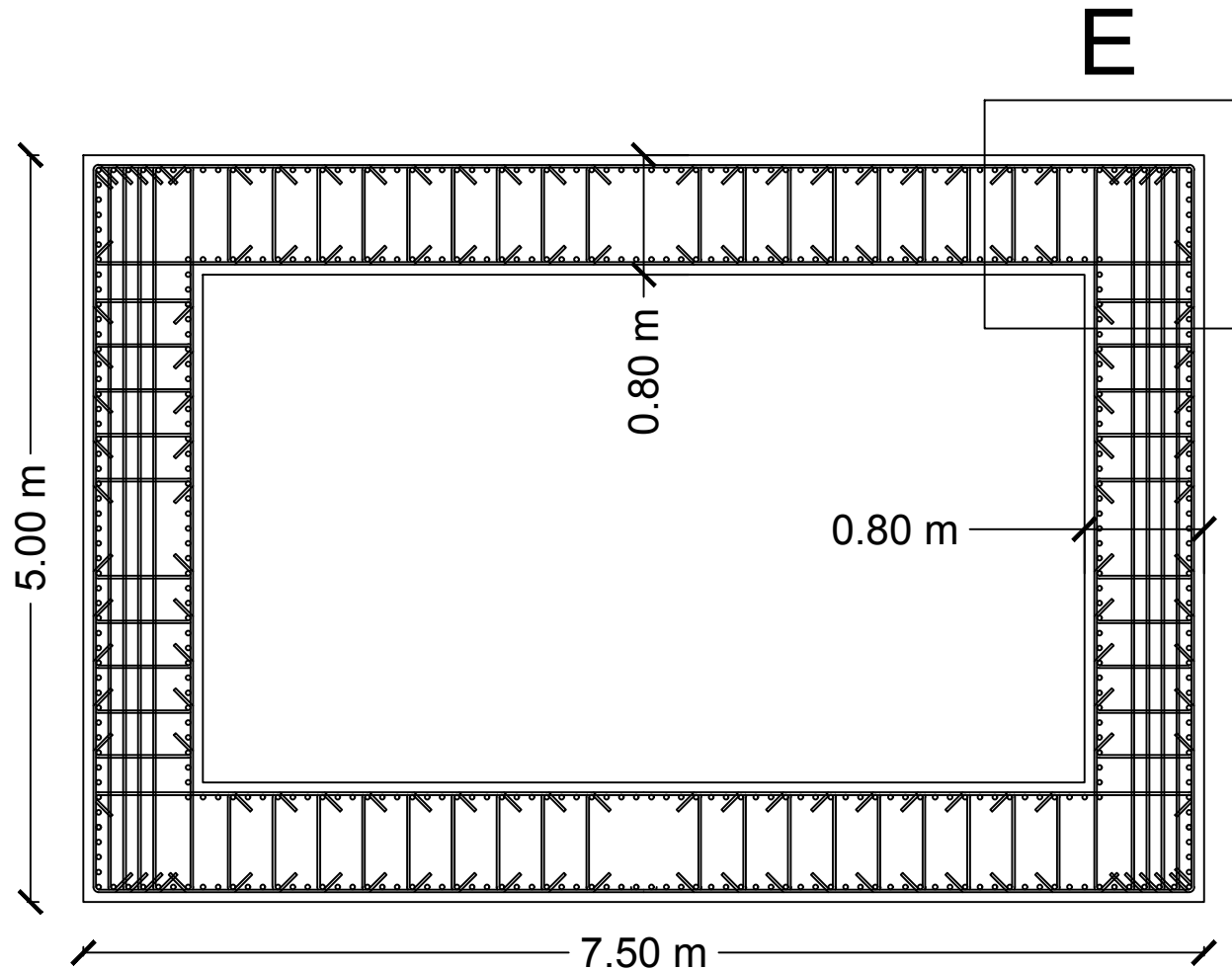


### POTONGAN MEMANJANG PILAR



SKALA 1:125

<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</p>	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
	PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	POT. MEMANJANG PILAR	1:125	39	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
				JUMLAH		
45						



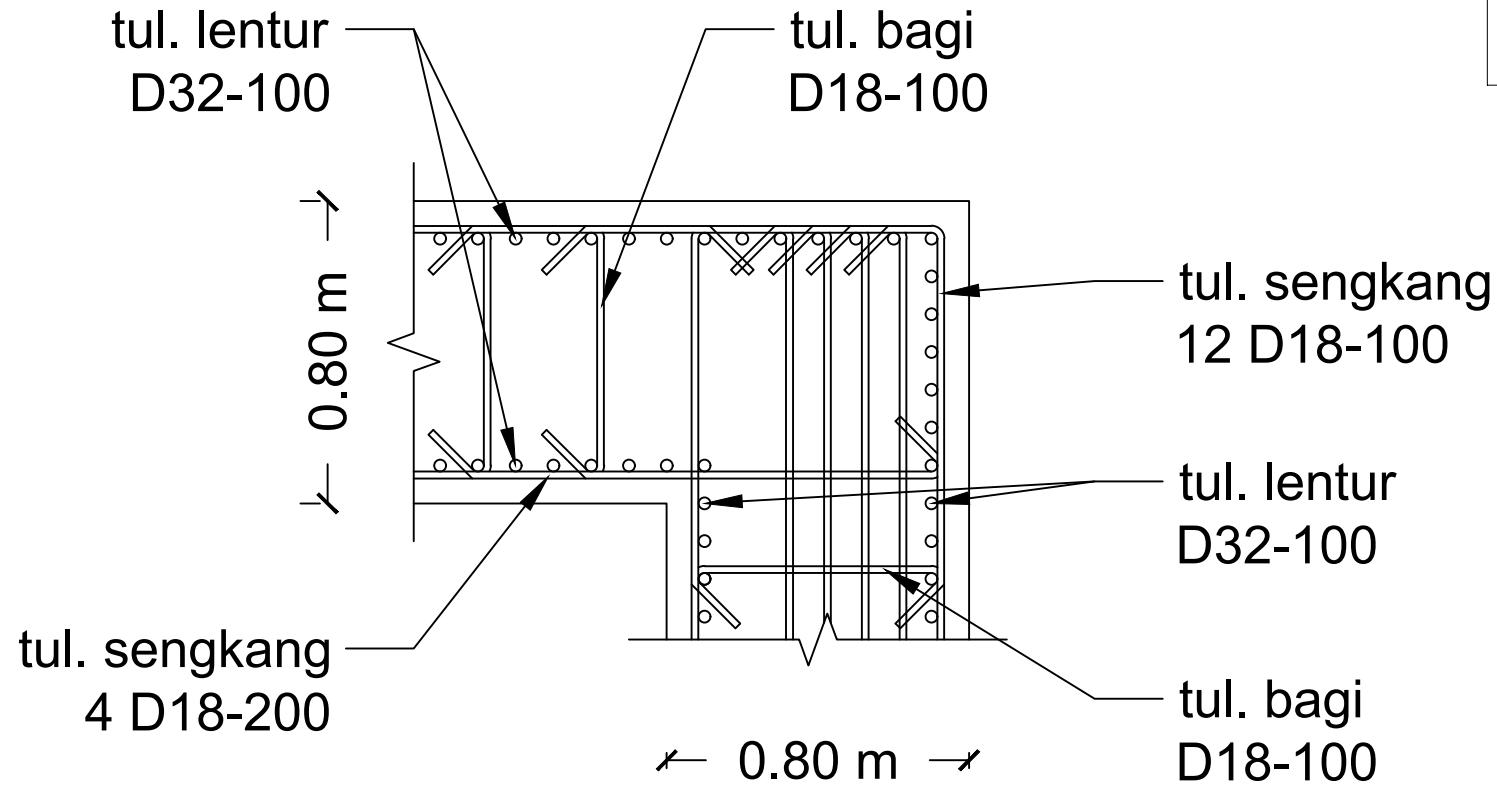
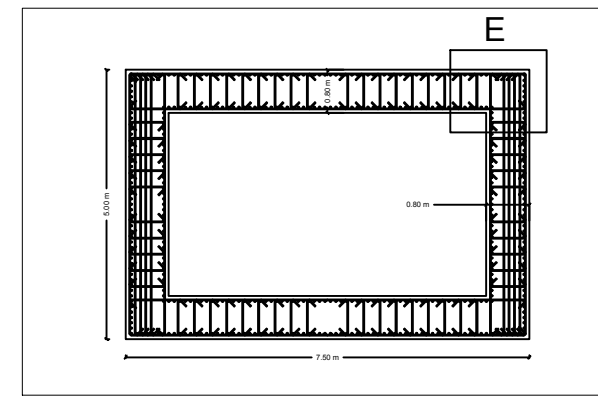
**POTONGAN B-B**

SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	POTONGAN B-B	1:50	40	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



**DETAIL E**

SKALA 1:20

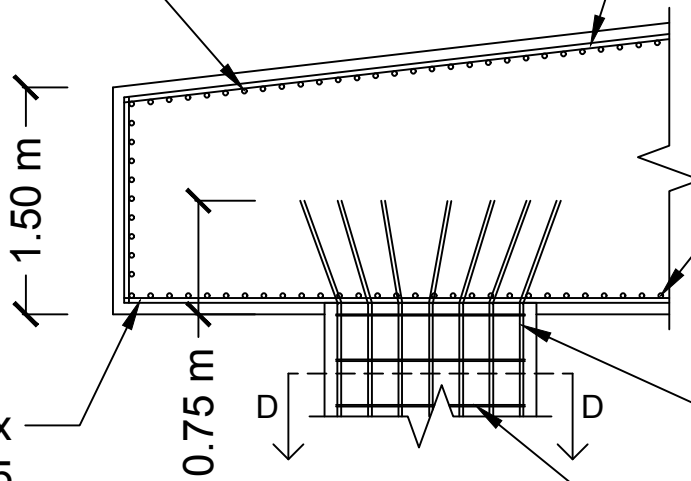


JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	DETAIL E	1:20	41	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		

tul. susut sb. y  
D32-125

tul. susut sb. x  
D32-100

tul. lentur sb. x  
D32-125



**DETAIL F**  
SKALA 1:50

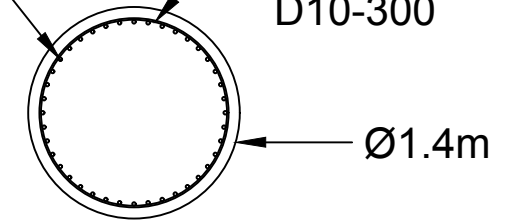
tul. lentur pile  
40 D25

tul. sengkang pile  
D10-300

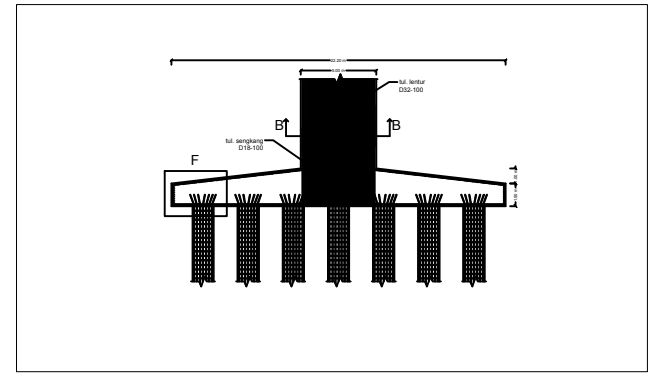
tul. lentur sb. y  
D32-125

tul. lentur pile  
40 D25

tul. sengkang pile  
D10-300



**POTONGAN D-D**  
SKALA 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO  
MENGUNAKAN *PRECAST POSTTENSIONED*  
*BOX-GIRDER* DENGAN METODE *BALANCED*  
*CANTILEVER*

JUDUL GAMBAR

DETAIL F  
POTONGAN D-D

SKALA

1:50

NO

42

JUMLAH

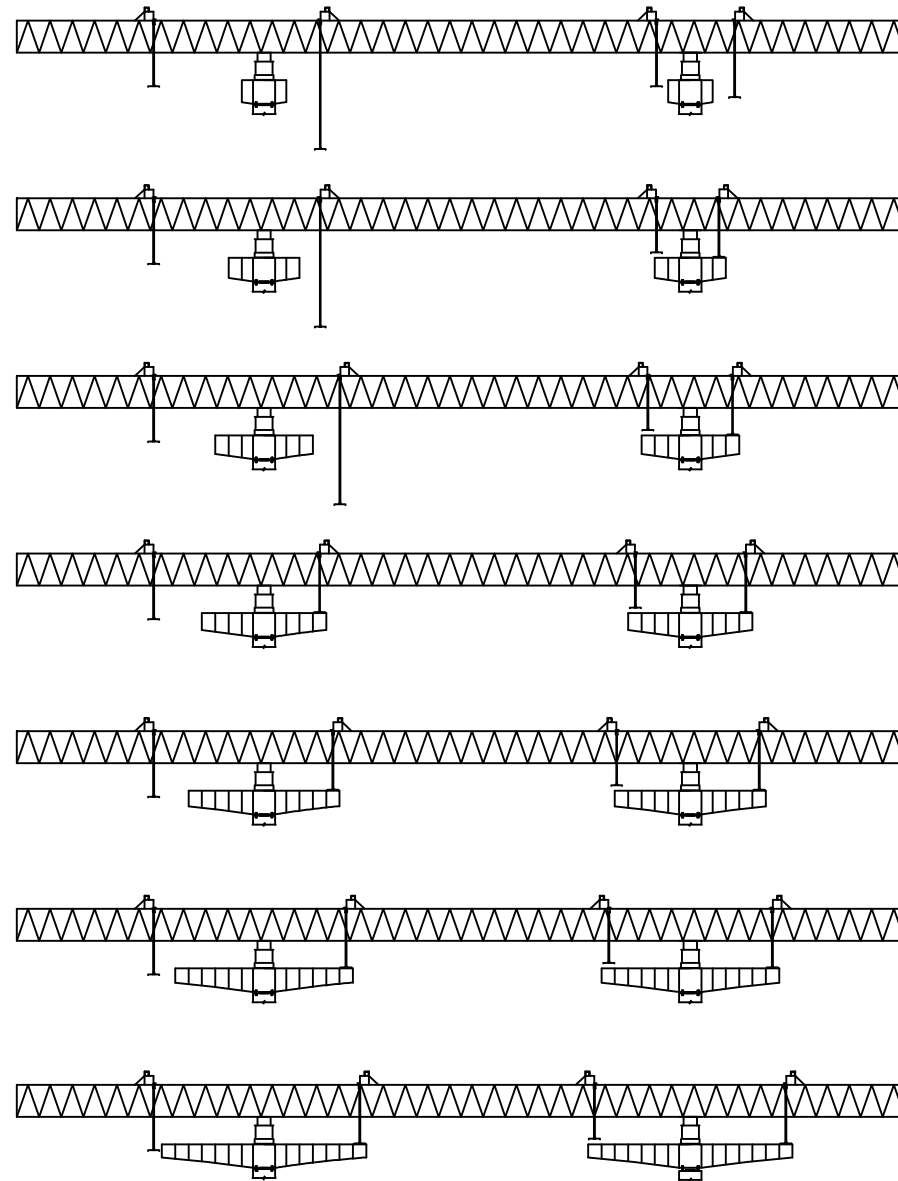
45

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI  
PUTU RAKA, DEA

MAHASISWA

NAURA ASSYIFA SALMA  
0311154000092



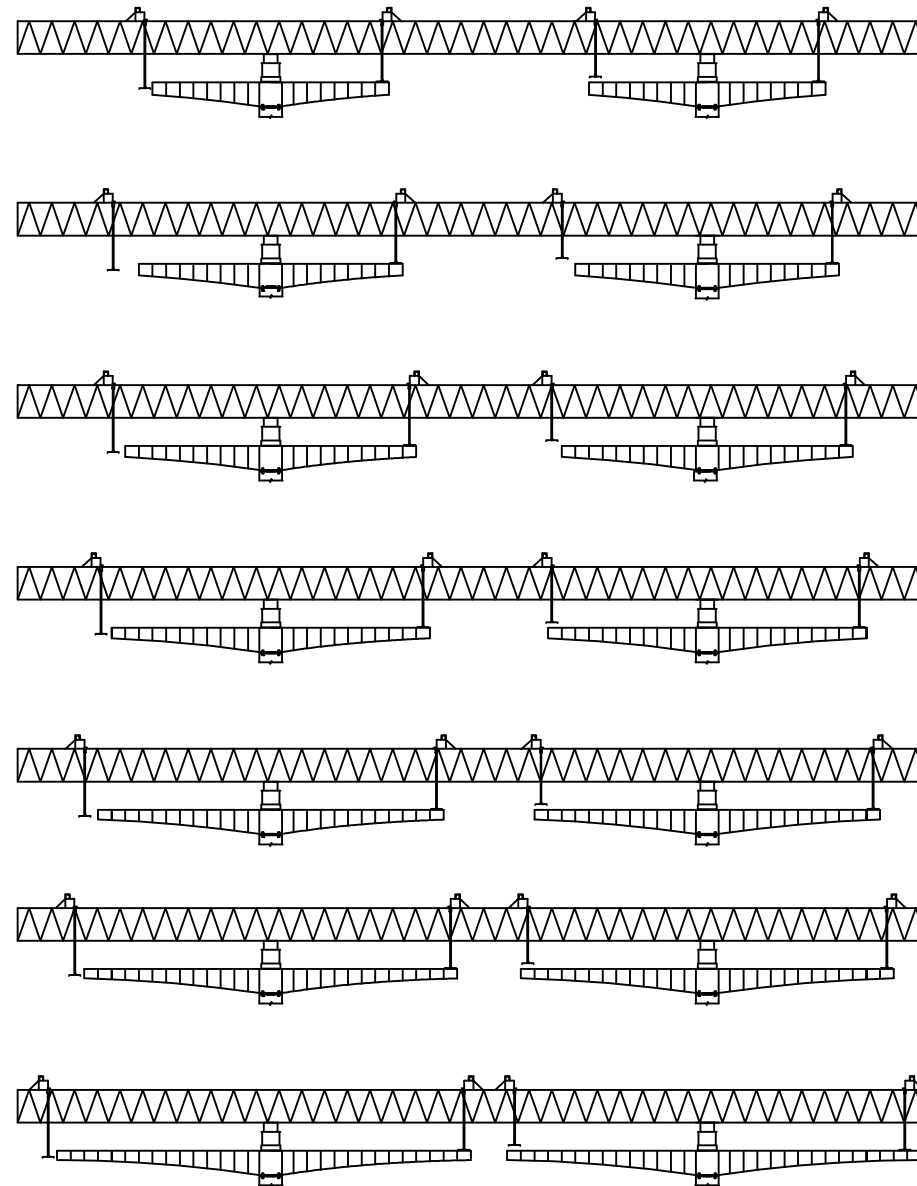
CS1 - CS 7

SKALA NTS



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	CS 1 - CS 7	NTS	43	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		



**CS 8 - CS 14**

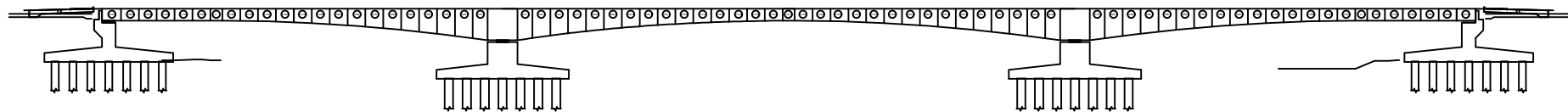
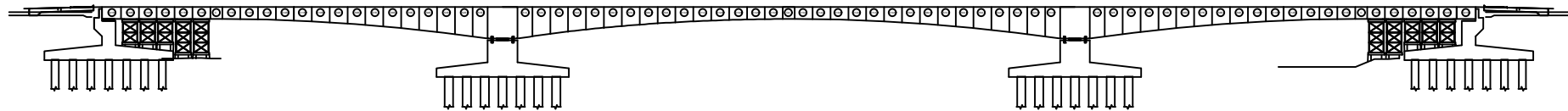
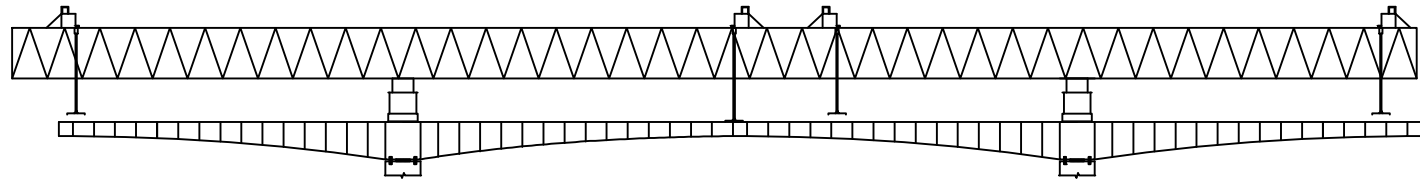
SKALA NTS



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBATAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	CS 1 - CS 7	NTS	44	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		





## PEMASANGAN MIDCLOSURE & ENDCLOSURE

SKALA NTS



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
PERENCANAAN JEMBRAN SIRNOBOYO MENGUNAKAN <i>PRECAST POSTTENSIONED BOX-GIRDER</i> DENGAN METODE <i>BALANCED CANTILEVER</i>	PEMASANGAN MIDCLOSURE & ENDCLOSURE	NTS	45	Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA	NAURA ASSYIFA SALMA 0311154000092
			JUMLAH		
			45		

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 1L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
2B-2B	0	3500	-2219
1B-1B	2500	3500	-1632
1A-1A	7500	3500	-1632
2A-2A	10000	3500	-2219

Section	Tendon kantilever 1R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
2B-2B	0	-3500	-2219
1B-1B	2500	-3500	-1632
1A-1A	7500	-3500	-1632
2A-2A	10000	-3500	-2219

Section	Tendon kantilever 2L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
2B-2B	0	2960	-512
1B-1B	2500	2960	-150
1A-1A	7500	2960	-150
2A-2A	10000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 2R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
2B-2B	0	-2960	-512
1B-1B	2500	-2960	-150
1A-1A	7500	-2960	-150
2A-2A	10000	-2960	-512

Section	Tendon kantilever 3L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	0	3500	-2056
2B-2B	3000	3500	-1328
1B-1B	5500	3500	-911
1A-1A	10500	3500	-911
2A-2A	13000	3500	-1326
3A-3A	16000	3500	-2056

Section	Tendon kantilever 3R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	0	-3500	-2056
2B-2B	3000	-3500	-1328
1B-1B	5500	-3500	-911
1A-1A	10500	-3500	-911
2A-2A	13000	-3500	-1326
3A-3A	16000	-3500	-2056

Section	Tendon kantilever 4L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	0	2960	-512
2B-2B	3000	3006	-150
1B-1B	5500	3230	-150
1A-1A	10500	3230	-150
2A-2A	13000	3006	-150
3A-3A	16000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 4R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	0	-2960	-512
2B-2B	3000	-3006	-150
1B-1B	5500	-3230	-150
1A-1A	10500	-3230	-150
2A-2A	13000	-3006	-150
3A-3A	16000	-2960	-512

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 5L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4B-4B	0	3500	-1853
3B-3B	3000	3500	-1136
2B-2B	6000	3500	-512
1B-1B	8500	3500	-150
1A-1A	13500	3500	-150
2A-2A	16000	3500	-512
3A-3A	19000	3500	-1136
4A-4A	22000	3500	-1853

Section	Tendon kantilever 5R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4B-4B	0	-3500	-1853
3B-3B	3000	-3500	-1136
2B-2B	6000	-3500	-512
1B-1B	8500	-3500	-150
1A-1A	13500	-3500	-150
2A-2A	16000	-3500	-512
3A-3A	19000	-3500	-1136
4A-4A	22000	-3500	-1853

Section	Tendon kantilever 6L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4B-4B	0	2960	-512
3B-3B	3000	2904	-150
2B-2B	6000	2690	-150
1B-1B	8500	2690	-150
1A-1A	13500	2690	-150
2A-2A	16000	2690	-150
3A-3A	19000	2904	-150
4A-4A	22000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 6R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4B-4B	0	-2960	-512
3B-3B	3000	-2904	-150
2B-2B	6000	-2690	-150
1B-1B	8500	-2690	-150
1A-1A	13500	-2690	-150
2A-2A	16000	-2690	-150
3A-3A	19000	-2904	-150
4A-4A	22000	-2960	-512

Section	Tendon kantilever 7L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
5B-5B	0	3500	-1682
4B-4B	3000	3500	-964
3B-3B	6000	3500	-357
2B-2B	9000	3770	-150
1B-1B	11500	3770	-150
1A-1A	165000	3770	-150
2A-2A	19000	3770	-150
3A-3A	21000	3500	-357

Section	Tendon kantilever 7R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
5B-5B	0	-3500	-1682
4B-4B	3000	-3500	-964
3B-3B	6000	-3500	-357
2B-2B	9000	-3770	-150
1B-1B	11500	-3770	-150
1A-1A	165000	-3770	-150
2A-2A	19000	-3770	-150
3A-3A	21000	-3500	-357

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 7L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4A-4A	24000	3500	-964
5A-5A	27000	3500	-1682

Section	Tendon kantilever 7R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
4A-4A	24000	-3500	-964
5A-5A	27000	-3500	-1682

Section	Tendon kantilever 8L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
5B-5B	0	2960	-512
4B-4B	3000	2900	-150
3B-3B	6000	2536	-150
2B-2B	9000	2420	-150
1B-1B	11500	2420	-150
1A-1A	165000	2420	-150
2A-2A	19000	2420	-150
3A-3A	21000	2536	-150
4A-4A	24000	2900	-150
5A-5A	27000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 8R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
5B-5B	0	-2960	-512
4B-4B	3000	-2900	-150
3B-3B	6000	-2536	-150
2B-2B	9000	-2420	-150
1B-1B	11500	-2420	-150
1A-1A	165000	-2420	-150
2A-2A	19000	-2420	-150
3A-3A	21000	-2536	-150
4A-4A	24000	-2900	-150
5A-5A	27000	-2960	-512

Section	Tendon kantilever 9L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	0	3500	-1540
5B-5B	3000	3500	-823
4B-4B	6000	3500	-150
3B-3B	9000	3833	-150
2B-2B	12000	4040	-150
1B-1B	14500	4040	-150
1A-1A	19500	4040	-150
2A-2A	22000	4040	-150
3A-3A	25000	3833	-150
4A-4A	28000	3500	-150
5A-5A	31000	3500	-823
6A-6A	34000	3500	-1540

Section	Tendon kantilever 9R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	0	-3500	-1540
5B-5B	3000	-3500	-823
4B-4B	6000	-3500	-150
3B-3B	9000	-3833	-150
2B-2B	12000	-4040	-150
1B-1B	14500	-4040	-150
1A-1A	19500	-4040	-150
2A-2A	22000	-4040	-150
3A-3A	25000	-3833	-150
4A-4A	28000	-3500	-150
5A-5A	31000	-3500	-823
6A-6A	34000	-3500	-1540

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 10L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	0	2960	-512
5B-5B	3000	2896	-150
4B-4B	6000	2516	-150
3B-3B	9000	2150	-150
2B-2B	12000	2150	-150
1B-1B	14500	2150	-150
1A-1A	19500	2150	-150
2A-2A	22000	2150	-150
3A-3A	25000	2150	-150
4A-4A	28000	2516	-150
5A-5A	31000	2896	-150
6A-6A	34000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 10R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	0	-2960	-512
5B-5B	3000	-2896	-150
4B-4B	6000	-2516	-150
3B-3B	9000	-2150	-150
2B-2B	12000	-2150	-150
1B-1B	14500	-2150	-150
1A-1A	19500	-2150	-150
2A-2A	22000	-2150	-150
3A-3A	25000	-2150	-150
4A-4A	28000	-2516	-150
5A-5A	31000	-2896	-150
6A-6A	34000	-2960	-512

Section	Tendon kantilever 11L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7B-7B	0	3500	-1436
6B-6B	3000	3500	-707
5B-5B	6000	3500	-150
4B-4B	9000	3833	-150
3B-3B	12000	4166	-150
2B-2B	15000	4310	-150
1B-1B	17500	4310	-150
1A-1A	22500	4310	-150
2A-2A	25000	4310	-150
3A-3A	28000	4166	-150
4A-4A	31000	3833	-150
5A-5A	34000	3500	-150
6A-6A	37000	3500	-707
7A-7A	41000	3500	-1436

Section	Tendon kantilever 11R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7B-7B	0	-3500	-1436
6B-6B	3000	-3500	-707
5B-5B	6000	-3500	-150
4B-4B	9000	-3833	-150
3B-3B	12000	-4166	-150
2B-2B	15000	-4310	-150
1B-1B	17500	-4310	-150
1A-1A	22500	-4310	-150
2A-2A	25000	-4310	-150
3A-3A	28000	-4166	-150
4A-4A	31000	-3833	-150
5A-5A	34000	-3500	-150
6A-6A	37000	-3500	-707
7A-7A	41000	-3500	-1436

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 12L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7B-7B	0	2960	-512
6B-6B	3000	2892	-150
5B-5B	6000	2506	-150
4B-4B	9000	2116	-150
3B-3B	12000	1880	-150
2B-2B	15000	1880	-150
1B-1B	17500	1880	-150
1A-1A	22500	1880	-150
2A-2A	25000	1880	-150
3A-3A	28000	1880	-150
4A-4A	31000	2116	-150
5A-5A	34000	2506	-150
6A-6A	37000	2892	-150
7A-7A	41000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 12R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7B-7B	0	-2960	-512
6B-6B	3000	-2892	-150
5B-5B	6000	-2506	-150
4B-4B	9000	-2116	-150
3B-3B	12000	-1880	-150
2B-2B	15000	-1880	-150
1B-1B	17500	-1880	-150
1A-1A	22500	-1880	-150
2A-2A	25000	-1880	-150
3A-3A	28000	-1880	-150
4A-4A	31000	-2116	-150
5A-5A	34000	-2506	-150
6A-6A	37000	-2892	-150
7A-7A	41000	-2960	-512

Section	Tendon kantilever 13L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	3500	-1331
7B-7B	3000	3500	-614
6B-6B	6000	3500	-150
5B-5B	9000	3837	-150
4B-4B	12000	4170	-150
3B-3B	15000	4502	-150
2B-2B	18000	4580	-150
1B-1B	20500	4580	-150
1A-1A	25500	4580	-150
2A-2A	28000	4580	-150
3A-3A	31000	4502	-150
4A-4A	34000	4170	-150
5A-5A	37000	3837	-150
6A-6A	40000	3500	-150

Section	Tendon kantilever 13R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	-3500	-1331
7B-7B	3000	-3500	-614
6B-6B	6000	-3500	-150
5B-5B	9000	-3837	-150
4B-4B	12000	-4170	-150
3B-3B	15000	-4502	-150
2B-2B	18000	-4580	-150
1B-1B	20500	-4580	-150
1A-1A	25500	-4580	-150
2A-2A	28000	-4580	-150
3A-3A	31000	-4502	-150
4A-4A	34000	-4170	-150
5A-5A	37000	-3837	-150
6A-6A	40000	-3500	-150

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 13L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7A-7A	43000	3500	-614
8A-8A	46000	3500	-1331

Section	Tendon kantilever 13R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7A-7A	43000	-3500	-614
8A-8A	46000	-3500	-1331

Section	Tendon kantilever 14L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	2960	-512
7B-7B	3000	2890	-150
6B-6B	6000	2471	-150
5B-5B	9000	2052	-150
4B-4B	12000	1633	-150
3B-3B	15000	1610	-150
2B-2B	18000	1610	-150
1B-1B	20500	1610	-150
1A-1A	25500	1610	-150
2A-2A	28000	1610	-150
3A-3A	31000	1610	-150
4A-4A	34000	1633	-150
5A-5A	37000	2052	-150
6A-6A	40000	2471	-150
7A-7A	43000	2890	-150
8A-8A	46000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 14R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	-2960	-512
7B-7B	3000	-2890	-150
6B-6B	6000	-2471	-150
5B-5B	9000	-2052	-150
4B-4B	12000	-1633	-150
3B-3B	15000	-1610	-150
2B-2B	18000	-1610	-150
1B-1B	20500	-1610	-150
1A-1A	25500	-1610	-150
2A-2A	28000	-1610	-150
3A-3A	31000	-1610	-150
4A-4A	34000	-1633	-150
5A-5A	37000	-2052	-150
6A-6A	40000	-2471	-150
7A-7A	43000	-2890	-150
8A-8A	46000	-2960	-512

Section	Tendon kantilever 15L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	3500	-1205
8B-8B	3000	3500	-488
7B-7B	6000	3670	-150
6B-6B	9000	4003	-150
5B-5B	12000	4336	-150
4B-4B	15000	4670	-150

Section	Tendon kantilever 15R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	-3500	-1205
8B-8B	3000	-3500	-488
7B-7B	6000	-3670	-150
6B-6B	9000	-4003	-150
5B-5B	12000	-4336	-150
4B-4B	15000	-4670	-150

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 15L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	18000	4850	-150
2B-2B	21000	4850	-150
1B-1B	23500	4850	-150
1A-1A	28500	4850	-150
2A-2A	31000	4850	-150
3A-3A	34000	4850	-150
4A-4A	37000	4670	-150
5A-5A	40000	4336	-150
6A-6A	43000	4003	-150
7A-7A	46000	3670	-150
8A-8A	49000	3500	-488
9A-9A	52000	3500	-1205

Section	Tendon kantilever 15R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	18000	-4850	-150
2B-2B	21000	-4850	-150
1B-1B	23500	-4850	-150
1A-1A	28500	-4850	-150
2A-2A	31000	-4850	-150
3A-3A	34000	-4850	-150
4A-4A	37000	-4670	-150
5A-5A	40000	-4336	-150
6A-6A	43000	-4003	-150
7A-7A	46000	-3670	-150
8A-8A	49000	-3500	-488
9A-9A	52000	-3500	-1205

Section	Tendon kantilever 16L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	2960	-512
8B-8B	3000	2890	-150
7B-7B	6000	2472	-150
6B-6B	9000	2053	-150
5B-5B	12000	1634	-150
4B-4B	15000	1340	-150
3B-3B	18000	1340	-150
2B-2B	21000	1340	-150
1B-1B	23500	1340	-150
1A-1A	28500	1340	-150
2A-2A	31000	1340	-150
3A-3A	34000	1340	-150
4A-4A	37000	1340	-150
5A-5A	40000	1634	-150
6A-6A	43000	2053	-150
7A-7A	46000	2472	-150

Section	Tendon kantilever 16R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	-2960	-512
8B-8B	3000	-2890	-150
7B-7B	6000	-2472	-150
6B-6B	9000	-2053	-150
5B-5B	12000	-1634	-150
4B-4B	15000	-1340	-150
3B-3B	18000	-1340	-150
2B-2B	21000	-1340	-150
1B-1B	23500	-1340	-150
1A-1A	28500	-1340	-150
2A-2A	31000	-1340	-150
3A-3A	34000	-1340	-150
4A-4A	37000	-1340	-150
5A-5A	40000	-1634	-150
6A-6A	43000	-2053	-150
7A-7A	46000	-2472	-150



## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 16L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8A-8A	49000	2890	-150
9A-9A	52000	2960	-512

Section	Tendon kantilever 16R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8A-8A	49000	-2890	-150
9A-9A	52000	-2960	-512

Section	Tendon kantilever 17L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10B-10B	0	3500	-1121
9B-9B	3000	3500	-404
8B-8B	6000	3680	-150
7B-7B	9000	4003	-150
6B-6B	12000	4336	-150
5B-5B	15000	4670	-150
4B-4B	18000	5002	-150
3B-3B	21000	5120	-150
2B-2B	24000	5120	-150
1B-1B	26500	5120	-150
1A-1A	31500	5120	-150
2A-2A	34000	5120	-150
3A-3A	37000	5120	-150
4A-4A	40000	5002	-150
5A-5A	43000	4670	-150
6A-6A	46000	4336	-150
7A-7A	49000	4003	-150
8A-8A	52000	3680	-150
9A-9A	55000	3500	-404
10A-10A	58000	3500	-1121

Section	Tendon kantilever 17R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10B-10B	0	-3500	-1121
9B-9B	3000	-3500	-404
8B-8B	6000	-3680	-150
7B-7B	9000	-4003	-150
6B-6B	12000	-4336	-150
5B-5B	15000	-4670	-150
4B-4B	18000	-5002	-150
3B-3B	21000	-5120	-150
2B-2B	24000	-5120	-150
1B-1B	26500	-5120	-150
1A-1A	31500	-5120	-150
2A-2A	34000	-5120	-150
3A-3A	37000	-5120	-150
4A-4A	40000	-5002	-150
5A-5A	43000	-4670	-150
6A-6A	46000	-4336	-150
7A-7A	49000	-4003	-150
8A-8A	52000	-3680	-150
9A-9A	55000	-3500	-404
10A-10A	58000	-3500	-1121

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 18L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11B-11B	0	3500	-1050
10B-10B	3000	3500	-333
9B-9B	6000	3670	-150
8B-8B	9000	4003	-150
7B-7B	12000	4336	-150
6B-6B	15000	4670	-150
5B-5B	18000	5002	-150
4B-4B	21000	5335	-150
3B-3B	24000	5390	-150
2B-2B	27000	5390	-150
1B-1B	29500	5390	-150
1A-1A	34500	5390	-150
2A-2A	37000	5390	-150
3A-3A	40000	5390	-150
4A-4A	43000	5335	-150
5A-5A	46000	5002	-150
6A-6A	49000	4670	-150
7A-7A	52000	4336	-150
8A-8A	55000	4003	-150
9A-9A	58000	3670	-150
10A-10A	61000	3500	-333
11A-11A	64000	3500	-1050

Section	Tendon kantilever 18R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11B-11B	0	-3500	-1050
10B-10B	3000	-3500	-333
9B-9B	6000	-3670	-150
8B-8B	9000	-4003	-150
7B-7B	12000	-4336	-150
6B-6B	15000	-4670	-150
5B-5B	18000	-5002	-150
4B-4B	21000	-5335	-150
3B-3B	24000	-5390	-150
2B-2B	27000	-5390	-150
1B-1B	29500	-5390	-150
1A-1A	34500	-5390	-150
2A-2A	37000	-5390	-150
3A-3A	40000	-5390	-150
4A-4A	43000	-5335	-150
5A-5A	46000	-5002	-150
6A-6A	49000	-4670	-150
7A-7A	52000	-4336	-150
8A-8A	55000	-4003	-150
9A-9A	58000	-3670	-150
10A-10A	61000	-3500	-333
11A-11A	64000	-3500	-1050

Section	Tendon kantilever 19L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12B-12B	0	3500	-967
11B-11B	3000	3500	-250
10B-10B	6000	3765	-150
9B-9B	9000	4098	-150
8B-8B	12000	4431	-150
7B-7B	15000	4764	-150

Section	Tendon kantilever 19R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12B-12B	0	-3500	-967
11B-11B	3000	-3500	-250
10B-10B	6000	-3765	-150
9B-9B	9000	-4098	-150
8B-8B	12000	-4431	-150
7B-7B	15000	-4764	-150

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 19L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	18000	5097	-150
5B-5B	21000	5430	-150
4B-4B	24000	5660	-150
3B-3B	27000	5660	-150
2B-2B	30000	5660	-150
1B-1B	32500	5660	-150
1A-1A	37500	5660	-150
2A-2A	40000	5660	-150
3A-3A	43000	5660	-150
4A-4A	46000	5660	-150
5A-5A	49000	5430	-150
6A-6A	52000	5097	-150
7A-7A	55000	4764	-150
8A-8A	58000	4431	-150
9A-9A	61000	4098	-150
10A-10A	64000	3765	-150
11A-11A	67000	3500	-250
12A-12A	70000	3500	-967

Section	Tendon kantilever 19R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	18000	-5097	-150
5B-5B	21000	-5430	-150
4B-4B	24000	-5660	-150
3B-3B	27000	-5660	-150
2B-2B	30000	-5660	-150
1B-1B	32500	-5660	-150
1A-1A	37500	-5660	-150
2A-2A	40000	-5660	-150
3A-3A	43000	-5660	-150
4A-4A	46000	-5660	-150
5A-5A	49000	-5430	-150
6A-6A	52000	-5097	-150
7A-7A	55000	-4764	-150
8A-8A	58000	-4431	-150
9A-9A	61000	-4098	-150
10A-10A	64000	-3765	-150
11A-11A	67000	-3500	-250
12A-12A	70000	-3500	-967

Section	Tendon kantilever 20L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13B-13B	0	3500	-923
12B-12B	3000	3500	-205
11B-11B	6000	3081	-150
10B-10B	9000	2662	-150
9B-9B	12000	2243	-150
8B-8B	15000	1824	-150
7B-7B	18000	1405	-150
6B-6B	21000	1070	-150
5B-5B	24000	1070	-150
4B-4B	27000	1070	-150

Section	Tendon kantilever 20R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13B-13B	0	-3500	-923
12B-12B	3000	-3500	-205
11B-11B	6000	-3081	-150
10B-10B	9000	-2662	-150
9B-9B	12000	-2243	-150
8B-8B	15000	-1824	-150
7B-7B	18000	-1405	-150
6B-6B	21000	-1070	-150
5B-5B	24000	-1070	-150
4B-4B	27000	-1070	-150

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 20L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	30000	1070	-150
2B-2B	33000	1070	-150
1B-1B	35500	1070	-150
1A-1A	40500	1070	-150
2A-2A	43000	1070	-150
3A-3A	46000	1070	-150
4A-4A	49000	1070	-150
5A-5A	52000	1070	-150
6A-6A	55000	1070	-150
7A-7A	58000	1405	-150
8A-8A	61000	1824	-150
9A-9A	64000	2243	-150
10A-10A	67000	2662	-150
11A-11A	70000	3081	-150
12A-12A	73000	3500	-205
13A-13A	76000	3500	-923

Section	Tendon kantilever 20R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	30000	-1070	-150
2B-2B	33000	-1070	-150
1B-1B	35500	-1070	-150
1A-1A	40500	-1070	-150
2A-2A	43000	-1070	-150
3A-3A	46000	-1070	-150
4A-4A	49000	-1070	-150
5A-5A	52000	-1070	-150
6A-6A	55000	-1070	-150
7A-7A	58000	-1405	-150
8A-8A	61000	-1824	-150
9A-9A	64000	-2243	-150
10A-10A	67000	-2662	-150
11A-11A	70000	-3081	-150
12A-12A	73000	-3500	-205
13A-13A	76000	-3500	-923

Section	Tendon kantilever 21L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
14B-14B	0	3500	-896
13B-13B	3000	3500	-150
12B-12B	6000	3824	-150
11B-11B	9000	4156	-150
10B-10B	12000	4490	-150
9B-9B	15000	4822	-150
8B-8B	18000	5155	-150
7B-7B	21000	5488	-150
6B-6B	24000	5821	-150
5B-5B	27000	5930	-150
4B-4B	30000	5930	-150
3B-3B	33000	5930	-150

Section	Tendon kantilever 21R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
14B-14B	0	-3500	-896
13B-13B	3000	-3500	-150
12B-12B	6000	-3824	-150
11B-11B	9000	-4156	-150
10B-10B	12000	-4490	-150
9B-9B	15000	-4822	-150
8B-8B	18000	-5155	-150
7B-7B	21000	-5488	-150
6B-6B	24000	-5821	-150
5B-5B	27000	-5930	-150
4B-4B	30000	-5930	-150
3B-3B	33000	-5930	-150

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 21L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
2B-2B	36000	5930	-150
1B-1B	38500	5930	-150
1A-1A	43500	5930	-150
2A-2A	46000	5930	-150
3A-3A	49000	5930	-150
4A-4A	52000	5930	-150
5A-5A	55000	5930	-150
6A-6A	58000	5821	-150
7A-7A	61000	5488	-150
8A-8A	64000	5155	-150
9A-9A	67000	4822	-150
10A-10A	70000	4490	-150
11A-11A	73000	4156	-150
12A-12A	76000	3824	-150
13A-13A	79000	3500	-150
14A-14A	82000	3500	-896

Section	Tendon kantilever 21R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
2B-2B	36000	-5930	-150
1B-1B	38500	-5930	-150
1A-1A	43500	-5930	-150
2A-2A	46000	-5930	-150
3A-3A	49000	-5930	-150
4A-4A	52000	-5930	-150
5A-5A	55000	-5930	-150
6A-6A	58000	-5821	-150
7A-7A	61000	-5488	-150
8A-8A	64000	-5155	-150
9A-9A	67000	-4822	-150
10A-10A	70000	-4490	-150
11A-11A	73000	-4156	-150
12A-12A	76000	-3824	-150
13A-13A	79000	-3500	-150
14A-14A	82000	-3500	-896

Section	Tendon kantilever 22L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
15B-15B	0	3500	-867
14B-14B	3000	3500	-150
13B-13B	6000	3080	-150
12B-12B	9000	2662	-150
11B-11B	12000	2243	-150
10B-10B	15000	1824	-150
9B-9B	18000	1405	-150
8B-8B	21000	986	-150
7B-7B	24000	800	-150
6B-6B	27000	800	-150
5B-5B	30000	800	-150
4B-4B	33000	800	-150

Section	Tendon kantilever 22R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
15B-15B	0	-3500	-867
14B-14B	3000	-3500	-150
13B-13B	6000	-3080	-150
12B-12B	9000	-2662	-150
11B-11B	12000	-2243	-150
10B-10B	15000	-1824	-150
9B-9B	18000	-1405	-150
8B-8B	21000	-986	-150
7B-7B	24000	-800	-150
6B-6B	27000	-800	-150
5B-5B	30000	-800	-150
4B-4B	33000	-800	-150

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 22L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	36000	800	-150
2B-2B	39000	800	-150
1B-1B	41500	800	-150
1A-1A	46500	800	-150
2A-2A	49000	800	-150
3A-3A	52000	800	-150
4A-4A	55000	800	-150
5A-5A	58000	800	-150
6A-6A	61000	800	-150
7A-7A	64000	800	-150
8A-8A	67000	986	-150
9A-9A	70000	1405	-150
10A-10A	73000	1824	-150
11A-11A	76000	2243	-150
12A-12A	79000	2662	-150
13A-13A	82000	3080	-150
14A-14A	85000	3500	-150
15A-15A	88000	3500	-867

Section	Tendon kantilever 22R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
3B-3B	36000	-800	-150
2B-2B	39000	-800	-150
1B-1B	41500	-800	-150
1A-1A	46500	-800	-150
2A-2A	49000	-800	-150
3A-3A	52000	-800	-150
4A-4A	55000	-800	-150
5A-5A	58000	-800	-150
6A-6A	61000	-800	-150
7A-7A	64000	-800	-150
8A-8A	67000	-986	-150
9A-9A	70000	-1405	-150
10A-10A	73000	-1824	-150
11A-11A	76000	-2243	-150
12A-12A	79000	-2662	-150
13A-13A	82000	-3080	-150
14A-14A	85000	-3500	-150
15A-15A	88000	-3500	-867

Section	Tendon kantilever 23L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
16B-16B	0	3500	-1495
15B-15B	3000	3500	-206
14B-14B	6000	3833	-150
13B-13B	9000	4166	-150
12B-12B	12000	4500	-150
11B-11B	15000	4832	-150
10B-10B	18000	5164	-150
9B-9B	21000	5497	-150
8B-8B	24000	5830	-150
7B-7B	27000	6163	-150

Section	Tendon kantilever 23R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
16B-16B	0	-3500	-1495
15B-15B	3000	-3500	-206
14B-14B	6000	-3833	-150
13B-13B	9000	-4166	-150
12B-12B	12000	-4500	-150
11B-11B	15000	-4832	-150
10B-10B	18000	-5164	-150
9B-9B	21000	-5497	-150
8B-8B	24000	-5830	-150
7B-7B	27000	-6163	-150

## Koordinat Tendon

Section	Tendon kantilever 23L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	30000	6200	-150
5B-5B	33000	6200	-150
4B-4B	36000	6200	-150
3B-3B	39000	6200	-150
2B-2B	42000	6200	-150
1B-1B	44500	6200	-150
1A-1A	49500	6200	-150
2A-2A	52000	6200	-150
3A-3A	55000	6200	-150
4A-4A	58000	6200	-150
5A-5A	61000	6200	-150
6A-6A	64000	6200	-150
7A-7A	67000	6163	-150
8A-8A	70000	5830	-150
9A-9A	73000	5497	-150
10A-10A	76000	5164	-150
11A-11A	79000	4832	-150
12A-12A	82000	4500	-150
13A-13A	85000	4166	-150
14A-14A	88000	3833	-150
15A-15A	91000	3500	-206
16A-16A	94000	3500	-1495

Section	Tendon kantilever 23R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
6B-6B	30000	-6200	-150
5B-5B	33000	-6200	-150
4B-4B	36000	-6200	-150
3B-3B	39000	-6200	-150
2B-2B	42000	-6200	-150
1B-1B	44500	-6200	-150
1A-1A	49500	-6200	-150
2A-2A	52000	-6200	-150
3A-3A	55000	-6200	-150
4A-4A	58000	-6200	-150
5A-5A	61000	-6200	-150
6A-6A	64000	-6200	-150
7A-7A	67000	-6163	-150
8A-8A	70000	-5830	-150
9A-9A	73000	-5497	-150
10A-10A	76000	-5164	-150
11A-11A	79000	-4832	-150
12A-12A	82000	-4500	-150
13A-13A	85000	-4166	-150
14A-14A	88000	-3833	-150
15A-15A	91000	-3500	-206
16A-16A	94000	-3500	-1495

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service side span 1L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13B-13B	0	2734	-1444
14B-14B	3000	2734	-1877
15B-15B	6000	2734	-1784
16B-16B	9000	2734	-1784
17B-17B	11000	2734	-1784
18B-18B	14000	2734	-1784
19B-19B	17000	2734	-1378

Section	Tendon service side span 1R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13B-13B	0	-2734	-1444
14B-14B	3000	-2734	-1877
15B-15B	6000	-2734	-1784
16B-16B	9000	-2734	-1784
17B-17B	11000	-2734	-1784
18B-18B	14000	-2734	-1784
19B-19B	17000	-2734	-1378

Section	Tendon service side span 2L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12B-12B	0	3030	-1556
13B-13B	3000	3030	-1960
14B-14B	6000	3030	-1877
15B-15B	9000	3030	-1784
16B-16B	12000	3030	-1784
17B-17B	14000	3030	-1784
18B-18B	17000	3030	-1784
19B-19B	20000	3030	-1378

Section	Tendon service side span 2R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12B-12B	0	-3030	-1556
13B-13B	3000	-3030	-1960
14B-14B	6000	-3030	-1877
15B-15B	9000	-3030	-1784
16B-16B	12000	-3030	-1784
17B-17B	14000	-3030	-1784
18B-18B	17000	-3030	-1784
19B-19B	20000	-3030	-1378

Section	Tendon service side span 3L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11B-11B	0	3030	-1760
12B-12B	3000	3206	-2067
13B-13B	6000	3330	-1960
14B-14B	9000	3330	-1877
15B-15B	12000	3330	-1824
16B-16B	15000	3330	-1800
17B-17B	17000	3330	-1800

Section	Tendon service side span 3R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11B-11B	0	-3030	-1760
12B-12B	3000	-3206	-2067
13B-13B	6000	-3330	-1960
14B-14B	9000	-3330	-1877
15B-15B	12000	-3330	-1824
16B-16B	15000	-3330	-1800
17B-17B	17000	-3330	-1800



## Koordinat Tendon

Section	Tendon service side span 3L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
18B-18B	20000	3330	-1800
19B-19B	23000	3222	-1800
20B-20B	26000	3030	-1400

Section	Tendon service side span 3R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
18B-18B	20000	-3330	-1800
19B-19B	23000	-3222	-1800
20B-20B	26000	-3030	-1400

Section	Tendon service side span 4L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10B-10B	0	3027	-1904
11B-11B	3000	2931	-2206
12B-12B	6000	2438	-2067
13B-13B	9000	2438	-1958
14B-14B	12000	2438	-1877
15B-15B	15000	2438	-1824
16B-16B	18000	2438	-1800
17B-17B	20000	2438	-1800
18B-18B	23000	2438	-1800
19B-19B	26000	2553	-1800
20B-20B	29000	2733	-1400

Section	Tendon service side span 4R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10B-10B	0	-3027	-1904
11B-11B	3000	-2931	-2206
12B-12B	6000	-2438	-2067
13B-13B	9000	-2438	-1958
14B-14B	12000	-2438	-1877
15B-15B	15000	-2438	-1824
16B-16B	18000	-2438	-1800
17B-17B	20000	-2438	-1800
18B-18B	23000	-2438	-1800
19B-19B	26000	-2553	-1800
20B-20B	29000	-2733	-1400

Section	Tendon service side span 5L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	3027	-2068
10B-10B	3000	2939	-2372
11B-11B	6000	2373	-2206
12B-12B	9000	2134	-2067
13B-13B	12000	2134	-1960
14B-14B	15000	2134	-1877
15B-15B	18000	2134	-1824
16B-16B	21000	2134	-1800

Section	Tendon service side span 5R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	-3027	-2068
10B-10B	3000	-2939	-2372
11B-11B	6000	-2373	-2206
12B-12B	9000	-2134	-2067
13B-13B	12000	-2134	-1960
14B-14B	15000	-2134	-1877
15B-15B	18000	-2134	-1824
16B-16B	21000	-2134	-1800

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service side span 5L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
17B-17B	23000	2134	-1800
18B-18B	26000	2134	-1800
19B-19B	29000	2134	-1800
20B-20B	32000	2134	-1800
21B-21B	35000	2134	-1800
22B-22B	38000	2134	-1800
23B-23B	41000	2134	-1400

Section	Tendon service side span 5R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
17B-17B	23000	-2134	-1800
18B-18B	26000	-2134	-1800
19B-19B	29000	-2134	-1800
20B-20B	32000	-2134	-1800
21B-21B	35000	-2134	-1800
22B-22B	38000	-2134	-1800
23B-23B	41000	-2134	-1400

Section	Tendon service side span 6L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	2738	-2068
10B-10B	3000	2651	-2372
11B-11B	6000	2084	-2206
12B-12B	9000	1838	-2067
13B-13B	12000	1838	-1960
14B-14B	15000	1838	-1877
15B-15B	18000	1838	-1824
16B-16B	21000	1838	-1800
17B-17B	23000	1838	-1800
18B-18B	26000	1838	-1800
19B-19B	29000	1838	-1800
20B-20B	32000	1838	-1800
21B-21B	35000	1838	-1800
22B-22B	38000	1838	-1800
23B-23B	41000	1838	-1400

Section	Tendon service side span 6R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9B-9B	0	-2738	-2068
10B-10B	3000	-2651	-2372
11B-11B	6000	-2084	-2206
12B-12B	9000	-1838	-2067
13B-13B	12000	-1838	-1960
14B-14B	15000	-1838	-1877
15B-15B	18000	-1838	-1824
16B-16B	21000	-1838	-1800
17B-17B	23000	-1838	-1800
18B-18B	26000	-1838	-1800
19B-19B	29000	-1838	-1800
20B-20B	32000	-1838	-1800
21B-21B	35000	-1838	-1800
22B-22B	38000	-1838	-1800
23B-23B	41000	-1838	-1400

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service side span 7L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	3027	-2267
9B-9B	3000	2939	-2568
10B-10B	6000	2372	-2372
11B-11B	9000	1805	-2205
12B-12B	12000	1538	-2067
13B-13B	15000	1538	-1958
14B-14B	18000	1538	-1677
15B-15B	21000	1538	-1824
16B-16B	24000	1538	-1800
17B-17B	26000	1538	-1800
18B-18B	29000	1538	-1800
19B-19B	32000	1538	-1800
20B-20B	35000	1538	-1800
21B-21B	38000	1538	-1800
22B-22B	41000	1538	-1800
23B-23B	44000	1538	-1400

Section	Tendon service side span 7R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	-3027	-2267
9B-9B	3000	-2939	-2568
10B-10B	6000	-2372	-2372
11B-11B	9000	-1805	-2205
12B-12B	12000	-1538	-2067
13B-13B	15000	-1538	-1958
14B-14B	18000	-1538	-1677
15B-15B	21000	-1538	-1824
16B-16B	24000	-1538	-1800
17B-17B	26000	-1538	-1800
18B-18B	29000	-1538	-1800
19B-19B	32000	-1538	-1800
20B-20B	35000	-1538	-1800
21B-21B	38000	-1538	-1800
22B-22B	41000	-1538	-1800
23B-23B	44000	-1538	-1400

Section	Tendon service side span 8L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	2710	-2267
9B-9B	3000	2651	-2568
10B-10B	6000	2084	-2372
11B-11B	9000	1517	-2205
12B-12B	12000	1238	-2067
13B-13B	15000	1238	-1958
14B-14B	18000	1238	-1677
15B-15B	21000	1238	-1824
16B-16B	24000	1238	-1800
17B-17B	26000	1238	-1800

Section	Tendon service side span 8R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8B-8B	0	-2710	-2267
9B-9B	3000	-2651	-2568
10B-10B	6000	-2084	-2372
11B-11B	9000	-1517	-2205
12B-12B	12000	-1238	-2067
13B-13B	15000	-1238	-1958
14B-14B	18000	-1238	-1677
15B-15B	21000	-1238	-1824
16B-16B	24000	-1238	-1800
17B-17B	26000	-1238	-1800

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service side span 8L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
18B-18B	29000	1238	-1800
19B-19B	32000	1238	-1800
20B-20B	35000	1238	-1800
21B-21B	38000	1238	-1800
22B-22B	41000	1238	-1800
23B-23B	44000	1238	-1400

Section	Tendon service side span 8R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
18B-18B	29000	-1238	-1800
19B-19B	32000	-1238	-1800
20B-20B	35000	-1238	-1800
21B-21B	38000	-1238	-1800
22B-22B	41000	-1238	-1800
23B-23B	44000	-1238	-1400

Section	Tendon service side span 9L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7B-7B	0	3030	-2488
8B-8B	3000	2919	-2792
9B-9B	6000	2372	-2568
10B-10B	9000	1805	-2372
11B-11B	12000	1227	-2205
12B-12B	15000	929	-2067
13B-13B	18000	929	-1958
14B-14B	21000	929	-1677
15B-15B	24000	929	-1824
16B-16B	27000	929	-1800
17B-17B	29000	929	-1800
18B-18B	32000	929	-1800
19B-19B	35000	929	-1800
20B-20B	38000	929	-1800
21B-21B	41000	929	-1800
22B-22B	44000	929	-1800
23B-23B	47000	929	-1400

Section	Tendon service side span 9R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7B-7B	0	-3030	-2488
8B-8B	3000	-2919	-2792
9B-9B	6000	-2372	-2568
10B-10B	9000	-1805	-2372
11B-11B	12000	-1227	-2205
12B-12B	15000	-929	-2067
13B-13B	18000	-929	-1958
14B-14B	21000	-929	-1677
15B-15B	24000	-929	-1824
16B-16B	27000	-929	-1800
17B-17B	29000	-929	-1800
18B-18B	32000	-929	-1800
19B-19B	35000	-929	-1800
20B-20B	38000	-929	-1800
21B-21B	41000	-929	-1800
22B-22B	44000	-929	-1800
23B-23B	47000	-929	-1400

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 1L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
15A-15A	0	3030	-1358
16A-16A	3000	3105	-1830
16A-16A	5000	3105	-1830
15A-15A	8000	3030	-1358

Section	Tendon service main span 1R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
15A-15A	0	-3030	-1358
16A-16A	3000	-3105	-1830
16A-16A	5000	-3105	-1830
15A-15A	8000	-3030	-1358

Section	Tendon service main span 2L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
14A-14A	0	3030	-1408
15A-15A	3000	2939	-1830
16A-16A	6000	2875	-1830
16A-16A	8000	2875	-1830
15A-15A	11000	2939	-1830
14A-14A	14000	3030	-1408

Section	Tendon service main span 2R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
14A-14A	0	-3030	-1408
15A-15A	3000	-2939	-1830
16A-16A	6000	-2875	-1830
16A-16A	8000	-2875	-1830
15A-15A	11000	-2939	-1830
14A-14A	14000	-3030	-1408

Section	Tendon service main span 3L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	0	3030	-1488
14A-14A	3000	2944	-1880
15A-15A	6000	2645	-1830
16A-16A	9000	2645	-1830
16A-16A	11000	2645	-1830
15A-15A	14000	2645	-1830
14A-14A	17000	2944	-1880
13A-13A	20000	3030	-1488

Section	Tendon service main span 3R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	0	-3030	-1488
14A-14A	3000	-2944	-1880
15A-15A	6000	-2645	-1830
16A-16A	9000	-2645	-1830
16A-16A	11000	-2645	-1830
15A-15A	14000	-2645	-1830
14A-14A	17000	-2944	-1880
13A-13A	20000	-3030	-1488

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 4L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	0	2737	-1488.00
14A-14A	3000	2644	-1880.00
15A-15A	6000	2415	-1830.00
16A-16A	9000	2415	-1830.00
16A-16A	11000	2415	-1830.00
15A-15A	14000	2415	-1830.00
14A-14A	17000	2644	-1880.00
13A-13A	20000	2737	-1488.00

Section	Tendon service main span 4R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	0	-2737	-1488.00
14A-14A	3000	-2644	-1880.00
15A-15A	6000	-2415	-1830.00
16A-16A	9000	-2415	-1830.00
16A-16A	11000	-2415	-1830.00
15A-15A	14000	-2415	-1830.00
14A-14A	17000	-2644	-1880.00
13A-13A	20000	-2737	-1488.00

Section	Tendon service main span 5L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12A-12A	0	3030	-1598.00
13A-13A	3000	2944	-1960.00
14A-14A	6000	2377	-1880.00
15A-15A	9000	2185	-1830.00
16A-16A	12000	2185	-1830.00
16A-16A	14000	2185	-1830.00
15A-15A	17000	2185	-1830.00
14A-14A	20000	2377	-1880.00
13A-13A	23000	2944	-1960
12A-12A	26000	3030	-1598

Section	Tendon service main span 5R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12A-12A	0	-3030	-1598.00
13A-13A	3000	-2944	-1960.00
14A-14A	6000	-2377	-1880.00
15A-15A	9000	-2185	-1830.00
16A-16A	12000	-2185	-1830.00
16A-16A	14000	-2185	-1830.00
15A-15A	17000	-2185	-1830.00
14A-14A	20000	-2377	-1880.00
13A-13A	23000	-2944	-1960
12A-12A	26000	-3030	-1598

Section	Tendon service main span 6L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11A-11A	0	3030	-1758.00
12A-12A	3000	2944	-2070.00
13A-13A	6000	2377	-1960.00
14A-14A	9000	1955	-1880.00

Section	Tendon service main span 6R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11A-11A	0	-3030	-1758.00
12A-12A	3000	-2944	-2070.00
13A-13A	6000	-2377	-1960.00
14A-14A	9000	-1955	-1880.00

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 6L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
15A-15A	12000	1955	-1830.00
16A-16A	15000	1955	-1830.00
16A-16A	17000	1955	-1830.00
15A-15A	20000	1955	-1830.00
14A-14A	23000	1955	-1880
13A-13A	26000	2377	-1960
12A-12A	29000	2944	-2070
11A-11A	32000	3030	-1758

Section	Tendon service main span 6R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
15A-15A	12000	-1955	-1830.00
16A-16A	15000	-1955	-1830.00
16A-16A	17000	-1955	-1830.00
15A-15A	20000	-1955	-1830.00
14A-14A	23000	-1955	-1880
13A-13A	26000	-2377	-1960
12A-12A	29000	-2944	-2070
11A-11A	32000	-3030	-1758

Section	Tendon service main span 7L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11A-11A	0	2737	-1758.00
12A-12A	3000	2644	-2070.00
13A-13A	6000	2077	-1960.00
14A-14A	9000	1725	-1880.00
15A-15A	12000	1725	-1830.00
16A-16A	15000	1725	-1830.00
16A-16A	17000	1725	-1830.00
15A-15A	20000	1725	-1830.00
14A-14A	23000	1725	-1880
13A-13A	26000	2077	-1960
12A-12A	29000	2644	-2070
11A-11A	32000	2737	-1758

Section	Tendon service main span 7R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
11A-11A	0	-2737	-1758.00
12A-12A	3000	-2644	-2070.00
13A-13A	6000	-2077	-1960.00
14A-14A	9000	-1725	-1880.00
15A-15A	12000	-1725	-1830.00
16A-16A	15000	-1725	-1830.00
16A-16A	17000	-1725	-1830.00
15A-15A	20000	-1725	-1830.00
14A-14A	23000	-1725	-1880
13A-13A	26000	-2077	-1960
12A-12A	29000	-2644	-2070
11A-11A	32000	-2737	-1758

Section	Tendon service main span 8L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10A-10A	0	3030	-1918.00
11A-11A	3000	2944	-2230.00
12A-12A	6000	2377	-2070.00

Section	Tendon service main span 8R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10A-10A	0	-3030	-1918.00
11A-11A	3000	-2944	-2230.00
12A-12A	6000	-2377	-2070.00

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 8L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	9000	1810	-1960.00
14A-14A	12000	1495	-1880.00
15A-15A	15000	1495	-1830.00
16A-16A	18000	1495	-1830.00
16A-16A	20000	1495	-1830.00
15A-15A	23000	1495	-1830
14A-14A	26000	1495	-1880
13A-13A	29000	1810	-1960
12A-12A	32000	2377	-2070
11A-11A	35000	2944	-2230
10A-10A	38000	3030	-1918

Section	Tendon service main span 8R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	9000	-1810	-1960.00
14A-14A	12000	-1495	-1880.00
15A-15A	15000	-1495	-1830.00
16A-16A	18000	-1495	-1830.00
16A-16A	20000	-1495	-1830.00
15A-15A	23000	-1495	-1830
14A-14A	26000	-1495	-1880
13A-13A	29000	-1810	-1960
12A-12A	32000	-2377	-2070
11A-11A	35000	-2944	-2230
10A-10A	38000	-3030	-1918

Section	Tendon service main span 9L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10A-10A	0	2737	-1918.00
11A-11A	3000	2644	-2230.00
12A-12A	6000	2077	-2070.00
13A-13A	9000	1510	-1960.00
14A-14A	12000	1265	-1880.00
15A-15A	15000	1265	-1830.00
16A-16A	18000	1265	-1830.00
16A-16A	20000	1265	-1830.00
15A-15A	23000	1265	-1830
14A-14A	26000	1265	-1880
13A-13A	29000	1510	-1960
12A-12A	32000	2077	-2070
11A-11A	35000	2644	-2230
10A-10A	38000	2737	-1918

Section	Tendon service main span 9R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10A-10A	0	-2737	-1918.00
11A-11A	3000	-2644	-2230.00
12A-12A	6000	-2077	-2070.00
13A-13A	9000	-1510	-1960.00
14A-14A	12000	-1265	-1880.00
15A-15A	15000	-1265	-1830.00
16A-16A	18000	-1265	-1830.00
16A-16A	20000	-1265	-1830.00
15A-15A	23000	-1265	-1830
14A-14A	26000	-1265	-1880
13A-13A	29000	-1510	-1960
12A-12A	32000	-2077	-2070
11A-11A	35000	-2644	-2230
10A-10A	38000	-2737	-1918



## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 10L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9A-9A	0	3030	-2068.00
10A-10A	3000	2944	-2390.00
11A-11A	6000	2377	-2230.00
12A-12A	9000	1810	-2070.00
13A-13A	12000	1243	-1960.00
14A-14A	15000	1035	-1880.00
15A-15A	18000	1035	-1830.00
16A-16A	21000	1035	-1830.00
16A-16A	23000	1035	-1830
15A-15A	26000	1035	-1830
14A-14A	29000	1035	-1880
13A-13A	32000	1243	-1960
12A-12A	35000	1810	-2070
11A-11A	38000	2377	-2230
10A-10A	41000	2944	-2390
9A-9A	44000	3030	-2068

Section	Tendon service main span 10R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9A-9A	0	-3030	-2068.00
10A-10A	3000	-2944	-2390.00
11A-11A	6000	-2377	-2230.00
12A-12A	9000	-1810	-2070.00
13A-13A	12000	-1243	-1960.00
14A-14A	15000	-1035	-1880.00
15A-15A	18000	-1035	-1830.00
16A-16A	21000	-1035	-1830.00
16A-16A	23000	-1035	-1830
15A-15A	26000	-1035	-1830
14A-14A	29000	-1035	-1880
13A-13A	32000	-1243	-1960
12A-12A	35000	-1810	-2070
11A-11A	38000	-2377	-2230
10A-10A	41000	-2944	-2390
9A-9A	44000	-3030	-2068

Section	Tendon service main span 11L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9A-9A	0	2737	-2068.00
10A-10A	3000	2644	-2390.00
11A-11A	6000	2077	-2230.00
12A-12A	9000	1510	-2070.00
13A-13A	12000	953	-1960.00
14A-14A	15000	812	-1880.00
15A-15A	18000	812	-1830.00
16A-16A	21000	812	-1830.00
16A-16A	23000	812	-1830
15A-15A	26000	812	-1830
14A-14A	29000	812	-1880

Section	Tendon service main span 11R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
9A-9A	0	-2737	-2068.00
10A-10A	3000	-2644	-2390.00
11A-11A	6000	-2077	-2230.00
12A-12A	9000	-1510	-2070.00
13A-13A	12000	-953	-1960.00
14A-14A	15000	-812	-1880.00
15A-15A	18000	-812	-1830.00
16A-16A	21000	-812	-1830.00
16A-16A	23000	-812	-1830
15A-15A	26000	-812	-1830
14A-14A	29000	-812	-1880

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 11L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	32000	953	-1960
12A-12A	35000	1510	-2070
11A-11A	38000	2077	-2230
10A-10A	41000	2644	-2390
9A-9A	44000	2737	-2068

Section	Tendon service main span 11R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
13A-13A	32000	-953	-1960
12A-12A	35000	-1510	-2070
11A-11A	38000	-2077	-2230
10A-10A	41000	-2644	-2390
9A-9A	44000	-2737	-2068

Section	Tendon service main span 12L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8A-8A	0	3030	-2348.00
9A-9A	3000	3203	-2540.00
10A-10A	6000	3335	-2390.00
11A-11A	9000	3335	-2230.00
12A-12A	12000	3335	-2070.00
13A-13A	15000	3335	-1960.00
14A-14A	18000	3335	-1880.00
15A-15A	21000	3335	-1830.00
16A-16A	24000	3335	-1830
16A-16A	26000	3335	-1830
15A-15A	29000	3335	-1830
14A-14A	32000	3335	-1880
13A-13A	35000	3335	-1960
12A-12A	38000	3335	-2070
11A-11A	41000	3335	-2230
10A-10A	44000	3335	-2390
9A-9A	47000	3220	-2540
8A-8A	50000	3030	-2348

Section	Tendon service main span 12R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8A-8A	0	-3030	-2348.00
9A-9A	3000	-3203	-2540.00
10A-10A	6000	-3335	-2390.00
11A-11A	9000	-3335	-2230.00
12A-12A	12000	-3335	-2070.00
13A-13A	15000	-3335	-1960.00
14A-14A	18000	-3335	-1880.00
15A-15A	21000	-3335	-1830.00
16A-16A	24000	-3335	-1830
16A-16A	26000	-3335	-1830
15A-15A	29000	-3335	-1830
14A-14A	32000	-3335	-1880
13A-13A	35000	-3335	-1960
12A-12A	38000	-3335	-2070
11A-11A	41000	-3335	-2230
10A-10A	44000	-3335	-2390
9A-9A	47000	-3220	-2540
8A-8A	50000	-3030	-2348

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 13L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8A-8A	0	2737	-2348.00
9A-9A	3000	2644	-2540.00
10A-10A	6000	2077	-2390.00
11A-11A	9000	1510	-2230.00
12A-12A	12000	930	-2070.00
13A-13A	15000	573	-1960.00
14A-14A	18000	573	-1880.00
15A-15A	21000	573	-1830.00
16A-16A	24000	573	-1830
16A-16A	26000	573	-1830
15A-15A	29000	573	-1830
14A-14A	32000	573	-1880
13A-13A	35000	573	-1960
12A-12A	38000	930	-2070
11A-11A	41000	1510	-2230
10A-10A	44000	2077	-2390
9A-9A	47000	2644	-2540
8A-8A	50000	2737	-2348

Section	Tendon service main span 13R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
8A-8A	0	-2737	-2348.00
9A-9A	3000	-2644	-2540.00
10A-10A	6000	-2077	-2390.00
11A-11A	9000	-1510	-2230.00
12A-12A	12000	-930	-2070.00
13A-13A	15000	-573	-1960.00
14A-14A	18000	-573	-1880.00
15A-15A	21000	-573	-1830.00
16A-16A	24000	-573	-1830
16A-16A	26000	-573	-1830
15A-15A	29000	-573	-1830
14A-14A	32000	-573	-1880
13A-13A	35000	-573	-1960
12A-12A	38000	-930	-2070
11A-11A	41000	-1510	-2230
10A-10A	44000	-2077	-2390
9A-9A	47000	-2644	-2540
8A-8A	50000	-2737	-2348

Section	Tendon service main span 14L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7A-7A	0	3030	-2598.00
8A-8A	3000	3203	-2820.00
9A-9A	6000	3565	-2540.00
10A-10A	9000	3565	-2390.00
11A-11A	12000	3565	-2230.00
12A-12A	15000	3565	-2070.00
13A-13A	18000	3565	-1960.00
14A-14A	21000	3565	-1880.00
15A-15A	24000	3565	-1830

Section	Tendon service main span 14R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7A-7A	0	-3030	-2598.00
8A-8A	3000	-3203	-2820.00
9A-9A	6000	-3565	-2540.00
10A-10A	9000	-3565	-2390.00
11A-11A	12000	-3565	-2230.00
12A-12A	15000	-3565	-2070.00
13A-13A	18000	-3565	-1960.00
14A-14A	21000	-3565	-1880.00
15A-15A	24000	-3565	-1830

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 14L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
16A-16A	27000	3565	-1830
16A-16A	29000	3565	-1830
15A-15A	32000	3565	-1830
14A-14A	35000	3565	-1880
13A-13A	38000	3565	-1960
12A-12A	41000	3565	-2070
11A-11A	44000	3565	-2230
10A-10A	47000	3565	-2390
9A-9A	50000	3565	-2540
8A-8A	53000	3203	-2820
7A-7A	56000	3030	-2598

Section	Tendon service main span 14R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
16A-16A	27000	-3565	-1830
16A-16A	29000	-3565	-1830
15A-15A	32000	-3565	-1830
14A-14A	35000	-3565	-1880
13A-13A	38000	-3565	-1960
12A-12A	41000	-3565	-2070
11A-11A	44000	-3565	-2230
10A-10A	47000	-3565	-2390
9A-9A	50000	-3565	-2540
8A-8A	53000	-3203	-2820
7A-7A	56000	-3030	-2598

Section	Tendon service main span 15L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7A-7A	0	2737	-2598.00
8A-8A	3000	2644	-2820.00
9A-9A	6000	2077	-2540.00
10A-10A	9000	1510	-2390.00
11A-11A	12000	943	-2230.00
12A-12A	15000	423	-2070.00
13A-13A	18000	345	-1960.00
14A-14A	21000	345	-1880.00
15A-15A	24000	345	-1830
16A-16A	27000	345	-1830
16A-16A	29000	345	-1830
15A-15A	32000	345	-1830
14A-14A	35000	345	-1880
13A-13A	38000	345	-1960
12A-12A	41000	423	-2070
11A-11A	44000	943	-2230

Section	Tendon service main span 15R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
7A-7A	0	-2737	-2598.00
8A-8A	3000	-2644	-2820.00
9A-9A	6000	-2077	-2540.00
10A-10A	9000	-1510	-2390.00
11A-11A	12000	-943	-2230.00
12A-12A	15000	-423	-2070.00
13A-13A	18000	-345	-1960.00
14A-14A	21000	-345	-1880.00
15A-15A	24000	-345	-1830
16A-16A	27000	-345	-1830
16A-16A	29000	-345	-1830
15A-15A	32000	-345	-1830
14A-14A	35000	-345	-1880
13A-13A	38000	-345	-1960
12A-12A	41000	-423	-2070
11A-11A	44000	-943	-2230

## Koordinat Tendon

Section	Tendon service main span 15L		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10A-10A	47000	1510	-2390
9A-9A	50000	2077	-2540
8A-8A	53000	2644	-2820
7A-7A	56000	2737	-2598

Section	Tendon service main span 15R		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10A-10A	47000	-1510	-2390
9A-9A	50000	-2077	-2540
8A-8A	53000	-2644	-2820
7A-7A	56000	-2737	-2598



KEMENTERIAN PERUMAHAN DAN KAWASAN KOTA  
DIREKTORAT JENJANG BINA WILAYAH  
SUKSES - PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN  
JALAN DAN JEMBATAN JAYA TERBUKA

Nama Proyek :  
**PEREKAYAAAN TEKNIK  
PERAWAHLAN JEMBATAN GEMBUKU  
DAN JEMBATAN SINOBOYO**

No. Paket : -  
No. Link : -  
Nama Paket / Link : **JEMBATAN SINOBOYO**  
Prevalensi : **Jaya Terbuka**

Konstitusi Perencana : **PT. DAVA CREASI 039**

*Sarif Salsabila*  
SARIF SALSABILA  
DESIGNER

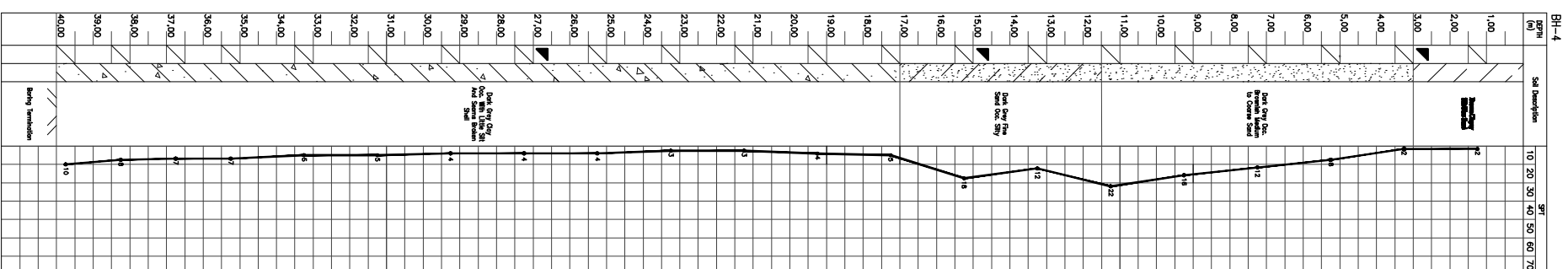
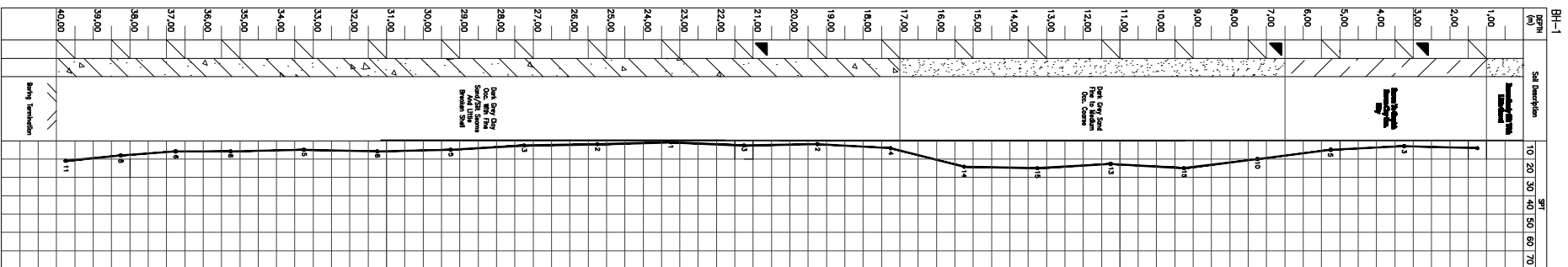
*H. HUSNUL HANZAL*  
H. HUSNUL HANZAL  
PROJECT ENGINEER

*H. HUSNUL HANZAL*  
H. HUSNUL HANZAL  
PROJECT ENGINEER

JUDUL GAMBAR :

**GAMBAR DETAIL BOR JEMBATAN SINOBOYO**

No. Lembar : **C-07**  
Skala : -  
Tanggal : -



## LAUNCHING GIRDER Model LGS 200-100

### EXECUTION

**Client:** Granite Construction Co.  
**Project:** Hathaway Bridge (Florida – USA)  
**Year of manufacture:** 2001  
**Number of pieces:** 1

### CHARACTERISTICS

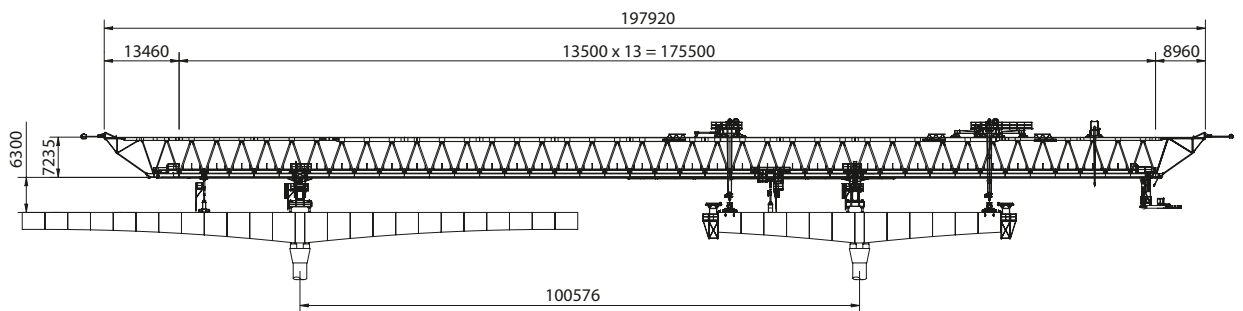
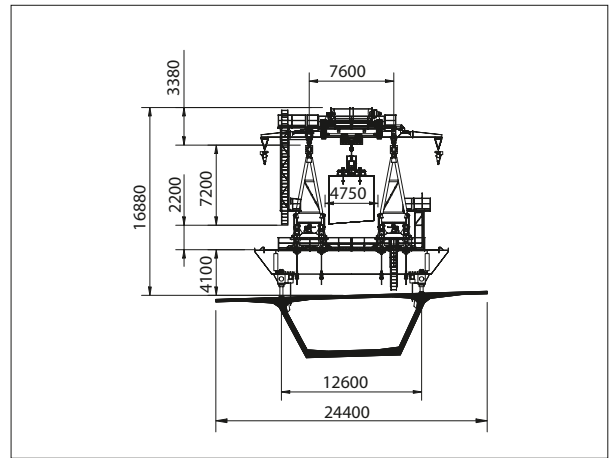
**Max span length:** 100.60 m  
**Lifting capacity:** 200 ton  
**Total weight of the equipment:** 932 ton

### MAIN TRUSSES

**Length:** 175.50 m  
**Height:** 7.20 m  
**Width:** 2.20 m  
**Distance between C/L of trusses:** 7.60 m  
**Clearance between trusses:** 4.75 m  
**Unit weight:** 1.5 ton/m x 2

### SPEEDS

**Lifting:** 0.2 ÷ 3.0 m/min  
**Travelling:** 0.5 ÷ 10.0 m/min



### 1.3 - STRAND PROPERTIES 15mm (0.6")

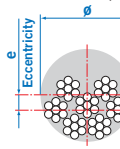
Strand type		prEN 10138 – 3 (2006) Y1860S7		ASTM A 416-06 Grade 270
Nominal diameter	d (mm)	15.3	15.7	15.24
Nominal cross section	A <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )	140	150	140
Nominal mass	M (kg/m)	1.093	1.172	1.102
Nominal yield strength	f <sub>p0.1k</sub> (MPa)	1636 <sup>1)</sup>	1640 <sup>1)</sup>	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.



# TPF NORMAL

## FIXED TENS POT BEARINGS $V_{Sd-SEISM}/N_{Sd-SLU}=10\%$

BEARING	SEISMIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION SLS		OVERALL SIZE	NET WEIGHT (ANCHORAGES EXCLUDED)	POT DIAMETER	PISTON DIAMETER	PIN DIAMETER	PIN PROTRUSION	BOTTOM ANCHOR DOWELS	
	$N_{Sd-Seism}$ (kN)	$V_{Sd-Seism}$ (kN)	$N_{Sd-SLU}$ (kN)	$V_{Sd-SLU}$ (kN)	$N_{Sd-SLE}$ (kN)	$V_{Sd-SLE}$ (kN)								Do x Do x Htot (mm)
TPF 500/50	340	50	500	25	360	20	175 x 175 x 50	10	175	170	20	15	2	30
TPF 1000/100	670	100	1000	50	720	40	235 x 235 x 50	16	235	230	20	15	2	30
TPF 1500/150	1000	150	1500	75	1080	50	255 x 255 x 59	23	255	250	30	15	4	30
TPF 2000/200	1340	200	2000	100	1430	70	305 x 305 x 59	30	305	300	30	15	4	30
TPF 2500/250	1670	250	2500	125	1790	90	315 x 315 x 64	35	315	310	40	15	4	30
TPF 3000/300	2000	300	3000	150	2150	100	340 x 340 x 64	40	340	330	40	15	4	30
TPF 3500/350	2340	350	3500	175	2500	120	375 x 375 x 69	51	375	360	40	15	4	30
TPF 4000/400	2670	400	4000	200	2860	140	395 x 395 x 73	61	395	375	40	16	4	40
TPF 4500/450	3000	450	4500	225	3220	150	420 x 420 x 72	67	420	400	50	15	4	40
TPF 5000/500	3340	500	5000	250	3580	170	445 x 445 x 82	84	445	420	50	16	4	40
TPF 6000/600	4000	600	6000	300	4290	200	480 x 480 x 90	111	480	450	50	18	4	50
TPF 7000/700	4670	700	7000	350	5000	240	515 x 515 x 94	128	515	480	60	18	4	50
TPF 8000/800	5340	800	8000	400	5720	270	555 x 555 x 93	147	555	510	60	20	4	50
TPF 9000/900	6000	900	9000	450	6430	300	595 x 595 x 107	202	595	545	70	19	4	60
TPF 10000/1000	6670	1000	10000	500	7150	340	630 x 630 x 107	221	630	570	70	21	4	60
TPF 11000/1100	7340	1100	11000	550	7860	370	655 x 655 x 111	245	655	595	70	22	4	60
TPF 12000/1200	8000	1200	12000	600	8580	400	685 x 685 x 130	318	685	620	70	24	4	60
TPF 13000/1300	8670	1300	13000	650	9290	440	710 x 710 x 119	300	710	640	80	23	4	60
TPF 14000/1400	9340	1400	14000	700	10000	470	755 x 755 x 133	393	755	680	80	24	4	70
TPF 15000/1500	10000	1500	15000	750	10720	500	770 x 770 x 133	406	770	690	80	25	4	70
TPF 16000/1600	10670	1600	16000	800	11430	540	790 x 790 x 132	421	790	705	90	24	4	70
TPF 17000/1700	11340	1700	17000	850	12150	570	820 x 820 x 140	476	820	730	90	26	4	70
TPF 18000/1800	12000	1800	18000	900	12860	600	850 x 850 x 140	528	850	755	90	27	4	90
TPF 19000/1900	12670	1900	19000	950	13580	640	870 x 870 x 149	591	870	770	90	28	4	90
TPF 20000/2000	13340	2000	20000	1000	14290	670	890 x 890 x 148	601	890	790	90	29	4	90
TPF 22500/2100	15000	2100	22500	1050	16080	700	985 x 985 x 158	772	985	880	100	28	4	90
TPF 25000/2200	16670	2200	25000	1100	17860	740	990 x 990 x 177	883	990	880	100	29	4	90
TPF 27500/2300	18340	2300	27500	1150	19650	770	1035 x 1035 x 167	882	1035	920	100	30	4	90
TPF 30000/2400	20000	2400	30000	1200	21430	800	1070 x 1070 x 176	991	1070	950	100	31	4	90
TPF 32500/2500	21670	2500	32500	1250	23220	840	1115 x 1115 x 176	1063	1115	990	110	30	4	90
TPF 35000/2600	23340	2600	35000	1300	25000	870	1210 x 1210 x 185	1292	1210	1090	110	31	4	90
TPF 37500/2700	25000	2700	37500	1350	26790	900	1220 x 1220 x 185	1313	1220	1090	110	32	4	90
TPF 40000/2800	26670	2800	40000	1400	28580	940	1275 x 1275 x 195	1505	1275	1140	110	33	4	90
TPF 45000/3200	30000	3200	45000	1600	32150	1070	1340 x 1340 x 203	1731	1340	1190	120	34	4	100
TPF 50000/3500	33340	3500	50000	1750	35720	1170	1385 x 1385 x 223	2067	1385	1240	130	34	4	100
TPF 55000/3900	36670	3900	55000	1950	39290	1300	1450 x 1450 x 223	2234	1450	1290	130	37	4	100
TPF 60000/4200	40000	4200	60000	2100	42860	1400	1505 x 1505 x 230	2485	1505	1340	140	37	4	100
TPF 65000/4600	43340	4600	65000	2300	46430	1540	1570 x 1570 x 249	2956	1570	1390	140	42	8	90
TPF 70000/4900	46670	4900	70000	2450	50000	1640	1625 x 1625 x 248	3110	1625	1440	150	42	8	90
TPF 75000/5300	50000	5300	75000	2650	53580	1770	1685 x 1685 x 256	3456	1685	1490	160	42	8	90
TPF 80000/5600	53340	5600	80000	2800	57150	1870	1745 x 1745 x 257	3679	1745	1540	160	44	8	90
TPF 90000/6300	60000	6300	90000	3150	64290	2100	1860 x 1860 x 279	4592	1860	1640	180	44	8	100

# TPF HIGH

## FIXED TENS POT BEARINGS $V_{Sd-SEISM}/N_{Sd-SLU}=30\%$

BEARING	SEISMIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION SLS		OVERALL SIZE	NET WEIGHT (ANCHORAGES EXCLUDED)	POT DIAMETER	PISTON DIAMETER	PIN DIAMETER	PIN PROTRUSION	BOTTOM ANCHOR DOWELS	
	$N_{Sd-SEISM}$ (kN)	$V_{Sd-SEISM}$ (kN)	$N_{Sd-SLU}$ (kN)	$V_{Sd-SLU}$ (kN)	$N_{Sd-SLE}$ (kN)	$V_{Sd-SLE}$ (kN)								Do x Do x Htot (mm)
TPF 500/150	340	150	500	75	360	50	175 x 175 x 49	11	175	170	30	15	4	30
TPF 1000/300	670	300	1000	150	720	100	235 x 235 x 53	19	235	230	40	15	4	30
TPF 1500/450	1000	450	1500	225	1080	150	270 x 270 x 60	29	270	250	50	17	4	40
TPF 2000/600	1340	600	2000	300	1430	200	330 x 330 x 69	48	330	300	50	18	4	50
TPF 2500/750	1670	750	2500	375	1790	250	345 x 345 x 77	58	345	310	60	21	4	50
TPF 3000/900	2000	900	3000	450	2150	300	375 x 375 x 80	77	375	330	70	23	4	60
TPF 3500/1050	2340	1050	3500	525	2500	350	415 x 415 x 89	97	415	360	70	24	4	60
TPF 4000/1200	2670	1200	4000	600	2860	400	445 x 445 x 82	98	445	375	70	26	4	60
TPF 4500/1350	3000	1350	4500	675	3220	450	470 x 470 x 89	128	470	400	80	27	4	70
TPF 5000/1500	3340	1500	5000	750	3580	500	505 x 505 x 100	156	505	420	80	28	4	70
TPF 6000/1800	4000	1800	6000	900	4290	600	540 x 540 x 111	213	540	450	90	31	4	90
TPF 7000/2100	4670	2100	7000	1050	5000	700	600 x 600 x 112	249	600	490	100	33	4	90
TPF 8000/2400	5340	2400	8000	1200	5720	800	640 x 640 x 120	295	640	520	100	35	4	90
TPF 9000/2700	6000	2700	9000	1350	6430	900	675 x 675 x 137	361	675	545	110	37	4	90
TPF 10000/3000	6670	3000	10000	1500	7150	1000	720 x 720 x 139	425	720	570	120	39	4	100
TPF 11000/3300	7340	3300	11000	1650	7860	1100	755 x 755 x 137	453	755	595	120	41	4	100
TPF 12000/3600	8000	3600	12000	1800	8580	1200	785 x 785 x 146	504	785	620	130	43	4	100
TPF 13000/3900	8670	3900	13000	1950	9290	1300	800 x 800 x 152	553	800	640	130	44	4	100
TPF 14000/4200	9340	4200	14000	2100	10000	1400	860 x 860 x 153	626	860	680	140	45	4	100
TPF 15000/4500	10000	4500	15000	2250	10720	1500	880 x 880 x 153	672	880	690	140	47	8	90
TPF 16000/4800	10670	4800	16000	2400	11430	1600	910 x 910 x 169	780	910	705	150	49	8	90
TPF 17000/5100	11340	5100	17000	2550	12150	1700	940 x 940 x 177	870	940	730	150	50	8	90
TPF 18000/5400	12000	5400	18000	2700	12860	1800	985 x 985 x 180	948	985	755	160	51	8	90
TPF 19000/5700	12670	5700	19000	2850	13580	1900	1000 x 1000 x 186	1041	1000	770	160	55	8	100
TPF 20000/6000	13340	6000	20000	3000	14290	2000	1015 x 1015 x 194	1116	1015	790	160	56	8	100
TPF 22500/6300	15000	6300	22500	3150	16080	2100	1115 x 1115 x 195	1311	1115	880	180	53	8	100
TPF 25000/6600	16670	6600	25000	3300	17860	2200	1130 x 1130 x 195	1338	1130	880	180	55	8	100
TPF 27500/6900	18340	6900	27500	3450	19650	2300	1160 x 1160 x 209	1505	1160	920	190	55	8	100
TPF 30000/7200	20000	7200	30000	3600	21430	2400	1205 x 1205 x 212	1610	1205	950	190	56	8	100
TPF 32500/7500	21670	7500	32500	3750	23220	2500	1250 x 1250 x 221	1800	1250	990	190	56	8	100
TPF 35000/7800	23340	7800	35000	3900	25000	2600	1340 x 1340 x 224	2095	1340	1090	200	53	8	100
TPF 37500/8200	25000	8200	37500	4100	26790	2740	1365 x 1365 x 238	2306	1365	1090	200	56	8	100
TPF 40000/8600	26670	8600	40000	4300	28580	2870	1405 x 1405 x 242	2542	1405	1140	250	56	8	120
TPF 45000/9000	30000	9000	45000	4500	32150	3000	1480 x 1480 x 246	2794	1480	1190	250	56	8	120
TPF 50000/10000	33340	10000	50000	5000	35720	3340	1560 x 1560 x 257	3151	1560	1240	250	59	8	120
TPF 55000/11000	36670	11000	55000	5500	39290	3670	1625 x 1625 x 265	3505	1625	1290	250	62	12	100
TPF 60000/12000	40000	12000	60000	6000	42860	4000	1685 x 1685 x 270	3869	1685	1340	250	65	12	100
TPF 65000/13000	43340	13000	65000	6500	46430	4340	1765 x 1765 x 282	4481	1765	1390	250	68	8	130
TPF 70000/14000	46670	14000	70000	7000	50000	4670	1825 x 1825 x 302	5071	1825	1440	300	70	14	100
TPF 75000/15000	50000	15000	75000	7500	53580	5000	1900 x 1900 x 305	5523	1900	1490	300	73	12	120
TPF 80000/16000	53340	16000	80000	8000	57150	5340	1980 x 1980 x 317	6078	1980	1540	300	75	16	100
TPF 90000/17000	60000	17000	90000	8500	64290	5670	2090 x 2090 x 336	7163	2090	1640	300	75	16	100

# TPL NORMAL

## GUIDED SLIDING TENS POT BEARINGS $V_{Sd-SEISM}/N_{Sd-SLU}=10\%$

BEARING	SEISMIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION SLS		OVERALL SIZE	SLIDING PLATE PLAN DIMENSIONS	NET WEIGHT (ANCHORAGES EXCLUDED)	POT DIAMETER	PISTON DIAMETER	PIN DIAMETER	PIN PROTRUSION	BOTTOM ANCHOR DOWELS	
	$N_{Sd-SEISM}$ (kN)	$V_{Sd-SEISM}$ (kN)	$N_{Sd-SLU}$ (kN)	$V_{Sd-SLU}$ (kN)	$N_{Sd-SLE}$ (kN)	$V_{Sd-SLE}$ (kN)									Do x Do x Htot (mm)
TPL 500/50/±50	340	50	500	25	360	20	150 x 150 x 90	300 x 175	23	150	175	50	15	2	30
TPL 1000/100/±50	670	100	1000	50	720	40	215 x 215 x 89	355 x 230	37	215	230	50	15	2	30
TPL 1500/150/±50	1000	150	1500	75	1080	50	245 x 245 x 98	375 x 250	48	245	250	50	15	4	30
TPL 2000/200/±50	1340	200	2000	100	1430	70	300 x 300 x 103	425 x 300	67	300	300	30	15	4	30
TPL 2500/250/±50	1670	250	2500	125	1790	90	315 x 315 x 107	435 x 310	74	315	310	40	15	4	30
TPL 3000/300/±50	2000	300	3000	150	2150	100	340 x 340 x 106	455 x 330	87	340	330	60	15	4	30
TPL 3500/350/±50	2340	350	3500	175	2500	120	375 x 375 x 111	485 x 360	105	375	360	60	15	4	30
TPL 4000/400/±50	2670	400	4000	200	2860	140	395 x 395 x 115	500 x 375	118	395	375	40	16	4	40
TPL 4500/450/±50	3000	450	4500	225	3220	150	420 x 420 x 119	525 x 400	137	420	400	60	15	4	40
TPL 5000/500/±50	3340	500	5000	250	3580	170	445 x 445 x 124	545 x 420	154	445	420	50	16	4	40
TPL 6000/600/±50	4000	600	6000	300	4290	200	485 x 485 x 137	575 x 450	198	485	450	60	16	4	50
TPL 7000/700/±50	4670	700	7000	350	5000	240	515 x 515 x 141	605 x 480	228	515	480	60	18	4	50
TPL 8000/800/±50	5340	800	8000	400	5720	270	555 x 555 x 140	635 x 510	259	555	510	70	18	4	50
TPL 9000/900/±50	6000	900	9000	450	6430	300	595 x 595 x 154	670 x 545	328	595	545	70	19	4	60
TPL 10000/1000/±50	6670	1000	10000	500	7150	340	625 x 625 x 159	695 x 570	370	625	570	70	21	4	60
TPL 11000/1100/±50	7340	1100	11000	550	7860	370	655 x 655 x 158	720 x 595	398	655	595	70	22	4	60
TPL 12000/1200/±50	8000	1200	12000	600	8580	400	685 x 685 x 172	745 x 620	473	685	620	70	24	4	60
TPL 13000/1300/±50	8670	1300	13000	650	9290	440	710 x 710 x 166	765 x 640	487	710	640	80	23	4	70
TPL 14000/1400/±50	9340	1400	14000	700	10000	470	755 x 755 x 170	805 x 680	555	755	680	80	24	4	70
TPL 15000/1500/±50	10000	1500	15000	750	10720	500	770 x 770 x 184	815 x 690	627	770	690	80	26	4	70
TPL 16000/1600/±50	10670	1600	16000	800	11430	540	790 x 790 x 184	830 x 705	654	790	705	90	25	4	70
TPL 17000/1700/±50	11340	1700	17000	850	12150	570	815 x 815 x 188	855 x 730	714	815	730	90	26	4	70
TPL 18000/1800/±50	12000	1800	18000	900	12860	600	845 x 845 x 192	880 x 755	795	845	755	90	27	4	90
TPL 19000/1900/±50	12670	1900	19000	950	13580	640	870 x 870 x 211	895 x 770	928	870	770	90	28	4	90
TPL 20000/2000/±50	13340	2000	20000	1000	14290	670	890 x 890 x 200	915 x 790	898	890	790	90	29	4	90
TPL 22500/2100/±50	15000	2100	22500	1050	16080	700	985 x 985 x 220	1005 x 880	1204	985	880	100	28	4	90
TPL 25000/2200/±50	16670	2200	25000	1100	17860	740	990 x 990 x 229	1005 x 880	1254	990	880	100	29	4	90
TPL 27500/2300/±50	18340	2300	27500	1150	19650	770	1035 x 1035 x 219	1045 x 920	1276	1035	920	100	30	4	90
TPL 30000/2400/±50	20000	2400	30000	1200	21430	800	1070 x 1070 x 238	1075 x 950	1490	1070	950	100	31	4	90
TPL 32500/2500/±50	21670	2500	32500	1250	23220	840	1115 x 1115 x 237	1115 x 990	1596	1115	990	110	30	4	90
TPL 35000/2600/±50	23340	2600	35000	1300	25000	870	1210 x 1210 x 247	1215 x 1090	1937	1210	1090	110	31	4	90
TPL 37500/2700/±50	25000	2700	37500	1350	26790	900	1220 x 1220 x 257	1215 x 1090	2062	1220	1090	110	32	4	90
TPL 40000/2800/±50	26670	2800	40000	1400	28580	940	1270 x 1270 x 267	1265 x 1140	2331	1270	1140	120	31	4	100
TPL 45000/3200/±50	30000	3200	45000	1600	32150	1070	1335 x 1335 x 275	1315 x 1190	2639	1335	1190	120	34	4	100
TPL 50000/3500/±50	33340	3500	50000	1750	35720	1170	1390 x 1390 x 297	1365 x 1240	3093	1390	1240	130	35	4	100
TPL 55000/3900/±50	36670	3900	55000	1950	39290	1300	1445 x 1445 x 320	1415 x 1290	3617	1445	1290	130	38	4	100
TPL 60000/4200/±50	40000	4200	60000	2100	42860	1400	1510 x 1510 x 313	1465 x 1340	3776	1510	1340	110	29	4	100
TPL 65000/4600/±50	43340	4600	65000	2300	46430	1540	1570 x 1570 x 322	1515 x 1390	4202	1570	1390	110	31	8	90
TPL 70000/4900/±50	46670	4900	70000	2450	50000	1640	1630 x 1630 x 322	1565 x 1440	4472	1630	1440	110	33	8	90
TPL 75000/5300/±50	50000	5300	75000	2650	53580	1770	1685 x 1685 x 347	1615 x 1490	5176	1685	1490	120	32	8	90
TPL 80000/5600/±50	53340	5600	80000	2800	57150	1870	1750 x 1750 x 349	1665 x 1540	5591	1750	1540	120	34	8	100
TPL 90000/6300/±50	60000	6300	90000	3150	64290	2100	1865 x 1865 x 365	1765 x 1640	6579	1865	1640	130	35	8	100

# TPL HIGH

## GUIDED SLIDING TENS POT BEARINGS $V_{Sd-SEISM}/N_{Sd-SLU}=30\%$

BEARING	SEISMIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION ULS		STATIC COMBINATION SLS		OVERALL SIZE	SLIDING PLATE PLAN DIMENSIONS	NET WEIGHT (ANCHORAGES EXCLUDED)	POT DIAMETER	PISTON DIAMETER	PIN DIAMETER	PIN PROTRUSION	BOTTOM ANCHOR DOWELS	
	$N_{Sd-SEISM}$ (kN)	$V_{Sd-SEISM}$ (kN)	$N_{Sd-SLU}$ (kN)	$V_{Sd-SLU}$ (kN)	$N_{Sd-SLE}$ (kN)	$V_{Sd-SLE}$ (kN)									Do x Do x Htot (mm)
TPL 500/150/±50	340	150	500	75	360	50	160 x 160 x 91	310 x 185	27	160	185	50	15	4	30
TPL 1000/300/±50	670	300	1000	150	720	100	235 x 235 x 100	355 x 230	46	235	230	60	15	4	30
TPL 1500/450/±50	1000	450	1500	225	1080	150	270 x 270 x 107	395 x 270	68	270	270	70	16	4	40
TPL 2000/600/±50	1340	600	2000	300	1430	200	330 x 330 x 111	425 x 300	89	330	300	70	18	4	50
TPL 2500/750/±50	1670	750	2500	375	1790	250	345 x 345 x 129	455 x 330	119	345	330	80	20	4	50
TPL 3000/900/±50	2000	900	3000	450	2150	300	375 x 375 x 132	485 x 360	152	375	360	90	21	4	60
TPL 3500/1050/±50	2340	1050	3500	525	2500	350	415 x 415 x 141	500 x 375	175	415	375	80	23	4	60
TPL 4000/1200/±50	2670	1200	4000	600	2860	400	445 x 445 x 139	525 x 400	196	445	400	90	25	4	60
TPL 4500/1350/±50	3000	1350	4500	675	3220	450	480 x 480 x 143	545 x 420	233	480	420	90	26	4	70
TPL 5000/1500/±50	3340	1500	5000	750	3580	500	500 x 500 x 166	560 x 435	284	500	435	90	28	4	70
TPL 6000/1800/±50	4000	1800	6000	900	4290	600	545 x 545 x 175	600 x 475	375	545	475	100	30	4	90
TPL 7000/2100/±50	4670	2100	7000	1050	5000	700	600 x 600 x 179	630 x 505	428	600	505	100	32	4	90
TPL 8000/2400/±50	5340	2400	8000	1200	5720	800	625 x 625 x 190	660 x 535	493	625	535	110	34	4	90
TPL 9000/2700/±50	6000	2700	9000	1350	6430	900	675 x 675 x 191	695 x 570	556	675	570	120	36	4	90
TPL 10000/3000/±50	6670	3000	10000	1500	7150	1000	720 x 720 x 211	720 x 595	693	720	595	120	38	4	100
TPL 11000/3300/±50	7340	3300	11000	1650	7860	1100	745 x 745 x 216	755 x 630	770	745	630	140	39	4	100
TPL 12000/3600/±50	8000	3600	12000	1800	8580	1200	785 x 785 x 228	785 x 660	882	785	660	150	40	4	100
TPL 13000/3900/±50	8670	3900	13000	1950	9290	1300	800 x 800 x 234	805 x 680	952	800	680	150	42	4	100
TPL 14000/4200/±50	9340	4200	14000	2100	10000	1400	860 x 860 x 235	820 x 695	1021	860	695	100	39	4	100
TPL 15000/4500/±50	10000	4500	15000	2250	10720	1500	880 x 880 x 245	840 x 715	1134	880	715	140	31	8	90
TPL 16000/4800/±50	10670	4800	16000	2400	11430	1600	910 x 910 x 251	865 x 740	1238	910	740	110	42	8	90
TPL 17000/5100/±50	11340	5100	17000	2550	12150	1700	940 x 940 x 249	885 x 760	1349	940	760	150	74	8	90
TPL 18000/5400/±50	12000	5400	18000	2700	12860	1800	985 x 985 x 262	910 x 785	1454	985	785	120	46	8	90
TPL 19000/5700/±50	12670	5700	19000	2850	13580	1900	1005 x 1005 x 271	925 x 800	1606	1005	800	120	48	8	100
TPL 20000/6000/±50	13340	6000	20000	3000	14290	2000	1030 x 1030 x 280	950 x 825	1817	1030	825	170	96	8	100
TPL 22500/6300/±50	15000	6300	22500	3150	16080	2100	1105 x 1105 x 283	1005 x 880	1950	1105	880	160	34	8	100
TPL 25000/6600/±50	16670	6600	25000	3300	17860	2200	1120 x 1120 x 283	1015 x 890	2001	1120	890	160	35	8	100
TPL 27500/6900/±50	18340	6900	27500	3450	19650	2300	1170 x 1170 x 295	1050 x 925	2231	1170	925	160	35	8	100
TPL 30000/7200/±50	20000	7200	30000	3600	21430	2400	1205 x 1205 x 294	1080 x 955	2338	1205	955	160	35	8	100
TPL 32500/7500/±50	21670	7500	32500	3750	23220	2500	1235 x 1235 x 318	1120 x 995	2669	1235	995	140	41	8	100
TPL 35000/7800/±50	23340	7800	35000	3900	25000	2600	1340 x 1340 x 316	1215 x 1090	3093	1340	1090	160	37	8	100
TPL 37500/8200/±50	25000	8200	37500	4100	26790	2740	1365 x 1365 x 320	1215 x 1090	3190	1365	1090	160	39	8	100
TPL 40000/8600/±50	26670	8600	40000	4300	28580	2870	1425 x 1425 x 321	1265 x 1140	3505	1425	1140	160	40	8	120
TPL 45000/9000/±50	30000	9000	45000	4500	32150	3000	1485 x 1485 x 341	1315 x 1190	4026	1485	1190	170	39	8	120
TPL 50000/10000/±50	33340	10000	50000	5000	35720	3340	1560 x 1560 x 349	1365 x 1240	4306	1560	1240	170	43	8	120
TPL 55000/11000/±50	36670	11000	55000	5500	39290	3670	1625 x 1625 x 367	1415 x 1290	4889	1625	1290	180	44	12	100
TPL 60000/12000/±50	40000	12000	60000	6000	42860	4000	1690 x 1690 x 382	1465 x 1340	5486	1690	1340	190	45	12	100
TPL 65000/13000/±50	43340	13000	65000	6500	46430	4340	1765 x 1765 x 384	1515 x 1390	6087	1765	1390	190	49	8	130
TPL 70000/14000/±50	46670	14000	70000	7000	50000	4670	1835 x 1835 x 413	1565 x 1440	6915	1835	1440	250	42	14	100
TPL 75000/15000/±50	50000	15000	75000	7500	53580	5000	1905 x 1905 x 427	1615 x 1490	7716	1905	1490	250	43	12	120
TPL 80000/16000/±50	53340	16000	80000	8000	57150	5340	1980 x 1980 x 429	1665 x 1540	8231	1980	1540	250	45	16	100
TPL 90000/17000/±50	60000	17000	90000	8500	64290	5670	2090 x 2090 x 448	1765 x 1640	9602	2090	1640	250	48	16	100

# TPM

## FREE SLIDING TENS POT BEARINGS

BEARING	SEISMIC COMBINATION ULS	STATIC COMBINATION ULS	STATIC COMBINATION SLS	OVERALL SIZE	SLIDING PLATE PLAN DIMENSIONS	NET WEIGHT (ANCHORAGES EXCLUDED)	POT DIAMETER	PISTON DIAMETER	PIN DIAMETER	PIN PROTRUSION
	N <sub>Sd-Seism</sub> (kN)	N <sub>Sd-SLU</sub> (kN)	N <sub>Sd-SLE</sub> (kN)	Do x Do x Htot (mm)	B x L (mm)	W <sub>net</sub> (kg)	Do (mm)	D' (mm)	D <sub>pin</sub> (mm)	t <sub>pin</sub> (mm)
TPM 500/±50/±20	340	500	360	175 x 175 x 76	210 x 270	20	175	170	30	15
TPM 1000/±50/±20	670	1000	720	235 x 235 x 81	270 x 330	34	235	230	30	15
TPM 1500 /±50 /±20	1000	1500	1080	255 x 255 x 80	290 x 350	39	255	250	30	15
TPM 2000 /±50 /±20	1340	2000	1430	305 x 305 x 85	340 x 400	55	305	300	30	15
TPM 2500 /±50 /±20	1670	2500	1790	315 x 315 x 90	350 x 410	60	315	310	30	15
TPM 3000 /±50 /±20	2000	3000	2150	335 x 335 x 90	370 x 430	70	335	330	30	15
TPM 3500 /±50 /±20	2340	3500	2500	365 x 365 x 95	400 x 460	85	365	360	30	15
TPM 4000 /±50 /±20	2670	4000	2860	380 x 380 x 99	415 x 475	94	380	375	30	15
TPM 4500 /±50 /±20	3000	4500	3220	405 x 405 x 99	440 x 500	105	405	400	30	15
TPM 5000 /±50 /±20	3340	5000	3580	425 x 425 x 109	460 x 520	127	425	420	30	15
TPM 6000 /±50 /±20	4000	6000	4290	460 x 460 x 113	490 x 550	149	460	450	30	15
TPM 7000 /±50 /±20	4670	7000	5000	495 x 495 x 113	520 x 580	166	495	480	30	15
TPM 8000 /±50 /±20	5340	8000	5720	530 x 530 x 117	550 x 610	200	530	510	30	15
TPM 9000 /±50 /±20	6000	9000	6430	570 x 570 x 127	585 x 645	245	570	545	30	15
TPM 10000 /±50 /±20	6670	10000	7150	600 x 600 x 132	610 x 670	276	600	570	30	15
TPM 11000 /±50 /±20	7340	11000	7860	630 x 630 x 136	635 x 695	315	630	595	30	15
TPM 12000 /±50 /±20	8000	12000	8580	655 x 655 x 136	660 x 720	336	655	620	30	15
TPM 13000 /±50 /±20	8670	13000	9290	680 x 680 x 146	680 x 740	380	680	640	30	16
TPM 14000 /±50 /±20	9340	14000	10000	720 x 720 x 150	720 x 780	444	720	680	30	16
TPM 15000 /±50 /±20	10000	15000	10720	735 x 735 x 150	730 x 790	459	735	690	40	15
TPM 16000 /±50 /±20	10670	16000	11430	755 x 755 x 150	745 x 805	479	755	705	40	15
TPM 17000 /±50 /±20	11340	17000	12150	780 x 780 x 154	770 x 830	521	780	730	40	16
TPM 18000 /±50 /±20	12000	18000	12860	810 x 810 x 154	795 x 855	552	810	755	40	16
TPM 19000 /±50 /±20	12670	19000	13580	830 x 830 x 179	810 x 870	687	830	770	40	17
TPM 20000 /±50 /±20	13340	20000	14290	855 x 855 x 178	830 x 890	710	855	790	40	17
TPM 22500 /±50 /±20	15000	22500	16080	950 x 950 x 192	920 x 980	950	950	880	40	19
TPM 25000 /±50 /±20	16670	25000	17860	965 x 965 x 192	920 x 980	969	965	880	40	20
TPM 27500 /±50 /±20	18340	27500	19650	1010 x 1010 x 206	960 x 1020	1129	1010	920	50	19
TPM 30000 /±50 /±20	20000	30000	21430	1045 x 1045 x 216	990 x 1050	1274	1045	950	50	20
TPM 32500 /±50 /±20	21670	32500	23220	1090 x 1090 x 215	1030 x 1090	1365	1090	990	50	21
TPM 35000 /±50 /±20	23340	35000	25000	1175 x 1175 x 243	1130 x 1190	1798	1175	1090	50	23
TPM 37500 /±50 /±20	25000	37500	26790	1185 x 1185 x 243	1130 x 1190	1819	1185	1090	50	24
TPM 40000 /±50 /±20	26670	40000	28580	1235 x 1235 x 262	1180 x 1240	2154	1235	1140	60	22
TPM 45000 /±50 /±20	30000	45000	32150	1305 x 1305 x 271	1230 x 1290	2460	1305	1190	60	24
TPM 50000 /±50 /±20	33340	50000	35720	1365 x 1365 x 271	1280 x 1340	2658	1365	1240	60	26
TPM 55000 /±50 /±20	36670	55000	39290	1425 x 1425 x 279	1330 x 1390	2960	1425	1290	60	28
TPM 60000 /±50 /±20	40000	60000	42860	1480 x 1480 x 298	1380 x 1440	3443	1480	1340	70	27
TPM 65000 /±50 /±20	43340	65000	46430	1540 x 1540 x 297	1430 x 1490	3676	1540	1390	70	28
TPM 70000 /±50 /±20	46670	70000	50000	1600 x 1600 x 308	1480 x 1540	4081	1600	1440	70	30
TPM 75000 /±50 /±20	50000	75000	53580	1655 x 1655 x 326	1530 x 1590	4632	1655	1490	70	32
TPM 80000 /±50 /±20	53340	80000	57150	1710 x 1710 x 335	1580 x 1640	5073	1710	1540	80	30
TPM 90000 /±50 /±20	60000	90000	64290	1835 x 1835 x 344	1680 x 1740	5918	1835	1640	80	33



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
NAMA MAHASISWA	: NAURA ASSYIFA SALMA
NRP	: 0311159000092
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Jembatan Sironoboyo Menggunakan Precast Posttensioned Box-Girder dengan Metode Balanced Cantilever
TANGGAL PROPOSAL	: 29 Oktober 2018
NO. SP-MMTA	: 086152 / IT 2. VI. 4.1 / PP. 05. 02. 00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	9/1 <sup>19</sup>	- Preliminary design penampang - Perencanaan struktur sekunder	- pembebanan	Raka Raka Raka Raka Raka Raka Raka Raka Raka Raka
2	13/1 <sup>19</sup>	- pembebanan	- perhitungan gaya prategang	
3	1/3 <sup>19</sup>	- perhitungan gaya prategang saat servis sebelum kehilangan gaya prategang	- revisi gaya prategang tendon layan - perhitungan gaya prategang cantilever	
4	3/3 <sup>19</sup>	- perhitungan gaya prategang saat servis dan kantilever + penentuan tendon	- perhitungan kehilangan gaya prategang	
5	13/3 <sup>19</sup>	- perhitungan <sup>kehilangan</sup> gaya prategang	- revisi kehilangan gaya prategang	
6	15/3 <sup>19</sup>	- perhitungan kehilangan gaya prategang - kontrol tegangan - kontrol momen rebata	- Momen batas	
7	21/3 <sup>19</sup>	- kontrol momen batas - kontrol lendutan		
8	12/4 <sup>19</sup>	- gambar layout tendon - gambar penampang girder		
9	3/5 <sup>19</sup>	- tulangan geser & torsi	revisi tulangan geser & torsi	
10	10/5 <sup>19</sup>	- revisi tulangan geser & torsi - perletakan		



## BIODATA PENULIS



Naura Assyifa Salma.

Lahir di Jember, pada tanggal 21 Maret 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Al-Furqan Jember, SMP Semesta Semarang dan SMA Semesta Semarang, kemudian penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Sipil (FTSLK) Surabaya melalui Program Sarjana dan terdaftar dengan NRP

0311154000092. Penulis adalah salah satu Mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang Studi Struktur yang mengambil judul tugas akhir “Perencanaan Jembatan Sirnobojo Menggunakan *Precast Posttensioned Box-Girder* dengan *Metode Balanced Cantilever*”. Penulis aktif dalam kegiatan organisasi tingkat departemen sebagai staff Himpunan Mahasiswa Sipil dan beberapa kegiatan kepanitiaan dari tingkat Departemen hingga tingkat Institut. Selain itu, penulis mengembangkan diri dalam bidang minat bakat sebagai Sekretaris UKM Astronomi serta bidang keilmiah dengan mengikuti dan menjuarai beberapa lomba ketekniksipilan di bidang struktur dan manajemen konstruksi serta non-ketekniksipilan seperti Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan Olimpiade MIPA Perguruan Tinggi.

Narahubung

Email : naurassyifa@yahoo.co.id