



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**PERENCANAAN STRUKTUR JALAN LAYANG
*LIGHT RAIL TRANSIT (LRT) JAKARTA STA 6+652 –
6+850 MENGGUNAKAN PRESTRESSED BOX
GIRDER DENGAN METODE BALANCE
CANTILEVER***

NANDA FATHUR ROZAQ AHMAD
NRP. 3113100077

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

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT (RC14-1501)

**STRUCTURAL DESIGN OF JAKARTA LIGHT RAIL
TRANSIT (LRT) OVERPASS ON STA 6+652 – 6+850
USING PRESTRESSED BOX GIRDER WITH
BALANCED CANTILEVER METHOD**

NANDA FATHUR ROZAQ AHMAD
NRP. 3113100077

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

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERENCANAAN STRUKTUR JALAN LAYANG *LIGHT*
RAIL TRANSIT (LRT) JAKARTA STA 6+652 - 6+850
MENGUNAKAN *PRESTRESSED BOX GIRDER*
DENGAN METODE *BALANCE CANTILEVER***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NANDA FATHUR ROZAQ AHMAD
NRP. 3113100077

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

2. Ir. Djoko Irawan, M.S. (Pembimbing II)



SURABAYA
JULI, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERENCANAAN STRUKTUR JALAN LAYANG *LIGHT*
RAIL TRANSIT (LRT) JAKARTA STA 6+652 - 6+850
MENGUNAKAN *PRESTRESSED BOX GIRDER*
DENGAN METODE BALANCE CANTILEVER**

Nama Mahasiswa : Nanda Fathur Rozaq Ahmad
NRP : 3113100077
Jurusan : Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.
Ir. Djoko Irawan. MS.

Abstrak

Kemacetan Jakarta yang semakin hari semakin parah perlu segera ditangani. Sebagai salah satu solusinya adalah dengan membangun suatu transportasi massal yang juga ramah lingkungan. Untuk itu dipilih Light Rail Transit atau disingkat dengan LRT sebagai moda transportasi massal yang menghubungkan Ibu Kota DKI Jakarta dengan kota-kota di sekitarnya. Pembangunannya dilakukan secara elevated di atas tanah ruang milik jalan tol dan non-tol. Salah satu rute dari LRT ini adalah daerah Kampung Rambutan pada STA 6+652 – 6+850, dimana berada di atas Tol Jagorawi dan Tol Pondok Pinang-TMII, sehingga tidak dimungkinkan menggunakan pier dengan jarak dekat, maka dibutuhkan jalan layang LRT dengan bentang panjang.

Dalam tugas akhir ini, direncanakan struktur jalan layang Light Rail Transit pada STA 6+652–6+850 menggunakan box girder pratekan dengan panjang 198 meter yang terdiri dari 3 bentang, masing -masing 54 meter, 90 meter, dan 54 meter. Struktur jalan layang direncanakan untuk double track. Untuk metode pelaksanaan menggunakan *balance cantilever* dengan *form traveller* karena jembatan akan di cor di tempat (cast in situ). Ketinggian penampang box girder bervariasi dari 2,7 m – 4,7 m. Perencanaan jembatan sesuai dengan peraturan RSNI T-12-2004 dan untuk pembebanan mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan PM 60. Tahun 2012 dengan faktor kombinasi mengacu pada AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance of Way Association*). Analisa kekuatan struktur diperhitungkan dalam tahap pemasangan segmen dan dalam tahap layan yaitu sistem statis tak tentu. Selanjutnya dilakukan perhitungan penulangan box kemudian kontrol stabilitas struktur yang meliputi kontrol momen retak, kontrol momen batas, kontrol torsi dan kontrol lendutan, perhitungan. Pada

perencanaan tugas akhir ini dalam pengerjaannya dibantu dengan program bantu analisa struktur Midas Civil. Hasil dari perancangan struktur berupa dimensi box, penempatan tendon, dan penulangan dituangkan dalam bentuk tabel dan gambar teknik.

Kata Kunci : LRT, beton pratekan, box girder, balance cantilever, form traveller

**STRUCTURAL DESIGN OF JAKARTA LIGHT RAIL
TRANSIT (LRT) OVERPASS ON STA 6+652 - 6+850 USING
PRESTRESSED BOX GIRDER WITH BALANCED
CANTILEVER METHOD**

Student Name : Nanda Fathur Rozaq Ahmad
NRP : 3113100077
Department : Civil Engineering FTSP – ITS
Assistant Lecturers : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.
Ir. Djoko Irawan. MS

Abstract

Traffic congestion in Jakarta, which is getting worse as time passes, should be treated as soon as possible. One of the solution is to build an eco-friendly mass transport system. Thus, Light Rail Transit (LRT) was chosen as a mass transport system that will connect Jakarta as a capital city with its surrounding cities. The construction is elevated above toll road and non-toll road land ownership. One of the LRT routes is in Kampung Rambutan on STA 6+652 – 6+850, which is elevated above Jagorawi Toll Road and Pondok Pinang-TMII Toll Road, so it is impossible to use piers within short distance and it demands long span LRT overpass.

In this final assignment, elevated Light Rail Transit structure on STA 6+652 – 6+850 is designed using prestressed box girder with 198 m in length which consists of 3 spans; 54 m, 90 m and 54 m each. The railway structure is designed as double track. Balanced cantilever using form traveller is used as construction method to accommodate cast in situ concrete construction. Box girder cross section differs from 2.7 m to 4.7 m in height. Bridge design is based on RSNI T-12-2004 code and the loading is based on Peraturan Menteri Perhubungan PM 60. Tahun 2012 with load factor is based on AREMA (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association). Structural analysis is considered in segment installation and service stage in the form of indeterminate static. Then box reinforcement is calculated and structure stability is controlled, which consists of cracking moment, limiting moment, torsion and deflection control. In this final assignment,

Midas Civil is used as structural analysis program. The result of structural design consists of box dimension, tendon placement, and reinforcement in the form of engineering drawing.

Keywords: LRT, prestressed concrete, box girder, balanced cantilever, form traveller

KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis ingin mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memudahkan dan melancarkan proses penyusunan tugas akhir yang berjudul “Perencanaan Struktur Jalan Layang *Light Rail Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 – 6+850* dengan menggunakan *Prestressed Box Girder* dengan metode *Balance 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 dan Ir. Djoko Irawan,. MS selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Endah Wahyuni, ST., M.Sc., P.hD selaku dosen wali yang telah memberikan motivasi dan penyemangat agar menyelesaikan tugas akhir.
4. Teman-teman terdekat 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 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Beton Prategang	7
2.1.1 Konsep dasar beton pratekan	7
2.1.2 Metode sistem pratekan	8
2.1.3 Kehilangan gaya pratekan.....	9
2.2 Box Girder.....	10
2.3 <i>Prestressed Segmental Box Girder</i>	10
2.3.1 Elemen struktural jembatan <i>box girder</i>	11
2.3.2 Desain elemen sambungan.....	13
2.4 Balok Pratekan Menerus Statis Tak Tentu.....	13
2.5 Metode Konstruksi	14
2.5.1 Metode perancah (<i>falsework</i>).....	15
2.5.2 Metode peluncuran (<i>incremental launching</i>)	16
2.5.3 Metode kantilever (<i>balance cantilever</i>)	17
BAB III METODOLOGI	21
3.1. Pengumpulan Data dan Literatur	22
3.2. Preliminary Desain	23
3.2.1 Mutu bahan.....	23

3.2.2	Tinggi penampang	23
3.2.3	Sisi kantilever	24
3.2.4	Slab atas	24
3.2.5	Badan <i>box</i>	25
3.2.6	Slab bawah.....	25
3.2.7	Panjang segmen <i>box</i>	25
3.3.	Menentukan Metode Konstruksi.....	25
3.4.	Perhitungan Pembebanan.....	26
3.4.1	Beban mati.....	27
3.4.2	Beban Hidup.....	27
3.4.3	Beban longitudinal / rem (LF)	28
3.4.4	Beban lateral (LR)	28
3.4.5	Beban angin (WS,WL)	29
3.4.6	Pengaruh pra-tegang (PS)	29
3.4.7	Pengaruh susut (SH) dan rangkai (CR)	29
3.4.8	Beban temperatur (T).....	29
3.4.9	Beban gempa (EQ)	30
3.4.10	Kombinasi pembebanan.....	30
3.5.	Menentukan Gaya Prategang	31
3.6.	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang.....	32
3.7.1	Perpendekan elastik beton.....	33
3.7.2	Gesekan	33
3.7.3	Slip ankur.....	34
3.7.4	Rangkai beton	35
3.7.5	Susut beton	36
3.7.6	Relaksasi baja	36
3.7.	Analisa Struktur Utama	38
3.8.	Kontrol Kekuatan dan Stabilitas	38
3.8.1	Kontrol tegangan	39
3.8.2	Kontrol momen crack	40
3.8.3	Kontrol momen batas.....	40
3.8.4	Perhitungan geser	41
3.8.5	Lendutan	41
3.9.	Penulangan Box Girder.....	42
3.10.	Perencanaan Struktur Sekunder	43

3.11.	Gambar Rencana	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Data Perencanaan	45
4.2	Data Bahan	45
4.2.1	Beton	45
4.2.2	Baja tulangan non-prategang	45
4.2.3	Baja prategang	45
4.3	Tegangan Ijin Bahan.....	46
4.3.1	Beton prategang.....	46
4.3.2	Baja Prategang.....	47
4.4	Preliminary Desain	48
4.4.1	Tinggi box girder	48
4.4.2	Properti Girder.....	49
4.5	Perencanaan Tendon Kantilever	52
4.5.1	Pembebanan saat kantilever	53
4.5.2	Perhitungan momen kantilever	54
4.5.3	Kontrol tegangan box girder saat transfer	56
4.5.4	Kehilangan gaya prategang saat transfer.....	77
4.6	Perencanaan Tendon Layan	90
4.6.1	Pembebanan tahap layan.....	90
4.6.2	Kontrol tegangan box girder saat layan	98
4.6.3	Kehilangan gaya prategang saat servis	103
4.6.4	Kontrol tegangan box girder setelah kehilangan l11	
4.7	Penulangan Box Girder	115
4.7.1	Perhitungan penulangan lentur	116
4.7.2	Perhitungan penulangan geser	119
4.7.3	Penulangan blok ujung (<i>bursting steel</i>).....	125
4.8	Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur	126
4.8.1	Kontrol momen retak	126
4.8.2	Kontrol momen batas.....	137
4.8.3	Kontrol torsi	145
4.8.4	Kontrol lendutan	150
4.9	Perencanaan Struktur Sekunder	152
4.9.1	Pembebanan parapet	152
4.9.2	Penulangan parapet.....	154

4.10	Perencanaan Perletakan	155
4.10.1	Pembebanan horizontal akibat gempa.....	156
4.10.2	Gaya pada POT <i>bearing</i>	161
4.10.3	Pemilihan POT <i>bearing</i>	163
4.11	Metode Pelaksanaan	165
4.11.1	Umum.....	165
4.11.2	Tahap Persiapan Konstruksi Jembatan.....	165
4.11.3	Tahap <i>Launching</i> Form Traveller	166
4.11.4	Tahap Pelaksanaan <i>Post Tension</i> Girder.....	172
4.11.5	Pekerjaan Grouting	173
4.11.6	Segment Closure	173
4.11.7	Metode Pemberian Tegangan pada Tendon Menerus	175
BAB V PENUTUP.....		177
5.1	Kesimpulan.....	177
5.2	Saran.....	178
DAFTAR PUSTAKA.....		179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lintas Pelayanan <i>Light Rail Transit</i> (LRT) (Adhi,2015).....	2
Gambar 1. 2 Rute LRT melewati daerah Kampung Rambutan Jakarta	3
Gambar 2. 1 Tipe Segmen <i>Box Girder</i> (Rombach,2002).....	12
Gambar 2. 2 Macam-Macam Profil Memanjang dari Jembatan segmental. (<i>Podolny, 1982</i>).....	12
Gambar 2. 3 Detail sambungan pada <i>segmental Box Girder</i> (Rombach,2002)	13
Gambar 2. 4 Tata letak kabel untuk balok menerus (Raju,1989)	14
Gambar 2. 5 Tendon layout (a) <i>Cantilever tendons</i> , (b) <i>Continuity tendons</i> (<i>Podolny, 1982</i>).....	15
Gambar 2. 6 Metode menggunakan <i>falsework</i> (VSL).....	16
Gambar 2. 7 Metode menggunakan <i>Incremental launching</i> (VSL)	17
Gambar 2. 8 <i>Balance Cantilever</i> dengan <i>Launching Gantry</i>	18
Gambar 2. 9 <i>Balance Cantilever</i> menggunakan <i>Lifting Frame</i> .	19
Gambar 2. 10 <i>Balance Cantilever</i> menggunakan <i>Crane</i>	19
Gambar 2. 11 <i>Balance Cantilever</i> menggunakan <i>Form Traveller</i>	20
Gambar 3. 1 Bagan alir pengerjaan tugas akhir	22
Gambar 3. 2 Spesifikasi kereta ringan yang digunakan	23
Gambar 3. 3 <i>Geometri of Side Cantilever</i> (Benaim, 2008)	24
Gambar 3. 4 Konfigursai slab bagian bawah (Benaim, 2008)...	25
Gambar 3. 5 Skema Beban Kereta	27
Gambar 4. 1 Desain rencana jalan layang LRT STA 6+652-6+850	48
Gambar 4. 2 Permodelan jembatan variable depth.....	49
Gambar 4. 3 Desain rencana penampang melintang joint 31	50
Gambar 4. 4 Perhitungan luasan pada penampang 20.....	50
Gambar 4. 5 Kantilever simetris pada Pier B dan C.....	52
Gambar 4. 6 Segmen S0 hingga S3.....	54

Gambar 4. 7	Perencanaan tendon pemasangan segmen S3	57
Gambar 4. 8	Diagram tegangan penampang 18 akibat pemasangan S3.....	58
Gambar 4. 9	Diagram tegangan penampang 19 akibat pemasangan S3.....	59
Gambar 4. 10	Diagram tegangan penampang 20 akibat pemasangan S3.....	60
Gambar 4. 11	Diagram tegangan penampang 21 akibat pemasangan S3.....	62
Gambar 4. 12	Diagram tegangan penampang 22 akibat pemasangan S3.....	63
Gambar 4. 13	Letak tendon pemasangan segmen S1	64
Gambar 4. 14	Letak tendon pemasangan segmen S2	65
Gambar 4. 15	Letak tendon pemasangan segmen S3	66
Gambar 4. 16	Letak tendon pemasangan segmen S4	67
Gambar 4. 17	Letak tendon pemasangan segmen S5	68
Gambar 4. 18	Letak tendon pemasangan segmen S6	69
Gambar 4. 19	Letak tendon pemasangan segmen S7	70
Gambar 4. 20	Letak tendon pemasangan segmen S8	71
Gambar 4. 21	Letak tendon pemasangan segmen S9	72
Gambar 4. 22	Letak tendon pemasangan segmen S10	73
Gambar 4. 23	Letak tendon pemasangan segmen S11	74
Gambar 4. 24	Letak tendon pemasangan segmen S12	75
Gambar 4. 25	Dimensi penampang rel (PM 60 tahun 2012)	91
Gambar 4. 26	Desain bantalan dan rel LRT	91
Gambar 4. 27	Desain parapet	92
Gambar 4. 28	Ilustrasi pembebanan kereta LRT	93
Gambar 4. 29	Input track kereta pada box girder	93
Gambar 4. 30	Input moving load pada Midas Civil	93
Gambar 4. 31	Permodelan beban rem	94
Gambar 4. 32	Input beban lateral	95
Gambar 4. 33	Lokasi penentuan gempa oleh pusjatan	96
Gambar 4. 34	<i>Response spectrum analysis Midas Civil</i>	97

Gambar 4. 35	Momen envelope akibat kombinasi beban layan	98
Gambar 4. 36	Layout tendon bawah	99
Gambar 4. 37	Penampang segmen S12 penampang 31	99
Gambar 4. 38	Diagram tegangan penampang 31 saat momen maksimum	101
Gambar 4. 39	Diagram tegangan penampang 31 saat momen minimum	102
Gambar 4. 40	Grafik tegangan pada serat atas	113
Gambar 4. 41	Grafik tegangan pada serat bawah.....	113
Gambar 4. 42	Grafik tegangan pada serat atas tanpa beban hidup	114
Gambar 4. 43	Grafik tegangan pada serat bawah tanpa beban hidup	114
Gambar 4. 44	Diagram momen lintang box girder.....	116
Gambar 4. 45	Gambar penampang melintang S20.....	123
Gambar 4. 46	Skema tegangan regangan kekuatan momen nominal	138
Gambar 4. 47	Grafik tegangan-regangan untuk strand grade 270 <i>low-relaxation strand</i>	139
Gambar 4. 48	Skema beban kereta yang menyebabkan torsi ..	146
Gambar 4. 49	Bentang tengah pada balok menerus dua ujung	151
Gambar 4. 50	Bentang tepi pada balok menerus	151
Gambar 4. 51	Desain Parapet	153
Gambar 4. 52	Penamaan Titik Perletakan	156
Gambar 4. 53	Wilayah Gempa Indonesi untuk Periode Ulang 500 Tahun	158
Gambar 4. 54	Penentuan nilai PGA dari website pusjatan	159
Gambar 4. 55	Periode Alami Struktur.....	160
Gambar 4. 56	POT <i>Bearing</i> Penahan Gaya Horizontal-y.....	161
Gambar 4. 57	POT <i>Bearing</i> Penahan Gaya Horizontal-y.....	162
Gambar 4. 58	Brosur POT <i>Bearing</i> Tipe <i>Fixed</i>	163
Gambar 4. 59	Brosur POT <i>Bearing</i> Tipe <i>Guided</i>	163
Gambar 4. 60	Brosur POT <i>Bearing</i> Tipe <i>Free</i>	164

Gambar 4. 61	Pembongkaran bekisting segmen pertama dan pemasangan <i>Form Traveller</i>	166
Gambar 4. 62	<i>Outer Formwork</i>	167
Gambar 4. 63	Diagram alir pekerjaan form traveller	168
Gambar 4. 64	Chain Block.....	169
Gambar 4. 65	Pemasangan segmen S3.....	170
Gambar 4. 66	Pemasangan segmen S5.....	170
Gambar 4. 67	Pemasangan segmen S8.....	170
Gambar 4. 68	Pemasangan segmen S10.....	170
Gambar 4. 69	Pemasangan segmen S12.....	171
Gambar 4. 70	Potongan melintang box girder.....	172
Gambar 4. 71	Layout Tendon atas	173
Gambar 4. 72	Pengerjaan centre closure	174
Gambar 4. 73	Pengerjaan segmen S14 dan S15	174
Gambar 4. 74	Pengerjaan end closure	174
Gambar 4. 75	Layout tendon bawah	175

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kombinasi pembebanan saat servis	31
Tabel 3. 2 Kombinasi pembebanan ultimate.....	31
Tabel 3. 3 koefisien-koefisien gesekan untuk tendon pasca-tarik	34
Tabel 3. 4 Nilai untuk komponen struktur pasca-tarik.....	36
Tabel 3. 5 Nilai – nilai Kre dan J.....	37
Tabel 3. 6 Nilai C	37
Tabel 4. 1 $H_{rencana}$ penampang setiap segmen.....	49
Tabel 4. 2 Perhitungan inersia box pada penampang 20.....	51
Tabel 4. 3 Resume perhitungan komponen penampang box.....	52
Tabel 4. 4 Perhitungan beban tiap segmen	53
Tabel 4. 5 Perhitungan pemasangan segmen S1	64
Tabel 4. 6 Perhitungan pemasangan segmen S2	65
Tabel 4. 7 Perhitungan pemasangan segmen S3	66
Tabel 4. 8 Perhitungan pemasangan segmen S4	67
Tabel 4. 9 Perhitungan pemasangan segmen S5	68
Tabel 4. 10 Perhitungan pemasangan segmen S6	69
Tabel 4. 11 Perhitungan pemasangan segmen S7	70
Tabel 4. 12 Perhitungan pemasangan segmen S8	71
Tabel 4. 13 Perhitungan pemasangan segmen S9	72
Tabel 4. 14 Perhitungan pemasangan segmen S10	73
Tabel 4. 15 Perhitungan pemasangan segmen S11	74
Tabel 4. 16 Perhitungan pemasangan segmen S12	75
Tabel 4. 17 Rekapitulasi jumlah tendon saat pemasangan segmen	76
Tabel 4. 18 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S1	78
Tabel 4. 19 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S2	78
Tabel 4. 20 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S3	78
Tabel 4. 21 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S4	79

Tabel 4. 22 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S5	79
Tabel 4. 23 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S6	79
Tabel 4. 24 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S7	80
Tabel 4. 25 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S8	80
Tabel 4. 26 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S9	80
Tabel 4. 27 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S10	81
Tabel 4. 28 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S11	81
Tabel 4. 29 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S12	82
Tabel 4. 30 Kehilangan prategang secara langsung	85
Tabel 4. 31 Total kehilangan gaya prategang pada tendon atas ..	89
Tabel 4. 32 Kombinasi beban saat servis	97
Tabel 4. 33 Kehilangan prategang tendon servis	108
Tabel 4. 34 Kombinasi beban ultimate	115
Tabel 4. 35 Resume tulangan box girder	119
Tabel 4. 36 Momen crack akibat pemasangan segmen S1	130
Tabel 4. 37 Momen crack akibat pemasangan segmen S2	130
Tabel 4. 38 Momen crack akibat pemasangan segmen S3	131
Tabel 4. 39 Momen crack akibat pemasangan segmen S4	131
Tabel 4. 40 Momen crack akibat pemasangan segmen S5	131
Tabel 4. 41 Momen crack akibat pemasangan segmen S6	132
Tabel 4. 42 Momen crack akibat pemasangan segmen S7	132
Tabel 4. 43 Momen crack akibat pemasangan segmen S8	132
Tabel 4. 44 Momen crack akibat pemasangan segmen S9	133
Tabel 4. 45 Momen crack akibat pemasangan segmen S10	133
Tabel 4. 46 Momen crack akibat pemasangan segmen S11	134
Tabel 4. 47 Momen crack akibat pemasangan segmen S12	134
Tabel 4. 48 Momen crack saat servis	136

Tabel 4. 49 Perhitungan momen nominal	142
Tabel 4. 50 Kontrol momen nominal, momen crack, dan ultimate	143
Tabel 4. 51 Reaksi vertikal pada perletakan (1D).....	157
Tabel 4. 52 Akselerasi puncak PGA.....	158
Tabel 4. 53 Klasifikasi Tanah.....	159
Tabel 4. 54Koefisien Tanah (S).....	159
Tabel 4. 55 Faktor Modifikasi Respon R_d	161
Tabel 4. 56 spesifikasi Pot Bearing yang digunakan	164

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

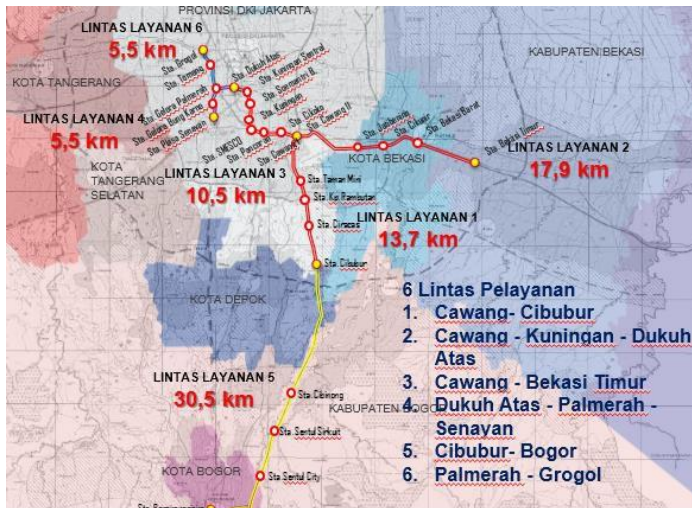
DKI Jakarta sebagai ibukota Republik Indonesia merupakan kota yang menjadi pusat bisnis dan pusat pemerintahan dengan jumlah penduduk tahun 2014 mencapai 10,08 juta orang dan kepadatan penduduk 15.234 orang per km² (BPS Jakarta, 2015) dan dikelilingi kawasan pemukiman Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi (Bodetabek) yang semakin berkembang. Dengan keadaannya sekarang, Jakarta harus terus berbenah dan meningkatkan berbagai fasilitas dan infrastruktur terutama transportasi publik, mengingat transportasi merupakan hal yang krusial.

Transportasi merupakan tulang punggung kegiatan ekonomi yang sangat berperan penting di Jakarta. Namun pelayanan angkutan umum yang memadai dan mampu memenuhi harapan masyarakat masih belum sepenuhnya dapat terwujud. Kemacetan lalu lintas masih menjadi permasalahan utama transportasi di Jakarta. Berbagai upaya yang telah dilakukan pemerintah provinsi DKI Jakarta untuk mengatasi kemacetan antara lain, membangun *flyover* dan *underpass*, Bus Trans Jakarta, jalur *three-in-one*, dan masih belum memadai untuk mengatur perpindahan orang dan barang di Jakarta.

Kemacetan Jakarta yang semakin hari semakin parah perlu segera ditangani. Sebagai salah satu solusinya adalah dengan membangun suatu transportasi massal yang juga ramah lingkungan. Untuk itu dipilih *Light Rail Transit* atau disingkat dengan LRT sebagai moda transportasi massal yang menghubungkan Ibu Kota DKI Jakarta dengan kota-kota satelit di sekitarnya seperti Bekasi dan Bogor karena kedua daerah ini merupakan daerah penyumbang arus kemacetan kendaraan terbanyak yang masuk ke Jakarta. Pembangunan LRT dilakukan secara *elevated* di atas tanah ruang milik jalan tol dan non-tol. Pemilihan membangun infrastruktur baru LRT dibandingkan

melanjutkan pembangunan Monorail dikarenakan populasi LRT di dunia lebih banyak dan karena pemeliharaan roda besi (LRT) lebih murah dibandingkan roda karet (Monorail).

Pembangunan LRT akan dibagi dalam 6 rute pelayanan dan dibagi menjadi dua tahap pembangunan dengan total panjang 83,6 km dimana masing-masing terdiri dari 3 lintas pelayanan, yakni tahap I meliputi lintas Cibubur – Cawang, Bekasi Timur – Cawang, Cawang – Dukuh Atas dengan 18 stasiun dan panjang 42,1 km. Tahap II lintas pelayanan Cibubur – Bogor, Dukuh Atas – Palmerah – Senayan, dan Palmerah – Grogol dengan panjang 41,5 km.

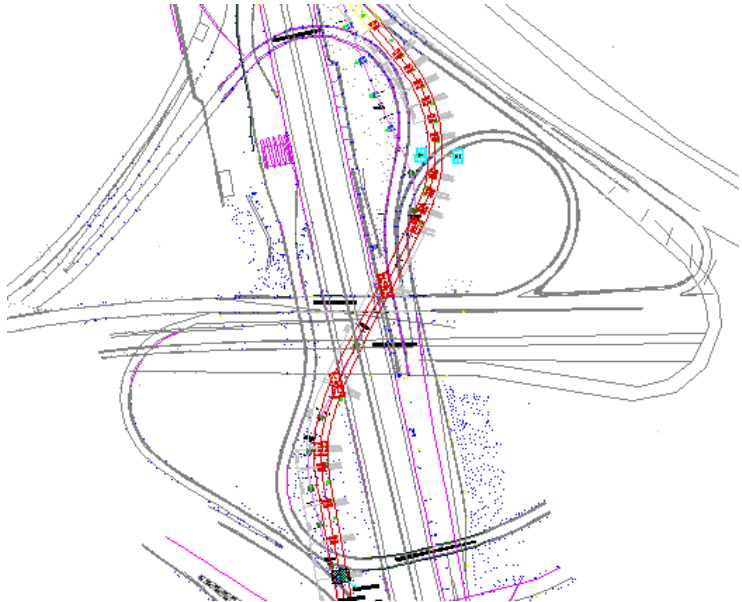


Gambar 1. 1 Peta Lintas Pelayanan *Light Rail Transit* (LRT) (Adhi,2015)

Salah satu rute yang dilalui oleh trayek LRT ini adalah daerah Kampung Rambutan. Pada daerah ini terdapat dua jalan layang lingkaran luar Jakarta arah Pondok Pinang – TMII dan sebaliknya, dengan dibawah dari jalan layang ini terdapat Tol Jagorawi. Sedangkan perencanaan rute LRT ini akan berada di atas jalan layang dan jalan tol tersebut, sehingga tidak dimungkinkan menggunakan *pier* dengan jarak yang dekat maka

perlu menggunakan jalan layang LRT bentang panjang. Bentang terpanjang yaitu 90 meter yang berada tepat di atas jalan layang Pondok Pinang – TMII dan Tol Jagorawi.

Kondisi lalu lintas di Tol Jagorawi dan Tol Pondok Pinang – TMII juga terbilang cukup padat. Sehingga dalam pembangunan jalan layang LRT ini juga perlu memperhatikan aspek tersebut guna memilih metode konstruksi yang tepat. Jalan tol diusahakan hanya terdapat sedikit gangguan dalam kegiatan pembangunan jalan layang LRT. Selain itu pelaksanaan pembangunan juga harus cepat, agar semakin sedikit waktu gangguan pada jalan tol tersebut yang dapat menyebabkan kemacetan baik di dalam atau di luar kota Jakarta.



Gambar 1. 2 Rute LRT melewati daerah Kampung Rambutan Jakarta

Dalam tugas akhir ini, direncanakan struktur jalan layang *Light Rail Transit* pada STA 6+652 – 6+850 menggunakan *Prestressed Box Girder* dengan panjang 198 meter yang terdiri dari 3 bentang, masing - masing 54 m, 90 m, dan 54 m. Struktur

jalan layang direncanakan untuk *double track*. Untuk metode pelaksanaan sebisa mungkin tidak menghambat lalu lintas kendaraan, maka dipilihlah metode *cor in situ* atau cor di tempat agar saat *erection girder* tidak menutup tol. Dikarenakan jalan layang ini bentang panjang dan bentang memiliki panjang hampir dua kali dari bentang disampingnya maka lebih cocok menggunakan metode *balanced cantilever*. Perencanaan harus memperhatikan stabilitas struktur dalam tiap tahap pengerjaan. Dengan adanya desain konstruksi jalan layang *Light Rail Transit* dengan *Box Girder* Pratekan diharapkan mampu menjadi salah satu solusi dalam merancang jembatan, jalan layang atau LRT lain yang memiliki bentang panjang agar kuat secara struktural..

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan utama yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merencanakan Struktur Jalan Layang *Light Rail Transit* (LRT) Jakarta pada STA 6+652 – 6+850 dengan menggunakan *Prestressed Box Girder* dengan metode *Balance Cantilever*. Permasalahan utama tersebut kemudian dijabarkan sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan *Preliminary Design* penampang elemen struktur jalan layang *Light Rail Transit* Jakarta pada STA 6+652 – 6+850 ?
2. Bagaimana menganalisa pembebanan pada struktur jalan layang LRT Jakarta ?
3. Bagaimana analisa perhitungan kekuatan box girder untuk menahan gaya-gaya yang bekerja ?
4. Bagaimana menganalisa kehilangan gaya prategang yang terjadi pada *prestressed box girder* ?
5. Bagaimana mengontrol desain *prestressed box girder* terhadap kekuatan dan kestabilan struktur ?
6. Bagaimana metode pelaksanaan konstruksi pada LRT Jakarta STA 6+652 – 6+850 dengan sistem kantilever dan mengontrol kekuatan *prestressed box girder* pada tahap konstruksi?

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

1.3 Batasan Masalah

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

1. Tidak merencanakan struktur bangunan bawah LRT Jakarta.
2. Tidak membahas analisa biaya konstruksi dan waktu pelaksanaan
3. Tidak membahas sambungan rel dan balas dengan *box girder*.
4. Tidak membahas tentang *mechanical electrician* dan *plumbing*.

1.4 Tujuan

Dalam tugas akhir ini, tujuan utama yang ingin dicapai adalah dapat merencanakan struktur jalan layang *Light Rail Transit* (LRT) Jakarta pada STA 6+652 – 6+850 dengan menggunakan *Prestressed Box Girder* dengan metode *Balance Cantilever*. Sedangkan untuk tujuan utama dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Dapat menentukan *Preliminary Design* penampang elemen struktur jalan layang *Light Rail Transit* Jakarta pada STA 6+652 – 6+850.
2. Dapat menganalisa pembebanan pada struktur jalan layang LRT Jakarta..
3. Dapat menganalisa kekuatan *box girder* untuk menahan gaya-gaya yang bekerja.
4. Dapat menganalisa kehilangan gaya prategang yang terjadi pada *prestressed box girder*.
5. Dapat mengontrol desain *prestressed box girder* terhadap kekuatan dan kestabilan struktur.
6. Dapat menentukan metode pelaksanaan konstruksi pada LRT Jakarta STA 6+652 – 6+850 dengan sistem kantilever dan mengontrol kekuatan *prestressed box girder* pada tahap konstruksi.

7. Dapat menuangkan hasil perancangan ke dalam bentuk gambar teknik yang sesuai dengan standar

1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah dengan adanya desain struktur jalan layang *Light Rail Transit* Jakarta STA 6+652 - 6+850 diharapkan mampu menjadi solusi dalam merancang sebuah jembatan, jalan layang, atau LRT yang kuat secara struktural. Dengan desain jalan layang *Light Rail Transit* Jakarta STA 6+652 - 6+850 menggunakan *Prestressed Box Girder* ini diharapkan dapat menjadi ikon baru bagi Jakarta.

Untuk dunia keteknik sipil, dengan adanya desain jalan layang *Light Rail Transit* Jakarta diharapkan dapat menjadi inspirasi pembangunan jalan layang atau LRT bentang panjang masa depan yang lebih modern. Dan manfaat untuk penulis sendiri yaitu dapat meningkatkan pengetahuan dan *skill* dalam ilmu perencanaan jembatan dan ilmu beton pratekan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Prategang

Beton pratekan merupakan beton yang mengalami tegangan internal yang sangat besar akibat *stressing* dan distribusi gaya sehingga dapat mengimbangi sampai batas tegangan tertentu yang terjadi akibat beban eksternal. Oleh karenanya, beton pratekan merupakan teknologi konstruksi yang mengkombinasikan beton *high strength* dengan baja mutu tinggi. (Lin dan Burns,2000). Menurut SNI 03-2847-2002 beton pratekan adalah beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan terlebih dahulu untuk mengurangi atau mengantisipasi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja

2.1.1 Konsep dasar beton pratekan

Dalam buku Lin dan Burns (2000) terdapat 3 konsep dasar mengenai beton pratekan, yaitu:

1. Sistem pratekan untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan elastis. Ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton pratekan pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan atau desakan terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian rupa sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Jika tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton, maka momen internal akibat eksentrisitas tersebut akan timbul sehingga akan terjadi distribusi tegangan pada penampang balok

2. Sistem pratekan untuk kombinasi baja mutu tinggi.

Konsep ini mempertimbangkan beton pratekan sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Pada masalah yang berbeda, baja berkekuatan sedang telah digunakan sebagai penulangan biasa tanpa pratekan, dan baja secara khusus diberi ulir untuk membuat rekatan (*bond*), dengan maksud untuk meregangkan dan mengangkur baja mutu tinggi tetapi tidak memberikan hasil yang diinginkan seperti gaya pratekan pada beton dalam pengontrolan lendutan.

3. Sistem pratekan untuk mencapai kesetimbangan beban.

Konsep ini terutama menggunakan pratekan sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Konsep ini sesungguhnya dikembangkan oleh pengarang, meskipun dapat dipastikan juga digunakan oleh insinyur-insinyur lain untuk hal lebih sederhana. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang.

2.1.2 Metode sistem pratekan

Ada dua macam metode pemberian gaya pratekan pada beton, yaitu :

- a. Sistem pratarik (*pretension*), yaitu metode pemberian prategang pada beton dengan cara tendon ditarik sebelum beton dicor. Dalam metode ini, prategang diberikan pada beton melalui rekatan antara baja dan tendon.
- b. Sistem pascatarik (*post tension*), yaitu metode pemberian prategang pada beton dengan cara tendon di tarik setelah beton mengeras dan cukup mampu menahan gaya prategang. Dalam metode ini, prategang diberikan pada beton melalui bantalan.

2.1.3 Kehilangan gaya prategan

Kehilangan gaya prategan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, berikut adalah faktor yang menyebabkan kehilangannya gaya prategan menurut buku (Lin dan Burns, 2000) :

1. Kehilangan prategan akibat penggelinciran pada dongkrak.

Dalam sistem penjangkaran tertentu ketika dongkrak dilepas dapat terjadi slip pada kabel terhadap jangkar, besarnya slip bergantung pada tipe jangkar dan gaya prategan. Besarnya kehilangan prategan yang diakibatkan bergantung pada beberapa faktor dibawah ini :

- a. Besarnya Slip.
- b. Modulus Elastisitas Baja.
- c. Panjang Kabel.
- d. Besarnya Prategangan.

2. Kehilangan prategan akibat gesekan.

Ketika kabel diregangkan dengan dongkrak, tidak sepenuhnya gaya dongkrak ditahan dalam bentuk tegangan kabel. Sebagian dari gaya tersebut ditahan oleh gesekan pada :

- a. Dongkrak.
- b. Unit Penjangkaran.
- c. Persinggungan kabel dengan dinding pembungkus baik dalam keadaan lurus maupun dalam keadaan lengkung.

Gesekan pada dongkrak bergantung pada tipe dongkrak, biasanya dongkrak dikalibrasi dan efektifitas gaya dongkrak dinyatakan dalam koefisien efektifitas dongkrak yang berkisar 95 % - 98 %.

3. Kehilangan prategan akibat regangan elastis beton.

Akibat dari gaya prategan yang diberikan, beton mengalami perpendekan elastis dan ini menyebabkan regangan kembali dari baja, yang berlawanan dengan regangan semula. Akibat dari perpendekan ini regangan efektif baja berkurang dan dengan sendirinya tegangan efektif beton berkurang.

4. Kehilangan prategan akibat rangkai.

Rangkai adalah suatu deformasi plastis beton akibat beban jangka panjang. Jika beton dibebani dan beban tersebut dibiarkan

menetap akan timbul pertambahan regangan walaupun beban tidak ditambah.

5. Kehilangan prategang akibat susut beton.

Besarnya regangan susut tergantung pada kelembaban, prosentase tulangan, faktor air semen, dan tebal beton.

6. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja.

Relaksasi baja adalah pertambahan panjangnya baja dalam waktu lama walaupun beban tidak ditambahkan (sering disebut rangkai pada baja), kehilangan tegangan akibat relaksasi ini berkisar 2% - 3%.

2.2 Box Girder

Jembatan *box girder* merupakan konstruksi jembatan dengan penampang berbentuk kotak yang berlubang. Dibanding dengan *I-beam*, *box girder* lebih unggul yaitu (Zhongguo, 2004) :

- Tahanan torsi lebih besar
- Lebih kuat menahan berat sendiri jembatan
- Dapat digunakan pada bentang panjang
- Semua permukaan dari penampang terlihat, sehingga memudahkan dalam pengecekan
- Tidak perlu merencanakan balok melintang
- Material yang dipakai jauh lebih hemat, lebih ringan dan struktur lebih efisien, karena dimensi badan box dapat dikurangi sesuai dengan penampang yang biasa digunakan

2.3 Prestressed Segmental Box Girder

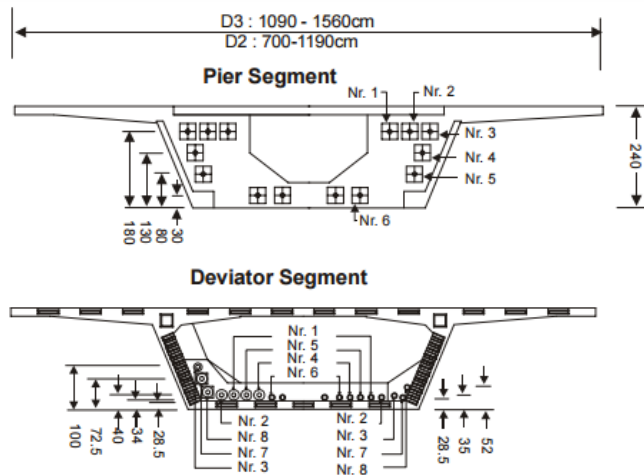
Prestressed segmental box girder adalah salah satu perkembangan penting dalam pelaksanaan konstruksi jembatan yang tergolong baru dalam beberapa tahun terakhir. Berbeda dengan sistem konstruksi monolit, sebuah jembatan segmental box girder terdiri dari segmen-segmen pracetak maupun cor ditempat yang diprategang bersama-sama oleh tendon (Rombach,2002).

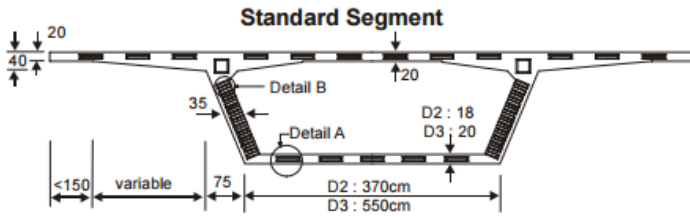
2.3.1 Elemen struktural jembatan *box girder*

Menurut (Rombach,2002) jembatan segmental seharusnya dibangun seperti struktur bentang tunggal untuk menghindari adanya sambungan kabel *post-tension* maka diperlukan 3 macam segmen yang berbeda, yaitu :

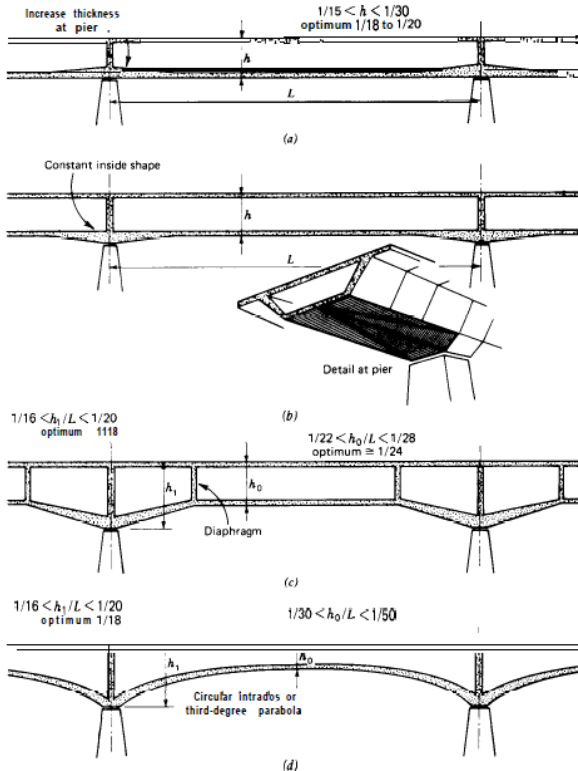
- *Pier segment* : Bagian ini terletak tepat diatas abutment dan memerlukan diafragma yang kokoh untuk dapat memperkaku box girder. Selain itu berfungsi sebagai bidang pengukuran dari tendon pratekan.
- *Deviator segment* : Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan devisiasi tendon.
- *Standart segment* : Dimensi *standard box girder* yang digunakan.

Berikut adalah Gambar 2.1 yang menunjukkan 3 macam tipe segmen dari struktur *box girder* dan gambar 2.2 menunjukkan macam-macam profil memanjang untuk jembatan segmental. Profil longitudinal dari jembatan segmental ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis memilih tipe jembatan (d) yaitu *variable depth*





Gambar 2. 1 Tipe Segmen *Box Girder* (Rombach,2002)

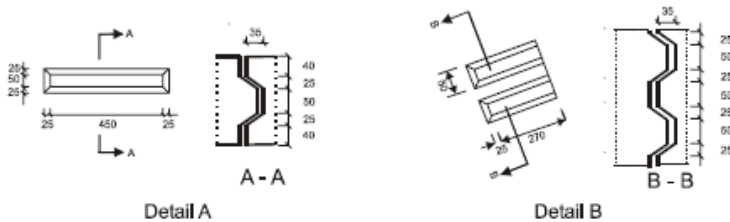


Gambar 2. 2 Macam-Macam Profil Memanjang dari Jembatan segmental. (Podolny, 1982)

- (a) *Constant depth*, (b) *Semiconstant depth*, (c) *Straight haunches*, (d) *Variable depth*.

2.3.2 Desain elemen sambungan

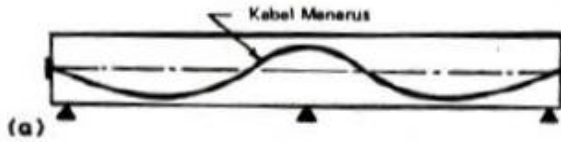
Berikut adalah gambar desain sambungan antar *box girder* menurut (Rombach, 2002)



Gambar 2. 3 Detail sambungan pada *segmental Box Girder* (Rombach,2002)

2.4 Balok Pratekan Menerus Statis Tak Tentu

Dalam perencanaan tugas akhir ini direncanakan jembatan dengan konstruksi beton pratekan statis tak tentu. Sama seperti dengan struktur menerus lainnya, lendutan pada balok menerus akan lebih kecil daripada lendutan pada balok sederhana (diatas dua tumpuan) (Lin dan Burn, 1993). Kontinuitas pada konstruksi beton prategang dicapai dengan memakai kabel-kabel melengkung atau lurus yang menerus sepanjang beberapa bentang. Juga memungkinkan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok pracetak dengan memakai “kabel tutup” (*capcable*). Alternatif lain, tendon-tendon lurus yang pendek dapat dipakai diatas tumpuan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok prategang pracetak. Beberapa metode untuk mengembangkan kontinuitas pada konstruksi beton prategang telah diuji secara kritis oleh Lin dan Visvesvaraya dan kawan-kawan mengenai kelayakan untuk dipakai dalam suatu situasi tertentu (Raju,1989). Untuk tata letak kabel pada balok menerus dapat dilihat pada Gambar 2.4 :

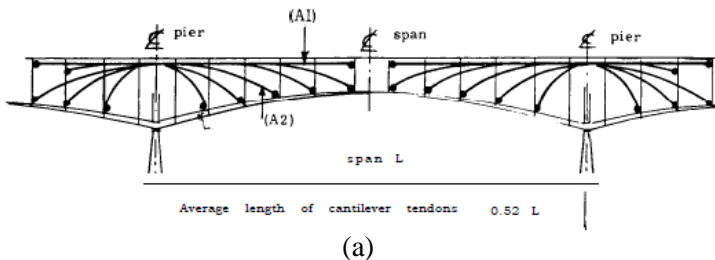


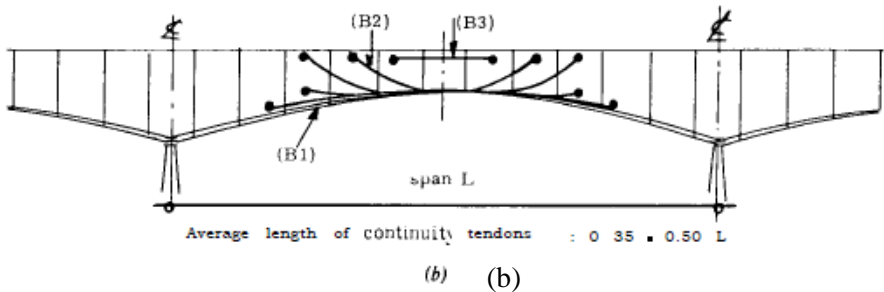
Gambar 2. 4 Tata letak kabel untuk balok menerus (Raju,1989)

2.5 Metode Konstruksi

Dalam buku berjudul *Prestressed Concrete Segmental Bridges*, untuk pelaksanaan metode kantilever membutuhkan adanya tendon – tendon yang berfungsi sebagai penopang setiap segmen *box girder*. Tendon yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu “*cantilever tendons*” dan “*continuity tendons*”. Gambaran tentang layout tendon dapat dilihat pada Gambar 2.5.

- *Cantilever tendons* terletak di area momen negatif yang di *jacking* saat setiap segmen *box girder* ditempatkan . *Cantilever tendons* dapat diperpanjang hingga ke bagian bawah dengan melewati badan segmen, atau dapat juga berhenti hanya pada bagian atas segmen. Sistem ini dinamakan kantilever, dikarenakan selama proses pelaksanaan balok jembatan berfungsi kantilever.
- *Continuity tendons* bekerja untuk menyediakan gaya *prestressing* di area momen positif. *Continuity tendons* di tempatkan dan di *jacking* setelah penutup sambungan telah dipasang.





Gambar 2. 5 Tendon layout (a)*Cantilever tendons*, (b)*Continuity tendons* (Podolny, 1982)

Salah satu tantangan dalam perencanaan dan pembangunan konstruksi jembatan di lapangan adalah menentukan metode konstruksi dari struktur utama jembatan tersebut. Dalam prakteknya untuk pelaksanaan jembatan beton ada yang dilaksanakan dengan cor di tempat (*cast in situ*) dan pracetak (*precast*). Beberapa metode konstruksi yang umum dilaksanakan di lapangan adalah sistem perancah (*falsework*), sistem peluncuran (*launching*), dan sistem kantilever (*balanced cantilever*) :

2.5.1 Metode perancah (*falsework*)

Pada sistem ini balok jembatan di cor (*cast in situ*) atau siap pasang (*precast*) di atas landasan yang sepenuhnya didukung oleh sistem perancah, kemudian setelah selesai perancah dibongkar dan dipindah ke segmen berikutnya. Skema metode pelaksanaan dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.

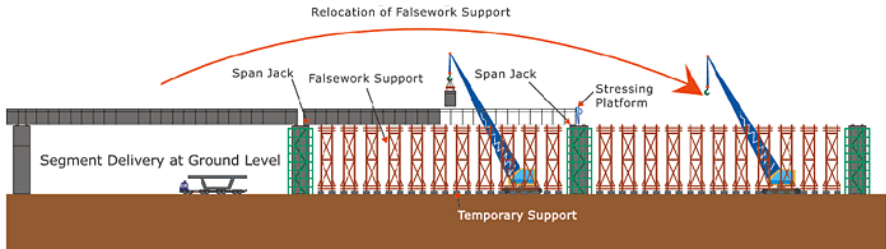
Kelebihan metode ini :

1. Pelaksanaan di lapangan cukup mudah
2. Perancah yang telah selesai digunakan bisa dipindahkan ke tempat lain yang membutuhkan perancah juga, sehingga pekerjaan relatif lebih singkat dan murah.

Kekurangan metode ini :

1. Metode ini membutuhkan area yang besar dan tanah yang kuat dalam proses pemasangan segmen-segmen jembatan.

2. Selama tahap konstruksi bagian bawah dari jembatan tidak dapat digunakan atau dilewati karena sebagai tempat perancah.



Gambar 2. 6 Metode menggunakan *falsework* (VSL)

2.5.2 Metode peluncuran (*incremental launching*)

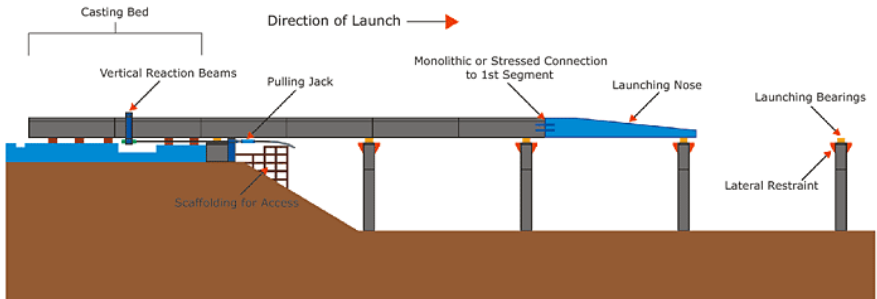
Pada sistem ini balok dicor disalah satu sisi jembatan atau di belakang abutment, kemudian diluncurkan dengan cara ditarik atau didorong hingga mencapai sisi lain jembatan. Untuk bentang tunggal, sistem ini memerlukan *launcher*, gantry, atau dua buah crane yang bekerja secara bersamaan. Untuk bentang lebih dari satu, sistem ini memerlukan bantuan launching nose yang disambung di depan balok. Bila struktur jembatan cukup besar, dan lahan terbatas biasanya digunakan sistem *incremental launching*. Skema metode pelaksanaan dapat dilihat pada gambar 2.7.

Kelebihan metode ini :

1. Dapat digunakan di daerah yang mempunyai daya dukung tanah rendah yang tidak dimungkinkan dipasang perancah.
2. Dapat meminimalkan dipakainya perancah sehingga membuat biaya lebih ekonomis.

Kekurangan metode ini :

1. Pelaksanaan cukup sulit karena deck harus berjalan lurus.
2. Membutuhkan sistem *jacking* dan *bearing* khusus dalam pelaksanaannya



Gambar 2. 7 Metode menggunakan *Incremental launching*(VSL)

2.5.3 Metode kantilever (*balance cantilever*)

Pada sistem ini balok jembatan dicor (*cast insitu*) atau dipasang (*precast*), segmen demi segmen sebagai kantilever di kedua sisi agar saling mengimbangi (*balance*) atau satu sisi dengan pengimbang balok beton yang sudah dilaksanakan lebih dahulu. Pada sistem ini diperlukan kabel prestress khusus untuk pemasangan tiap segmen. Kabel prestress ini hanya berfungsi pada saat erection saja, sedangkan untuk menahan beban permanen diperlukan kabel prestress tersendiri.

Kelebihan metoda *balance cantilever*

1. Gelagar jembatan dapat dibangun tanpa adanya kontak dengan tanah, dan memungkinkan untuk membangun jembatan di atas sungai dengan masalah utama arus yang deras. Metoda ini juga memungkinkan untuk membangun jembatan pada jurang yang sangat dalam.
2. Metode *balance cantilever* dikembangkan untuk meminimalkan acuan perancah atau scaffolding yang diperlukan untuk pelaksanaan pengecoran secara in-situ. Tumpuan sementara (*temporary shoring*) terlalu mahal khususnya untuk kasus jembatan berelevasi tinggi dan penggunaan perancah yang melintasi sungai sangat beresiko,

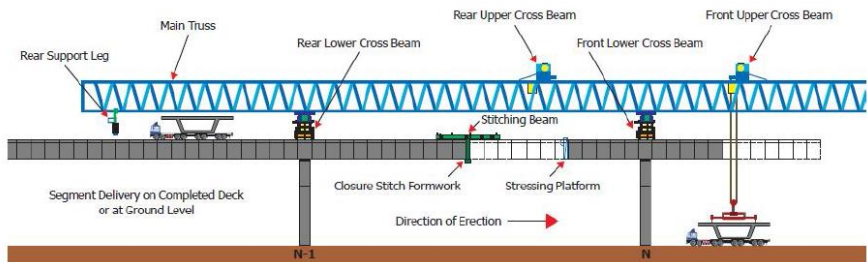
sehingga diatas jalan air yang padat, lalu lintas jalan atau jalan kereta api, penggunaan perancah sudah tidak ekonomis lagi. Metode konstruksi secara *balance cantilever* diterapkan untuk menghilangkan kesulitan-kesulitan seperti ini.

Kelemahan metoda *balance cantilever*

1. Untuk bentang yang sama, jembatan yang dibangun menggunakan metoda ini lebih berat daripada struktur komposit. Metoda ini membutuhkan perletakan dan pondasi yang lebih besar dibandingkan dengan struktur komposit. Karena itu metoda *balance cantilever* kurang menarik khususnya saat pondasi cuma berkualitas sedang saja atau karena lapangan pekerjaan berada pada daerah gempala.
2. Kelemahan lain proses pengerjaan jembatan yang lebih rumit, karena membutuhkan banyak peralatan berteknologi tinggi. Dan kebanyakan peralatan dan gelagar box girder ini (jika merupakan box girder pracetak) mempunyai ukuran yang sangat besar, karena itu untuk membawanya ke lokasi pekerjaan agaklah susah. Sehingga dalam proses pembawaan ke lokasi pekerjaan dapat mengganggu arus lalu lintas yang ada.

Terdapat beberapa jenis metoda konstruksi untuk metoda *balance cantilever* ini:

1. Metoda *balance cantilever* dengan *launching gantry*

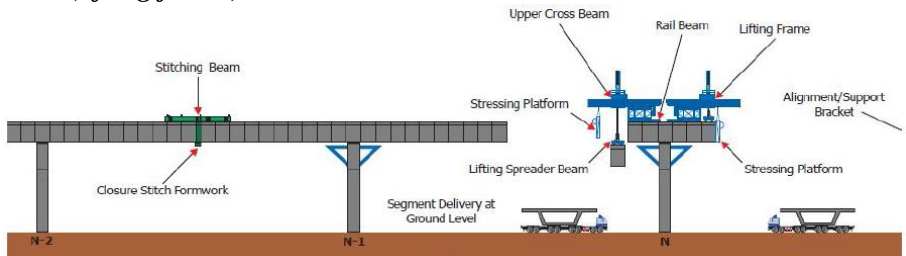


Gambar 2. 8 *Balance Cantilever* dengan *Launching Gantry*

Metoda ini digunakan untuk balok yang adalah hasil precast dan bukan hasil pengecoran in situ. Pada metoda ini digunakan satu buah gantry atau lebih sebagai peluncur segmen segmen box girder yang ada. Kelebihan metoda ini:

- Tidak mengganggu lalu lintas yang ada di bawah pengerjaan jembatan tersebut
- Tidak memerlukan perancah
- tidak memerlukan banyak tenaga kerja untuk pemasangan di lapangan

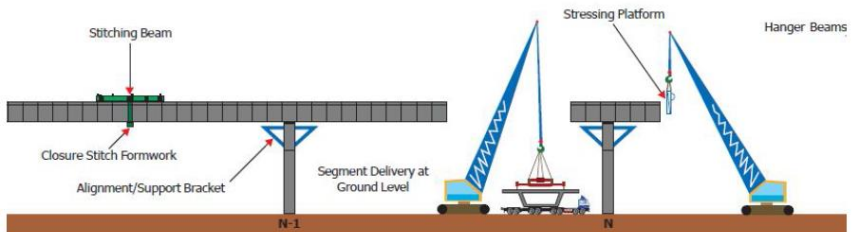
2. Metoda *balance cantilever* dengan rangka pengangkat (*lifting frame*)



Gambar 2. 9 *Balance Cantilever* menggunakan *Lifting Frame*

Pada dasarnya metode ini hampir sama dengan metode launching gantry. Perbedaannya cuma pada jenis alat yang digunakan untuk mengangkat segmen segmen jembatan nya.

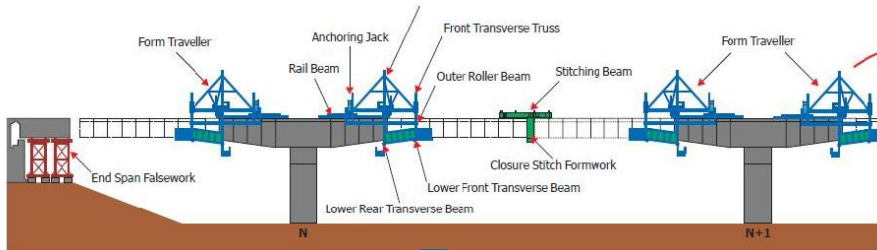
3. Metoda *balance cantilever* dengan crane



Gambar 2. 10 *Balance Cantilever* menggunakan *Crane*

Pada dasarnya metode ini hampir sama dengan metode lifting frame. Perbedaannya cuma pada jenis alat yang digunakan untuk mengangkat segmen segmen jembatan nya. Pada sistem ini digunakan crane untuk mengangkat tiap segmen. Sedangkan pada *lifting frame* digunakan *lifting frame* untuk mengangkat tiap segmennya.

4. Metoda balance cantilever dengan form traveler



Gambar 2. 11 Balance Cantilever menggunakan Form Traveller

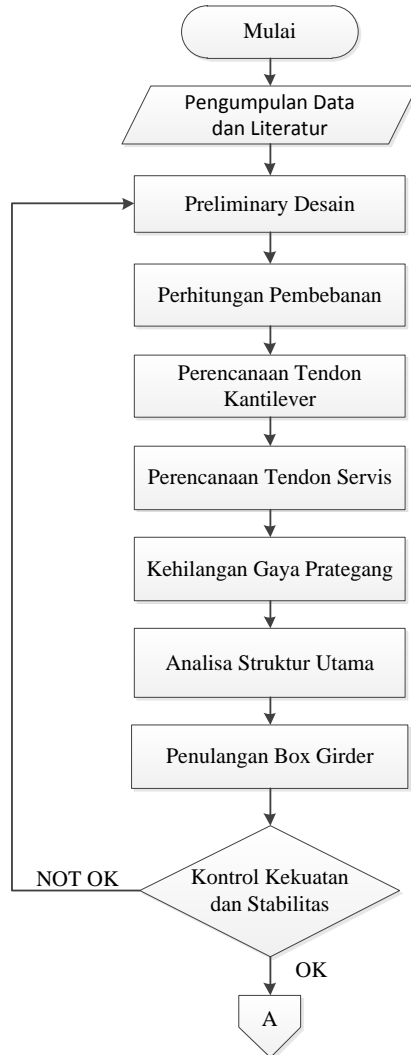
Metoda ini digunakan untuk pengecoran beton di tempat (insitu). Pada metoda ini digunakan form traveler yang digunakan sebagai alat untuk membentuk segmen segmen jembatan sesuai kebutuhan.

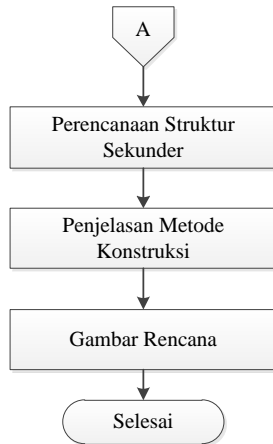
Urutan metode konstruksi kantilever dengan form traveler adalah sebagai berikut:

- a) Install dan atur gantry
- b) Install dan letakkan form traveler dan bekisting menurut elevasi yang tepat
- c) Tempatkan penulangan dan saluran duck dari tendon
- d) Pengecoran segmen
- e) Install tendon penarikan dan lakukan stressing
- f) Lepaskan bekisting
- g) Majukan gantry pada posisi selanjutnya dan mulailah cycle yang baru.

BAB III METODOLOGI

Berikut adalah diagram alir dalam pengerjaan tugas akhir ini :





Gambar 3. 1 Bagan alir pengerjaan tugas akhir

3.1. Pengumpulan Data dan Literatur

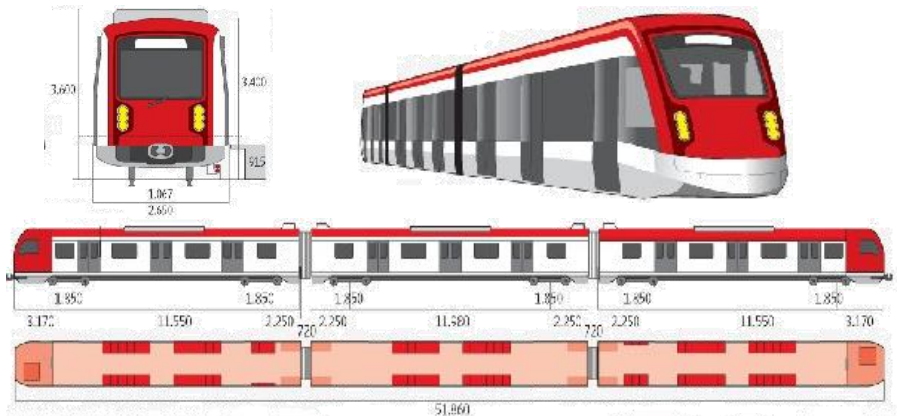
Data Perencanaan diperoleh dari kontraktor pelaksana proyek LRT Jakarta yaitu PT Adhi Karya. Dalam tugas akhir ini direncanakan jalan layang LRT (*Light Rail Transit*) pada STA 6 +652 – 6+850 menggunakan *Box Girder* pratekan. Adapun data-data yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Panjang jembatan : 198 m (54 + 90 + 54) m
2. Lebar jembatan : 9,6 meter
3. Fungsi jembatan : Kereta *double track*
4. Lokasi jembatan : Daerah Kampung Rambutan atas Tol Jagorawi
5. Tinggi bebas : 6 meter
6. Gelagar Utama : *Box Girder*

Kereta yang digunakan adalah kereta listrik dapat dilihat pada (Gambar 3.2) dengan spesifikasi detail sebagai berikut :

1. Lebar jalan rel : 1067 mm
2. Diameter roda : 660 mm
3. Beban gandar : 12 ton
4. Total berat maksimum : 144 ton per *train set*
5. Panjang *train set* : 51860 mm (3 gerbong)

6. Tinggi dari kepala rel : 3600 mm (\pm 5%)
7. Lebar kereta : 2650 mm
8. Jarak antar gandar : 11550 mm
9. Kecepatan operasi kereta : 60 – 80 km/jam
10. Radius putar : 20 – 30 meter
11. Tinggi rel ke dek lantai : 915 mm
12. Bahan gerbong : Alumunium campuran



Gambar 3. 2 Spesifikasi kereta ringan yang digunakan

3.2. Preliminary Desain

Tahap preliminary 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.

3.2.1 Mutu bahan

Mutu beton pratekan untuk struktur box girder pratekan adalah $f_c' = 60$ MPa, dan Baja tendon prategang adalah seven – wire Grade 270, *low relaxation strand*.

3.2.2 Tinggi penampang

Model jembatan yang digunakan adalah jembatan box girder yang memiliki bentuk mengecil di tengah sesuai dengan

ditunjukkan **Gambar 2.3**. Ketentuan tinggi penampang untuk jembatan box girder jenis tersebut sesuai (Podolny, 1982) adalah :

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

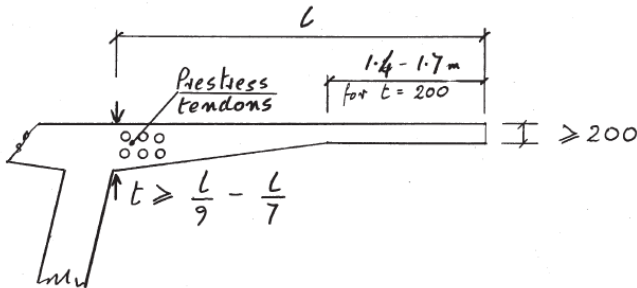
$$\text{Area tengah bentang} = \frac{1}{30} > \frac{h_0}{L} > \frac{1}{50} \quad (3.2)$$

Dimana : h_0 = tinggi penampang di tumpuan.

h_1 = tinggi penampang di tengah bentang atau lapangan.

L = panjang bentang jembatan.

3.2.3 Sisi kantilever



Gambar 3.3 Geometri of Side Cantilever (Benaim, 2008)

Ketebalan minimum pelat kantilever (Gambar 3.3) tidak boleh kurang dari 200 mm, sehingga diambil 250 mm dengan pertimbangan akan ada parapet setinggi 1.5 m di ujung kantilever. Untuk ketebalan pelat di daerah pertemuan dengan web tidak boleh kurang dari 1/9 panjang kantilever.

3.2.4 Slab atas

Menurut (Podolny,1982) ketebalan minimum untuk top slab adalah :

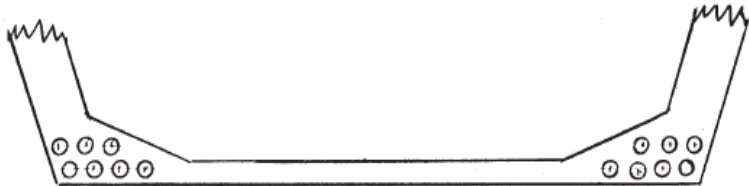
- 175 mm = lebar antar badan kurang dari 3 m.
- 200 mm = lebar antar badan berkisar 3 m sampai 4,5 m.
- 250 mm = lebar antar badan berkisar antara 4,5 m sampai 7,5 m

3.2.5 Badan box

Ketebalan minimum untuk badan box. (Podolny, 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 terjadi dibadan box.
- 300 mm = jika terdapat selongsong tendon (12 ½ in) pada badan box.
- 350 mm = jika terdapat angkur tendon (12 ½ in) pada badan box.

3.2.6 Slab bawah



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

Tebal plat bawah (**Gambar 3.4**) disyaratkan $1/20$ jarak antar web dan tidak boleh kurang dari 200 mm

3.2.7 Panjang segmen box

Panjang tiap segmen minimum 2 meter, kecuali segmen pada bagian pier (Benaim, 2008)

3.3. Menentukan Metode Konstruksi

Dari berbagai metode pelaksanaan *erection* jembatan, metode yang dipakai dalam perencanaan dalam tugas akhir ini dipilih metode kantilever menggunakan *form traveller*. Hal ini dikarenakan pengecoran dilakukan secara *cast in situ* atau pengecoran di tempat. Selain itu pertimbangan dalam penggunaan metode ini dikarenakan :

1. Keadaan dibawah jalan layang LRT merupakan jalan tol yang cukup padat serta terdapat *over pass* di atas tol tersebut sehingga perlu meminimalisir gangguan pada tol tersebut, dan tidak memungkinkan menggunakan perancah atau *mobile craine*. Pada *form traveler* pengerjaan dilakukan secara elevated dan tidak mengganggu arus di bawah LRT.
2. Jika menggunakan lifting frame maka akan terdapat waktu dimana *precast box girder* perlu dinaikan ke atas. Dan jika sebagai media transportasi *precast box girder* menggunakan truk trailer atau *boogie*, maka akan banyak waktu yang terpakai untuk menghentikan arus kendaraan di bawah jalan layang LRT, karena jumlah segmen yang digunakan cukup banyak.
3. Menggunakan *precast box girder* akan memerlukan lokasi yang cukup luas sebagai stock yard. Dan kondisi dari lahan sendiri tidak memungkinkan adanya stock yard yang cukup luas.

Pengecoran balok jembatan dilakukan tiap segmen demi segmen sebagai kantilever di kedua sisi agar saling mengimbangkan (*balance*) atau satu sisi dengan pengimbang balok beton yang sudah dilaksanakan lebih dahulu. Pada sistem ini diperlukan kabel *prestressed* khusus untuk pemasangan tiap segmen. Kabel *prestressed* ini hanya berfungsi pada saat erection saja, sedangkan untuk menahan beban permanen diperlukan kabel *prestress* tersendiri. Dalam penggunaan *form traveler* juga perlu diperhitungkan berat dari traveler terhadap struktur.

3.4. Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang diterapkan mengacu pada muatan atau aksi lain (beban perpindahan dan pengaruh lainnya) yang timbul pada suatu jembatan kereta api. Acuan yang digunakan dalam menentukan pembebanan ini mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan PM.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Dikarenakan tidak adanya kombinasi pembebanan maka dalam menentukan kombinasi pembebanan

menganut aturan dalam peraturan AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance of Way Association*). Aksi-aksi yang terjadi dikelompokkan menurut sumbernya antara lain :

3.4.1 Beban mati

1. Beban sendiri (DL)

Berat sendiri (*self weight*) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Struktur dihitung dengan mengalikan nilai luas penampang, panjang bentang dan berat jenis struktur.

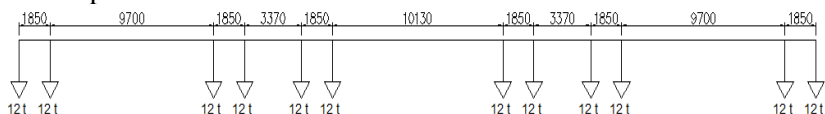
2. Beban mati tambahan (SDL)

Beban mati tambahan (*superimpose dead load*) adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada girder jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Beban tambahan struktur terdiri dari beban rel serta beban balas, berat air hujan dan berat parapet.

3.4.2 Beban Hidup

1. Beban Gandar (L)

Beban gandar untuk kereta LRT dihitung berdasarkan beban maksimum yang terjadi. Beban maksimum yang terjadi adalah beban kereta ditambah dengan beban penumpang yang berada di dalamnya. Beban hidup yang digunakan adalah beban berjalan yang didesain berdasarkan pada kereta LRT rujukan. Beban hidup untuk satu axle adalah 12 ton atau sebesar 6 ton per roda. Jumlah rangkaian 1 set kereta terdiri dari 3 gerbong dan untuk jangka panjangnya akan menjadi 6 gerbong. Skema pembebanan dapat dilihat pada **Gambar 3.5**



Gambar 3. 5 Skema Beban Kereta

2. Kecepatan Rencana

Berdasarkan PM 60 tahun 2012, kecepatan rencana kereta api adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{rencana}} = 1,25 V_{\text{maks}} \quad (3.4)$$

Dimana :

V_{maks} = Kecepatan maksimum (km/h)

V_{rencana} = Kecepatan rencana (km/h)

Untuk LRT, kecepatan maksimum adalah 80 km/h, sehingga kecepatan rencana adalah 100 km/h

3. Beban kejut (I)

Koefisien kejut desain yang digunakan untuk mengkaji kondisi batas ultimate elemen penahan jalan rel dan harus dihitung berdasarkan rumus sesuai pada PM 60 tahun 2012. Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Beban kejut yang digunakan untuk rel pada alas balas yaitu :

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50+L} \quad (3.5)$$

Dimana :

i = faktor kejut,

L = panjang bentang (m)

3.4.3 Beban longitudinal / rem (LF)

Beban longitudinal akibat pengereman harus diperhitungkan pada pusat gravitasi kereta atau bekerja paralel terhadap jalan rel dan mempunyai arah horizontal pada jalan rel. Menurut PM 60 tahun 2012 besar beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, dan bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

3.4.4 Beban lateral (LR)

Beban lateral kereta bekerja saat kereta bergerak dimana kereta akan bergerak mengenai rel sehingga menyebabkan gaya

lateral. Gaya lateral kereta bekerja secara horizontal tegak lurus arah rel, dengan besaran 15% atau 20% dari beban gandar kereta.

3.4.5 Beban angin (WS,WL)

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan PM. 60 Tahun 2012, beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horisontal, dengan nilai sebagai berikut:

- a. 3.0 kN/m^2 pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2.0 kN/m^2 , pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
- b. 1.5 kN/m^2 pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1.2 kN/m^2 untuk jembatan selain gelagar, dek, rusuk atau jembatan komposit, sedangkan 0.8 kN/m^2 untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin

3.4.6 Pengaruh pra-tegang (PS)

Pra-tegang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas layan ataupun batas ultimate

3.4.7 Pengaruh susut (SH) dan rangkak (CR)

Pengaruh rangkak dan penyusutan 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 pra-tegang).

3.4.8 Beban temperatur (T)

Beban temperatur ditentukan dari nilai temperatur maksimum dan minimum harian. Selisih nilai temperature

maksimum dan minimum adalah 25° Celcius ($T_{\text{mak}} = 40^{\circ} \text{ C}$ dan $T_{\text{min}} = 15^{\circ} \text{ C}$), dengan asumsi pada saat pemasangan tidak memperhatikan beban temperatur. Koefien perpanjangan akibat suhu untuk beton mutu tinggi diambil nilai 11×10^{-6} per $^{\circ} \text{C}$ dengan modulus elastisitas beton $4700\sqrt{f_c'}$ (MPa).

3.4.9 Beban gempa (EQ)

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Jakarta dengan mempertimbangkan kondisi tanah dilokasi rencana struktur ini yaitu tanah sedang.

Besaran gempa merujuk pada SNI 1725-2016 tentang pembebanan untuk jembatan. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (C_{sm}) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (3.6)$$

Keterangan :

E_Q : adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : adalah koefisien respons gempa elastis

R_d : adalah faktor modifikasi respons

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

3.4.10 Kombinasi pembebanan

Pembebanan pada poin-poin sebelumnya dijumlah untuk mendapatkan gaya-gaya yang dialami oleh struktur. Pada PM 60 tahun 2012 tidak ditentukan kombinasi pembebanan, maka untuk kombinasi pembebanan mengacu pada AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance of Way Association*). Untuk kombinasi beban saat servis dapat dilihat pada tabel 3.1 dan untuk desain faktor pembebanan dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Kombinasi pembebanan saat servis

Grup	D+SD	L	I	LR	W	WL	LF	EQ	OF
S1	1	1	1	1					
S2	1				1				
S3	1	1	1	1	0.5	1	1		
S4	1	1	1	1					1
S5	1				1				1
S6	1	1	1	1	0.5	1	1		1
S7	1							1	

Tabel 3. 2 Kombinasi pembebanan ultimate

Grup	D+SD	L	I	LR	W	WL	LF	EQ	OF
U1	1,4	2,33	2,33	1,4					
U1A	1,8	1,8	1,8	1,8					
U2	1,4				1,4				
U3	1,4	1,4	1,4	1,4	0,7	1,4	1,4		
U4	1,4	1,4	1,4	1,4					1,4
U5	1,4				1,4				1,4
U6	1,4	1,4	1,4	1,4	0,7	1,4	1,4		1,4
U7	1,4							1,4	
U8	1,4	1,4	1,4						
U9	1,2				1,2				

3.5. Menentukan Gaya Prategang

Penentuan gaya prategang awal sangat dipengaruhi oleh momen yang didapat dari perhitungan momen statis tak tentu dan pemilihan penampang yang dipakai. Selain itu menentukan gaya prategang digunakan baik dalam tahap kantilever maupun tahap servis. Untuk menentukan tegangan yang dialami beton pratekan,

termasuk untuk menentukan gaya prategang digunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{F.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I} \quad (3.7)$$

Dimana :

- σ = Tegangan pada beton pratekan
- F = gaya pada serat atas/bawah (N)
- A = Luas daerah yang dikenai gaya (mm^2)
- e = eksentrisitas (mm).
- I = inersia penampang (mm^4).
- M = momen akibat beban sendiri / luar (kNm).
- y = jarak dari sumbu yang melalui titik berat (mm).

Tegangan ijin beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang:

- Tegangan tekan : $\sigma_{ci} = 0.6 f'_{ci}$ (SNI03-2847-2002 Ps.20.4.1(1)).
- Tegangan tarik : $\sigma_{ti} = 0.25 \sqrt{f'_{ci}}$ (SNI 03-2847-2002 Ps.20.4.1(1)).

Tegangan ijin beton sesaat setelah kehilangan gaya prategang:

- Tegangan tekan : $\sigma_{ci} = 0.45 f'_{c}$ (SNI 03-2847-2002 Ps.20.4.1(1)).
- Tegangan tarik : $\sigma_{ti} = 0.5 \sqrt{f'_{c}}$ (SNI 03-2847-2002 Ps.20.4.1(1)).

3.6. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Dalam perencanaan beton pratekan, analisis gaya-gaya efektif dari tendon penting sekali untuk diketahui. Menurut Lin dan Burns (1988) 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:

3.7.1 Perpendekan elastik beton

Pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja prategang juga akan ikut memendek, sehingga akan menimbulkan kehilangan prategang. Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastik beton dihitung dengan rumus :

$$ES = K_{es} \frac{Es}{E_{ci}} f_{cir} \quad (3.8)$$

Dengan nilai f_{cir} sebagai berikut :

$$f_{cir} = -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \cdot e^2}{I} + \frac{M_G \cdot e}{I} \quad (3.9)$$

Dimana :

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa).

K_{es} = koefisien elastis 0,5 (pascatarik).

Es = modulus elastisitas baja (MPa).

E_{ci} = 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).

3.7.2 Gesekan

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

$$Fx = F_0 e^{-\mu\alpha + KL} \quad (3.10)$$

Dimana :

Fx = Gaya prategang setelah terjadi kehilangan prategang akibat gesekan (N).

- F_0 = Tegangan awal (N).
 μ = koefisien friksi.
 K = koefisien woble.
 α = perubahan sudut = $8 f/L$.
 L = panjang kabel (m).

Tabel 3. 3 koefisien-koefisien gesekan untuk tendon pasca-tarik

Tipe tendon	K tiap meter	μ
Tendon pada selubung logam fleksibel		
- Tendon kawat	0,0033 – 0,0049	0,15 – 0,25
- Strand dengan untaian 7 kawat	0,0016 – 0,0066	0,15 – 0,25
- Baja mutu tinggi	0,0003 – 0,0020	0,08 – 0,30
Tendon pada selubung logam kaku		
- Strand dengan untaian 7 kawat	0,0007	0,15 – 0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat	0,001 – 0,0066	0,05 – 0,15
Tendon yang diberi lapisan mastic		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15

3.7.3 Slip angkur

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. Besar nilai kehilangan prategang akibat slip angkur untuk tendon yang hampir lurus dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta_{SA} = \frac{2,5}{x} f s \quad (3.11)$$

$$x = \sqrt{\frac{E_s \times g}{\sigma_0 \times K}} \quad (3.12)$$

Dimana :

- Δ_{SA} = kehilangan prategang akibat pengangkuran (MPa)
- σ_0 = gaya prategang awal (MPa)
- f_s = tegangan pakai (MPa)
- K = koefisien wobble
- g = perpanjangan angkur (mm)
- X = jarak pengaruh slip angker (mm)

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:

3.7.4 Rangkak beton

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

$$\Delta CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cir} - f_{cds}) \quad (3.13)$$

Dimana :

- 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 struktur setelah diberi gaya prategang (MPa).

3.7.5 Susut beton

Karena susut tergantung dari waktu, kita tidak mengalami 100% kehilangan tegangan batas dalam beberapa tahun, tetapi 80% terjadi pada tahun pertama. Besarnya susut yang terjadi pada beton pratekan dapat dijelaskan menggunakan persamaan berikut ini:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} Es \left(1 - 0,0236 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \quad (3.14)$$

Dimana :

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

K_{SH} = koefisien susut

E_s = modulus elastisitas baja (MPa).

V = luas penampang box (cm^2).

S = keliling penampang box (cm)

RH = kelembaban relatif.

Tabel 3. 4 Nilai untuk komponen struktur pasca-tarik

Hari	1	3	5	7	10	20	30	60
Ksh	0,92	0,85	0,8	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

3.7.6 Relaksasi baja

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:

$$RE = (K_{RE} - J(SH + CR + SE)) \times C \quad (3.15)$$

Dimana :

RE = kehilangan prategang akibat relaksasi baja (MPa).

K_{RE} = koefisien relaksasi 138 MPa.

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa).

CR = kehilangan prategang akibat rangkai (MPa).

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa).

$C = 1,00$ (ambil nilai $f_{pi}/f_{pu} = 0,7$).

Dimana, K_{re} , J dan C adalah nilai-nilai menurut tabel 3.9 dan tabel 3.10

Tabel 3. 5 Nilai – nilai K_{re} dan J

Tipe Tendon	K_{re}	J
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 MPa	138	0,15
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 MPa	128	0,14
Kawat stress-relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	121	0,13
Strand relaksasi rendah derajat 1860 MPa	35	0,040
Kawat relaksasi rendah derajat 1720 MPa	32	0,037
Strand relaksasi rendah derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	30	0,035
Batang stress-relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa	41	0,05

Tabel 3. 6 Nilai C

f_{pi} / f_{pu}	Strand atau kawat stress-relieved	Batang stress_relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0,80		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85

fpi / fpu	Strand atau kawat stress-relieved	Batang stress_relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

3.7. Analisa Struktur Utama

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

1. Beban sendiri
2. Beban mati tambahan
3. Beban hidup kereta
4. Beban kejut, longitudinal, lateral
5. Beban angin pada struktur dan kendaraan
6. Beban gempa

Masing-masing beban diatas dikombinasikan dengan menggunakan kombinasi beban servis atau layan. Untuk perhitungan gaya dalam yang terjadi pada struktur statis tak tentu digunakan program bantu analisa struktur Midas Civil.

3.8. Kontrol Kekuatan dan Stabilitas

Kontrol kekuatan dan stabilitas struktur meliputi :

3.8.1 Kontrol tegangan

Melakukan 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

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F \times e \times y}{I} \pm \frac{M_{mati} \times y}{I} \quad (3.16)$$

Tegangan prategang + tegangan akibat beban mati + tegangan akibat beban hidup

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F \times e \times y}{I} \pm \frac{M_{mati} \times y}{I} \pm \frac{M_{hidup} \times y}{I} \quad (3.17)$$

a. Tegangan Ijin Baja

Saat Batas Layan

1. Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar 0,70 fpu
2. Untuk kondisi layan, sebesar 0,60 fpu

Saat transfer gaya prategang

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

b. Tegangan Ijin Beton

1. Tegangan ijin tekan pada kondisi beban sementara atau kondisi transfer gaya prategang untuk komponen beton prategang $0,60 f_{ci}$
2. Tegangan ijin tarik pada kondisi transfer gaya prategang serat terluar tidak melebihi $0,25\sqrt{f_{ci}'}$ kecuali untuk kondisi di bawah ini.
3. Serat terluar pada ujung komponen yang didukung sederhana tidak melebihi $0,5\sqrt{f_{ci}'}$
4. Tegangan ijin tarik pada kondisi beban layan tidak melebihi $0,5\sqrt{f_{ci}'}$

3.8.2 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. Modulus keruntuhan merupakan ukuran permulaan retak-retak rambut yang seringkali tidak terlihat oleh mata telanjang. Tegangan tarik yang lebih besar dari modulus diperlukan untuk menghasilkan retak-retak yang terlihat. 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 :

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= (F_{eff} \times e) + \left(\frac{F_{eff} \times I}{A \times y_b} \right) + \left(\frac{f_r \times I}{y_b} \right) & (3.18) \\
 &= \left[F_{eff} \left(e + \frac{I}{A \times y_b} \right) \right] + \left[\frac{f_r \times I}{y_b} \right] \\
 &= \left[F_{eff} (e + K_t) \right] + [f_r \times W_b] \\
 &= M_1 + M_2
 \end{aligned}$$

Keterangan:

M_1 = momen akibat eksentrisitas gaya prategang

M_2 = momen tahanan dari beton sendiri

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

e = eksentrisitas

W_b = tahanan serat bawah

W_t = tahanan serat atas

f_r = modulus retak = $0,62\sqrt{f_c'}$

3.8.3 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:

$$Mu = \phi [A_{ps} \times f_{ps} \times (d - \frac{a}{2})] \quad (3.19)$$

Dimana:

Mu = momen batas

Aps = luas baja prategang

fps = tegangan tarik pada tendon pada saat keruntuhan balok

d = tinggi efektif

a = kedalaman sumbu netral

3.8.4 Perhitungan geser

Perhitungan geser bertujuan untuk menentukan tulangan geser yang digunakan agar balok dapat menerima geser yang terjadi. Tegangan geser pada suatu titik dinyatakan sebagai:

$$\tau_v = \left(\frac{V \times S}{I \times B} \right) \quad (3.20)$$

Dimana:

τ_v = tegangan geser akibat beban transversal

V = gaya geser

S = momen

I = momen inersia terhadap titik berat

B = lebar penampang pada titik yang ditentukan

3.8.5 Lendutan

Perhitungan lendutan pada balok prategang merupakan perhitungan pendekatan untuk mendapatkan lendutan ke atas (camber) dan lendutan ke bawah. Ada dua macam lendutan yang terjadi :

a. Lendutan ke atas (*camber*) akibat gaya prategang

$$\Delta = - \frac{5w L^4}{384 EI} \quad (3.21)$$

dengan :

$$w = \frac{8 F h}{L^2} \quad (3.22)$$

Dimana :

L = panjang bentang

E = modulus elastisitas beton
 I = momen inersia penampang

b. Lendutan ke bawah akibat beban merata dan beban terpusat

$$\Delta = \frac{5q L^4}{384 EI} \quad (3.23)$$

$$\Delta = \frac{P L^3}{48 EI} \quad (3.24)$$

Dimana :

P = beban terpusat di tengah bentang

q = beban merata

3.9. Penulangan Box Girder

Selain adanya tendon, box girder juga perlu diberi tulangan untuk menahan gaya – gaya yang terjadi ataupun rangkai dan susut. Perhitungan tulangan mengacu pada RSNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.25)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.26)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (3.27)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} \quad (3.28)$$

Kebutuhan tulangan

$$M_n = \frac{Mu}{0,8} \quad (3.29)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} \quad (3.30)$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (3.31)$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \quad (3.32)$$

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (3.33)$$

3.10. 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.

3.11. Gambar Rencana

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan

Dalam tugas akhir ini akan direncanakan jalan layang *Light Rail Transit* (LRT) Jakarta STA 6+652 – 6+850, dengan konstruksi Box Girder. Berikut adalah data perencanaan dari jalan layang tersebut :

Nama jembatan	: Jalan Layang <i>Light Rail Transit</i> (LRT) Jakarta STA 6+652 – 6+850
Lokasi jembatan	: Daerah Kampung Rambutan atas Tol Jagorawi
Tipe jembatan	: <i>Prestressed Segmental Box Girder non-prismatic</i> tipe <i>single cells</i>
Panjang Total	: 198 m, terdiri dari 3 bentang dengan panjang masing-masing 54m, 90 m, 54 m.
Metode pelaksanaan	: Metode <i>cast in situ</i> dengan <i>balance cantilever using traveller</i> .

4.2 Data Bahan

4.2.1 Beton

- Kuat tekan beton prategang (f_c') = 60 MPa
- Kuat tekan beton untuk struktur sekunder (f_c') = 30 MPa

4.2.2 Baja tulangan non-prategang

- Mutu baja yang akan digunakan untuk penulangan box girder adalah baja mutu (f_y) = 420 Mpa.
- Mutu baja yang digunakan untuk struktur sekunder adalah baja mutu (f_y) = 400 MPa.

4.2.3 Baja prategang

Tendon atau kabel menggunakan jenis *strand seven wires stress relieved* (7 kawat untai), Dengan mengacu pada tabel VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik tendon yang digunakan :

Jenis strands	: VSL ASTM A416-06 grade 270
Tegangan leleh, f_{py}	: 1676 MPa
Tegangan tarik, f_{pu}	: 1860 MPa
Diameter nominal	: 15,24 mm
Luas nominal, A_p	: 140 mm ²
Beban putus minimal	: 260,7 KN
Modulus Elastisitas, E_s	: 195000 MPa
Jenis Tendon	: 6-19-19
Beban putus tendon, F_{pu}	: 4953 KN
Diameter selubung ideal	: 100 – 106 mm

4.3 Tegangan Ijin Bahan

4.3.1 Beton prategang

- Tegangan ijin bahan beton prategang (pasal 4.4.1.2) saat transfer

Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dilakukan transfer (f_{ci}'), dinyatakan dalam satuan MPa.

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= 70\% \times f_c' \\ &= 70\% \times 60 = 42 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \sigma_{tekan} &= 0.6 \times f_{ci}' \\ &= 0.6 \times 42 = 25,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2.3 untuk struktur jembatan tegangan tarik yang diijinkan terjadi tidak boleh melampaui

$$\begin{aligned} \sigma_{tarik} &= 0.25 \times \sqrt{f_{ci}'} \\ &= 0.25 \times \sqrt{42} = 1.62 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan ijin bahan beton prategang pada saat layan.

Berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2.1 untuk komponen beton prategang pada saat layan, tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut :

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

Untuk tegangan tarik yang diijinkan pada kondisi batas layan :

$$\begin{aligned}\sigma_{tarik} &= 0.5 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0.5 \times \sqrt{60} = 3.873 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Modulus Elastisitas (E)

$$\begin{aligned}E &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{60} = 36406 \text{ MPa}\end{aligned}$$

4.3.2 Baja Prategang

- Tegangan ijin baja prategang pada kondisi transfer

Berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 4.4.3.2.2, tegangan tarik baja prategang pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}f_{s \text{ tarik}} &= 0,94 \times f_{py} \\ &= 0,94 \times 1676 = 1575 \text{ MPa}\end{aligned}$$

dan tidak lebih besar dari :

$$\begin{aligned}f_s &= 0,85 \times f_{pu} \\ &= 0,85 \times 1860 = 1581 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Maka diambil nilai $f_s = 1575 \text{ MPa}$

- Tegangan ijin baja prategang pada kondisi layan

Berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 4.4.3.2.1, tegangan tarik baja prategang pada kondisi layan tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut :

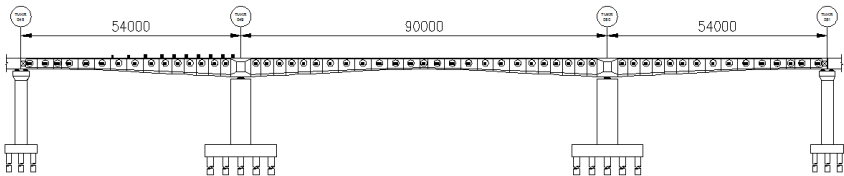
$$\begin{aligned}f_s &= 0,6 \times f_{pu} \\ &= 0,6 \times 1860 = 1116 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Kekuatan tarik ijin tendon

$$\begin{aligned}
 F_{pe} &= 0,85 \times F_{pu} \\
 &= 0,85 \times 4953 = 4210 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

4.4 Preliminary Desain

Jalan layang Light Rail Transit (LRT) jakarta STA 6+652–6+850 tergolong dalam jembatan bentang panjang. Dalam perencanaan jembatan box girder segmental bentang panjang perlu diperhatikan jenis dari tipe box girder yang digunakan. Pada perencanaan struktur pada tugas akhir ini dipilihlah box girder dengan tipe *variable depth* atau bagian tengah yang memiliki tinggi lebih kecil dari bagian tumpuan. Langkah awal dalam menentukan dimensi box girder adalah dengan menentukan tinggi rencana ($h_{rencana}$) penampang box girder. $H_{rencana}$ diperoleh dari rasio tinggi (h) terhadap bentang jembatan (L).



Gambar 4. 1 Desain rencana jalan layang LRT STA 6+652-6+850

4.4.1 Tinggi box girder

Pada perencanaan jembatan menerus ini, penampang box girder dibuat sama untuk mempermudah dalam pelaksanaannya. Mengingat metode pelaksanaannya adalah metode *balance cantilever* sehingga memerlukan keseimbangan pada setiap pemasangan box girder. Desain awal menentukan tinggi pada masing-masing segmen digunakan persamaan parabola. Untuk yang pertama yaitu menentukan acuan awal tinggi penampang pada area tumpuan dan area lapangan jembatan. ($h_{rencana}$) untuk jembatan box girder jenis ini sesuai (Podolny, 1982) adalah :

- $h_{rencana}$ pada tengah bentang :

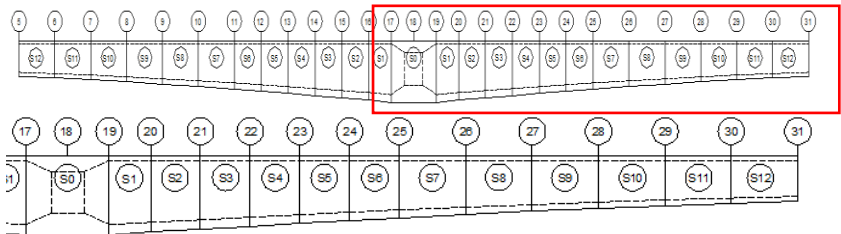
$$\begin{aligned}
 H_{tafsiran} &= \frac{1}{16} > \frac{h1}{L} > \frac{1}{20} \\
 &= 1/20 \times 90
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

= 4,5 m digunakan 4,7 m

- $h_{rencana}$ pada tumpuan :

$$\begin{aligned} H_{rencana} &= \frac{1}{30} > \frac{h_0}{L} > \frac{1}{50} \\ &= 1/35 \times 90 \\ &= 2.57 \text{ m digunakan } 2.7 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Dari $H_{rencana}$ tersebut kemudian dibuat tinggi box girder secara parabolik yang disesuaikan agar mudah dalam proses pembuatan. Maka didapatkan tinggi setiap segmen sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Permodelan jembatan variable depth

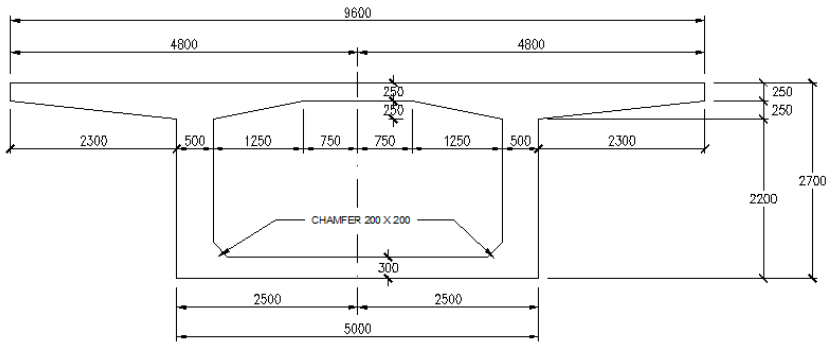
Tabel 4. 1 $H_{rencana}$ penampang setiap segmen

Segmen	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	C1
Joint	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Tinggi (m)	4.7	4.7	4.5	4.35	4.2	4	3.85	3.7	3.5	3.3	3.1	2.95	2.8	2.7

4.4.2 Properti Girder

Box girder direncanakan sebagai berikut :

- Ketebalan plat atas 250 mm
- Ketebalan deck bawah bervariasi sesuai dengan tinggi box girder. Berkisar antara 300 mm sampai 600 mm
- Ketebalan badan 500 mm

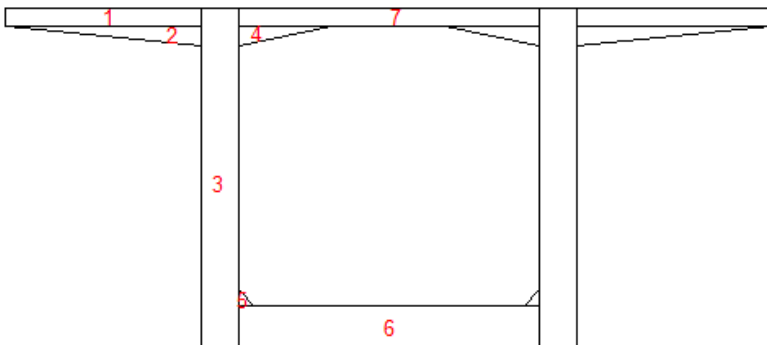


Gambar 4. 3 Desain rencana penampang melintang joint 31

Selanjutnya perhitungan inersia penampang ditentukan berdasarkan :

1. Menghitung luas penampang box girder.
2. Menghitung garis netral penampang box girder.

Dalam perhitungan luas penampang, box girder dibagi dalam beberapa pias. Berikut adalah contoh perhitungan dimensi box girder pada penampang 20 dengan $h_{rencana} = 4500$ mm



Gambar 4. 4 Perhitungan luasan pada penampang 20

Tabel 4. 2 Perhitungan inersia box pada penampang 20

No	Panjang (b)	Tinggi (h)	Faktor bentuk	Jumlah bentuk	Luas (A)	Jarak terhadap alas (y)	A * y	Momen Inersia A*y ²	Momen Inersia (I _o)
1	2.3	0.25	1	2	1.15	4.375	5.03125	22.012	0.0030
2	2.3	0.25	0.5	2	0.575	4.167	2.39583	9.983	0.0020
3	0.5	4.5	1	2	4.5	2.250	10.12500	22.781	3.7969
4	1.25	0.25	0.5	2	0.3125	4.167	1.30208	5.425	0.0011
5	0.2	0.2	0.5	2	0.04	0.617	0.02467	0.015	0.0001
6	4	0.55	1	1	2.2	0.275	0.60500	0.166	0.0555
7	4	0.25	1	1	1	4.375	4.37500	19.141	0.0052
Jumlah					9.7775		23.85883	79.523	3.8637

Perhitungan penentuan titik berat box girder dan kern adalah sebagai berikut :

- Letak titik berat

$$y_b = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{23.86}{9.78} = 2,44 \text{ m.}$$

$$y_a = H - y_b = 4,5 - 2,44 = 2,06 \text{ m}$$

- Momen inersia terhadap alas balok :

$$I_b = \sum A \cdot y^2 + \sum I_o = 79,523 + 3,864 = 83,387 \text{ m}^4$$

- Momen inersia terhadap titik berat balok :

$$I_x = I_b - A \cdot y_b^2 = 83,387 - 58,211 = 25,167 \text{ m}^4$$

- Tahanan momen sisi atas:

$$W_a = \frac{I_x}{y_a} = \frac{25,167}{2,06} = 12,218 \text{ m}^3$$

- Tahanan momen sisi bawah:

$$W_b = \frac{I_x}{y_b} = \frac{25,167}{2,44} = 10,314 \text{ m}^3$$

- Kern sisi atas:

$$K_a = \frac{W_b}{\sum A} = \frac{10,314}{9,78} = 1,055 \text{ m}$$

- Kern sisi bawah:

$$K_b = \frac{W_a}{\sum A} = \frac{12,218}{9,78} = 1,250 \text{ m}$$

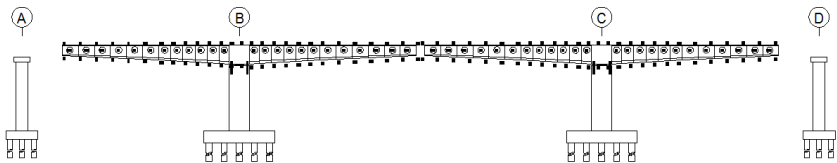
Untuk perhitungan pada penampang box pada setiap penampang dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Resume perhitungan komponen penampang box

Segmen	Joint	Tinggi (m)	Luas (m ²)	ya (m)	yb (m)	I (m ⁴)	Wa (m ³)	Wb (m ³)	Ka (m)	Kb (m)
S0	18	4.7	19.02	2.22	2.48	36.42	16.41	14.68	0.77	0.86
S1	19	4.7	10.18	2.19	2.51	28.61	13.04	11.42	1.12	1.28
S2	20	4.5	9.78	2.06	2.44	25.17	12.22	10.31	1.05	1.25
S3	21	4.35	9.63	1.99	2.36	23.24	11.69	9.84	1.02	1.21
S4	22	4.2	9.48	1.92	2.28	21.41	11.17	9.37	0.99	1.18
S5	23	4	9.08	1.78	2.22	18.53	10.38	8.37	0.92	1.14
S6	24	3.85	8.93	1.71	2.14	16.94	9.88	7.93	0.89	1.11
S7	25	3.7	8.78	1.64	2.06	15.42	9.38	7.50	0.85	1.07
S8	26	3.5	8.38	1.52	1.98	13.08	8.62	6.59	0.79	1.03
S9	27	3.3	7.98	1.39	1.91	10.95	7.88	5.73	0.72	0.99
S10	28	3.1	7.58	1.26	1.84	9.02	7.14	4.91	0.65	0.94
S11	29	2.95	7.43	1.20	1.75	8.01	6.69	4.58	0.62	0.90
S12	30	2.8	7.08	1.10	1.70	6.71	6.12	3.94	0.56	0.86
C1	31	2.7	6.98	1.06	1.64	6.14	5.82	3.74	0.54	0.83

4.5 Perencanaan Tendon Kantilever

Tendon kantilever dihitung berdasarkan momen yang didapat akibat berat sendiri box girder dan akibat alat *form traveler*. Pada perencanaan struktur jalan layang LRT ini terdapat dua kantilever yang memiliki bentang dan dimensi yang sama yaitu pada tumpuan tengah (B) dan (C) seperti pada **Gambar 4.5**. Selanjutnya akan di hitung kantilever pada Pier B.



Gambar 4. 5 Kantilever simetris pada Pier B dan C

Pada sisi kantilever beban akibat berat sendiri box girder dan form traveler antara lengan kiri dan lengan kanan seimbang, Hal ini dimaksudkan agar pada saat pelaksanaan tahap

kantilever, beban vertikal akan tetap seimbang antara lengan kiri dan kanan.

4.5.1 Pembebanan saat kantilever

1. Beban mati (D)

Beban mati jembatan terdiri merupakan beban akibat berat sendiri box girder. Berat sendiri (q) didapatkan dari luas penampang melintang rata rata box girder dikali berat jenis beton.

Perhitungan beban akibat berat sendiri segmen S2 adalah :

$$\text{Luas Penampang (A1)} = 9,78 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas Penampang (A2)} = 9,63 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas Penampang Rata rata} = 9,7 \text{ m}^2$$

$$q = A \times B_j.\text{beton}$$

$$= 9,7 \text{ m}^2 \times 25 \text{ KN/m}^3 = 242,56 \text{ KN/m}$$

Pembebanan akibat berat sendiri untuk masing – masing segmen dapat dilihat pada tabel 4.4. :

Tabel 4. 4 Perhitungan beban tiap segmen

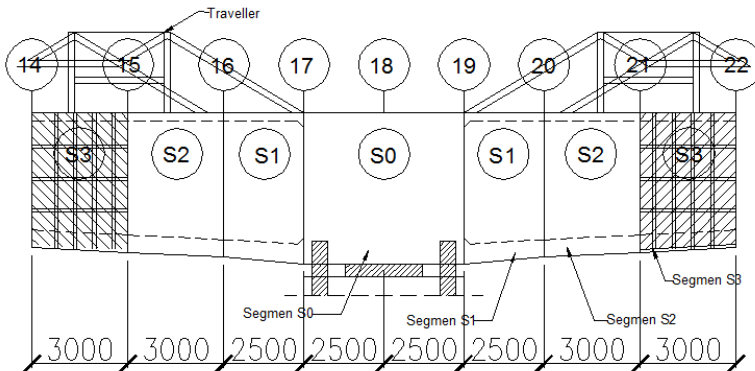
Segmen	x (m)	A1 (m ²)	A2 (m ²)	A _{seg} (m ²)	q (KN/m)
S0	2.5	19.02	10.18	14.60	364.97
S1	2.5	10.18	9.78	9.98	249.44
S2	3	9.78	9.63	9.70	242.56
S3	3	9.63	9.48	9.55	238.81
S4	3	9.48	9.08	9.28	231.94
S5	3	9.08	8.93	9.00	225.06
S6	3	8.93	8.78	8.85	221.31
S7	4	8.78	8.38	8.58	214.44
S8	4	8.38	7.98	8.18	204.44
S9	4	7.98	7.58	7.78	194.44
S10	4	7.58	7.43	7.50	187.56
S11	4	7.43	7.08	7.25	181.31
S12	4	7.08	6.98	7.03	175.69

2. **Beban *form traveller***

Traveler formwork berarti bekisting berjalan, bekisting yang difungsikan berulang kali pada pekerjaan segmental, difungsikan sebagai penggantung atau penopang bekisting serta penggerak bekisting untuk pengecoran segmen berikutnya. Dalam memilih *traveller* perlu diperhatikan berat maksimal yang mampu ditahan oleh traveller tersebut. Dalam tugas akhir ini digunakan *form traveller* tipe Standard 2A Frame dari (DSI) dengan kapasitas maksimal 240 t dan panjang maksimum segmen adalah 5 m. Berat traveler formwork sesuai brosur sebesar kurang lebih 600 KN. Traveler harus bergerak secara bersama pada sisi kiri dan kanan agar struktur tetap menjadi seimbang.

4.5.2 Perhitungan momen kantilever

Momen kantilever terjadi saat pemasangan segmen yang diakibatkan dari beban segmen sendiri dan beban *form traveller* yang berada di kedua disisi. Sebagai contoh berikut merupakan perhitungan momen pada saat pemasangan segmen S3 seperti terlihat pada **Gambar 4.6** dimana akan di cek tegangan pada penampang 18,19, 20,21, dan 22.



Gambar 4. 6 Segmen S0 hingga S3

a. Momen pada penampang 18 akibat pemasangan S3:

- Akibat berat sendiri

$$\begin{aligned} M_{18} &= q_{s0} \times \text{panjang}_{s0} \times 2,5/2 + q_{s1} \times \text{panjang}_{s1} \times (2,5+2,5/2) + q_{s2} \\ &\quad \times \text{panjang}_{s2} \times (5+3/2) + q_{s3} \times \text{panjang}_{s3} \times (8+3/2) \\ &= 364,97 \times 2,5 \times 1,25 + 249,44 \times 2,5 \times 3,75 + 242,56 \times 3 \times \\ &\quad 6,5 + 238,81 \times 3 \times 9,5 \\ &= 15015,13 \text{ KNm} \end{aligned}$$

- Akibat *form traveller*

$$\begin{aligned} M_{18} &= 600 \text{ KN} \times 8 \text{ m} \\ &= 4800 \text{ KNm} \end{aligned}$$

- Total momen

$$M_{18} = 15015,13 \text{ KNm} + 4800 \text{ KNm} = 19815,13 \text{ KNm}$$

2. Momen pada penampang 19 akibat pemasangan S3:

- Akibat berat sendiri

$$\begin{aligned} M_{19} &= q_{s1} \times \text{panjang}_{s1} \times 2,5/2 + q_{s2} \times \text{panjang}_{s2} \times (2,5+3/2) + q_{s3} \times \\ &\quad \text{panjang}_{s3} \times (5,5+3/2) \\ &= 249,44 \times 2,5 \times 1,25 + 242,56 \times 3 \times 4 + 238,81 \times 3 \times 7 \\ &= 8705,3 \text{ KNm} \end{aligned}$$

- Akibat *form traveller*

$$M_{19} = 600 \text{ KN} \times 5,5 \text{ m} = 3300 \text{ KNm}$$

- Total momen

$$M_{19} = 8705,3 \text{ KNm} + 3300 \text{ KNm} = 12005,3 \text{ KNm}$$

3. Momen pada penampang 20 akibat pemasangan S3 :

- Akibat berat sendiri

$$\begin{aligned} M_{20} &= q_{s2} \times \text{panjang}_{s2} \times 3/2 + q_{s3} \times \text{panjang}_{s3} \times (3+3/2) \\ &= 242,56 \times 3 \times 1,5 + 238,81 \times 3 \times 4,5 \\ &= 4315,5 \text{ KNm} \end{aligned}$$

- Akibat *form traveller*

$$M_{20} = 600 \text{ KN} \times 3 \text{ m} = 1800 \text{ KNm}$$

- Total momen

$$M_{20} = 4315,5 \text{ KNm} + 1800 \text{ KNm} = 6115,5 \text{ KNm}$$

4. Momen pada penampang 21 akibat pemasangan S3 :

- Akibat berat sendiri

$$\begin{aligned} M_{21} &= q_{S3} \times \text{panjang}_{S3} \times 3/2 \\ &= 238,81 \times 3 \times 1,5 \\ &= 1074,66 \text{ KNm} \end{aligned}$$

- Akibat *form traveller*

$$M_{21} = 0 \text{ KNm}$$

- Total momen

$$M_{J18} = 1074,66 \text{ KNm} + 0 \text{ KNm} = 1074,66 \text{ KNm}$$

5. Momen pada penampang 22 akibat pemasangan S3 :

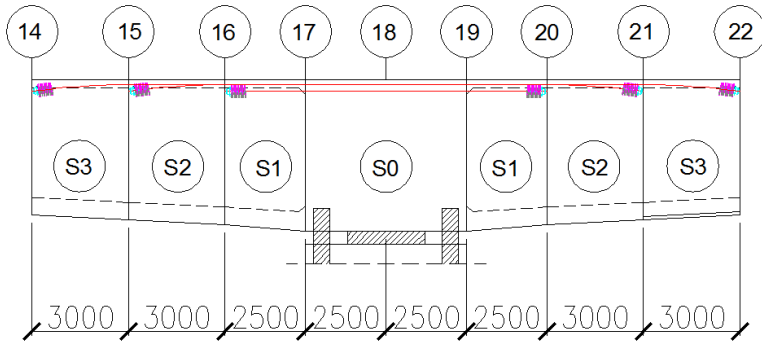
$$M_{22} = 0 \text{ KNm}$$

4.5.3 Kontrol tegangan box girder saat transfer

Direncanakan menggunakan tendon / kabel jenis *strand seven wires stress relieved* (7 kawat untaian), dengan mengacu pada tabel VSL. Berikut adalah jenis dan karakteristik tendon yang digunakan :

Jenis strands	: VSL ASTM A416-06 grade 270
Tegangan leleh, fpy	: 1676 MPa
Tegangan tarik, fpu	: 1860 MPa
Diameter nominal	: 15,24 mm
Luas nominal, Ap	: 140 mm ²
Beban putus minimal	: 260,7 KN
Modulus Elastisitas, Es	: 195000 MPa
Jenis Tendon	: 6-19-19
Beban putus tendon, Fpu	: 4953 KN
Diameter selubung ideal	: 100 – 106 mm

Direncanakan letak tendon untuk metode pelaksanaan konstruksi jembatan mendatar dengan meletakkan tendon pada flens atas box girder, untuk menghindari kesulitan pemasangan tendon untuk beban kerja. Box girder perlu dikontrol kekuatan penampang akibat kekuatan tendon dan momen yang terjadi. Sebagai contoh akan dikontrol penampang akibat pemasangan segmen S3.



Gambar 4. 7 Perencanaan tendon pemasangan segmen S3

1. Kontrol penampang pada penampang 18 akibat pemasangan segmen S3 :

$$\begin{aligned}
 H &= 4700 \text{ mm} & A &= 19,02 \times 10^6 \text{ mm}^2 \\
 y_a &= 2,22 \times 10^3 \text{ mm} & y_b &= 2,19 \times 10^3 \text{ mm} \\
 W_a &= 16,41 \times 10^9 \text{ mm}^3 & W_b &= 14,48 \times 10^9 \text{ mm}^3 \\
 M_{18} &= 19815,13 \times 10^6 \text{ Nmm} \\
 e &= y_a - 0,15 = 2,07 \times 10^3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Saat pemasangan segmen S3 tendon yang digunakan adalah jenis 6-19-19 berjumlah 2 tendon. Pada penampang 18 terdapat 6 tendon yang melewati sehingga :

$$\begin{aligned}
 F_0 &= 6 \times F_{pe} \\
 &= 6 \times 4210 \\
 &= 25260 \text{ KN} = 25,26 \times 10^6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Serat atas

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e}{W_a} + \frac{M_s}{W_a} \\
 f_{ci} &= -\frac{25,26 \times 10^6}{19,02 \times 10^6} - \frac{25,26 \times 10^6 \times 2,07 \times 10^3}{16,41 \times 10^9} + \frac{19,815 \times 10^9}{16,41 \times 10^9} \\
 f_{ci} &= -1,328 - 3,187 + 1,208 \\
 f_{ci} &= -3,307 < -25,2 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK} \\
 &(+/- \text{ hanya menunjukkan tarik/tekan})
 \end{aligned}$$

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e}{Wb} - \frac{M_s}{Wb}$$

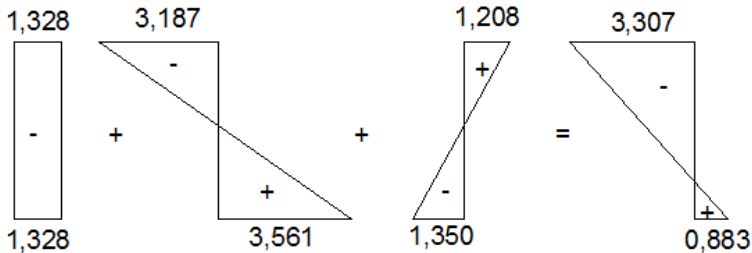
$$f_{ci} = -\frac{25,26 \times 10^6}{19,02 \times 10^6} + \frac{25,26 \times 10^6 \times 2,07 \times 10^3}{14,68 \times 10^9} - \frac{19,815 \times 10^9}{14,68 \times 10^9}$$

$$f_{ci} = -1,328 + 3,561 - 1,350$$

$$f_{ci} = 0,883 < 1,62 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.8**)



Gambar 4. 8 Diagram tegangan penampang 18 akibat pemasangan S3

2. Kontrol penampang pada penampang 19 akibat pemasangan segmen S3 :

$$H = 4700 \text{ mm} \quad A = 10,188 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$y_a = 2,19 \times 10^3 \text{ mm} \quad y_b = 2,51 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$W_a = 13,04 \times 10^9 \text{ mm}^3 \quad W_b = 11,42 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$M_{19} = 12005,3 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$e = y_a - 0,15 = 2,04 \times 10^3 \text{ mm}$$

Saat pemasangan segmen S3 pada penampang 19 terdapat 6 tendon yang melewati sehingga :

$$F_0 = 6 \times F_{pe}$$

$$= 6 \times 4210$$

$$= 25260 \text{ KN} = 25,26 \times 10^6 \text{ N}$$

Serat atas

$$f_{ci} = -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e}{W_a} + \frac{M_s}{W_a}$$

$$f_{ci} = -\frac{25,26 \times 10^6}{10,18 \times 10^6} - \frac{25,26 \times 10^6 \times 2,04 \times 10^3}{13,04 \times 10^9} + \frac{12,005 \times 10^9}{13,04 \times 10^9}$$

$$f_{ci} = -2,482 - 3,959 + 0,921$$

$$f_{ci} = -5,521 < -25,2 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e}{W_b} - \frac{M_s}{W_b}$$

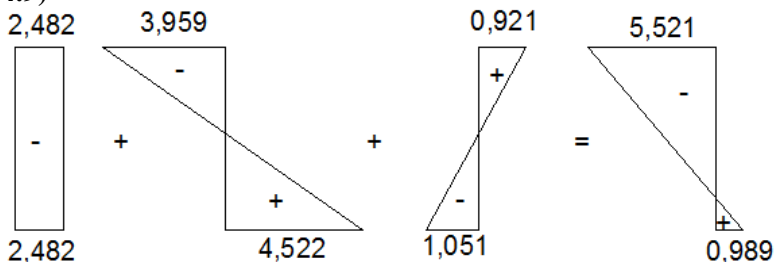
$$f_{ci} = -\frac{25,26 \times 10^6}{10,18 \times 10^6} + \frac{25,26 \times 10^6 \times 2,04 \times 10^3}{11,42 \times 10^9} - \frac{12,005 \times 10^9}{11,42 \times 10^9}$$

$$f_{ci} = -2,482 + 4,522 - 1,051$$

$$f_{ci} = 0,989 < 1,62 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.9**)



Gambar 4. 9 Diagram tegangan penampang 19 akibat pemasangan S3

3. Kontrol penampang pada penampang 20 akibat pemasangan segmen S3 :

$$H = 4500 \text{ mm}$$

$$y_a = 2,06 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$W_a = 12,22 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$A = 9,77 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$y_b = 2,44 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$W_b = 10,31 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$M_{20} = 6115,5 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$e = y_a - 0,15 = 1,91 \times 10^3 \text{ mm}$$

Saat pemasangan segmen S3 pada penampang 20 terdapat 6 tendon yang melewati sehingga :

$$F_0 = 6 \times F_{pe}$$

$$= 6 \times 4210$$

$$= 25260 \text{ KN} = 25,26 \times 10^6 \text{ N}$$

Serat atas

$$f_{ci} = -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e}{Wa} + \frac{M_s}{Wa}$$

$$f_{ci} = -\frac{25,26 \times 10^6}{9,77 \times 10^6} - \frac{25,26 \times 10^6 \times 1,91 \times 10^3}{12,22 \times 10^9} + \frac{6,115 \times 10^9}{12,22 \times 10^9}$$

$$f_{ci} = -2,584 - 3,948 + 0,501$$

$$f_{ci} = -6,031 < -25,2 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e}{Wb} - \frac{M_s}{Wb}$$

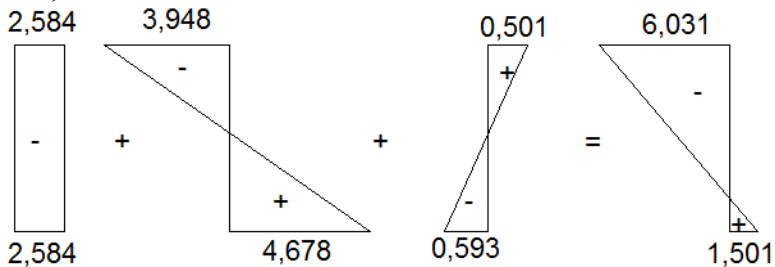
$$f_{ci} = -\frac{25,26 \times 10^6}{9,77 \times 10^6} + \frac{25,26 \times 10^6 \times 1,91 \times 10^3}{10,31 \times 10^9} - \frac{6,115 \times 10^9}{10,31 \times 10^9}$$

$$f_{ci} = -2,584 + 4,678 - 0,593$$

$$f_{ci} = 1,501 < 1,62 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.10**)



Gambar 4. 10 Diagram tegangan penampang 20 akibat pemasangan S3

4. Kontrol penampang pada penampang 21 akibat pemasangan segmen S3 :

$$\begin{aligned} H &= 4350 \text{ mm} & A &= 9,63 \times 10^6 \text{ mm}^2 \\ y_a &= 1,99 \times 10^3 \text{ mm} & y_b &= 2,36 \times 10^3 \text{ mm} \\ W_a &= 11,69 \times 10^9 \text{ mm}^3 & W_b &= 9,84 \times 10^9 \text{ mm}^3 \\ M_{21} &= 1074,66 \times 10^6 \text{ Nmm} \\ e &= y_a - 0,15 = 1,84 \times 10^3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Saat pemasangan segmen S3 pada penampang 21 terdapat 4 tendon yang melewati, karena 2 tendon sebelumnya telah habis di segmen 1 penampang 20, sehingga :

$$\begin{aligned} F_0 &= 4 \times F_{pe} \\ &= 4 \times 4210 \\ &= 16840 \text{ KN} = 16,84 \times 10^6 \text{ N} \end{aligned}$$

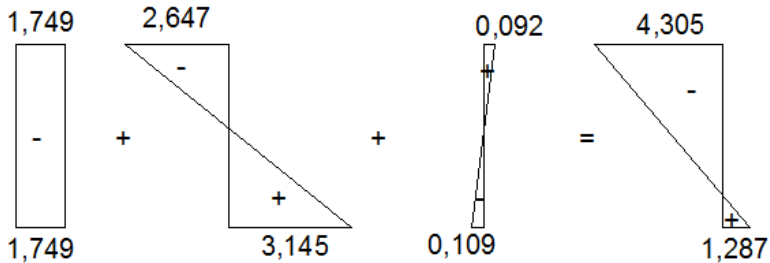
Serat atas

$$\begin{aligned} f_{ci} &= -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e}{W_a} + \frac{M_s}{W_a} \\ f_{ci} &= -\frac{16,84 \times 10^6}{9,63 \times 10^6} - \frac{16,84 \times 10^6 \times 1,84 \times 10^3}{11,69 \times 10^9} + \frac{1,075 \times 10^9}{11,69 \times 10^9} \\ f_{ci} &= -1,749 - 2,647 + 0,092 \\ f_{ci} &= -4,305 < -25,2 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK} \\ &(+/- \text{ hanya menunjukkan tarik/tekan}) \end{aligned}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned} f_{ci} &= -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e}{W_b} - \frac{M_s}{W_b} \\ f_{ci} &= -\frac{16,84 \times 10^6}{9,63 \times 10^6} + \frac{16,84 \times 10^6 \times 1,84 \times 10^3}{9,84 \times 10^9} - \frac{1,075 \times 10^9}{9,84 \times 10^9} \\ f_{ci} &= -1,749 + 3,145 - 0,109 \\ f_{ci} &= 1,287 < 1,62 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK} \\ &(+/- \text{ hanya menunjukkan tarik/tekan}) \end{aligned}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.11**)



Gambar 4. 11 Diagram tegangan penampang 21 akibat pemasangan S3

5. Kontrol penampang pada penampang 22 akibat pemasangan segmen S3 :

$$H = 4200 \text{ mm} \quad A = 9,48 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$y_a = 1,92 \times 10^3 \text{ mm} \quad y_b = 2,28 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$W_a = 11,17 \times 10^9 \text{ mm}^3 \quad W_b = 9,37 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$M_{22} = 0 \text{ Nmm}$$

$$e = y_a - 0,35 = 1,57 \times 10^3 \text{ mm}$$

Saat pemasangan segmen S3 pada penampang 22 terdapat 2 tendon yang melewati, karena 4 tendon sebelumnya telah habis di segmen 1 penampang 20 dan segmen 2 penampang 21, sehingga :

$$F_0 = 2 \times F_{pe}$$

$$= 2 \times 4210$$

$$= 8420 \text{ KN} = 8,42 \times 10^6 \text{ N}$$

Serat atas

$$f_{ci} = -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e}{W_a} + \frac{M_s}{W_a}$$

$$f_{ci} = -\frac{8,42 \times 10^6}{9,48 \times 10^6} - \frac{8,42 \times 10^6 \times 1,57 \times 10^3}{11,17 \times 10^9} + \frac{0}{11,17 \times 10^9}$$

$$f_{ci} = -0,888 - 1,181 + 0$$

$$f_{ci} = -2,069 < -25,2 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e}{Wb} - \frac{M_s}{Wb}$$

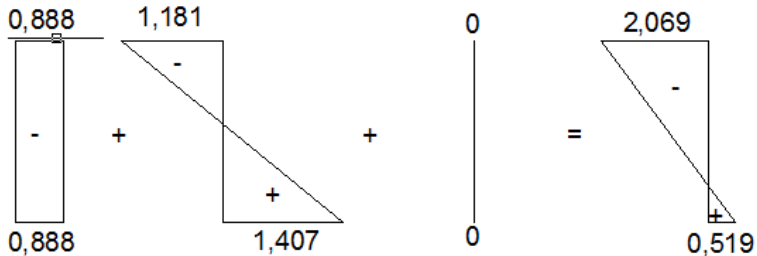
$$f_{ci} = -\frac{8,42 \times 10^6}{9,48 \times 10^6} + \frac{8,42 \times 10^6 \times 1,57 \times 10^3}{9,37 \times 10^9} - \frac{0}{9,37 \times 10^9}$$

$$f_{ci} = -0,888 + 1,407 - 0$$

$$f_{ci} = 0,519 < 1,62 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.12**)

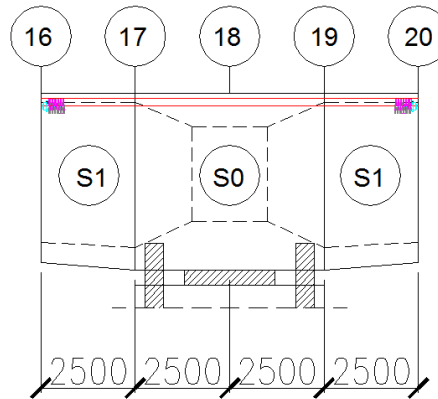


Gambar 4. 12 Diagram tegangan penampang 22 akibat pemasangan S3

Untuk kontrol tegangan pada penampang box girder pada segmen yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai 4.16

Tabel 4. 5 Perhitungan pemasangan segmen S1

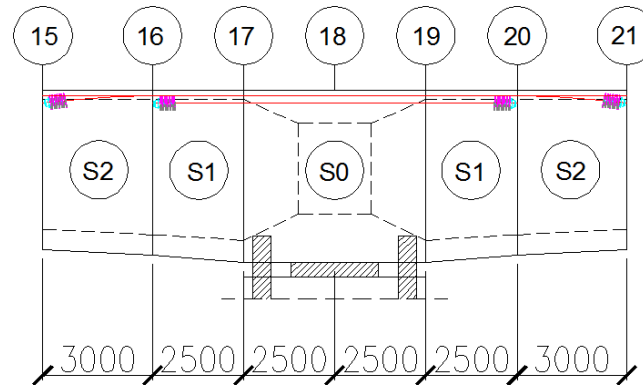
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mtot (KNm)	Wa (m ³)	Wb (m ³)	zo (m)	e (m)	F(KN)	Σ tend on	Fkum (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-Fo/A	-Fo. e / Wa	Ms / Wa	Teg (σ)	Cek	-Fo/A	Fo. e / Wb	-Ms / Wb	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	4979	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	8420	-0.44	-1.06	0.30	-1.20	OK	-0.44	1.19	-0.34	0.41	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	779	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	8420	-0.83	-1.32	0.06	-2.09	OK	-0.83	1.51	-0.07	0.61	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	0	12.22	10.31	0.35	1.71	4210	2	8420	-0.86	-1.18	0.00	-2.04	OK	-0.86	1.40	0.00	0.53	OK



Gambar 4. 13 Letak tendon pemasangan segmen S1

Tabel 4. 6 Perhitungan pemasangan segmen S2

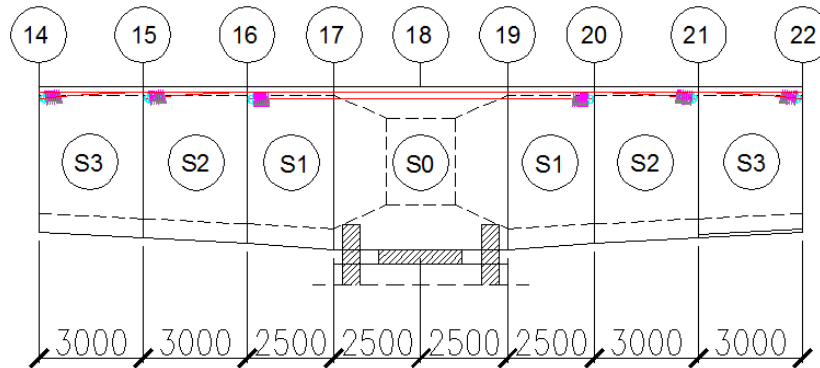
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mtot (KNm)	Wa (m ³)	Wb (m ³)	zo (m)	e (m)	F(KN)	Σ tend on	Fkum (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-Fo/A	-Fo. e / Wa	M _s / Wa	Teg (σ)	Cek	-Fo/A	Fo. e / Wb	-M _s / Wb	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	11209	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	16840	-0.89	-2.12	0.68	-2.33	OK	-0.89	2.37	-0.76	0.73	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	5190	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	16840	-1.65	-2.64	0.40	-3.90	OK	-1.65	3.01	-0.45	0.91	OK
20	2.5	5	9.78	249.44	1092	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	16840	-1.72	-2.63	0.09	-4.27	OK	-1.72	3.12	-0.11	1.29	OK
21	3	8	9.63	242.56	0	11.69	9.84	0.35	1.64	4210	2	8420	-0.87	-1.18	0.00	-2.05	OK	-0.87	1.40	0.00	0.53	OK



Gambar 4. 14 Letak tendon pemasangan segmen S2

Tabel 4. 7 Perhitungan pemasangan segmen S3

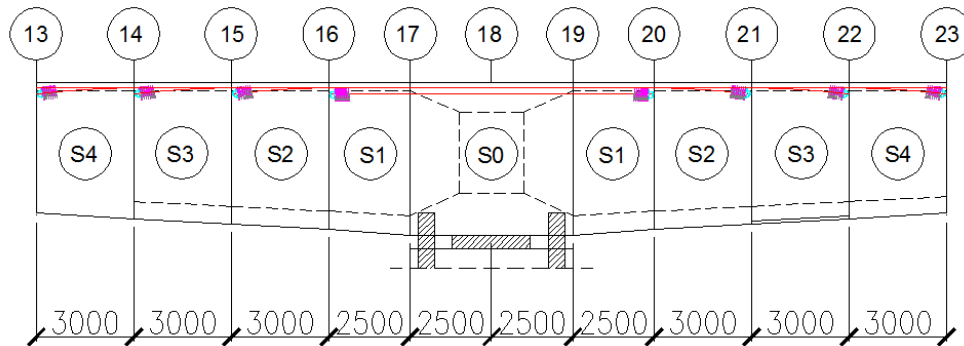
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	M _{tot} (KNm)	W _a (m ³)	W _b (m ³)	z _o (m)	e (m)	F (KN)	Σ tend on	F _{kum} (KN)	Serat Atas (MPa)				Serat Bawah (MPa)					
													-F _o /A	-F _o · e / W _a	M _s / W _a	Teg (σ)	Cek	-F _o /A	F _o · e / W _b	-M _s / W _b	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	19815	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	25260	-1.33	-3.19	1.21	-3.31	OK	-1.33	3.56	-1.35	0.88	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	12005	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	25260	-2.48	-3.96	0.92	-5.52	OK	-2.48	4.52	-1.05	0.99	OK
20	2.5	5	9.78	249.44	6116	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	25260	-2.58	-3.95	0.50	-6.03	OK	-2.58	4.68	-0.59	1.50	OK
21	3	8	9.63	242.56	1075	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	16840	-1.75	-2.65	0.09	-4.30	OK	-1.75	3.15	-0.11	1.29	OK
22	3	11	9.48	238.81	0	11.17	9.37	0.35	1.57	4210	2	8420	-0.89	-1.18	0.00	-2.07	OK	-0.89	1.41	0.00	0.52	OK



Gambar 4. 15 Letak tendon pemasangan segmen S3

Tabel 4. 8 Perhitungan pemasangan segmen S4

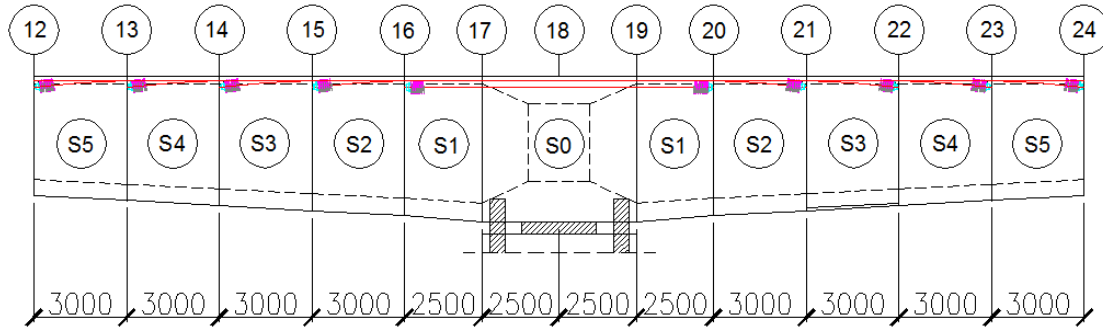
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mtot (KNm)	Wa (m ³)	Wb (m ³)	zo (m)	e (m)	F (KN)	Σ tend on	Fkum (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-Fo/A	-Fo. e / Wa	Ms / Wa	Teg (σ)	Cek	-Fo/A	Fo. e / Wb	-Ms / Wb	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	30313	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	33680	-1.77	-4.25	1.85	-4.17	OK	-1.77	4.75	-2.06	0.91	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	20763	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	33680	-3.31	-5.28	1.59	-7.00	OK	-3.31	6.03	-1.82	0.90	OK
20	2.5	5	9.78	249.44	13134	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	33680	-3.44	-5.26	1.07	-7.63	OK	-3.44	6.24	-1.27	1.52	OK
21	3	8	9.63	242.56	6006	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	25260	-2.62	-3.97	0.51	-6.08	OK	-2.62	4.72	-0.61	1.48	OK
22	3	11	9.48	238.81	1044	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	16840	-1.78	-2.66	0.09	-4.35	OK	-1.78	3.17	-0.11	1.29	OK
23	3	14	9.08	231.94	0	10.38	8.37	0.35	1.43	4210	2	8420	-0.93	-1.16	0.00	-2.09	OK	-0.93	1.44	0.00	0.52	OK



Gambar 4. 16 Letak tendon pemasangan segmen S4

Tabel 4. 9 Perhitungan pemasangan segmen S5

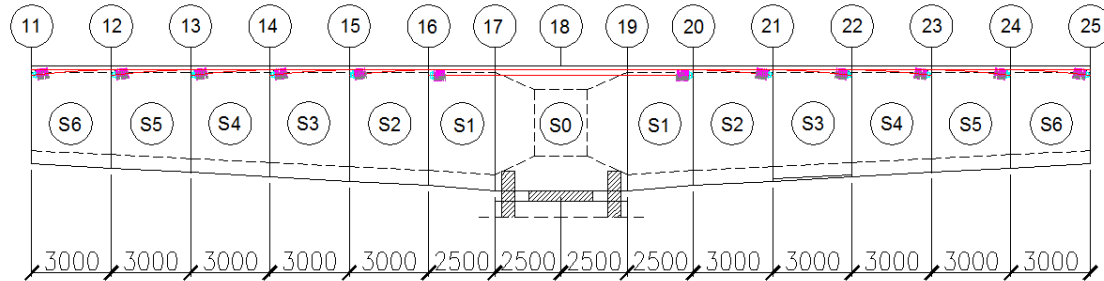
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mt _{tot} (KNm)	W _a (m ³)	W _b (m ³)	z _o (m)	e (m)	F (KN)	Σ tend on	F _{kum} (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-F _o /A	-F _o e / W _a	M _s / W _a	Teg (σ)	Cek	-F _o /A	F _o e / W _b	-M _s / W _b	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	42578	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	42101	-2.21	-5.31	2.60	-4.93	OK	-2.21	5.93	-2.90	0.82	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	31341	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	42101	-4.14	-6.60	2.40	-8.33	OK	-4.14	7.54	-2.74	0.66	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	22024	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	42101	-4.31	-6.58	1.80	-9.08	OK	-4.31	7.80	-2.14	1.35	OK
21	3	8	9.6275	242.56	12870	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	33680	-3.50	-5.29	1.10	-7.69	OK	-3.50	6.29	-1.31	1.48	OK
22	3	11	9.4775	238.81	5882	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	25260	-2.67	-3.99	0.53	-6.13	OK	-2.67	4.76	-0.63	1.47	OK
23	3	14	9.0775	231.94	1013	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	16840	-1.86	-2.65	0.10	-4.41	OK	-1.86	3.29	-0.12	1.31	OK
24	3	17	8.9275	225.06	0	9.88	7.93	0.35	1.36	4210	2	8420	-0.94	-1.16	0.00	-2.11	OK	-0.94	1.45	0.00	0.51	OK



Gambar 4. 17 Letak tendon pemasangan segmen S5

Tabel 4. 10 Perhitungan pemasangan segmen S6

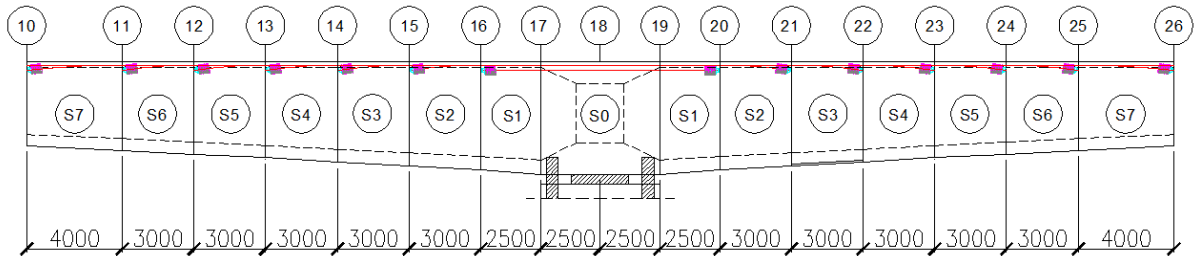
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mt _{tot} (KNm)	W _a (m ³)	W _b (m ³)	z _o (m)	e (m)	F (KN)	Σ tend on	F _{kum} (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-F _o /A	-F _o . e / W _a	M _s / W _a	Teg (σ)	Cek	-F _o /A	F _o . e / W _b	-M _s / W _b	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	56661	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	50521	-2.66	-6.37	3.45	-5.58	OK	-2.66	7.12	-3.86	0.61	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	43764	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	50521	-4.96	-7.92	3.36	-9.53	OK	-4.96	9.04	-3.83	0.25	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	32787	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	50521	-5.17	-7.90	2.68	-10.38	OK	-5.17	9.36	-3.18	1.01	OK
21	3	8	9.6275	242.56	21641	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	42101	-4.37	-6.62	1.85	-9.14	OK	-4.37	7.86	-2.20	1.29	OK
22	3	11	9.4775	238.81	12662	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	33680	-3.55	-5.33	1.13	-7.75	OK	-3.55	6.35	-1.35	1.44	OK
23	3	14	9.0775	231.94	5801	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	25260	-2.78	-3.98	0.56	-6.20	OK	-2.78	4.94	-0.69	1.46	OK
24	3	17	8.9275	225.06	996	9.88	7.93	0.15	1.56	4210	2	16840	-1.89	-2.67	0.10	-4.45	OK	-1.89	3.32	-0.13	1.31	OK
25	3	20	8.7775	221.31	0	9.38	7.50	0.35	1.29	4210	2	8420	-0.96	-1.16	0.00	-2.12	OK	-0.96	1.45	0.00	0.49	OK



Gambar 4. 18 Letak tendon pemasangan segmen S6

Tabel 4. 11 Perhitungan pemasangan segmen S7

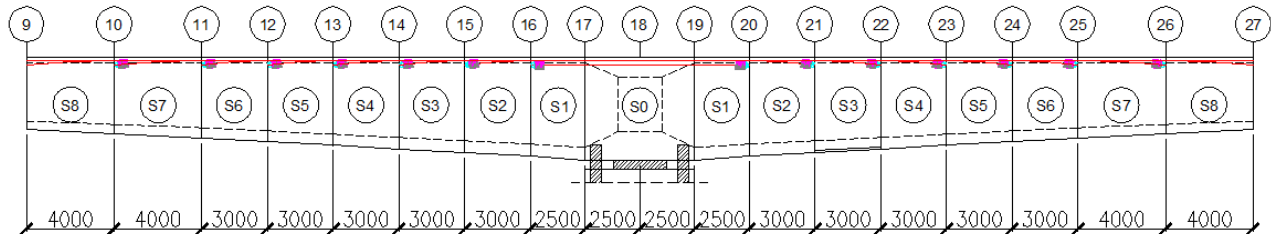
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mt _{tot} (KNm)	W _a (m ³)	W _b (m ³)	z _o (m)	e (m)	F(KN)	Σ tend on	F _{kum} (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-F _o /A	-F _o .e / W _a	M _s / W _a	Teg (σ)	Cek	-F _o /A	F _o .e / W _b	-M _s / W _b	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	77332	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	58941	-3.10	-7.44	4.71	-5.82	OK	-3.10	8.31	-5.27	-0.06	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	62290	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	58941	-5.79	-9.24	4.78	-10.25	OK	-5.79	10.55	-5.45	-0.70	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	49168	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	58941	-6.03	-9.21	4.02	-11.22	OK	-6.03	10.91	-4.77	0.12	OK
21	3	8	9.6275	242.56	35450	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	50521	-5.25	-7.94	3.03	-10.16	OK	-5.25	9.44	-3.60	0.59	OK
22	3	11	9.4775	238.81	23897	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	42101	-4.44	-6.66	2.14	-8.96	OK	-4.44	7.93	-2.55	0.94	OK
23	3	14	9.0775	231.94	14463	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	33680	-3.71	-5.30	1.39	-7.62	OK	-3.71	6.58	-1.73	1.14	OK
24	3	17	8.9275	225.06	7085	9.88	7.93	0.15	1.56	4210	2	25260	-2.83	-4.00	0.72	-6.11	OK	-2.83	4.98	-0.89	1.26	OK
25	3	20	8.7775	221.31	1716	9.38	7.50	0.15	1.49	4210	2	16840	-1.92	-2.68	0.18	-4.42	OK	-1.92	3.36	-0.23	1.21	OK
26	4	24	8.3775	214.44	0	8.62	6.59	0.35	1.17	4210	2	8420	-1.01	-1.14	0.00	-2.14	OK	-1.01	1.49	0.00	0.48	OK



Gambar 4. 19 Letak tendon pemasangan segmen S7

Tabel 4. 12 Perhitungan pemasangan segmen S8

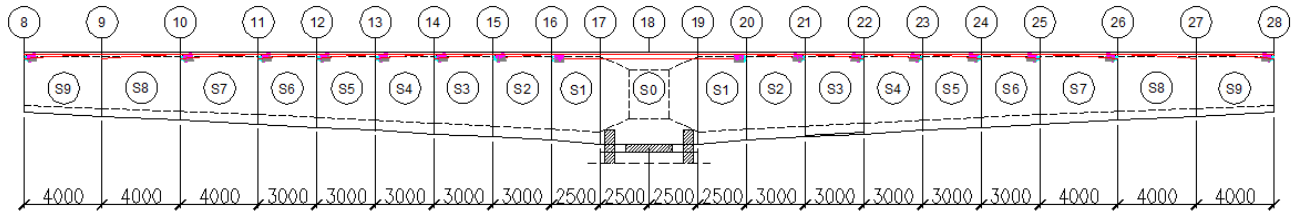
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mt _{tot} (KNm)	W _a (m ³)	W _b (m ³)	z _o (m)	e (m)	F (KN)	Σ tend on	F _{kum} (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-Fo/A	-Fo. e / W _a	Ms / W _a	Teg (σ)	Cek	-Fo/A	Fo. e / W _b	-Ms / W _b	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	100993	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	67361	-3.54	-8.50	6.16	-5.88	OK	-3.54	9.50	-6.88	-0.92	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	83907	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	67361	-6.62	-10.56	6.43	-10.74	OK	-6.62	12.06	-7.35	-1.91	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	68741	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	67361	-6.89	-10.53	5.63	-11.79	OK	-6.89	12.47	-6.67	-1.08	OK
21	3	8	9.6275	242.56	52569	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	58941	-6.12	-9.27	4.50	-10.89	OK	-6.12	11.01	-5.34	-0.46	OK
22	3	11	9.4775	238.81	38563	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	50521	-5.33	-7.99	3.45	-9.87	OK	-5.33	9.52	-4.11	0.08	OK
23	3	14	9.0775	231.94	26676	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	42101	-4.64	-6.63	2.57	-8.70	OK	-4.64	8.23	-3.19	0.40	OK
24	3	17	8.9275	225.06	16844	9.88	7.93	0.15	1.56	4210	2	33680	-3.77	-5.34	1.71	-7.40	OK	-3.77	6.64	-2.12	0.75	OK
25	3	20	8.7775	221.31	9022	9.38	7.50	0.15	1.49	4210	2	25260	-2.88	-4.03	0.96	-5.94	OK	-2.88	5.03	-1.20	0.95	OK
26	4	24	8.3775	214.44	1636	8.62	6.59	0.15	1.37	4210	2	16840	-2.01	-2.67	0.19	-4.49	OK	-2.01	3.49	-0.25	1.23	OK
27	4	28	7.9775	204.44	0	7.88	5.73	0.35	1.04	4210	2	8420	-1.06	-1.11	0.00	-2.17	OK	-1.06	1.53	0.00	0.47	OK



Gambar 4. 20 Letak tendon pemasangan segmen S8

Tabel 4. 13 Perhitungan pemasangan segmen S9

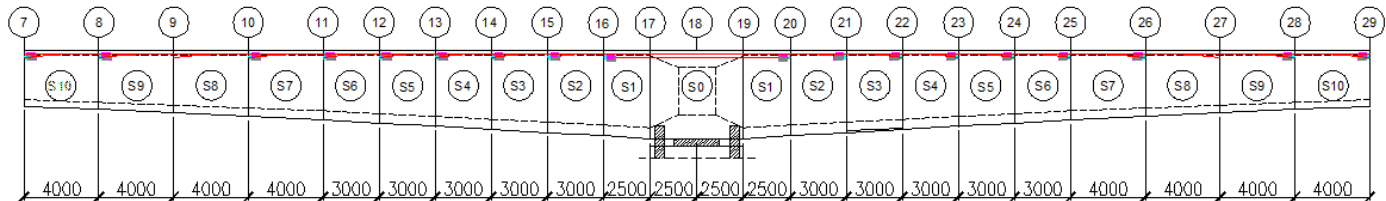
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mtot (KNm)	Wa (m ³)	Wb (m ³)	zo (m)	e (m)	F(KN)	Σ tendon	Fkum (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-Fo/A	-Fo. e / Wa	Ms / Wa	Teg (σ)	Cek	-Fo/A	Fo. e / Wb	-Ms / Wb	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	126726	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	75781	-3.98	-9.56	7.72	-5.82	OK	-3.98	10.68	-8.63	-1.93	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	107695	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	75781	-7.45	-11.88	8.26	-11.07	OK	-7.45	13.57	-9.43	-3.31	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	90585	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	75781	-7.75	-11.85	7.41	-12.18	OK	-7.75	14.03	-8.78	-2.50	OK
21	3	8	9.6275	242.56	72080	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	67361	-7.00	-10.59	6.16	-11.42	OK	-7.00	12.58	-7.32	-1.74	OK
22	3	11	9.4775	238.81	55740	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	58941	-6.22	-9.32	4.99	-10.55	OK	-6.22	11.11	-5.95	-1.06	OK
23	3	14	9.0775	231.94	41520	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	50521	-5.57	-7.96	4.00	-9.52	OK	-5.57	9.87	-4.96	-0.66	OK
24	3	17	8.9275	225.06	29355	9.88	7.93	0.15	1.56	4210	2	42101	-4.72	-6.67	2.97	-8.41	OK	-4.72	8.31	-3.70	-0.11	OK
25	3	20	8.7775	221.31	19200	9.38	7.50	0.15	1.49	4210	2	33680	-3.84	-5.37	2.05	-7.16	OK	-3.84	6.71	-2.56	0.31	OK
26	4	24	8.3775	214.44	8702	8.62	6.59	0.15	1.37	4210	2	25260	-3.02	-4.00	1.01	-6.01	OK	-3.02	5.24	-1.32	0.90	OK
27	4	28	7.9775	204.44	1556	7.88	5.73	0.15	1.24	4210	2	16840	-2.11	-2.65	0.20	-4.56	OK	-2.11	3.64	-0.27	1.26	OK
28	4	32	7.5775	194.44	0	7.14	4.91	0.35	0.91	4210	2	8420	-1.11	-1.08	0.00	-2.19	OK	-1.11	1.57	0.00	0.45	OK



Gambar 4. 21 Letak tendon pemasangan segmen S9

Tabel 4. 14 Perhitungan pemasangan segmen S10

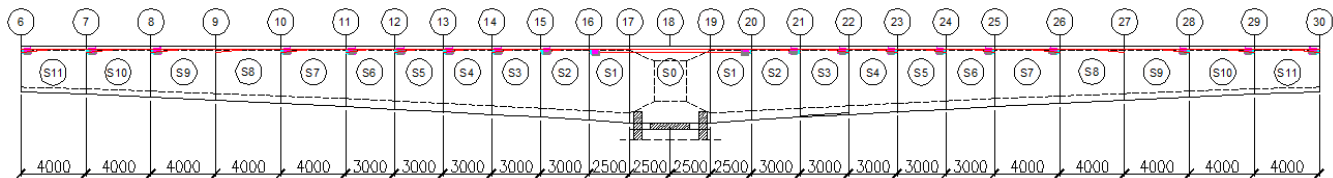
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mt _{tot} (KNm)	W _a (m ³)	W _b (m ³)	z _o (m)	e (m)	F(KN)	Σ tend on	F _{kum} (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-F _o /A	-F _o . e / W _a	M _s / W _a	Teg (σ)	Cek	-F _o /A	F _o . e / W _b	-M _s / W _b	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	154634	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	84201	-4.43	-10.62	9.43	-5.62	OK	-4.43	11.87	-10.53	-3.09	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	133728	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	84201	-8.27	-13.20	10.25	-11.22	OK	-8.27	15.07	-11.71	-4.91	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	114742	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	84201	-8.61	-13.16	9.39	-12.38	OK	-8.61	15.59	-11.13	-4.15	OK
21	3	8	9.6275	242.56	93986	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	75781	-7.87	-11.91	8.04	-11.75	OK	-7.87	14.15	-9.55	-3.27	OK
22	3	11	9.4775	238.81	75396	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	67361	-7.11	-10.65	6.75	-11.01	OK	-7.11	12.69	-8.04	-2.46	OK
23	3	14	9.0775	231.94	58925	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	58941	-6.49	-9.28	5.68	-10.10	OK	-6.49	11.52	-7.04	-2.02	OK
24	3	17	8.9275	225.06	44509	9.88	7.93	0.15	1.56	4210	2	50521	-5.66	-8.00	4.51	-9.16	OK	-5.66	9.97	-5.61	-1.30	OK
25	3	20	8.7775	221.31	32103	9.38	7.50	0.15	1.49	4210	2	42101	-4.80	-6.71	3.42	-8.08	OK	-4.80	8.39	-4.28	-0.69	OK
26	4	24	8.3775	214.44	18605	8.62	6.59	0.15	1.37	4210	2	33680	-4.02	-5.34	2.16	-7.20	OK	-4.02	6.98	-2.82	0.14	OK
27	4	28	7.9775	204.44	8457	7.88	5.73	0.15	1.24	4210	2	25260	-3.17	-3.97	1.07	-6.07	OK	-3.17	5.46	-1.48	0.82	OK
28	4	32	7.5775	194.44	1501	7.14	4.91	0.15	1.11	4210	2	16840	-2.22	-2.62	0.21	-4.64	OK	-2.22	3.82	-0.31	1.29	OK
29	4	36	7.4275	187.56	0	6.69	4.58	0.35	0.85	4210	2	8420	-1.13	-1.07	0.00	-2.20	OK	-1.13	1.56	0.00	0.43	OK



Gambar 4. 22 Letak tendon pemasangan segmen S10

Tabel 4. 15 Perhitungan pemasangan segmen S11

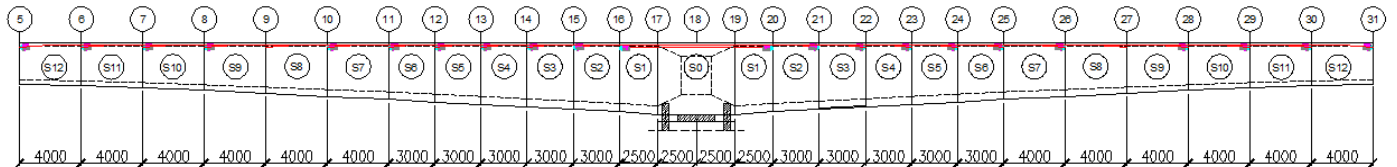
Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mt _{tot} (KNm)	W _a (m ³)	W _b (m ³)	z _o (m)	e (m)	F(KN)	Σ tend on	F _{kum} (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-Fo/A	-Fo. e / Wa	M _s / Wa	Teg (σ)	Cek	-Fo/A	Fo. e / W _b	-M _s / W _b	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	184594	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	92621	-4.87	-11.69	11.25	-5.30	OK	-4.87	13.06	-12.57	-4.39	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	161874	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	92621	-9.10	-14.52	12.41	-11.21	OK	-9.10	16.58	-14.18	-6.70	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	141075	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	92621	-9.47	-14.48	11.55	-12.40	OK	-9.47	17.15	-13.68	-6.00	OK
21	3	8	9.6275	242.56	118144	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	84201	-8.75	-13.24	10.10	-11.88	OK	-8.75	15.73	-12.00	-5.02	OK
22	3	11	9.4775	238.81	97378	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	75781	-8.00	-11.98	8.72	-11.26	OK	-8.00	14.28	-10.39	-4.10	OK
23	3	14	9.0775	231.94	78731	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	67361	-7.42	-10.61	7.58	-10.44	OK	-7.42	13.16	-9.41	-3.67	OK
24	3	17	8.9275	225.06	62140	9.88	7.93	0.15	1.56	4210	2	58941	-6.60	-9.34	6.29	-9.65	OK	-6.60	11.63	-7.84	-2.81	OK
25	3	20	8.7775	221.31	47558	9.38	7.50	0.15	1.49	4210	2	50521	-5.76	-8.05	5.07	-8.74	OK	-5.76	10.07	-6.34	-2.03	OK
26	4	24	8.3775	214.44	31158	8.62	6.59	0.15	1.37	4210	2	42101	-5.03	-6.67	3.61	-8.08	OK	-5.03	8.73	-4.73	-1.03	OK
27	4	28	7.9775	204.44	18110	7.88	5.73	0.15	1.24	4210	2	33680	-4.22	-5.30	2.30	-7.22	OK	-4.22	7.29	-3.16	-0.10	OK
28	4	32	7.5775	194.44	8252	7.14	4.91	0.15	1.11	4210	2	25260	-3.33	-3.94	1.16	-6.12	OK	-3.33	5.73	-1.68	0.71	OK
29	4	36	7.4275	187.56	1451	6.69	4.58	0.15	1.05	4210	2	16840	-2.27	-2.64	0.22	-4.69	OK	-2.27	3.86	-0.32	1.27	OK
30	4	40	7.0775	181.31	0	6.12	3.94	0.35	0.75	4210	2	8420	-1.19	-1.03	0.00	-2.22	OK	-1.19	1.60	0.00	0.41	OK



Gambar 4. 23 Letak tendon pemasangan segmen S11

Tabel 4. 16 Perhitungan pemasangan segmen S12

Joint	x (m)	L (m)	A (m ²)	q (KN/m)	Mtot (KNm)	Wa (m ³)	Wb (m ³)	zo (m)	e (m)	F (KN)	Σ tend on	Fkum (KN)	Serat Atas (MPa)					Serat Bawah (MPa)				
													-Fo/A	-Fo. e / Wa	Ms / Wa	Teg (σ)	Cek	-Fo/A	Fo. e / Wb	-Ms / Wb	Teg (σ)	Cek
18	2.5	0	19.02	364.97	216509	16.41	14.68	0.15	2.07	4210	2	101041	-5.31	-12.75	13.20	-4.86	OK	-5.31	14.24	-14.75	-5.81	OK
19	2.5	2.5	10.1775	364.97	192033	13.04	11.42	0.15	2.04	4210	2	101041	-9.93	-15.84	14.72	-11.04	OK	-9.93	18.09	-16.82	-8.66	OK
20	2.5	5	9.7775	249.44	169477	12.22	10.31	0.15	1.91	4210	2	101041	-10.33	-15.79	13.87	-12.26	OK	-10.33	18.71	-16.43	-8.06	OK
21	3	8	9.6275	242.56	144437	11.69	9.84	0.15	1.84	4210	2	92621	-9.62	-14.56	12.35	-11.83	OK	-9.62	17.30	-14.68	-7.00	OK
22	3	11	9.4775	238.81	121563	11.17	9.37	0.15	1.77	4210	2	84201	-8.88	-13.32	10.88	-11.32	OK	-8.88	15.87	-12.97	-5.99	OK
23	3	14	9.0775	231.94	100808	10.38	8.37	0.15	1.63	4210	2	75781	-8.35	-11.93	9.71	-10.57	OK	-8.35	14.81	-12.05	-5.59	OK
24	3	17	8.9275	225.06	82108	9.88	7.93	0.15	1.56	4210	2	67361	-7.55	-10.67	8.31	-9.90	OK	-7.55	13.29	-10.35	-4.61	OK
25	3	20	8.7775	221.31	65418	9.38	7.50	0.15	1.49	4210	2	58941	-6.71	-9.40	6.98	-9.13	OK	-6.71	11.74	-8.72	-3.69	OK
26	4	24	8.3775	214.44	46208	8.62	6.59	0.15	1.37	4210	2	50521	-6.03	-8.01	5.36	-8.68	OK	-6.03	10.47	-7.01	-2.57	OK
27	4	28	7.9775	204.44	30348	7.88	5.73	0.15	1.24	4210	2	42101	-5.28	-6.62	3.85	-8.05	OK	-5.28	9.11	-5.30	-1.47	OK
28	4	32	7.5775	194.44	17680	7.14	4.91	0.15	1.11	4210	2	33680	-4.44	-5.25	2.48	-7.22	OK	-4.44	7.63	-3.60	-0.41	OK
29	4	36	7.4275	187.56	8067	6.69	4.58	0.15	1.05	4210	2	25260	-3.40	-3.96	1.21	-6.16	OK	-3.40	5.79	-1.76	0.62	OK
30	4	40	7.0775	181.31	1406	6.12	3.94	0.15	0.95	4210	2	16840	-2.38	-2.61	0.23	-4.76	OK	-2.38	4.05	-0.36	1.31	OK
31	4	44	6.9775	175.69	0	5.82	3.74	0.35	0.71	4210	2	8420	-1.21	-1.02	0.00	-2.23	OK	-1.21	1.59	0.00	0.38	OK



Gambar 4. 24 Letak tendon pemasangan segmen S12

4.5.4 Kehilangan gaya prategang saat transfer

Kehilangan gaya prategang dibagi dalam dua kategori yaitu secara langsung dan akibat fungsi waktu atau lama. Untuk kehilangan gaya prategang secara langsung meliputi akibat elastis beton, gesekan, dan slip ankur. Sedangkan untuk kehilangan gaya prategang akibat fungsi waktu meliputi rangkai, susut, dan relaksasi baja.

a. Kehilangan prategang akibat perpindahan elastis (Δ_{ES})

Berikut merupakan contoh perhitungan kehilangan prategang akibat perpindahan elastis beton pada pemasangan segmen S3 dan ditinjau pada penampang 20.

Modulus elastisitas beton, E_{ci}

$$E_{ci} = 4700 \sqrt{f_{ci}}$$

$$E_{ci} = 4700 \sqrt{42} = 30459,48 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas baja,

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

Menentukan f_{cir}

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

$$f_{cir} = -\frac{25,26 \times 10^6}{9,77 \times 10^6} - \frac{25,26 \times 10^6 \times (1,91 \times 10^3)^2}{25,17 \times 10^{12}} + \frac{6,115 \times 10^9 \times 1,91 \times 10^3}{25,17 \times 10^{12}}$$

$$f_{cir} = -5,78 \text{ MPa}$$

Kehilangan prategang

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

$$\Delta_{ES} = 0,5 \times \frac{195000}{30459,48} \times 5,78$$

$$\Delta_{ES} = 18,50 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang

$$\Delta_{ES} = \frac{18,50}{1581} \times 100\% = 1,17\%$$

Untuk total kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton berada pada semua segmen dapat dilihat pada tabel 4.18 – 4.29

Tabel 4. 18 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S1

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-0.44	-0.99	0.28	-1.15	3.68	0.23%
19	28.61	-0.83	-1.23	0.06	-2.00	6.41	0.41%
20	25.17	-0.86	-0.98	0.00	-1.84	5.89	0.37%

Tabel 4. 19 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S2

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-0.89	-1.98	0.64	-2.23	7.14	0.45%
19	28.61	-1.65	-2.46	0.37	-3.74	11.98	0.76%
20	25.17	-1.72	-2.44	0.08	-4.08	13.06	0.83%
21	23.24	-0.87	-0.97	0.00	-1.85	5.91	0.37%

Tabel 4. 20 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S3

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-1.33	-2.97	1.13	-3.17	10.16	0.64%
19	28.61	-2.48	-3.69	0.86	-5.31	17.01	1.08%
20	25.17	-2.58	-3.66	0.46	-5.78	18.50	1.17%
21	23.24	-1.75	-2.45	0.08	-4.11	13.16	0.83%
22	21.41	-0.89	-0.97	0.00	-1.85	5.93	0.38%

Tabel 4. 21 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S4

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-1.77	-3.96	1.72	-4.01	12.84	0.81%
19	28.61	-3.31	-4.92	1.48	-6.74	21.59	1.37%
20	25.17	-3.44	-4.88	1.00	-7.33	23.46	1.48%
21	23.24	-2.62	-3.67	0.47	-5.82	18.63	1.18%
22	21.41	-1.78	-2.45	0.09	-4.15	13.27	0.84%
23	18.53	-0.93	-0.94	0.00	-1.86	5.96	0.38%

Tabel 4. 22 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S5

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-2.21	-4.95	2.42	-4.75	15.19	0.96%
19	28.61	-4.14	-6.15	2.24	-8.05	25.75	1.63%
20	25.17	-4.31	-6.10	1.67	-8.74	27.96	1.77%
21	23.24	-3.50	-4.90	1.02	-7.38	23.61	1.49%
22	21.41	-2.67	-3.68	0.49	-5.86	18.76	1.19%
23	18.53	-1.86	-2.43	0.09	-4.19	13.43	0.85%
24	16.94	-0.94	-0.93	0.00	-1.87	5.98	0.38%

Tabel 4. 23 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S6

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-2.66	-5.94	3.22	-5.38	17.22	1.09%
19	28.61	-4.96	-7.38	3.13	-9.21	29.50	1.87%
20	25.17	-5.17	-7.32	2.49	-10.00	32.01	2.02%
21	23.24	-4.37	-6.12	1.71	-8.78	28.11	1.78%
22	21.41	-3.55	-4.91	1.04	-7.42	23.75	1.50%
23	18.53	-2.78	-3.64	0.51	-5.91	18.93	1.20%
24	16.94	-1.89	-2.43	0.09	-4.23	13.54	0.86%
25	15.42	-0.96	-0.92	0.00	-1.87	6.00	0.38%

Tabel 4. 24 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S7

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-3.10	-6.93	4.40	-5.64	18.04	1.14%
19	28.61	-5.79	-8.61	4.45	-9.95	31.84	2.01%
20	25.17	-6.03	-8.54	3.73	-10.84	34.70	2.19%
21	23.24	-5.25	-7.34	2.80	-9.79	31.33	1.98%
22	21.41	-4.44	-6.14	1.97	-8.61	27.55	1.74%
23	18.53	-3.71	-4.86	1.28	-7.29	23.34	1.48%
24	16.94	-2.83	-3.65	0.65	-5.83	18.65	1.18%
25	15.42	-1.92	-2.44	0.17	-4.19	13.42	0.85%
26	13.08	-1.01	-0.88	0.00	-1.88	6.02	0.38%

Tabel 4. 25 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S8

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-3.54	-7.92	5.74	-5.73	18.33	1.16%
19	28.61	-6.62	-9.84	5.99	-10.46	33.49	2.12%
20	25.17	-6.89	-9.76	5.22	-11.44	36.60	2.32%
21	23.24	-6.12	-8.57	4.16	-10.53	33.71	2.13%
22	21.41	-5.33	-7.36	3.18	-9.51	30.45	1.93%
23	18.53	-4.64	-6.07	2.35	-8.36	26.75	1.69%
24	16.94	-3.77	-4.87	1.56	-7.08	22.68	1.43%
25	15.42	-2.88	-3.66	0.87	-5.66	18.13	1.15%
26	13.08	-2.01	-2.40	0.17	-4.24	13.58	0.86%
27	10.95	-1.06	-0.83	0.00	-1.89	6.04	0.38%

Tabel 4. 26 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S9

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-3.98	-8.91	7.20	-5.70	18.23	1.15%
19	28.61	-7.45	-11.07	7.69	-10.82	34.63	2.19%
20	25.17	-7.75	-10.98	6.87	-11.86	37.96	2.40%

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
21	23.24	-7.00	-9.79	5.70	-11.09	35.49	2.24%
22	21.41	-6.22	-8.59	4.60	-10.21	32.68	2.07%
23	18.53	-5.57	-7.29	3.66	-9.19	29.41	1.86%
24	16.94	-4.72	-6.09	2.71	-8.09	25.89	1.64%
25	15.42	-3.84	-4.88	1.86	-6.86	21.94	1.39%
26	13.08	-3.02	-3.61	0.91	-5.71	18.29	1.16%
27	10.95	-2.11	-2.36	0.18	-4.30	13.76	0.87%
28	9.02	-1.11	-0.78	0.00	-1.89	6.05	0.38%

Tabel 4. 27 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S10

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-4.43	-9.91	8.79	-5.54	17.74	1.12%
19	28.61	-8.27	-12.30	9.55	-11.02	35.26	2.23%
20	25.17	-8.61	-12.20	8.71	-12.11	38.76	2.45%
21	23.24	-7.87	-11.01	7.43	-11.45	36.66	2.32%
22	21.41	-7.11	-9.82	6.22	-10.70	34.27	2.17%
23	18.53	-6.49	-8.50	5.20	-9.80	31.36	1.98%
24	16.94	-5.66	-7.30	4.11	-8.85	28.33	1.79%
25	15.42	-4.80	-6.10	3.11	-7.78	24.92	1.58%
26	13.08	-4.02	-4.81	1.94	-6.89	22.04	1.39%
27	10.95	-3.17	-3.54	0.96	-5.75	18.42	1.16%
28	9.02	-2.22	-2.31	0.19	-4.35	13.93	0.88%
29	8.01	-1.13	-0.76	0.00	-1.89	6.05	0.38%

Tabel 4. 28 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S11

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-4.87	-10.90	10.49	-5.27	16.88	1.07%
19	28.61	-9.10	-13.53	11.56	-11.06	35.41	2.24%
20	25.17	-9.47	-13.42	10.71	-12.19	39.02	2.47%
21	23.24	-8.75	-12.24	9.34	-11.64	37.27	2.36%

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
22	21.41	-8.00	-11.05	8.04	-11.01	35.23	2.23%
23	18.53	-7.42	-9.72	6.95	-10.19	32.62	2.06%
24	16.94	-6.60	-8.52	5.74	-9.38	30.03	1.90%
25	15.42	-5.76	-7.32	4.61	-8.46	27.10	1.71%
26	13.08	-5.03	-6.01	3.26	-7.78	24.91	1.58%
27	10.95	-4.22	-4.73	2.05	-6.90	22.08	1.40%
28	9.02	-3.33	-3.47	1.02	-5.79	18.52	1.17%
29	8.01	-2.27	-2.31	0.19	-4.39	14.05	0.89%
30	6.71	-1.19	-0.70	0.00	-1.89	6.05	0.38%

Tabel 4. 29 Perpendekan elastis beton pemasangan akibat segmen S12

Joint	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan elastis beton						
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	fcir (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES
18	36.42	-5.31	-11.89	12.31	-4.89	15.66	0.99%
19	28.61	-9.93	-14.75	13.72	-10.96	35.10	2.22%
20	25.17	-10.33	-14.64	12.86	-12.12	38.79	2.45%
21	23.24	-9.62	-13.46	11.42	-11.66	37.33	2.36%
22	21.41	-8.88	-12.27	10.03	-11.13	35.62	2.25%
23	18.53	-8.35	-10.93	8.89	-10.38	33.24	2.10%
24	16.94	-7.55	-9.74	7.59	-9.70	31.04	1.96%
25	15.42	-6.71	-8.54	6.34	-8.91	28.53	1.80%
26	13.08	-6.03	-7.21	4.83	-8.42	26.94	1.70%
27	10.95	-5.28	-5.91	3.44	-7.75	24.80	1.57%
28	9.02	-4.44	-4.63	2.18	-6.89	22.05	1.39%
29	8.01	-3.40	-3.47	1.06	-5.81	18.60	1.18%
30	6.71	-2.38	-2.25	0.20	-4.43	14.19	0.90%
31	6.14	-1.21	-0.68	0.00	-1.89	6.04	0.38%

b. Kehilangan prategang akibat gesekan (Δ_{FR})

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan dipertimbangkan pada dua bagian yaitu pengaruh panjang dan pengaruh kelengkungan. Adapun rumus untuk memperhitungkan

kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wooble effect pada segmen S2 penampang 20 adalah :

$$Ppx = Ppj \times e^{-\mu\alpha-KL}$$

$$\Delta = (1 - e^{-\mu\alpha-KL}) \times 100\%$$

Panjang tendon, L = 5 m (dihitung dari joint 18)

Sudut kelengkungan, $\alpha \approx 0$

Koefisien wouble, K = 0,0008 (brosur VSL)

Koefisien friksi, $\mu = 0,2$ (brosur VSL)

Kehilangan prategang, $\Delta = 1 - e^{-\mu\alpha-KL}$

$$= 1 - e^{-0,2 \times 0 - 0,0008 \times 5}$$

$$= 1 - 0,996 = 0,4 \%$$

Kehilangan prategang, $\Delta = 0,4\% \times 1581 \text{ MPa}$

$$= 6,31 \text{ MPa}$$

Untuk total kehilangan prategang akibat gesekan total saat semua segmen telah terpasang dapat dilihat pada tabel 4.30.

c. Kehilangan prategang akibat slip ankur (Δ_{SA})

Pada sistem pasca-tarik, pada saat tendon ditarik sampai nilai penuh kemudian dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke ankur. Peralatan ankur yang mengalami tegangan pada saat peraluan cenderung untuk berdeformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit. Baji gesekan yang dipakai untuk menahan kabel akan sedikit tergelincir sebelum kabel dijepit dengan kokoh. Besarnya gelincir rata rata sekitar 2,5 mm. Berikut adalah perhitungan pada segmen S3 penampang 20.

$$\Delta_{SA} = \frac{2,5}{X} f s$$

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times g}{\sigma_0 \times K}} \quad (\text{untuk tendon yang hampir lurus})$$

Modulus elastisitas, $E_s = 195000 \text{ MPa}$

Panjang tendon, L = 5 m (dihitung dari joint 18)

Koefisien wouble, K = 0,0008
 Tegangan pakai, f_s = 1581 MPa
 Perpanjangan, g = 2,5 mm

Maka jarak pengaruh slip angkur :

$$x = \sqrt{\frac{E_s \times g}{f_s \times K}} = \sqrt{\frac{195000 \times 2,5}{1581 \times 0,0008}} = 620,84 \text{ mm}$$

$$\Delta_{SA} = \frac{2,5}{620,84} \times 1581 = 6,37 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang

$$\Delta_{SA} = \frac{6,37}{1581} \times 100\% = 0,4 \%$$

Total kehilangan prategang secara langsung pada segmen S3 :

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{total}} &= \Delta_{ES} + \Delta_{FR} + \Delta_{SA} \\ &= 1,17\% + 0,4 \% + 0,4 \% = 1,97 \% \end{aligned}$$

Pada saat tahap transfer atau pemasangan tendon kantilever, kehilangan prategang yang dihitung akibat secara langsung saja, yaitu kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton, gesekan, dan slip angkur. Untuk kehilangan prategang karena fungsi waktu yaitu (rangkak, susut, relaksasi baja), akan dihitung untuk beban layan.

Untuk kehilangan total akibat kehilangan prategang secara langsung dapat dilihat pada Tabel 4.30

Tabel 4. 30 Kehilangan prategang secara langsung

Joint	K.P akibat perpendekan elastis beton							K.P akibat gesekan				K.P akibat slip ankur			Total Kehilangan
	l (m4)	-Fo/A (Mpa)	-Fo e ² / l (Mpa)	Me / l (Mpa)	f _{cir} (Mpa)	KPES (Mpa)	ΔES	KL + μα	e ⁻ (KL+μ α)	Δ	Δpx (Mpa)	x	fpa (Mpa)	Δfpa (Mpa)	
18	36.42	-5.31	-11.89	12.31	-4.89	15.66	0.99%	0	1.000	0.00%	0.00	620.84	6.37	0.40%	1.39%
19	28.61	-9.93	-14.75	13.72	-10.96	35.10	2.22%	0.002	0.998	0.20%	3.16	620.84	6.37	0.40%	2.82%
20	25.17	-10.33	-14.64	12.86	-12.12	38.79	2.45%	0.004	0.996	0.40%	6.31	620.84	6.37	0.40%	3.26%
21	23.24	-9.62	-13.46	11.42	-11.66	37.33	2.36%	0.0064	0.994	0.64%	10.09	620.84	6.37	0.40%	3.40%
22	21.41	-8.88	-12.27	10.03	-11.13	35.62	2.25%	0.0088	0.991	0.88%	13.85	620.84	6.37	0.40%	3.53%
23	18.53	-8.35	-10.93	8.89	-10.38	33.24	2.10%	0.0112	0.989	1.11%	17.61	620.84	6.37	0.40%	3.62%
24	16.94	-7.55	-9.74	7.59	-9.70	31.04	1.96%	0.0136	0.986	1.35%	21.36	620.84	6.37	0.40%	3.72%
25	15.42	-6.71	-8.54	6.34	-8.91	28.53	1.80%	0.016	0.984	1.59%	25.09	620.84	6.37	0.40%	3.79%
26	13.08	-6.03	-7.21	4.83	-8.42	26.94	1.70%	0.0192	0.981	1.90%	30.07	620.84	6.37	0.40%	4.01%
27	10.95	-5.28	-5.91	3.44	-7.75	24.80	1.57%	0.0224	0.978	2.22%	35.02	620.84	6.37	0.40%	4.19%
28	9.02	-4.44	-4.63	2.18	-6.89	22.05	1.39%	0.0256	0.975	2.53%	39.96	620.84	6.37	0.40%	4.33%
29	8.01	-3.40	-3.47	1.06	-5.81	18.60	1.18%	0.0288	0.972	2.84%	44.88	620.84	6.37	0.40%	4.42%
30	6.71	-2.38	-2.25	0.20	-4.43	14.19	0.90%	0.032	0.969	3.15%	49.79	620.84	6.37	0.40%	4.45%
31	6.14	-1.21	-0.68	0.00	-1.89	6.04	0.38%	0.0352	0.965	3.46%	54.68	620.84	6.37	0.40%	4.24%

d. Kehilangan prategang akibat rangkak (Δ_{CR})

Salah satu sifat beton adalah dapat mengalami tambahan regangan akibat beban tetap (mati) seiring dengan semakin bertambahnya waktu. Metode umum untuk memperhitungkan rangkak pada beton adalah dengan memasukkan kedalam perhitungan hal-hal berikut ini : Perbandingan volume terhadap permukaan, umur beton pada saat prategang, kelembaban relative dan jenis beton (beton ringan atau normal). Kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dengan tendon terekat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

Koefisien elastis, $Kcr = 1,6$ (pascatarik)

$E_s = 195000$ MPa

$E_c = 36406,04$ MPa (beton $f_c' = 60$ MPa)

f_{cir} = tegangan beton di daerah c.g.s akibat gaya prategang awal

f_{cds} = tegangan beton di daerah c.g.s akibat beban mati pada struktur

Sebagai contoh akan dihitung penampang 20 dengan semua segmen telah terpasang pada tahap *staging* pelaksanaan.

$$F_0 = 101041 \times 10^3 \text{ N} \quad A_{20} = 9,78 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$e = 1,91 \times 10^3 \text{ mm} \quad W_a = 12,22 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$M_{tot} = 169477 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \cdot e}{W} = \frac{101,041 \times 10^6}{9,78 \times 10^6} + \frac{101,041 \times 10^6 \times 1,91 \times 10^3}{12,22 \times 10^9}$$

$$f_{cir} = 26,13 \text{ MPa}$$

$$f_{cds} = \frac{M}{W} = \frac{169,477 \times 10^9}{12,22 \times 10^9} = 13,87 \text{ MPa}$$

$$\Delta CR = 1,6 \times \frac{195000}{36406,04} \times (26,13 - 13,87)$$

$$\Delta CR = 125,55 \text{ MPa}$$

$$\Delta CR = \frac{125,55}{1116} \times 100\% = 11,25\%$$

e. Kehilangan prategang akibat susut (Δ_{SH})

Susut pada beton dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti rangkai, perbandingan antara volume dan permukaan, kelembaban relatif, dan waktu dari akhir perawatan sampai dengan bekerjanya gaya prategang. Persamaan yang dipakai dalam memperhitungkan kehilangan pratekan akibat susut pada beton adalah sebagai berikut. Sebagai contoh akan dihitung penampang 20 dengan semua segmen telah terpasang pada tahap *staging* pelaksanaan.

$$\Delta SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{SH} \times E_s \times \left(1 - 0,006 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

Dimana :

Koefisien susut, $K_{SH} = 0,77$ (asumsi dilakukan 7 hari setelah selesai curing beton)

$E_s = 195000$ MPa

V/S = perbandingan volume penampang dengan luas permukaan

Atau dapat diganti menjadi

$$\frac{V}{S} = \frac{\text{Luas penampang box}}{\text{keliling permukaan box}} = \frac{9,78}{42,74} = 0,23$$

(v/s) mempunyai nilai yang berbeda dikarenakan luas dan keliling permukaan setiap segmen berbeda beda.

Kelembaban relative, $RH = 75\%$ (Kota Jakarta)

$$\Delta SH = 8,2 \times 10^{-6} \times 0,77 \times 195000 \times (1 - 0,06 \times 0,23) \times (100 - 75)$$

$$\Delta SH = 30,36 \text{ MPa}$$

$$\Delta SH = \frac{30,36}{1116} \times 100\% = 2,72 \%$$

f. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja (Δ_{RE})

Sebenarnya balok pratekan mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkai yang tergantung pada waktu. Akibat perpendekan elastis (ES), serta kehilangan gaya pratekan yang tergantung pada waktu yaitu CR

dan SH, maka akan mengakibatkan terjadi pengurangan yang kontinu pada tegangan tendon. Maka perlu untuk memperkirakan kehilangan gaya pratekan akibat pengaruh tersebut. Sebagai contoh akan dihitung penampang 20 dengan semua segmen telah terpasang pada tahap *staging* pelaksanaan.

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

Dimana :

Koefisien relaksasi, $K_{RE} = 128 \text{ MPa}$

$J = 0,14$

$C = 0,7$ (berdasarkan tabel VSL)

$$\Delta RE = (128 - 0,14(30,36 + 125,55 + 38,79)) \times 0,7$$

$\Delta RE = 70,52 \text{ MPa}$

$$\Delta RE = \frac{70,52}{1116} \times 100\% = 6,32 \%$$

Selanjutnya untuk menentukan gaya tendon saat tahap layan, perlu dikurangi kehilangan gaya prategang baik secara langsung dan karena fungsi waktu. Dengan menggunakan batas tegangan bahan saat tahap layan yaitu beton dengan mutu $f_c' = 60$ MPa, dan tegangan ijin tendon saat layan $f_{pe} = 1116$ MPa. Kemudian ditentukan total semua kehilangan gaya prategang sehingga F_{efektif} tendon untuk tahap layan dapat ditentukan. Untuk total kehilangan gaya prategang pada tendon atas dapat dilihat pada Tabel 4. 31

Tabel 4. 31 Total kehilangan gaya prategang pada tendon atas

Joint	A (m ²)	Mtot (KNm)	e (m)	Fkum (KN)	Wa (m ³)	Fcir (Mpa)	Fcds (Mpa)	v/s	ΔES (MPa)	ΔFR (MPa)	ΔSA (MPa)	ΔCR (MPa)	ΔSH (MPa)	ΔRE (MPa)	ΣKP (MPa)
18	19.02	216509	2.07	101041	16.41	18.06	13.20	0.45	15.66	0.00	6.37	49.81	29.94	80.249	16.31%
19	10.18	192033	2.04	101041	13.04	25.77	14.72	0.23	35.10	3.16	6.37	113.09	30.35	72.104	23.31%
20	9.78	169477	1.91	101041	12.22	26.13	13.87	0.23	38.79	6.31	6.37	125.55	30.36	70.520	24.90%
21	9.63	144437	1.84	92621	11.69	24.18	12.35	0.23	37.33	10.09	6.37	121.15	30.36	71.094	24.77%
22	9.48	121563	1.77	84201	11.17	22.20	10.88	0.23	35.62	13.85	6.37	115.92	30.36	71.774	24.54%
23	9.08	100808	1.63	75781	10.38	20.28	9.71	0.22	33.24	17.61	6.37	108.28	30.37	72.754	24.07%
24	8.93	82108	1.56	67361	9.88	18.22	8.31	0.22	31.04	21.36	6.37	101.44	30.37	73.641	23.67%
25	8.78	65418	1.49	58941	9.38	16.11	6.98	0.22	28.53	25.09	6.37	93.55	30.37	74.660	23.17%
26	8.38	46208	1.37	50521	8.62	14.04	5.36	0.22	26.94	30.07	6.37	88.88	30.38	75.272	23.11%
27	7.98	30348	1.24	42101	7.88	11.90	3.85	0.21	24.80	35.02	6.37	82.43	30.39	76.113	22.86%
28	7.58	17680	1.11	33680	7.14	9.69	2.48	0.20	22.05	39.96	6.37	73.95	30.40	77.212	22.40%
29	7.43	8067	1.05	25260	6.69	7.36	1.21	0.20	18.60	44.88	6.37	63.05	30.41	78.618	21.68%
30	7.08	1406	0.95	16840	6.12	4.99	0.23	0.20	14.19	49.79	6.37	48.72	30.42	80.454	20.60%
31	6.98	0	0.71	8420	5.82	2.23	0.00	0.20	6.04	54.68	6.37	22.81	30.42	83.792	18.29%

4.6 Perencanaan Tendon Layan

Pada tahap ini yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah pengecoran box girder segmen tengah (*closure*). *Jacking* tendon servis dilakukan setelah beton *closure* mengeras sehingga struktur jembatan telah menjadi statis tak tentu. Perencanaan tendon untuk layan ini diletakkan di bawah c.g.c dari box girder guna menahan momen positif yang diakibatkan dari beban hidup.

Perencanaan tendon menerus untuk pembebanan penuh mempertimbangkan tendon pada tahap pelaksanaan yang telah terpasang. Kekurangan gaya prategang akan diberikan untuk menahan beban penuh, khususnya pada daerah lapangan. Dalam perhitungan beban yang terjadi, digunakan program bantu *Midas Civil* dengan mempertimbangkan kondisi pembebanan yang paling kritis. Berikut adalah perhitungan gaya pratekan dan analisa tegangan yang terjadi.

4.6.1 Pembebanan tahap layan

1. Beban sendiri (box girder) (D)

Beban sendiri telah dihitung sejak dari tahap konstruksi. Pada tahap layan pun beban sendiri dari box girder juga bekerja. Cara perhitungan beban sendiri telah dijabarkan pada bab 4.4.

2. Beban mati tambahan (SD)

Beban mati tambahan akan dibebankan pada seluruh penampang jembatan dari ujung jembatan hingga ujung yang lainnya.

- Berat bantalan

$$\begin{aligned} q_{\text{bantalan}} &= \text{Luas}_{\text{bantalan}} \times B_j \text{ beton} \times 2 \text{ buah} \\ &= 0,253 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 2 \\ &= 12.65 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

- Berat rel

Rel yang digunakan merupakan tipe R 54. sesuai dengan PM. No 60 tahun 2012 pasal 3.1.2.7 spesifikasi rel tersebut adalah sebagai berikut :

$$A_{\text{rel}} = 69.34 \text{ cm}^2$$

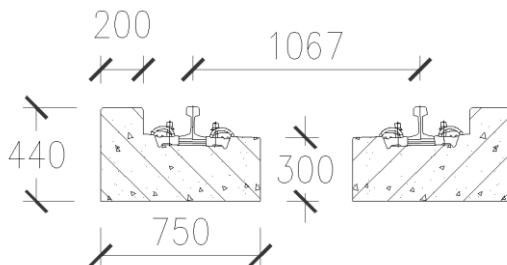
$$Q_{\text{rel}} = 54.43 \text{ kg/m}$$

$$Q_{2\text{rel}} = 1.089 \text{ KN/m}$$

Desain bantalan dan rel seperti pada **Gambar 4.25** dan **4.26**

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A	= luas penampang			
W	= berat rel permeter			
I _x	= momen inersia terhadap sumbu x			
Y _b	= jarak tepi bawah rel ke garis netral			

Gambar 4. 25 Dimensi penampang rel (PM 60 tahun 2012)



Gambar 4. 26 Desain bantalan dan rel LRT

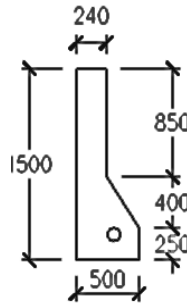
- Berat air hujan setinggi 5 cm

$$\begin{aligned} Q_{\text{air}} &= \text{tinggi air} \times B_{j,\text{air}} \times \text{lebar jembatan} \\ &= 0,05 \times 9,8 \text{ KN/m}^3 \times 9,6 \text{ m} \\ &= 4,7 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

- Berat parapet

Desain dari parapet yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.21

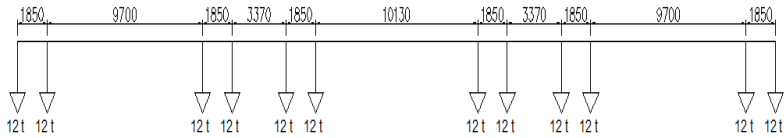
$$\begin{aligned} A &= 0,48 \text{ m}^2 \\ Q_{\text{parapet}} &= \text{Luas}_{\text{parapet}} \times B_{j \text{ beton}} \times 2 \text{ buah} \\ &= 0,253 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 2 \\ &= 23,85 \text{ KN/m} \end{aligned}$$



Gambar 4. 27 Desain parapet

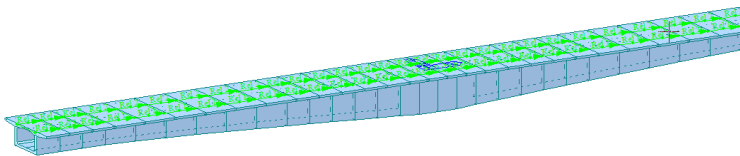
3. Beban hidup kereta LRT (L)

Beban hidup yang terjadi merupakan beban kereta LRT sesuai dengan spesifikasi yang digunakan yaitu beban setiap gandar sebesar 12 ton, dengan jumlah 12 gandar. Jembatan didesain untuk menerima beban kereta 3 gerbong dan 6 gerbong untuk perencanaan jangka panjang. Beban kereta dimodelkan berupa beban berjalan sepanjang jembatan. Ilustrasi pembebanan kereta dapat dilihat pada **Gambar 4.28**



Gambar 4. 28 Ilustrasi pembebanan kereta LRT

Dalam permodelan midas, Beban kereta dibuat double track sesuai dengan desain rencana. Beban kereta didesain dengan *moving load analysis*



Gambar 4. 29 Input track kereta pada box girder

Define User Defined Vehicular Load

Load Type
 Truck/Lane
 Train Load

Vehicular Load Properties
 Vehicular Load Name : LRT 6 Gerbong

Train Load

	Load (kN)	Distance (m)
1	117.6800	1.8500
2	117.6800	9.7000
3	117.6800	1.8500
4	117.6800	3.3700
5	117.6800	1.8500

dW1: 0 kN/m
 dD1: 0 m
 dW2: 0 kN/m
 dD2: 0 m

Gambar 4. 30 Input moving load pada Midas Civil

4. Beban kejut (I)

Beban kejut bekerja bersamaan dengan beban hidup kereta dengan arah ke bawah. Beban kejut dihitung pada bentang 90 m dan 54 m.

- Bentang 90 m

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + L}$$

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + 90} = 0,261 \longrightarrow 26,1\% \text{ beban hidup}$$

- Bentang 54 m

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + L}$$

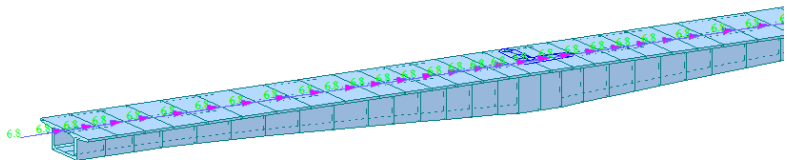
$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + 54} = 0,3163 \longrightarrow 31,63\% \text{ beban hidup}$$

Maka diambil nilai beban kejut = 31,63% beban hidup

5. Beban longitudinal / rem (LF)

Beban longitudinal akibat pengereman harus diperhitungkan pada pusat gravitasi kereta atau bekerja paralel terhadap jalan rel dan mempunyai arah horizontal pada jalan rel. Menurut PM 60 tahun 2012 besar beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, dan bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

$$\begin{aligned} P_{\text{longitudinal}} &= 25\% \times 12 \text{ ton} = 3 \text{ ton} \\ &= 3 \text{ ton} \times 12 \text{ gandar} \\ &= 36 \text{ ton} \end{aligned}$$

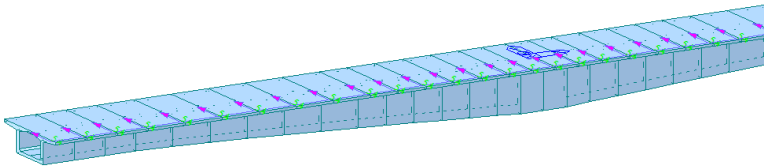


Gambar 4. 31Permodelan beban rem

6. Beban lateral (LR)

Berdasarkan PM 60 Tahun 2012, beban lateral bekerja secara horizontal tegak lurus arah rel. dengan 20% dari beban gandar kereta.

$$\begin{aligned} P_{\text{lateral}} &= 20\% \times 12 \text{ ton} = 2,4 \text{ ton} \\ &= 2,4 \text{ ton} \times 12 \text{ gandar} \\ &= 28,8 \text{ ton} \end{aligned}$$



Gambar 4. 32 Input beban lateral

7. Beban angin (W dan WL)

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan PM. 60 Tahun 2012, beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horisontal, dengan nilai sebagai berikut:

- 3.0 kN/m² pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2.0 kN/m², pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
- 1.5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1.2 kN/m² untuk jembatan selain gelagar, dek, rusuk atau jembatan komposit, sedangkan 0.8 kN/m² untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin

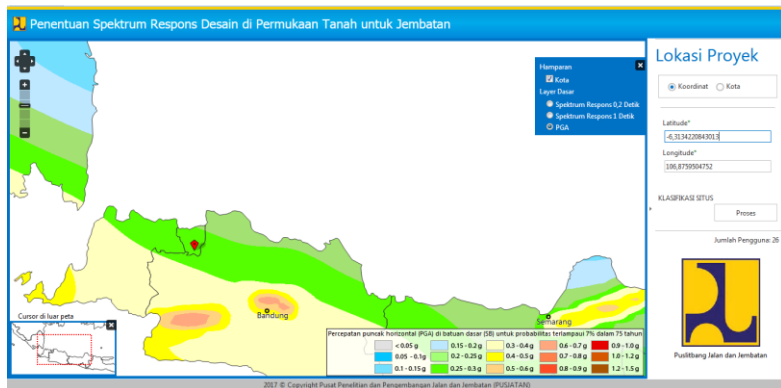
Sehingga digunakan beban angin 3 KN/m² pada struktur. Kemudian dikalikan dengan luasan struktur yang terkena angin. Untuk beban angina pada kendaraan di ambil nilai 1,5 KN/m² dengan mengenaannya pada sumbu segmen.

8. Beban lain (OF)

Beban lain yang bekerja adalah beban temperatur, susut dan rangkai, dan pengaruh prategang. Nilai temperature harian di daerah Jakarta sebesar 25°C dengan temperatur maksimum ($T_{\max} = 40^{\circ}\text{C}$) dan temperatur minimum ($T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$) yang bekerja pada jembatan. Koefisien perpanjangan akibat suhu untuk beton mutu tinggi diambil nilai 11×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$.

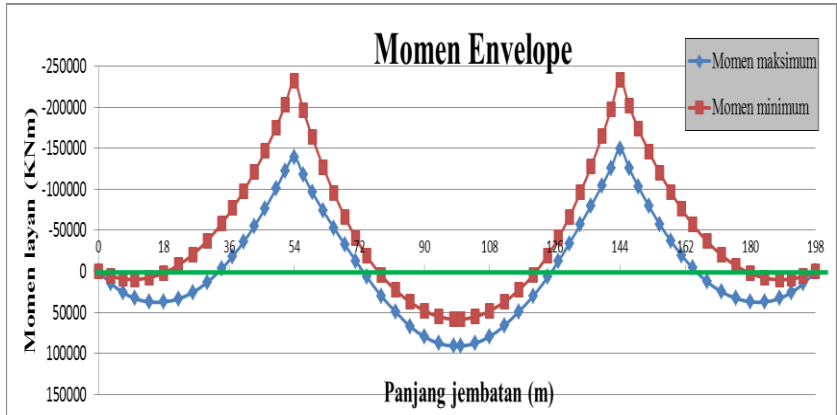
9. Gempa (EQ)

Analisa beban gempa dilakukan dengan cara *response spectrum analysis* yang terdapat pada *Midas Civil* dengan mengacu pada SNI 2833 tahun 2008. Perancangan jembatan terhadap beban gempa dapat dilihat dari posisi kota Jakarta dalam peta gempa dan mengacu pada *website* www.pusjatan.pu.go.id. Sehingga didapatkan dengan nilai percepatan puncak batuan dasar (PGA) = 0,277 g, $S_s = 0,523$ g, $S_1 = 0,3$ g, dengan kelas situs tanah sedang (D) berdasarkan data tanah di lokasi. Hasil dari respon spektrum gempa dapat dilihat pada **Gambar 4.33 - 34**



Gambar 4. 33 Lokasi penentuan gempa oleh pusjatan

Dari kombinasi di atas dengan menggunakan program bantu analisa struktur *Midas Civil* didapatkan momen envelope dari kombinasi beban tersebut. Grafik dari momen envelope beban layan dapat dilihat pada **Gambar 4.35**



Gambar 4. 35 Momen envelope akibat kombinasi beban layan

4.6.2 Kontrol tegangan box girder saat layan

Berdasarkan hasil momen envelope akibat beban layan, terdapat momen positif yang bekerja pada jembatan, sehingga perlu adanya tendon yang berada di bawah c.g.c penampang untuk melawan momen positif. Tendon kantilever juga bekerja pada saat layan, terutama untuk menahan momen negatif yang berada di daerah sekitar tumpuan, dan nilai dari gaya tarik tendon atas juga diakumulasikan dengan tendon bawah.

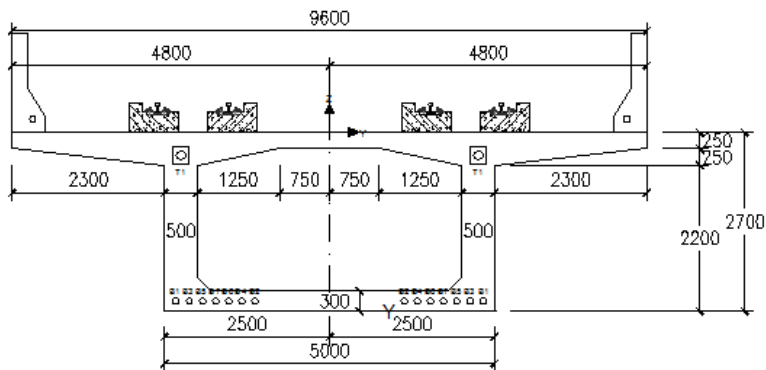
Tendon bawah direncanakan menggunakan tendon / kabel jenis *strand seven wires stress relieved* (7 kawat untaian). Dengan mengacu pada tabel VSL berikut adalah jenis dan karakteristik tendon yang digunakan.

Jenis strands	: VSL ASTM A416-06 grade 270
Tegangan leleh, f_{py}	: 1676 MPa
Tegangan tarik, f_{pu}	: 1860 MPa
Diameter nominal	: 15,24 mm
Luas nominal, A_p	: 140 mm ²
Beban putus minimal	: 260,7 KN
Modulus Elastisitas, E_s	: 195000 MPa
Jenis Tendon	: 6-19-19
Beban putus tendon, F_{pu}	: 4953 KN
Diameter selubung ideal	: 100 – 106 mm

Berikut perhitungan tendon bawah dimana jembatan dibebani beban yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. Sebagai contoh akan dihitung pada segmen S12 penampang 31 seperti pada **Gambar 4.36** dan **Gambar 4.37**



Gambar 4. 36 Layout tendon bawah



Gambar 4. 37 Penampang segmen S12 penampang 31

H	= 2700 mm
A	= 6,98 x 10 ⁶ mm ²
y _a	= 1,06 x 10 ³ mm
y _b	= 1,64 x 10 ³ mm
I	= 6,14 x 10 ¹² mm ⁴
M _{max}	= 91111 x 10 ⁶ Nmm
M _{min}	= 58659 x 10 ⁶ Nmm
e _{staging}	= 0,71 x 10 ³ mm
e _{layan}	= 1,49 x 10 ³ mm
F _{staging}	= 6880 x 10 ³ N

Dengan menggunakan dua tendon atas yang digunakan saat staging dan tambahan 14 tendon yang ditempatkan pada bawah badan box girder dan di tarik masing -masing sebesar 4210 KN maka (14 x 4210 KN = 58941 KN), maka

Ketika momen maksimum terjadi, M_{max} = 91111 x 10⁶ Nmm

Serat atas

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} - \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_a}{I} + \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_a}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_a}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 58,941) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} - \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$+ \frac{58,941 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{91,111 \cdot 10^9 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = -9,433 - 0,833 + 15,130 - 15,647$$

$$f_{ci} = -10,783 < -27 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} + \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_b}{I} - \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_b}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_b}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 58,941) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} + \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

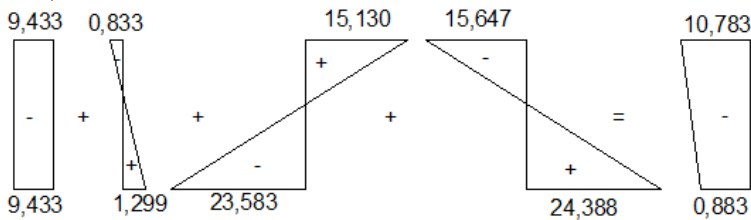
$$f_{ci} = -9,433 + \frac{58,941 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{91,111 \cdot 10^9 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = -9,433 + 1,299 - 23,583 + 24,388$$

$$f_{ci} = -7,33 < -27 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.33**)



Gambar 4. 38 Diagram tegangan penampang 31 saat momen maksimum

Ketika momen minimum terjadi, $M_{\min} = 58659 \times 10^6 \text{ Nmm}$

Serat atas

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} - \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_a}{I} + \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_a}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_a}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 58,941) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} - \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$+ \frac{58,941 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{58,659 \cdot 10^9 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = -9,433 - 0,833 + 15,130 - 10,074$$

$$f_{ci} = -5,210 < -27 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} + \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_b}{I} - \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_b}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_b}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 58,941) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} + \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

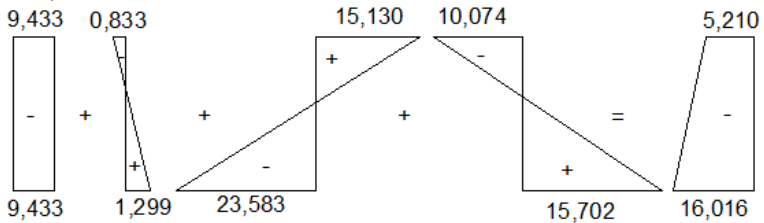
$$-\frac{58,941 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{58,111 \cdot 10^9 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = -9,433 + 1,299 - 23,583 + 15,702$$

$$f_{ci} = -16,016 < -27 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.39**)



Gambar 4. 39 Diagram tegangan penampang 31 saat momen minimum

- Selanjutnya box girder juga perlu di cek saat beban struktur tidak menerima beban hidup atau tanpa ada kendaraan yang melewati. Sehingga beban yang bekerja adalah beban sendiri saja (1D)
Perhitungan perencanaan tendon saat beban layan pada penampang segmen yang lainnya akan ditampilkan pada tabel 1 di lampiran.

4.6.3 Kehilangan gaya prategang saat servis

Kehilangan prategang juga perlu diperhatikan pada perencanaan tendon bawah. Kehilangan gaya prategang dibagi dalam dua kategori yaitu secara langsung dan akibat fungsi waktu atau lama. Untuk kehilangan gaya prategang secara langsung meliputi akibat elastis beton, gesekan, dan slip ankur. Sedangkan untuk kehilangan gaya prategang akibat fungsi waktu meliputi rangkai, susut, dan relaksasi baja.

a. Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis (Δ_{ES})

Berikut merupakan contoh perhitungan kehilangan prategang perpendekan elastis beton pada segmen 12 penampang 31

$$\sigma_{es} = K_{es} \times \frac{Es}{Eci} \times f_{cir}$$

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

Modulus elastisitas beton, E_c

$$E_c = 4700 \sqrt{f_{c'}}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{60} = 36406,04 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas baja,

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

Menentukan f_{cir}

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

$$f_{cir} = -\frac{58941 \cdot 10^3}{6,98 \cdot 10^6} - \frac{58941 \cdot 10^3 \cdot (1,49 \cdot 10^3)^2}{6,14 \cdot 10^{12}} + \frac{61561 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{cir} = -14,904 \text{ MPa}$$

Kehilangan prategang

$$\Delta_{ES} = K_{es} \times \frac{Es}{Eci} \times f_{cir}$$

$$\Delta_{ES} = 0,5 \times \frac{195000}{36406,04} \times 14,904$$

$$\Delta_{ES} = 39,91 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang

$$\Delta_{ES} = \frac{39,91}{1116} \times 100\% = 3,58 \%$$

Untuk total kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton berada pada segmen yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.33

b. Kehilangan prategang akibat gesekan (Δ_{FR})

Kehilangan gaya pratekan akibat gesekan dipertimbangkan pada dua bagian yaitu pengaruh panjang dan pengaruh kelengkungan. Berikut adalah perhitungan pada segmen S12 penampang 31.

$$Ppx = Ppj \times e^{-\mu\alpha - KL}$$

$$\Delta = (1 - e^{-\mu\alpha - KL}) \times 100\%$$

$$\text{Tegangan tarik ijin kabel} = 1116 \text{ MPa}$$

$$\text{Panjang tendon, L} = 6 \text{ m}$$

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

$$\text{Koefisien wouble, K} = 0,0008 \text{ (brosur VSL)}$$

$$\text{Koefisien friksi, } \mu = 0,2 \text{ (brosur VSL)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan prategang, } \Delta_{FR} &= 1 - e^{-\mu\alpha - KL} \\ &= 1 - e^{-0,2 \times 0 - 0,0008 \times 6/2} \\ &= 1 - 0,998 = 0,24 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan prategang, } \Delta_{FR} &= 0,24\% \times 1116 \text{ MPa} \\ &= 2,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Untuk hasil dari kehilangan prategang akibat gesekan di setiap segmen dapat dilihat pada Tabel 4.33

c. Kehilangan prategang akibat slip angkur (Δ_{SA})

Berikut adalah perhitungan pada segmen S12 penampang 31.

$$\Delta_{SA} = \frac{2,5}{X} f_s$$

$$x = \sqrt{\frac{E_s \times g}{\sigma_0 \times K}} \quad (\text{untuk tendon yang hampir lurus})$$

Modulus elastisitas, E_s = 195000 MPa

Panjang tendon, L = 6 m

Koefisien wouble, K = 0,0008 (brosur VSL)

Tegangan pakai, f_s = 1116 MPa

Perpanjangan, g = 2,5 mm

Maka jarak pengaruh slip angkur :

$$x = \sqrt{\frac{E_s \times g}{f_s \times K}} = \sqrt{\frac{195000 \times 2,5}{1116 \times 0,0008}} = 738,94 \text{ mm}$$

$$\Delta_{SA} = \frac{2,5}{738,94} \times 1116 = 3,78 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang

$$\Delta_{SA} = \frac{3,78}{1116} \times 100\% = 0,34 \%$$

Untuk hasil dari kehilangan prategang akibat slip angkur di setiap segmen dapat dilihat pada Tabel 4.33

d. Kehilangan prategang akibat rangkai

Kehilangan gaya prategang akibat rangkai untuk komponen struktur dengan tendon terekat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta CR = Kcr \times \frac{E_s}{E_c} \times (f_{cir} - f_{c ds})$$

Dimana :

Koefisien elastis, $Kcr = 1,6$ (pascatarik)

$E_s = 195000$ MPa

$E_c = 36406,04$ MPa (beton $f_c' = 60$ MPa)

f_{cir} = tegangan beton di daerah c.g.s akibat gaya prategang awal

$f_{c ds}$ = tegangan beton di daerah c.g.s akibat beban mati pada struktur

Sebagai contoh akan dihitung pada segmen S12 penampang 31.

$$F = 58941 \times 10^3 \text{ N} \quad A_{31} = 6,98 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$e = 1,49 \times 10^3 \text{ mm} \quad y_b = 1,64 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$I = 6,14 \times 10^{12} \text{ mm}^4 \quad M_s = 61561 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$f_{cir} = \frac{F_0}{A} + \frac{F \cdot e \cdot y_b}{I} = \frac{58,941 \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} + \frac{58,941 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{cir} = 32,03 \text{ MPa}$$

$$f_{c ds} = \frac{M \cdot y_b}{I} = \frac{61,561 \cdot 10^9 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} = 16,48 \text{ MPa}$$

$$\Delta CR = 1,6 \times \frac{195000}{36406,04} \times (32,03 - 16,48)$$

$$\Delta CR = 133,28 \text{ MPa}$$

$$\Delta CR = \frac{133,28}{1116} \times 100\% = 11,94\%$$

e. Kehilangan prategang akibat susut

Kehilangan gaya prategang akibat susut saat tahap layan adalah sebagai berikut. Sebagai contoh akan dihitung pada segmen S12 penampang 31.

$$\Delta SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{SH} \times E_s \times \left(1 - 0,006 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

Dimana :

Koefisien susut, $K_{SH} = 0,77$ (asumsi dilakukan 7 hari setelah selesai curing beton)

$E_s = 195000$ MPa

V/S = perbandingan volume penampang dengan luas permukaan

Atau dapat diganti menjadi

$$\frac{V}{S} = \frac{\text{Luas penampang box}}{\text{keliling permukaan box}} = \frac{6,98}{35,54} = 0,196$$

(v/s) mempunyai nilai yang berbeda dikarenakan luas dan keliling permukaan setiap segmen berbeda beda.

Kelembapan relative, RH = 75% (Kota Jakarta)

$$\Delta SH = 8,2 \times 10^{-6} \times 0,77 \times 195000 \times (1 - 0,06 \times 0,196) \times (100 - 75)$$

$$\Delta SH = 26,79 \text{ MPa}$$

$$\Delta SH = \frac{26,79}{1116} \times 100\% = 2,40 \%$$

f. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja saat tahap layan adalah sebagai berikut. Sebagai contoh akan dihitung pada segmen S12 penampang 31.

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

Dimana :

Koefisien relaksasi, $K_{RE} = 128 \text{ MPa}$

J = 0,14

C = 0,7 (berdasarkan tabel VSL)

$$\Delta RE = (128 - 0,14(26,79 + 133,28 + 39,91)) \times 0,7$$

$$\Delta RE = 70 \text{ MPa}$$

$$\Delta RE = \frac{70}{1116} \times 100\% = 6,27 \%$$

Maka total kehilangan gaya prategang pada tendon segmen S12 penampang 31 adalah :

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{total}} &= \Delta_{ES} + \Delta_{FR} + \Delta_{SA} + \Delta_{CR} + \Delta_{SH} + \Delta_{RE} \\ &= 3,58\% + 0,24\% + 0,34\% + 11,94\% + 2,40\% + 6,27\% \\ &= 24,77 \% \end{aligned}$$

Tabel 4. 33 Kehilangan prategang tendon servis

Joint	Perpendekan elastis			Gesekan			Slip Angkur			Rangkak				Susut			Relaksasi Baja		Σ KP (%)	Feff (KN)
	fcir (MPa)	ΔE_s (MPa)	ΔE_s (%)	L	$e^{\alpha} - (KL + \mu\alpha)$	ΔFR (%)	ΔFR (MPa)	ΔSA (MPa)	ΔSA (%)	fcir (MPa)	fcds (MPa)	ΔCR (MPa)	ΔCR (%)	v/s	ΔSH (MPa)	ΔSH (%)	ΔRE (MPa)	ΔRE (%)		
2	-8.537	22.86	2.05%	40	0.984	1.59%	17.71	3.78	0.34%	9.15	0.00	78.43	7.03%	0.20	26.79	2.40%	77.05	6.90%	20.31%	13421
3	-6.444	17.26	1.55%	33	0.987	1.31%	14.63	3.78	0.34%	9.15	2.30	58.69	5.26%	0.20	26.79	2.40%	79.53	7.13%	17.98%	13812
4	-4.982	13.34	1.20%	26	0.990	1.03%	11.55	3.78	0.34%	9.15	3.91	44.91	4.02%	0.20	26.79	2.40%	81.27	7.28%	16.28%	14099
5	-8.351	22.37	2.00%	20	0.992	0.80%	8.89	3.78	0.34%	13.73	4.90	75.64	6.78%	0.20	26.79	2.40%	77.37	6.93%	19.25%	20398
6	-8.096	21.68	1.94%	12	0.995	0.48%	5.34	3.78	0.34%	13.53	5.00	73.13	6.55%	0.20	26.78	2.40%	77.68	6.96%	18.67%	20543
7	-7.963	21.33	1.91%	8	0.997	0.32%	3.57	3.78	0.34%	12.24	3.85	71.91	6.44%	0.20	26.65	2.39%	77.85	6.98%	18.38%	20618
8	-9.058	24.26	2.17%	12	0.995	0.48%	5.34	3.78	0.34%	12.01	2.44	81.99	7.35%	0.20	26.64	2.39%	76.58	6.86%	19.59%	20313
9	-9.883	26.47	2.37%	20	0.992	0.80%	8.89	3.78	0.34%	10.93	0.47	89.60	8.03%	0.21	26.51	2.38%	75.63	6.78%	20.69%	20034
10	-10.961	29.35	2.63%	26	0.990	1.03%	11.55	3.78	0.34%	10.04	1.57	72.59	6.50%	0.22	26.39	2.36%	77.02	6.90%	19.77%	20265
11	-9.267	24.82	2.22%	33	0.987	1.31%	14.63	3.78	0.34%	6.20	3.65	21.83	1.96%	0.222	26.27	2.35%	82.45	7.39%	15.57%	14218
12	-7.924	21.22	1.90%	40	0.984	1.59%	17.71	3.78	0.34%	3.05	5.40	20.13	1.80%	0.222	26.26	2.35%	82.97	7.43%	15.42%	7122
13	-6.756	18.09	1.62%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	7.25	62.11	5.57%	0.223	26.25	2.35%	79.17	7.09%	16.63%	0
14	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	8.62	73.88	6.62%	0.228	26.15	2.34%	79.80	7.15%	16.11%	0
15	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	10.51	90.09	8.07%	0.228	26.14	2.34%	78.21	7.01%	17.42%	0
16	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	12.47	106.87	9.58%	0.229	26.13	2.34%	76.57	6.86%	18.78%	0
17	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	13.27	113.72	10.19%	0.234	26.03	2.33%	75.90	6.80%	19.32%	0
18	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	12.02	103.01	9.23%	0.453	21.58	1.93%	77.39	6.93%	18.10%	0
19	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	13.05	111.87	10.02%	0.234	26.03	2.33%	76.09	6.82%	19.17%	0
20	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	11.99	102.79	9.21%	0.229	26.13	2.34%	76.97	6.90%	18.45%	0
21	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	9.71	83.25	7.46%	0.228	26.14	2.34%	78.88	7.07%	16.87%	0
22	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	7.47	64.00	5.73%	0.228	26.15	2.34%	80.77	7.24%	15.31%	0
23	-8.088	21.66	1.94%	62	0.976	2.45%	27.34	3.78	0.34%	3.01	5.60	22.24	1.99%	0.223	26.25	2.35%	82.72	7.41%	16.49%	7032
24	-8.868	23.75	2.13%	59	0.977	2.33%	26.03	3.78	0.34%	6.10	3.29	24.08	2.16%	0.222	26.26	2.35%	82.34	7.38%	16.69%	14030

Joint	Perpendekan elastis			Gesekan				Slip Angkur		Rangkak				Susut			Relaksasi Baja		Σ KP (%)	Feff (KN)
	fcir (MPa)	ΔEs (MPa)	ΔEs (%)	L	e ^Λ - (KL+μ α)	ΔFR (%)	ΔFR (MPa)	ΔSA (MPa)	ΔSA (%)	fcir (MPa)	fcds (MPa)	ΔCR (MPa)	ΔCR (%)	v/s	ΔSH (MPa)	ΔSH (%)	ΔRE (MPa)	ΔRE (%)		
25	-9.780	26.19	2.35%	54	0.979	2.14%	23.85	3.78	0.34%	9.29	1.03	70.84	6.35%	0.222	26.27	2.35%	77.52	6.95%	20.47%	20090
26	-10.823	28.99	2.60%	46	0.982	1.82%	20.35	3.78	0.34%	13.39	2.01	97.52	8.74%	0.216	26.39	2.36%	74.62	6.69%	22.55%	26086
27	-12.336	33.04	2.96%	38	0.985	1.51%	16.83	3.78	0.34%	18.22	5.28	110.88	9.94%	0.210	26.51	2.38%	72.90	6.53%	23.65%	32144
28	-14.477	38.77	3.47%	30	0.988	1.19%	13.31	3.78	0.34%	24.02	8.85	130.02	11.65%	0.204	26.64	2.39%	70.45	6.31%	25.35%	37711
29	-16.205	43.40	3.89%	22	0.991	0.88%	9.78	3.78	0.34%	28.57	11.59	145.52	13.04%	0.203	26.65	2.39%	68.47	6.14%	26.67%	43223
30	-15.865	42.49	3.81%	14	0.994	0.56%	6.23	3.78	0.34%	31.58	14.99	142.20	12.74%	0.197	26.78	2.40%	68.88	6.17%	26.02%	43606
31	-14.904	39.91	3.58%	6	0.998	0.24%	2.68	3.78	0.34%	32.03	16.48	133.28	11.94%	0.196	26.79	2.40%	70.00	6.27%	24.77%	44341
32	-14.904	39.91	3.58%	6	0.998	0.24%	2.68	3.78	0.34%	32.03	16.48	133.28	11.94%	0.196	26.79	2.40%	70.00	6.27%	24.77%	44341
33	-15.865	42.49	3.81%	14	0.994	0.56%	6.23	3.78	0.34%	31.58	14.99	142.20	12.74%	0.197	26.78	2.40%	68.88	6.17%	26.02%	43606
34	-16.205	43.40	3.89%	22	0.991	0.88%	9.78	3.78	0.34%	28.57	11.59	145.52	13.04%	0.203	26.65	2.39%	68.47	6.14%	26.67%	43223
35	-14.477	38.77	3.47%	30	0.988	1.19%	13.31	3.78	0.34%	24.02	8.85	130.02	11.65%	0.204	26.64	2.39%	70.45	6.31%	25.35%	37711
36	-12.336	33.04	2.96%	38	0.985	1.51%	16.83	3.78	0.34%	18.22	5.28	110.88	9.94%	0.210	26.51	2.38%	72.90	6.53%	23.65%	32144
37	-10.823	28.99	2.60%	46	0.982	1.82%	20.35	3.78	0.34%	13.39	2.01	97.52	8.74%	0.216	26.39	2.36%	74.62	6.69%	22.55%	26086
38	-9.780	26.19	2.35%	54	0.979	2.14%	23.85	3.78	0.34%	9.29	1.03	70.84	6.35%	0.222	26.27	2.35%	77.52	6.95%	20.47%	20090
39	-8.868	23.75	2.13%	59	0.977	2.33%	26.03	3.78	0.34%	6.10	3.29	24.08	2.16%	0.222	26.26	2.35%	82.34	7.38%	16.69%	14030
40	-8.088	21.66	1.94%	62	0.976	2.45%	27.34	3.78	0.34%	3.01	5.60	22.24	1.99%	0.223	26.25	2.35%	82.72	7.41%	16.49%	7032
41	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	7.47	64.00	5.73%	0.228	26.15	2.34%	80.77	7.24%	15.31%	0
42	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	9.71	83.25	7.46%	0.228	26.14	2.34%	78.88	7.07%	16.87%	0
43	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	11.99	102.79	9.21%	0.229	26.13	2.34%	76.97	6.90%	18.45%	0
44	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	13.05	111.87	10.02%	0.234	26.03	2.33%	76.09	6.82%	19.17%	0
45	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	12.02	103.01	9.23%	0.453	21.58	1.93%	77.39	6.93%	18.10%	0
46	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	13.27	113.72	10.19%	0.234	26.03	2.33%	75.90	6.80%	19.32%	0
47	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	12.47	106.87	9.58%	0.229	26.13	2.34%	76.57	6.86%	18.78%	0
48	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	10.51	90.09	8.07%	0.228	26.14	2.34%	78.21	7.01%	17.42%	0
49	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	8.62	73.88	6.62%	0.228	26.15	2.34%	79.80	7.15%	16.11%	0

Joint	Perpendekan elastis			Gesekan				Slip Angkur		Rangkak				Susut			Relaksasi Baja		Σ KP (%)	Feff (kN)
	fcir (MPa)	ΔEs (MPa)	ΔEs (%)	L	e ^Λ - (KL+μ α)	ΔFR (%)	ΔFR (MPa)	ΔSA (MPa)	ΔSA (%)	fcir (MPa)	fcds (MPa)	ΔCR (MPa)	ΔCR (%)	v/s	ΔSH (MPa)	ΔSH (%)	ΔRE (MPa)	ΔRE (%)		
50	0.000	0	0.00%	0	1.000	0.00%	0	0	0.00%	0.00	7.25	62.11	5.57%	0.223	26.25	2.35%	80.94	7.25%	15.17%	0
51	-7.924	21.22	1.90%	40	0.984	1.59%	17.71	3.78	0.34%	3.05	5.40	20.13	1.80%	0.222	26.26	2.35%	82.97	7.43%	15.42%	7122
52	-9.267	24.82	2.22%	33	0.987	1.31%	14.63	3.78	0.34%	6.20	3.65	21.83	1.96%	0.222	26.27	2.35%	82.45	7.39%	15.57%	14218
53	-10.961	29.35	2.63%	26	0.990	1.03%	11.55	3.78	0.34%	10.04	1.57	72.59	6.50%	0.216	26.39	2.36%	77.02	6.90%	19.77%	20265
54	-9.883	26.47	2.37%	20	0.992	0.80%	8.89	3.78	0.34%	10.93	0.47	89.60	8.03%	0.210	26.51	2.38%	75.63	6.78%	20.69%	20034
55	-9.058	24.26	2.17%	12	0.995	0.48%	5.34	3.78	0.34%	12.01	2.44	81.99	7.35%	0.204	26.64	2.39%	76.58	6.86%	19.59%	20313
56	-7.963	21.33	1.91%	8	0.997	0.32%	3.57	3.78	0.34%	12.24	3.85	71.91	6.44%	0.203	26.65	2.39%	77.85	6.98%	18.38%	20618
57	-8.096	21.68	1.94%	12	0.995	0.48%	5.34	3.78	0.34%	13.53	5.00	73.13	6.55%	0.197	26.78	2.40%	77.68	6.96%	18.67%	20543
58	-8.351	22.37	2.00%	20	0.992	0.80%	8.89	3.78	0.34%	13.73	4.90	75.64	6.78%	0.196	26.79	2.40%	77.37	6.93%	19.25%	20398
59	-4.982	13.34	1.20%	26	0.990	1.03%	11.55	3.78	0.34%	9.15	3.91	44.91	4.02%	0.196	26.79	2.40%	81.27	7.28%	16.28%	14099
60	-6.444	17.26	1.55%	33	0.987	1.31%	14.63	3.78	0.34%	9.15	2.30	58.69	5.26%	0.196	26.79	2.40%	79.53	7.13%	17.98%	13812
61	-8.537	22.86	2.05%	40	0.984	1.59%	17.71	3.78	0.34%	9.15	0.00	78.43	7.03%	0.196	26.79	2.40%	77.05	6.90%	20.31%	13421

4.6.4 Kontrol tegangan box girder setelah kehilangan

Besar gaya pratekan setelah terjadi kehilangan pratekan adalah sebagai berikut. Sebagai contoh akan dihitung pada segmen S12 penampang 31.

Gaya prategang efektif pada tendon bawah dengan 14 tendon.

$$F = \frac{100 - 24,77}{100} \times 58941 = 44341 \text{ KN}$$

Gaya prategang efektif pada tendon atas dengan 2 tendon.

(nilai kehilangan prategang total saat staging telah dihitung pada sub bab 4.5.4)

$$F = \frac{100 - 18,29}{100} \times 8420 = 6880 \text{ KN}$$

Momen maksimum terjadi saat tahap servis $M_{\max} = 91111 \text{ KNm}$

Serat atas

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} - \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_a}{I} + \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_a}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_a}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 44,341) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} - \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$+ \frac{44,341 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{91,111 \cdot 10^9 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = -12,44 < -27 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} + \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_b}{I} - \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_b}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_b}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 44,341) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} + \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$- \frac{44,341 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{91,111 \cdot 10^9 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = 0,60 < 3,87 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Ketika momen minimum terjadi, $M_{\min} = 58659 \text{ KNm}$

Serat atas

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} - \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_a}{I} + \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_a}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_a}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 44,341) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} - \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$+ \frac{44,341 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{58,659 \cdot 10^9 \cdot 1,06 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = -6,87 < -27 \text{ MPa} \dots\dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Serat bawah

$$f_{ci} = -\frac{F_{tot}}{A} + \frac{F_{stag} \cdot e_{stag} \cdot y_b}{I} - \frac{F_{lyn} \cdot e_{lyn} \cdot y_b}{I} - \frac{M_{tot} \cdot y_b}{I}$$

$$f_{ci} = -\frac{(6,88 + 44,341) \cdot 10^6}{6,98 \cdot 10^6} + \frac{6,88 \cdot 10^6 \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

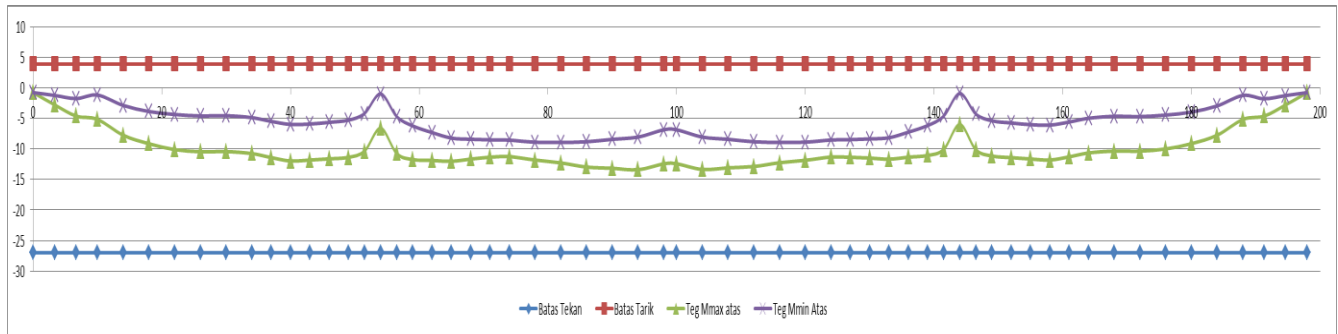
$$- \frac{44,341 \cdot 10^6 \cdot 1,49 \cdot 10^3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}} - \frac{58,111 \cdot 10^9 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{6,14 \cdot 10^{12}}$$

$$f_{ci} = -8,08 < -27 \text{ MPa} \dots\dots \text{OK}$$

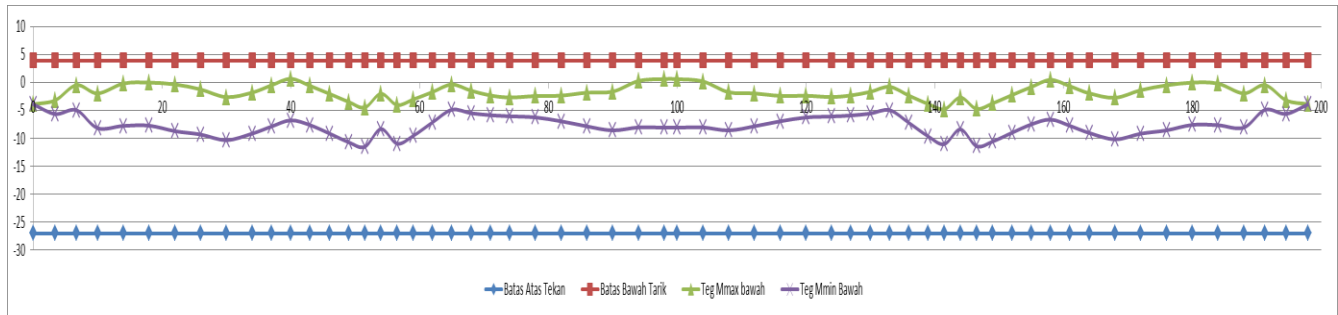
(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan)

Perhitungan perencanaan tendon setelah adanya kehilangan prategang dapat dilihat pada tabel 1 di lampiran 1

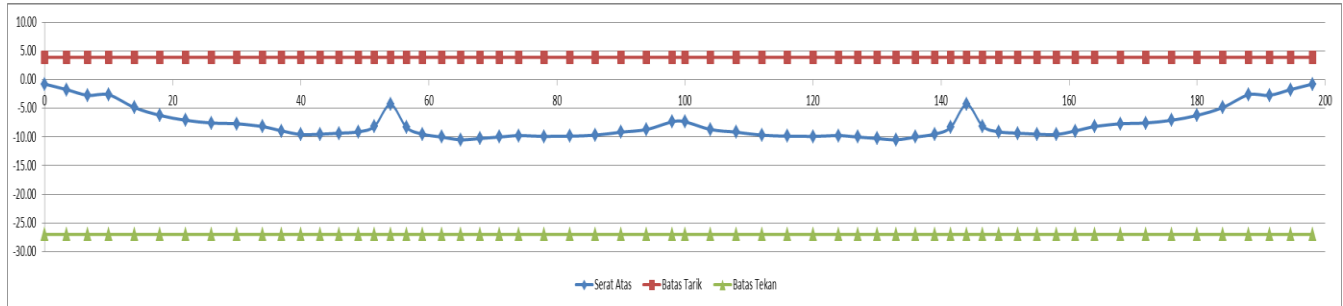
Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan akibat beban servis dan saat struktur tidak menerima beban luar hanya berat sendiri saja.



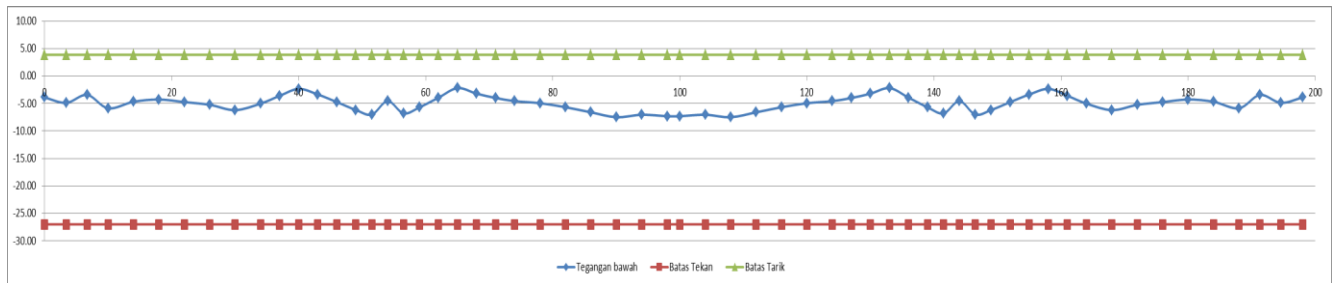
Gambar 4. 40 Grafik tegangan pada serat atas



Gambar 4. 41 Grafik tegangan pada serat bawah



Gambar 4. 42 Grafik tegangan pada serat atas tanpa beban hidup



Gambar 4. 43 Grafik tegangan pada serat bawah tanpa beban hidup

4.7 Penulangan Box Girder

Sebelum melakukan perencanaan penulangan, terlebih dahulu dilakukan analisa struktur dengan menggunakan program bantu *Midas Civil*. Dalam proses analisa yaitu dengan memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur box girder dengan pengaruh faktor beban, sehingga akan dapat diketahui gaya-gaya dalam yang terjadi. Dalam penentuan beban – beban yang bekerja digunakan kombinasi pembebanan ultimate. Untuk kombinasi pembebanan mengacu pada AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance of Way Association*). Untuk kombinasi beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.34

Tabel 4. 34 Kombinasi beban ultimate

Grup	D+SD	L	I	LR	W	WL	LF	EQ	OF
U1	1,4	2,33	2,33	1,4					
U1A	1,8	1,8	1,8	1,8					
U2	1,4				1,4				
U3	1,4	1,4	1,4	1,4	0,7	1,4	1,4		
U4	1,4	1,4	1,4	1,4					1,4
U5	1,4				1,4				1,4
U6	1,4	1,4	1,4	1,4	0,7	1,4	1,4		1,4
U7	1,4							1,4	
U8	1,4	1,4	1,4						
U9	1,2				1,2				

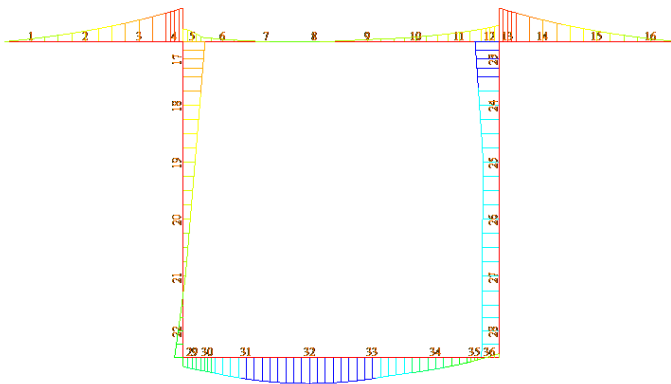
Dari kombinasi di atas dengan menggunakan program bantu analisa struktur *Midas Civil* didapatkan momen envelope dari kombinasi beban tersebut dan digunakan dalam perencanaan penulangan box girder.

Momen maksimum yang terjadi pada arah melintang box girder adalah :

M. pelat atas	= 107628000	Nmm
M. pelat badan	= 69100000	N.mm
M. pelat bawah	= 55400000	N.mm

4.7.1 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. Momen yang dialami oleh box girder akan ditampilkan pada Gambar 4.44



Gambar 4. 44 Diagram momen lintang box girder

a. Penulangan pada pelat atas

Kuat tekan beton, f_c'	= 60 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 420 MPa
Tebal selimut beton	= 40 mm
Diameter tulangan, D	= 16 mm
Tebal pelat atas	= 250 mm
Tinggi efektif, d_x	= $250 - 40 - 16/2 = 202$ mm
ϕ	= 0,8

Tulangan minimum dan maksimum

RSNI T-12-2004 pasal 5.1.1.5a, perhitungan tulangan minimum untuk struktur lentur adalah sebagai berikut :

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 * f_y} = \frac{\sqrt{60}}{4 * 420} = 0,00461$$

dan tidak lebih kecil dari :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

Menurut RSNI T-12-2004 pasal 5.1.1.6, perhitungan tulangan maksimum untuk struktur lentur adalah sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,65 \rightarrow (f_c' = 60 \text{ MPa})$$

$$\begin{aligned} \rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 60 \times 0,65}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,0464 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\ &= 0,75 \times 0,0464 = 0,0348 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 60} = 8,235$$

$$M_u = 107628000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{107628000}{0,8} = 134535000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{134535000}{1000 \times 202^2} = 1,47$$

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

$$= \frac{1}{8,235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,235 \times 1,47}{420}} \right) = 0,0036$$

Karena $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ maka yang dipakai adalah ρ_{\min} .

Luas tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\min} \times b \times dx \\ &= 0,0036 \times 1000 \times 202 = 931,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan yang diperlukan, S_{perlu}

$$S_{\text{perlu}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (19)^2 \cdot 1000}{931,4} = 215,97 \text{ mm}$$

Dari tabel tulangan, untuk tulangan D19 dengan $A_{s \text{ perlu}}$ sebesar $931,4 \text{ mm}^2$ dipasang tulangan utama sejarak 200 mm (**D16-200**).

b. Penulangan pada badan

$$\begin{aligned} \text{Tebal selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\ \text{Diameter tulangan, D} &= 22 \text{ mm} \\ \text{Tebal badan} &= 500 \text{ mm} \\ \text{lebar efektif, dx} &= 500 - 40 - 22/2 = 449 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,00461$$

$$\rho_{\max} = 0,348$$

$$m = 8,235$$

$$Mu = 69100000 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{M_u}{0,8} = \frac{69100000}{0,8} = 86375000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{86375000}{1000 \times 449^2} = 0,428$$

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

$$= \frac{1}{8,235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,235 \times 0,428}{420}} \right) = 0,00102$$

Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka yang dipakai adalah ρ_{min} .

Luas tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned} A_{s\ perlu} &= \rho_{min} \times b \times dx \\ &= 0,00461 \times 1000 \times 449 = 2070,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan yang diperlukan, S_{perlu}

$$S_{perlu} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{S\ perlu}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (22)^2 \cdot 1000}{2070,2} = 183,69 \text{ mm}$$

Dari tabel tulangan, untuk tulangan D22 dengan $A_{s\ perlu}$ sebesar 2070,2 mm² dipasang tulangan utama sejarak 150 mm (**D22-150**). Perhitungan tulangan box girder pada bagian lain disajikan dalam tabel 4.35

Tabel 4. 35 Resume tulangan box girder

No	Lokasi	Momen (KNm/m)	D (mm)	S_{perlu} (mm)	S_{pakai} (mm)
1	Sayap	91.3	16	215.97	200
2	Pelat atas	48.2	16	215.97	200
3	Hubungan sayap dan pelat atas	107.6	22	228.10	200
4	Badan	69.1	22	183.69	150
5	Pelat bawah	55.4	19	245.58	200
6	Hubungan badan dan pelat bawah	36.2	22	183.69	150

4.7.2 Perhitungan penulangan geser

Retak akibat geser pada balok beton prategang secara umum dibedakan menjadi 2, yaitu:

- Retak geser pada bagian badan akibat geseran pada badan (*web cracking*) yang disimbolkan dengan V_{cw}
- Retak geser miring akibat lentur (*inclined flexure shear cracking*) yang disimbolkan dengan V_{ci}

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 SNI T-12-2004 Pasal 6.8.10 adalah sebagai berikut :

1. Retak geser pada bagian badan akibat geseran pada badan penampang, V_{cw}

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

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

$$f_{pc} = \frac{f_{eff}}{A_c}$$

Keterangan:

V_{cw} = Kuat geser pada bagian badan

f_c' = Mutu beton prategang = 60 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

b_w = Lebar badan

V_p = Tekanan tendon keatas

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

2. Retak miring akibat lentur, V_{ci}

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} x b_w x d \right) + V_d + \left(\frac{V_i x M_{cr}}{M_{max}} \right) \geq \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{7} x b_w x d \right)$$

Keterangan :

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 SNI T-12-2004 Pasal 6.8.10.1 adalah :

$$V_n = V_c + V_s$$

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.

3. Untuk tulangan geser tegak lurus berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 6.8.10.3 :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{S}$$

4. Beberapa ketentuan untuk tulangan geser :

- Tulangan geser dipasang minimum berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 6.8.10.6 :

$$\text{syarat} = \frac{1}{2} V_c < \frac{V_u}{\phi} < V_c$$

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w \times S}{3 \times f_y}$$

- Kemampuan tulangan geser maksimum berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 6.8.10.3 :

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

- Jarak tulangan :

$$V_s \leq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} x b_w x d \quad \text{maka} \quad S \leq \frac{1}{2} d \text{ atau } 600 \text{ mm}$$

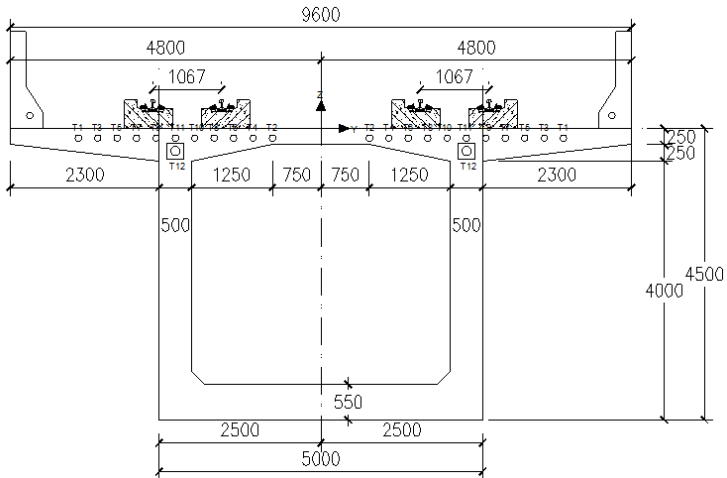
$$V_s \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} x b_w x d \quad \text{maka} \quad S \leq \frac{1}{4} d \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

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

Perhitungan tulangan geser

Berikut merupakan contoh perhitungan tulangan geser pada penampang S25 seperti pada Gambar 4. dan Gambar 4..

- Kuat tekan beton, F_c' = 60 MPa
- Kuat leleh baja, F_y = 420 MPa
- Gaya prategang tendon atas, F_{atas} = 45284391 N
- Gaya prategang tendon bawah, F_{bawah} = 20089549 N
- Gaya prategang total, F_{total} = 65373940 N
- Lebar badan, b_w = 1000 mm
- Tinggi segmen, h = 3700 mm
- Tinggi efektif, d = 3649 mm
- Eksentrisitas tendon atas, e_1 = 1490 mm
- Eksentrisitas tendon bawah, e_2 = 1810 mm
- Jarak titik berat terhadap serat terluar, y_a = 1645 mm
- Jarak titik berat terhadap serat terluar, y_b = 2055 mm
- Luas penampang, A_g = $8,78 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$
- Inersia = $15,42 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$



Gambar 4. 45 Gambar penampang melintang S20

1. Retak geser pada bagian badan akibat geseran, V_{cw}

$$f_{pc} = \frac{f_{eff}}{A_c} = \frac{45284391 + 20089549}{8,78 \cdot 10^6} = 7,45 \text{ MPa}$$

Karena tendon pada S25 hanya lurus (tidak ada lengkungan) maka nilai V_p adalah 0 atau tidak berkontribusi menahan geser.

$$V_{cw} = 0,3 (\sqrt{f_c'} + f_{pc}) \times b_w \times d + V_p$$

$$V_{cw} = 0,3 (\sqrt{60} + f_{pc}) \times 1000 \times 3649 + 0$$

$$V_{cw} = 16633 \text{ KN}$$

2. Retak geser pada bagian badan akibat lentur, V_{ci}

$$f_{pe} = \frac{F_{tot}}{A_g} + \frac{F \cdot e \cdot y}{I}$$

$$f_{pe} = \frac{65 \cdot 10^6}{8,78 \times 10^6} + \frac{45 \cdot 10^6 \times 1490 \times 1645}{15,42 \times 10^{12}} + \frac{45 \cdot 10^6 \times 1810 \times 2055}{15,42 \times 10^{12}}$$

$$f_{pe} = 19,50 \text{ MPa}$$

Momen akibat beban mati (faktor pembebanan = 1)

$$M_d = -7714 \text{ KNm}$$

$$f_d = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{7714 \times 10^3 \times 1645}{15,42 \times 10^{12}} = 0,82 \text{ MPa}$$

$$V_d = 5743 \text{ KN}$$

Momen beban luar tanpa faktor

$$M_{\text{maks}} = 24768 \text{ KNm}$$

$$V_i = 705 \text{ KN}$$

$$M_{cr} = \frac{I}{y_t} \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + f_{pe} - f_d \right)$$

$$M_{cr} = \frac{15,42 \times 10^{12}}{1645} \left(\frac{\sqrt{60}}{2} + 19,5 - 0,82 \right)$$

$$M_{cr} = 176274 \text{ KNm}$$

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} \times b_w \times d \right) + V_d + \left(\frac{V_l \times M_{cr}}{M_{\text{maks}}} \right)$$

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{60 \times 1000}}{20} \times 1 \times 3,649 \right) + 5743 + \left(\frac{705 \times 176274}{24768} \right)$$

$$V_{ci} = 8378 \text{ KN}$$

$$V_{ci} < \frac{\sqrt{f_c'}}{7} \times b_w \times d = 4038 \text{ KN}$$

Oleh karena nilai $V_{ci} < V_{cw}$ maka diambil V_{ci} sebagai dasar perhitungan tulangan geser.

$$V_u = 7033 \text{ KN}$$

$$V_n = 7033/0.7 = 10046,5 \text{ KN}$$

$$V_s = V_n - V_{ci} = 12253 - 10046,5 = 1688 \text{ KN}$$

$$V_s \leq \frac{\sqrt{f_c'}}{3} \times b_w \times d$$

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{380,28 \times 400 \times 3649}{1688} = 333 \text{ mm}$$

Penulangan geser perlu mencari jarak terkecil dari hasil jarak yang ada pada setiap segmen box girder. Agar dalam mempermudah dalam pemasangan maka jarak tulangan geser setiap segmen dibuat sama. Untuk perhitungan tulangan geser pada segmen yang lainnya dapat dilihat pada tabel 3 dilampiran.

4.7.3 Penulangan blok ujung (*bursting steel*)

Blok ujung adalah bagian dari komponen struktur prategang yang mengelilingi angkur tendon. Pada seluruh panjang blok ujung, gaya pategang dialihkan dari luas yang dialihkan dari luas yang kurang lebih terpusat dan didistribusikan melalui seluruh penampang beton. Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya stressing nya yang telah dihitung. Pada daerah pengankuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar lokasi pengankuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan stressing. Untuk penampang dengan dua buah beban terdistribusi tegangan tarik yang terjadi sekitar blok ujung adalah 0,18f (Wiley, et al., 1960) . Berikut perhitungan tulangan blok ujung.

Data perencanaan

- Tendon unit = 6-19-19
- *Min breaking load* (Fpu) = 4953 KN
- *Steel duct Internal diameter* = 100 mm
- Panjang daerah tarik, s = 125 mm
- Kuat tekan beton izin, fci = 42 MPa
- Kuat leleh baja izin, fy = 420 MPa
- Lebar blok ujung, b = 550 mm
- Tinggi blok ujung, h = 500 mm

Gambar blok ujung

Untuk struktur jembatan tegangan tarik pada beton tidak boleh melampaui :

$$\begin{aligned}\sigma_{tarik} &= 0.25 \times \sqrt{f_{ci}} \\ &= 0.25 \times \sqrt{42} = 1.62 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Untuk tendon unit 6-19-19 ditentukan :

$$\begin{aligned}F_0 &= 0,85 \times F_{pu} \\ &= 0,85 \times 4953 = 4210 \text{ KN}\end{aligned}$$

Tegangan tarik yang terjadi :

$$0,18 f = 0,18 \frac{F}{A} = 0,18 \times \frac{4210 \cdot 10^3}{550 \times 500} = 3,03 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik yang dipikul tulangan adalah :

$$3,03 \text{ MPa} - 1,62 \text{ MPa} = 1,41 \text{ MPa}$$

Gaya tarik total yang harus ditahan tulangan adalah :

$$1,41 \text{ MPa} \times 125 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} = 88200 \text{ N}$$

Untuk tegangan izin baja 420 MPa, luas baja yang dibutuhkan :

$$A_s = \frac{88200 \text{ N}}{420 \text{ MPa}} = 210 \text{ mm}^2$$

$$d = 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 22 \text{ mm} - 0,5 \times 22 \text{ mm} = 405 \text{ mm}$$

$$s = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 22^2 \times 420 \times 405}{88200} = 733,11 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan tulangan D22 berjarak – 150 mm akan melebihi kebutuhan tulangan yang diperlukan, sehingga beton tetap aman saat melakukan *jacking*.

4.8 Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur

4.8.1 Kontrol momen retak

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. Modulus keruntuhan merupakan ukuran permulaan retak-retak rambut yang seringkali tidak terlihat oleh mata telanjang. Tegangan tarik yang lebih besar dari modulus diperlukan untuk menghasilkan retak-retak yang terlihat. 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).

Dengan menggunakan analisa elastik beton prategang, perumusan tegangan saat jacking pada waktu layan (servis) untuk daerah tarik serat bawah adalah

$$\begin{aligned} M_{cr} &= (F_{eff} \times e) + \left(\frac{F_{eff} \times I}{A \times y_b} \right) + \left(\frac{f_r \times I}{y_b} \right) \\ &= \left[F_{eff} \left(e + \frac{I}{A \times y_b} \right) \right] + \left[\frac{f_r \times I}{y_b} \right] \\ &= [F_{eff}(e + K_t)] + [f_r \times W_b] \\ &= M_1 + M_2 \end{aligned}$$

Sedangkan pada saat pemasangan segmen kantilever, perumusan momen retak untuk daerah tarik serat atas adalah sebagaik berikut:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= (F_{eff} \times e) + \left(\frac{F_{eff} \times I}{A \times y_t} \right) + \left(\frac{f_r \times I}{y_t} \right) \\ &= \left[F_{eff} \left(e + \frac{I}{A \times y_t} \right) \right] + \left[\frac{f_r \times I}{y_t} \right] \\ &= [F_{eff}(e + K_b)] + [f_r \times W_t] \\ &= M_1 + M_2 \end{aligned}$$

Keterangan:

M_1 = momen akibat eksentrisitas gaya prategang

M_2 = momen tahanan dari beton sendiri

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

e = eksentrisitas

W_b = tahanan serat bawah

W_t = tahanan serat atas

f_r = modulus retak = $0,62\sqrt{f'_c}$

Balok memenuhi syarat retak jika momen yang bekerja padanya tidak melampaui momen retak tahanan balok. Perhitungan kontrol momen retak tahanan balok dilakukan pada

saat pelaksanaan dan pada saat bentang jembatan sudah tersusun keseluruhan yang dikontrol pada daerah tumpuan dan lapangan.

- a. Kontrol momen retak akibat tendon pelaksanaan (*balance cantilever*)

Sebagai contoh perhitungan, kontrol momen retak pada pelaksanaan dihitung saat pemasangan segmen S2 terhadap penampang penampang 18, 19, 20.

Kontrol box girder pada penampang 18

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= 16673 \text{ KN} \\
 M_{tot} &= 11209 \text{ KNm} \\
 e &= 2,07 \text{ m} \\
 W_a &= 16,41 \text{ m}^3 \\
 K_b &= 0,86 \text{ m} \\
 f_r &= 0,62\sqrt{f_{ci}} = 0,62\sqrt{42} = 4,02 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= [F_{eff}(e + K_b)] + [f_r \times W_a] \\
 M_{cr} &= [16673(2,07 + 0,86)] + [4,02 \times 16,41] \\
 &= 114808 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned}
 M_{tot} &< M_{cr \text{ J18}} \\
 11209 \text{ KNm} &< 114808 \text{ KNm (memenuhi syarat)}
 \end{aligned}$$

Kontrol box girder pada penampang 19

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= 16365 \text{ KN} \\
 M_{tot} &= 5190 \text{ KNm} \\
 e &= 2,04 \text{ m} \\
 W_a &= 13,04 \text{ m}^3 \\
 K_b &= 1,28 \text{ m} \\
 f_r &= 0,62\sqrt{f_{ci}} = 0,62\sqrt{42} = 4,02 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= [F_{eff}(e + K_b)] + [f_r \times W_a] \\
 M_{cr} &= [16365 (2,04 + 1,28)] + [4,02 \times 13,04] \\
 &= 106823 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned}
 M_{tot} &< M_{cr J19} \\
 5190 \text{ KNm} &< 106823 \text{ KNm (memenuhi syarat)}
 \end{aligned}$$

Kontrol box girder pada penampang 20

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= 16292 \text{ KN} \\
 M_{tot} &= 1092 \text{ KNm} \\
 e &= 1,91 \text{ m} \\
 W_a &= 12,22 \text{ m}^3 \\
 K_b &= 1,25 \text{ m} \\
 f_r &= 0,62\sqrt{f_{ci}} = 0,62\sqrt{42} = 4,02 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= [F_{eff}(e + K_b)] + [f_r \times W_a] \\
 M_{cr} &= [16292 (1,81 + 1,25)] + [4,02 \times 12,22] \\
 &= 100567 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned}
 M_{tot} &< M_{cr J20} \\
 1092 \text{ KNm} &< 100567 \text{ KNm (memenuhi syarat)}
 \end{aligned}$$

Kontrol box girder pada penampang 21

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= 8134 \text{ KN} \\
 M_{tot} &= 0 \text{ KNm} \\
 e &= 1,64 \text{ m} \\
 W_a &= 11,69 \text{ m}^3 \\
 K_b &= 1,21 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$f_r = 0,62\sqrt{f_{ci}} = 0,62\sqrt{42} = 4,02 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= [F_{eff}(e + K_b)] + [f_r \times W_a] \\ M_{cr} &= [8134 (1,81 + 1,25)] + [4,02 \times 12,22] \\ &= 70181 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned} M_{tot} &< M_{cr \text{ J21}} \\ 1092 \text{ KNm} &< 70181 \text{ KNm (memenuhi syarat)} \end{aligned}$$

Dalam menentukan gaya efektif untuk perhitungan momen crack saat pemasangan segmen, kehilangan prategang yang digunakan adalah kehilangan prategang langsung saja, karena waktu pemasangan segmen terhitung pendek jika dibandingkan dengan umur jembatan. Sehingga kehilangan prategang tidak menggunakan kehilangan akibat fungsi waktu. Untuk nilai dari momen total adalah momen negatif akibat dari pemasangan segmen. Perhitungan momen crack untuk segmen lainnya akan disajikan pada Tabel 4.36 sampai 4.37

Tabel 4. 36 Momen crack akibat pemasangan segmen S1

Joint	A (m2)	Wa (m3)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	8337	4979	90362	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	8182	779	79612	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.71	8146	0	73201	OK

Tabel 4. 37 Momen crack akibat pemasangan segmen S2

Joint	A (m2)	Wa (m3)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	16673	11209	114808	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	16365	5190	106823	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	16292	1092	100567	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.64	8134	0	70181	OK

Tabel 4. 38 Momen crack akibat pemasangan segmen S3

Joint	A (m ²)	Wa (m ³)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	25010	19815	139253	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	24547	12005	134034	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	24438	6116	126303	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	16267	1075	96636	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.57	8123	0	67178	OK

Tabel 4. 39 Momen crack akibat pemasangan segmen S4

Joint	A (m ²)	Wa (m ³)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	33347	30313	163699	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	32730	20763	161245	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	32584	13134	152040	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	24401	6006	121464	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	16245	1044	92724	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.43	8115	0	62642	OK

Tabel 4. 40 Momen crack akibat pemasangan segmen S5

Joint	A (m ²)	Wa (m ³)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	41683	42578	188144	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	40912	31341	188456	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	40730	22024	177777	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	32535	12870	146293	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	24368	5882	116645	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	16231	1013	86814	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.36	8107	0	59719	OK

Tabel 4. 41 Momen crack akibat pemasangan segmen S6

Joint	A (m2)	Wa (m3)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	50020	56661	212590	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	49095	43764	215668	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	48876	32787	203514	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	40668	21641	171121	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	32491	12662	140567	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	24346	5801	109364	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.56	16214	996	82994	OK
25	8.78	9.38	1.07	1.29	8101	0	56809	OK

Tabel 4. 42 Momen crack akibat pemasangan segmen S7

Joint	A (m2)	Wa (m3)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	58357	77332	237035	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	57277	62290	242879	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	57022	49168	229251	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	48802	35450	195949	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	40614	23897	164488	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	32462	14463	131913	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.56	24321	7085	104648	OK
25	8.78	9.38	1.07	1.49	16201	1716	79188	OK
26	8.38	8.62	1.03	1.17	8083	0	52397	OK

Tabel 4. 43 Momen crack akibat pemasangan segmen S8

Joint	A (m2)	Wa (m3)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	66693	100993	261480	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	65460	83907	270090	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	65168	68741	254987	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	56936	52569	220777	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	48736	38563	188409	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	40577	26676	154462	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.56	32429	16844	126302	OK
25	8.78	9.38	1.07	1.49	24302	9022	99947	OK
26	8.38	8.62	1.03	1.37	16165	1636	73377	OK
27	7.98	7.88	0.99	1.04	8068	0	48012	OK

Tabel 4. 44 Momen crack akibat pemasangan segmen S9

Joint	A (m ²)	Wa (m ³)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	75030	126726	285926	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	73642	107695	297301	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	73314	90585	280724	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	65069	72080	245606	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	56859	55740	212331	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	48692	41520	177011	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.56	40536	29355	147955	OK
25	8.78	9.38	1.07	1.49	32402	19200	120706	OK
26	8.38	8.62	1.03	1.37	24248	8702	92741	OK
27	7.98	7.88	0.99	1.24	16135	1556	67592	OK
28	7.58	7.14	0.94	0.91	8056	0	43646	OK

Tabel 4. 45 Momen crack akibat pemasangan segmen S10

Joint	A (m ²)	Wa (m ³)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	83367	154634	310371	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	81825	133728	324512	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	81460	114742	306461	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	73203	93986	270434	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	64982	75396	236252	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	56808	58925	199560	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.56	48643	44509	169609	OK
25	8.78	9.38	1.07	1.49	40503	32103	141465	OK
26	8.38	8.62	1.03	1.37	32330	18605	112105	OK
27	7.98	7.88	0.99	1.24	24203	8457	85558	OK
28	7.58	7.14	0.94	1.11	16112	1501	61817	OK
29	7.43	6.69	0.90	0.85	8048	0	40939	OK

Tabel 4. 46 Momen crack akibat pemasangan segmen S11

Joint	A (m ²)	Wa (m ³)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	91704	184594	334817	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	90007	161874	351723	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	89606	141075	332198	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	81337	118144	295262	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	73105	97378	260173	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	64923	78731	222109	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.56	56750	62140	191263	OK
25	8.78	9.38	1.07	1.49	48604	47558	162224	OK
26	8.38	8.62	1.03	1.37	40413	31158	131469	OK
27	7.98	7.88	0.99	1.24	32270	18110	103524	OK
28	7.58	7.14	0.94	1.11	24168	8252	78378	OK
29	7.43	6.69	0.90	1.05	16096	1451	58232	OK
30	7.08	6.12	0.86	0.75	8045	0	37530	OK

Tabel 4. 47 Momen crack akibat pemasangan segmen S12

Joint	A (m ²)	Wa (m ³)	kb (m)	e (m)	Feff (KN)	Mtot (KNm)	Mcr (KNm)	Cek
18	19.02	16.41	0.86	2.07	100040	216509	359262	OK
19	10.18	13.04	1.28	2.04	98189	192033	378934	OK
20	9.78	12.22	1.25	1.91	97752	169477	357935	OK
21	9.63	11.69	1.21	1.84	89470	144437	320090	OK
22	9.48	11.17	1.18	1.77	81227	121563	284095	OK
23	9.08	10.38	1.14	1.63	73038	100808	244658	OK
24	8.93	9.88	1.11	1.56	64857	82108	212917	OK
25	8.78	9.38	1.07	1.49	56704	65418	182983	OK
26	8.38	8.62	1.03	1.37	48496	46208	150833	OK
27	7.98	7.88	0.99	1.24	40338	30348	121490	OK
28	7.58	7.14	0.94	1.11	32224	17680	94938	OK
29	7.43	6.69	0.90	1.05	24144	8067	73916	OK
30	7.08	6.12	0.86	0.95	16091	1406	53708	OK
31	6.98	5.82	0.83	0.71	8063	0	35812	OK

b. Kontrol momen retak akibat tendon servis (tahap layan)

Sebagai contoh perhitungan, kontrol momen retak pada saat servis / layan dihitung pada segmen S12 terhadap penampang penampang 30.

Kontrol box girder pada penampang 30

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= 43606 \times 10^3 \text{ N} \\
 M_{max} &= 87794 \times 10^6 \text{ Nmm} \\
 e &= 1,55 \times 10^3 \text{ mm} \\
 W_b &= 3,94 \times 10^9 \text{ mm} \\
 K_a &= 0,56 \times 10^3 \text{ mm} \\
 f_r &= 0,62\sqrt{f_{ci}} = 0,62\sqrt{60} = 4,80 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= [F_{eff}(e + K_a)] + [f_r \times W_b] \\
 M_{cr} &= [43606 \cdot 10^6(1,55 + 0,56)] + [4,80 \times 3,94 \times 10^9] \\
 &= 100902 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned}
 M_{max} &< M_{cr \text{ tot}} \\
 87794 \text{ KNm} &< 100614 \text{ KNm (memenuhi syarat)}
 \end{aligned}$$

Gaya efektif yang digunakan merupakan gaya tendon yang dikurangi kehilangan prategang secara langsung maupun fungsi waktu. Untuk momen crack staging digunakan untuk melawan momen negatif Perhitungan momen crack saat beban penuh untuk segmen yang lainnya akan disajikan pada Tabel 4.48

Tabel 4. 48 Momen crack saat servis

Properties Box Girder							Momen Crack		Momen yang terjadi		Kontrol	
Joint	A (m2)	ya (m)	yb (m)	I (m4)	Wb (m3)	ka (m)	Mcr (KNm)	Mcr staging (KNm)	Mmax (KNm)	Mmin (KNm)	M _{max} _x	M _{min}
2	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	45188	-	0	0	OK	OK
3	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	45982	-	14862.9	5737.3	OK	OK
4	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	46566	35812	25630.5	8909.8	OK	OK
5	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	59352	53708	32953.2	9722.1	OK	OK
6	7.08	1.10	1.70	6.71	3.94	0.56	62248	73916	37345.5	7539	OK	OK
7	7.43	1.20	1.75	8.01	4.58	0.62	67694	94938	37050.4	1839.2	OK	OK
8	7.58	1.26	1.84	9.02	4.91	0.65	71018	121490	33560.4	-7497.4	OK	OK
9	7.98	1.39	1.91	10.95	5.73	0.72	77176	150833	25626.5	-20547	OK	OK
10	8.38	1.52	1.98	13.08	6.59	0.79	84765	182983	13286.1	-37460	OK	OK
11	8.78	1.64	2.06	15.42	7.50	0.85	75265	212917	-3294.8	-58398	OK	OK
12	8.93	1.71	2.14	16.94	7.93	0.89	58553	212917	-18348	-76839	OK	OK
13	9.08	1.78	2.22	18.53	8.37	0.92	40175	244658	-35598	-97668	OK	OK
14	9.48	1.92	2.28	21.41	9.37	0.99	45018	284095	-55084	-120910	OK	OK
15	9.63	1.99	2.36	23.24	9.84	1.02	47264	320090	-76788	-146672	OK	OK
16	9.78	2.06	2.44	25.17	10.31	1.05	49531	357935	-100761	-175176	OK	OK
17	10.18	2.19	2.51	28.61	11.42	1.12	54840	378934	-122540	-202916	OK	OK
18	19.02	2.22	2.48	36.42	14.68	0.77	70511	359262	-139371	-231766	OK	OK
19	10.18	2.19	2.51	28.61	11.42	1.12	54840	378934	-117495	-196406	OK	OK
20	9.78	2.06	2.44	25.17	10.31	1.05	49531	357935	-96339	-163486	OK	OK
21	9.63	1.99	2.36	23.24	9.84	1.02	47264	320090	-73767	-127199	OK	OK
22	9.48	1.92	2.28	21.41	9.37	0.99	45018	284095	-52816	-95219	OK	OK
23	9.08	1.78	2.22	18.53	8.37	0.92	61177	244658	-32353	-66047	OK	OK
24	8.93	1.71	2.14	16.94	7.93	0.89	78406	212917	-12863	-40876	OK	OK
25	8.78	1.64	2.06	15.42	7.50	0.85	91471	182983	6325.53	-18907	OK	OK
26	8.38	1.52	1.98	13.08	6.59	0.79	100019	150833	29802.6	4673.5	OK	OK
27	7.98	1.39	1.91	10.95	5.73	0.72	107193	121490	49286.3	22958	OK	OK
28	7.58	1.26	1.84	9.02	4.91	0.65	111642	94938	66954.3	37375	OK	OK
29	7.43	1.20	1.75	8.01	4.58	0.62	117820	73916	79779.2	48068	OK	OK
30	7.08	1.10	1.70	6.71	3.94	0.56	110902	53708	87794	55126	OK	OK
31	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	107961	35812	91111.8	58659	OK	OK
32	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	107961	35812	91047.6	58661	OK	OK
33	7.08	1.10	1.70	6.71	3.94	0.56	110902	53708	87521.3	55128	OK	OK
34	7.43	1.20	1.75	8.01	4.58	0.62	117820	73916	79322.5	48070	OK	OK
35	7.58	1.26	1.84	9.02	4.91	0.65	111642	94938	66287.9	37378	OK	OK
36	7.98	1.39	1.91	10.95	5.73	0.72	107193	121490	49036.8	22961	OK	OK
37	8.38	1.52	1.98	13.08	6.59	0.79	100019	150833	30165.2	4567.7	OK	OK

Properties Box Girder							Momen Crack		Momen yang terjadi		Kontrol	
Joint	A (m2)	ya (m)	y _b (m)	I (m4)	W _b (m3)	ka (m)	M _{cr} (KNm)	M _{cr} staging (KNm)	M _{max} (KNm)	M _{min} (KNm)	M _{ma_x}	M _{min}
38	8.78	1.64	2.06	15.42	7.50	0.85	91471	182983	6961.89	-19183	OK	OK
39	8.93	1.71	2.14	16.94	7.93	0.89	78406	212917	-12751	-41269	OK	OK
40	9.08	1.78	2.22	18.53	8.37	0.92	61177	212917	-34113	-66551	OK	OK
41	9.48	1.92	2.28	21.41	9.37	0.99	45018	244658	-56684	-95862	OK	OK
42	9.63	1.99	2.36	23.24	9.84	1.02	47264	284095	-80054	-127948	OK	OK
43	9.78	2.06	2.44	25.17	10.31	1.05	49531	320090	-104577	-164343	OK	OK
44	10.18	2.19	2.51	28.61	11.42	1.12	54840	357935	-126042	-197385	OK	OK
45	19.02	2.22	2.48	36.42	14.68	0.77	70511	378934	-149324	-232812	OK	OK
46	10.18	2.19	2.51	28.61	11.42	1.12	54840	359262	-125379	-201641	OK	OK
47	9.78	2.06	2.44	25.17	10.31	1.05	49531	378934	-103494	-173893	OK	OK
48	9.63	1.99	2.36	23.24	9.84	1.02	47264	357935	-79127	-145448	OK	OK
49	9.48	1.92	2.28	21.41	9.37	0.99	45018	320090	-57008	-119747	OK	OK
50	9.08	1.78	2.22	18.53	8.37	0.92	40175	284095	-37209	-96534	OK	OK
51	8.93	1.71	2.14	16.94	7.93	0.89	58553	244658	-19579	-75773	OK	OK
52	8.78	1.64	2.06	15.42	7.50	0.85	75265	212917	-4224.8	-57403	OK	OK
53	8.38	1.52	1.98	13.08	6.59	0.79	84765	182983	12499.8	-36549	OK	OK
54	7.98	1.39	1.91	10.95	5.73	0.72	77176	150833	24865.7	-19727	OK	OK
55	7.58	1.26	1.84	9.02	4.91	0.65	71018	121490	32797.5	-6776.2	OK	OK
56	7.43	1.20	1.75	8.01	4.58	0.62	67694	94938	37033.2	2438.5	OK	OK
57	7.08	1.10	1.70	6.71	3.94	0.56	62248	73916	37327	8020.9	OK	OK
58	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	59352	53708	32978.8	10071	OK	OK
59	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	46566	35812	25668.9	9143.7	OK	OK
60	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	45982	-	14883.4	5856	OK	OK
61	6.98	1.06	1.64	6.14	3.74	0.54	45188	-	0	0	OK	OK

4.8.2 Kontrol momen batas

Kontrol momen nominal dilakukan untuk mengecek secara keseluruhan apakah tendon baja pratekan yang telah dipasang dengan tulangan lunak baja telah memenuhi kontrol momen. Momen tahanan batas pada box yang akan dianalisa dengan prinsip kesetimbangan statis aksial (kopel), dimana besarnya gaya tekan batas beton (C) bernilai sama dengan gaya tarik batas pada (T), dengan menghitung lengan momen antara gaya C dan T

maka akan didapatkan nilai momen batas, (M_n). Berikut adalah perhitungan momen batas pada segmen S12 penampang 30.

Terdapat 4 tendon atas tipe 6-19-19 dan 14 tendon bawah tipe 6-19-19 dan tulangan menggunakan $f_y = 420$ MPa.

Mutu beton, f_c'	= 60 MPa
Modulus Elastisitas, E_{ps}	= 195000 MPa
Kuat tarik strand, f_{pu}	= 1860 MPa
Kuat leleh strand, f_{py}	= 1676 MPa
Luas tendon, A_p	= 2660 mm ² (tipe 6-19-19)
Tulangan leleh, f_y	= 420 MPa
Selimit, s	= 40 mm
Tulangan sisi bawah, d	= 19 mm

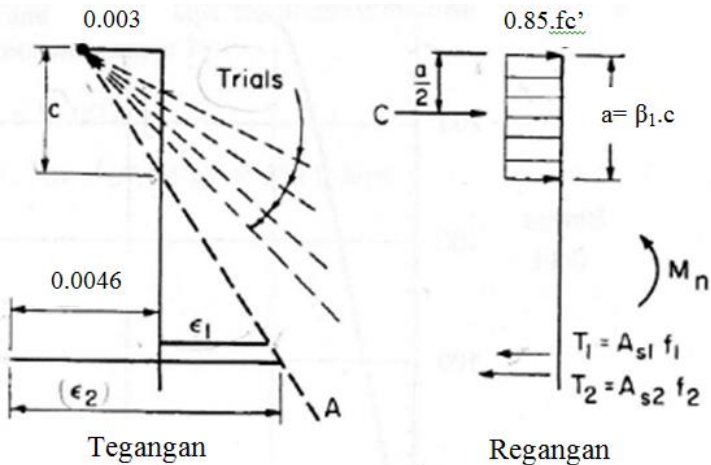
- Menghitung tegangan efektif pada baja prestress.

$$\epsilon_s = (0,74f_{pu} - \text{kehilangan prategang}) / E_{ps}$$

$$\epsilon_s = (0,74 \cdot 1860 - 26,02\% \cdot 1860) / 195000$$

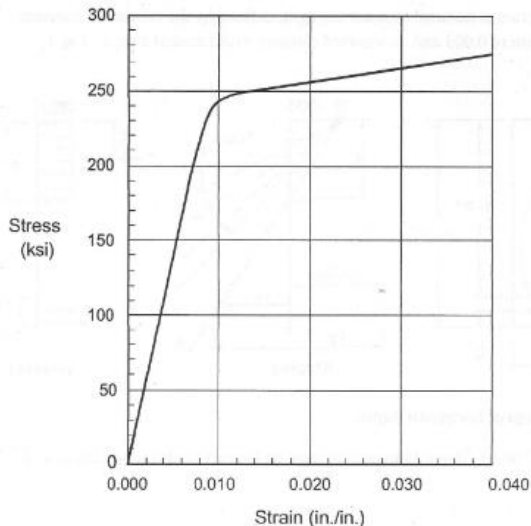
$$\epsilon_s = 0,0046$$

- Gambar diagram regangan untuk kekuatan momen nominal yang ditentukan berdasarkan regangan maksimum tekan untuk beton $\epsilon_c = 0,003$ dan diasumsikan jarak terhadap garis netral adalah, c . Untuk $f_c' = 60$ MPa, $\beta_1 = 0,65$



Gambar 4. 46 Skema tegangan regangan kekuatan momen nominal

- Menentukan kesetimbangan aksial untuk gaya tekan dan tarik
 $C = T_1 + T_2$
 Untuk menentukan T_1 dan T_2 , ϵ_1 dan ϵ_2 digunakan hubungan tegangan-regangan untuk strand dan baja tulangan berdasarkan tegangan f_1 dan f_2 . Kesetimbangan diperoleh dengan cara sebagai berikut :
 - a. Mengasumsikan nilai c (lokasi dari garis netral)
 Diasumsikan nilai $c = 599,35$ mm
 - b. Menghitung ϵ_1 dan ϵ_2 dengan persamaan garis lurus
 $d_1 = e + ya = 1550 + 1100 = 2650$ mm
 $d_2 = 2800 - 40 - 19/2 = 2750,5$ mm
 $\epsilon_c = 0,003$ $c = 599,35$ mm
 $\epsilon_1 = \frac{2650 - 599,35}{599,35} \times 0,003 = 0,011$
 $\epsilon_2 = \frac{2750 - 599,35}{599,35} \times 0,003 + 0,0046 = 0,017$
 - c. Mendapatkan nilai f_1, f_2 dari ϵ_1, ϵ_2 berdasarkan grafik tegangan-regangan untuk baja prestress.



Gambar 4. 47 Grafik tegangan-regangan untuk strand grade 270 *low-relaxation strand*

$$f_p = E_p \cdot \varepsilon_p \cdot \left\{ 0.0332 + \frac{1-0.0332}{[1+(114 \cdot \varepsilon_p)^{12}]^{1/12}} \right\} \text{ (sumber ACI note)}$$

$$E_p = 195000 \text{ MPa} = 28282,36 \text{ Ksi}$$

$$f_{p1} = 28282,36 \times 0,011 \times \left\{ 0.0332 + \frac{1 - 0.0332}{[1 + (114 \times 0,011)^{12}]^{1/12}} \right\}$$

$$f_{p1} = 1740 \text{ MPa}$$

$$f_{p2} = 28282,36 \times 0,017 \times \left\{ 0.0332 + \frac{1 - 0.0332}{[1 + (114 \times 0,017)^{12}]^{1/12}} \right\}$$

$$f_{p2} = 1775 \text{ MPa}$$

d. Menghitung nilai $a = \beta_1 \cdot c$

$$a = 0,65 \cdot 599,35$$

$$a = 294,41 \text{ mm}$$

e. Menghitung $C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$

$$C = 0,85 \cdot 60 \cdot 294,41 \cdot 5000$$

$$C = 75074712 \text{ N}$$

f. Menentukan T_1 dan T_2

Pada penampang 30 terdapat 14 tendon bawah tipe 6-19-19 dengan $A_p = 2660 \text{ mm}^2$, sehingga

$$T_1 = A_{s1} \times f_{p1} = 2660 \cdot 14 \cdot 1740$$

$$T_1 = 64805694 \text{ N}$$

Untuk tulangan non prategang diperoleh $\rho_{\text{perlu}} = 0,0046$ sehingga

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0046 \cdot 5000 \cdot 251 \text{ (didapat dari perhitungan tulangan)}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 5786,42 \text{ mm}^2$$

Sehingga T_2 adalah,

$$T_2 = A_{s2} \times f_{p2} = 5786,42 \cdot 1775$$

$$T_2 = 10269018 \text{ N}$$

g. Cek keseimbangan $C = T_1 + T_2$. Jika tidak memenuhi maka perlu merubah nilai c .

$$C = T_1 + T_2$$

$$75074712 = 64805694 + 10269018$$

$$75074712 = 75074712 \quad (\text{OK})$$

- Menghitung kekuatan momen nominal

$$M_n = [((d_2 - a/2) \times C) - ((d_2 - d_1) \times T_1)]$$

dimana :

d_2 = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik non prategang

d_1 = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tendon prategang

$$M_n = [((2750,5 - 294,41/2) \times 75074712) - ((2750,5 - 2650) \times 64805694)]$$

$$M_n = 188928625900 \text{ Nmm} = 188928 \text{ KNm}$$

Untuk perhitungan momen batas semua segmen dapat dilihat pada tabel 4.49

Tabel 4. 49 Perhitungan momen nominal

Joint	h (m)	e (m)	ya (m)	n atas	n bawah	Aps (mm ²)	Keh. Prateg	d1 (mm)	d2 (mm)	es	c (mm)	ε1	ε2	f1 (Mpa)	f2 (Mpa)	a (mm)	C (KN)	T1 (KN)	T2 (KN)	T1+T2 (KN)	Mn (KNm)
2	2.70	1.49	1.06	4	-	10640	20.31%	2550	2651	0.0051	200	0.03519	0.04182	1882	1925	122	31157	20021	11136	31157	78665.7
3	2.70	1.49	1.06	4	-	10640	17.98%	2550	2651	0.0053	200	0.03518	0.04203	1882	1926	122	31164	20020	11144	31164	78684.4
4	2.70	1.49	1.06	4	2	10640	16.28%	2550	2651	0.0055	200	0.03518	0.04219	1882	1927	122	31170	20020	11150	31170	78698
5	2.70	1.49	1.06	6	4	15960	19.25%	2550	2651	0.0052	257	0.02677	0.03316	1827	1869	157	39973	29161	10812	39973	99883.8
6	2.80	1.55	1.10	6	6	15960	18.67%	2650	2751	0.0053	258	0.02782	0.03427	1834	1876	157	40123	29269	10853	40123	104259
7	2.95	1.60	1.20	6	8	15960	18.38%	2800	2901	0.0053	259	0.02939	0.03586	1844	1886	158	40344	29431	10913	40344	110868
8	3.10	1.69	1.26	6	10	15960	19.59%	2950	3051	0.0052	261	0.03094	0.03729	1854	1895	159	40558	29592	10966	40558	117523
9	3.30	1.76	1.39	6	12	15960	20.69%	3150	3251	0.0051	263	0.03299	0.03922	1867	1908	160	40842	29803	11039	40842	126492
10	3.50	1.83	1.52	6	14	15960	19.77%	3350	3451	0.0052	264	0.03501	0.04132	1880	1921	161	41130	30012	11118	41130	135584
11	3.70	1.91	1.64	4	16	42560	15.57%	3550	3651	0.0056	549	0.01642	0.02254	1760	1800	335	85320	74906	10414	85320	289658
12	3.85	1.99	1.71	2	18	47880	15.42%	3700	3801	0.0056	606	0.01531	0.0214	1753	1792	370	94293	83922	10371	94293	332492
13	4.00	2.07	1.78	0	20	53200	16.63%	3850	3951	0.0055	664	0.0144	0.02033	1747	1785	405	103254	92923	10331	103254	377660
14	4.20	0.00	1.92	0	22	58520	16.11%	1916	4151	0.0055	576	0.00697	0.02412	1353	1810	352	89663	79190	10473	89663	179467
15	4.35	0.00	1.99	0	24	63840	17.42%	1988	4301	0.0054	609	0.00679	0.02358	1320	1806	371	94724	84271	10453	94724	194897
16	4.50	0.00	2.06	0	24	63840	18.78%	2060	4451	0.0053	621	0.00695	0.02377	1349	1808	379	96589	86129	10460	96589	205669
17	4.70	0.00	2.19	0	24	63840	19.32%	2194	4651	0.0052	643	0.00724	0.02393	1402	1809	392	99953	89487	10466	99953	225429
18	4.70	0.00	2.22	0	24	63840	18.10%	2220	4651	0.0053	647	0.0073	0.02391	1411	1809	394	100574	90109	10465	100574	228855
19	4.70	0.00	2.19	0	24	63840	19.17%	2194	4651	0.0052	643	0.00724	0.02394	1402	1809	392	99953	89486	10466	99953	225431
20	4.50	0.00	2.06	0	24	63840	18.45%	2060	4451	0.0053	621	0.00695	0.0238	1349	1808	379	96589	86128	10461	96589	205673
21	4.35	0.00	1.99	0	22	58520	16.87%	1988	4301	0.0054	588	0.00714	0.02439	1384	1812	359	91465	80981	10483	91465	189677
22	4.20	0.00	1.92	0	20	53200	15.31%	1916	4151	0.0056	554	0.00737	0.02505	1424	1816	338	86245	75737	10508	86245	174174
23	4.00	2.07	1.78	2	18	47880	16.49%	3850	3951	0.0055	608	0.016	0.02199	1757	1796	371	94533	84140	10393	94533	347475
24	3.85	1.99	1.71	4	16	42560	16.69%	3700	3801	0.0055	550	0.01718	0.0232	1765	1804	336	85556	75118	10439	85556	303255
25	3.70	1.91	1.64	6	14	15960	20.47%	3550	3651	0.0051	266	0.03701	0.04325	1893	1934	162	41408	30218	11190	41408	144761
26	3.50	1.83	1.52	8	12	21280	22.55%	3350	3451	0.0049	321	0.0283	0.03415	1837	1875	196	49941	39092	10849	49941	163502
27	3.30	1.76	1.39	10	10	26600	23.65%	3150	3251	0.0048	376	0.02216	0.02777	1797	1834	229	58417	47808	10610	58417	178390
28	3.10	1.69	1.26	12	8	31920	25.35%	2950	3051	0.0046	430	0.01759	0.02293	1768	1802	262	66852	56424	10429	66852	189499
29	2.95	1.60	1.20	14	6	37240	26.67%	2800	2901	0.0045	484	0.01434	0.01948	1746	1780	295	75331	65032	10299	75331	200836
30	2.80	1.55	1.10	14	4	37240	26.02%	2650	2751	0.0046	483	0.01347	0.01867	1740	1775	294	75075	64806	10269	75075	188929
31	2.70	1.49	1.06	14	2	37240	24.77%	2550	2651	0.0047	481	0.01289	0.01821	1736	1772	294	74896	64644	10252	74896	181016

- Kontrol syarat

$$M_{ult} < \phi M_n \quad (\text{dimana nilai } \phi = 0,9)$$

$$1,2 M_{crack} < \phi M_n$$

Didapatkan dari program bantu Midas Civil dan pada perhitungan momen crack pada penampang 30

$$M_{ult} = 156659 \text{ KNm}$$

$$M_{ult} < 0,9 \times 188928 \text{ KNm}$$

$$156659 \text{ KNm} < 170036 \text{ KNm} \quad (\text{OK})$$

$$M_{crack} = 110902 \text{ KNm}$$

$$1,2 \times 110902 \text{ KNm} < 0,9 \times 188928 \text{ KNm}$$

$$133082 \text{ KNm} < 170036 \text{ KNm} \quad (\text{OK})$$

Untuk hasil dari momen nominal pada segmen lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.50

Tabel 4. 50 Kontrol momen nominal, momen crack, dan ultimate

Joint	Mn (KNm)	Mcr (KNm)	Mult (KNm)	1,2 Mcr	ϕM_n	1,2 Mcr < ϕM_n	Mult < ϕM_n
2	78666	45188	0	54225	70799	OK	OK
3	78684	45982	26753	55179	70816	OK	OK
4	78698	46566	46135	55879	70828	OK	OK
5	99884	59352	59437	71223	89895	OK	OK
6	104259	62248	68374	74698	93833	OK	OK
7	110868	67694	69555	81233	99781	OK	OK
8	117523	71018	64558	85221	105771	OK	OK
9	126492	77176	51217	92611	113843	OK	OK
10	135584	84765	29389	101719	122026	OK	OK
11	289658	75265	-1592	90318	260692	OK	OK
12	332492	58553	-29772	70264	299243	OK	OK
13	377660	40175	-62366	48209	339894	OK	OK

Joint	Mn (KNm)	Mcr (KNm)	Mult (KNm)	1,2 Mcr	øMn	1,2 Mcr < øMn	Mult < øMn
14	179467	45018	-98778	54022	161521	OK	OK
15	194897	47264	-126674	56716	175407	OK	OK
16	205669	49531	-157438	59437	185102	OK	OK
17	225429	54840	-185447	65809	202886	OK	OK
18	228855	70511	-195946	84613	205969	OK	OK
19	225431	54840	-182438	65809	202888	OK	OK
20	205673	49531	-151419	59437	185105	OK	OK
21	189677	47264	-117044	56716	170709	OK	OK
22	174174	45018	-85724	54022	156757	OK	OK
23	347475	61177	-53788	73412	312728	OK	OK
24	303255	78406	-19815	94087	272929	OK	OK
25	144761	91471	11397	109766	130285	OK	OK
26	163502	100019	49936	120023	147152	OK	OK
27	178390	107193	87054	128632	160551	OK	OK
28	189499	111642	118898	133971	170549	OK	OK
29	200836	117820	142084	141384	180752	OK	OK
30	188929	110902	156569	133082	170036	OK	OK
31	181016	107961	162677	129554	162914	OK	OK
32	181016	107961	162656	129554	162914	OK	OK
33	188929	110902	156545	133082	170036	OK	OK
34	200836	117820	142089	141384	180752	OK	OK
35	189499	111642	118884	133971	170549	OK	OK
36	178390	107193	87059.3	128632	160551	OK	OK
37	163502	100019	49953	120023	147152	OK	OK
38	144761	91471	11409.1	109766	130285	OK	OK
39	303255	78406	-19812	94087	272929	OK	OK
40	347475	61177	-53784	73412	312728	OK	OK
41	174174	45018	-85724	54022	156757	OK	OK
42	189677	47264	-117044	56716	170709	OK	OK

Joint	Mn (KNm)	Mcr (KNm)	Mult (KNm)	1,2 Mcr	ϕ Mn	1,2 Mcr < ϕ Mn	Mult < ϕ Mn
43	205673	49531	-151419	59437	185105	OK	OK
44	225431	54840	-182438	65809	202888	OK	OK
45	228855	70511	-195946	84613	205969	OK	OK
46	225429	54840	-185447	65809	202886	OK	OK
47	205669	49531	-157438	59437	185102	OK	OK
48	194897	47264	-126674	56716	175407	OK	OK
49	179467	45018	-98797	54022	161521	OK	OK
50	377660	40175	-62564	48209	339894	OK	OK
51	332492	58553	-29805	70264	299243	OK	OK
52	289658	75265	-1592	90318	260692	OK	OK
53	135584	84765	29155.9	101719	122026	OK	OK
54	126492	77176	51240.3	92611	113843	OK	OK
55	117523	71018	64555.4	85221	105771	OK	OK
56	110868	67694	69623.7	81233	99781	OK	OK
57	104259	62248	68330.9	74698	93833	OK	OK
58	99884	59352	59496.3	71223	89895	OK	OK
59	78698	46566	46204.1	55879	70828	OK	OK
60	78684	45982	26790.1	55179	70816	OK	OK
61	78666	45188	0	54225	70799	OK	OK

4.8.3 Kontrol torsi

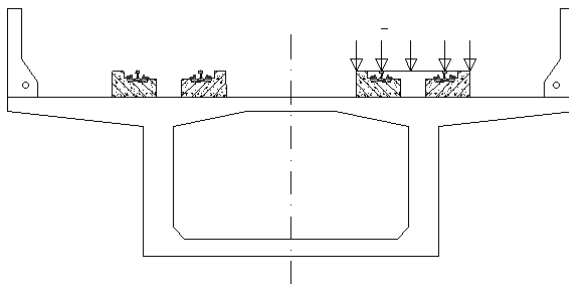
Karena kekuatan geser beton yang tinggi digabungkan dengan kekuatan tarik yang rendah, kehancuran balok beton akibat puntir jarang disebabkan oleh tegangan geser, melainkan lebih disebabkan oleh tegangan tarik utama yang diakibatkan oleh tegangan geser. Pada waktu tegangan tarik utama mencapai kekuatan tarik batas beton, retak mulai terjadi dan penampang dapat runtuh seketika tanpa banyak peringatan. Penambahan sengkang tertutup dan tulangan longitudinal dapat menambah

kekuatan dan daktilitas, tetapi bentuk retak akibat puntir secara drastis mempengaruhi respons balok terhadap setiap penambahan momen puntir.

Bertentangan dengan ragam kehancuran akibat puntir, balok beton prategang di bawah pengaruh lentur umumnya runtuh secara perlahan-lahan dan memiliki kekuatan cadangan serta daktilitas setelah retak-retak pertama terlihat. Hal ini menjadi jelas bila disadari bahwa kehancuran akibat lentur tergantung pada tegangan tarik dan regangan baja, bersamaan dengan tegangan tekan dan regangan beton. Sedangkan kekuatan puntir sebuah balok tanpa tulangan badan untuk puntir akan lenyap bila batas tarik beton dicapai dan tidak ada daktilitas beton akibat tegangan tarik.

Kontrol torsi digunakan untuk menganalisa kemampuan box girder saat menerima beban eksentrisitas. Berikut ini langkah-langkah perhitungannya :

1. Perhitungan momen penyebab torsi



Gambar 4. 48 Skema beban kereta yang menyebabkan torsi

Dari gambar 4. Maka dapat diketahui momen total yang dapat menyebabkan torsi, diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Beban akibat kereta

Box girder terbebani hanya pada satu lajur dengan berat satu gandar 12 ton dan total gandar untuk kereta 3 gerbong adalah 12

dan 6 gerbong adalah 24. Sehingga direncanakan untuk kondisi paling ekstrem yaitu kereta 6 gerbong dengan total berat

$$P = 12 \times 24 = 288 \text{ ton}$$

b. Momen akibat beban kejut

Beban kejut bekerja bersamaan dengan beban hidup kereta dengan arah ke bawah. Beban kejut dihitung pada bentang 90 m dan 54 m.

• Bentang 90 m

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + L}$$

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + 90} = 0,261 \longrightarrow 26,1\% \text{ beban hidup}$$

• Bentang 54 m

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + L}$$

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + 54} = 0,3163 \longrightarrow 31,63\% \text{ beban hidup}$$

Maka diambil nilai beban kejut = 31,63% beban hidup

c. Momen akibat beban lateral

Berdasarkan PM 60 Tahun 2012, beban lateral bekerja secara horizontal tegak lurus arah rel. dengan 20% dari beban gandar kereta.

$$\begin{aligned} P_{\text{lateral}} &= 20\% \times 12 \text{ ton} = 2,4 \text{ ton} \\ &= 2,4 \text{ ton} \times 12 \text{ gandar} \\ &= 28,8 \text{ ton} \end{aligned}$$

d. Momen akibat beban rem

Berdasarkan PM 60 Tahun 2012, beban longitudinal bekerja :

- Beban akibat pengereman, adalah sama dengan 15% dari beban hidup tanpa beban impact, dan bekerja 2,5 m dari atas rel

- Beban akibat cengkaman, adalah sama dengan 25% dari beban hidup tanpa beban impact, dan bekerja 0,9 m dari atas rel

$$\begin{aligned}
 P_{\text{longitudinal}} &= 15\% \times 12\text{ton} = 1,8 \text{ ton (bekerja 2,5m dari atas rel)} \\
 &= 1,8 \text{ ton} \times 12 \text{ gandar} \\
 &= 21,6 \text{ ton} \quad \text{atau}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{longitudinal}} &= 25\% \times 12 \text{ ton} = 3 \text{ ton (bekerja 0,9 m dari atas rel)} \\
 &= 3 \text{ ton} \times 12 \text{ gandar} \\
 &= 36 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

e. Momen akibat beban angin

Ada dua beban pengaruh akibat beban angin yang bekerja pada struktur jembatan yaitu beban angin yang bekerja pada kereta setinggi 3,6 m dan panjang 115,75 m (6 gerbong) diatas jembatan sebesar 1,5 KN/m². Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P.W_L &= W_L \times \text{panjang kereta} \\
 &= 1,5 \times 3,6 \times 115,75 = 624,89 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M.W_L &= P.W_L \times (\text{tinggi kereta} + y_a) \\
 &= 624,89 \times (3,6 + 1,1) \\
 &= 2936 \text{ KN.m}
 \end{aligned}$$

- Beban angin yang bekerja pada sisi samping box girder sebesar W_s 3 KN/m² Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P.W_s &= W_s \times \text{luas box} \\
 &= 3 \times 4,7 \times 3 = 42,3 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M.W_s &= P.W_s \times y_a \\
 &= 42,3 \times 1,1 \\
 &= 46,53 \text{ KN.m}
 \end{aligned}$$

Jadi, M_{total} yang dapat menimbulkan torsi :

$$\begin{aligned}
 T_u &= (1,8(M_{\text{LRT}} + M_{\text{Kejut}})) + 1,3(M.T_{\text{ew}} + M.T_{\text{ew-2}}) \\
 &= (1,8(6619,23 + 1089,98)) + 1,3(7 + 41,75) \\
 &= 13939,953 \text{ KN.m} = 13939953000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan torsi ijin

a. Perhitungan konstanta torsi

Perhitungan menggunakan segmen 30.

Pelat atas

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{x_1}{y_1} \right) \right]}$$

dimana, x_1 = tebal pelat atas = 250 mm

y_1 = lebar pelat atas = 5000 mm

maka, η_1 = 0,437

Pelat badan

dimana, x_1 = tebal badan = 500 mm

y_1 = lebar badan = 2700 mm

maka, η_1 = 0,374

Pelat bawah

dimana, x_1 = tebal pelat bawah = 300 mm

y_1 = lebar pelat bawah = 5000 mm

maka, η_1 = 0,432

Konstanta torsi :

$$\begin{aligned} \Sigma \eta_1 \cdot x_1^2 \cdot y_1 &= (0,437 \times 250^2 \times 5000) = 136560000 \\ &= (0,374 \times 500^2 \times 2700) = 252450000 \\ &= (0,432 \times 300^2 \times 5000) = \underline{194400000} \\ &= 583410000 \end{aligned}$$

$$T_{cr} = 6\sqrt{f_c'} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \times \left(\frac{F}{A}\right)}{f_c'}} \times \Sigma \eta_1 \cdot x_1 \cdot y_1$$

$$\begin{aligned}
 &= 6\sqrt{60} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \times \left(\frac{144236448}{7,08 \times 10^6} \right)}{60}} \times 583410000 \\
 &= 6,8579 \times 10^{10} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

b. Torsi ijin

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 5.4.5 tulangan puntir tidak diperlukan apabila :

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

$$\phi T_{cr} = 0,7 \times 6,8579 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$\phi T_{cr} = 9,797 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$\frac{13939953000}{97970000000} < 0,25$$

$$0,142 < 0,25 \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa tidak diperlukan adanya tulangan torsi.

4.8.4 Kontrol lendutan

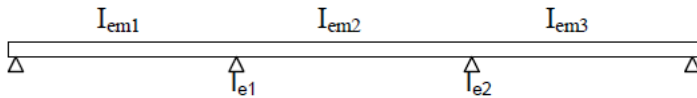
Lendutan pada saat beban penuh adalah lendutan jangka panjang akibat kombinasi beban ijin baik beban prategang, beban mati maupun beban hidup. Lendutan tersebut tidak boleh melampaui lendutan yang di ijinakan. Berdasarkan RSNI T-12-2004 lendutan tidak boleh melampaui $L/800$. Persamaan lendutan untuk kantilever adalah sebagai berikut (McCormac, 2003).

Untuk beban merata sepanjang bentang

$$\Delta = \frac{M L^2}{192 E I}$$

Berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 9.2.2, Untuk bentang tengah pada balok menerus dua ujung seperti gambar 4.25, diambil dari

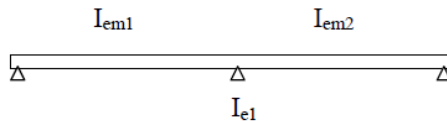
70% harga di tengah bentang ditambah 15% dari harga masing masing perletakan menerus.



Gambar 4. 49 Bentang tengah pada balok menerus dua ujung

$$I_e = 0,71 I_{em2} + 0,15 (I_{e1} + I_{e2})$$

Untuk bentang tepi pada balok menerus salah satu ujungnya seperti gambar 4.26, diambil 85% dari harga di tengah bentang ditambah 15% harga untuk perletakan menerus.



Gambar 4. 50 Bentang tepi pada balok menerus

$$I_e = 0,85 I_{em1} + 0,15 I_{e1}$$

Lendutan pada tengah bentang

$$E_c = 36406 \text{ MPa}$$

$$L = 90 \text{ m}$$

$$M_{maks} = 162677 \text{ KNm}$$

$$I_{em2} = 6,14 \text{ m}^4$$

$$I_{e1,2} = 36,42 \text{ m}^4$$

$$I_e = 0,71 I_{em2} + 0,15 (I_{e1} + I_{e2})$$

$$I_e = 0,71 \cdot 6,41 + 0,15 (36,42 + 36,42)$$

$$I_e = 15,477 \text{ m}^4$$

Lendutan kebawah akibat beban penuh

$$\Delta_1 = \frac{M L^2}{192 E I} = \frac{162677 \cdot 90^2}{192 \times 36406 \times 10^3 \times 15,477} = 12,18 \text{ mm}$$

Lendutan keatas akibat tendon prategang

Pada tumpuan

Gaya prategang efektif, $F = 84560 \text{ KN}$

Eksentrisitas tendon di tumpuan, $e = 2,07 \text{ m}$

Pada tengah bentang

Gaya prategang efektif, $F = 44341 \text{ KN}$

Eksentrisitas tendon di tengah bentang, $e = 1,49 \text{ m}$

$$\Delta_2 = \frac{5 \times F \times e \times L^2}{48 \times E \times I} - \frac{M L^2}{8 E I}$$

$$\Delta_2 = \frac{5 \times 84560 \times 2,07 \times 90^2}{48 \times 36406 \times 10^3 \times 15,477} - \frac{44341 \times 1,49 \times 90^2}{8 \times 36406 \times 10^3 \times 15,477}$$

$$\Delta_2 = 5,53 \text{ mm}$$

Lendutan total :

$$\Delta_1 - \Delta_2 = 12,18 \text{ mm} - 5,53 \text{ mm} = 6,65 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\Delta_{ijin} = L/800 = 90000/800 = 112,5 \text{ mm}$$

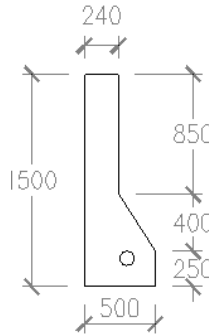
Maka $\Delta < \Delta_{ijin}$ (memenuhi)

4.9 Perencanaan Struktur Sekunder

4.9.1 Pembebanan parapet

Struktur sekunder merupakakan 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 seseorang dalam melakukan

maintenance. Meskipun jembatan ini digunakan sebagai *Light Rail Transit* (LRT) parapet juga diperlukan agar saat melakukan perbaikan rel tidak ada barang atau alat yang terjatuh dari jembatan, selain itu dilihat dari letak jembatan yang cukup tinggi dari permukaan tanah maka perlu adanya penahan dan pengaman pada sisi jembatan.



Gambar 4. 51 Desain Parapet

Pagar jembatan akan di rencanakan dengan ketinggian 1500 mm. Beban yang bekerja pada pagar diasumsikan terdapat beban pekerja sebesar $P = 10 \text{ KN}$, selain itu pagar jembatan juga menerima beban angin sebesar 3 KN/m^2 berdasarkan PM 60 tahun 2012. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Beban angin (qw)} &= 3 \text{ KN/m}^2 \times 1,5 \times 1 \text{ m} \\ &= 4,5 \text{ KN} \end{aligned}$$

Faktor beban akibat beban angin = 1,4, maka nilai qw menjadi
 $qw = 4,5 \times 1,4 = 6,3 \text{ KN}$

Momen ultimate (M_u) yang dipikul oleh parapet jembatan sebesar :

$$\begin{aligned} M_u &= 0,5 \times qw \times t \text{ parapet} + P \times t \text{ parapet} \\ &= 0,5 \times 6,3 \text{ KN} \times 1,5 \text{ m} + 10 \text{ KN} \times 1,5 \text{ m} \\ &= 19,725 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{19,725}{0,8} = 24,66 \text{ KNm}$$

4.9.2 Penulangan parapet

Direncanakan parapet dengan dimensi :

Tebal (t)	= 250 mm
Lebar (b)	= 1000 mm
Tinggi (h)	= 1500 mm
Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Selimut	= 40 mm

Direncanakan menggunakan tulangan utama D = 16 mm

Direncanakan menggunakan sengkang D = 10 mm

$$M_n = 99,22 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$d = 250 - 40 - \left(\frac{1}{2} D\right)$$

$$= 250 - 40 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right) = 202 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{99,22 \times 10^6}{1000 \times 202^2} = 2,43 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,032$$

$$P_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,032 = 0,024$$

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

$$= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,43}{400}} \right) = 0,0064$$

Karena $P_{\min} < P_{\text{perlu}} < P_{\max}$, maka di pakai P_{perlu} :

$$A_s \text{ perlu} = P_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,0064 \times 1000 \times 202$$

$$= 1292,89 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tulangan}} = 201,06 \text{ mm}^2 \text{ (D16)}$$

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{A_{\text{Spertu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{1292,89}{201,06} = 6,43 \approx 7 \text{ tulangan}$$

$$\text{Jarak tulangan yang dibutuhkan } s = \frac{201,06 \times 1000}{1292,89} = 155,51 \text{ mm}$$

Jadi, dibutuhkan tulangan 7D16 - 150 mm ($A_s = 1292,89 \text{ mm}^2$).

Penulangan Geser

$$V_u = q_w + P$$

$$= 6,3 + 10 = 16,3 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} bd$$

$$\phi V_c = 0,7 \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 202$$

$$= 129080 \text{ N} = 129,08 \text{ KN}$$

$$V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$$

$$16,3 \text{ KN} \leq 0,5 \cdot 129,08 \text{ KN}$$

$$16,3 \text{ KN} \leq 64,54 \text{ KN}$$

Oleh karenanya diperlukan tulangan minimum

Tulangan sengkang = 0,2 x A_s Tulangan Utama

$$= 0,2 \times 1292,89$$

$$= 258,58 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tulangan}} = 50,27 \text{ mm}^2 \quad (\text{D8})$$

$$\text{Jarak tulangan yang dibutuhkan } s = \frac{50,27 \times 1500}{258,58} = 281,58 \text{ mm}$$

Jadi, dipakai tulangan D8 - 250 mm

4.10 Perencanaan Perletakan

Perletakan yang digunakan merupakan jenis POT *Bearing*. Perletakan ini didesain untuk mampu menahan beban horizontal dan vertikal akibat beban yang bekerja pada jembatan. Pembebanan arah vertikal dan horizontal menggunakan

kombinasi envelope dari beban ultimate AREMA. Tetapi pada arah horizontal terdapat pengaruh gempa dari arah sumbu-x (memanjang) maupun arah sumbu-y (melintang). Gaya horizontal yang terjadi akibat beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 2833-2008 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan.

4.10.1 Pembebanan horizontal akibat gempa

Pembebanan horizontal akibat gempa mengacu pada SNI 1725-2016 pasal 9.7 dengan koefisien-koefisien sesuai dengan SNI 2833-2008. Gaya horizontal statis dicari berdasarkan rumus berikut,

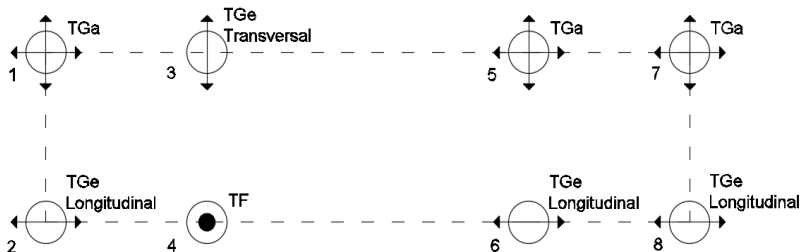
$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan :

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis
 C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis
 R_d adalah faktor modifikasi respons
 W_t adalah berta total struktur

➤ Mencari Nilai W_t

Nilai W_t didapatkan dari program bantu analisa struktur Midas Civil dengan kombinasi pembebanan beban hidup dan beban mati sesuai dengan kombinasi envelope ultimate.



Gambar 4. 52 Penamaan Titik Perletakan

Tabel 4. 51 Reaksi vertikal pada perletakan (1D)

Titik	Kombinasi	Gaya Vertikal (KN)
1	mati + mati tambahan	11022
2	mati + mati tambahan	11022
3	mati + mati tambahan	11022
4	mati + mati tambahan	11022
5	mati + mati tambahan	1446
6	mati + mati tambahan	1446
7	mati + mati tambahan	1446
8	mati + mati tambahan	1446
Total (Wt)		49869

➤ Mencari Nilai C_{sm}

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}}$$

Keterangan :

A adalah akselerasi puncak di batuan dasar

T adalah perioda alami struktur

S adalah kofisien tanah

- Mencari Nilai A (PGA)



ZONA	AKSELERASI PGA DI BATUAN DASAR
1	0,53 - 0,60
2	0,46 - 0,50
3	0,36 - 0,40
4	0,26 - 0,30
5	0,15 - 0,20
6	0,05 - 0,10

Gambar 4. 53 Wilayah Gempa Indonesia untuk Periode Ulang 500 Tahun

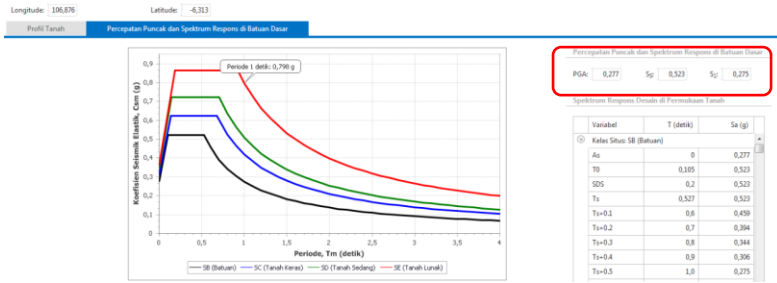
Tabel 4. 52 Akselerasi puncak PGA

PGA (g)	50 tahun	100 tahun	200 tahun	500 tahun	1000 tahun
Wilayah 1	0,34-0,38	0,40-0,46	0,47-0,53	0,53 – 0,60	0,59-0,67
Wilayah 2	0,29-0,32	0,35-0,38	0,40-0,44	0,46 – 0,50	0,52-0,56
Wilayah 3	0,23-0,26	0,27-0,30	0,32-0,35	0,36 – 0,40	0,40-0,45
Wilayah 4	0,17-0,19	0,20-0,23	0,23-0,26	0,26 – 0,30	0,29-0,34
Wilayah 5	0,10-0,13	0,11-0,15	0,13-0,18	0,15 – 0,20	0,17-0,22
Wilayah 6	0,03-0,06	0,04-0,08	0,04-0,09	0,05 – 0,10	0,06-0,11

Kota Jakarta terletak pada zona wilayah 4. Untuk menentukan nilai A diambil nilai terkritik yaitu ketika periode ulang 1000 tahun sesuai Tabel 4.49 yaitu sebesar 0,29 – 0,34. Selain dengan melihat Gambar 4. Dan Tabel 4. , penentuan nilai PGA dapat dilihat dari www.pusjatan.pu.go.id dengan memasukan nama kota atau lokasi koordinat sehingga dapat didapatkan nilai PGA. Untuk kota Jakarta didapatkan nilai PGA = 0,277

Penentuan Spektrum Respons Desain di Permukaan Tanah untuk Jembatan

Klasifikasi Situs dan Spektrum Respons Desain



Percepatan Puncak dan Spektrum Respons di Batuan Dasar

PGA: 0,277 S_g: 0,523 S₁: 0,275

Gambar 4. 54 Penentuan nilai PGA dari website pusjatan

- Mencari Nilai S

Menurut data tanah, rata rata nilai N-SPT untuk tanah hingga 20m memiliki nilai $15 \leq N \leq 50$. Nilai ini dapat dikategorikan sebagai tanah sedang sesuai dengan tabel berikut,

Tabel 4. 53 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi Site	\bar{V}_s (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$

Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Indeks plastisitas, $P_i > 20$,
2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan
3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa

Tabel 4. 54 Koefisien Tanah (S)

S (tanah teguh)	S (tanah sedang)	S (tanah lembek)
S ₁ =1,0	S ₂ =1,2	S ₃ =1,5

Sesuai dengan tabel 4.51 maka dapat diambil nilai S sebesar 1,2.

- Mencari nilai T

Nilai T adalah nilai perioda alami struktur, nilai ini didapatkan pada program bantu Midas Civil. Perioda alami diambil nilai terbesar dari moda yang ada,. Berikut adalah periode yang didapatkan,

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS					
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
	1	8.759872	1.394177	0.717269	0.0000e+000
	2	17.744867	2.824183	0.354085	0.0000e+000
	3	19.325837	3.075802	0.325118	0.0000e+000
	4	22.571409	3.592351	0.278369	0.0000e+000
	5	32.987808	5.250173	0.190470	0.0000e+000

Gambar 4. 55 Periode Alami Struktur

Periode alami struktur didapat dari mode 1 sebesar 0,717 detik. Maka nilai C_{sm} dapat dihitung sebagai berikut,

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}}$$

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot 0,277 \cdot 1,2}{0,717^{2/3}}$$

$$C_{sm} = 0,498$$

- Mencari Nilai Modifikasi Respons R_d

Faktor modifikasi respon untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah memiliki nilai faktor yang berbeda sesuai dengan jenis strukturnya. Nilai modifikasi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 4. 55 Faktor Modifikasi Respon R_d

	Kolom atau pilar	Penghubung (<i>connection</i>) bangunan atas pada		
		Kepala jembatan (<i>b</i>)	Kolom, pilar atau tiang (<i>c</i>)	Sambungan dilatasi
Pilar tipe dinding (<i>a</i>)	2 (sumbu kuat) 3 (sumbu lemah)	0,8	1,0	0,8
Kolom tunggal	3-4			
Kolom majemuk	5-6			
<i>pile cap</i> beton	2-3			
Catatan: a. Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar b. Untuk jembatan bentang tunggal digunakan faktor $R_d = 2,5$ untuk hubungan pada kepala jembatan c. Sebagai alternatif hubungan kolom dapat direncanakan untuk gaya maksimum yang dikembangkan oleh sendi plastis kolom				

Untuk struktur penghubung berupa pilar memiliki nilai $R_d = 1,0$.

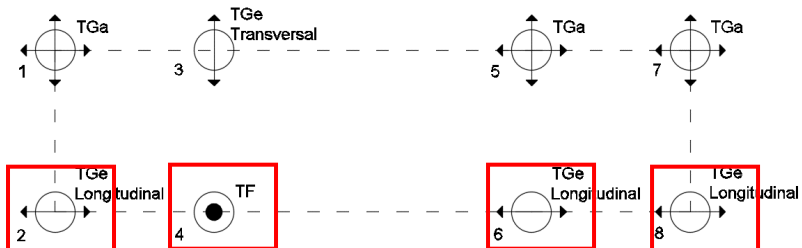
4.10.2 Gaya pada POT bearing

- Gaya Horizontal Arah-y (Melintang)

Gaya horizontal arah-y diterima oleh 4 buah POT bearing, dengan 3 tipe *guided* (PU) dan 1 tipe *fixed* (PF). Sehingga gaya pada pilar adalah

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

$$E_Q = \frac{0,498}{1} \times \frac{49869}{4} = 6206 \text{ KN}$$



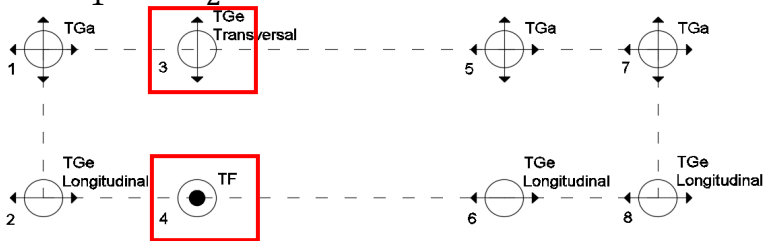
Gambar 4. 56 POT Bearing Penahan Gaya Horizontal-y

- Gaya Horizontal Arah-x (Memanjang)

Gaya horizontal arah-x diterima oleh 2 buah POT *bearing*, dengan 1 tipe *guided* (PU) dan 1 tipe *fixed* (PF). Sehingga gaya pada pilar adalah

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

$$E_Q = \frac{0,498}{1} \times \frac{49869}{2} = 12412 \text{ KN}$$



Gambar 4. 57 POT *Bearing* Penahan Gaya Horizontal-y

- Gaya Horizontal Arah-x (Memanjang)

Pembebanan vertikal menggunakan kombinasi Envelope Ultimate sesuai dengan code AREMA. Untuk menghitung gaya vertikal yang terjadi pada perletakan digunakan program bantu Midas Civil. Gaya vertikal yang terjadi sebagai berikut.

Titik	Kombinasi	Gaya Vertikal (KN)
1	Env Ultimate Max	4517.94
2	Env Ultimate Max	4517.94
3	Env Ultimate Max	25672.34
4	Env Ultimate Max	25672.34
5	Env Ultimate Max	25672.10
6	Env Ultimate Max	25672.10
7	Env Ultimate Max	4524.77
8	Env Ultimate Max	4524.77
Total (Wt)		120774.31

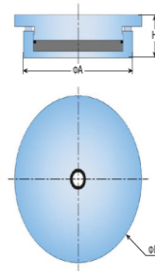
4.10.3 Pemilihan POT bearing

Pemilihan POT Bearing sesuai dengan brosur VSL yang sesuai dengan AASHTO. Berikut adalah brosur yang dipakai,

Bearings with horizontal load = 30% of vertical load

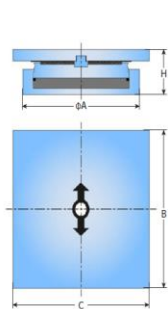
	EN			BS			AASHTO			AS		
	QA	QD	H	QA	QD	H	QA	QD	H	QA	QD	H
FX 500 - 150	160	160	53	160	160	59	180	180	59	165	165	54
FX 1,000 - 300	220	220	60	235	235	59	250	250	60	255	255	54
FX 1,500 - 450	295	295	64	290	290	67	300	300	65	315	315	67
FX 2,000 - 600	350	350	72	335	335	68	345	345	69	375	375	71
FX 3,000 - 900	440	440	84	415	415	78	415	415	81	475	475	84
FX 4,000 - 1,200	525	525	92	480	480	87	480	480	94	560	560	92
FX 5,000 - 1,500	590	590	109	545	545	95	535	535	111	630	630	108
FX 6,000 - 1,800	660	660	110	590	590	108	595	595	114	705	705	116
FX 8,000 - 2,400	770	770	127	695	695	123	690	690	134	800	800	138
FX 10,000 - 3,000	870	870	145	765	765	142	775	775	161	905	905	152
FX 12,000 - 3,600	955	955	157	835	835	160	845	845	169	1,025	1,025	161
FX 14,000 - 4,200	1,050	1,050	167	905	905	178	920	920	187	1,100	1,100	175
FX 16,000 - 4,800	1,120	1,120	181	980	980	186	990	990	205	1,190	1,190	180
FX 18,000 - 5,400	1,200	1,200	186	1,030	1,030	194	1,075	1,075	206	1,275	1,275	194
FX 20,000 - 6,000	1,270	1,270	203	1,100	1,100	196	1,125	1,125	231	1,350	1,350	198
FX 24,000 - 7,200	1,400	1,400	210	1,245	1,245	197	1,250	1,250	257	1,485	1,485	215
FX 28,000 - 8,400	1,530	1,530	226	1,355	1,355	201	1,365	1,365	271	1,605	1,605	235
FX 30,000 - 9,000	1,590	1,590	239	1,415	1,415	204	1,415	1,415	291	1,665	1,665	238
FX 35,000 - 10,500	1,710	1,710	260	1,540	1,540	206	1,545	1,545	295	1,805	1,805	255
FX 45,000 - 13,500	1,955	1,955	282	1,800	1,800	209	1,780	1,780	340	2,045	2,045	283

Dimensions in mm



Gambar 4. 58 Brosur POT Bearing Tipe Fixed

Bearings with horizontal load = 30% of vertical load and ±200mm movement



	EN				BS				AASHTO				AS			
	QA	B	C	H	QA	B	C	H	QA	B	C	H	QA	B	C	H
GG 500 - 150 400	160	655	275	89	165	635	275	85	180	690	260	915	170	640	240	855
GG 1,000 - 300 400	230	710	275	101	240	690	270	86	250	745	315	995	255	695	295	905
GG 1,500 - 450 400	300	730	320	105	295	745	315	93	300	790	360	995	325	740	340	1,035
GG 2,000 - 600 400	355	765	370	118	340	750	360	102	345	850	395	1,065	380	785	380	1,075
GG 3,000 - 900 400	445	840	445	130	430	805	435	130	420	920	475	1,275	460	855	465	1,255
GG 4,000 - 1,200 400	530	910	515	137	485	860	500	128	480	950	550	1,405	555	900	540	1,435
GG 5,000 - 1,500 400	600	970	575	150	555	910	555	136	540	1,005	620	1,535	620	950	600	1,655
GG 6,000 - 1,800 400	660	1,010	625	152	595	950	610	158	595	1,060	680	1,665	685	1,000	655	1,735
GG 8,000 - 2,400 400	775	1,095	720	172	685	1,010	705	191	700	1,160	795	1,80	775	1,060	755	2,035
GG 10,000 - 3,000 400	880	1,175	805	204	770	1,075	785	197	800	1,210	885	206	880	1,140	840	2,23
GG 12,000 - 3,600 400	960	1,230	880	216	835	1,135	860	225	870	1,315	970	224	995	1,240	925	2,30
GG 14,000 - 4,200 400	1,040	1,300	950	235	905	1,175	930	252	945	1,355	1,130	237	1,065	1,295	1,000	2,58
GG 16,000 - 4,800 400	1,115	1,355	1,020	254	970	1,220	990	269	1,025	1,445	1,185	245	1,140	1,355	1,130	2,67
GG 18,000 - 5,400 400	1,180	1,410	1,075	267	1,040	1,280	1,055	273	1,085	1,450	1,285	267	1,230	1,430	1,185	2,72
GG 20,000 - 6,000 400	1,245	1,460	1,140	291	1,110	1,340	1,115	286	1,150	1,540	1,335	284	1,295	1,475	1,275	2,95
GG 24,000 - 7,200 400	1,365	1,540	1,255	316	1,270	1,485	1,245	286	1,255	1,610	1,400	329	1,430	1,585	1,335	3,22
GG 28,000 - 8,400 400	1,475	1,630	1,345	346	1,380	1,560	1,340	303	1,375	1,740	1,505	331	1,545	1,675	1,440	340
GG 30,000 - 9,000 400	1,545	1,680	1,410	347	1,415	1,605	1,400	325	1,425	1,750	1,530	352	1,585	1,705	1,465	367
GG 35,000 - 10,500 400	1,665	1,775	1,500	374	1,515	1,680	1,465	354	1,550	1,850	1,655	384	1,725	1,820	1,585	384
GG 45,000 - 13,500 400	1,900	1,935	1,700	424	1,730	1,850	1,665	404	1,785	2,090	1,875	419	1,960	1,995	1,795	436

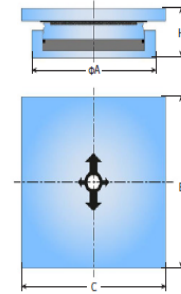
Dimensions in mm

Gambar 4. 59 Brosur POT Bearing Tipe Guided

Bearings with ±200mm longitudinal and ±20mm transverse movement

	EN				BS				AASHTO				AS			
	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H	ΦA	B	C	H
GL 500 . 400 . 40	160	630	260	90	150	615	230	80	180	650	265	86.5	155	595	230	81.5
GL 1,000 . 400 . 40	210	650	305	94	225	635	275	80	240	710	325	90.5	230	635	280	90.5
GL 1,500 . 400 . 40	265	670	335	104	280	665	310	94	280	755	370	97.5	295	670	315	99.5
GL 2,000 . 400 . 40	320	700	365	104	330	695	340	99	325	795	410	97.5	345	705	350	109.5
GL 3,000 . 400 . 40	400	750	415	128	405	745	405	108	405	860	475	113.5	425	760	425	123.5
GL 4,000 . 400 . 40	460	790	465	137	465	790	470	112	480	915	530	117.5	490	810	490	132.5
GL 5,000 . 400 . 40	515	825	520	146	520	830	525	122	540	970	585	134.5	545	850	550	142.5
GL 6,000 . 400 . 40	565	855	570	155	570	860	575	126	600	1,015	630	137.5	600	885	600	156.5
GL 8,000 . 400 . 40	655	930	655	175	660	920	660	147	700	1,085	730	161.5	690	950	695	167.5
GL 10,000 . 400 . 40	730	990	730	189.2	735	975	740	155	795	1,170	820	173	775	1,005	775	191.5
GL 12,000 . 400 . 40	800	1,005	805	213.2	805	1,020	810	164	875	1,240	895	200	845	1,055	845	205.5
GL 14,000 . 400 . 40	865	1,075	865	222.2	870	1,065	875	188	955	1,300	970	202	920	1,105	920	224.5
GL 16,000 . 400 . 40	935	1,140	930	228.2	930	1,105	935	193	1,025	1,360	1,040	215	980	1,150	980	234
GL 18,000 . 400 . 40	980	1,170	985	235.5	990	1,145	990	207	1,090	1,410	1,100	222	1,060	1,190	1,040	242
GL 20,000 . 400 . 40	1,050	1,170	1,040	255.5	1,040	1,180	1,045	208	1,155	1,465	1,165	234	1,120	1,230	1,100	250
GL 24,000 . 400 . 40	1,160	1,275	1,140	266.5	1,140	1,250	1,145	226	1,270	1,555	1,275	261	1,235	1,300	1,205	267
GL 28,000 . 400 . 40	1,255	1,355	1,230	280.5	1,230	1,310	1,235	243	1,375	1,645	1,375	274	1,330	1,370	1,300	290
GL 30,000 . 400 . 40	1,285	1,400	1,270	291.5	1,275	1,340	1,280	243	1,425	1,685	1,425	279	1,380	1,400	1,345	293
GL 35,000 . 400 . 40	1,400	1,520	1,375	295.5	1,375	1,410	1,380	260	1,535	1,780	1,535	301	1,480	1,475	1,450	314
GL 45,000 . 400 . 40	1,595	1,640	1,555	337.7	1,560	1,565	1,565	291	1,745	1,960	1,745	340	1,695	1,645	1,645	347

Dimensions in mm



Gambar 4. 60 Brosur POT Bearing Tipe Free

Hasil perhitungan gaya vertikal dan horizontal yang diterima perletakan harus disesuaikan dengan kekuatan POT Bearing sesuai dengan brosur. Berikut adalah hasil rekapitulasi jenis POT Bearing yang digunakan,

Tabel 4. 56 spesifikasi Pot Bearing yang digunakan

Titik	Beban aktual (KN)			Jenis	Tipe P.B	Spec P B (KN)	
	Fx (KN)	Fy (KN)	Fz (KN)			Vertikal	Horizontal
1	-	-	4518	Free	GL 5000	5000	400
2	-	6206	4518	Longitudinal	GG 24000	24000	7200
3	12412	-	25672	Tranversal	GG 45000	45000	13500
4	12412	6206	25672	Fixed	FX 45000	24000	7200
5	-	-	4525	Free	GL 5000	5000	400
6	-	6206	25672	Longitudinal	GG 24000	24000	7200
7	-	-	4525	Free	GL 5000	5000	400
8	-	6206	25672	Longitudinal	GG 24000	24000	7200

4.11 Metode Pelaksanaan

4.11.1 Umum

Salah satu metode alternatif pelaksanaan pembangunan jembatan adalah digunakan untuk konstruksi kantilever seimbang dengan segmen pracetak di cor setempat atau konstruksi kantilever seimbang dengan menggunakan *Form Traveler*, *Form Traveler* mendukung pengecoran berbagai bentuk variasi segmen baru penampang box girder.

Dalam tugas akhir ini akan digunakan metode pelaksanaan konstruksi kantilever seimbang dengan menggunakan *Form Traveler*, jalan layang LRT ini merupakan jembatan box girder dengan bentang total 198 m, jembatan dibagi menjadi 3 *span* dengan panjang total masing-masing 54 m, 90 m, dan 54 m yang di tumpu 2 pilar.

Struktur utama Jalan layang LRT ini menggunakan *box girder singlecell* cast in situ dengan lebar pelat atas 9,6 m dan tinggi variasi dari perubahan 2,70 m pada ujung tengah bentang dan 4,7 m pada tumpuan

4.11.2 Tahap Persiapan Konstruksi Jembatan

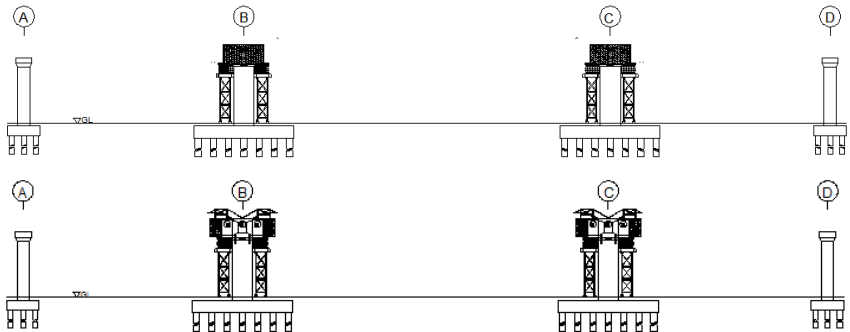
Konstruksi jembatan pada bagian atas jalan raya secara *balance cantilever* baru akan dimulai setelah pier TMKR 048 – 051 telah ada. Perletakan pada pier TMKR 048(A) dan TMKR 051(D) merupakan perletakan bebas (roll) dan perletakan sendi pada pilar TMKR 049 (B) dan 050 (C). Saat penerapan metode *balance cantilever* penting sekali mendapat perhatian pada stabilitas struktur akibat diterapkan metode *balance cantilever*. Dimensi penampang box girder dibuat simetris antara sisi sisi pilar guna menyeimbangkan beban yang ada, karena dilapangan 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 di jelaskan secara detail.

Sistem penarikan tendon (*jacking*) dilakukan sesuai dengan sistem *balance cantilefer* yaitu dengan melakukan stressing berturut-turut, yang dimulai dari tumpuan atau pilar hingga ke tengah bentang. Stressing pada masing masing segmen dilakukan ketika beton mencapai umur yang izinkan, diperlukan pengujian benda uji kubus atau silinder untuk memastikannya, Mungkin diperlukan admixture atau bahan kimia untuk mempercepat kekuatan beton.

4.11.3 Tahap *Launching Form Traveller*

Launching form traveler akan dilakukan Setelah pengerjaan segmen pertama selesai di cor dan sudah di *stressing*, dilakukan pekerjaan pembongkaran *bekisting* segmen pertama untuk persiapan pemasangan *Form Traveler* seperti yang terlihat pada **Gambar 4.61**.



Gambar 4. 61 Pembongkaran bekisting segmen pertama dan pemasangan *Form Traveller*

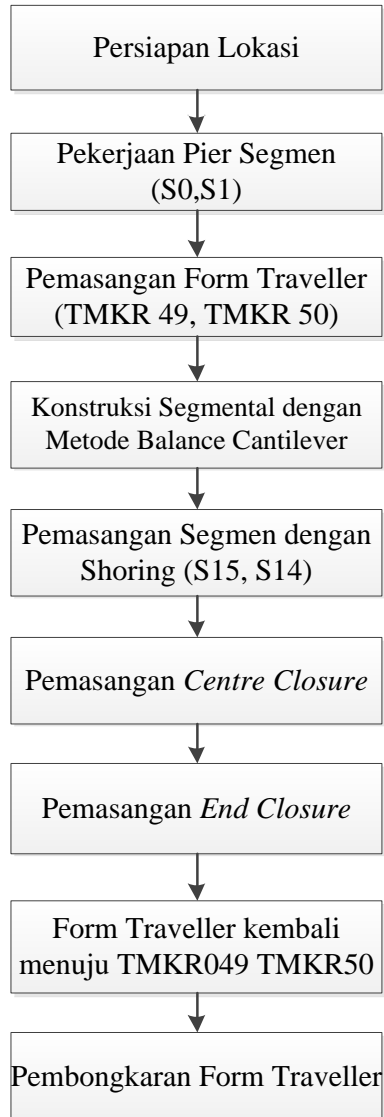
Pastikan area untuk pergerakan *traveler* bebas dari material yang mengganggu selama proses *traveler* dan *box girder* segmen yang akan dilalui oleh pergerakan *traveler* sudah dilakukan *stressing*. Pasang *chain block* pada *back support* yang ujungnya dikaitkan dengan angkur yang ada didepan segmen terakhir, Kanan dan kiri *back support* dipasang *chain block* sehingga setiap *back support* terpasang 2 buah *chain block*, Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan bekisting (*formwork system*) terdiri dari *inner formwork* dan *outer formwork* seperti yang terlihat pada **Gambar 4.62**.



Gambar 4. 62 *Outer Formwork*

Sebelum *box girder* dicor, terlebih dahulu di pastikan *Form Traveler* bertumpu dengan baik dan bekisting mampu menerima beban pekerja dan beton basah kemudian dilakukan pemasangan tulangan, duct, dan tendon sesuai rencana, Untuk pemasangan duct dan tendon yang meliputi banyaknya tendon, koordinat tendon perlu pengawasan yang cukup agar tidak terjadi kesalahan yang mempengaruhi struktur, kemudian dilakukan pemberian bounding agent antara beton lama dengan beton baru. Segmen *box girder* yang sudah di cor di tempat menggunakan *Form Traveler* sesuai spesifikasi dan umur beton sudah mencapai izin, akan dilakukan *stressing*.

Diagram alir untuk melakukan pekerjaan form traveller adalah seperti pada **Gambar 4.63** :



Gambar 4. 63 Diagram alir pekerjaan form traveller

a. Pekerjaan geser form traveller

Pekerjaan geser form traveler dilakukan setelah beton mencapai umur yang di izinkan untuk dilakukan stressing. Pada kasus ini digunakan umur beton pada umur 7 hari dengan kekuatan beton telah mencapai lebih dari 0,7 f_c' yaitu 42 MPa. Cara lain dapat digunakan untuk mempercepat durasi proyek tetapi dengan tetap mempertahankan umur beton, yaitu dengan menambahkan zat admixture superplasticizer dengan jenis *early strength* atau *rapid strength*. Berikut tahapan pekerjaan geser *form traveler* (Ardyansyah, 2009).

1. *Chain block* seperti yang terlihat pada **Gambar 4.64** yang dipasang pada *back support* ditarik pelan - pelan dan bersamaan agar selama pergerakan *traveler* tetap dalam kondisi lurus pergerakan traveler di dukung dengan sistem hidrolik.



Gambar 4. 64 Chain Block

2. Setelah traveler bergerak pada posisinya, Chain block yang menahan traveler dikencangkan kembali.
3. Kemudian dilakukan setting formwork kembali yang sebelumnya formwork di bersihkan dahulu dari kotoran pengecoran sebelumnya. Permukaan *formwork* diberi pelumas dahulu sebelum pekerjaan selanjutnya, *Bottom formwork* dan *outer formwork* disetting kembali untuk pengecoran segment selanjutnya.

4. Sebelum digeser pada posisinya *inner formwork* dipotong dahulu bagian bawahnya untuk disesuaikan dimensinya dengan segmen selanjutnya.

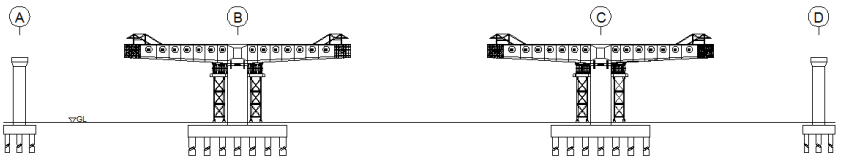
Form Traveler akan bergerak dari segmen kedua hingga segmen terakhir (tengah bentang), Setelah pengerjaan segmen pertama selesai di cor dan tendon sudah di tarik pada umur yang cukup dilanjutkan pada segmen berikutnya seperti yang terlihat pada **Gambar 4.65** sampai **Gambar 4.69**



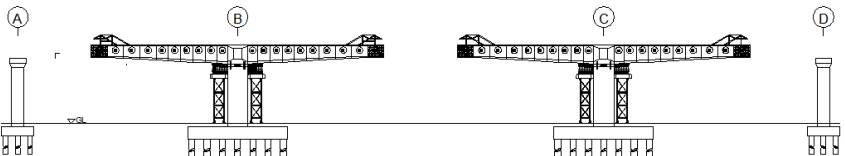
Gambar 4. 65 Pemasangan segmen S3



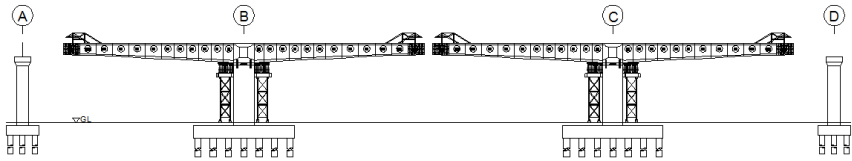
Gambar 4. 66 Pemasangan segmen S5



Gambar 4. 67 Pemasangan segmen S8



Gambar 4. 68 Pemasangan segmen S10



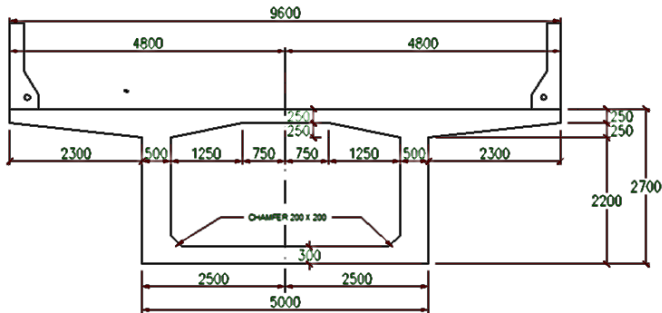
Gambar 4. 69 Pemasangan segmen S12

b. Setting formwork sesuai dimensi box girder

Formwork didesain sesuai dengan bentuk serta ukuran struktur beton yang akan dicetak dimana setiap segmen memiliki dimensi yang berbeda beda dengan variasi ketinggian 2,7 m hingga 4,7 m, Dimensi *box girder* yang akan dikerjakan pada pekerjaan jalan layang LRT adalah sebagai berikut :

1. Panjang untuk segmen S0 adalah 5 m yang terletak pada pier (As B dan As C)
2. Panjang untuk segmen ke S1 sampai S6 adalah 3 m
3. Panjang untuk segmen ke S7 sampai S12 adalah 4 m
4. Panjang untuk segmen ke S13 S14 pada dekat tumpuan pier A dan D adalah 4 m
5. Panjang *end closure* segmen pada tengah tengah bentang adalah 2 m
6. Berat umum segmen *box girder* berkisar antara 60 – 115 ton.
7. Lebar masing-masing *box girder* adalah 9.6 m
8. Penampang melintang akan di tunjukan pada **Gambar 4.70**

Gambar 4.70 merupakan gambar penampang melintang box girder, , Oleh karena dimensi box girder bervariasi Sehingga *formwork* dalam hal ini *inner form* dan *outer form* harus disesuaikan dengan bentuk segmen *box girder* yang tidak tetap.

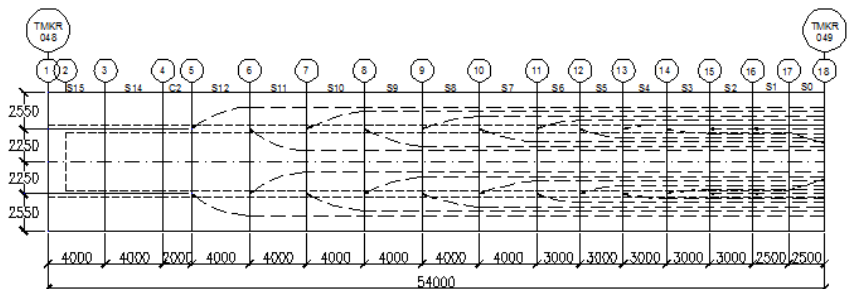


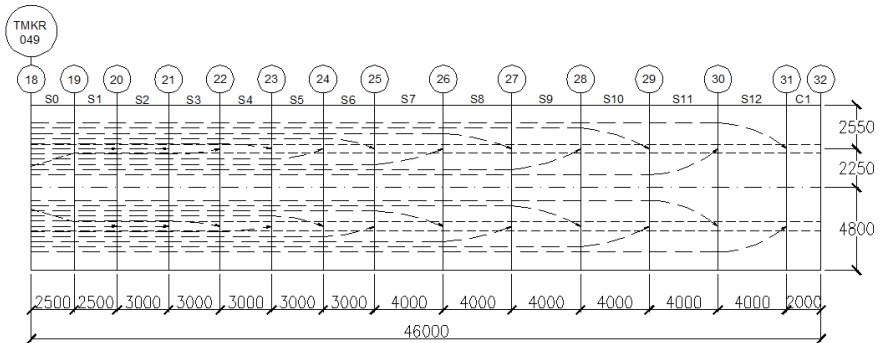
Gambar 4. 70 Potongan melintang box girder

4.11.4 Tahap Pelaksanaan *Post Tension* Girder

Penarikan tendon dilakukan pada dua kondisi pembebanan, yaitu saat pelaksanaan dan saat beban penuh. Untuk pemasangan dan penarikan kabel prategang adalah sebagai berikut :

1. Stressing dapat segera dilaksanakan setelah umur beton mencapai yang di izinkan
2. Stressing akan dilakukan sesuai dengan perhitungan sebelumnya dari gaya F yang diperlukan pada masing-masing joint
3. Penarikan tendon perlu memperhatikan dari brosur tendon yang digunakan. Dalam hal ini menggunakan brosure dari VSL dengan gaya penarikan maksimal kurang dari 0,85 FPu.
4. Perhitungan desain jacking tendon atas dapat dilihat dari hitungan pada bab sebelumnya





Gambar 4. 71 Layout Tendon atas

4.11.5 Pekerjaan Grouting

Pekerjaan grouting dilakukan guna untuk menghindari kososi pada tendon. Sebelum pekerjaan grouting dilakukan, selubung kabel (*duct*) dibersihkan terlebih dahulu dengan mengalirkan air bersih ke dalamnya melalui lubang inlet, Hal ini juga untuk memastikan tidak adanya sumbatan pada lubang inlet dan outlet. Berikut dijelaskan proses grouting pada tendon.

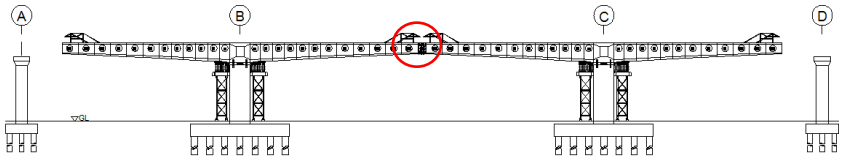
1. Bahan untuk grout adalah semen portland, air, dan grout admixture, Bahan tambahan tidak boleh mengandung bahan yang berbahaya bagi ketahanan baja prategang.
2. Pada pelaksanaan pekerjaan grouting semua bahan-bahan grouting harus diaduk sempurna dan benar benar homogen. Kemudian campuran tersebut di inject ke dalam lubang duct.
3. Setelah pekerjaan grouting selesai maka strand-strand dapat dipotong.

4.11.6 Segment Closure

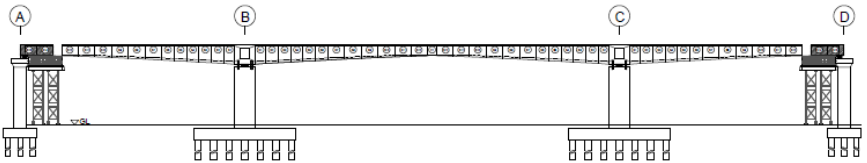
Pekerjaan segmen Closure terdapat dua bagian yaitu pekerjaan *centre closure* dan *end closure*. *Centre Closure* adalah pekerjaan pengecoran segmen penutup yang berada di tengah bentang seperti yang terlihat pada **Gambar 4.72**. Segmen ini untuk menghubungkan kantilever-kantilever girder yang berdiri

sendiri-sendiri pada saat pemasangan awal karena menggunakan metode balance kantilever. End closure adalah pekerjaan pengecoran segmen penutup yang menghubungkan segmen S14 dan S15 yang dipasang menggunakan shoring dan segmen kantilever **Gambar 4.73** dan **Gambar 4.74**.

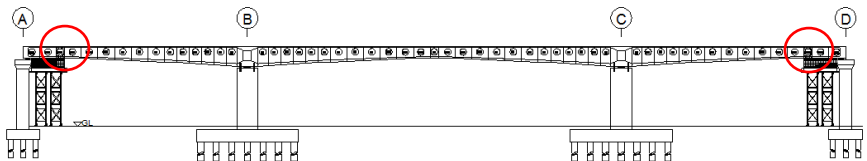
Pada tahap segmen closure, sebelum beton di cor akan dilakukan pemasangan tulangan dan tendon jembatan terlebih dahulu. Setelah dilakukan pemasangan tulangan dan tendon pada segmen closure, closure dibersihkan jika terdapat kotoran, kemudian diberi bounding agent sebelum di cor. Bekisting akan dilepas ketika mencapai umur yang di izinkan, untuk memastikan bahwa beton mampu menahan beban yang ada diperlukan pengujian benda uji kubus atau silinder. Beton segmen closure menggunakan beton shrinkage, dimana beton yang mengalami sedikit susut untuk menghindari retaknya closure.



Gambar 4. 72 Pengerjaan centre closure



Gambar 4. 73 Pengerjaan segmen S14 dan S15

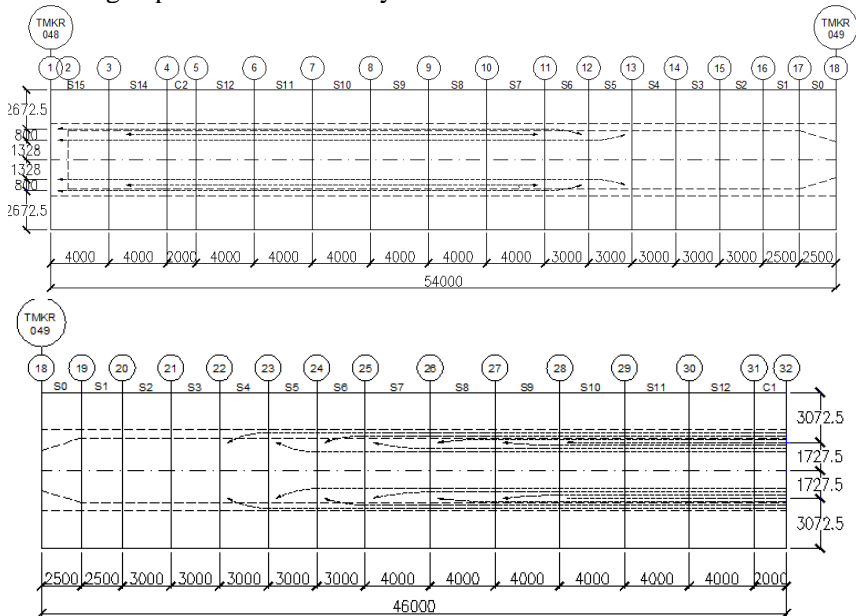


Gambar 4. 74 Pengerjaan end closure

4.11.7 Metode Pemberian Tegangan pada Tendon Menerus

Pekerjaan pemberian tegangan pada tendon secara menerus adalah pekerjaan penarikan tendon (penahan momen positif) pada pelat bagian bawah box girder serta stressing tendon pada daerah tumpuan (penahan momen negatif). Pekerjaan ini dilaksanakan setelah seluruh segmen box girder tersambung dan telah menjadi satu kesatuan struktur jembatan, Adapun metode pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Instalasi strand untuk tendon menerus pada duct yang sudah di pasang sebelumnya.
2. Bila pekerjaan instalasi strand selesai, dilakukan penarikan dengan gaya sesuai dengan perencanaan dari kedua sisi.
3. Bila pekerjaan stressing selesai dilanjutkan dengan pekerjaan grouting dan pemotongan strand.
4. Perhitungan desain jacking tendon bawah dapat dilihat dari hitungan pada bab sebelumnya



Gambar 4. 75 Layout tendon bawah

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perencanaan struktur jalan layang *Light Rail Transit* (LRT) Jakarta STA 6+652 – 6+850 menggunakan prestressed box girder dengan memiliki tinggi box yang berbeda yaitu :

Segmen	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	C1
Joint	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Tinggi (m)	4.7	4.7	4.5	4.35	4.2	4	3.85	3.7	3.5	3.3	3.1	2.95	2.8	2.7

2. Pembebanan mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan PM No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Dan kombinasi pembebanan mengacu pada AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance of Way Association*)
3. Tegangan yang terjadi pada beton akibat proses *erection* semua segmen penampang sesuai dengan syarat tegangan saat transfer yaitu batas ijin σ_{tekan} 25,2 MPa dan σ_{tarik} 1,62 MPa. Kemudian untuk kontrol tegangan akibat beban mati tambahan dan beban hidup pada semua kombinasi pembebanan, serta akibat kehilangan pratekan, yang semuanya sesuai dengan syarat tegangan saat service yaitu maksimal σ_{tekan} 27 MPa dan σ_{tarik} 3,873 MPa
4. 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.

5. Tulangan geser diperlukan berdasarkan perhitungan akibat gaya geser pada badan penampang (V_{cw}) dan akibat lentur (V_{ci}). Dan perhitungan kemampuan puntir (torsi) tidak diperlukan tulangan tambahan torsi.
6. Lendutan pada struktur diperiksa pada kondisi pelaksanaan (*balance cantilefer*) dan kondisi beban penuh. Lendutan yang terjadi masih dalam memenuhi persyaratan.
7. Metode konstruksi yang digunakan adalah *balanced cantilever* dengan *cor in-situ* menggunakan *form traveller*. Pekerjaan struktur dimulai dari Pier TMKR 048 dan TMKR 049 secara bersamaan, kemudia pengerjaan closure tengah, lalu untuk segmen S13, S14, S15 pengerjaan menggunakan shoring sebagai penahan. Saat tahap staging, perletakan dibantu dengan anker sementara agar bersifat menjadi jepit.

5.2 Saran

1. Dalam perencanaan jembatan bentang panjang sebaiknya luasan pada tumpuan harus diperbesar sehingga dapat mengantisipasi tegangan yang terjadi pada tumpuan
2. Dalam permodelan di Midas sebaiknya juga memasukan tendon dan tulangan sehingga hasil dari software tersebut lebih akurat, terutama dalam lendutan, dan tegangan yang terjadi.
3. Jika ingin mempermudah dalam tahap pelaksanaan sebaiknya menggunakan pier head atau segmen yang menggabung dengan pier sehingga struktur lebih aman terhadap beban tidak seimbang terutama saat jembatan yang lengkung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi Karya.2015. **Groundbreaking Light Rail Transit (LRT) Indonesia**. Jakarta
- Ardyansyah A, 2009. **Efektifitas Pekerjaan Box Girder dengan Traveler Formwork Desain Cic dan Ccc pada Approach Bridge Jembatan Suramadu**, Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association. 2004. **Manual for Railway Engineering** Volume 2. USA
- Badan Pusat Statistik. 2015. **Statistik Transportasi DKI Jakarta**. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-2847-2002. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung**
- Badan Standardisasi Nasional. SNI T-12-2004. **Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan**
- Lin, T.Y., dan Ned H.Burns. 2000. **Desain Struktur Beton Prategang Edisi Yang Disempurnakan**. Edisi ke 3. Jilid 1. Diterjemahkan oleh : Mediana. Jakarta : Interaksara
- Peraturan Menteri Perhubungan, PM.60 Tahun 2012. **Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api**
- Podolny JR, Walter,dan Muller, Jean M. 1982. **Construction And Design Prestress Concrete Segmental Bridges**. USA: A Wiley-Interscience Publication
- Raju, N. Krishna (1989). Beton Prategang*. Edisi Kedua. Diterjemahkan oleh: Ir. Suryadi. Jakarta: Erlangga.
- Robert Benaim, 2008: **The Design of Prestressed Concrete Bridge Concepts and Principles**. London : Taylor & Francis Group

Rombach, G , 2002. **“Precast segmental box girder bridges with external prestressing: Design and Construction”**.

Technical University, Hamburg-Harburg, Germany

VSL. 2013. **Bridge Construction Partner**. France : VSL International Ltd.

Zhongguo Ma, Tadros MK, Sun C, 2004. **“Prestressed Concrete Box Girders Made from Precast Concrete Unsymmetrical Sections”**. PCI Journal.

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Nanda Fathur Rozaq Ahmad ini dilahirkan di Surabaya pada tanggal 17 Juli 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kedurus 2 Surabaya, SMP Negeri 12 Surabaya, dan SMA Negeri 16 Surabaya. Lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil ITS pada tahun 2013 melalui jalur tulis atau SBMPTN 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113100077. Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2017 dengan judul Tugas Akhir *“Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 – 6+850 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan Metode Balance Cantilever”*. Penulis juga aktif di beberapa kegiatan organisasi, kepanitiaan dan seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS) dan beberapa kegiatan lain di kampus ITS. Penulis juga pernah mengikuti dan menjuarai perlombaan ketekniksipil terutama dibidang material dan struktur, salah satunya adalah lomba beton dan Kompetisi Jembatan Indonesia. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berberdiskusi dengan penulis, dapat melalui email: **nandafathurrozaq@gmail.com**



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Denah

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
1	36

SKALA

1 : 1000

DOSEN PEMBIMBING 1

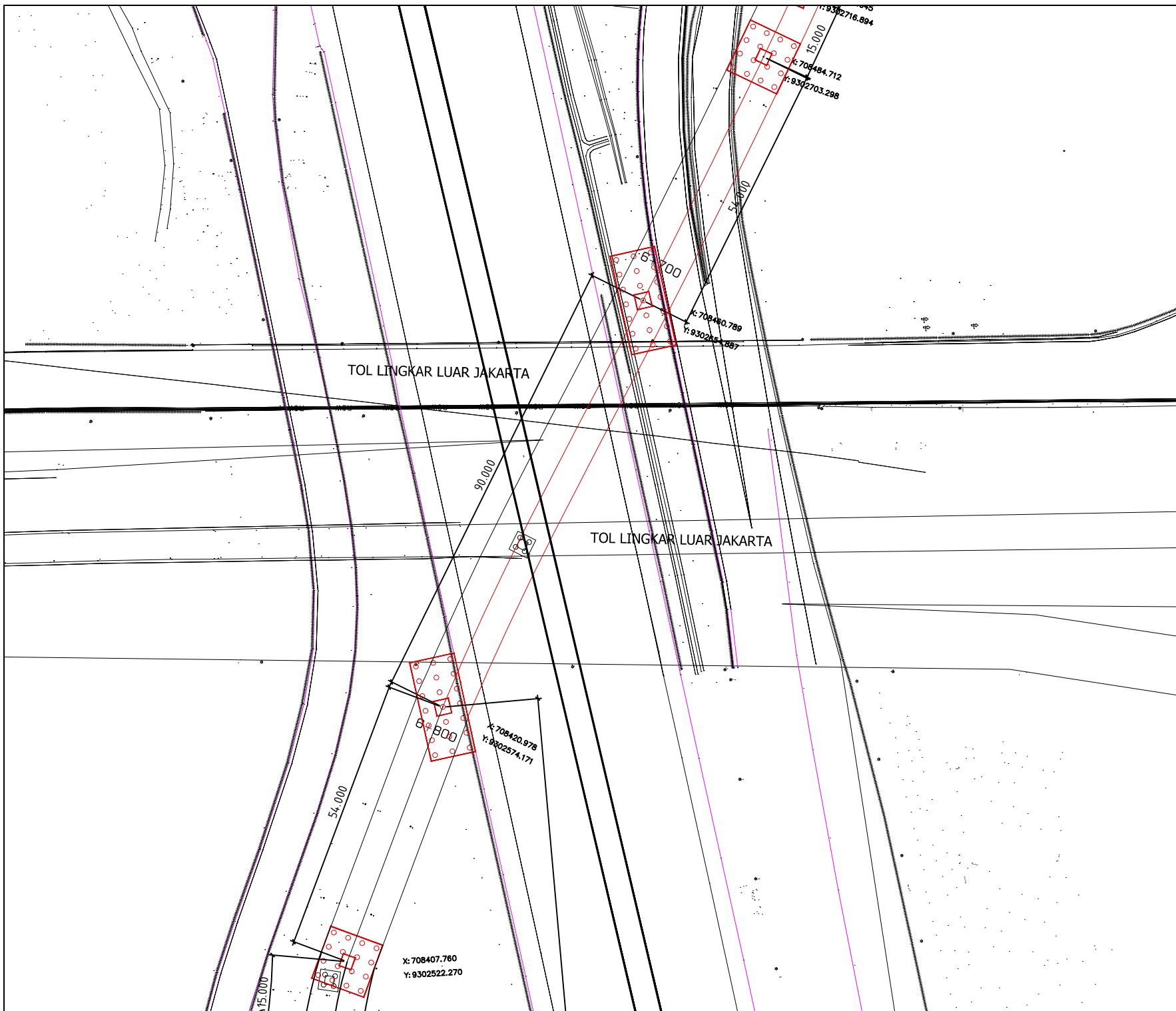
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077





Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Tampak Memanjang dan Tampak
Melintang

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
2	36

SKALA

1 : 900

DOSEN PEMBIMBING 1

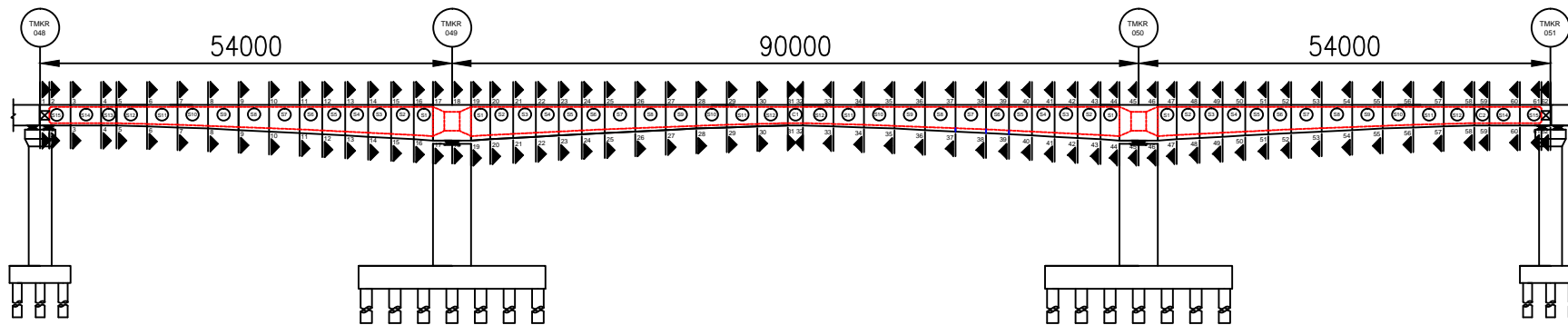
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

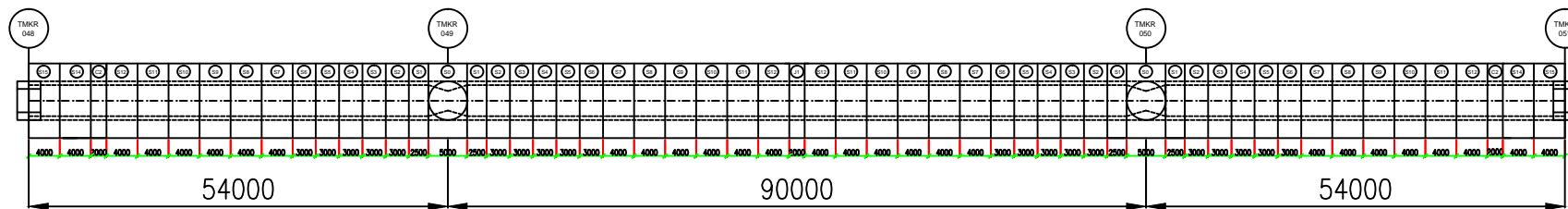
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



TAMPAK MEMANJANG
SKALA 1 : 900



TAMPAK ATAS
SKALA 1 : 900



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Tampak Melintang

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
3	36

SKALA

1 : 350

DOSEN PEMBIMBING 1

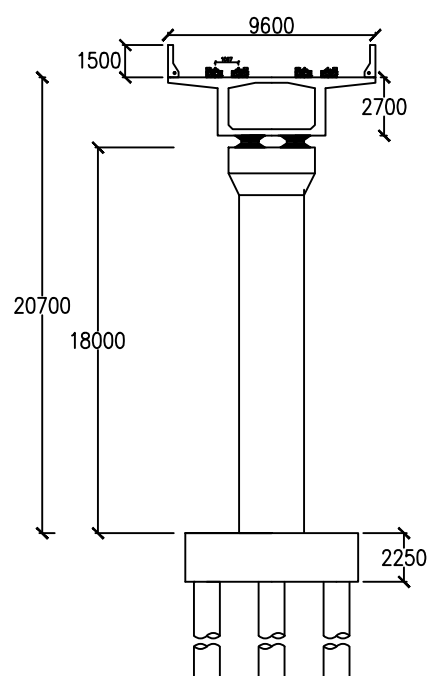
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

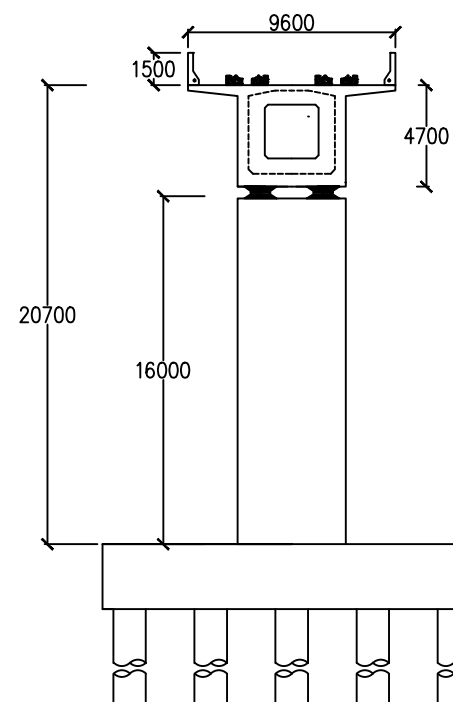
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

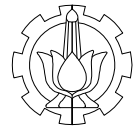
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



 TAMPANG MELINTANG TMKR 48
SKALA 1 : 350



 TAMPANG MELINTANG TMKR 49
SKALA 1 : 350



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Layout Tendon (1)

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
4	36

SKALA

1 : 250

DOSEN PEMBIMBING 1

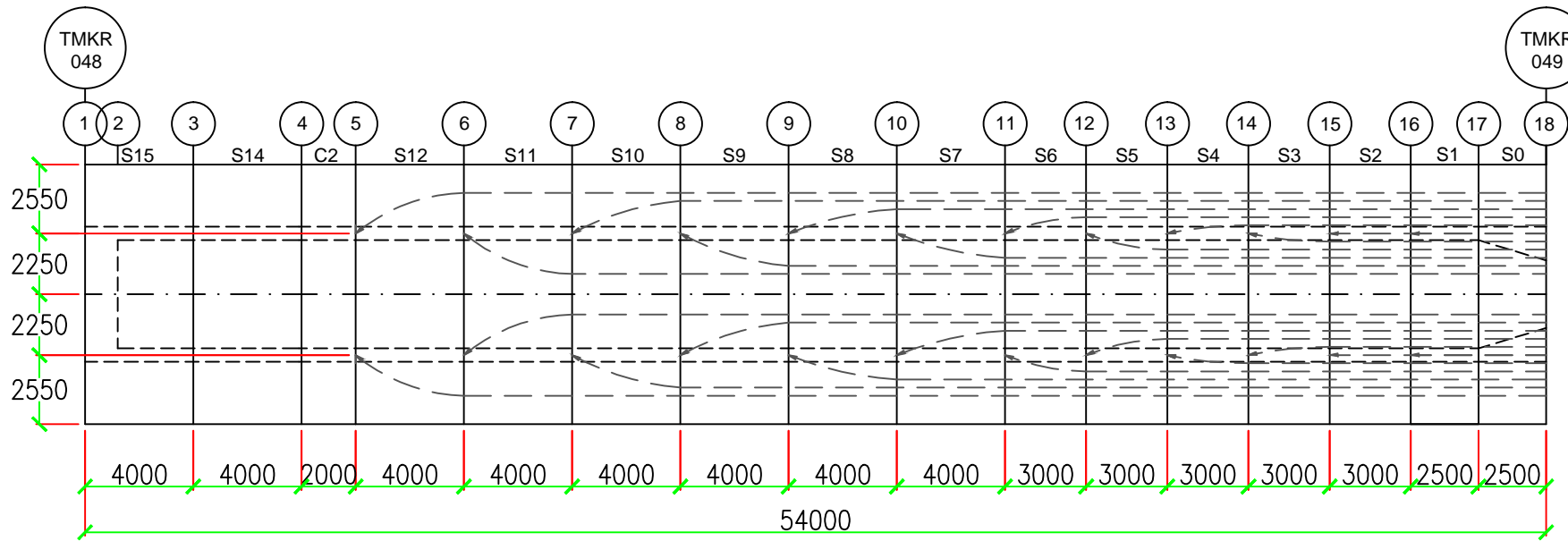
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

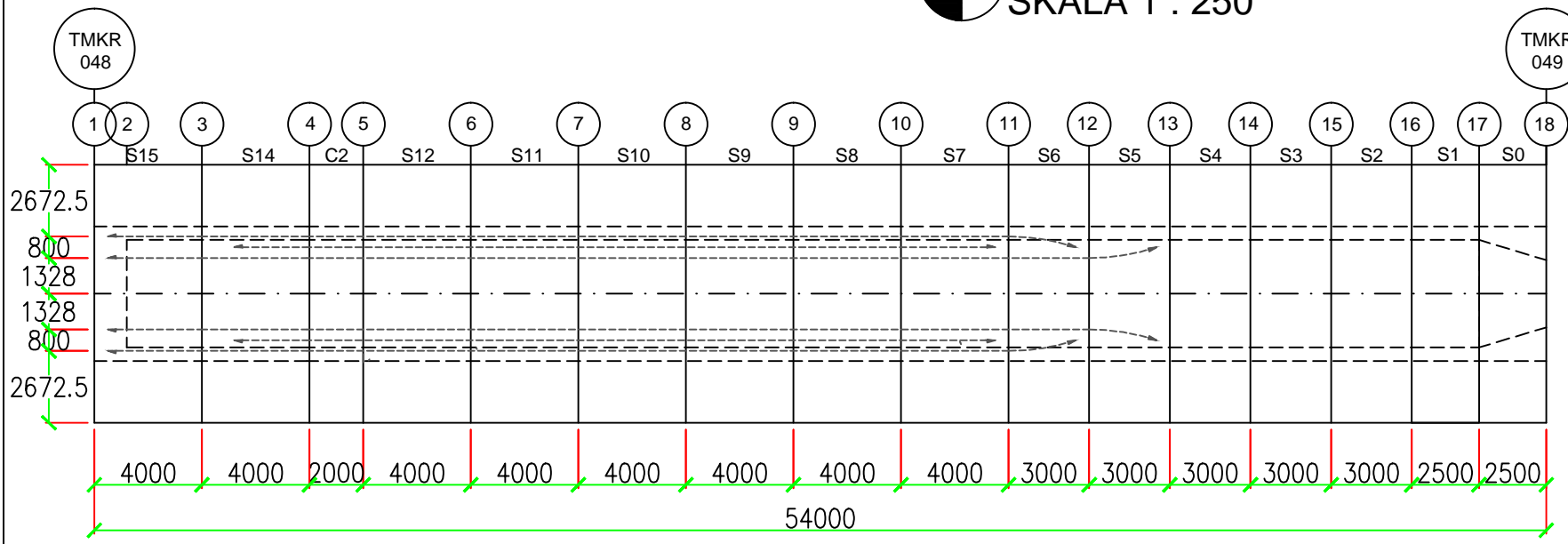
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



LAYOUT TENDON ATAS
SKALA 1 : 250



LAYOUT TENDON BAWAH
SKALA 1 : 250



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Layout Tendon (2)

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
5	36

SKALA

1 : 250

DOSEN PEMBIMBING 1

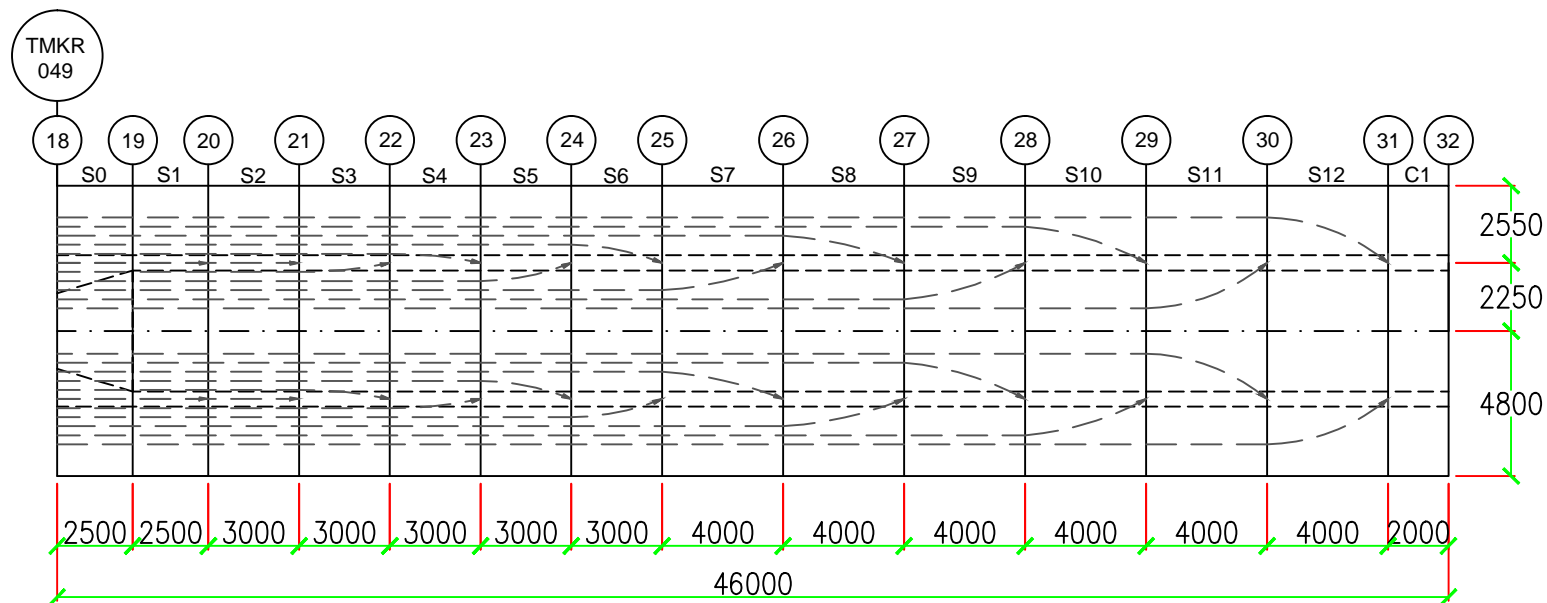
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

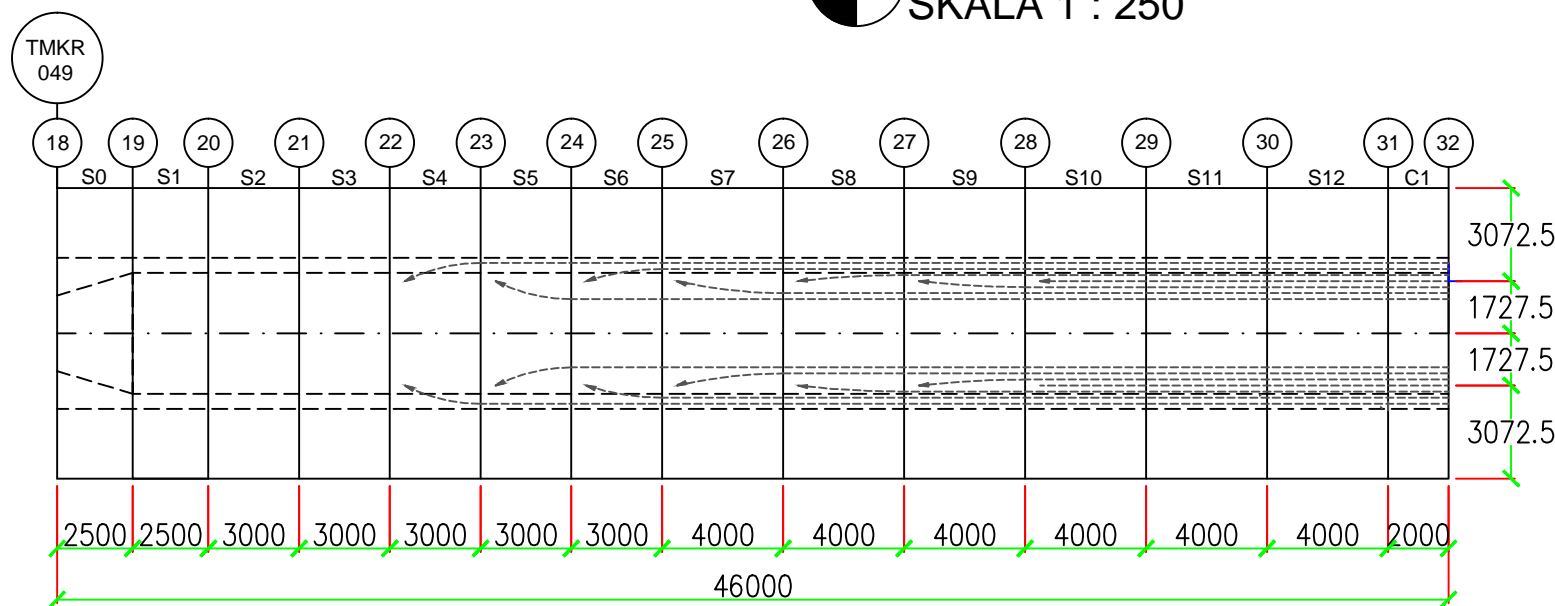
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



LAYOUT TENDON ATAS
SKALA 1 : 250



LAYOUT TENDON BAWAH
SKALA 1 : 250



Jurusan Teknik Sipil
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Layout Tendon (3)

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
6	36

SKALA

1 : 250

DOSEN PEMBIMBING 1

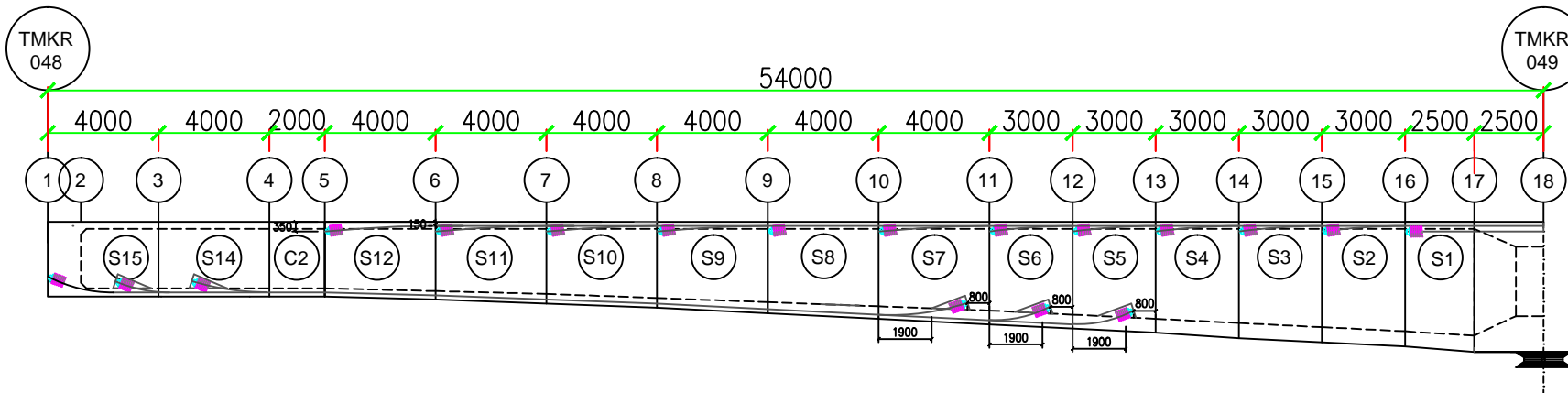
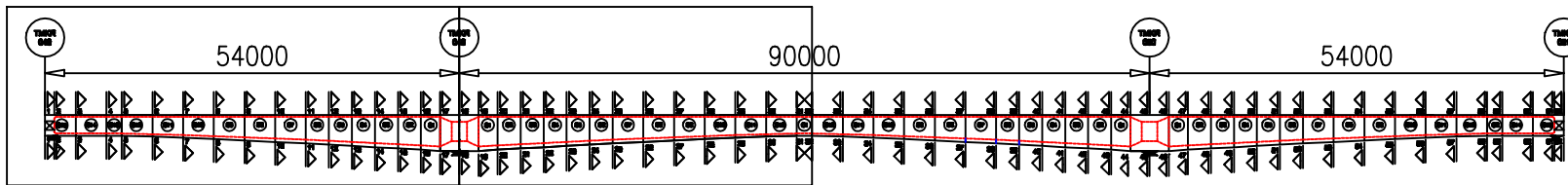
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

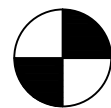
DOSEN PEMBIMBING 2

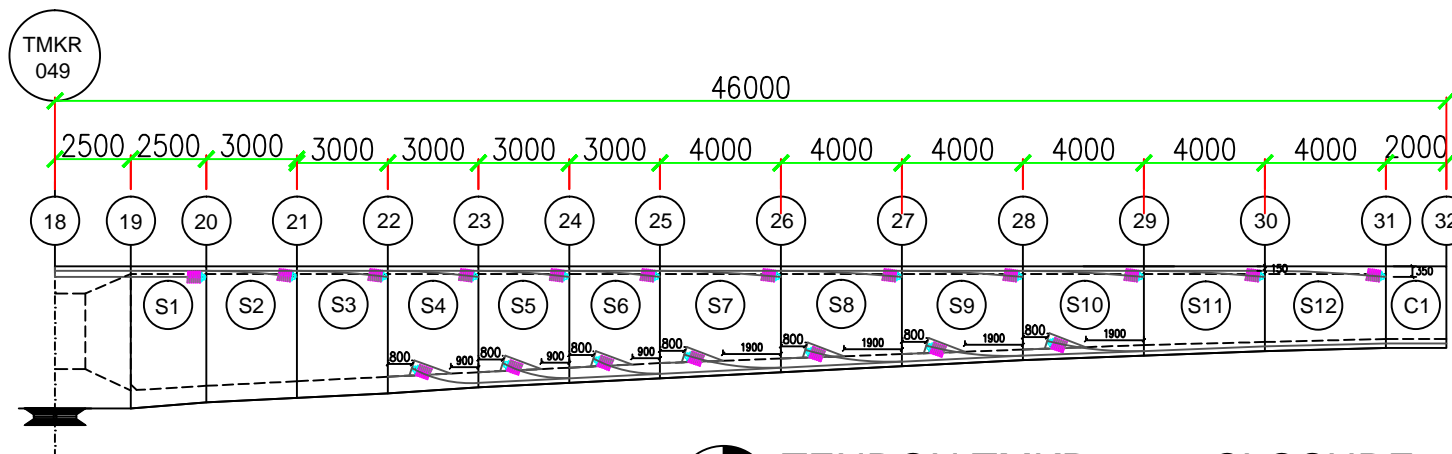
Ir. Djoko Irawan, MS.


NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



 TENDON TMKR 048 - TMKR 049
 SKALA 1 : 250



 TENDON TMKR 049 - CLOSURE
 SKALA 1 : 250



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 1 - 1
dan Section 2 - 2

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
7	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

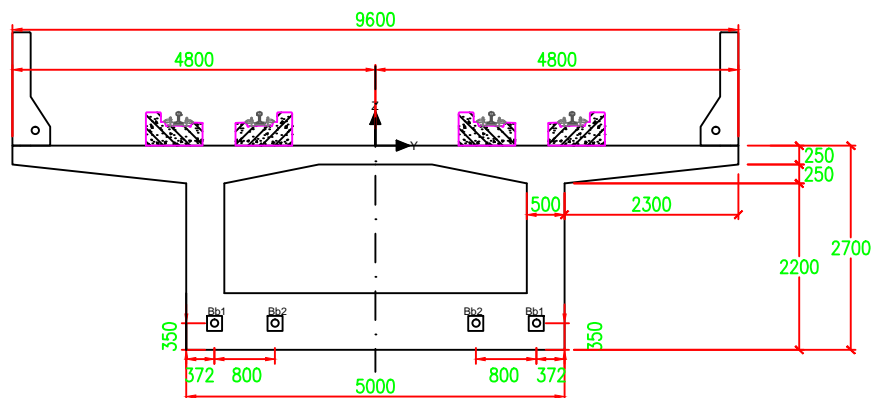
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

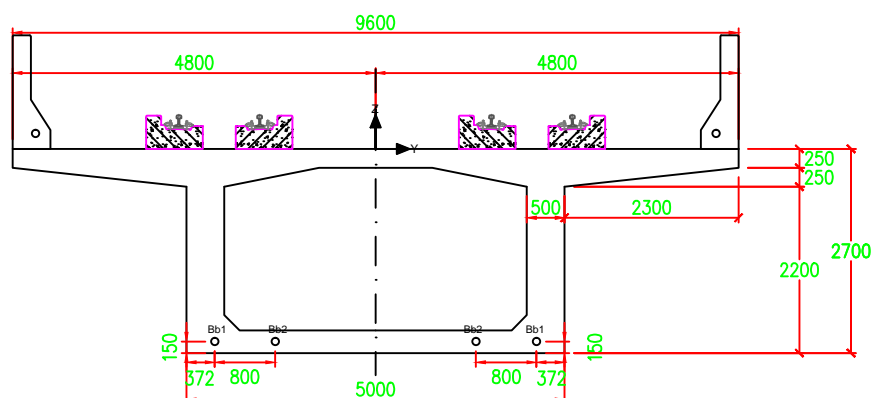
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



SECTION 1 - 1
SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2	
Koor Y	-2350	-2350	-2350	-2350
Koor Z	2127.5	-2127.5	1327.5	-1327.5



SECTION 2 - 2
SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2	
Koor Y	-2550	-2550	-2550	-2550
Koor Z	2127.5	-2127.5	1327.5	-1327.5



Jurusan Teknik Sipil
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 3 - 3
 dan Section 4 - 4

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
8	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

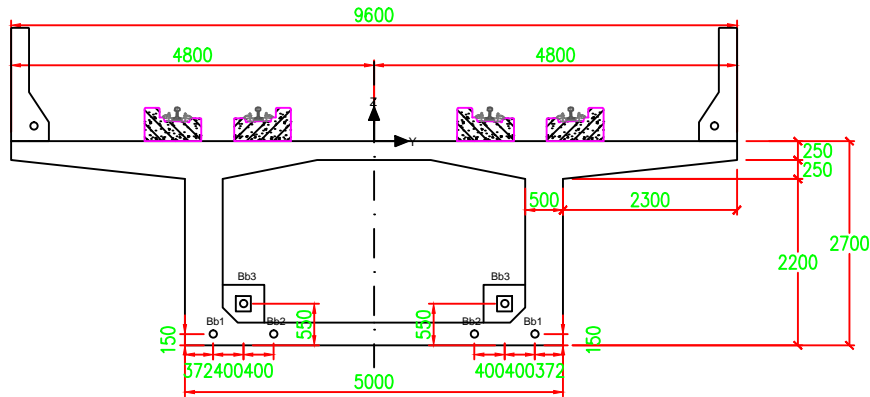
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

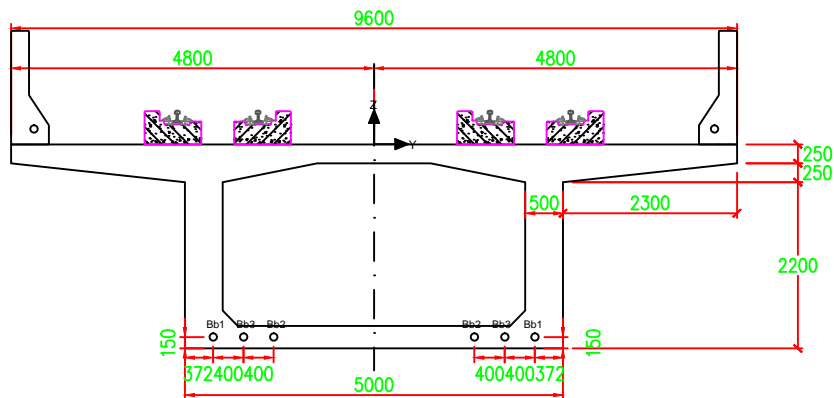
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



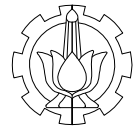
 SECTION 3 - 3
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2		Bb3	
Koor Y	-2550	-2550	-2550	-2550	-2150	-2150
Koor Z	2127.5	-2127.5	1327.5	-1327.5	1727.5	-1727.5



 SECTION 4 - 4
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2		Bb3	
Koor Y	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550
Koor Z	2127.5	-2127.5	1327.5	-1327.5	1727.5	-1727.5



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 5 - 5 dan
 Section 6 - 6

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
9	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

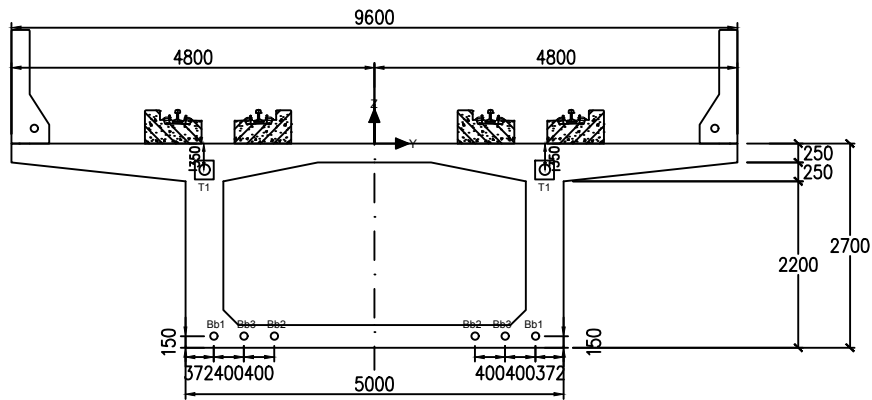
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

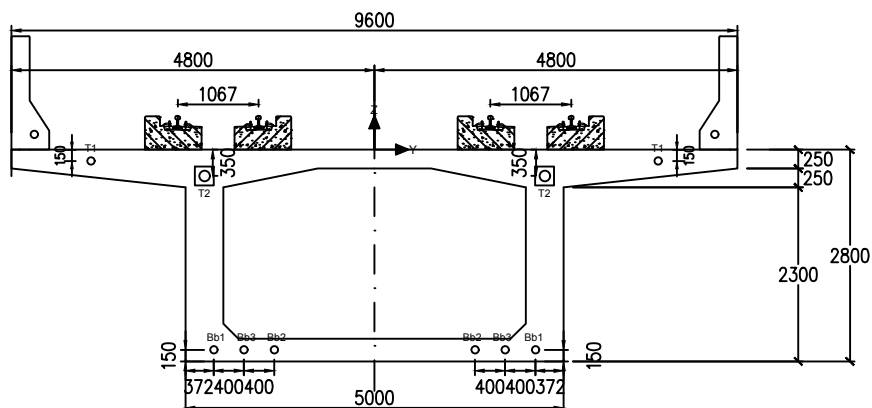
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



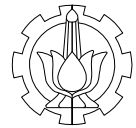
SECTION 5 - 5
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2		Bb3		T1	
Koor Y	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-350	-350
Koor Z	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1727,5	-1727,5	2250	-2250



SECTION 6 - 6
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2		Bb3		T1		T2	
Koor Y	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650	-150	-150	-350	-350
Koor Z	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1727,5	-1727,5	3750	-3750	2250	-2250



Jurusan Teknik Sipil
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 7 - 7 dan
 Section 8 - 8

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
10	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

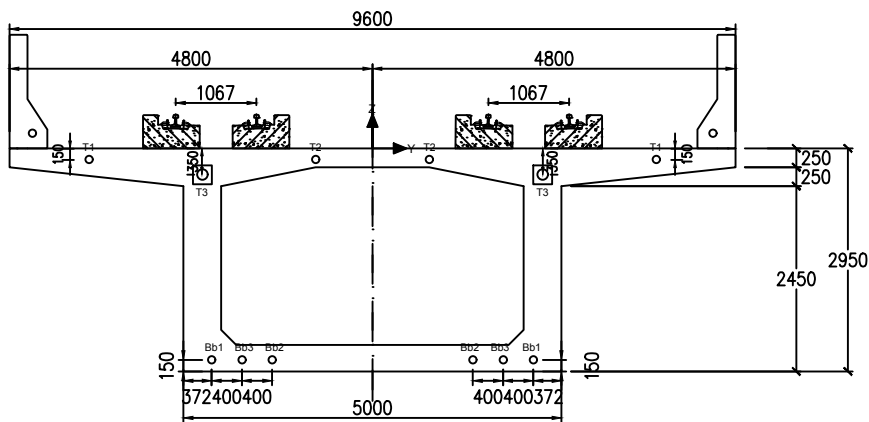
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

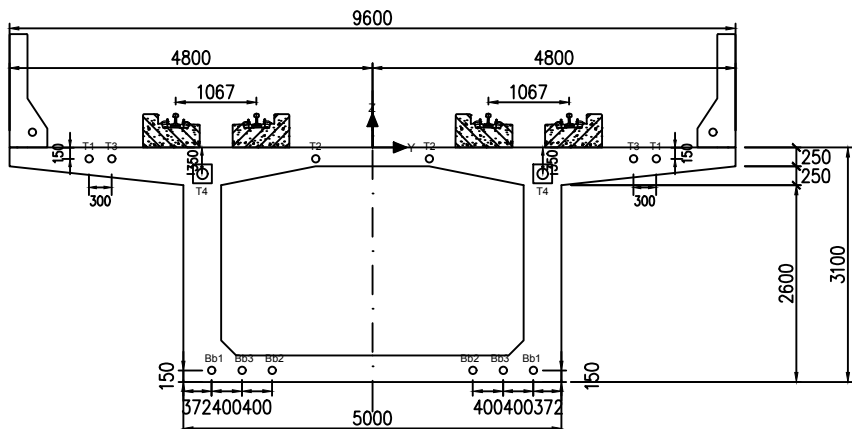
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



 SECTION 7 - 7
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1	Bb2	Bb3	T1	T2	T3
Koor Y	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800
Koor Z	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1727,5	-1727,5



 SECTION 8 - 8
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1	Bb2	Bb3	T1	T2	T3	T4
Koor Y	-2950	-2950	-2950	-2950	-2950	-2950	-2950
Koor Z	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1728	-1728	3750



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 9 - 9 dan
 Section 10 - 10

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

11

36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

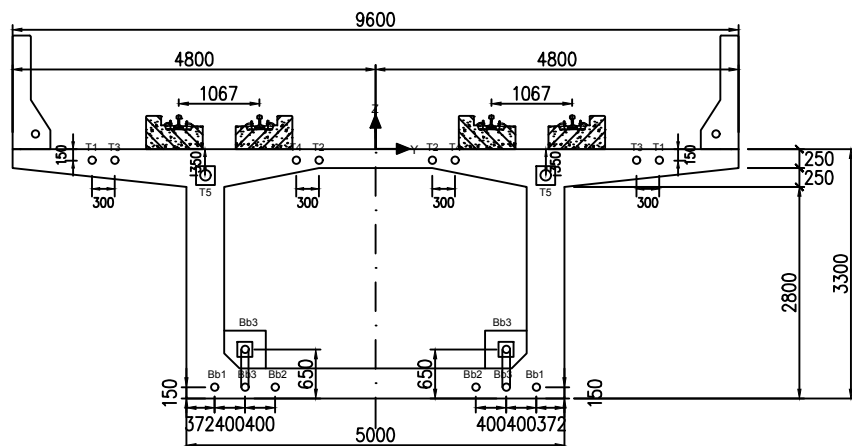
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

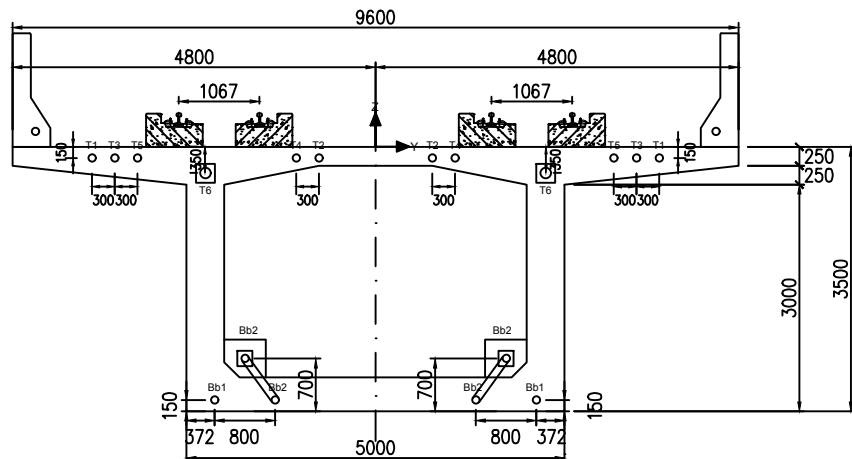
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



SECTION 9 - 9
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2		Bb3		T1		T2		T3	
Koor Y	-3150	-3150	-3150	-3150	-3150	-3150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1727,5	-1727,5	3750	-3750	750	-750	3450	-3450
Tendon	T4		T5									
Koor Y	-150	-150	-350	-350								
Koor Z	1050	-1050	2250	-2250								



SECTION 10 - 10
 SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		Bb2		T1		T2		T3		T4	
Koor Y	-3350	-3350	-3350	-3350	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050
Tendon	T5		T6									
Koor Y	-150	-150	-350	-350								
Koor Z	3150	-3150	2250	-2250								



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 11 - 11 dan
Section 12 - 12

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
12	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

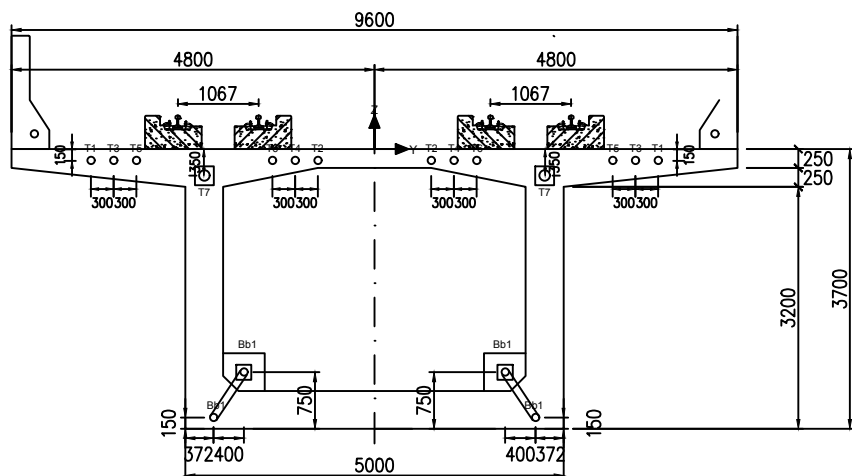
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

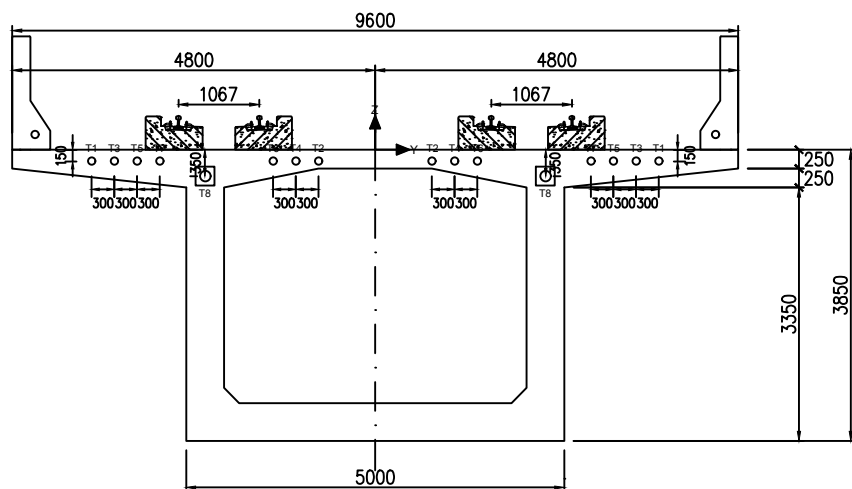
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



 SECTION 11 - 11
SKALA 1 : 100

Tendon	Bb1		T1		T2		T3		T4		T5	
Koor Y	-3550	-3550	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	2127,5	-2127,5	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150
Tendon	T6		T7									
Koor Y	-150	-150	-350	-350								
Koor Z	1350	-1350	2250	-2250								



 SECTION 12 - 12
SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350
Tendon	T7		T8									
Koor Y	-150	-150	-350	-350								
Koor Z	2850	-2850	2250	-2250								



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 13 - 13 dan
Section 14 - 14

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
13	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

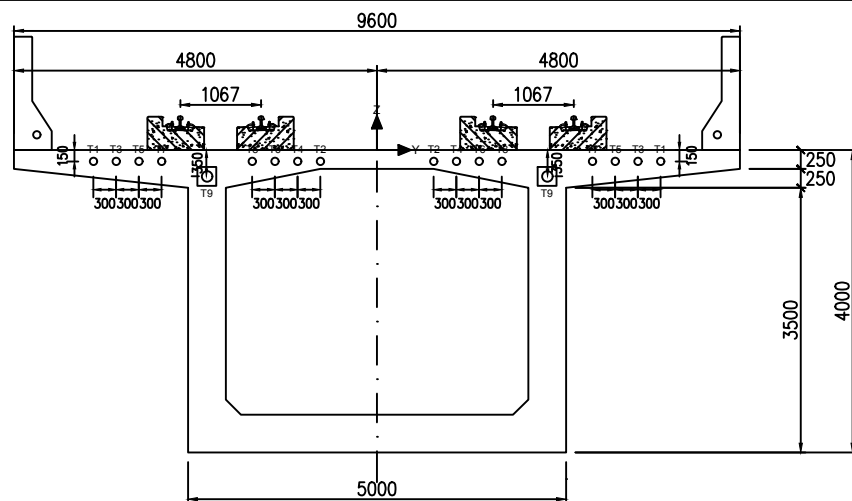
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

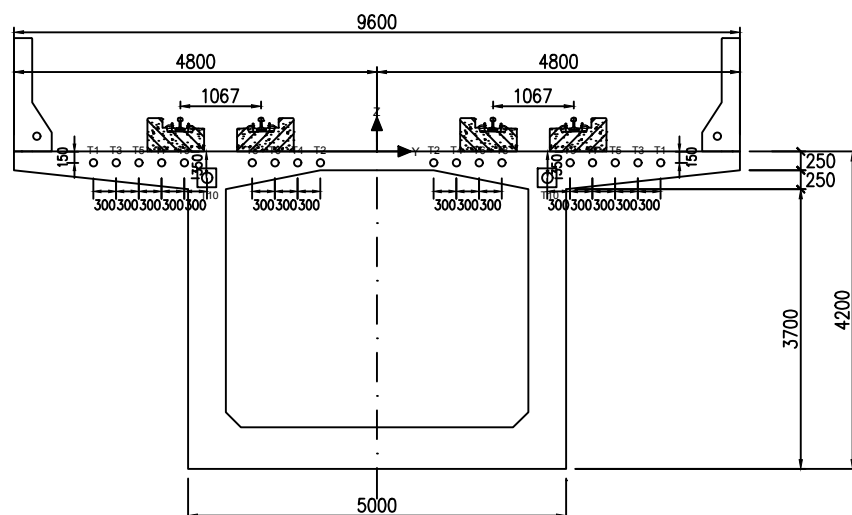
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



SECTION 13 - 13
SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

Tendon	T8		T9	
Koor Y	-150	-150	-350	-350
Koor Z	1650	-1650	2250	-2250



SECTION 14 - 14
SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

Tendon	T8		T9		T10	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-350	-350
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	2250	-2250



Jurusan Teknik Sipil
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 15 - 15 dan
 Section 16 - 16

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

14	36
----	----

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

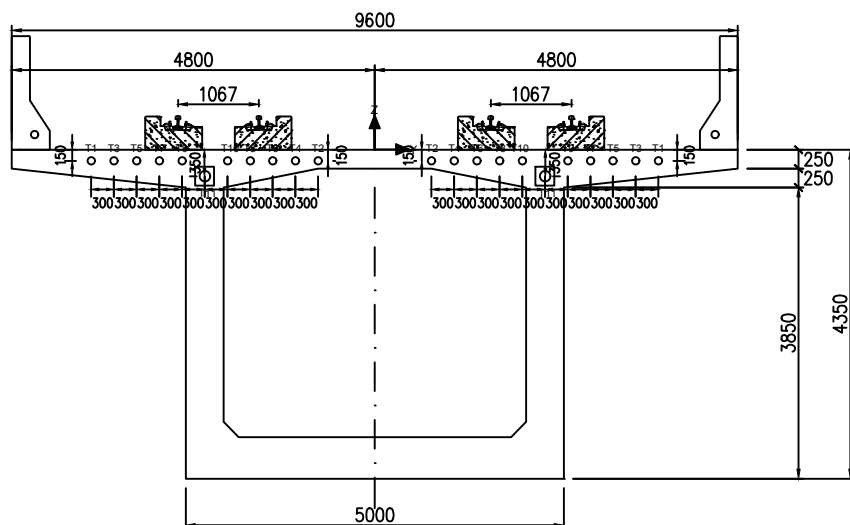
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

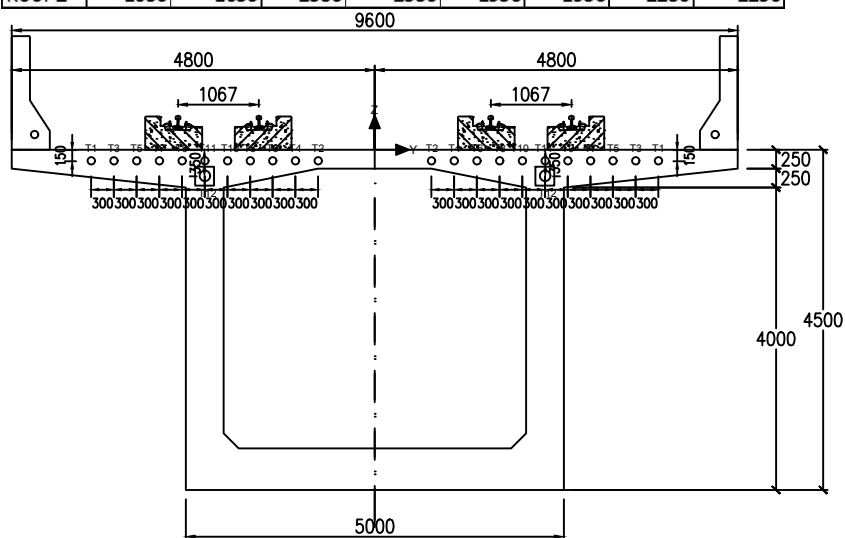
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



 SECTION 15 - 15
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

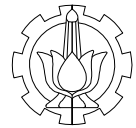
Tendon	T8		T9		T10		T11	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	1950	-1950	2250	-2250



 SECTION 16 - 16
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

Tendon	T8		T9		T10		T11		T12	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	1950	-1950	2250	-2250	2250	-2250



Jurusan Teknik Sipil
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 17 - 17 dan
 Section 18 - 18

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
15	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

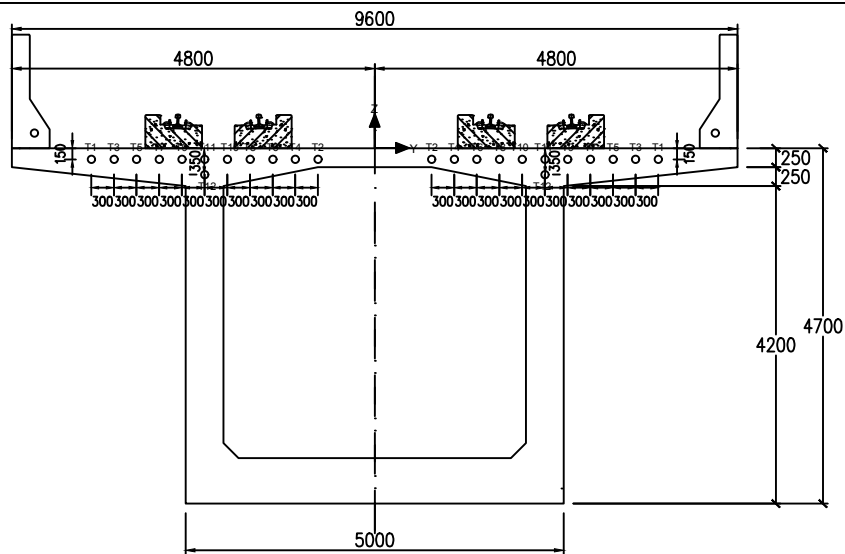
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

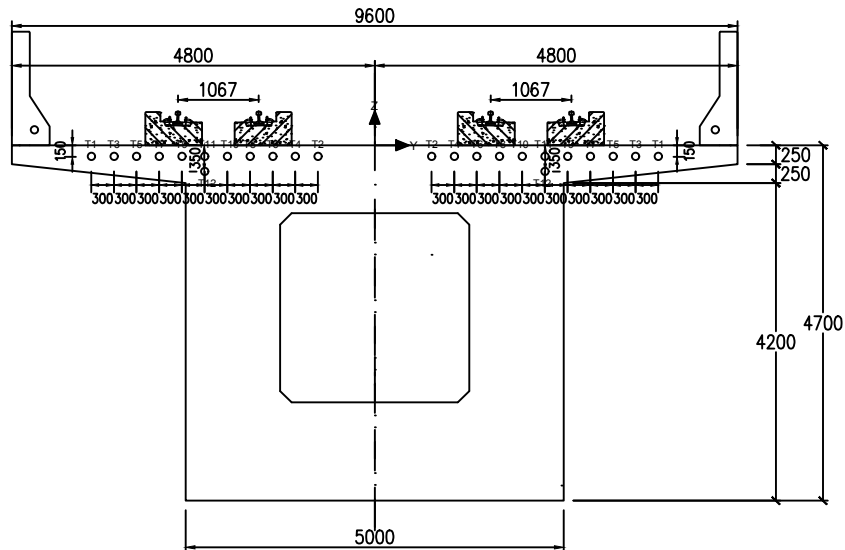
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



SECTION 17 - 17
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850
Tendon	T8		T9		T10		T11		T12					
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350				
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	1950	-1950	2250	-2250	2250	-2250				



SECTION 18 - 18
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850
Tendon	T8		T9		T10		T11		T12					
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350				
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	1950	-1950	2250	-2250	2250	-2250				



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 19 - 19 dan
 Section 20 - 20

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

16

36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

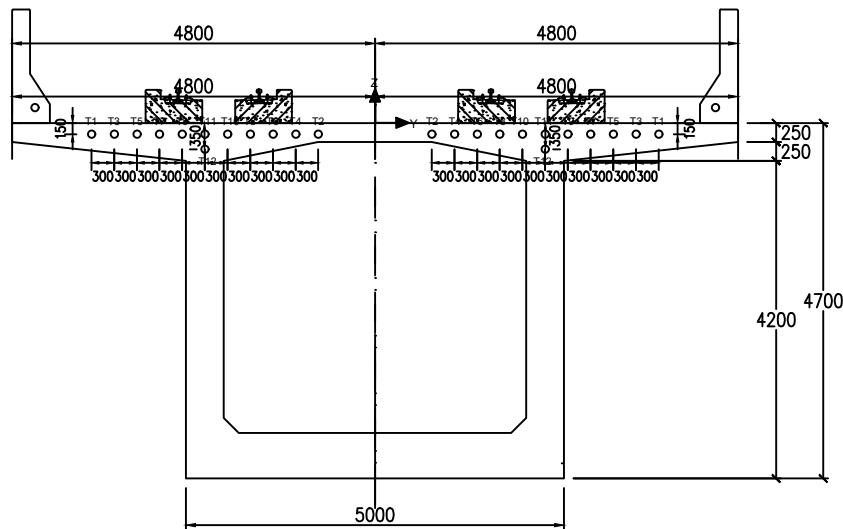
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

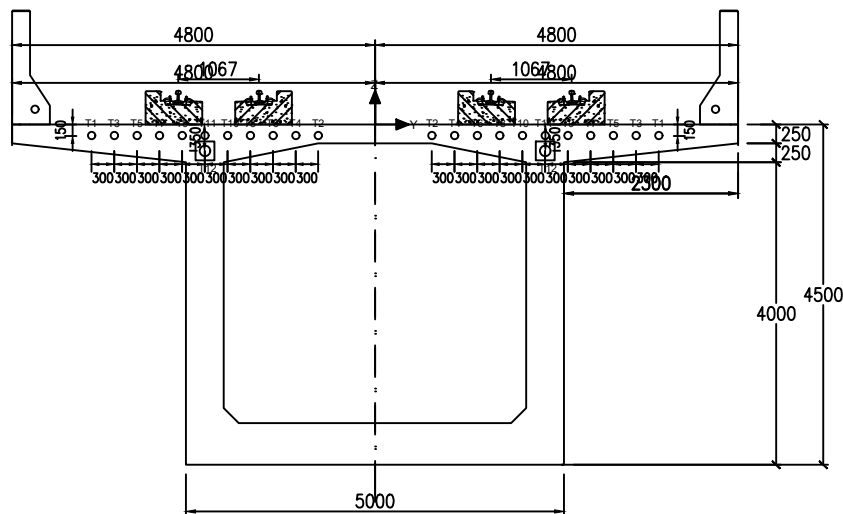
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



 SECTION 19 - 19
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050
Koor Z	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

Tendon	T8	T9	T10	T11	T12
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-350
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	1950
Koor Z	-1950	2250	-2250	2250	-2250



 SECTION 20 - 20
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050
Koor Z	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

Tendon	T8	T9	T10	T11	T12
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-350
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	1950
Koor Z	-1950	2250	-2250	2250	-2250



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 21 - 21 dan
 Section 22 - 22

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

17	36
----	----

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

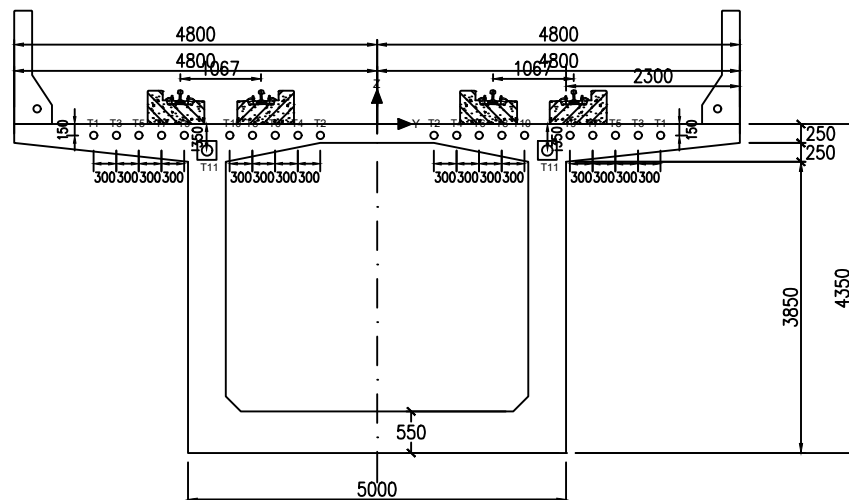
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

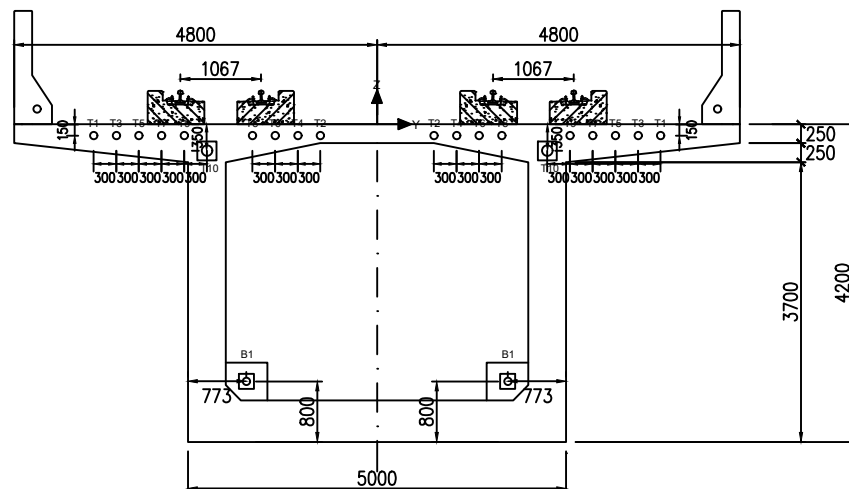
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



SECTION 21 - 21
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

Tendon	T8		T9		T10		T11	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	1950	-1950	2250	-2250



SECTION 22 - 22
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2850	-2850

Tendon	T8		T9		T10		B1	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-350	-350	-3400	-3400
Koor Z	1650	-1650	2550	-2550	2250	-2250	1727,5	-1727,5



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 23 - 23 dan
Koordinat Tendon Section 24 - 24

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
18	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

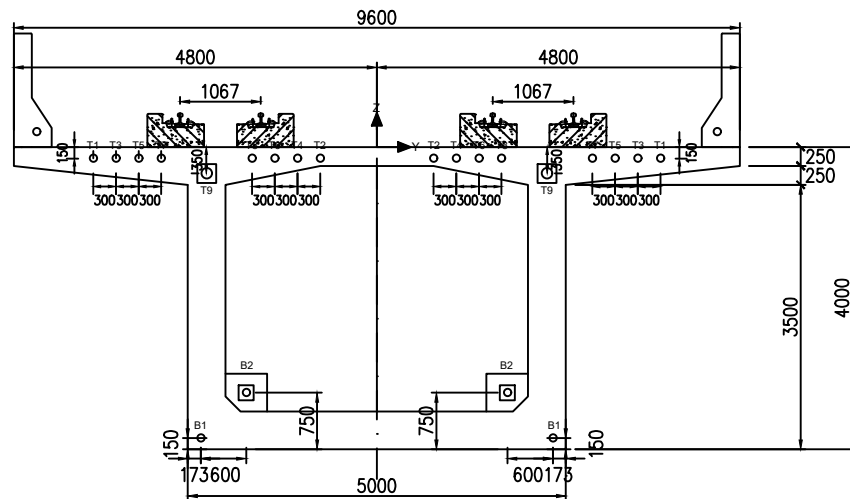
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

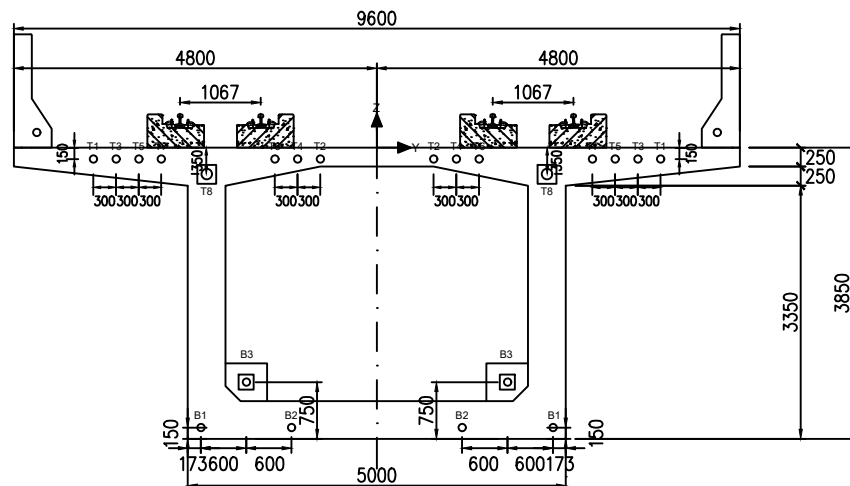
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



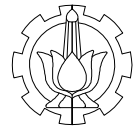
 SECTION 23 - 23
SKALA 1 : 100

Tendon	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050
Tendon	T8	T9	B1	B2			
Koor Y	-150	-150	-350	-350	-3850	-3850	-3250
Koor Z	1650	-1650	2250	-2250	2327,5	-2327,5	1727,5



 SECTION 24 - 24
SKALA 1 : 100

Tendon	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050
Tendon	T8	B1	B2	B3			
Koor Y	-350	-350	-3700	-3700	-3700	-3700	-3100
Koor Z	2250	-2250	2327,5	-2327,5	1127,5	-1127,5	1727,5



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 25 - 25 dan
Koordinat Tendon Section 26 - 26

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

19

36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

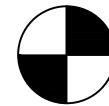
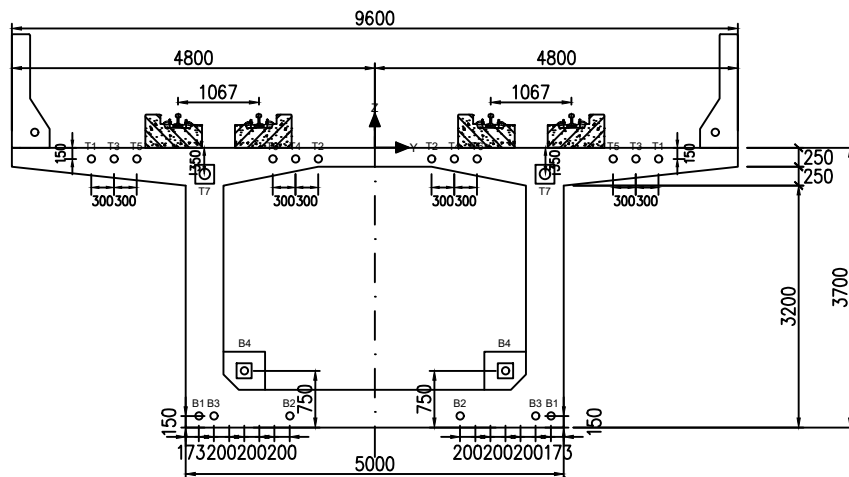
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

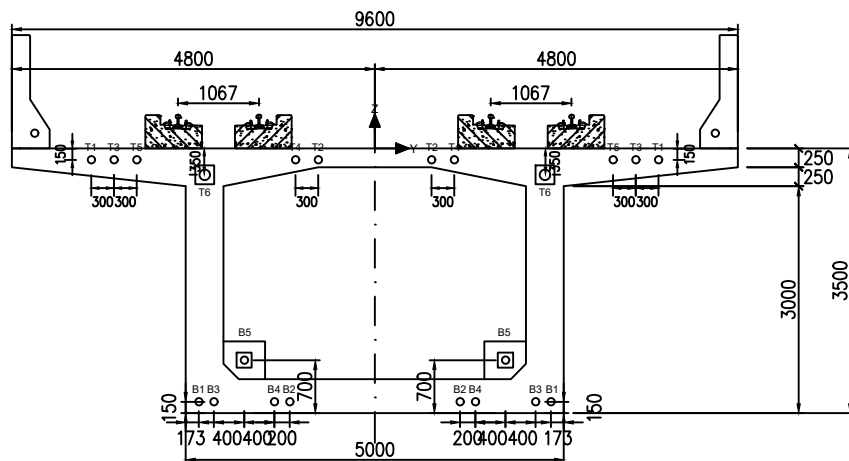
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



SECTION 25 - 25

SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	1350	-1350	2250	-2250
Tendon	B1		B2		B3		B4							
Koor Y	-3550	-3550	-3550	-3550	-3550	-3550	-2950	-2950						
Koor Z	2327,5	-2327,5	1127,5	-1127,5	2127,5	-2127,5	1727,5	-1727,5						



SECTION 26 - 26

SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		T6			
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350		
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	3150	-3150	2250	-2250		
Tendon	B1		B2		B3		B4		B5					
Koor Y	-3350	-3350	-3350	-3350	-3350	-3350	-3350	-3350	-2800	-2800				
Koor Z	2327,5	-2327,5	1127,5	-1127,5	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1727,5	-1727,5				



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
 Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
 Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
 Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 27 - 27 dan
 Koordinat Tendon Section 28 - 28

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

20	36
----	----

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

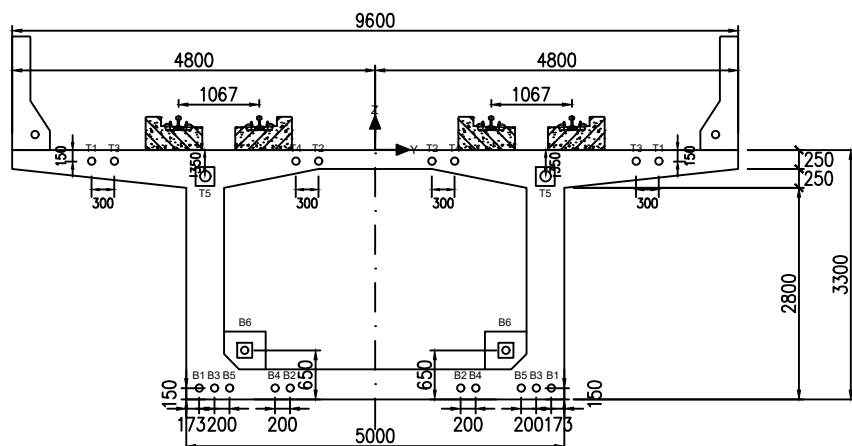
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

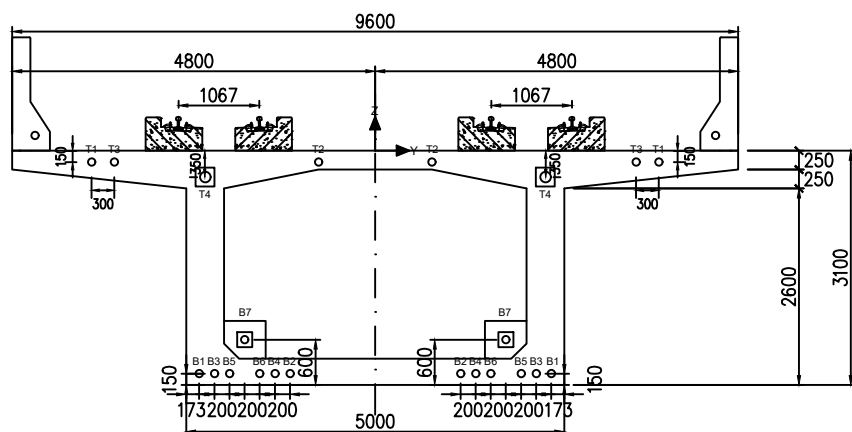
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
 3113 100 077



SECTION 27 - 27
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		T5		B1	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350	-3150	-3150
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	1050	-1050	2250	-2250	2327,5	-2327,5
Tendon	B2		B3		B4		B5		B6			
Koor Y	-3150	-3150	-3150	-3150	-3150	-3150	-3150	-3150	-2650	-2650		
Koor Z	1127,5	-1127,5	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1927,5	-1927,5	1727,5	-1727,5		



SECTION 28 - 28
 SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		T4		B1		B2	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-350	-350	-2950	-2950	-2950	-2950
Koor Z	3750	-3750	750	-750	3450	-3450	2250	-2250	2327,5	-2327,5	1127,5	-1127,5
Tendon	B3		B4		B5		B6		B7			
Koor Y	-2950	-2950	-2950	-2950	-2950	-2950	-2950	-2950	-2500	-2500		
Koor Z	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5	1927,5	-1927,5	1527,5	-1527,5	1727,5	-1727,5		



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 29 - 29 dan
Koordinat Tendon Section 30 - 30

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

21	36
----	----

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

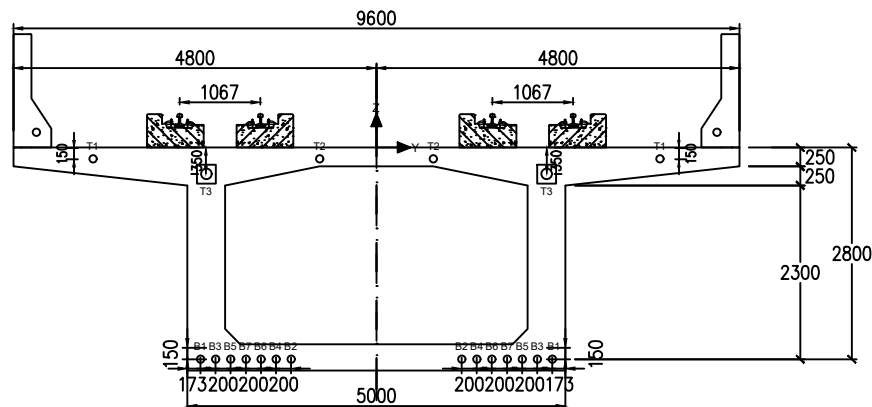
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

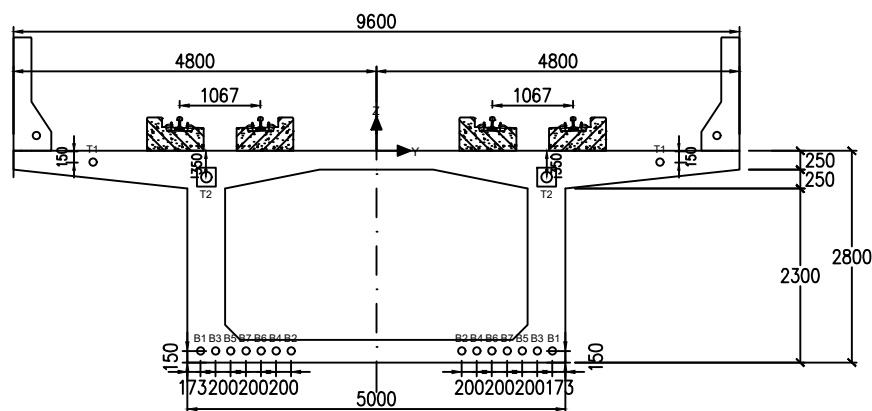
NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



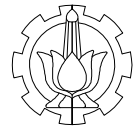
 SECTION 29 - 29
SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		T3		B1		B2		B3	
Koor Y	-150	-150	-150	-150	-350	-350	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800
Koor Z	3750	-3750	750	-750	2250	-2250	2327,5	-2327,5	1127,5	-1127,5	2127,5	-2127,5
Tendon	B4		B5		B6		B7					
Koor Y	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800	-2800				
Koor Z	1327,5	-1327,5	1927,5	-1927,5	1527,5	-1527,5	1727,5	-1727,5				



 SECTION 30 - 30
SKALA 1 : 100

Tendon	T1		T2		B1		B2		B3		B4	
Koor Y	-150	-150	-350	-350	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650
Koor Z	3750	-3750	2250	-2250	2327,5	-2327,5	1127,5	-1127,5	2127,5	-2127,5	1327,5	-1327,5
Tendon	B5		B6		B7							
Koor Y	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650	-2650						
Koor Z	1927,5	-1927,5	1527,5	-1527,5	1727,5	-1727,5						



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Koordinat Tendon Section 31 - 31

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

22

36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

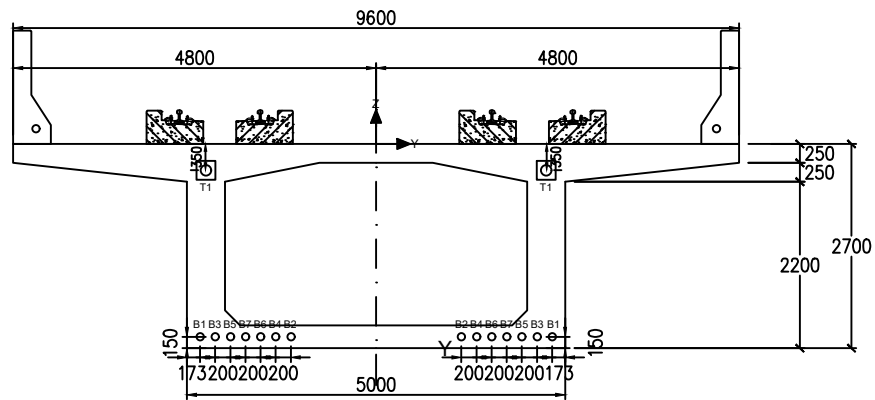
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



SECTION 31 - 31
SKALA 1 : 100

Tendon	T1		B1		B2		B3		B4		B5	
Koor Y	-350	-350	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550	-2550
Koor Z	2250	-2250	2327.5	-2327.5	1127.5	-1127.5	2127.5	-2127.5	1327.5	-1327.5	1927.5	-1927.5
Tendon	B6		B7									
Koor Y	-2550	-2550	-2550	-2550								
Koor Z	1527.5	-1527.5	1727.5	-1727.5								



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Dimensi Section 18 - 21

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
23	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

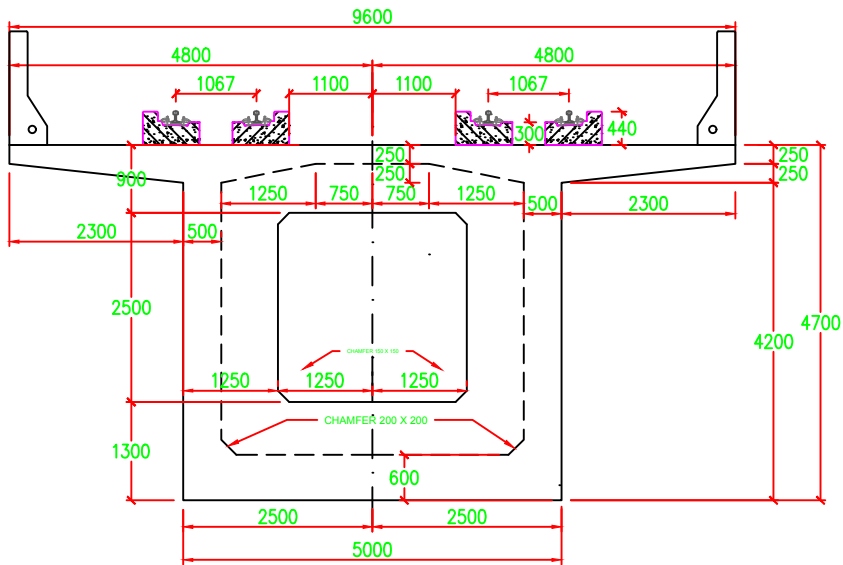
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

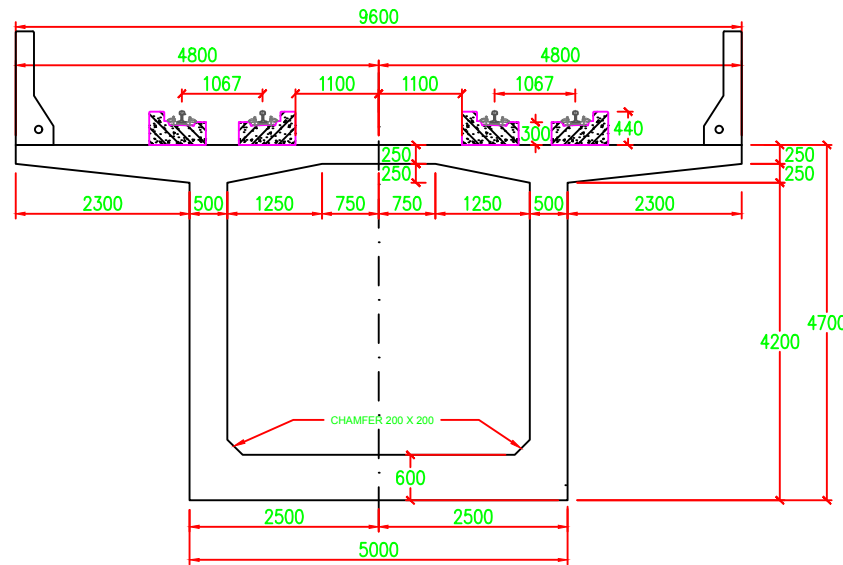
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

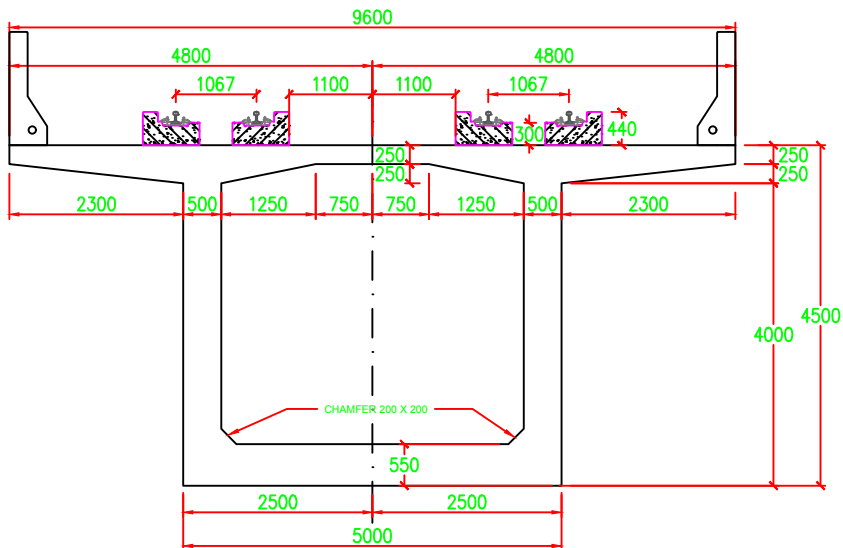
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



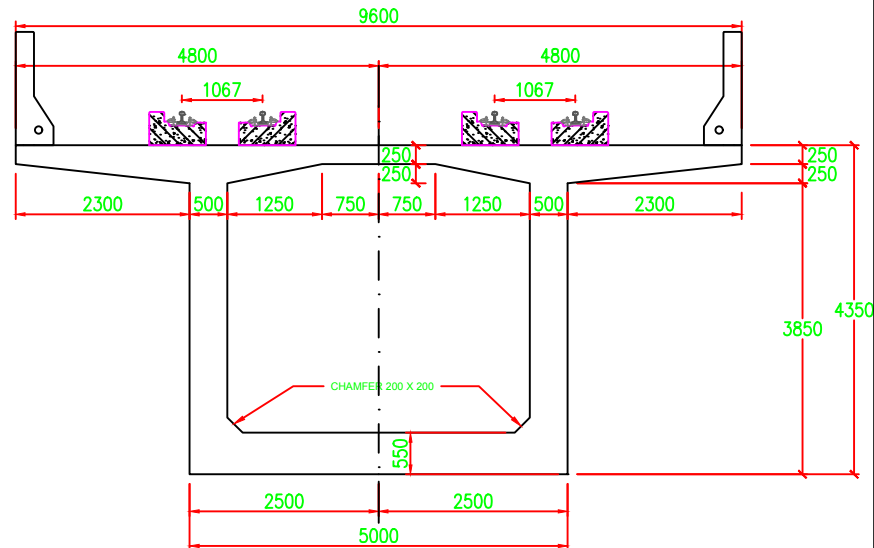
SECTION 18 - 18
SKALA 1:100



SECTION 19 - 19
SKALA 1:100



SECTION 20 - 20
SKALA 1:100



SECTION 21 - 21
SKALA 1:100



KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Dimensi Section 22 - 25

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
24	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

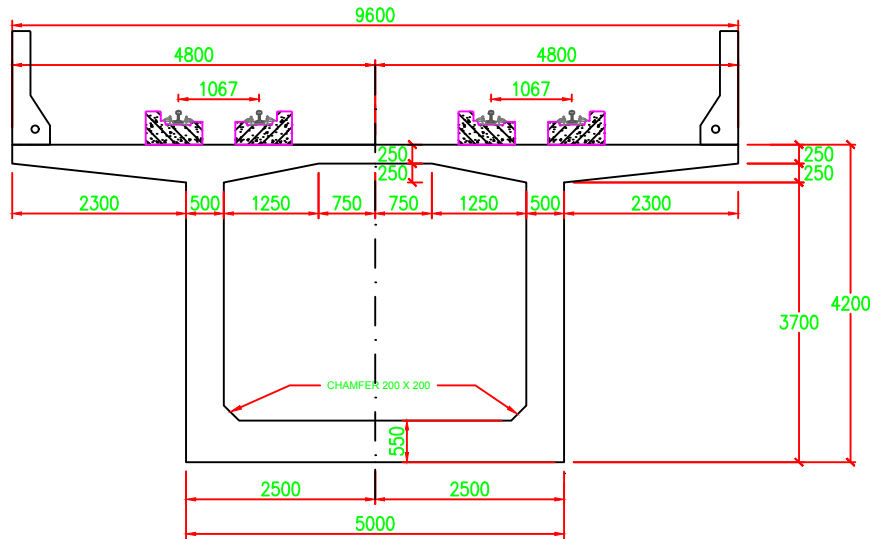
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

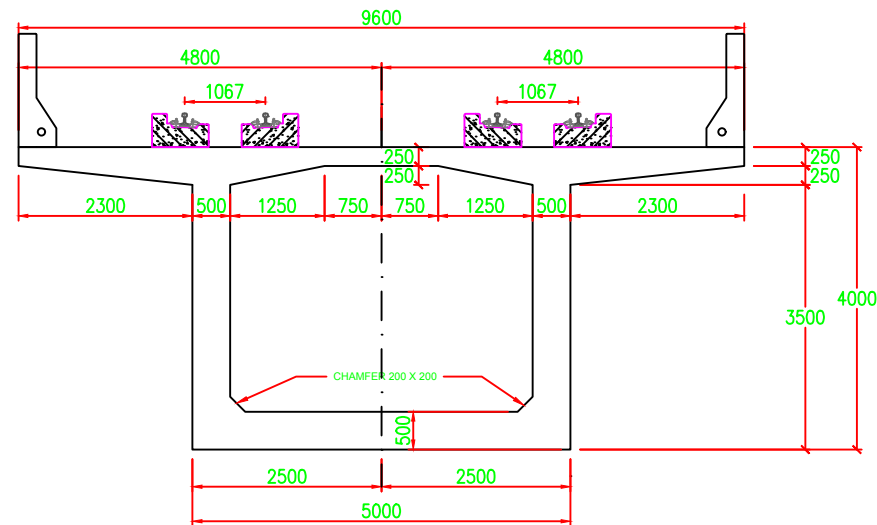
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

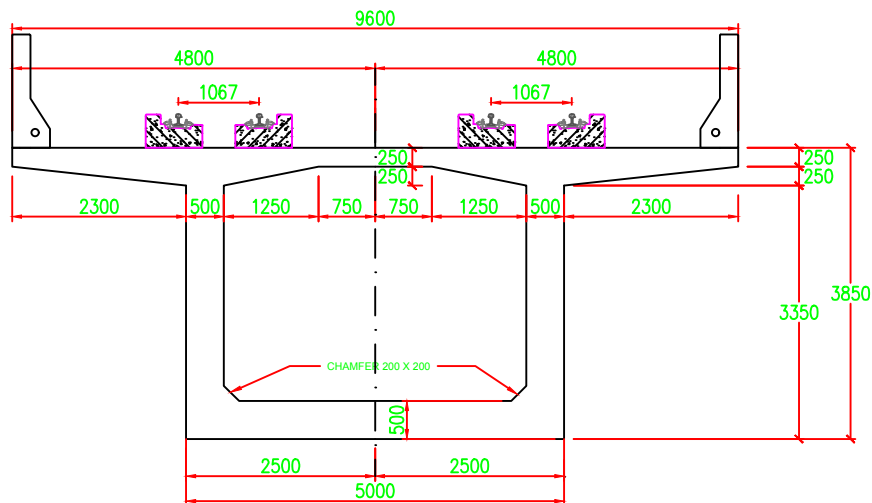
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



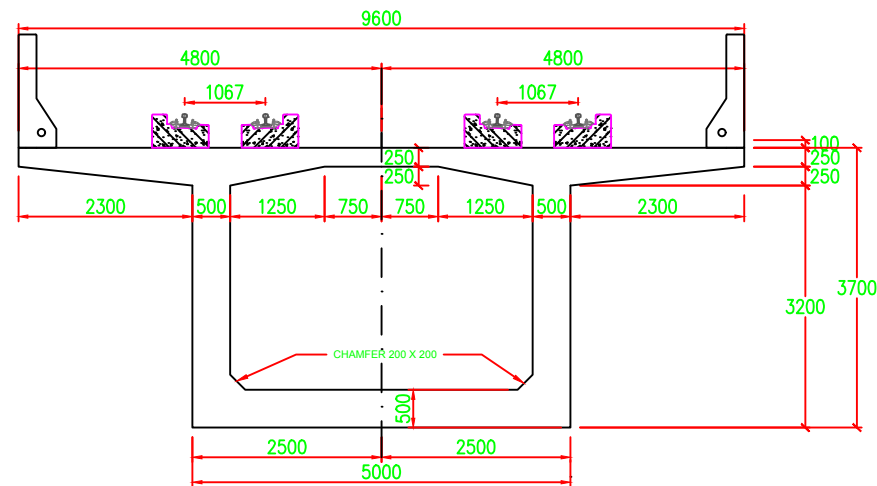
SECTION 22 - 22
SKALA 1:100



SECTION 23 - 23
SKALA 1:100



SECTION 24 - 24
SKALA 1:100



SECTION 25 - 25
SKALA 1:100



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Dimensi Section 26 - 29

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
25	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

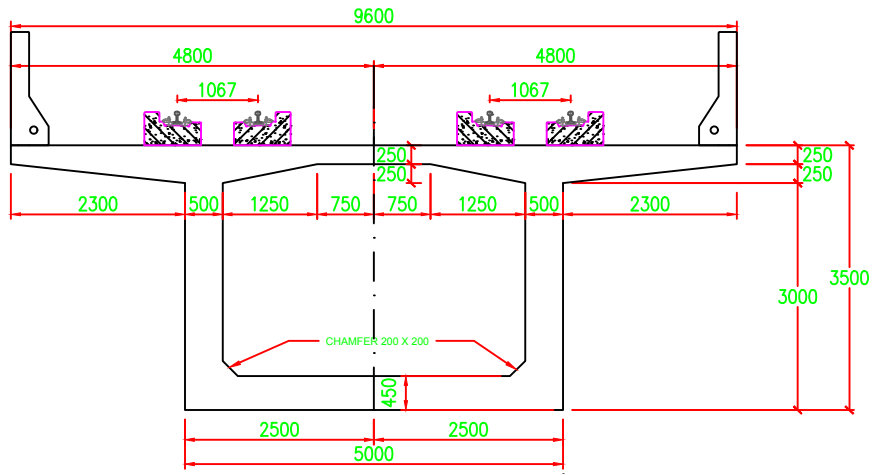
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

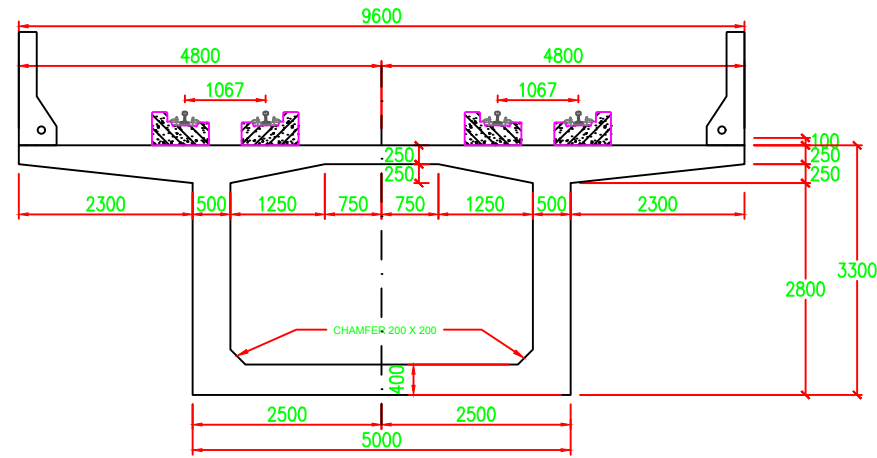
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

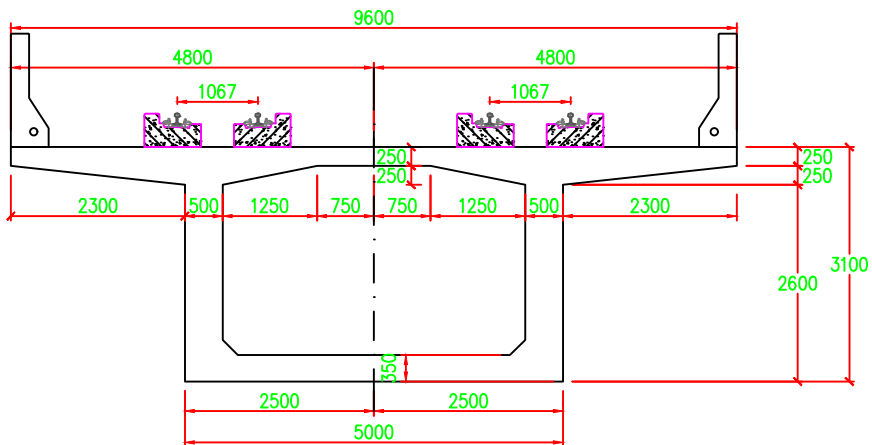
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



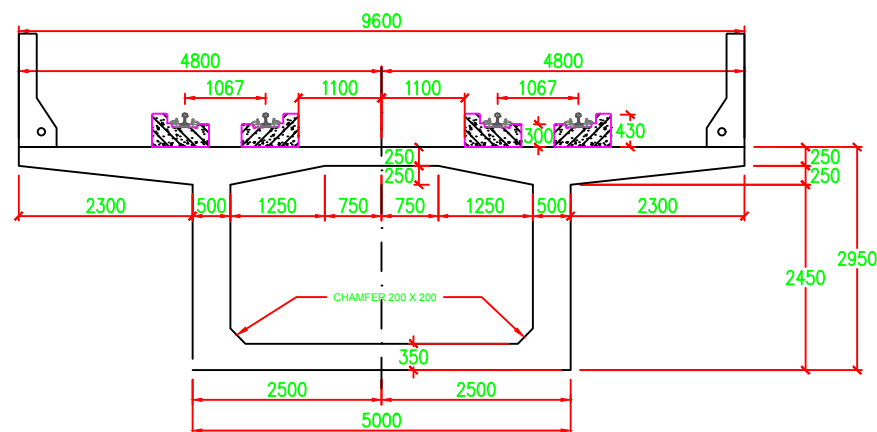
SECTION 26 - 26
SKALA 1:100



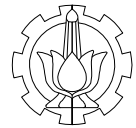
SECTION 27 - 27
SKALA 1:100



SECTION 28 - 28
SKALA 1:100



SECTION 29 - 29
SKALA 1:100



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Dimensi Section 30 - 31

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
26	36

SKALA

1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

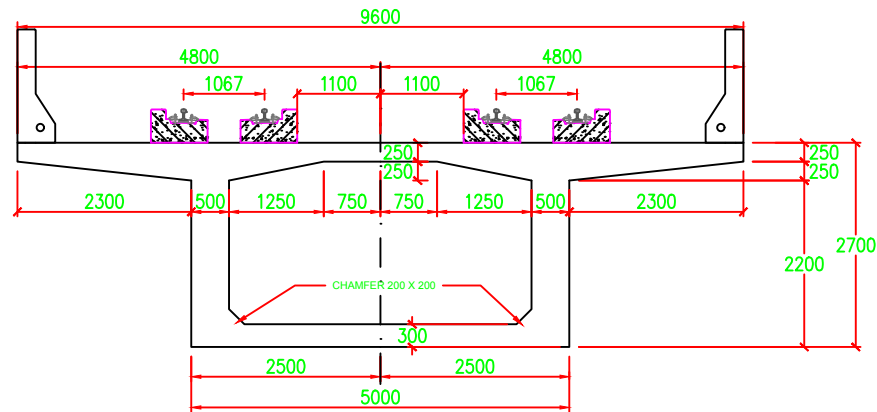
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

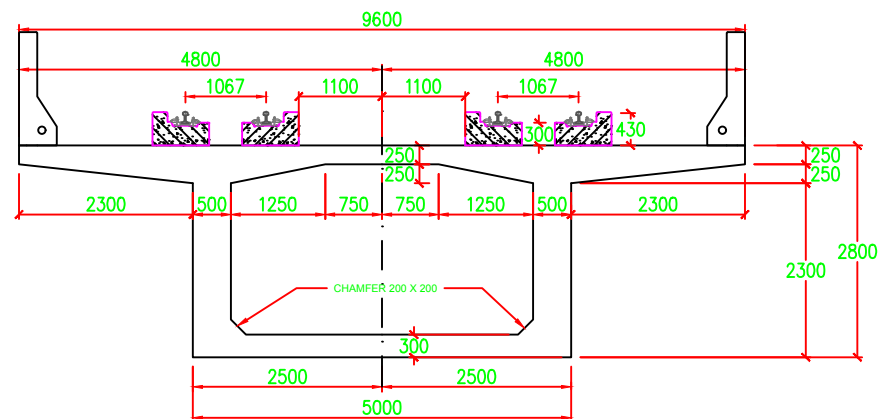
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



SECTION 30 - 30
SKALA 1:100



SECTION 31 - 31
SKALA 1:100



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Penulangan Box Girder (Tipikal)

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
27	36

SKALA

1 : 75

DOSEN PEMBIMBING 1

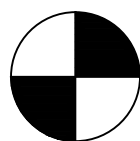
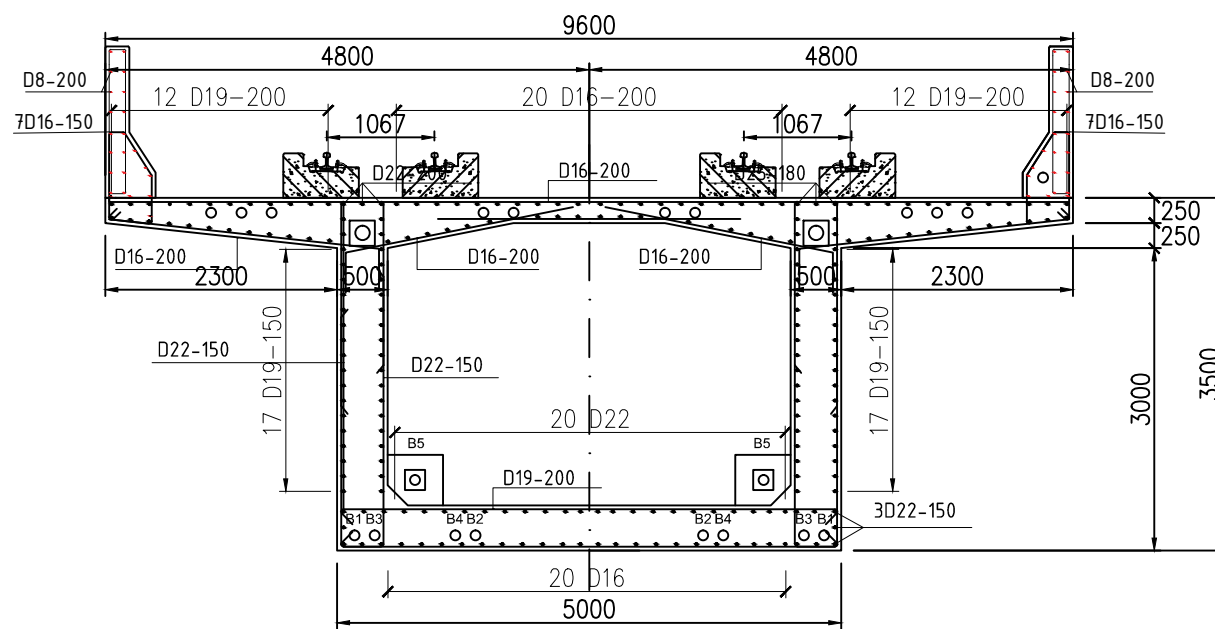
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



Penulangan Box Girder (Tipikal)

SKALA 1 : 75



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Detail Penulangan Angkur dan Parapet

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
28	36

SKALA

1 : 50

DOSEN PEMBIMBING 1

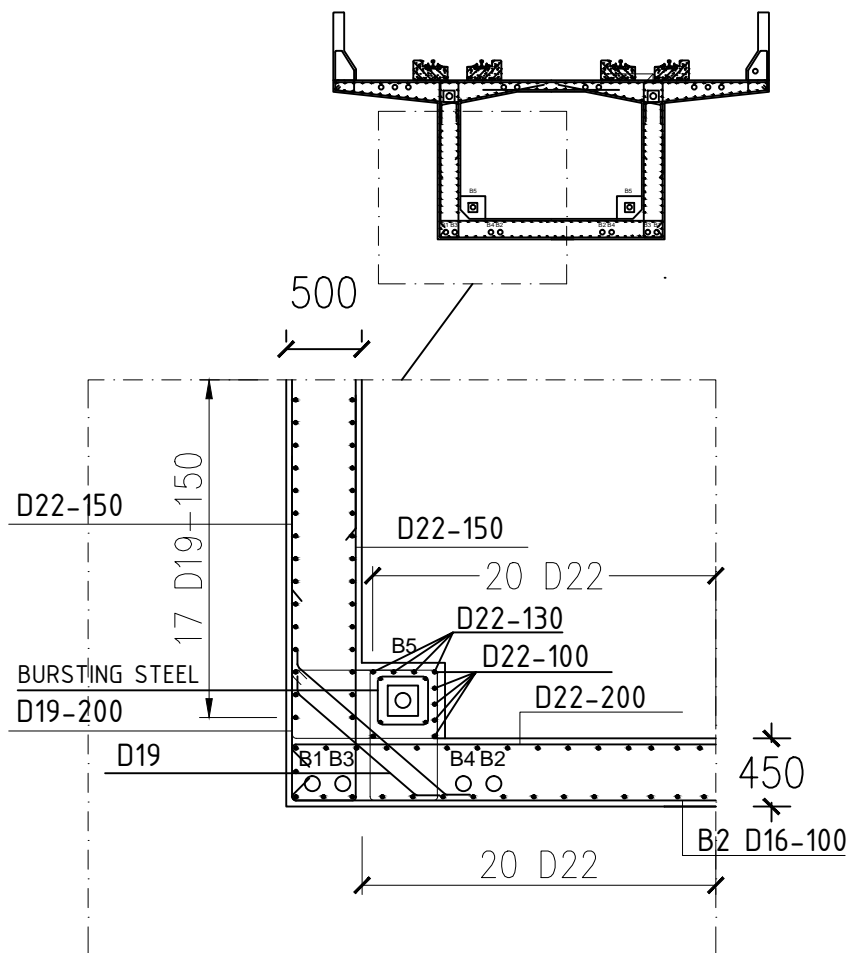
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

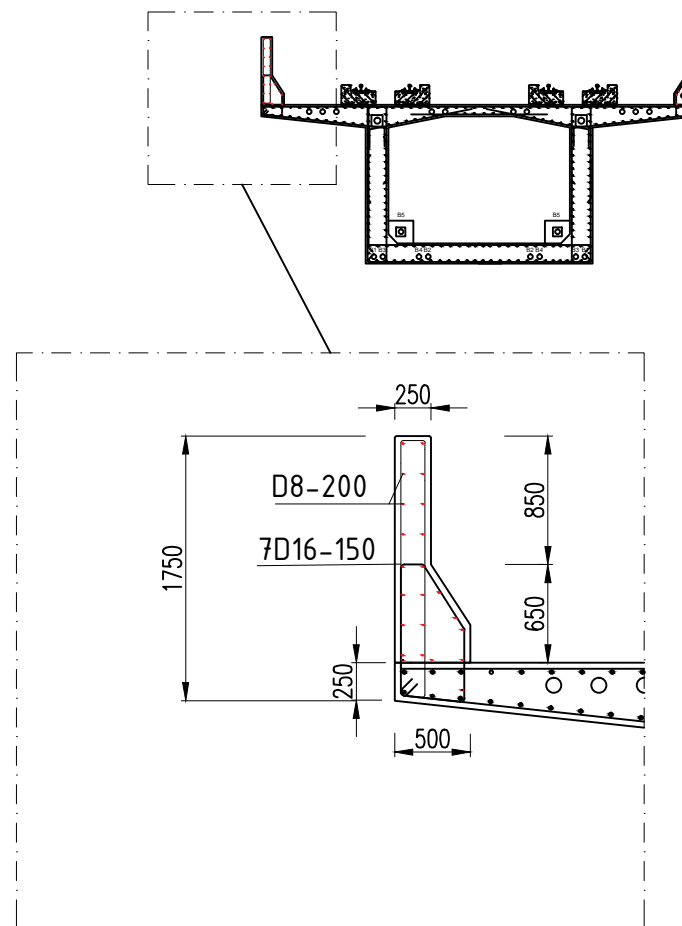
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



PENULANGAN ANGKUR
SKALA 1 : 50



PENULANGAN PARAPET
SKALA 1 : 50



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Pemasangan Segmen S0 - S3

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
29	36

SKALA

1 : 900

DOSEN PEMBIMBING 1

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



PEMASANGAN SEGMENT S0 DAN S1
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S2
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S3
SKALA 1 : 900



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Pemasangan Segmen S4 - S6

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
30	36

SKALA

1 : 900

DOSEN PEMBIMBING 1

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



PEMASANGAN SEGMENT S4
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S5
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S6
SKALA 1 : 900



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Pemasangan Segmen S7 - S9

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
31	36

SKALA

1 : 900

DOSEN PEMBIMBING 1

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

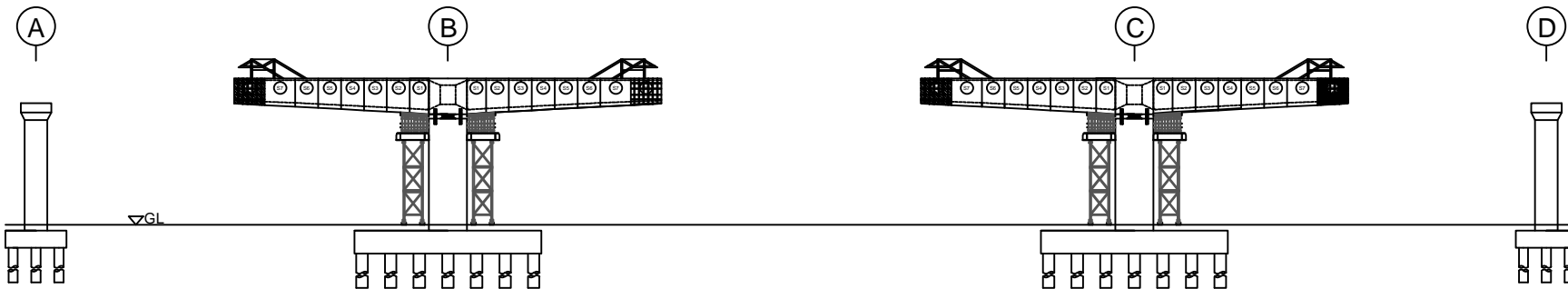
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

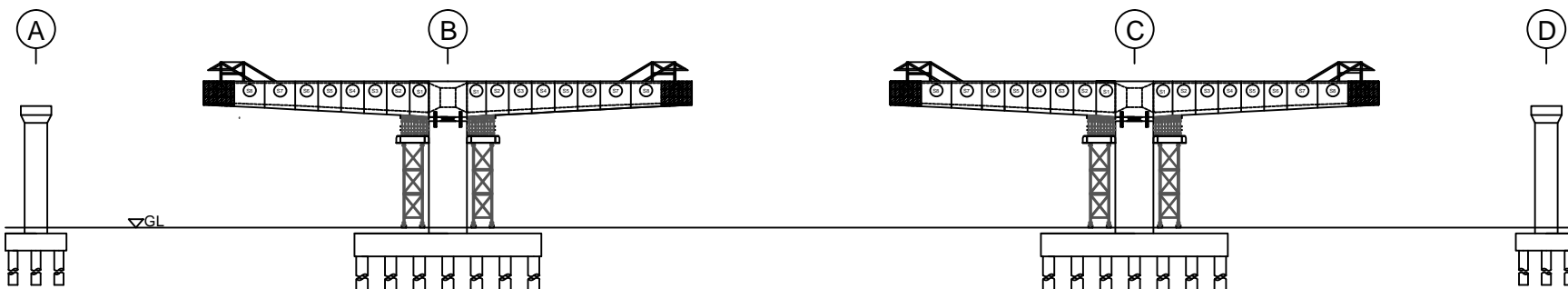
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



PEMASANGAN SEGMENT S7
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S8
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S9
SKALA 1 : 900



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Pemasangan Segmen S10 - S12

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

32

36

SKALA

1 : 900

DOSEN PEMBIMBING 1

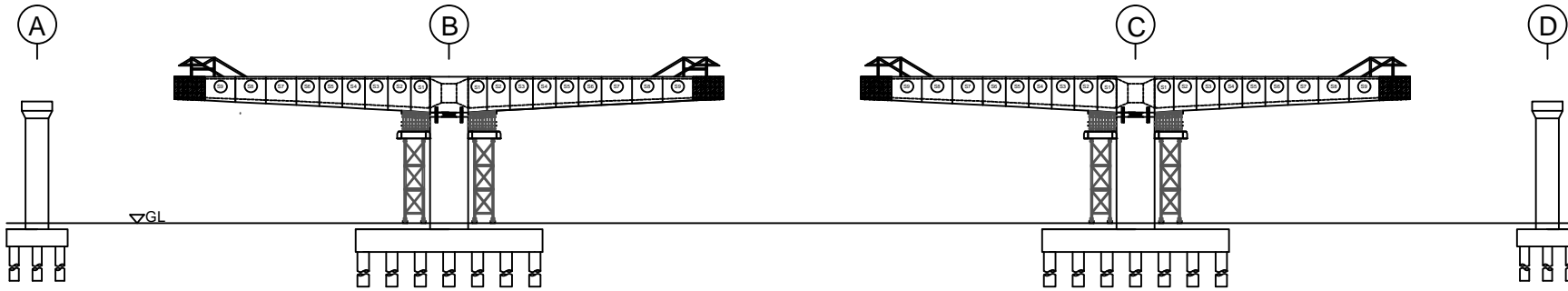
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

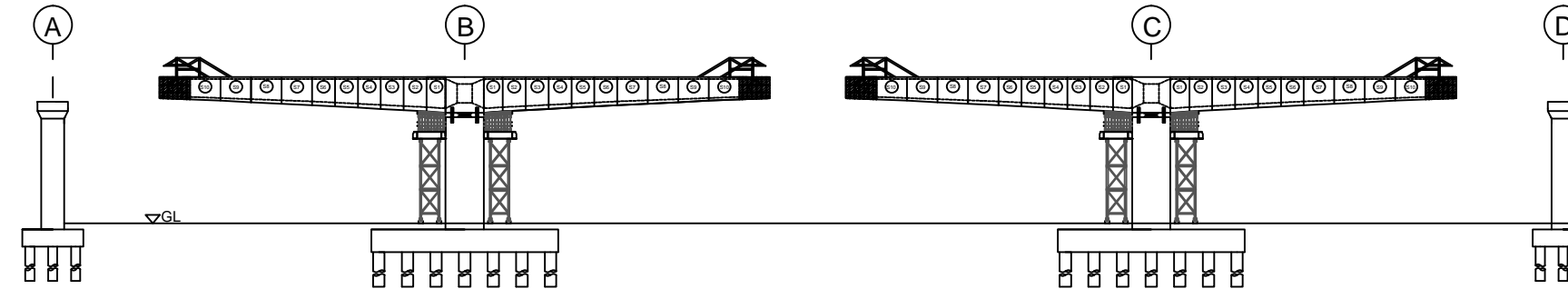
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

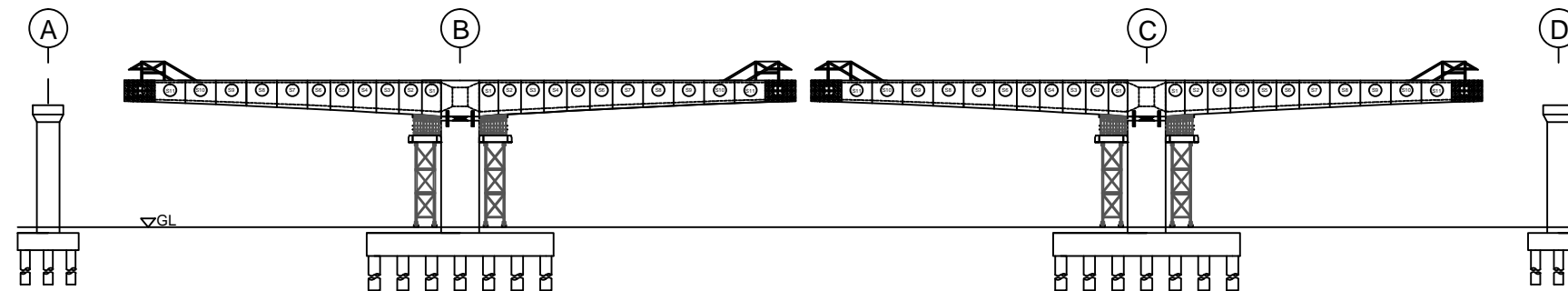
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



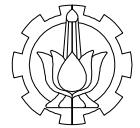
PEMASANGAN SEGMENT S10
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S11
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S12
SKALA 1 : 900



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Pemasangan Closure dan Segmen S13 - S15

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

33	36
----	----

SKALA

1 : 900

DOSEN PEMBIMBING 1

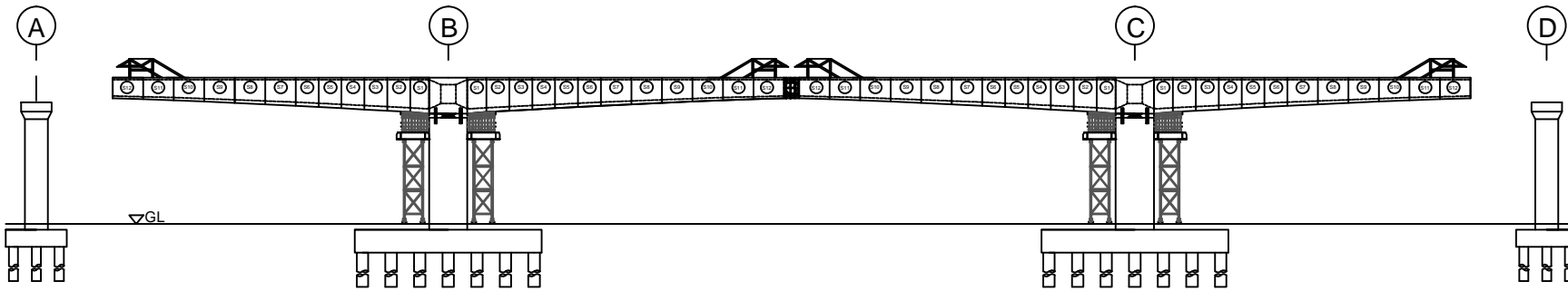
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

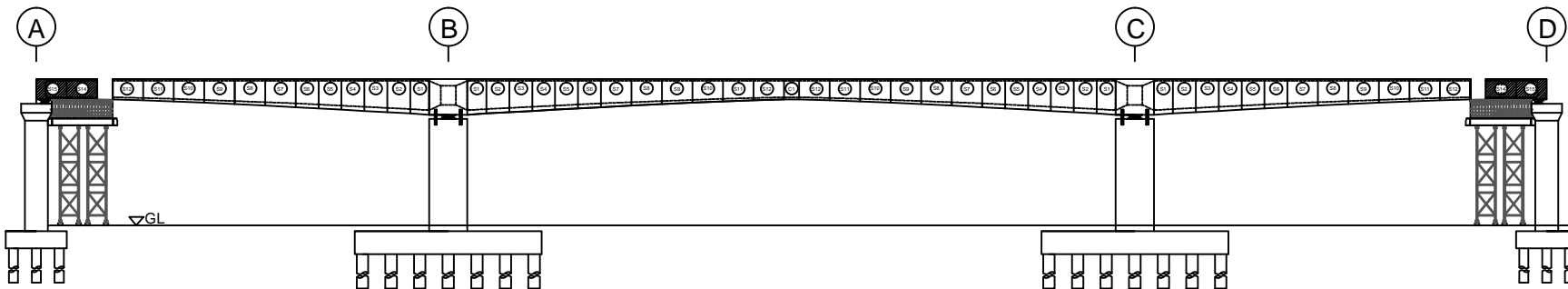
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

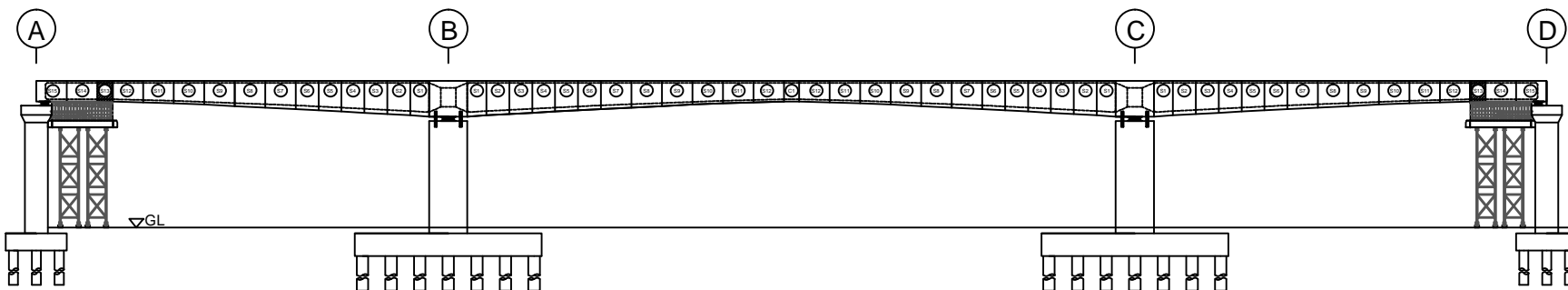
Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



PEMASANGAN CENTRE CLOSURE
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN SEGMENT S13 S14
SKALA 1 : 900



PEMASANGAN END CLOSURE
SKALA 1 : 900



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

Detail Pemasangan Segmen

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
34	36

SKALA

1 : 900

DOSEN PEMBIMBING 1

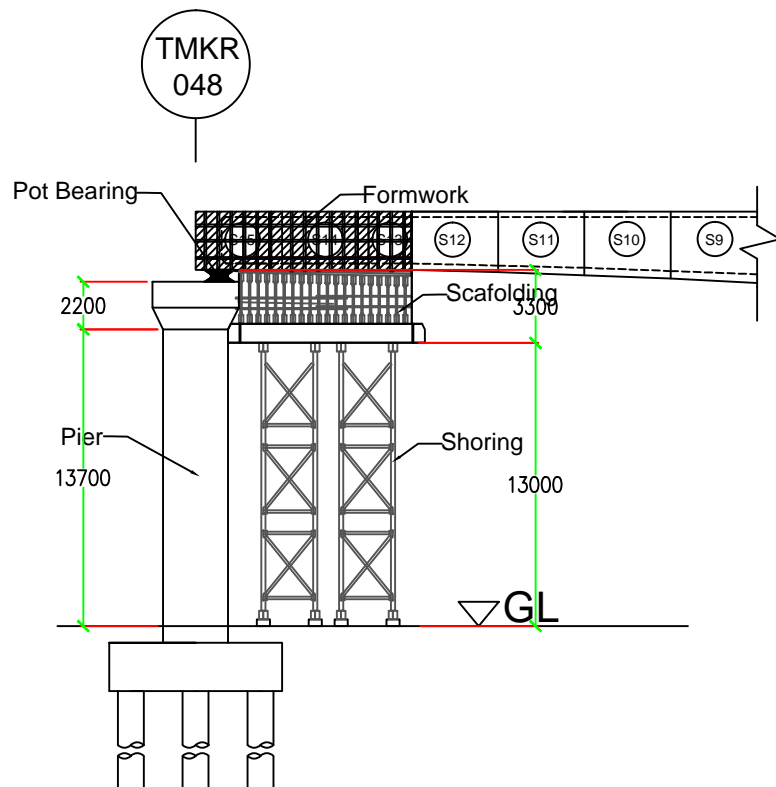
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

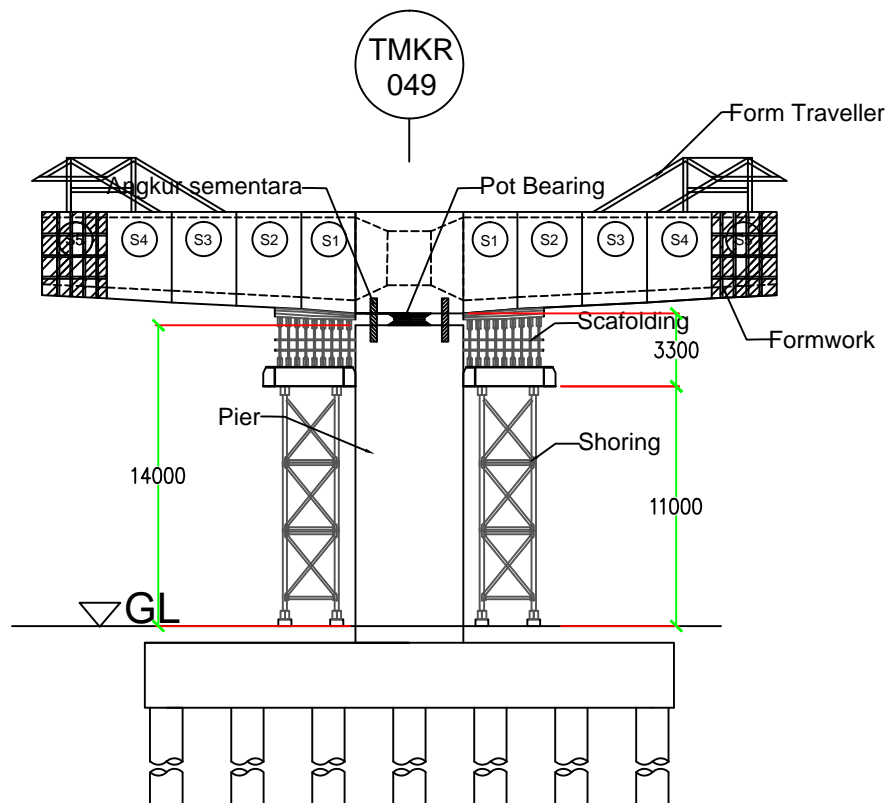
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



PEMASANGAN SEGMENT S13-15
SKALA 1 : 350



PEMASANGAN SEGMENT S5
SKALA 1 : 350



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

POT Bearing (1)

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
35	36

SKALA

1 : 20

DOSEN PEMBIMBING 1

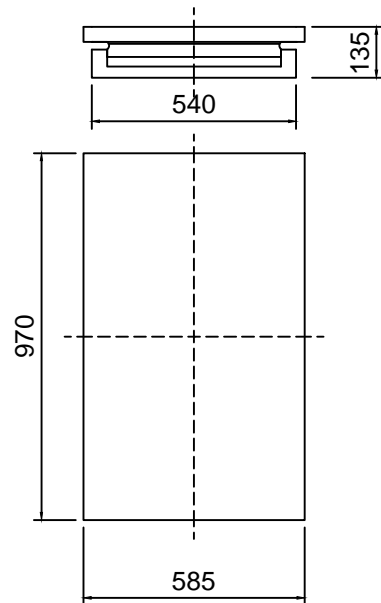
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

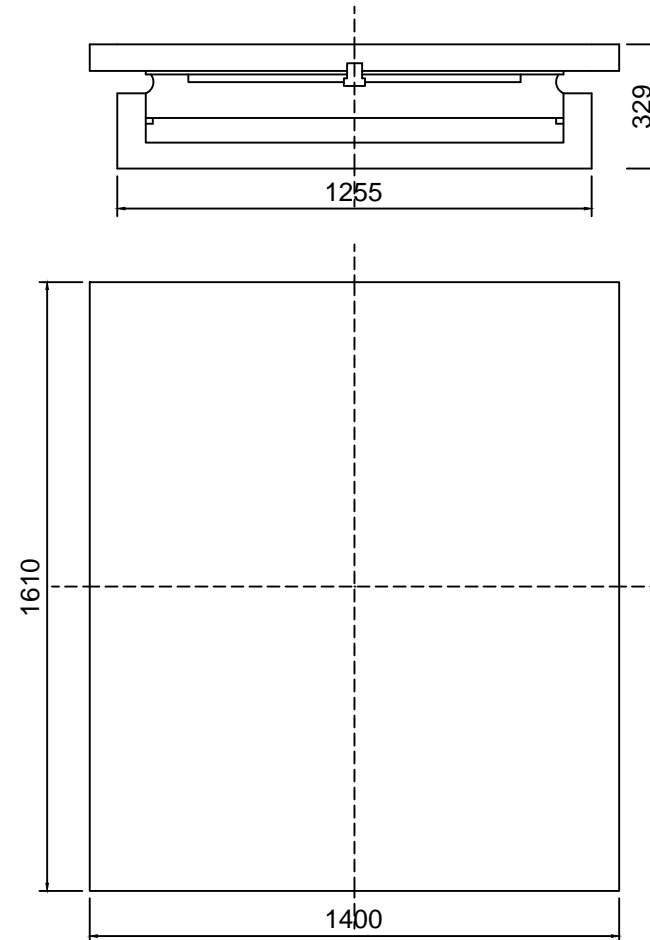
Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



GL 5000
SKALA 1:20



GG 24000
SKALA 1:20



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

KETERANGAN

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Struktur Jalan Layang Light Rail
Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850
Menggunakan Prestressed Box Girder dengan
Metode Balance Cantilever

JUDUL GAMBAR

POT Bearing (2)

NO. GAMBAR	JML. GAMBAR
36	36

SKALA

1 : 20

DOSEN PEMBIMBING 1

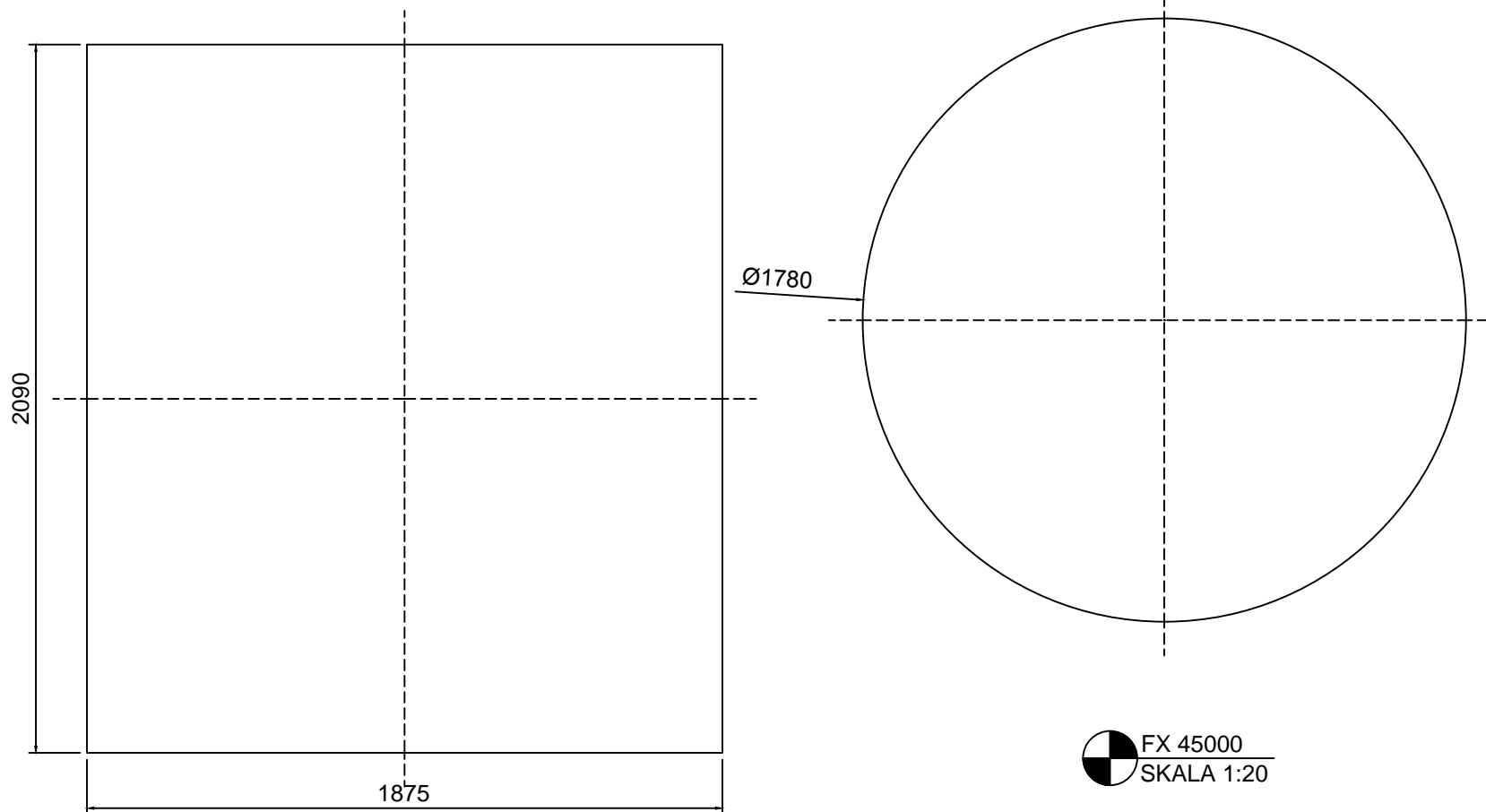
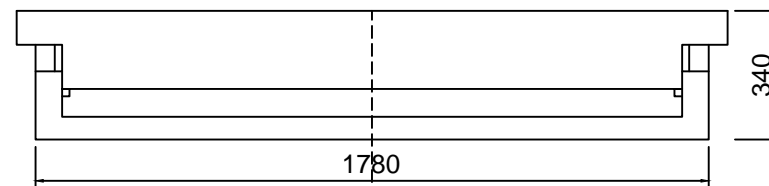
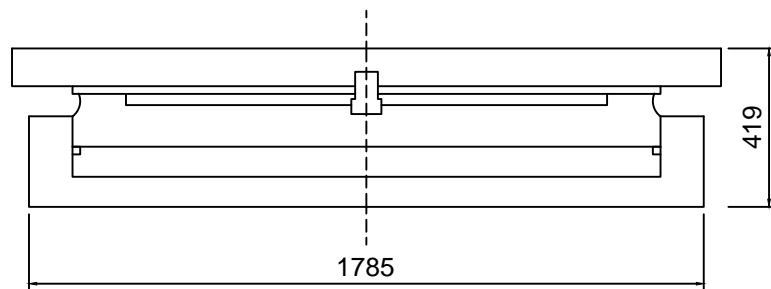
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DOSEN PEMBIMBING 2

Ir. Djoko Irawan, MS.

NAMA MAHASISWA

Nanda Fathur Rozaq Ahmad
3113 100 077



GG 45000
SKALA 1:20

FX 45000
SKALA 1:20

BORING NUMBER SI TMKR 048



TIGENCO GRAHA PERSADA

PROJECT SOIL INVESTIGATION LIGHT RAIL TRANSIT PHASE 2A

LOCATION TMII - KAMPUNG RAMBUTAN

CLIENT PT. ADHI KARYA

DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION	DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	POCKET PENETROMETER (kg/cm ²)	CORE RECOVERY (%)	RQD (%)	FINES CONTENT (%)	
										PL	MC
22			Sandy SILT, a few trace of gravel, homogeneous, dark grey, very hard, low plasticity, moist <i>(continued)</i>								
23			Silty SAND, homogeneous, black, weak cemented, firm, moist	22.00 22.19	SPT 11	13-15-22/0					>>
24			Silty SAND, a few trace of cobbles, homogeneous, black, weak cemented, very dense, moist								
25			Silty SAND, a few trace of medium gravel, homogeneous, black, weak cemented, very dense density, moist	24.00 24.45	SPT 12	16-26-24 (50)					50
26			Sandy SILT, a few trace of fine gravel, homogeneous, dark grey, very hard, low plasticity, moist								
27			Silty SAND, homogeneous, dark grey, strong cemented, very dense, moist	26.00 26.43	SPT 13	15-24-26/13					>>
28			Sandy SILT, a few trace of fine gravel, dark grey, very hard, low plasticity, moist								
29			Silty SAND, homogeneous, black, weak cemented, dense, moist	28.00 28.35	SPT 14	11-23-27/5					>>
			Silty SAND, homogeneous, black, weak cemented, dense, moist	29.50 29.93	SPT 15	17-21-24/13					>>
Bottom of borehole at 29.95 meters.				29.93							

GEOTECH BH PLOTS-MIE LRT2-TMKR.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 22/12/15

BORING NUMBER SI TMKR 049



TIGENCO GRAHA PERSADA

PROJECT SOIL INVESTIGATION LIGHT RAIL TRANSIT PHASE 2A

LOCATION TMII - KAMPUNG RAMBUTAN

CLIENT PT. ADHI KARYA

DATE STARTED 26/10/15 COMPLETED 29/10/15

DRILLER Anto

DRILLING METHOD Continuous Boring

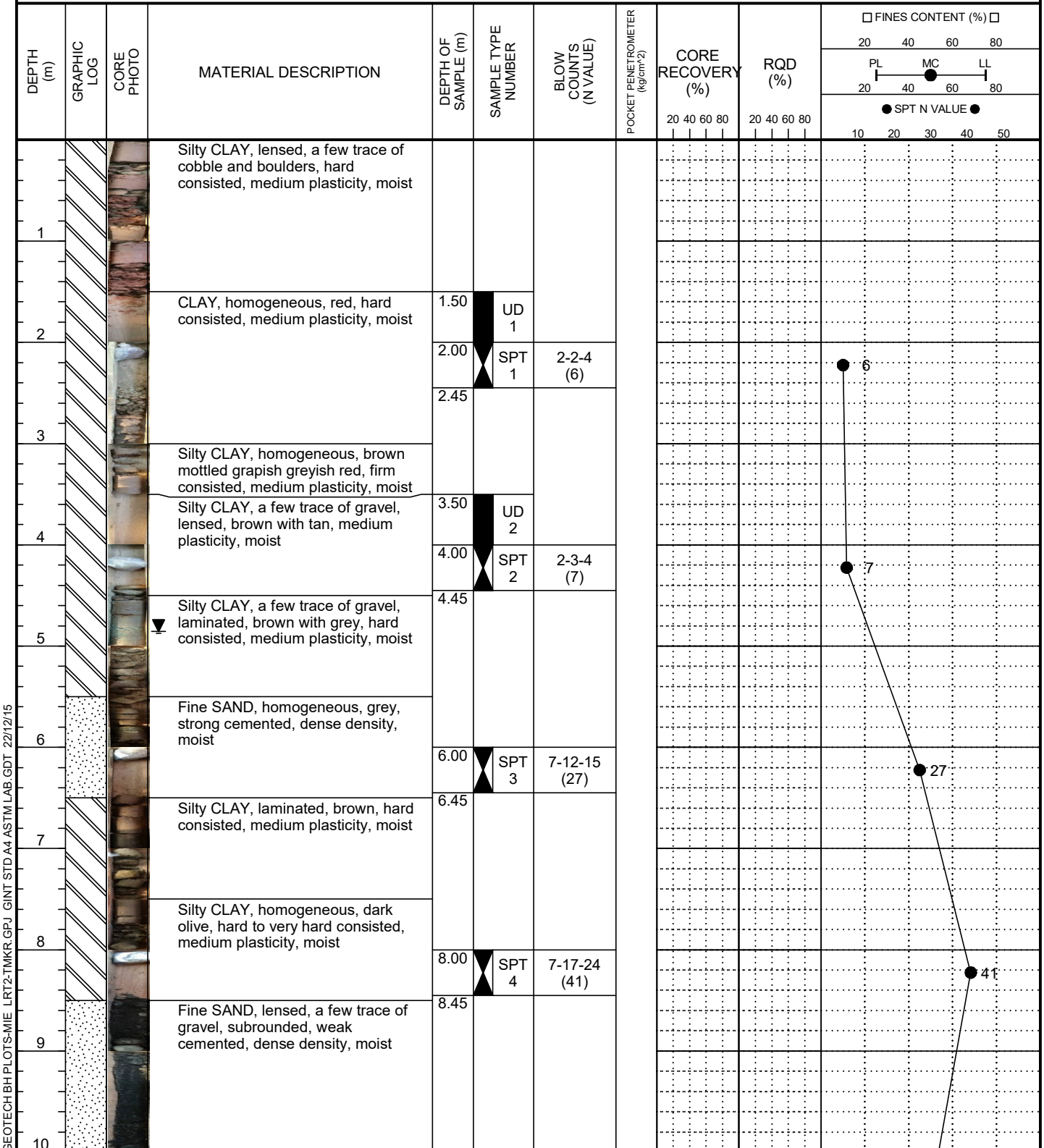
LOGGED BY Wiwit D CHECKED BY Andrianto HN

REMARKS _____

NORTHING,EASTING,ELEV. 9302567.884 , 708423.026 , 39.308 m

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: 4.85

DATE	START	END	DATE	START	END	DATE	START	END
26/10/2015	N/A. m	3.40 m	27/10/2015	5.20 m	4.10 m	28/10/2015	5.60 m	4.40 m
29/10/2015	6.42 m	N/A. m						



GEOTECH BH PLOTS-MIE LRT2-TMKR.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 22/12/15

BORING NUMBER SI TMKR 049



TIGENCO GRAHA PERSADA

PROJECT SOIL INVESTIGATION LIGHT RAIL TRANSIT PHASE 2A

LOCATION TMII - KAMPUNG RAMBUTAN

CLIENT PT. ADHI KARYA

GEOTECH BH PLOTS-MIE LRT2-TMKR.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 22/12/15

DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION	DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	POCKET PENETROMETER (kg/cm ²)	CORE RECOVERY (%)	RQD (%)	FINES CONTENT (%)	
										PL	MC
10.00				10.00	SPT 5	5-14-17 (31)					31
10.45			Fine SAND, homogeneous, dark grey, weak cemented, dense density, moist	10.45							
12.00				12.00	SPT 6	8-14-19 (33)					33
12.45			Silty SAND, lensed, a few trace of gravel, weak cemented, dense density	12.45							
14.00				14.00	SPT 7	7-13-18 (31)					31
14.45			Gravelly SAND, lensed, grey, weak cemented, dense density, moist	14.45							
16.00				16.00	SPT 8	10-17-21 (38)					38
16.45			Silty CLAY, lensed, a few trace of boulder, dark grey, hard consisted, medium plasticity, moist	16.45							
18.00				18.00	SPT 9	14-25-25/2					>>
18.32			Silty SAND, lensed, a few trace of boulder, dark grey, weak cemented, dense density, moist	18.32							
20.00				20.00	SPT 10	18-35-15/7					>>
20.37				20.37							

BORING NUMBER SI TMKR 049



TIGENCO GRAHA PERSADA

PROJECT SOIL INVESTIGATION LIGHT RAIL TRANSIT PHASE 2A

LOCATION TMII - KAMPUNG RAMBUTAN

CLIENT PT. ADHI KARYA

DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION	DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	POCKET PENETROMETER (kg/cm ²)	CORE RECOVERY (%)	RQD (%)	FINES CONTENT (%)	
										PL	MC
22			Silty SAND, lensed, a few trace of boulder, dark grey, weak cemented, dense density, moist (<i>continued</i>)	22.00	SPT 11	7-10-17 (27)					27
23			Fine to Medium SAND, homogeneous, black, weak cemented, dense density, moist	22.45							
24				24.00	SPT 12	5-18-13 (31)					31
25				24.45							
26				26.00	SPT 13	7-20-25 (45)					45
27				26.45							
28				28.00	SPT 14	7-10-13 (23)					23
29				28.45							
30				30.00	SPT 15	6-8-14 (22)					22
Bottom of borehole at 30.45 meters.				30.45							

GEOTECH BH PLOTS-MIE LRT2-TMKR.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 22/12/15

1.3 - STRAND PROPERTIES 15mm (0.6")

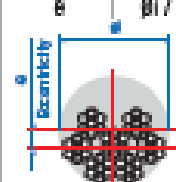
Strand type			prEN 10138 – 3 (2008) Y1860S7		ASTM A 418-08 Grade 270
Nominal diameter	d	(mm)	15.3	15.7	15.24
Nominal cross section	A _p	(mm ²)	140	150	140
Nominal mass	M	(kg/m)	1.093	1.172	1.102
Nominal yield strength	f _{yk,1%}	(MPa)	1636 ¹⁾	1640 ²⁾	1678 ³⁾
Nominal tensile strength	f _{pk}	(MPa)	1860	1860	1860
Specif./min. breaking load	F _{pk}	(kN)	260	279	260.7
Young's modulus		(GPa)	approx. 195		
Relaxation ⁴⁾ after 1000 h at 20°C and 0.7 x F _{pk}		(%)	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 418-08

1.4 - TENDON PROPERTIES 15mm (0.6")

Unit	Strands numbers	Steel area			Breaking load			Corrugated steel duct ¹⁾ (recommended)		Corrugated plastic duct VSL PT-PLUS ²⁾		Steel pipes Ø ext. x t
		A _p acc. to prEN		ASTM	Y1860S7 (prEN)		Grade 270 (ASTM)	Ø ₁ / Ø ₂	e	Ø ₁ / Ø ₂	e	
		d=15.3 mm A _p =140 mm ²	d=15.7 mm A _p =150 mm ²	d=15.24 mm A _p =140 mm ²	d=15.3 mm A _p =140 mm ²	d=15.7 mm A _p =150 mm ²	d=15.24 mm A _p =140 mm ²	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
		[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[kN]	[kN]	[kN]					
6-1	1	140	150	140	260	279	260.7	25/31	5	23/25	4	25.0 x 2.1
6-2	2	280	300	280	520	558	521	40/45	9	76/75 ²⁾	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
6-3	3	420	450	420	780	837	782	40/45	6	76/75 ²⁾	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
6-4	4	560	600	560	1040	1116	1043	45/50 ²⁾	7	76/75 ²⁾	-	48.3 x 2.0/2.5/3.0
6-5	5	700	750	700	1300	1395	1304	50/57	8	58/53	13	76.1 x 2.0/2.5/3.0
6-6	6	840	900	840	1560	1674	1564	55/62	9	58/53	11	76.1 x 2.0/2.5/3.0
6-7	7	980	1050	980	1820	1953	1825	55/62	7	58/53	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	88.1 x 2.0/2.5
6-12	9	1260	1350	1260	2340	2511	2346	65/72	9	76/81	16	88.1 x 2.0/2.5
6-12	10	1400	1500	1400	2600	2790	2607	70/77	11	76/81	15	88.1 x 2.0/2.5
6-12	11	1540	1650	1540	2860	3069	2868	70/77	9	76/81	13	88.1 x 2.0/2.5
6-12	12	1680	1800	1680	3120	3348	3128	75/82	11	76/81	12	88.1 x 2.0/2.5
6-15	13	1820	1950	1820	3380	3627	3389	80/87	13	108/106	25	111.6 x 3.0/4.0/5.0
6-15	14	1960	2100	1960	3640	3906	3650	80/87	11	108/106	24	111.6 x 3.0/4.0/5.0
6-15	15	2100	2250	2100	3900	4185	3911	80/87	18	108/106	23	111.6 x 3.0/4.0/5.0
6-19	16	2240	2400	2240	4160	4464	4171	85/92	13	108/106	22	111.6 x 3.0/4.0/5.0
6-19	17	2380	2550	2380	4420	4743	4432	85/92	11	108/106	20	111.6 x 3.0/4.0/5.0
6-19	18	2520	2700	2520	4680	5002	4693	90/97	13	108/106	19	111.6 x 3.0/4.0/5.0
6-19	19	2660	2850	2660	4940	5301	4953	90/97	12	108/106	18	111.6 x 3.0/4.0/5.0
6-22	20	2800	3000	2800	5200	5580	5214	100/117	17	108/106	17	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-22	21	2940	3150	2940	5460	5859	5475	100/117	16	108/106	16	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-22	22	3080	3300	3080	5720	6138	5735	100/117	15	108/106	15	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-27	23	3220	3450	3220	5980	6417	5996	100/117	14	115/121	22	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-27	24	3360	3600	3360	6240	6696	6257	100/117	13	115/121	22	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-27	25	3500	3750	3500	6500	6975	6518	110/117	18	115/121	21	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-27	26	3640	3900	3640	6760	7254	6778	110/117	17	115/121	21	114.3 x 3.0/4.0/5.0
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	138/136	27	127.1 x 3.0/4.0/5.0
6-31	29	4060	4350	4060	7540	8091	7560	120/127	21	138/136	27	127.1 x 3.0/4.0/5.0
6-31	30	4200	4500	4200	7800	8370	7821	120/127	20	138/136	26	127.1 x 3.0/4.0/5.0
6-31	31	4340	4650	4340	8060	8649	8082	120/127	19	138/136	25	127.1 x 3.0/4.0/5.0
6-37	32	4480	4800	4480	8320	8928	8342	120/127	18	138/136	24	133.7 x 3.0/4.0
6-37	33	4620	4950	4620	8580	9207	8603	120/127	17	138/136	23	133.7 x 3.0/4.0
6-37	34	4760	5100	4760	8840	9486	8864	120/127	16	138/136	22	133.7 x 3.0/4.0
6-37	35	4900	5250	4900	9100	9765	9125	130/137	22	138/136	22	133.7 x 3.0/4.0
6-37	36	5040	5400	5040	9360	10044	9385	130/137	21	138/136	21	133.7 x 3.0/4.0
6-37	37	5180	5550	5180	9620	10323	9646	130/137	20	138/136	20	133.7 x 3.0/4.0
6-43	43	6020	6450	6020	11180	11997	11218	140/147	21	158/157	27	152.4 x 3.0/4.0/5.0
6-55	55	7700	8250	7700	14300	15345	14339	160/167	26	158/157	21	168.3 x 3.0/4.0

1) Flat duct possible as well

2) Flat duct PT-PLUS²⁾ with rectangular slab anchorages; for PT-PLUS²⁾ see also number 3.1.3

3) If flat ducts (also for PT-PLUS²⁾) to be used with square/pipe castings: please contact your local representative in planning tendons with slab (pipe) anchorages must be straight between anchorages or be very unidirectional from with min. end of > 5m. Strands must always be placed in prior to concreting. Eccentricity: negligible

4) Given values may slightly vary depending on local availability of ducts. They are minimum for most applications. For special cases (long tendons, many curvatures, small radii etc.) galvanized duct is recommended – please verify with VSL Group case the filling with (cross-section steel/ duct) must not exceed 0.5 (EN 1262)

5) Please check with the nearest VSL office in the complete anchorage list.

2 - ANCHORAGES

For the selection and the dimensions of the most commonly used anchorages, please consult the VSL data sheets on anchorages. For spacing between anchorages and edge distance, refer to individual anchorage data sheet.

3 - DUCTING

3.1 TYPES

3.1.1 Bright corrugated steel ducts

The most commonly used sheaths are made from rolled steel strip. Round and flat (max. 5 strands are available). They are corrugated and leak-tight and must have sufficient strength to withstand varying degrees and types of mechanical loading. For additional information and details, locally valid norms (or for example EN523) can be consulted.

3.1.2 Galvanized corrugated steel ducts

Galvanization is sometimes used to ensure corrosion protection of the metal strip. It can provide lower friction losses when stressing the tendon.

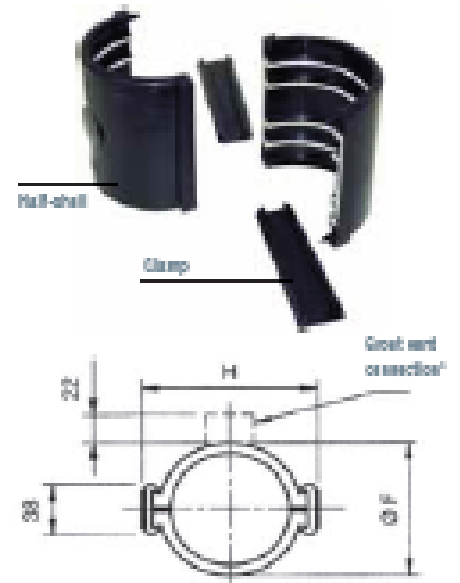
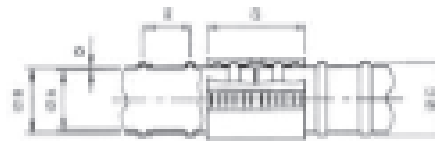
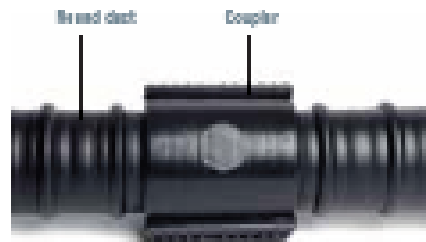
Please check local code requirements.

3.1.3 Corrugated PT-PLUS® duct system

For enhanced corrosion protection and fatigue resistance of the tendons, use of the VSL PT-PLUS® corrugated plastic duct system is

recommended. The PT-PLUS® system is particularly suitable for railroad bridges, bridge decks, parking structures and other situations where severe corrosion or high fatigue loading may be expected. In addition, the PT-PLUS® system with additional details at the anchorages allows to provide electrically isolated tendons (EIT) and a protection level of

PL3 (EN bulletin 30). These EIT tendons permit monitoring of the leak tightness of the tendon encapsulation and protection of the tendon over the entire design life of the structure.



* Couplers are available with/without gasket ends for a standard width of 23 mm

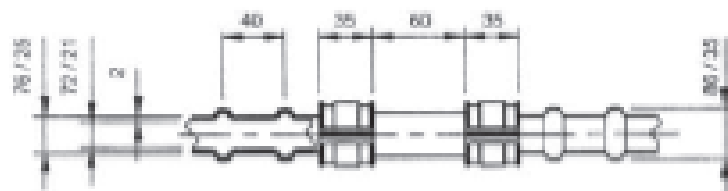
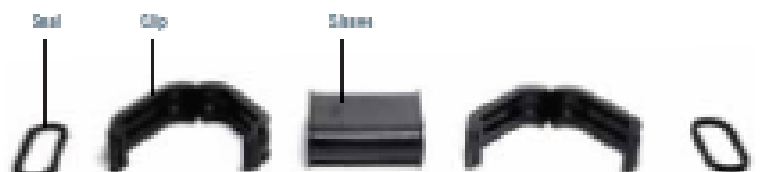
Dimensions for PT-PLUS® duct system

Dimensions in mm, subject to modification

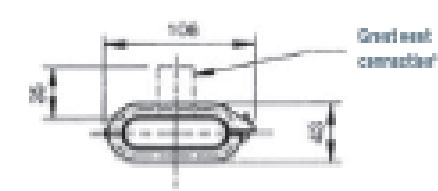
Type	Tendon unit		Ø A	Ø B	Ø C	D	E	Ø F	e	H	Nominal weight	
	0.5"	0.6"									Sheet kg/m	Coupler kg/unit
22	5-1	6-1	22	25	30	1.5	55	27.5*	80*	27.5*	0.180	0.010
50	5-12	6-7	50	63	73	2.5	42	82	188	106	0.490	0.290
76	5-19	6-12	76	81	93	2.5	52.5	100	116	124	0.620	0.250
100	5-31	6-18/22	100	106	116	3.0	60	123	126	140	0.890	0.270
115	5-37	6-27	115	121	131	3.0	60	138	127	162	1.120	0.330
130	5-43/55	6-31/37	130	136	146	3.0	52	153	134	177	1.200	0.380
150		6-55	150	157	167	3.5	60	175	126	198	1.620	0.430

* One piece sleeve coupler

Note: PT-PLUS® ducts come in lengths of approximately 4 m, type 22 ducts are 7 m long



Dimensions in mm, subject to modification



* Couplers are available with/without gasket ends for a standard width of 23 mm

The PT-PLUS® flat duct system and type 22 are often used for slab post-tensioning in buildings, for transversal tendons for bridges and for similar structures where the exploitation of a maximum tendon eccentricity in relatively thin members is important.

3.1.4 Smooth plastic ducts

Smooth plastic ducts are predominantly used for external tendons. Occasionally they have been also used for internal tendons when no bonding steel / concrete is required. They are normally made of UV resistant, new high density polyethylene (HDPE) material (virgin granulate) acc. to EN12201 and ASTM D3035 or ASTM F714 or equivalent standards. Material recycled from previously used PE components shall not

be used. Ducts normally have a ratio of diameter / wall thickness of 16 to 18, with an internal diameter not smaller than $1.7 \sqrt{A_p}$ (A_p = nominal cross section of the steel area in the tendon), suitable to carry internal pressure during grouting (ETAG013 (2002) e.g. specifies 1 MPa / 10 bar design pressure). The following dimensions of external tendon pipes are recommended (see table below).

3.1.5 Steel pipes

In certain applications (e.g. cryogenic, nuclear, offshore) where the ducts are subject to high loading when particularly tight tendon curvature is required, or when tendons are in congested parts of structures, steel pipes are used. Tubes are thin (in compliance with EN or equivalent

standards) and machine-bendable, (for recommended dimensions, see 1.2 / 1.4).

Steel tubes used externally: dimensions are primarily dictated by the availability of local standardized tubes. The table below can serve as a guideline and is based on an internal diameter of $\approx 1.7 \sqrt{A_p}$ where A_p represents the cross section of the prestressing steel.

Dimensions for steel pipes

Strand Nos.	Min inside dia. for strands with		
	100 mm ²	140 mm ²	150 mm ²
4	34	40.2	41.6
7	45	53.2	55.1
12	58.9	69.7	72.1
15	65.8	77.9	80.6
19	74.1	87.7	90.8
22	79.7	94.3	97.7
27	88.3	104.5	108.2
31	94.7	112.0	115.9
37	103.4	122.4	126.6
43	111.5	131.9	136.5
55	126.1	149.2	154.4

Dimensions given subject to modification

*Wall thickness $\approx \phi / 50$ minimum 1.5 mm
(ϕ = external diameter)*

Where not prepared to be welded, $\alpha \approx 3$ mm

Dimensions for smooth plastic ducts

Tendon size	External pipe diameter (mm)		Wall thickness (mm)	
	strands		strands	
	bare	PE sheathed	bare	PE sheathed
5-12 / 6-7	75	90	4.3	5.1
5-15/19 / 6-12	90	110	5.4	6.0
5-22/31 / 6-15/19	110	140	6.6	6.7
5-37 / 6-22/27	110	160	6.6	7.7
5-43 / 6-31	140	160	8.3	7.7
5-55 / 6-37	160	180	9.5	8.6

Dimensions given, subject to modification

3.2 FRICTION COEFFICIENT AND LOSSES DUE TO PRESTRESSING

3.2.1 Friction coefficient

The following values may be assumed when using the equation $P_x = P_0 \cdot e^{+\mu \cdot \varphi - k \cdot x}$:

Equation of loss of post-tensioning force along a tendon

P_x = Remaining force at distance x from the stressing end

P_0 = Stressing force at the stressing end
 μ = Friction coefficient

φ_x = Accumulated tendon deviation from the stressing end

k = Wobble coefficient

x = Distance from the stressing end

	Range	Recommended value
Corrugated steel sheath	$\mu = 0.16 - 0.24$ $k = (0.6 - 1.0) \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	$\mu = 0.20$ $k = 0.8 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$
PT-PLUS® plastic duct	$\mu = 0.12 - 0.14$ $k = (0.8 - 1.2) \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	$\mu = 0.14$ $k = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$
Steel pipes incl. saddles for external tendons: with clean dry or lubricated strands ¹	$\mu = 0.20 - 0.30$ $k = \text{refer to 2 below}$	$\mu = 0.25$ $k = \text{refer to 2 below}$
Saddles for external tendons with internal HDPE tube over saddle: - bare strands - greased and plastic sheathed monostrands	$\mu = 0.12 - 0.15$ $\mu = 0.02 - 0.08$ $k = \text{refer to 2 below}$	$\mu = 0.14$ $\mu = 0.06$ $k = \text{refer to 2 below}$
Greased and plastic sheathed monostrands	$\mu = 0.04 - 0.07$ $k = (0.4 - 0.6) \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	$\mu = 0.05$ $k = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$

¹ μ = unless dipped or lubricated

² The wobble factor conventionally to be neglected

3.2.2 Draw-in of wedge at lock-off: max. 6 mm

This value is independent of the jack or tendon type. If necessary, e.g. for short tendons, compensation can be provided by appropriate procedures.

3.2.3 Other tendon force losses

In addition to friction and relaxation losses (see above), also concrete shrinkage and creep as well as a draw-in of the wedge during lock-off must be considered.

To calculate losses due to concrete shrinkage and creep, reference should be made to the technical documents and standards applicable to each project.



TETRON CD GL POT BEARINGS

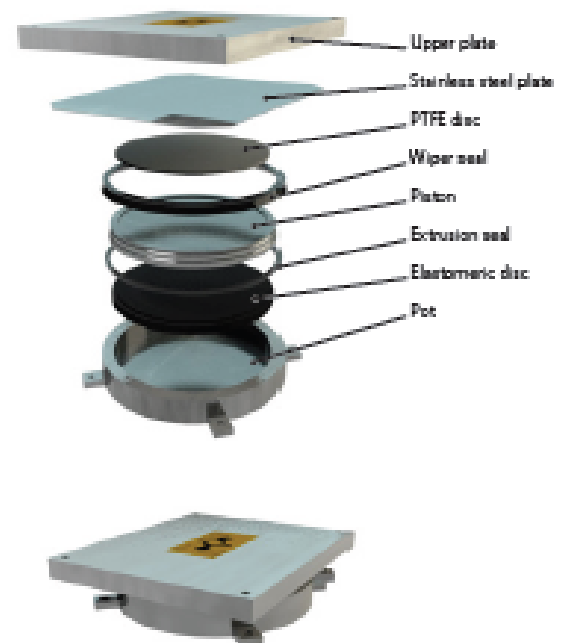
This free sliding pot bearing is made up of a pot, an elastomeric disc and a piston covered with a PTFE plate on which the upper plate can slide freely. The pot is fixed to the support (pier, abutment, column, etc.) and the upper plate is fixed to the superstructure.

This model is designed to permit horizontal movements, without any constraint other than the internal stresses.

Bearings with ± 50 mm longitudinal and ± 20 mm transverse movement

	EN				BS				AASHTO				AS			
	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H
GL 500 . 300 . 40	360	330	360	88	150	215	230	81	180	250	265	85.5	105	295	230	81.5
GL 1,000 . 300 . 40	210	260	305	90	225	225	275	81	240	430	325	85.5	230	295	280	85.5
GL 1,500 . 300 . 40	365	270	325	100	280	265	330	95	380	495	370	92.5	295	270	325	100.5
GL 2,000 . 300 . 40	320	400	365	105	290	295	340	95	325	495	410	92.5	345	405	350	110.5
GL 3,000 . 300 . 40	400	450	415	124	405	445	405	109	405	560	475	104.5	425	460	425	124.5
GL 4,000 . 300 . 40	460	490	465	128	465	490	470	113	480	635	520	112.5	490	520	490	123.5
GL 5,000 . 300 . 40	515	525	520	147	520	520	525	123	540	670	585	124.5	545	550	550	142.5
GL 6,000 . 300 . 40	565	570	570	156	570	575	575	127	620	735	620	127.5	600	600	600	155.5
GL 8,000 . 300 . 40	655	655	655	175	660	660	660	147	700	785	720	131.5	690	695	695	173.5
GL 10,000 . 300 . 40	720	730	720	182.2	725	740	740	155	795	870	820	137	775	775	775	180.5
GL 12,000 . 300 . 40	800	805	805	212.2	805	810	830	164	875	940	895	201	845	845	845	204.5
GL 14,000 . 300 . 40	865	865	865	222.2	870	875	875	188	965	1,030	970	202	920	920	920	222.5
GL 16,000 . 300 . 40	925	930	920	228.2	930	925	935	193	1,025	1,060	1,040	226	980	980	980	224
GL 18,000 . 300 . 40	980	985	985	235.5	990	990	990	207	1,090	1,110	1,100	222	1,060	1,040	1,040	242
GL 20,000 . 300 . 40	1,050	1,040	1,040	251.5	1,040	1,045	1,045	208	1,155	1,265	1,155	226	1,120	1,100	1,300	253
GL 24,000 . 300 . 40	1,260	1,140	1,240	267.5	1,240	1,245	1,245	227	1,270	1,275	1,275	261	1,225	1,205	1,205	267
GL 28,000 . 300 . 40	1,255	1,230	1,230	283.5	1,230	1,235	1,235	243	1,275	1,275	1,275	274	1,220	1,200	1,300	290
GL 30,000 . 300 . 40	1,285	1,270	1,270	293.5	1,275	1,280	1,280	243	1,425	1,425	1,425	279	1,380	1,345	1,345	293
GL 35,000 . 300 . 40	1,400	1,275	1,275	295.5	1,275	1,280	1,280	260	1,525	1,525	1,525	301	1,480	1,460	1,460	314
GL 45,000 . 300 . 40	1,525	1,555	1,555	327.7	1,560	1,565	1,565	291	1,745	1,745	1,745	341	1,625	1,645	1,645	247

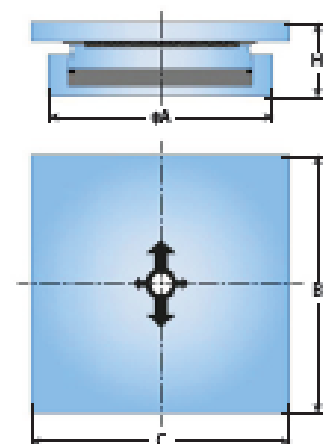
Dimensions in mm



Bearings with ± 200 mm longitudinal and ± 20 mm transverse movement

	EN				BS				AASHTO				AS			
	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H
GL 500 . 400 . 40	150	620	250	90	250	625	220	80	180	650	265	85.5	105	625	230	81.5
GL 1,000 . 400 . 40	210	660	305	94	225	625	275	80	240	730	325	85.5	230	625	280	85.5
GL 1,500 . 400 . 40	265	670	325	104	310	665	310	94	380	795	370	92.5	295	670	325	98.5
GL 2,000 . 400 . 40	320	700	365	104	320	695	340	99	325	795	410	92.5	345	705	350	109.5
GL 3,000 . 400 . 40	400	750	415	128	405	745	405	108	405	860	475	112.5	425	760	425	123.5
GL 4,000 . 400 . 40	460	790	465	127	465	790	470	132	480	935	520	112.5	490	830	490	132.5
GL 5,000 . 400 . 40	515	825	520	146	520	830	525	122	540	970	585	124.5	545	850	550	142.5
GL 6,000 . 400 . 40	565	855	570	155	570	860	575	126	620	1,015	620	127.5	600	885	600	155.5
GL 8,000 . 400 . 40	655	920	655	175	660	920	660	147	700	1,085	720	131.5	690	960	695	167.5
GL 10,000 . 400 . 40	720	990	720	182.2	725	975	740	155	795	1,170	820	137	775	1,005	775	180.5
GL 12,000 . 400 . 40	800	1,005	805	212.2	805	1,020	810	164	875	1,240	895	200	845	1,055	845	204.5
GL 14,000 . 400 . 40	865	1,075	865	222.2	870	1,065	875	188	965	1,300	970	202	920	1,105	920	224.5
GL 16,000 . 400 . 40	925	1,240	920	228.2	930	1,205	925	193	1,025	1,360	1,040	226	980	1,160	980	224
GL 18,000 . 400 . 40	980	1,270	985	225.5	990	1,245	990	207	1,090	1,410	1,100	222	1,060	1,180	1,040	242
GL 20,000 . 400 . 40	1,050	1,270	1,040	205.5	1,040	1,280	1,045	208	1,155	1,465	1,155	224	1,120	1,200	1,300	253
GL 24,000 . 400 . 40	1,180	1,275	1,140	266.5	1,240	1,260	1,245	226	1,270	1,555	1,275	261	1,225	1,200	1,205	267
GL 28,000 . 400 . 40	1,255	1,255	1,230	283.5	1,230	1,230	1,235	243	1,275	1,645	1,275	274	1,220	1,270	1,300	290
GL 30,000 . 400 . 40	1,285	1,400	1,270	293.5	1,275	1,340	1,280	243	1,425	1,695	1,425	279	1,380	1,400	1,245	293
GL 35,000 . 400 . 40	1,400	1,520	1,275	295.5	1,275	1,430	1,280	260	1,525	1,780	1,525	301	1,480	1,475	1,460	314
GL 45,000 . 400 . 40	1,525	1,640	1,555	327.7	1,560	1,565	1,565	291	1,745	1,920	1,745	340	1,625	1,645	1,645	247

Dimensions in mm



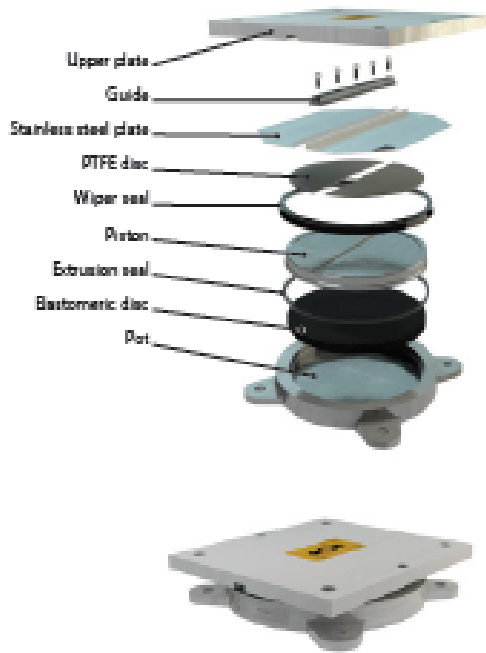


TETRON CD GG POT BEARINGS

This type of guided sliding pot bearing is designed like a free sliding bearing, but with a guide. The guide is secured to the piston, and slots into a groove in the upper sliding plate. In some cases, guidance can be provided by lateral guides.

This bearing model accepts horizontal movement along the axis of the guide and horizontal loads in the perpendicular direction.

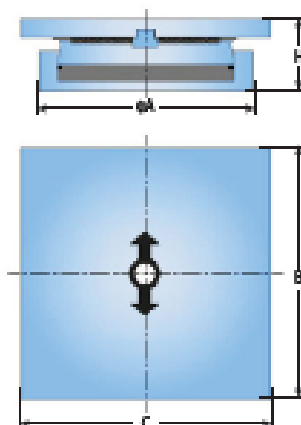
Bearings with horizontal load = 10% of vertical load and ±50mm movement



			EM				ES				AASHTO				AS					
			ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H		
GG	500	-	50	300	160	250	231	93	155	235	225	83	310	275	245	87.5	155	225	221	83.5
GG	1,000	-	100	300	201	300	260	95	225	270	270	83	240	420	305	88.5	231	275	271	85.5
GG	1,500	-	150	300	275	410	295	95	205	405	305	90	200	475	245	92.5	200	415	201	95.5
GG	2,000	-	200	300	330	440	331	105	220	435	340	90	220	525	305	97.5	250	445	251	100.5
GG	3,000	-	300	300	430	515	430	124	410	495	415	104	415	575	445	108.5	430	525	431	129.5
GG	4,000	-	400	300	470	570	475	132	470	550	475	114	485	630	515	112.5	500	580	500	128.5
GG	5,000	-	500	300	525	615	520	144	525	605	520	122	525	695	580	124.5	555	625	550	141.5
GG	6,000	-	600	300	575	655	580	152	580	675	580	126	615	725	640	121.5	620	685	621	139.5
GG	8,000	-	800	300	655	720	670	156	670	760	670	127	720	830	745	151.8	725	795	730	162.5
GG	10,000	-	1,000	300	740	795	745	162.2	745	825	750	130	815	885	840	155	820	895	795	180.5
GG	12,000	-	1,200	300	825	840	820	168.2	825	905	820	132	895	945	920	154	895	920	870	189.5
GG	14,000	-	1,400	300	880	910	885	172.2	885	960	885	137	975	1,020	990	159	960	980	931	218
GG	16,000	-	1,600	300	940	965	945	180.2	945	1,015	945	136	1,045	1,070	1,060	167	1,045	1,065	1,005	228
GG	18,000	-	1,800	300	995	1,030	1,030	172.5	1,030	1,075	1,035	137	1,105	1,125	1,125	164	1,125	1,120	1,065	242
GG	20,000	-	2,000	300	1,050	1,095	1,090	180.5	1,095	1,120	1,090	134	1,170	1,185	1,185	165	1,185	1,180	1,125	246
GG	24,000	-	2,400	300	1,150	1,155	1,155	180.5	1,175	1,210	1,160	126	1,280	1,280	1,280	143	1,285	1,285	1,230	267
GG	28,000	-	2,800	300	1,245	1,250	1,250	182.5	1,250	1,285	1,250	142	1,400	1,400	1,400	163	1,405	1,370	1,330	290
GG	30,000	-	3,000	300	1,285	1,290	1,290	182.5	1,320	1,345	1,295	146	1,450	1,450	1,450	170	1,455	1,415	1,375	302
GG	35,000	-	3,500	300	1,400	1,405	1,405	182.5	1,420	1,455	1,400	170	1,570	1,555	1,555	187	1,555	1,505	1,485	319
GG	40,000	-	4,000	300	1,470	1,470	1,470	182.7	1,495	1,530	1,485	186	1,775	1,775	1,775	223	1,760	1,680	1,680	360

Dimensions in mm

Bearings with horizontal load = 30% of vertical load and ±200mm movement



			EM				ES				AASHTO				AS					
			ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H	ØA	B	C	H		
GG	500	-	350	400	350	555	235	83	155	425	225	85	180	690	300	91.5	170	640	240	85.5
GG	1,000	-	300	400	230	730	275	101	240	630	270	85	250	745	335	93.5	255	635	255	90.5
GG	1,500	-	450	400	200	730	230	105	295	745	205	92	200	790	260	98.5	225	740	240	102.5
GG	2,000	-	600	400	205	765	270	118	240	750	260	102	245	850	295	106.5	280	785	280	107.5
GG	3,000	-	900	400	445	840	445	120	430	805	435	109	430	920	475	127.5	460	855	465	126.5
GG	4,000	-	1,200	400	520	900	525	127	485	850	500	128	480	950	500	140.5	555	900	540	142.5
GG	5,000	-	1,500	400	600	970	575	130	555	910	555	126	540	1,005	530	152.5	620	950	600	150.5
GG	6,000	-	1,800	400	660	1,030	625	152	595	950	630	151.8	595	1,060	590	156.5	685	1,030	651	172.5
GG	8,000	-	2,400	400	775	1,095	720	137.2	685	1,010	705	153	700	1,160	795	180	775	1,060	751	182.5
GG	10,000	-	3,000	400	880	1,175	805	139.2	770	1,075	785	157	820	1,230	885	186	880	1,140	840	222
GG	12,000	-	3,600	400	960	1,230	880	216.2	835	1,125	860	125	870	1,285	970	224	965	1,240	921	220
GG	14,000	-	4,200	400	1,040	1,300	960	225.5	905	1,175	930	152	945	1,355	1,130	227	1,065	1,295	1,000	258
GG	16,000	-	4,800	400	1,115	1,365	1,020	254.5	970	1,220	990	160	1,025	1,445	1,185	246	1,140	1,355	1,120	267
GG	18,000	-	5,400	400	1,180	1,430	1,075	267.5	1,040	1,280	1,055	172	1,085	1,490	1,235	267	1,220	1,420	1,185	272
GG	20,000	-	6,000	400	1,245	1,490	1,140	289.5	1,100	1,340	1,120	186	1,160	1,540	1,285	284	1,295	1,475	1,275	296
GG	24,000	-	7,200	400	1,365	1,540	1,255	216.5	1,270	1,405	1,245	186	1,285	1,620	1,400	229	1,430	1,535	1,325	222
GG	28,000	-	8,400	400	1,475	1,620	1,345	246.5	1,360	1,500	1,340	203	1,375	1,740	1,505	223	1,545	1,675	1,440	240
GG	30,000	-	9,000	400	1,545	1,680	1,410	247	1,415	1,565	1,400	225	1,425	1,790	1,520	252	1,585	1,735	1,465	267
GG	35,000	-	10,500	400	1,625	1,775	1,500	274.5	1,515	1,630	1,465	254	1,560	1,860	1,635	264	1,725	1,820	1,585	284
GG	40,000	-	12,000	400	1,690	1,835	1,560	434	1,730	1,690	1,565	404.5	1,785	2,090	1,875	419	1,960	1,995	1,795	426

Dimensions in mm

TETRON CD FX POT BEARINGS



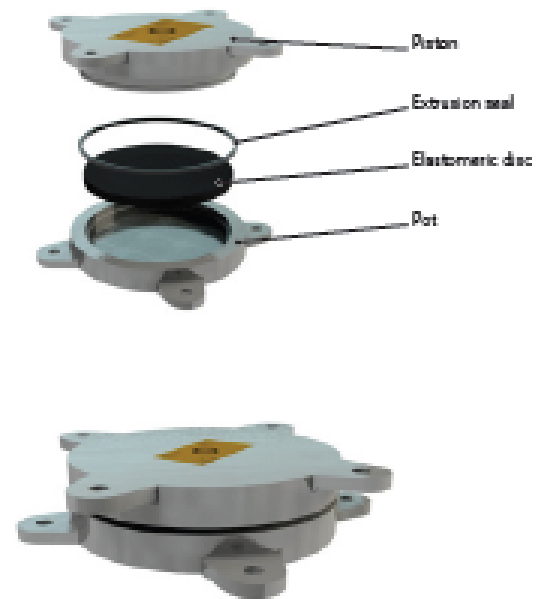
Fixed pot bearings are made up of a pot, an elastomeric disc and a piston. The pot is fixed to the support and the piston is fixed to the superstructure.

This model does not allow any horizontal movement. It therefore transfers the loads from the superstructure to its support in all directions.

Bearings with horizontal load - 10% of vertical load

	EN			BS			AASHTO			AS		
	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H
FX 500 - 50	160	160	54	355	355	54	180	180	59	355	355	54
FX 1,000 - 100	210	210	54	220	220	54	240	240	60	220	220	54
FX 1,500 - 150	275	275	68	280	280	63	280	280	65	300	300	68
FX 2,000 - 200	325	325	78	320	320	65	325	325	69	350	350	78
FX 3,000 - 300	405	405	82	410	410	67	430	430	81	420	420	82
FX 4,000 - 400	470	470	85	470	470	67	485	485	95	510	510	85
FX 5,000 - 500	525	525	98	520	520	70	550	550	112	575	575	90
FX 6,000 - 600	580	580	98	590	590	70	630	630	113	640	640	92
FX 8,000 - 800	675	675	112	685	685	75	735	735	143	720	720	130
FX 10,000 - 1,000	760	760	125	765	765	80	830	830	154	810	810	125
FX 12,000 - 1,200	825	825	140	825	825	98	895	895	162	895	895	138
FX 14,000 - 1,400	915	915	148	895	895	102	970	970	180	980	980	147
FX 16,000 - 1,600	985	985	150	970	970	105	1,045	1,045	180	1,040	1,040	151
FX 18,000 - 1,800	1,050	1,050	162	1,015	1,015	112	1,130	1,130	197	1,120	1,120	162
FX 20,000 - 2,000	1,110	1,110	161	1,070	1,070	119	1,175	1,175	213	1,190	1,190	160
FX 24,000 - 2,400	1,225	1,225	172	1,185	1,185	122	1,295	1,295	221	1,310	1,310	171
FX 28,000 - 2,800	1,315	1,315	192	1,265	1,265	138	1,395	1,395	263	1,410	1,410	185
FX 30,000 - 3,000	1,365	1,365	195	1,315	1,315	140	1,445	1,445	254	1,465	1,465	189
FX 35,000 - 3,500	1,490	1,490	211	1,420	1,420	142	1,560	1,560	285	1,575	1,575	230
FX 45,000 - 4,500	1,695	1,695	237	1,620	1,620	160	1,770	1,770	322	1,795	1,795	232

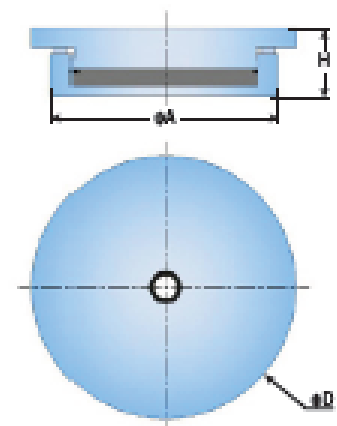
Dimensions in mm



Bearings with horizontal load - 30% of vertical load

	EN			BS			AASHTO			AS		
	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H	ØA	ØD	H
FX 500 - 150	320	320	52	360	360	59	380	380	59	165	165	54
FX 1,000 - 300	220	220	60	225	225	59	250	250	60	255	255	54
FX 1,500 - 450	295	295	64	290	290	67	300	300	65	315	315	67
FX 2,000 - 600	350	350	72	325	325	68	345	345	69	375	375	71
FX 3,000 - 900	440	440	84	425	425	78	415	415	81	475	475	84
FX 4,000 - 1,200	525	525	92	480	480	87	480	480	94	560	560	92
FX 5,000 - 1,500	590	590	109	545	545	95	525	525	113	630	630	108
FX 6,000 - 1,800	660	660	130	590	590	108	595	595	134	705	705	115
FX 8,000 - 2,400	770	770	127	695	695	123	690	690	134	805	805	128
FX 10,000 - 3,000	870	870	144	765	765	142	775	775	163	905	905	152
FX 12,000 - 3,600	955	955	157	825	825	160	845	845	169	1,025	1,025	153
FX 14,000 - 4,200	1,050	1,050	167	905	905	178	920	920	187	1,100	1,100	175
FX 16,000 - 4,800	1,120	1,120	183	980	980	185	990	990	205	1,190	1,190	180
FX 18,000 - 5,400	1,200	1,200	185	1,090	1,090	194	1,075	1,075	205	1,275	1,275	194
FX 20,000 - 6,000	1,270	1,270	209	1,190	1,190	195	1,125	1,125	223	1,360	1,360	198
FX 24,000 - 7,200	1,400	1,400	230	1,245	1,245	197	1,250	1,250	257	1,485	1,485	215
FX 28,000 - 8,400	1,520	1,520	225	1,385	1,385	203	1,365	1,365	273	1,605	1,605	225
FX 30,000 - 9,000	1,590	1,590	239	1,425	1,425	204	1,415	1,415	290	1,695	1,695	228
FX 35,000 - 10,500	1,710	1,710	260	1,540	1,540	205	1,545	1,545	295	1,805	1,805	255
FX 45,000 - 13,500	1,955	1,955	282	1,800	1,800	209	1,780	1,780	340	2,045	2,045	280

Dimensions in mm





PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
NAMA MAHASISWA	: Nanda Fathur Rozag Ahmad
NRP	: 3113100077
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan struktur Jalan Layang Light Rail Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850 menggunakan Prestressed Box Girder dengan metoda Balanced Cantilever
TANGGAL PROPOSAL	: 20 Januari - 27 Januari 2017.
NO. SP-MMTA	: 01456P/IT2.V1.4.1/PP.05.02.00/2017

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	4/4/17		Pilih sistem struktur pembesian yg cocok.	Roz
2	19/4/17	Hitap satu per satu		Roz
3	27/4/17	Sehingga parapet punya F 2 e" bsr ber-bata. Lihat sehing kejadian		Roz
4	4/5/17	Buat gambar layang secara beantan		Roz
5	8/5/17	Beban di paku kombinasi. Area		Roz
6	15/5/17	Tendon diperbaiki	- Perhitungan Tulangan - momen normal	Roz
7	9/6/17	Diagram momen		Roz



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Ir Djoko Irawan, M.S
NAMA MAHASISWA	: Nanda Fathur Rozag Ahmad
NRP	: 3113100077
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Struktur Jalur Layang Light Rail Transit (LRT) Jakarta STA 6+652 - 6+850 dengan menggunakan prestressed Box Girder dengan metoda Balanced Cantilever.
TANGGAL PROPOSAL	: 20 Januari - 27 Januari 2017
NO. SP-MMTA	: 014568 / IT2.VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2017

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	31-maret	Input penjabaran dan Dimensi		31/03
2.	12-mei	metoda pemasangan tendon kantilever - beban menggunakan kombinasi AREMA.	- di ujung saat struktur keluar dan penampang di bagian Layang	12/05
3.	22-mei	- tulangan Lentur, geser putar	- perbaikan tulangan komponen box	
4.	25-mei	- pelaksanaan pot bearing dengan pier.	lihat ^{pot} bearing di lapangan.	25/05