



**TUGAS AKHIR - RC 14-1501**

**PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN  
TOL JAKARTA – CIKAMPEK II MENGGUNAKAN  
SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN  
METODE BALANCED CANTILEVER**

**MUHAMMAD RAYENDRA**  
NRP. 03111645000031

Dosen Pembimbing I  
Ir. Mudji Irmawan, MS.

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

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



**TUGAS AKHIR - RC 14-1501**

**PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN  
TOL JAKARTA – CIKAMPEK II MENGGUNAKAN  
SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN  
METODE BALANCED CANTILEVER**

MUHAMMAD RAYENDRA  
NRP. 03111645000031

Dosen Pembimbing I  
Ir. Mudji Irmawan, MS.

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

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



**FINAL PROJECT - RC 14-1501**

**ELEVATED BRIDGE PLANNING IN HIGHWAY JAKARTA-  
CIKAMPEK SECTION II USING SEGMENTAL CONCRETE  
BOX GIRDER WITH BALANCED CANTILEVER METHOD**

MUHAMMAD RAYENDRA  
NRP. 03111645000031

Consellor Lecturer I  
Ir. Mudji Irmawan, MS.

Consellor Lecturer II  
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS.

MAJORING IN CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Enviromental, and Geo-Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS  
JALAN TOL JAKARTA - CIKAMPEK II  
MENGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX  
GIRDER DENGAN METODE BALANCED  
CANTILEVER**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

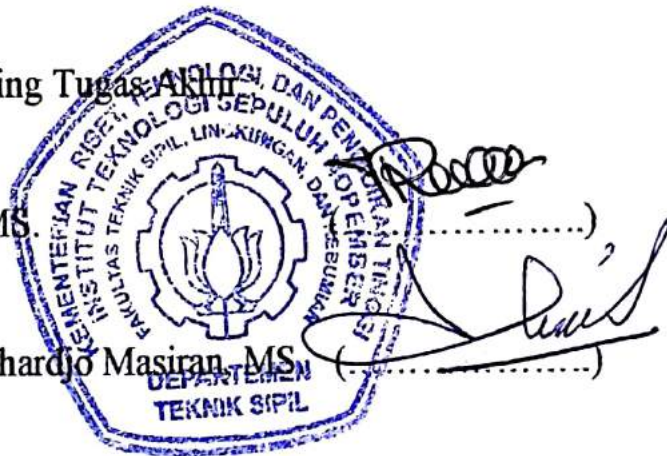
**MUHAMMAD RAYENDRA**

Nrp. 03111645000031

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Ir. Mudji Irmawan, MS.

2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS.



**SURABAYA  
JULI, 2018**

# **PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA - CIKAMPEK II MENGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER**

**Nama Mahasiswa** : Muhammad Rayendra  
**NRP** : 03111645000031  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSLK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ir. Mudji Irmawan, MS.  
2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo  
Masiran, MS.

## **Abstrak**

Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Elevated merupakan jalan layang yang menghubungkan wilayah Jakarta dengan Cikampek sepanjang 38 km yang merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa. Jalan tol elevated ini memiliki track yang sama dengan jalan tol eksisting yang telah ada sebelumnya. Volume lalu lintas kendaraan yang melalui jalan tol ini semakin meningkat dan sudah melebihi batasnya, hal ini melatarbelakangi pembangunan Jalan Tol Jakarta Cikampek II Elevated. Jalan tol ini menggunakan metode *balanced cantilever* dengan launching gantry sehingga tidak akan mengganggu aktifitas lalu lintas kendaraan yang sedang berlangsung.

Dalam tugas akhir ini, dilakukan perancangan struktur *elevated bridge* pada ruas Jalan Tol Jakarta – Cikampek II menggunakan struktur segmental *concrete box girder*. Jalan tol yang akan dibahas ini mempunyai panjang 45 meter dengan 2 jalur. Masing – masing jalur mempunyai lebar 11 meter dengan gap antar jalur 80 cm. Sehingga memiliki total lebar jalan elevated adalah 22,8 m.

Perancangan struktur jembatan ini berpedoman pada beberapa standar peraturan yang ada. Untuk pembebanan jembatan beton mengacu pada SNI 1725-2016, perencanaan struktur jembatan

beton disesuaikan dengan RSNI T-12-2004 dan referensi buku “Post-Tensioned Box Girder Design Manual” yang berpedoman pada AASHTO LRFD yang terdiri dari beberapa elemen struktur yaitu box girder. Analisa struktur yang dilakukan meliputi analisa rasio penampang struktur box girder dan desain detail *prestressing*.

**Kata kunci : beton prategang, *prestressing*, box girder, metode *balanced cantilever*, *precast segmental pier***

# **ELEVATED BRIDGE PLANNING IN HIGHWAY JAKARTA-CIKAMPEK SECTION II USING SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER WITH BALANCED CANTILEVER METHOD**

**Student Name** : Muhammad Rayendra  
**NRP** : 03111645000031  
**Majors** : Civil Engineering FTSLK-ITS  
**Consellor Lecturer** : 1. Ir. Mudji Irmawan, MS.  
2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo  
Masiran, MS.

## ***Abstract***

*Jakarta-Cikampek highway in section II Elevated is a flyover connecting Jakarta to Cikampek along 38 km which is part of Trans Java Toll Road. This elevated highway has the same track as the existing toll road. The traffic volume of vehicles passing through this toll road has increased and already exceeded its limits, this is behind the development of Jakarta Cikampek II Elevated Toll Road. This toll road uses the balanced cantilever method by launching Gantry so that it will not interfere with ongoing vehicle traffic activities.*

*In this final project, created a design of elevated bridge structure in Jakarta - Cikampek II toll road segmental concrete box girder. The toll road that will be discussed has a length of 45 meters with 2 lanes. Each lane has a width of 11 meters with a gap between lines of 80 cm. So, a total of elevated road width is 22.8 m.*

*The design of this bridge structure is guided by several existing regulatory standards. For the loading of concrete bridge refers to SNI 1725-2016, the planning of concrete bridge structure is adjusted with RSNI T-12-2004 and reference book "Post-Tensioned Box Girder Design Manual" based on AASHTO LRFD consisting of several structural elements that is box girder. The*



*structural analysis includes the analysis of girder box section ratios and prestressing detail design.*

***Keywords*** : ***prestress concrete, prestressing, box girder, balanced cantilever method, precast segmental pier***

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir dengan judul **"Perencanaan Elevated Bridge pada Ruas Jalan Tol Jakarta - Cikampek II Menggunakan Segmental Concrete Box Gider dengan Metode Balanced Cantilever"** ini berisikan tentang dasar-dasar teori dan metodologi dalam penyusunan tugas akhir. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Mudji Irmawan, MS., selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah memberikan masukan, saran, kritik dan bimbingan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
2. Bapak Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS., selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah memberikan masukan, saran, kritik dan bimbingan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
3. PT. ITS Kemitraan, Konsultan Review Pembangunan Jalan Tol Cikampek II Elevated selaku pemberi data.
4. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan material serta selalu mendoakan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Dan semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan selanjutnya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# DAFTAR ISI

Abstrak .....	vii
<i>Abstract</i> .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Pengertian Material Beton.....	5
2.2.1. Pengertian Desain LRFD.....	6
2.2.2. Material Struktural .....	9
2.3. Beton Prategang ( <i>Prestressing Steel</i> ) .....	16
2.4. Perletakkan (Bearings) .....	19
2.5. Pondasi .....	21
2.5.1. Modulus Reaksi Tanah Dasar (Koefisien Reaksi Tanah Dasar) .....	22
2.5.2. Efisiensi Kelompok Tiang.....	24
2.6. Metode Konstruksi .....	25
BAB III METODOLOGI .....	27
3.1. Diagram Alir .....	27
3.2. Pengumpulan Data Awal dan Studi Literatur.....	28
3.3. Preliminari Desain Box Girder.....	28
3.3.1. Mutu Material yang Digunakan .....	29
3.3.2. Dimensi Penampang.....	29
3.4. Design Struktur Sekunder .....	30
3.5. Desain Struktur Utama .....	30
3.5.1 Berat Sendiri .....	30

3.5.2	Beban Mati Tambahan/ Utilitas .....	30
3.5.3	Pengaruh Tetap Pelaksanaan.....	31
3.5.4	Beban Lalu Lintas .....	31
3.5.5	Beban angin .....	34
3.5.6	Pengaruh Gempa.....	35
3.6.	Analisis Struktur Utama .....	40
3.6.1.	Gaya Prategang Awal .....	40
3.6.2.	Modulus Elastisitas (E).....	41
3.6.3.	Kehilangan Gaya Prategang .....	41
3.6.4.	Penulangan Utama Box Girder.....	45
3.6.5.	Perencanaan Perhitungan Geser .....	46
3.6.6.	Kontrol Torsi .....	49
3.6.7.	Kontrol Momen Retak.....	49
3.6.8.	Kontrol Momen Batas .....	50
3.6.9.	Kontrol Lentutan.....	52
3.7.	Perletakkan ( <i>Bearing</i> ).....	52
3.8.	Perencanaan Pilar .....	53
3.9.	Perencanaan Pondasi .....	53
3.10.	Analisa Struktur .....	54
3.11.	Penggambaran hasil rencana .....	55
<b>BAB IV PEMBEBANAN STRUKTUR UTAMA JEMBATAN</b>		<b>57</b>
4.1.	Pembebanan Struktur Utama .....	57
4.4.1.	Beban Mati (MS).....	57
4.4.2.	Beban Mati Tambahan (MA) .....	58
4.4.3.	Beban Hidup Kendaraan (TD).....	58
4.4.4.	Beban Truk (TT).....	60
4.4.5.	Gaya akibat Rem (TB).....	61
4.4.6.	Pengaruh Temperatur .....	61
4.4.7.	Beban Angin pada Struktur (EWs).....	62
4.4.8.	Beban Angin Pada Kendaraan (EW1).....	63
4.4.9.	Beban gempa (EQ) .....	64
4.4.10.	Kombinasi Pembebanan.....	68
4.2.	Input Pembebanan pada Program MIDAS 2012 .....	70
4.2.1.	Input Beban Mati Tambahan (MA).....	70
4.2.2.	Input Beban Hidup Kendaraan (TD) .....	71

4.2.3. Input Beban Truk (TT) .....	72
4.2.4. Input Beban Rem (TB) .....	73
4.2.5. Pengaruh Temperatur (TU) .....	74
4.2.6. Input Beban Angin (EWs).....	74
4.2.7. Input Beban Angin pada Kendaraan (EWI).....	75
4.2.8. Input Beban Gempa (EQ).....	75
<b>BAB V PERENCANAAN STRUKTUR ATAS.....</b>	<b>77</b>
5.1. Preliminary Design.....	77
5.1.1. Preliminary Design Box Girder.....	78
5.1.2. Preliminary Design Parapet.....	79
5.2. Karakteristik Material.....	84
5.2.1. Beton .....	84
5.2.2. Baja Tulangan .....	85
5.2.3. Baja Tendon Prategang .....	85
5.3. Analisa Penampang Box Girder Segmen Tipikal :....	85
5.4. Permodelan dan Analisa Struktur.....	86
5.4.1. Permodelan pada Kantilever .....	87
5.5. Analisa Kantilever.....	87
5.5.1. Pembebanan Kantilever.....	88
5.5.2. Gaya Prategang Awal pada Kantilever.....	89
5.5.3. Perencanaan Kabel Tendon .....	92
5.5.4. Pemilihan Selongsong Tendon Prategang ( <i>Duct</i> )....	101
5.5.5. Pemilihan Angkur Tendon Prategang .....	101
5.6. Analisa Kehilangan Gaya Prategang.....	103
5.6.1. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Langsung	103
5.6.2. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Berdasarkan Fungsi Waktu .....	107
5.6.3. Kontrol Tegangan setelah Kehilangan .....	110
5.7. Penulangan Utama (Tulangan Lentur) .....	112
5.7.1. Desain Flens Atas.....	113
5.7.2. Desain Flens Bawah .....	114
5.7.3. Desain Flens Tegak .....	116
5.8. Perencanaan Tulangan Geser .....	118
5.8.1. Perhitungan Gaya Geser.....	118
5.8.2. Perhitungan Kebutuhan & Jarak Tulangan Geser ...	123

5.9.	Kontrol Torsi .....	126
5.10.	Kontrol Momen Retak .....	129
5.11.	Kontrol Momen Batas .....	130
5.12.	Kontrol Lendutan .....	132
5.13.	Sambungan antar Segmen Box Girder ( <i>Shear Key</i> )	134
5.14.	Perletakan .....	136
5.14.1.	Pot Bearing .....	136
5.14.2.	Angkur (Tumpuan Monolid).....	137
<b>BAB VI PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH .....</b>		<b>149</b>
6.1.	Umum .....	149
6.2.	Desain <i>Pier Head</i> .....	149
6.2.1.	Analisa Struktur <i>Pier Head</i> .....	150
6.2.2.	Analisa Kehilangan Gaya Prategang .....	160
6.2.3.	Perencanaan Angkur <i>Pier Head</i> pada Kolom .....	163
6.2.4.	Tulangan Longitudinal <i>Pier Head</i> .....	171
6.2.5.	Perencanaan Tulangan Geser <i>Pier Head</i> .....	171
6.3.	<i>Pier Column</i> .....	178
6.3.1.	Parameter <i>Pier Column</i> .....	178
6.3.2.	Gaya yang terjadi.....	178
6.3.3.	Perencanaan tulangan lentur <i>pier column</i> .....	179
6.3.4.	Perencanaan Tulangan Geser <i>Pier Column</i> .....	179
6.4.	<i>Pile Cap</i> .....	186
6.4.1.	Parameter <i>Pile Cap</i> .....	187
6.4.2.	Gaya yang terjadi.....	187
6.4.3.	Perhitungan tulangan lentur <i>pile cap</i> .....	187
6.4.4.	Geser Pons .....	197
6.5.	Pondasi .....	199
6.5.1.	Perhitungan Daya Dukung Borepile.....	199
6.5.2.	Perhitungan Konstanta Pegas Lateral Dari Lapisan Tanah .....	202
6.5.3.	Perhitungan Kelas Situs.....	206
6.5.4.	Evaluasi Kapasitas Daya Dukung Borepile .....	209
6.5.5.	Kapasitas Material Borepile .....	211
6.5.6.	Perhitungan Tulangan Geser Berdasarkan RSNI 2833-201X .....	213

BAB VII PENUTUP .....	221
7.1.    Kesimpulan.....	221
7.2.    Saran.....	223
DAFTAR PUSTAKA.....	225
BIODATA PENULIS.....	227
LAMPIRAN .....	228



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Jalan Tol Jakarta - Cikampek .....	1
Gambar 1. 2 Rencana Tampak Melintang Jalan Tol Elevated .....	2
Gambar 1. 3 Contoh Proyek yang Menggunakan Concrete Box Girder .....	3
Gambar 2. 1 Peningkatan Kekuatan Beton Sesuai dengan Waktu .....	10
Gambar 2. 2 Kurva Tegangan-Regangan pada Beton .....	11
Gambar 2. 3 Susut (Shrinkage) .....	12
Gambar 2. 4 Rangkak (Creep) pada Beton.....	13
Gambar 2. 5 Beton Tanpa Tulangan.....	13
Gambar 2. 6 Beton dengan Tulangan.....	14
Gambar 2. 7 Baja Tulangan (Reinforcing Steel) .....	14
Gambar 2. 8 Baja Prategang (Prestressing Steel) .....	15
Gambar 2. 9 Efek Prategang pada Balok Simple-Span .....	16
Gambar 2. 10 Anchorage System for Multi-Strand Tendon (Collins and Mitchell, 1997) .....	19
Gambar 2. 11 Tipe-Tipe Pot Bearing .....	20
Gambar 2. 12 Tipe Bearing .....	21
Gambar 2. 13 Kekakuan Pondasi dan Harga K dari Tanah Pondasi Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000 .....	23
Gambar 2. 14 Ilustrasi Balanced Cantilever dengan Lancher Gantry.....	26
Gambar 3. 1 Flowchart Rencana Desain .....	27
Gambar 3. 2 Penampang Single Box Girder .....	29
Gambar 3. 3 Susunan Pembebanan BTR dan BGT.....	32
Gambar 3. 4 Pembebanan Truk "T" (500 kN).....	33
Gambar 3. 5 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA)....	38
Gambar 3. 6 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas 7% dalam 75 Tahun.....	38
Gambar 3. 7 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas 7% dalam 75 Tahun.....	39

Gambar 3. 8 Respon Spektrum Gempa Kota Jakarta ( <a href="http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/">http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/</a> ).....	40
Gambar 3. 9. Retak Rambut pada Balok .....	49
Gambar 3. 10 Komponen Pot Bearing.....	53
Gambar 4. 1. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Mati (MS) .....	57
Gambar 4. 2. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Mati Tambahan (MA) .....	58
Gambar 4. 3. Lajur Rencana Beban Hidup Kendaraan .....	59
Gambar 4. 4. Distribusi Beban Hidup Kendaraan .....	59
Gambar 4. 5. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Hidup Kendaraan (TD).....	59
Gambar 4. 6. Beban Truk "T" (Tampak Memanjang).....	60
Gambar 4. 7. Beban Truk "T" (Tampak Melintang).....	60
Gambar 4. 8. Ilustrasi Pembebanan pada Gaya Akibat Rem (TB) .....	61
Gambar 4. 9. Gradien Temperatur (TG).....	62
Gambar 4. 10. Gaya Tekan Angin pada Struktur .....	63
Gambar 4. 11. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Angin pada Kendaraan (EWI).....	64
Gambar 4. 12. Lokasi Elevated Toll Bridge Jakarta – Cikampek II Sta. 11 +152.....	66
Gambar 4. 13. Peta PGA Probabilitas 7% Dalam 75 Tahun .....	67
Gambar 4. 14. Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas 7% Dalam 75 Tahun.....	67
Gambar 4. 15. Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas 7% Dalam 75 Tahun ...	68
Gambar 4. 16. Kurva Respon Spektrum Tanah Sedang Pada Lokasi Elevated Bridge Jakarta – Cikampek II Elevated.....	68
Gambar 4. 17. Input Beban Parapet dan Aspal – kN/m.....	70
Gambar 4. 18. Input Beban Tendon (PR) – kN/m.....	71
Gambar 4. 19. Input Beban Hidup Kendaraan (TD) – kN/m .....	72

Gambar 4. 20. Input Beban Truk (TT) – Kn .....	73
Gambar 4. 21. Input Beban Rem (TB) - kN .....	73
Gambar 4. 22. Input Pengaruh Temperatur (TU) pada Jembatan - °C .....	74
Gambar 4. 23. Input Beban Angin (EWs) – kN/m .....	74
Gambar 4. 24. Input Beban Angin pada Kendaraan (EWI) – kN/m .....	75
Gambar 4. 25. Input Beban Gempa Respon Spektrum .....	75
Gambar 5. 1. Pembagian Segmen Box Girder .....	77
Gambar 5. 2. Desain Penampang Awal : <i>Standard Segment</i> .....	78
Gambar 5. 3. Preliminary Desain Parapet .....	79
Gambar 5. 4. Segmen Tipikal.....	85
Gambar 5. 5. Permodelan Struktur Bangunan Atas pada Jembatan (Memanjang).....	86
Gambar 5. 6. Permodelan Struktur Bangunan Atas pada Jembatan ( <i>Cross Section</i> ).....	87
Gambar 5. 7. Permodelan Struktur Bangunan Atas pada Program MIDAS 2012.....	87
Gambar 5. 8. Momen yang Terjadi pada Segmen 1 .....	88
Gambar 5. 9. F1 dan F2 pada Joint S3 & S3L.....	95
Gambar 5. 10. F1 dan F2 pada Joint S3 & S3L.....	98
Gambar 5. 11. Selongsong ( <i>Duct</i> ) .....	101
Gambar 5. 12. Detail <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC.....	102
Gambar 5. 13. Detail Angkur Hidup Tipe GC .....	103
Gambar 5. 14. Permodelan Box Girder per Meter .....	112
Gambar 5. 15. Ilustrasi Beban Truk pada Box Girder.....	112
Gambar 5. 16. Diagram Momen Akibat Beban Terfaktor.....	113
Gambar 5. 17. Diagram Momen Akibat Beban Terfaktor.....	115
Gambar 5. 18. Ilustrasi Beban Truk pada Setengah Badan Box Girder .....	116
Gambar 5. 19. Diagram Momen di Badan Box Akibat Beban Terfaktor.....	117

Gambar 5. 20. Permodelan Box Girder per Meter dengan Beban Luar Setengah Badan Box.....	126
Gambar 5. 21. Retak Rambut pada Penampang .....	129
Gambar 5. 22. Output Lendutan dari Program MIDAS 2012 (mm) .....	133
Gambar 5. 23. Detail Sambungan Antar Segmen.....	134
Gambar 5. 24. Gigi Kunci pada Sambungan Antar Segmen .....	136
Gambar 5. 25. <i>Fixed Pot Bearing</i> Tipe TF-6 .....	136
Gambar 5. 26. Ilustrasi Pembebanan pada Perencanaan Angkur Box Girder.....	138
Gambar 5. 27. Selongsong ( <i>Duct</i> ) .....	145
Gambar 5. 28. Detail <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC .....	146
Gambar 5. 29. Detail Angkur Hidup Tipe GC .....	146
Gambar 5. 30. Detail Angkur Mati VSL Tipe-L .....	147
Gambar 6. 1. Permodelan Struktur Bangunan Bawah.....	149
Gambar 6. 2. Permodelan <i>Pier Head</i> .....	150
Gambar 6. 3. Dimensi <i>Pier Head</i> .....	150
Gambar 6. 4. Letak Tendon pada <i>Pier Head</i> .....	151
Gambar 6. 5. Selongsong ( <i>Duct</i> ) .....	158
Gambar 6. 6. Detail <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC .....	159
Gambar 6. 7. Detail Angkur Hidup Tipe GC .....	159
Gambar 6. 8. Ilustrasi Pembebanan pada <i>Pier Head</i> .....	164
Gambar 6. 9. Selongsong ( <i>Duct</i> ) .....	168
Gambar 6. 10. Detail <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC.....	169
Gambar 6. 11. Detail Angkur Hidup Tipe GC .....	170
Gambar 6. 12. Detail Angkur VSL Mati Tipe-L .....	170
Gambar 6. 13. Dimensi Kolom.....	178
Gambar 6. 14. Diagram Kapasitas Kolom dari SPCol .....	179
Gambar 6. 15. Dimensi Pile Cap .....	187
Gambar 6. 16. Geser Pons Kolom Pilar terhadap Pile Cap .....	197
Gambar 6. 17. Geser Pons Borepile terhadap Pile Cap .....	198
Gambar 6. 18. Grafik Daya Dukung Pondasi Borepile .....	202
Gambar 6. 19 Permodelan Koefisien Spring pada Borepile ....	204

Gambar 6. 20. Diagram Kapasitas Bore Pile Atas di SPCol .....212

Gambar 6. 21. Diagram Kapasitas Bore Pile Bawah di SPCol .212

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanis Baja Structural (Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD Edisi Kedua).....	15
Tabel 3. 1 Faktor beban berat mati sendiri .....	30
Tabel 3. 2 Faktor beban mati tambahan .....	31
Tabel 3. 3 Faktor beban pengaruh tetap pelaksanaan.....	31
Tabel 3. 4 Faktor beban lajur.....	32
Tabel 3. 5 Faktor beban truck.....	33
Tabel 3. 6 Nilai V0 dan Z0.....	35
Tabel 3. 7 Tekanan Angin Dasar .....	35
Tabel 3. 8. Kriteria Kategori Kepentingan Jembatan .....	36
Tabel 3. 9 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Bangunan Bawah .....	37
Tabel 3. 10 Nilai Kofisien Susut, KSH .....	44
Tabel 3. 11 Nilai J dan Kre.....	45
Tabel 4. 1. Berat Box Girder .....	57
Tabel 4. 2. Beban Mati Tambahan .....	58
Tabel 4. 3 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Bangunan Bawah .....	65
Tabel 5. 1. Desain Penampang Awal Berdasarkan Lebar <i>Deck</i> ..	79
Tabel 5. 2. Momen yang Terjadi pada Segmen 1 .....	88
Tabel 5. 3 Fperlu pada Segmen 1 (Tumpuan) .....	91
Tabel 5. 4. Kontrol Tegangan pada Segmen 1 (Tumpuan) .....	91
Tabel 5. 5. Perhitungan Tendon dan Kontrol Tegangan pada Segmen 1 (Tumpuan) .....	94
Tabel 5. 6. Kontrol Tegangan Kantilever Penuh Tiap Segmen saat Transfer .....	97
Tabel 5. 7. Kontrol Tegangan Kantilever Penuh Tiap Segmen saat Service.....	100
Tabel 5. 8. Diameter Selongsong Tendon .....	101
Tabel 5. 9. Dimensi <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC.....	102
Tabel 5. 10. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC. ....	102



Tabel 5. 11. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis Tendon Kantilever.....	104
Tabel 5. 12. Kehilangan Gaya Prategang Akibat wobble Effect (Fx) Tendon Kantilever.....	106
Tabel 5. 13. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Slip Angker pada Tendon Kantilever .....	107
Tabel 5. 14. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton pada Tendon Kantilever .....	108
Tabel 5. 15. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton Tendon Kantilever .....	108
Tabel 5. 16. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja Tendon Kantilever .....	110
Tabel 5. 17. Total Kehilangan Prategang Tendon Kantilever ...	110
Tabel 5. 18. Kontrol Tegangan Setelah kehilangan Prategang pada Tendon Kantilever .....	111
Tabel 5. 19. Gaya Geser pada Box Girder.....	119
Tabel 5. 20. Retak Geser ( $V_{cw}$ ) pada Box Girder.....	120
Tabel 5. 21. Retak Geser Lentur ( $V_{ci}$ ) .....	122
Tabel 5. 22. Jarak Tulangan Geser Box Girder .....	125
Tabel 5. 23. Kebutuhan Tulangan Geser Box Girder .....	125
Tabel 5. 24. Reaksi Perletakan .....	136
Tabel 5. 25. Reaksi Perletakan .....	137
Tabel 5. 26. Perhitungan Fperlu pada Angkur Box Girder.....	140
Tabel 5. 27. Kontrol Tegangan Fperlu pada Angkur Box Girder .....	140
Tabel 5. 28. Kontrol Tegangan $F_o$ pada Angkur Box Girder....	143
Tabel 5. 29. Dimensi Selongsong Tendon.....	145
Tabel 5. 30. Dimensi <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC .....	145
Tabel 5. 31. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC .....	146
Tabel 5. 32. Dimensi Angkur Mati VSL Tipe-L .....	147
Tabel 6. 1. Letak Tendon pada <i>Pier Head</i> .....	151
Tabel 6. 2. Momen pada <i>Pier Head</i> .....	151
Tabel 6. 3. Perhitungan Fperlu pada Tendon <i>Pier Head</i> .....	156

Tabel 6. 4. Perhitungan Tendon dan Kontrol Tegangan pada <i>Pier Head</i> .....	157
Tabel 6. 5. Tegangan Total Tendon <i>Pier Head</i> .....	157
Tabel 6. 6. Dimensi Selongsong Tendon.....	158
Tabel 6. 7. Dimensi <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC.....	158
Tabel 6. 8. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC .....	159
Tabel 6. 9. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis .....	160
Tabel 6. 10. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Wobble Effect (Fx) .....	160
Tabel 6. 11. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Slip Angker ..	160
Tabel 6. 12. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton .....	161
Tabel 6. 13. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton ..	161
Tabel 6. 14. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja .....	161
Tabel 6. 15. Total Kehilangan Prategang pada Tendon <i>Pier Head</i> .....	162
Tabel 6. 16. Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang.	163
Tabel 6. 17. Reaksi Gaya Normal pada <i>Pier Head</i> .....	163
Tabel 6. 18. Perhitungan Fperlu pada Angkur <i>Pier Head</i> .....	167
Tabel 6. 19. Perhitungan Tendon dan Kontrol Tegangan pada Angkur <i>Pier Head</i> .....	167
Tabel 6. 20. Dimensi Selongsong Tendon.....	169
Tabel 6. 21. Dimensi <i>Stirrup Reinforcement</i> Tipe GC.....	169
Tabel 6. 22. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC .....	169
Tabel 6. 23. Dimensi Angkur Mati VSL Tipe-L.....	171
Tabel 6. 24. Gaya Geser pada Tendon <i>Pier Head</i> .....	172
Tabel 6. 25. Retak Geser (Vcw) .....	173
Tabel 6. 26. Retak Geser Lentur (Vci) .....	175
Tabel 6. 27. Jarak Tulangan Geser pada <i>Pier Head</i> .....	177
Tabel 6. 28. Kebutuhan Tulangan Geser pada <i>Pier Head</i> .....	177
Tabel 6. 29. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Kolom.....	178

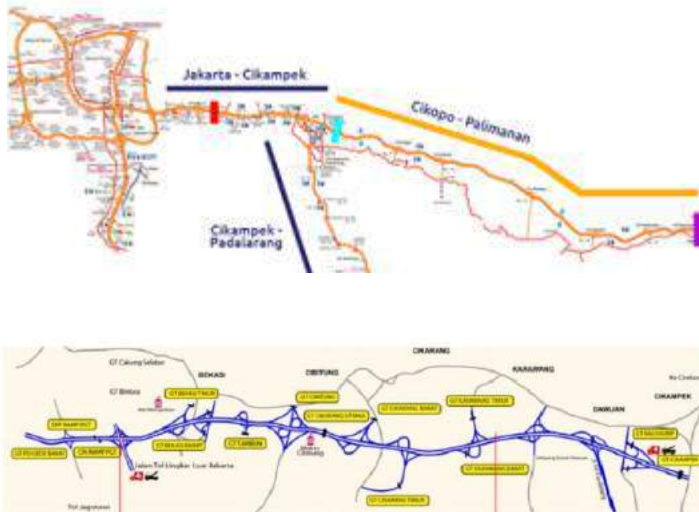
Tabel 6. 30. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Pile Cap .....	187
Tabel 6. 31. Geser Pons Kolom Pilar terhadap Pile Cap .....	197
Tabel 6. 32. Geser Pons Borepile terhadap Pile Cap .....	198
Tabel 6. 33. Daya Dukung Borepile (1) .....	199
Tabel 6. 34. Daya Dukung Borepile (2) .....	200
Tabel 6. 35. (Decourt & Quaresma, 1978 & Decourt et al, 1996) .....	202
Tabel 6. 36. Koefisien Spring .....	204
Tabel 6. 37. Klasifikasi Kelas Situs.....	207
Tabel 6. 38. Penentuan Kelas Situs .....	208
Tabel 6. 39 Gaya Reaksi Group Tiang Akibat Beban Layan dan Gempa .....	209
Tabel 6. 40 Gaya Reaksi Satu Tiang Akibat Beban Layan dan Beban Gempa.....	209
Tabel 6. 41. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Bore Pile Atas.....	211
Tabel 6. 42. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Bore Pile Bawah .	211
Tabel 6. 43 Resume Bore Pile Atas.....	213

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Saat ini pemerintah Indonesia sedang gencar meningkatkan perekonomian dengan membangun infrastruktur, yaitu sarana transportasi. Salah satu usaha dalam menunjang sarana transportasi adalah pembangunan jalan tol. Maka dalam rangka meningkatkan dan menunjang sarana transportasi, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta berencana merealisasikan pembangunan Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Elevated guna meningkatkan kinerja jalan tol Jakarta Cikampek yang kapasitasnya sudah sangat melampaui batas.

Jalan Tol Jakarta Cikampek terletak di Wilayah Jakarta yang menghubungkan kota Jakarta dengan Cikampek. Ruas Jalan Tol Jakarta Cikampek ini merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa.



Gambar 1. 1 Lokasi Jalan Tol Jakarta - Cikampek

Jalan tol ini menghubungkan beberapa daerah di sekitar Jakarta seperti Cikunir, Bekasi, Cibitung, Cikarang dan Karawang. Kondisi eksisting jalan tol saat ini mempunyai 2 jalur dan 4 buah lajur dimasing- masing jalur. Total panjang jalan tol ini adalah 38 km yang terbagi beberapa zona.

Dalam Tugas Akhir ini akan direncanakan *elevated bridge* pada Jalan Tol Jakarta Cikampek II menggunakan konstruksi segmental concrete box girder. Konstruksi *concrete box girder* dengan metode *balanced cantilever* ini dianggap cukup efektif untuk jalan layang yang berada pada lalu lintas yang cukup padat. Hal ini dikarenakan *concrete box girder* dapat dipasang pada geometri jalan tol yang melengkung, serta metode pelaksanaan yang mudah jika dibandingkan dengan *steel box girder*. Selain itu bahan material beton itu sendiri akan membuat estetika lebih menarik dan rapi.



Gambar 1. 2 Rencana Tampak Melintang Jalan Tol Elevated



Gambar 1. 3 Contoh Proyek yang Menggunakan *Concrete Box Girder*

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mendesain struktur box girder?
2. Bagaimana analisa dan perhitungan kekuatan box girder untuk menahan gaya-gaya yang bekerja?
3. Bagaimana kehilangan prategang yang terjadi dengan menggunakan *prestressed tendon* pada *box girder* dan *pier head*?
4. Bagaimana metode pelaksanaan konstruksi dengan metode *balanced cantilever*?
5. Bagaimana mendesain struktur *pier* dengan menggunakan beton bertulang?
6. Bagaimana merencanakan pondasi pada struktur jembatan?
7. Bagaimana menuangkan hasil desain dan analisa ke dalam bentuk gambar teknik?

### 1.3 Tujuan

Adapun beberapa tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain :

1. Mendesain penampang box girder mengikuti standar peraturan yang ada.
2. Menganalisa kekuatan penampang box girder terhadap gaya-gaya yang bekerja.
3. Menghitung kehilangan prategang yang terjadi dengan menggunakan *prestressed tendon* pada *box girder* dan *pier head*.
4. Mengetahui metode pengerjaan menggunakan *balanced cantilever method*.
5. Mendesain pier dengan menggunakan beton bertulang.
6. Merencanakan pondasi dan kebutuhan *pile*
7. Menuangkan hasil desain dan analisa ke dalam bentuk gambar teknik.

### 1.4 Batasan Masalah

1. Perencanaan tidak meninjau analisis waktu dan biaya.
2. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan.

### 1.5 Manfaat

Penyusunan tugas akhir ini memberikan beberapa manfaat antara lain :

Umum/Pembaca

1. Sebagai referensi dalam melakukan desain jembatan dengan menggunakan sistem segmental concrete box girder

Penulis

1. Sebagai evaluasi penguasaan ilmu keteknik sipil terkait desain jembatan selama kuliah
2. Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Desain jembatan harus memenuhi spesifikasi desain yang telah ditentukan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika. Spesifikasi standar untuk desain jembatan beton di Indonesia mengacu pada RSNi-T-12-2004, “Perencanaan struktur beton untuk jembatan”, dan SNI-1725 2016, “Pembebanan untuk jembatan”. Tinjauan lain dalam desain jembatan mengacu pada referensi buku, “*Post-Tensioned Box Girder Design Manual*” yang diterbitkan oleh Federal Highway Administration – U.S. Department of Transportation. Dan referensi tersebut berpedoman pada spesifikasi standar untuk pembangunan jembatan dan konstruksi jalan raya di Amerika Serikat, “*Standard Specifications for Highway Bridges and Incidental Structures*” yang dipublikasi oleh American Association of State Highway Officials (AASHTO).

#### **2.2. Pengertian Material Beton**

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Beton merupakan satu kesatuan yang homogeny. Beton ini didapatkan dengan cara mencampur agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lain dan air, dengan semen Portland atau semen hidrolis yang lain.

Kelebihan beton :

1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
2. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan.



3. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan
4. Beton segar dapat dipompakan sehingga mungkin untuk dituang pada tempat yang posisinya sulit.
5. Beton tahu aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

### 2.2.1. Pengertian Desain LRFD

Desain menggunakan LRFD (*Load and Resistance Factored Design*) mengutamakan daya tahan dan beban yang umumnya mencapai tingkat keamanan yang seragam dalam mendesain *superstructure* dan *substructure*. Filosofi desain sebelumnya menggunakan variasi tingkat keamanan berdasarkan fungsi, panjang bentang, susunan bentang, dan jenis struktur yang digunakan (seperti: girder, *pier cap*, atau kolom). Keamanan dalam desain struktural diambil berdasarkan prinsip dimana hasil akibat beban harus kurang dari ketahanan material, sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut :

$$\text{Beban} < \text{Daya Tahan Material}$$

Metode LRFD juga memperhitungkan kemungkinan atau probabilitas kejadian yang berbeda untuk beban dan ketahanan material. Keuntungan desain menggunakan metode LRFD adalah sebagai berikut :

- Metode LRFD memperhitungkan kemungkinan dalam ketahanan dan beban
- Metode LRFD dipakai di berbagai negara karena pencapaian tingkat keamanan yang relatif seragam
- Metode LRFD memberikan tingkat keamanan yang konsisten pada desain *superstructure* dan *substructure* (tidak termasuk pondasi)

### **2.2.1.1 Keadaan Batas Daya Layan**

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 5.1, keadaan batas daya layan disyaratkan dalam perencanaan dengan melakukan pembatasan pada tegangan, deformasi, dan lebar retak pada kondisi pembebanan layan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik selama umur rencana.

Berdasarkan AASHTO 2012, keadaan batas layan digunakan untuk investigasi tegangan beton, deformasi, retak (*crack*), defleksi, dan camber pada saat layan.

- Daya Layan 1 : kontrol retak dan pembatasan tekanan pada beton prategang
- Daya Layan 2 : kontrol retak atau tekan pada beton prategang

### **2.2.1.2 Keadaan Batas Fatik dan Fraktur**

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 5.2, keadaan batas fatik disyaratkan agar jembatan tidak mengalami kegagalan akibat fatik selama umur rencana. Untuk tujuan ini, perencana harus membatasi rentan tegangan akibat satu beban truk rencana pada jumlah siklus pembebanan yang dianggap dapat terjadi selama umur rencana jembatan. Keadaan batas fraktur disyaratkan dalam perencanaan dengan menggunakan persyaratan kekuatan material sesuai spesifikasi.

Keadaan batas fatik dan fraktur dimaksudkan untuk membatasi penjaralan retak akibat beban siklik yang pada akhirnya akan menyebabkan terjadinya kegagalan fraktur selama umur desain jembatan.

### **2.2.1.3 Keadaan Batas Kekuatan**

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 5.3, keadaan batas kekuatan disyaratkan dalam perencanaan untuk memastikan adanya kekuatan dan kestabilan jembatan yang memadai, baik yang sifatnya lokal maupun global, untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara statistik mempunyai kemungkinan cukup besar untuk terjadi selama masa layan jembatan. Pada keadaan batas ini, dapat terjadi kelebihan tegangan ataupun kerusakan struktural, tetapi integritas struktur secara keseluruhan masih terjaga.

Berdasarkan AASHTO 2012, Article 5.5.4.2, keadaan batas kekuatan digunakan untuk investigasi kekuatan aksial, lentur, kuat geser, dan stabilitas komponen beton pada saat keadaan batas kekuatan.

- Kuat 1 : beban dasar
- Kuat 2 : beban berdasarkan spesifikasi perencana
- Kuat 3 : beban angin pada struktur
- Kuat 4 : struktur dengan beban mati dan hidup yang besar
- Kuat 5 : beban angin dan beban hidup

#### **2.2.1.4 Keadaan Batas Ekstrem**

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 5.4, keadaan batas ekstrem diperhitungkan untuk memastikan struktur jembatan dapat bertahan akibat gempa besar. Keadaan batas ekstrem merupakan kejadian dengan frekuensi kemunculan yang unik dengan periode ulang yang lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan umur rencana jembatan.

#### **2.2.1.5 Daktilitas**

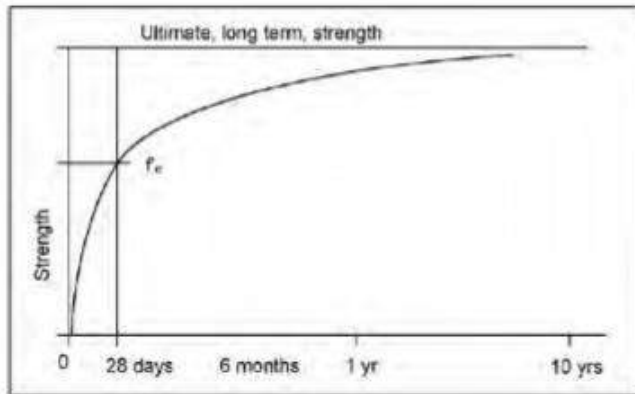
Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 5.5, sistem struktur jembatan harus diproporsi dan didetailkan agar diperoleh perilaku deformasi inelastik pada keadaan batas ultimit dan ekstrem sebelum mengalami kegagalan. Perangkat disipasi energi gempa dapat digunakan untuk menggantikan sistem pemikul beban gempa konvensional beserta metodologi perencanaan tahan gempa yang dimuat dalam Peraturan Perencanaan Gempa untuk Jembatan.

### **2.2.2. Material Struktural**

#### **2.2.2.1 Beton**

Desain jembatan dapat menggunakan beton pracetak maupun cast-in-situ dengan mempertimbangkan keuntungan dari menggunakan metode tersebut. Pada tahap perencanaan awal, jenis dan tipe beton, serta persyaratan kekuatannya harus diperhatikan, termasuk kekuatan dan daya tahan jangka panjang.

Sifat dasar beton adalah kekuatan tekannya yang dilambangkan dengan simbol  $f_c'$ . Kekuatan tekan,  $f_c'$ , ditentukan pada usia 28 hari dengan berdasarkan suatu kriteria perancangan yang telah ditentukan. Beton akan menguat dengan usia, seperti yang diilustrasikan gambar. Kenaikan kekuatan beton meningkat dengan cepat selama beberapa hari pertama, kemudian melambat, dan akhirnya melambat secara bertahap dalam jangka panjang.

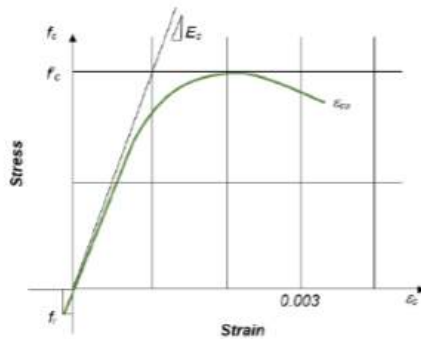


Gambar 2. 1 Peningkatan Kekuatan Beton Sesuai dengan Waktu

Karakteristik kekuatan beton secara langsung mempengaruhi perilaku beton yang harus dipahami dan dipertimbangkan dengan cermat selama mendesain struktural. Karakteristik hubungan kekuatan beton juga berhubungan dengan sifat lain, seperti hubungan kekuatan tarik, kekuatan geser, rangkak (*creep*) dan susut (*shrinkage*). Hubungan tersebut bersifat empiris, dan telah ditetapkan oleh eksperimen dan pengalaman.

### **Modulus Elastisitas ( $E_c$ )**

Modulus elastisitas beton,  $E_c$ , perbandingan antara tegangan dan regangan beton, nilainya tergantung pada mutu beton, umur beton, jenis pembebanan, karakteristik, dan perbandingan semen dan agregat. Pada beton, tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 2 Kurva Tegangan-Regangan pada Beton

Berdasarkan RSNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.5, untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan tidak melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis tidak kurang dari 2000 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai  $E_c$  dapat diambil sebagai :

- $E_c = w_c^{1.5} (0,043 \sqrt{f_{c'}})$ , untuk beton dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m<sup>3</sup>,  $E_c$  boleh diambil sebesar  $4700\sqrt{f_{c'}}$ , dinyatakan dalam MPa, atau
- ditentukan dari hasil pengujian

Dimana :

- $w_c$  : Berat beton (Kg/m<sup>3</sup>)
- $f_{c'}$  : Mutu beton (Mpa)
- $E_c$  : Modulus elastisitas (Mpa)

### **Poisson Ratio ( $\nu$ )**

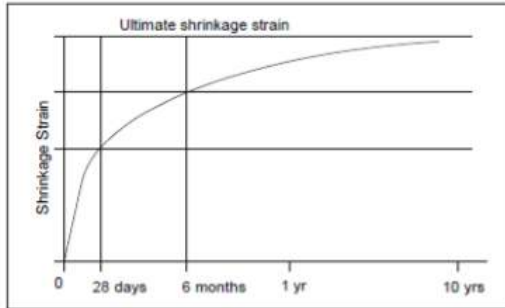
Berdasarkan RSNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.6, angka poisson ratio untuk beton,  $\nu$ , dapat diambil sebesar :

- 0,2 atau
- ditentukan dari hasil pengujian

### **Susut (*Shrinkage*)**

Volume beton dapat berubah akibat susut (*shrinkage*), yang disebabkan oleh pengeringan udara yang berkelanjutan.

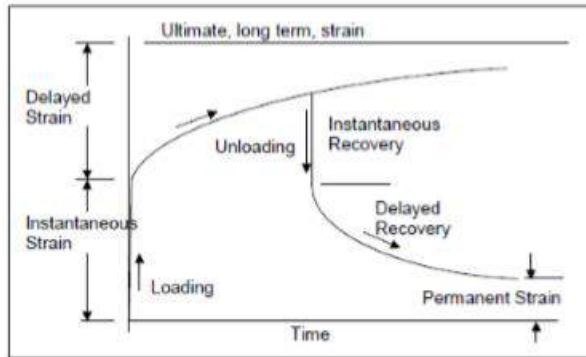
Penyusutan terjadi dengan cepat dalam beberapa hari pertama namun secara bertahap melambat seiring berjalannya waktu, mendekati namun tidak pernah mencapai batas akhir (seperti Gambar 2.4). Tingat penyusutan dan bentuk kurva akibat susut berbeda-beda menyesuaikan tipe beton, umur beton, paparan, dan lingkungan.



Gambar 2. 3 Susut (*Shrinkage*)

### **Rangkak (*Creep*)**

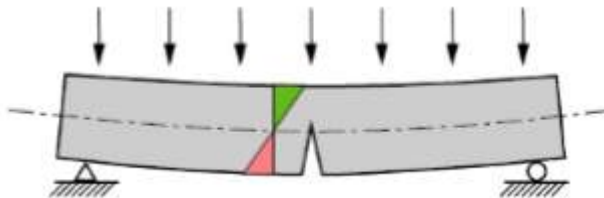
Perubahan volume pada beton juga dapat terjadi karena rangkak (*creep*), yaitu deformasi berkepanjangan pada beton akibat tekanan yang berkelanjutan. Saat dibebani, beton mengalami regangan elastis awal yang terjadi seketika yang merupakan fungsi dari modulus elastisitas pada saat dibebani. Beton yang dibebani mengalami tegangan dan regangan yang pemulihannya tidak pernah 100% dan sisa regangan permanen tetap ada yang diilustrasikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Rangkaian (*Creep*) pada Beton

### Perilaku Beton

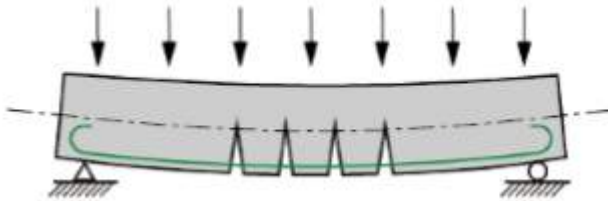
Material beton kuat dalam tekanan namun relatif lemah terhadap tarik. Tegangan tarik yang terjadi akibat beban luar maupun berat sendiri dapat mengakibatkan retak.



Gambar 2. 5 Beton Tanpa Tulangan

Ketahanan lentur balok beton dapat meningkat dengan menambahkan tulangan sebagai penguat untuk menahan tegangan yang tidak dapat diterima beton. Tulangan baja menahan tegangan tarik, memberikan peningkatan ketahanan terhadap beban.





Gambar 2. 6 Beton dengan Tulangan

### 2.2.2.2 Baja Tulangan (*Reinforcing Steel*)

Secara umum, tulangan dipakai sebagai penguat dalam praktik di industri konstruksi. Jenis penguatan ringan lainnya, seperti *stainless steel* atau *stainless clad reinforcement*, juga telah digunakan secara efektif. Sementara menghasilkan peningkatan ketahanan terhadap korosi, baja tulangan ini awalnya tidak memiliki kekuatan leleh atau modulus elastisitas yang sesuai dengan persyaratan peraturan. Namun, sejak diperkenalkannya, produsen jenis batang baja tulangan ini telah mengubah formulasi mereka untuk menghasilkan karakteristik yang dapat diterima.



Gambar 2. 7 Baja Tulangan (*Reinforcing Steel*)

Dalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2002 mengambil beberapa sifat-sifat mekanik dari material baja yaitu:

Modulus Elastisitas,	$E$	$= 200.000 \text{ MPa}$
Modulus Geser,	$G$	$= 80.000 \text{ MPa}$

Angka poisson,  $\nu$  = 0,30  
 Koefisien muai panjang,  $\alpha$  = 12.10 ( $^{\circ}$ )/oc

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan tegangan purlrsnya, SNI 03-1729-2002 mengklasifikasikan mutu dari material baja menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Sifat Mekanis Baja Structural (Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD Edisi Kedua)

Jenis Baja	Tegangan Putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan Leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Regangan minimum (%)
Bj 34	340	210	22
Bj 37	370	240	20
Bj 41	410	250	18
Bj 50	500	290	16
Bj 55	550	410	13

### 2.2.2.3 Baja Prategang (*Prestressing Steel*)

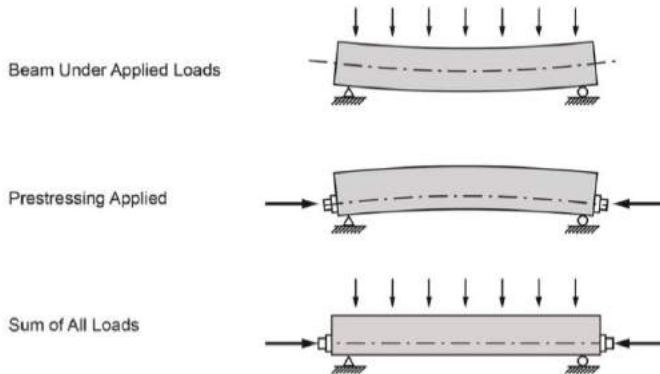
*Prestressing strand* tersedia dalam diameter nominal berkisar antara ¼ inch sampai 0,6 inch, tergantung pada kelas atau jenis strand. Diameter nominal yang sering digunakan adalah 0,5 inch atau 0,6 inch.



Gambar 2. 8 Baja Prategang (*Prestressing Steel*)

### 2.3. Beton Prategang (*Prestressing Steel*)

Definisi beton prategang (*prestressed concrete*) menurut SNI 2847-2013 yaitu beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban.



Gambar 2. 9 Efek Prategang pada Balok *Simple-Span*

Terdapat tiga konsep dasar yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar beton prategang yang penting untuk dimengerti seorang perancang untuk mendapatkan desain beton prategang dengan sebaik dan seefisien mungkin. Konsep-konsep tersebut adalah (T.Y Lin, 1981):

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

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Ini merupakan pemikiran dari Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (prategang) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu-tinggi yang ditarik) diolah sedemikian rupa sehingga

beton yang getas dapat memikul tegangan tarik, dari konsep ini lahirlah kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton.

2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton.

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang 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. Konsep ini mendasari metode perancangan kuat batas dan juga dipakai pada keadaan elastis.

3. Sistem prategang untuk mencapai tingkat kesetimbangan beban.

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat (*slab*), balok, dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit.

Metode prategang dapat diaplikasikan dengan dua cara, yakni pratarik (*pretensioning*) atau pasca-tarik (*post-tensioning*). Pada perencanaan ini menggunakan metode prategang *post-tensioning*.

### **Pasca-tarik (*Post-tensioning*)**

Sistem pascatarik adalah suatu sistem prategang dimana kabel ditarik setelah beton mengeras. Beton sebelumnya dicor di sekeliling selongsong yang telah disediakan. Posisi selongsong biasanya diatur sesuai dengan bidang momen dari

struktur. Baja tendon tetap berada dalam selongsong selama pengecoran dan tendon bisa ditarik disatu sisi dan sisi yang lain diangkur. Atau tendon ditarik di dua sisi dan diangkur secara bersamaan. Beton menjadi tertekan setelah pengangkuran. Untuk sistem pasca tarik saat ini banyak digunakan elemen beton pracetak yang dirancang khusus dengan lubang-lubang tendon yang telah tersedia.

Kelebihan dari sistem pasca tarik adalah posisi tendonnya dapat diatur mengikuti bidang momennya sedangkan pada sistem pratarik hanya terbatas pada penggunaan kawat lurus yang ditarik diantara dua dinding penahan. Selain itu metode ini lebih cepat dalam pengerjaannya karena menggunakan beton pracetak sehingga tidak perlu setting time beton untuk mengeras seperti halnya pada metode pratarik.

Namun dalam penggunaan sistem pasca tarik, jumlah tendon dan sistem penarikannya sangat berpengaruh terutama kepada kehilangan gaya prategangnya. Presentase kehilangan terbesar terjadi pada tendon yang pertama kali ditegangkan. Penggunaan tendon yang terlalu banyak akan menambah presentase kehilangan gaya prategang dan tidak efisien. Dengan kata lain, diameter tendon yang lebih besar dan jumlah tendon yang lebih sedikit akan lebih efisien dibandingkan diameter kecil tetapi jumlah tendonnya banyak. Pemilihan jumlah tendon dan cara penarikannya harus diperhatikan agar kehilangan gaya prategang terjadi seminimum mungkin (Sudarmono, 2004).

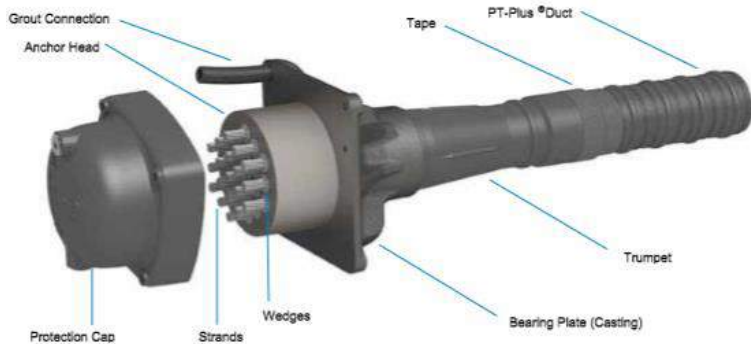
### **Pengangkuran Sistem Pasca-tarik**

Pada dasarnya ada tiga prinsip kabel dengan baja atau *strand* (untaian kawat) diangkurkan ke beton : (T.Y Lin, 1988)

1. Dengan prinsip kerja pasak yang menghasilkan penjepit gesek pada kabel
2. Dengan perletakkan langsung dari kepala paku-keling atau baut yang dibuat pada ujung kabel
3. Dengan membelitkan kabel ke sekeliling beton

Beberapa sistem prategang yang populer mengangkurkan kabel atau strand dengan kerja pasak. Pengangkuran dengan kerja

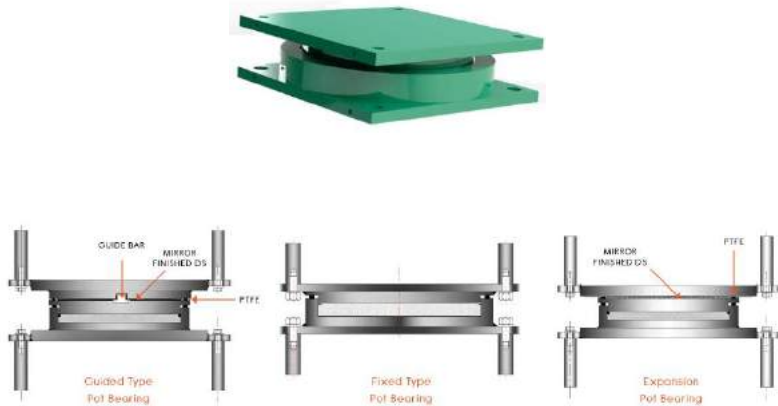
pasak dapat menggunakan sistem *basic bearing plate anchorages*. Penggunaan *basic bearing plate anchorages* harus memenuhi persyaratan pada AASHTO LRFD, 2015.



Gambar 2. 10 Anchorage System for Multi-Strand Tendon  
(Collins and Mitchell, 1997)

#### 2.4. Perletakkan (Bearings)

Perletakkan atau *bearing* terletak di antara *superstructure* dan *substructure* dengan fungsi mentransmisikan beban dari *superstructure* ke *substructure* dan juga memfasilitasi translasi atau rotasi.

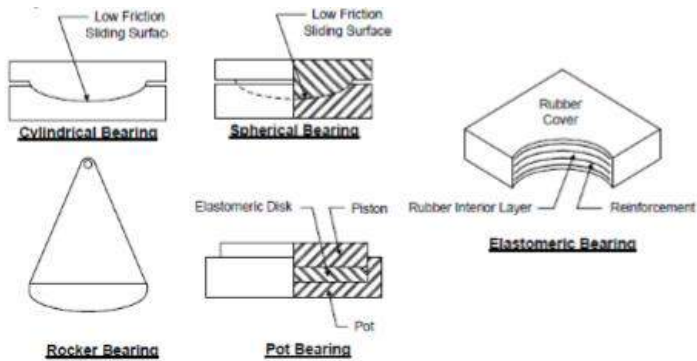


Gambar 2. 11 Tipe-Tipe *Pot Bearing*

*Bearing* dapat digunakan sebagai tipe *fixed* untuk arah longitudinal dan transversal, tetap pada satu sisi dan bergerak di sisi lainnya, atau bergerak di kedua sisinya.

### **Tipe Bearing**

Ada berbagai tipe *bearing* dengan keunikan dalam penggunaannya. Berdasarkan besarnya beban, translasi, dan rotasi dalam berbagai sumbu jembatan, tipe *bearing* diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 2. 12 Tipe *Bearing*

## 2.5. Pondasi

Pondasi adalah suatu konstruksi yang mampu menahan gaya ortogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Pemakaian tiang pancang untuk pondasi pada suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung/*bearing capacity* yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya yang letaknya sangat dalam (Sardjono, 1988 dalam Hardiyatmo, 2010).

Pada sekelompok tiang, jika jarak masing-masing tiang ini cukup besar, maka daya dukung vertikal tiang-tiang ini tidak menimbulkan kesulitan, karena hal ini dianggap sama besar dengan daya dukung sebuah tiang. Jika jarak tiang-tiang terlalu dekat, saat tiang turun akibat beban, tanah diantara tiang-tiang juga ikut bergerak turun. Pada kondisi ini, kelompok tiang dapat dianggap sebagai satu tiang besar dengan lebar yang sama dengan lebar kelompok tiang (Hardiyatmo, 2010). Untuk bekerja sebagai grup, jarak tiang ( $s$ ) biasanya disesuaikan dengan peraturan-peraturan bangunan pada daerah masing-masing, umumnya  $2d < s \leq 6d$ .



Di samping itu, bila jarak antara tiang-tiang mengecil sampai suatu batas tertentu, sekelompok tanah di antara tiang-tiang akan menggabung satu sama lain. Ruang minimum antara tiang-tiang untuk keadaan yang hampir mendekati gejala di atas tergantung pada jenis tanah pondasi atau susunan tiang-tiang dan sulit ditentukan dengan suatu patokan yang sederhana. Oleh karena itu, pada suatu cara dimana pondasi tiang secara keseluruhan dianggap sebagai kaisan murni. Hal ini berdasarkan pada pendapat bahwa jika ruangan tengah pada tiang cukup kecil, maka tanah pada bagian yang diapit tiang dan tiang akan berfungsi sebagai suatu kesatuan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

Untuk tiang-tiang yang menahan geser, karena pada ruang antara masing-masing tiang dianggap tidak terjadi tegangan yang saling mempengaruhi, maka dipakai persamaan berikut ini:

$$D_o = 1,5 \sqrt{rl}$$

Keterangan :

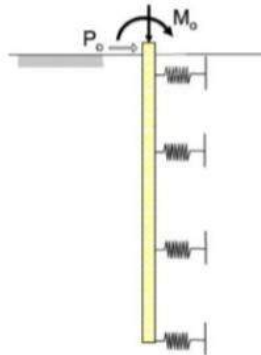
- $D_o$  = jarak minimum antara pusat tiang sehingga dianggap saling tidak mempengaruhi dalam suatu gabungan tiang.  
 $r$  = jari-jari tiang  
 $l$  = panjang tiang

### 2.5.1. Modulus Reaksi Tanah Dasar (Koefisien Reaksi Tanah Dasar)

Modulus reaksi tanah dasar didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dasar dan deformasi atau lendutan tanah akibat beban tersebut. Faktor-faktor penahan pada tanah pondasi yang bekerja melawan gaya luar adalah intensitas reaksi vertikal tanah dan gaya penahan geser dari tanah di bawah dasar pile cap. Faktor-faktor penahan ini berhubungan erat dengan pergerakan tanah pondasi dan sebagainya.

Oleh karena itu bila faktor-faktor itu diambil berdasarkan perkiraan, maka tanah pondasi dianggap seolah-olah memiliki pegas. Dengan kata lain, gambaran kekuatannya berdasarkan anggapan bahwa tanah pondasi merupakan suatu pegas yang

memiliki momen seperti bahan yang elastis. Pegas ini dinamakan koefisien reaksi tanah dasar (*coefficient of subgrade reaction*) yang dapat diperoleh dari modulus perubahan bentuk (deformasi) tanah pondasi (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2. 13 Kekakuan Pondasi dan Harga K dari Tanah Pondasi  
Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000

Konsep dari koefisien reaksi tanah dasar atau disebut juga *soil modulus* adalah umumnya diterapkan pada studi yang berhubungan dengan tiang yang diberi pembebanan lateral. Koefisien reaksi tanah dasar adalah suatu hubungan konsep pengertian antara tekanan tanah dengan lendutan yang banyak sekali digunakan dalam analisis konstruksi anggota pondasi. Dengan perantara yang disebut koefisien reaksi tanah dasar ini, dapat dihitung besarnya reaksi dan pergeseran tanah pondasi berdasarkan pada keseimbangan antara beban yang bekerja dan tahanan pada tanah pondasi.

Untuk pondasi tiang pancang, perkiraan koefisien reaksi tanah dalam arah mendatar (KH) diberikan dengan persamaan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000) :

$$k = 0,2 E_o \cdot D^{-3/4}$$

$$k = k_o \cdot y^{-1/2}$$

Dimana :

$k_o$  = harga k bila pergeseran pada permukaan dibuat sebesar 1 cm (kg/cm<sup>3</sup>)

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

$E_o$  = modulus deformasi tanah pondasi, biasanya diperkirakan  $E_o = 28N$ , dengan memakai harga  $N$  dari tes SPT

$D$  = diameter tiang

### 2.5.2. Efisiensi Kelompok Tiang

Kapasitas dukung tiang kelompok dapat berkurang jika jarak tiang semakin dekat dalam tanah lempung. Jadi, besarnya kapasitas dukung total menjadi tereduksi dengan nilai yang tergantung dari ukuran, bentuk kelompok, jarak, dan panjang tiangnya. Nilai pengali terhadap kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang, disebut efisiensi tiang ( $E_g$ ), yang didefinisikan sebagai persamaan berikut (*ConverseLabarre formula*) (Vesic, 1967):

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90mn}$$

Dimana :

$E_g$  = efisiensi kelompok tiang

$m$  = jumlah baris tiang

$n'$  = jumlah tiang dalam satu baris

$s$  = jarak pusat ke pusat tiang (m)

$d$  = diameter tiang (m)

$\theta$  = arc tg( $d/s$ ), dalam derajat

Kapasitas dukung ultimit tiap tunggal dengan memperhatikan factor efisiensi tiang dinyatakan oleh persamaan :

$$Q_u = E_g \times Q_{\text{tiang}}$$

## 2.6. Metode Konstruksi

Konstruksi jembatan *box girder* dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, diantaranya adalah dengan metode *balanced cantilever*, *Incremental Launching Method (ILM)*, dan metode *span by span*. Pemilihan metode pelaksanaan dipertimbangkan dari segi sistem struktur, waktu pelaksanaan, peralatan yang digunakan, dan biaya.

Masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan yang harus menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan metode pelaksanaan struktur jembatan pada suatu proyek.

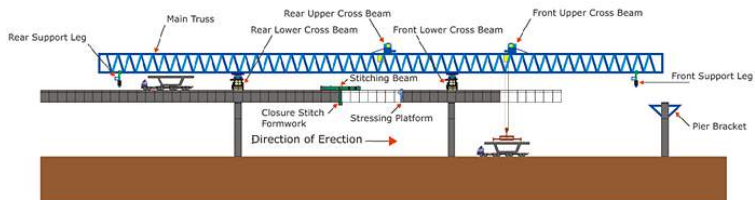
Berikut ini adalah beberapa metode konstruksi yang umum dilaksanakan di lapangan (VSL):

- Sistem Peluncuran (*Launching*)
- Sistem Perancah (*Falsework*)
- Sistem Kantilever (*Balanced Cantilever*)

Dalam pelaksanaannya terdapat beberapa jenis metode konstruksi *box girder*, yaitu (VSL) :

1. Metode *Balanced Cantilever* dengan *Launching Gantry*
2. Metode *Balanced Cantilever* dengan *Lifting Frame*
3. Metode *Balanced Cantilever* dengan *Crane*
4. Metode *Balanced Cantilever* dengan sistem bentang penuh (*full span*)
5. Metode *Balanced Cantilever* dengan *Form Traveler Method*
6. Metode *Span by span* dengan *Launching Gantry*
7. Metode *Span by span* dengan *Falsework*

Dari berbagai metode pelaksanaan *erection box girder*, metode yang dipakai dalam perencanaan tugas akhir ini adalah metode *Balanced Cantilever dengan Launching Gantry (Overhead or Underslung)*.



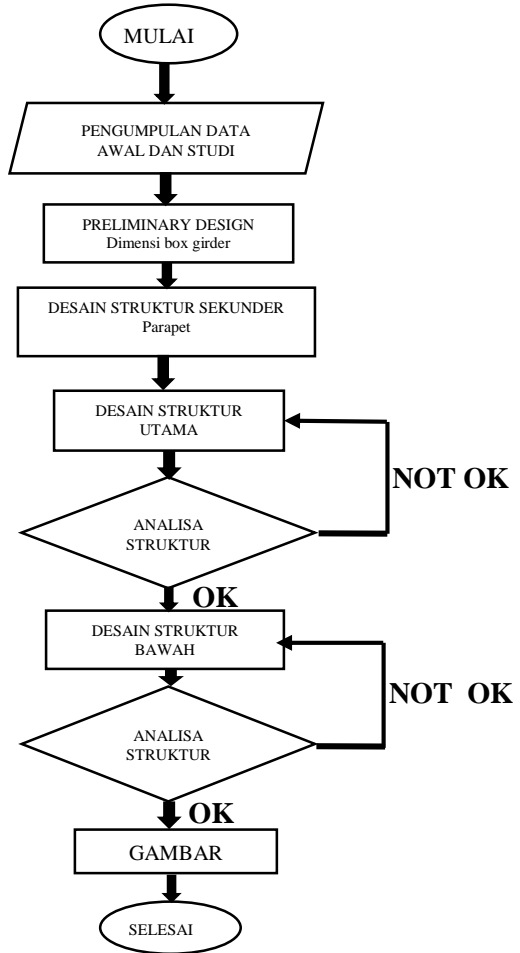
Gambar 2. 14 Ilustrasi *Balanced Cantilever* dengan *Launcher Gantry*

Metode *balanced cantilever* adalah metode pelaksanaan konstruksi jembatan *precast segmental box girder*, dimana segmen demi segmen sebagai kantilever di kedua sisi agar saling mengimbangi (*balanced*) atau satu sisi dengan pengimbang balok beton yang sudah dilaksanakan lebih dulu. Pada metode ini digunakan satu buah *gantry* atau lebih yang digunakan sebagai peluncur dan penopang segmen *box girder* yang ada. Kelebihan metode ini:

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

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Diagram Alir



Gambar 3. 1 *Flowchart* Rencana Desain

### 3.2. Pengumpulan Data Awal dan Studi Literatur

Dalam studi literatur penulis menggunakan beberapa referensi terkait, berupa jurnal, modul kuliah, buku, majalah, peraturan, maupun internet.

Data perencanaan yang dibutuhkan antara lain :

1. Nama dan lokasi : Jalan Tol Jakarta – Cikampek II  
Elevated
2. Panjang bentang : 45 m
3. Lebar Lajur : 2 x 3,5 m
4. Lebar bahu luar : 2,5 m
5. Lebar bahu dalam : 0,6 m
6. Material Utama : Beton

Dalam perencanaan Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Elevated ini dilakukan studi literature dimana melakukan pembelajaran mengenai ilmu-ilmu dan peraturan yang berkaitan dengan perencanaan flyover dengan tipe steel box girder. Beberapa peraturan/standar yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- AASHTO LRFD 2012, Bridge Design Specifications 6th Ed (US) FHWA-HIF-15-016, Post-Tensioned Box Girder Design Manual
- FHWA-NHI-15-047, Load and Resistance Factor Design (LRFD) For Highway Bridge Superstructures
- RSNI T-12-2004, Perencanaan Struktur Jembatan Beton
- RSNI 2833-201X, Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa
- SNI 1725-2016, Pembebanan untuk Jembatan

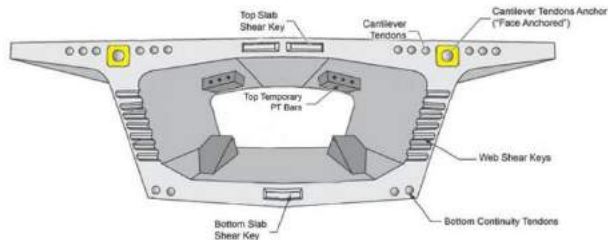
### 3.3. Preliminari Desain Box Girder

Desain penampang ditentukan dengan mempertimbangkan lokasi proyek, proses pengerjaan, dan beban-beban yang terjadi.

### 3.3.1. Mutu Material yang Digunakan

Mutu beton yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beton mutu tinggi, K-600.

### 3.3.2. Dimensi Penampang



Gambar 3. 2 Penampang *Single Box Girder*

#### 1. Tinggi Penampang

Tinggi penampang ditentukan berdasarkan AASHTO LRFD Tabel 2.5.2.6.3-1 dengan minimal tinggi penampang :

$$D = 0,045 L \text{ (simple spans)}$$

$$D = 0,040 L \text{ (continuous spans)}$$

#### 2. Ketebalan Minimum untuk badan

- 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 di badan box.
- 300 mm = jika terdapat selongsong tendon (12,5 inch) pada badan box.
- 350 mm = jika terdapat angkur tendon (12,5 inch) pada badan box.

#### 3. Ketebalan Minimum untuk sayap

- 175 mm = lebar antar badan kurang dari 3 meter.
- 200 mm = lebar antar badan berkisar 3 – 4,5 meter.
- 250 mm = lebar antar badan berkisar 4,5 – 7,5 meter.



### 3.4. Design Struktur Sekunder

Pada tahap desain struktur sekunder ini merupakan perencanaan parapet. Struktur yang ditinjau akan diberi pembebanan yang sesuai. Hasil gaya dalam akibat pembebanan selanjutnya akan digunakan untuk menentukan penulangan pada setiap struktur tersebut.

### 3.5. Desain Struktur Utama

#### 3.5.1 Berat Sendiri

Berat sendiri adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural lain ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat sebagai berikut (SNI 1725-2016, pasal 7.2) :

Tabel 3. 1 Faktor beban berat mati sendiri

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

#### 3.5.2 Beban Mati Tambahan/ Utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban mati tambahan dapat dilihat sebagai berikut (SNI 1725-2016, pasal 7.3) :

Tabel 3. 2 Faktor beban mati tambahan

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

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

### 3.5.3 Pengaruh Tetap Pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan yang kaitannya dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai. Adapun faktor beban yang digunakan terhadap pengaruh tetap pelaksanaan adalah sebagai berikut (SNI 1725-2016, pasal 7.5):

Tabel 3. 3 Faktor beban pengaruh tetap pelaksanaan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{PL}$ )		
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{PL}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{PL}^U$ )	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

### 3.5.4 Beban Lalu Lintas

#### a. Beban Lajur “D”

Beban “D” sesuai dengan yang didefinisikan dalam peraturan SNI 1725:2016 pasal 8.3 terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Intensitas beban BTR tergantung panjang total yang dibebani, ditentukan berdasarkan hubungan berikut:

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

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

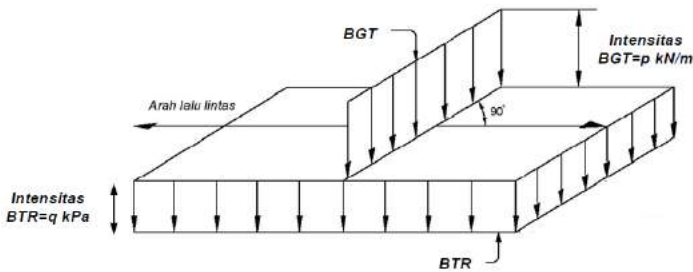
Dimana:

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah

memanjang (kPa)

$L$  = panjang total yang dibebani (meter)

Sedangkan, beban garis terpusat (BGT) harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan dengan intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya. Susunan pembebanan ini dapat dilihat dalam Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Susunan Pembebanan BTR dan BGT

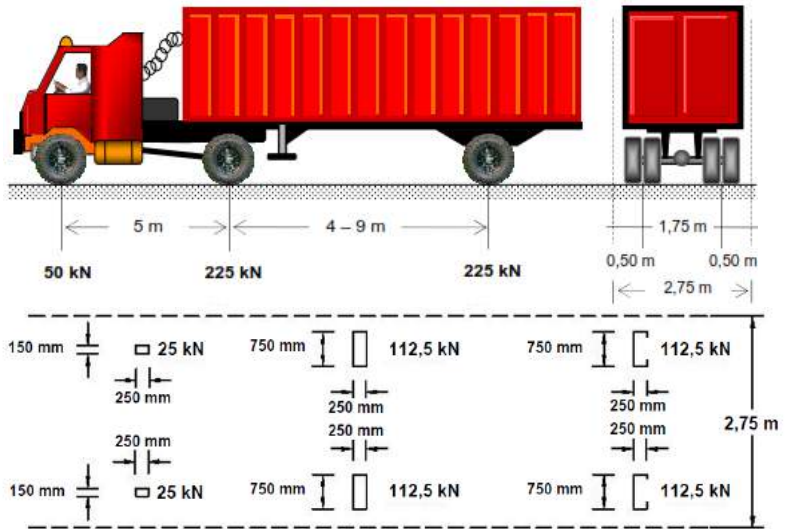
Tabel 3. 4 Faktor beban lajur

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

### b. Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.4 terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada Gambar 3.4. Berat sendiri dari masing-masing as disebar menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara dua as tersebut antara 4.0 m sampai dengan 9.0 m, hal ini dikarenakan untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Kendaraan

truk "T" ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana.



Gambar 3. 4 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

Tabel 3. 5 Faktor beban truck

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Ultimit
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder	1,00	2,00
	Baja		

### 3.5.5 Beban angin

#### a) Tekanan Angin Horizontal

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

$$VDZ = 2,5 V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_a} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)$$

Dimana :

- VDZ : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
  - V10 : kecepatan angin pada elevasi 10000 m di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
  - VB : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
  - Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air di mana beban angin rencana dihitung ( $Z > 10000$  mm) 58
  - V0 : kecepatan gesekan angin, yang meruakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 3.7, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
  - Z0 : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada tabel 3.7 (mm)
- V10 diperoleh dari:
- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
  - Survei angin pada lokasi jembatan.

- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90 \text{ s/d } 126 \text{ km/jam}$ .

Tabel 3. 6 Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$ 

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

### b) Beban Angin pada Struktur (EWs)

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.1, tekanan angin rencana (MPa) dapat ditetapkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PD = PB \left( \frac{VDZ}{Va} \right)^2$$

Dimana:

PB : Tekanan angin dasar seperti ditentukan dalam

Tabel 3. 7 Tekanan Angin Dasar

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

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

### 3.5.6 Pengaruh Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan

untuk beberapa kasus. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisienrespons elastik (Csm) dengan berat struktur ekibalen

$$EQ = \frac{Csm}{Rd} \times Wt$$

Keterangan :

EQ = gaya gempa horizontal statis (kN)

Csm = koefisien respons gempa elastis

Rd = faktor modifikasi respons

Wt = berat total struktur terdiri dari beban mati dan

beban

hidup (kN)

Kriteria kategori kepentingan jembatan berdasarkan RSNI2 2833:201X dapat ditentukan sebagai berikut:

Tabel 3. 8. Kriteria Kategori Kepentingan Jembatan

Kategori kepentingan	Definisi	Periode ulang gempa rencana
Jembatan sangat penting (critical bridges)	Jembatan yang harus dibuka untuk lalu-lintas setelah gempa rencana dan dapat dilalui kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan, pertahanan, ekonomi, atau keselamatan segera setelah gempa 1000 tahun.  Jembatan yang secara resmi ditentukan sebagai jembatan sangat penting oleh otoritas yang berwenang.	1000 tahun 7% -75 tahun
Jembatan penting (essential bridges)	Jembatan yang minimum dapat dibuka untuk kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan, pertahanan, ekonomi setelah gempa rencana dan dibuka untuk semua lalu-lintas dalam beberapa hari setelah gempa 1000 tahun.	1000 tahun 7% -75 tahun
Jembatan lainnya (other bridges)	Jembatan selain jembatan sangat penting dan penting	500 tahun 10% -50 tahun

Penentuan faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah berdasarkan (RSNI2 2833:201X) dapat dilihat pada table berikut:

Pada elevated bridge ini ,dikategorikan sebagai jembatan lainnya (biasa) sehingga digunakan nilai factor modifikasi respons sebagai berikut:

- Untuk perencanaan struktur kolom dan balok pier digunakan  $R = 3.0$  untuk gempa arah X (longitudinal) dan gempa arah Y (transversal).
- Untuk perencanaan pile cap (footing) dan pondasi tiang pancang digunakan  $R = 1.5$  untuk arah X maupun Y. ( $R =$  setengah dari factor R bangunan atas)

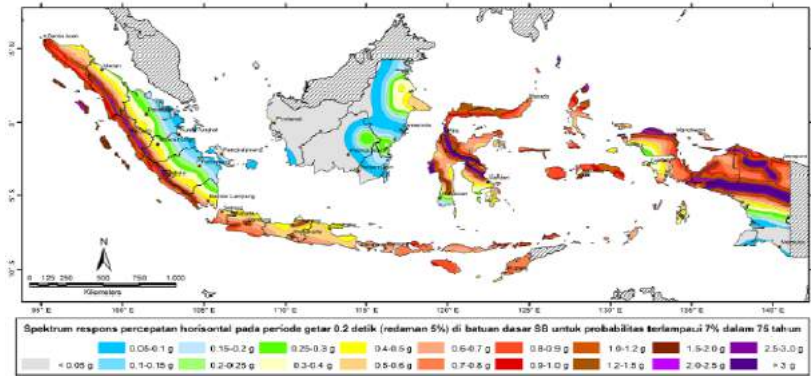
Tabel 3. 9 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Bangunan Bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

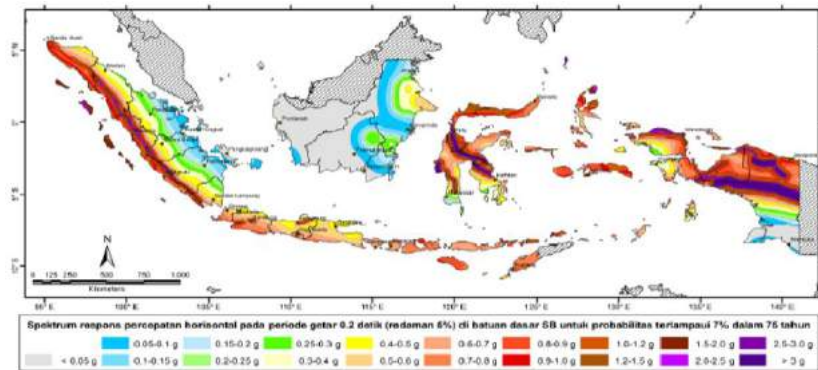
Catatan:

Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

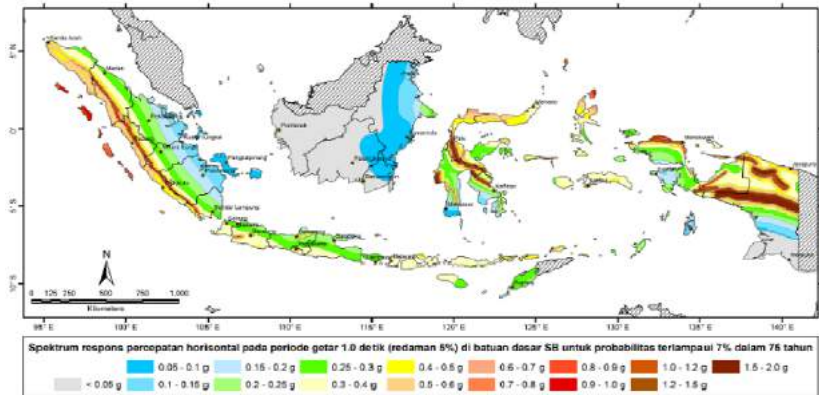




Gambar 3. 5 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA)



Gambar 3. 6 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas 7% dalam 75 Tahun



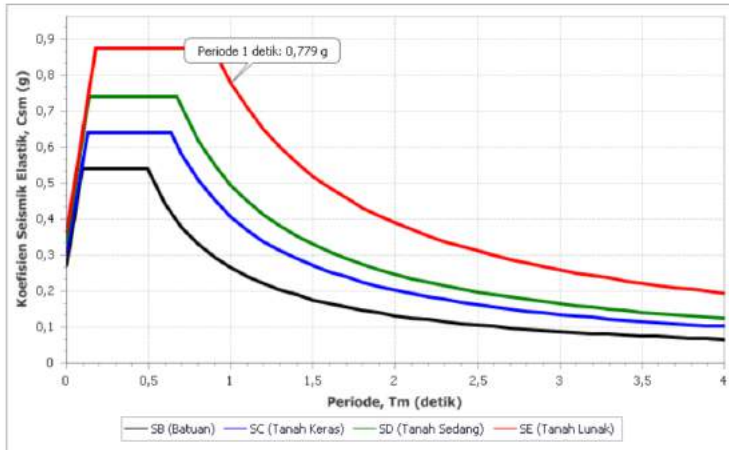
Gambar 3. 7 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas 7% dalam 75 Tahun

Penentuan Spektrum Respons Desain di Permukaan Tanah untuk jembatan dapat dilihat dari situs.

<http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/>

Lokasi elevated bridge ini terletak di kota Jakarta. Sehingga berdasarkan peta gempa pada RSNI 2833-201X maupun Aplikasi Desain Spektra dari PUSJATAN didapatkan parameter untuk respon spektra di lokasi tersebut adalah:

- Site class =  $S_D$  (Tanah Sedang)
- 0.2 second acceleration response spectra = 0.541 g
- 1 second acceleration response spectra = 0.265 g
- PGA = 0.272
- Percepatan Puncak di Permukaan Tanah ( $A_s$ ) = 0
- SDS = 0.740 g
- SD1 = 0.495 g



Gambar 3. 8 Respon Spektrum Gempa Kota Jakarta  
[\(http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/\)](http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/)

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

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

### 3.6. Analisis Struktur Utama

#### 3.6.1. Gaya Prategang Awal

Dalam tugas akhir menggunakan tegangan ijin bahan untuk beton prategang yang telah ditentukan dalam RSNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2 sebagai berikut :

##### a) Pada saat transfer

Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 7 hari saat dilakukan transfer ( $f_{ci}$ ), dinyatakan dalam satuan MPa.

- $f_{ci}' = 75\% \times f_c'$

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:

- $\sigma_{tekan} = 0,6 \times f_c'$

Berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2.4, serat terluar mengalami tarik, tidak boleh melebihi nilai tegangan ijin tarik sebagai berikut :

- $\sigma_{tarik} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}'}$

#### **b) Pada saat service**

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

- $\Sigma_{tekan} = 0,45 \times f_c'$

Berdasarkan SNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2.3 untuk komponen beton prategang dengan struktur beton prategang penuh, tegangan tarik yang diijinkan sebesar :

- $\sigma_{tarik} = 0,5 \sqrt{f_c'}$

### **3.6.2. Modulus Elastisitas (E)**

Beton normal dengan massa jenis 2400 kg/m<sup>3</sup>,  $E_c$  diambil sebesar  $4700 \times \sqrt{f_c'}$  baik saat transfer maupun saat service.

### **3.6.3. Kehilangan Gaya Prategang**

Tegangan pada tendon beton prategang berkurang secara kontinyu seiring dengan waktu. Total pengurangan tegangan ini disebut kehilangan prategang total. Kehilangan prategang total ini adalah faktor utama yang mengganggu perkembangan awal beton prategang. Menurut Raju (1993), kehilangan gaya prategang dapat digolongkan menjadi 2, yaitu kehilangan langsung (*immediate*) dan kehilangan yang bergantung dengan waktu (*time depending lost*).

#### **A. Kehilangan Gaya Prategang Langsung**

Kehilangan gaya prategang langsung dapat diakibatkan oleh beberapa hal, antara lain:

### 1. Perpendekan Elastik Beton (ES)

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

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

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

dengan,

ES : kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa)

Kes : koefisien elastis 0,5 (pascatarik)

Es : modulus elastis baja (MPa)

Eci : modulus elastis 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)

### 2. Friksi/ Gesekan (FR)

Besarnya kehilangan gaya prategang akibat friksi/ gesekan merupakan fungsi dari formasi tendon atau yang disebut curvature effect dan simpangan lokal di dalam alignment disebut wobble effect.

$$\Delta f_{pf} = f_{pi}(\mu \cdot \alpha + k \cdot L)$$

dengan,

$\Delta f_{pf}$  : kehilangan tegangan akibat gesekan kabel

$f_{pi}$  : tegangan awal tendon

L : panjang kabel yang diukur dari ujung kabel ke lokasi x

K : wobble effect

$\mu$  : koefisien gesek kabel dan material

A : sudut kabel (radian)

### 3. Pergeseran Angkur (ANC)

Menurut Lin dan Burns (2000), kehilangan gaya prategang karena slip ankur pada komponen paska-tarik diakibatkan adanya blok-blok pada ankur saat pendongkrak disalurkan ke ankur. Cara mudah untuk mengatasi kehilangan ini adalah dengan memberikan kelebihan tegangan.

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} \cdot E_s$$

dengan,

$\Delta A$  : deformasi pengankuran/ slip

$E_s$  : modulus elastik kabel

$L$  : panjang tendon

## B. Kehilangan Gaya Prategang Tidak Langsung

Kehilangan gaya prategang yang bergantung dengan waktu antara lain :

### 1. Rangkak pada beton (CR)

Deformasi atau aliran lateral akibat tegangan longitudinal disebut rangkak dan kehilangan hanya terjadi akibat beban yang terus menerus selama riwayat pembebanan suatu elemen struktural. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak didapati persamaan :

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

dengan,

$CR$  : kehilangan prategang akibat rangkak (MPa)

$K_{cr}$  : koefisien elastis 1,6 (pascatarik); 2,0 (pratarik)

$E_s$  : 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)

## 2. Susut pada beton (SH)

Kehilangan gaya prategang akibat susut beton harus diperhitungkan yang besarnya dari waktu. Kehilangan akibat susut beton pada tendon dapat dihitung dengan rumus:

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

dengan,

SH : kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

KSH : koefisien susut, dari Tabel 3.12

Es : modulus elastisitas baja (MPa)

V : luas penampang box (cm<sup>2</sup>)

S : keliling penampang box (cm)

RH : kelembaban relative

Tabel 3. 10 Nilai Kofisien Susut, KSH

Jangka waktu setelah perawatan basah sampai penerapan prategang (hari)	1	3	5	7	10	20	30	60
Ksh	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

## 3. Relaksasi tendon prategang (RE)

Relaksasi pada tendon mengalami tegangan tarik dalam waktu yang cukup lama. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan rumus :

$$RE = [Kre - J (SH + CR + ES)] \times C$$

dengan,

RE : kehilangan prategang akibat relaksasi baja (MPa)

Kre : didapat dari Tabel 3.13.

J : didapat dari Tabel 3.13.

SH : kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

CR : kehilangan prategang akibat rangkai (MPa)

ES : kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa)

C : didapat dari Tabel 3.13.

Tabel 3. 11 Nilai J dan Kre

Tipe tendon	K <sub>re</sub>	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
Kawat relaksasi-rendah derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	30	0,035
Batang stress-relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa	41	0,05

### 3.6.4. Penulangan Utama Box Girder

#### Batas Penulangan

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

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

#### Kebutuhan Tulangan

$$M_n = \frac{M_u}{0,8}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

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

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$



### 3.6.5. Perencanaan Perhitungan Geser

Prosedur perencanaan geser adalah sebuah analisis untuk menentukan kekuatan geser beton  $V_c$  yang dibandingkan terhadap kekuatan geser batas pada penampang yang diketahui  $V_u$ .

Pengaruh tegangan geser ini adalah untuk menimbulkan tegangan-tegangan tarik utama pada bidang-bidang diagonal. Kekuatan beton terhadap geser murni adalah hampir dua kali lipat pada tarik.

Keruntuhan local pertama-tama tampak dalam bentuk retak-retak akibat tarikan diagonal di bagian-bagian yang tegangan gesernya tinggi.

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

1. Dari dimensi penampang box girder yang telah direncanakan, hitung kemampuan penampang untuk menahan gaya geser, yaitu :

- Retak Geser ( $V_{cw}$ )

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

Dimana :

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

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

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

Keterangan :

$V_{cw}$  = Kuat geser badan

$f_c'$  = Mutu beton prategang, 50 MPa

$f_{pc}$  = Tegangan 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 ke atas

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

- Retak Geser ( $V_{ci}$ ) :

$$V_{ci} = \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{20} \cdot b_w \cdot d \right) + VD + \left( \frac{V_L \cdot M_{cr}}{M_{max}} \right)$$

$$\geq \left( \frac{\sqrt{f_{cr}}}{7} \cdot b_w \cdot d \right)$$

Dimana :

$$M_{cr} = Z \left( \frac{\sqrt{f_{cr}}}{2} + f_{pe} - f_d \right)$$

$$Z = \frac{I}{y_a}$$

Keterangan :

$V_{ci}$  = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat beban terfaktor

$f'_c$  = Mutu beton prategang, 50 MPa

$b_w$  = Lebar badan

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

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

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

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

2. Dari kekuatan penampang yang ada dan geseran eksternal yang terjadi, maka dapat ditentukan apakah penampang perlu tulangan geser atau cukup dipasang tulangan geser minimum saja. Besarnya gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan adalah :

$$V_s = V_n - V_c$$

Keterangan :

$V_n$  = Kekuatan geser batas nominal

$V_c$  = Kekuatan geser batas beton, didapat dari nilai terkecil antara  $V_{ci}$  dan  $V_{cw}$

3. Dengan mengetahui besarnya gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan maka dapat direncanakan tulangan geser untuk menahan gaya geser tersebut.

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

Keterangan :

$V_s$  = Kekuatan geser sengkang

$A_v$  = Luas penampang tulangan yang akan dipasang

$S$  = Jarak tulangan

4. Beberapa ketentuan untuk tulangan geser :

- Jarak tulangan :

$$V_s \leq \frac{\sqrt{f_{c'}} \cdot b_w \cdot d}{3} \quad \text{maka} \quad S \leq \frac{3}{4} d$$

$$V_s \geq \frac{\sqrt{f_{c'}} \cdot b_w \cdot d}{3} \quad \text{maka} \quad S \leq \frac{1}{2} x \frac{3}{4} d$$

- Tulangan geser dipasang minimum apabila :

$$\frac{1}{2} V_c < \frac{V_u}{\phi} < V_c$$

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

- Kemampuan tulangan geser maksimum :

$$V_s \max = \frac{2}{3} \sqrt{f_{c'}} \cdot b_w \cdot d$$

### 3.6.6. Kontrol Torsi

- Perhitungan konstanta torsi

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{x_n}{y_n}\right)\right]}$$

Dimana,  $x_n$  = tebal pelat  
 $y_n$  = lebar pelat

- Torsi ijin  
 Tulangan torsi tidak diperlukan apabila :

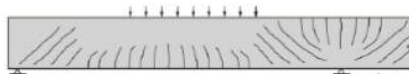
$$\frac{T_u}{\phi T_{cr}} < 0,25$$

Syarat :

$$T_{ijin} = T_{cr} > T_u$$

### 3.6.7. Kontrol Momen Retak

Momen retak yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok beton prategang dihitung dengan teori elastis, dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada saat serat terluar beton mencapai modulus keruntuhan. Harus diperhatikan bahwa modulus keruntuhan hanyalah 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 sebab-sebab lainnya, maka retak-retak dapat terlihat pada tegangan tarik yang terkecil.



Gambar 3. 9. Retak Rambut pada Balok

Dengan menggunakan analisa elastic balok prategang, perumusan tegangan pada saat jacking tahap 2 (service) untuk daerah tarik serat bawah adalah :

$$f_r = -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \cdot e \cdot y}{I} + \frac{M \cdot y}{I}$$

Dengan mentransposkan suku-suku pada persamaan diatas, maka diperoleh momen retak.

$$\begin{aligned} M_{cr} &= (F \cdot e) + \left(\frac{F_{eff} \cdot I}{A \cdot y}\right) + \left(\frac{f_r \cdot I}{y}\right) \\ &= \left[F \left(e + \frac{I}{A \cdot y}\right)\right] \left(\frac{f_r \cdot I}{y}\right) \\ &= M_1 + M_2 \end{aligned}$$

Dimana :

$M_1$  = Momen akibat eksentrisitas gaya prategang

$M_2$  = Momen tahanan beton

$F_o$  = Gaya prategang awal (pada saat jacking)

$e$  = eksentrisitas

$w_b$  = Tegangan serat bawah

$w_a$  = Tegangan serat atas

$f_r$  = Modulus retak =  $0,7 \cdot \sqrt{f'c}$

Syarat :

$$M_{cr} > M_u$$

### 3.6.8. Kontrol Momen Batas

Momen batas tekan box ini merupakan control dimana momen ultimate box tidak boleh kurang dari  $M_{cr}$  serta momen tahanan batas  $\phi M_n$  tidak boleh lebih kecil dari momen terfaktor  $1,2 M_{cr}$  yang bekerja pada box.

Dengan menggunakan keseimbangan statis aksial dan momen pada box yang akan dianalisa, maka dapat dicari momen tahanan batas balok berdasarkan perumusan di bawah ini.

### Kesetimbangan aksial

$$T_p = C$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a$$

### Kesetimpangan statik momen

$$M_n = T_p \cdot \left( d_p - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = \varphi \cdot M_n = \varphi \cdot T_p \cdot \left( d_p - \frac{a}{2} \right)$$

### Indeks penulangan

$$\omega_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f_{c'}} < 0,3$$

Dimana :

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_b}$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \left[ \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_{c'}} \right] \right)$$

$$\frac{f_{ps}}{f_{pu}} = \frac{1675,92}{1862,42} = 0,9, \text{ maka nilai } \gamma_p = 0,28$$

Dimana :

$f_{ps}$  = Tegangan tulangan prategang disaat penampang kuat nominalnya

$f_{pu}$  = Kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan

$\gamma_p$  = Faktor yang memperhitungkan tipe tendon prategang

$\omega_p$  = Indek penulangan prategang

$\rho_p$  = Rasio tulangan prategang

$A_{ps}$  = Luas tulangan prategang dalam daerah tarik

$b$  = Lebar muka tekan komponen struktur, diambil sebesar lebar badan

$d_p$  = Jarak dari serat tekan terluar ketitik berat tulangan prategang

$d$  = Jarak dari serat terluar ketitik berat tulangan tarik non prategang

Syarat :

$$M_u \leq \varphi \cdot M_n$$

dan

$$1,2 M_{cr} \leq \varphi \cdot M_n$$

### 3.6.9. Kontrol Lendutan

Batas lendutan yang terjadi diatur pada SNI T-12-2004 pasal 9.2.1 dimana lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi dari  $y$  ( $\Delta_{ijin}$ ) =  $L/400$  (mm) saat layan yang dibebani sesuai dengan kombinasi beban terpilih.

#### Lendutan ke atas akibat tendon prategang pada tengah bentang

$$\Delta_2 = \frac{F \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I}$$

Dimana :

F = Gaya efektif prategang

e = Jarak vertikal letak jacking ke tendon yang berada di tumpuan

L = Panjang bentang jembatan

E = Modulus elastisitas baja (Es)

I = Inersia box girder

#### Lendutan Total

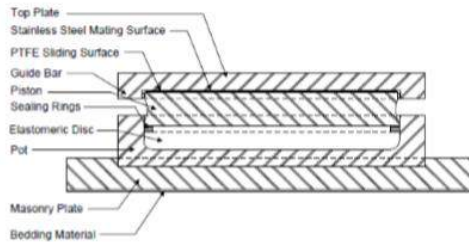
$$\Delta_1 - \Delta_2 = \Delta_{layan}$$

Syarat,

$$\Delta_{ijin} \geq \Delta_{layan}$$

### 3.7. Perletakkan (*Bearing*)

Perletakkan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah *Pot Bearing*. *Pot bearing* biasanya digunakan untuk jembatan dengan bentang sedang sampai besar, tipe ini memikul beban vertikal dengan tekanan pada *elastomeric disc* yang terbuat dari silinder baja dan mengakomodasi rotasi akibat deformasi dari piringan bearing.



Gambar 3. 10 Komponen *Pot Bearing*

### 3.8. Perencanaan Pilar

Berdasarkan RSNI T-12-2004, pilar yang direncanakan harus dapat menahan beban mati, beban pelaksanaan, beban hidup akibat lalu lintas, beban angin pada struktur atas, gaya-gaya akibat aliran air, pengaruh suhu dan susut, tekanan lateral tanah, dan tekanan air, geseran, tumbukkan serta beban gempa bumi.

### 3.9. Perencanaan Pondasi

Perencanaan pondasi tiang pancang dilakukan berdasarkan hasil SPT. Lingkupan dalam perencanaan pondasi adalah sebagai berikut :

#### a) Daya dukung tiang pondasi berdasarkan hasil SPT

Perhitungan daya dukung berdasarkan hasil SPT dengan metoda Luciano Decourt (1996):

- Harga  $N$  koreksi :  
 Harga  $N$  di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi  $N'$  berdasarkan perumusan sebagai berikut: (TERZAGHI & PECK)

$$N' = 15 + 0,5 (N-15) \quad (3-18)$$

Dimana:

$N$  = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah

$N'$  = Harga  $N$  terkoreksi karena  $N$  dibawah muka air tanah

- Metode Lucioano Decourt (1996) :  
 $QL = QP + QS \quad (3-27)$



- QL = daya dukung tanah maksimum pada pondasi  
 QP = daya dukung pada dasar pondasi  
 QS = daya dukung akibat lekatan lateral

Dimana:

NP = Harga rata-rata SPT disekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi

$$(B = \text{diameter pondasi}) = \sum \frac{Ni}{n}$$

K = Koefisien karakteristik tanah:

- 12 t/m<sup>2</sup>, untuk lempung  
 20 t/m<sup>2</sup>, untuk lanau berlempung  
 25 t/m<sup>2</sup>, untuk lanau berpasir  
 40 t/m<sup>2</sup>, untuk pasir

AP = Luas penampang dasar tiang

qP = Tegangan diujung tiang

a = Base coefficient = 1,00 untuk driven pile (tiang pancang)

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

(3-19)

Dimana :

Qs = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m<sup>2</sup>

NS = Harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan :  $3 < N < 50$

AP = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

B = Shaft coefficient = 1,00 untuk driven pile

### 3.10. Analisa Struktur

Pada perencanaan *elevated bridge* pada ruas Jalan Tol Jakarta – Cikampek II menggunakan *segmental concrete box girder* dengan metode *balanced cantilever* ini dianalisa menggunakan

*software* “MIDAS 2012” agar mempermudah perhitungan struktur secara akurat sehingga memperkecil peluang terjadinya kesalahan. Software ini digunakan untuk menganalisa pada struktur atas dan bawah.

### **3.11. Penggambaran hasil rencana**

Penggambaran hasil rencana dilakukan setelah perhitungan struktur telah selesai dan hasil analisa struktur telah dikontrol sesuai peraturan yang ada. Gambar struktur dapat berupa :

1. Gambar tampak (Arsitektur) dari struktur bangunan atas dan bawah
2. Gambar denah dari struktur bangunan atas dan bawah.
3. Gambar potongan dari struktur bangunan atas dan bawah.
4. Gambar detail dari struktur bangunan atas dan bawah.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV PEMBEBANAN STRUKTUR UTAMA JEMBATAN

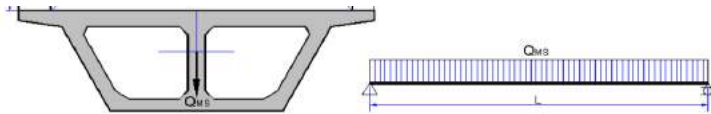
### 4.1. Pembebanan Struktur Utama

Desain pembebanan yang dapat mempengaruhi desain struktur ditentukan dengan cara perhitungan konvensional untuk meng-input beban pada software MIDAS 2012 sebagai berikut :

#### 4.4.1. Beban Mati (MS)

##### ❖ Beban Mati Struktur Atas

Beban mati yang dihitung merupakan berat sendiri penampang box girder dan tendon prategang. Berat penampang box yang digunakan yang terbagi menjadi beberapa segmen sebagai berikut :



Gambar 4. 1. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Mati (MS)

Tabel 4. 1. Berat Box Girder

No.	Segmen	A (m <sup>2</sup> )	Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	Berat (kN/m)
1.	Tipikal	6,079	24,5	148,935
			$Q_{MS} =$	148,935

##### ❖ Beban Mati Struktur Bawah

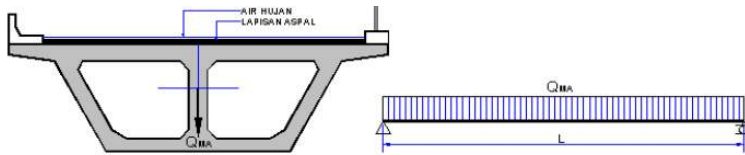
Beban-beban yang dapat mempengaruhi desain struktur bawah ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Box Girder} &= A \times \text{berat jenis beton} \\
 &= 6,079 \times 24,5 = 148,935 \text{ kN/m} \\
 \text{Pier Head} &= A \times \text{berat jenis beton} \\
 &= 36,667 \times 24,5 = 898,361 \text{ kN/m} \\
 \text{Kolom} &= A \times \text{berat jenis beton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 7,5 \times 24,5 = 183,75 \text{ kN/m} \\
 \text{Pile Cap} &= A \times \text{berat jenis beton} \\
 &= 29,16 \times 24,5 = 714,42 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan yang dihitung merupakan berat dari parapet dan aspal yang menjadi beban merata pada struktur.



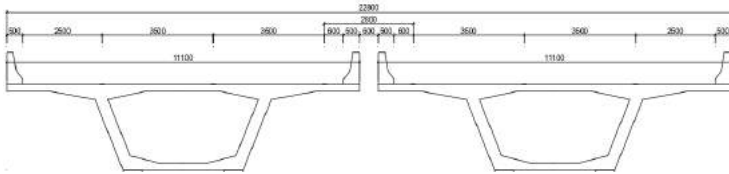
Gambar 4. 2. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Mati Tambahan (MA)

Tabel 4. 2. Beban Mati Tambahan

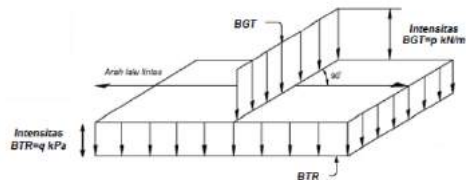
No.	Jenis	Lebar (m)	Tinggi (m)	A (m <sup>2</sup> )	Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	Berat (kN/m)
1.	Parapet	0,5	1,1	0,283 x 2 bh	24	13,584
2.	Aspal	10,1	0,08	0,808	22	17,77
					Q <sub>MA</sub> =	31,354
3.	Tendon					1,102 kg/m

#### 4.4.3. Beban Hidup Kendaraan (TD)

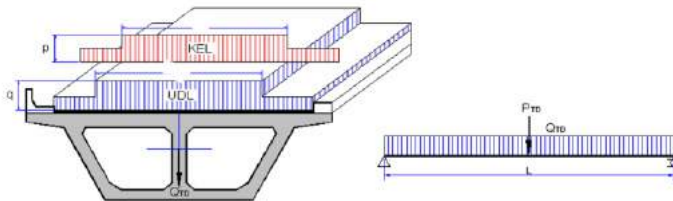
Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.2 dengan pembagian dari lebar bersih jembatan (w) dengan lebar lajur rencana sebesar 3500 mm, maka ditentukan jumlah lajur lalu lintas rencana sebesar : 4 lajur dengan lebar masing-masing lajur sebesar 3500 mm.



Gambar 4. 3. Lajur Rencana Beban Hidup Kendaraan



Gambar 4. 4. Distribusi Beban Hidup Kendaraan



Gambar 4. 5. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Hidup Kendaraan (TD)

### Beban Terbagi Rata (BTR)

$$\begin{aligned} \text{untuk } L > 30\text{m, maka } q &= 9 (0,5+15/L) \\ &= 9 (0,5+15/45) = 7,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban yang bekerja, } Q_{TD} &= q \times \text{lebar lajur kendaraan} \\ &= 7,5 \times 10,1 = \mathbf{75,75 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

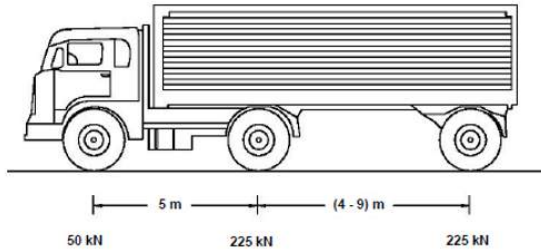
### Beban Garis Terpusat (BGT)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas beban, } p &= 49 \times 1,4 = 68,6 \text{ kN/m} \\ \text{Beban yang bekerja } P_{TD} &= p \times b = 68,6 \times 10,1 = \mathbf{692,86 \text{ kN}} \end{aligned}$$

#### 4.4.4. Beban Truk (TT)

Pembebanan truk perlu memperhatikan FBD. FBD truk sebesar 30% yang besarnya diambil berdasarkan *SNI 1725 – 2016 Pembebanan Untuk Jembatan*:

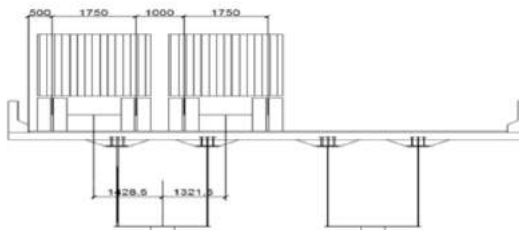
Sehingga didapat FBD truk = 30%



Gambar 4. 6. Beban Truk "T" (Tampak Memanjang)

Roda depan	= 25 kN
Roda belakang	= 112.5 kN
Beban Truk untuk belakang	= TT x (1+FBD)
	= 112.5 kN x (1 + 0.3)
	= 146.3 kN
Beban Truk untuk depan	= TT x (1+FBD)
	= 25 kN x (1 + 0.3)
	= 32.5 kN

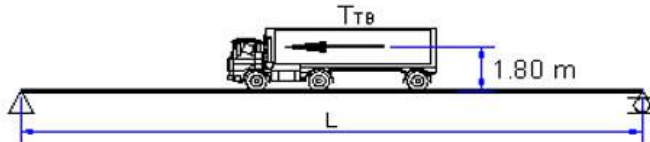
Posisi beban truk dalam arah melintang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. 7. Beban Truk "T" (Tampak Melintang)

#### 4.4.5. Gaya akibat Rem (TB)

Beban rem arah horizontal dengan titik tangkap setinggi 1,8 meter dari muka lantai kendaraan dan dipilih yang terbesar dari perhitungan berikut ini :



Gambar 4. 8. Ilustrasi Pembebanan pada Gaya Akibat Rem (TB)

- (1) Gaya rem = 25% berat gandar truk desain x jumlah lajur  
 $= 25\% \times (50+225+225) \times 2 = 250 \text{ kN}$
- (2) Gaya rem = 5% dari (berat truk rencana x n lajur + BTR)  
 $= 5\% \times ((50+225+225) \times 2 + 692,86) = 84,643 \text{ kN}$

Maka gaya akibat rem yang digunakan sebesar **250 kN**.

#### 4.4.6. Pengaruh Temperatur

Efek perubahan temperatur ditinjau berdasarkan SNI 1725 - 2016 dengan memperhitungkan akibat temperatur merata (TU) dan akibat temperatur gradien (TG). Temperatur dasar diambil sebesar 30°C.

##### Simpangan akibat beban temperatur ( $\Delta T$ ) :

Temperatur minimum = 15°C

Temperatur maksimum = 40°C

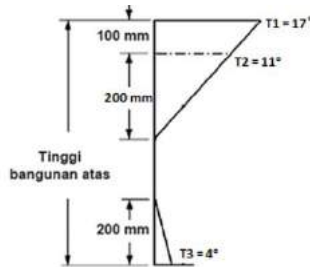
Koefisien muai temperatur ( $\alpha$ ) =  $11 \times 10^{-6}$  per °C

$$\begin{aligned} \Delta T &= \alpha \cdot L (T_{\max} - T_{\min}) \\ &= 11 \times 10^{-6} \cdot 52 \times 10^3 \cdot (40-15) \\ &= 1430 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Variasi Temperatur (TG) :

Gradien temperatur digunakan menurut grafik berikut :





Gambar 4. 9. Gradien Temperatur (TG)

#### 4.4.7. Beban Angin pada Struktur (EWs)

Pengaruh tekanan angin terhadap struktur ditentukan berdasarkan SNI 1725-2016 dengan persamaan berikut :

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

dimana :

Kecepatan Gesek Angin	$V_0 =$	19,3	km/jam
Kecepatan Dasar Angin	$V_B =$	90	km/jam
Kecepatan angina elv. 1000 m	$V_{10} =$	90	Km/jam
Panjang Gesekan di hulu	$Z_0 =$	2500	mm
Elevasi struktur dari perm. tanah	$Z =$	13500	mm

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) = 2,5 \times 19,3 \times \left( \frac{90}{90} \right) \ln \left( \frac{13500}{2500} \right) \\ &= 81,368 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

#### Beban Angin pada Struktur Atas

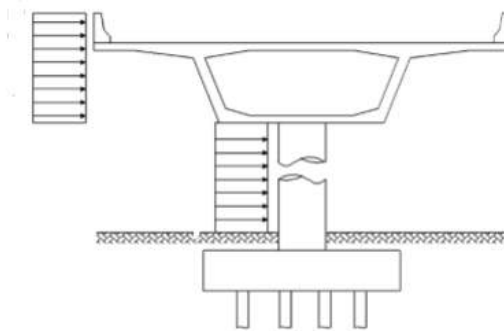
$$\begin{aligned} P_B &= 0,0024 \text{ (SNI 1725-2016, Tabel 29)} \\ P_D &= P_B (V_{DZ} / V_B)^2 \\ &= 0,0024 \times (81,368 / 90)^2 \\ &= 0,0019617 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### Beban Angin pada Kolom

$$\begin{aligned} P_B &= 0,0019 \text{ (SNI 1725-2016, Tabel 29)} \\ P_D &= P_B (V_{DZ} / V_B)^2 \end{aligned}$$

$$= 0,0019 \times (81,368 / 90)^2$$

$$= 0,001553 \text{ MPa}$$



Gambar 4. 10. Gaya Tekan Angin pada Struktur

Beban angin yang mempengaruhi struktur atas dapat dihitung sebagai berikut :

$$T_{EW} = P_D \cdot (\text{tinggi box} + \text{tinggi parapet})$$

$$= 0.0019617 \times (2700 + 1100)$$

$$= 7,25829 \text{ N/mm}$$

$$= 7,25829 \text{ kN/m} > 4,4 \text{ kN/m (syarat)}$$

maka nilai yang digunakan  $TEW = 7,258 \text{ kN/m}$

Beban angin yang mempengaruhi struktur bawah (kolom) dapat dihitung sebagai berikut :

$$T_{EW} = P_D \cdot \text{lebar kolom}$$

$$= 0.001553 \times 2500 \text{ mm}$$

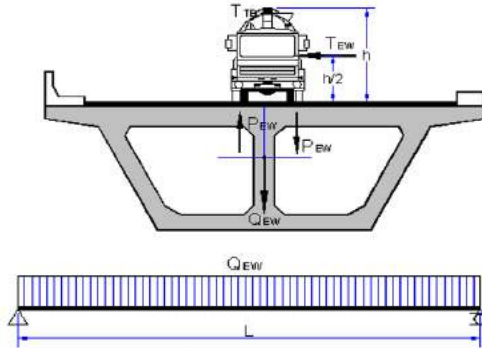
$$= \text{N/mm}$$

$$= 3,8825 \text{ kN/m} > 4,4 \text{ kN/m (syarat)}$$

maka nilai yang digunakan  $TEW = 4,4 \text{ kN/m}$

#### 4.4.8. Beban Angin Pada Kendaraan (EWI)

Tekanan angin pada kendaraan diasumsikan berdasarkan SNI 1725-2016 sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 kN/m, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.



Gambar 4. 11. Ilustrasi Pembebanan pada Beban Angin pada Kendaraan (EWI)

$$T_{EW1} = 1,46 \text{ kN/m}$$

$$H = 1,8 \text{ m}$$

$$Q_{EW1} = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{h}{x} \cdot T_{EW}\right) \cdot 2 \quad x = 1,75 \text{ m (jarak antar roda kendaraan)}$$

$$= 1,501 \text{ kN/m}$$

#### 4.4.9. Beban gempa (EQ)

Gaya gempa disebabkan oleh pergerakan seismic yang bekerja pada dua arah X maupun arah Y dari suatu struktur. Nilai dari gaya gempa sangatlah tergantung dari lokasi struktur yang ditinjau. Di mana menurut RSNi2 2833-201X, peta zona gempa dapat juga dilihat melalui “Penentuan Spektrum Respons Desain di Permukaan Tanah Untuk Jembatan ” atau dari situs: <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/>

Besaran gaya gempa yang terjadi pada struktur sangat ditentukan pula oleh faktor modifikasi respon, R, sesuai dengan tipe struktur bangunan bawah sebagaimana Tabel 6 dari RSNi2 2833-201X. Pada tugas akhir ini, jembatan tol dikategorikan sebagai jembatan lainnya (biasa) sehingga digunakan nilai factor modifikasi respon sebagai berikut:

- Untuk perencanaan struktur kolom dan balok pier digunakan  $R = 3.0$  untuk gempa arah X (longitudinal) dan untuk gempa arah Y (transversal) karena kolom jembatan termasuk kolom tunggal.
- Untuk perencanaan pile cap (footing) dan pondasi tiang pancang digunakan  $R = 1.5$  untuk arah X maupun Y. ( $R =$  setengah factor R bangunan bawah)

Tabel 4. 3 Faktor Modifikasi Respon (R) Untuk Bangunan Bawah  
Tabel 6 - Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Catatan:

Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

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

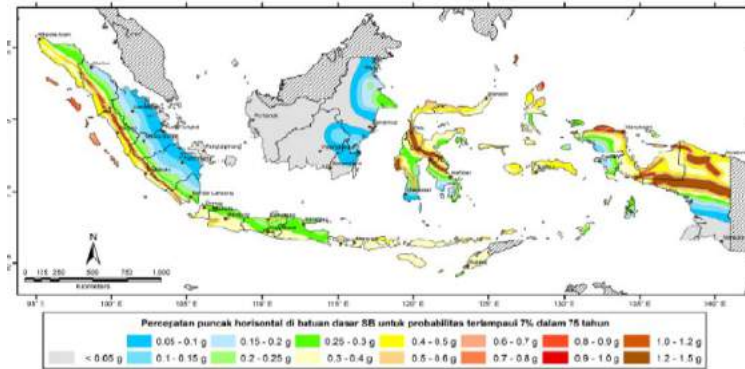
- Gempa arah X maksimum, di mana 100% gaya gempa pada arah x,  $E_{Qx}$  dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah y,  $E_{Qy}$ .
- Gempa arah Y maksimum, di mana 100% gaya gempa pada arah y,  $E_{Qy}$  dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah x,  $E_{Qx}$ .

Lokasi jembatan tol elevated Jakarta – Cikampek II ini terletak di jalur Jakarta menuju Cikampek tepatnya seperti Gambar 4.12. Sehingga berdasarkan peta gempa pada RSNI2 2833-201X maupun Aplikasi Desain Spektra dari PUSJATAN didapatkan parameter untuk respon spektra di lokasi tersebut adalah:

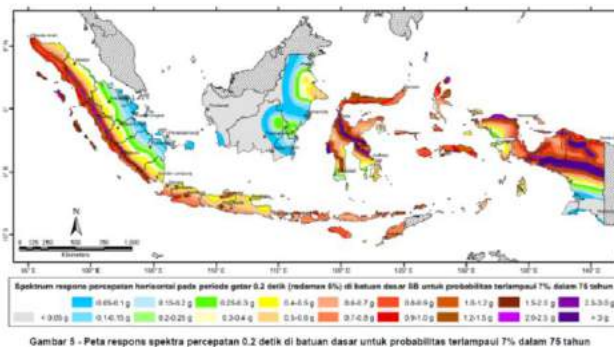
- Site class =  $S_D$  (Tanah Sedang)
- 0.2 second acceleration response spectra = 0.850 g
- 1 second acceleration response spectra = 0.231 g
- PGA = 0.249
- Percepatan Puncak di Permukaan Tanah (As) = 0.362
- SDS = 0.849 g
- SD1 = 0.711 g
- Nilai modifikasi respons, R yang dipakai :
  - Untuk perhitungan elemen pier head dan kolom = 3 (arah X dan arah Y)
  - Untuk perhitungan pile cap dan tiang pancang = 1,5 (arah X dan Y)



Gambar 4. 12. Lokasi Elevated Toll Bridge Jakarta – Cikampek II Sta. 11 +152

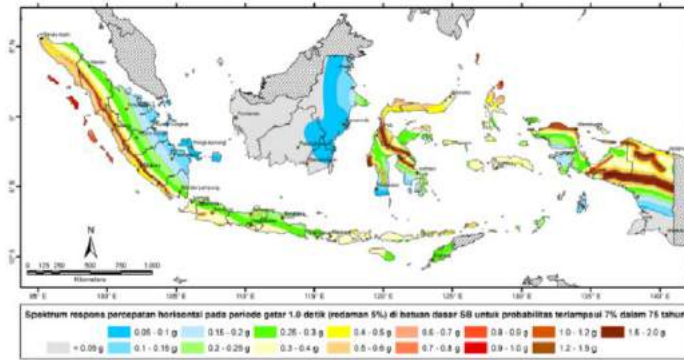


Gambar 4. 13. Peta PGA Probabilitas 7% Dalam 75 Tahun



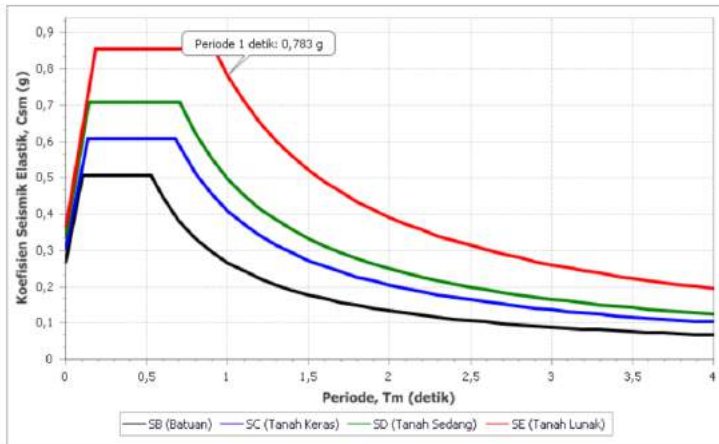
Gambar 5 - Peta respons spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

Gambar 4. 14. Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas 7% Dalam 75 Tahun



Gambar 6 - Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

Gambar 4. 15. Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas 7% Dalam 75 Tahun



Gambar 4. 16. Kurva Respon Spektrum Tanah Sedang Pada Lokasi Elevated Bridge Jakarta – Cikampek II Elevated

#### 4.4.10. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban – beban

yang bekerja pada struktur hanya beban – beban mati saja dan beban hidup sementara akibat pekerja konstruksi. Sedangkan pada masa layan, beban – beban hidup permanen dari aktivitas pemakai gedung dan barang – barang yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban – beban yang bekerja dengan faktor beban Load Resistance Factor Design (LRFD)

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan ini mengacu pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan sebagai berikut:

#### **Kombinasi pada Keadaan Batas : Normal**

Kuat 1 (D)	: $1,2MS + 2MA + 1,8TD \pm 0,5TU + 1PR$
Kuat 1 (T)	: $1,2MS + 2MA + 1,8 (TT + TB) \pm 0,5TU + 1PR$
Kuat 2 (D)	: $1,2MS + 2MA + 1,4TD \pm 0,5TU + 1PR$
Kuat 2 (T)	: $1,2MS + 2MA + 1,4 (TT + TB) \pm 0,5TU + 1PR$
Kuat 3	: $1,2MS + 2MA \pm 1,4EW_s \pm 0,5TU + 1PR$
Kuat 5	: $1,2MS + 2MA \pm 0,4EW_s \pm 1EW_l \pm 0,5TU + 1PR$

#### **Kombinasi pada Keadaan Batas : Akibat Gempa**

Ekstrem 6	: $1,2MS + 2MA + 0,3 TD + EQ_x + 0,3 EQ_y$
Ekstrem 7	: $1,2MS + 2MA + 0,3 TD + EQ_y + 0,3 EQ_x$

#### **Kombinasi pada Keadaan Batas Layan : Normal**

Layan 1(D)	: $1MS + 1MA + 1TD \pm 0,3EW_s \pm 1EW_l \pm 1,2TU + 1PR$
Layan 1(T)	: $1MS + 1MA + 1 (TT + TB) \pm 0,3EW_s \pm 1EW_l \pm 1,2TU + 1PR$
Layan 2(D)	: $1MS + 1MA + 1,3TD \pm 1,2TU + 1PR$
Layan 2(T)	: $1MS + 1MA + 1,3 (TT + TB) \pm 1,2TU + 1PR$

#### **Kombinasi pada Keadaan Batas Layan : Akibat Gempa**

Layan 3	: $1MS + 1MA + 0,7 EQ_x + 0,21 EQ_y$
Layan 4	: $1MS + 1MA + 0,21 EQ_x + 0,7 EQ_y$



Keterangan :

MS : Beban mati komponen struktural dan non struktural

MA : Beban mati perkerasan dan utilitas

TD : Beban lajur "D"

TB : Gaya akibat rem

EWs : Beban angin pada struktur

EWI : Beban angin pada kendaraan

TU : Gaya akibat temperatur seragam

TG : Gaya akibat temperatur gradient

PR : Gaya akibat tendon prategang

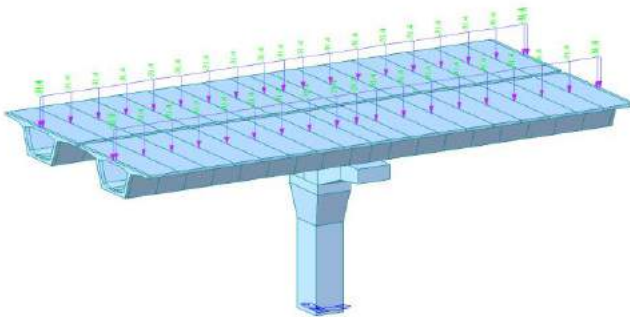
EQx : Gaya gempa arah-x

EQy : Gaya gempa arah-y

## 4.2. Input Pembebanan pada Program MIDAS 2012

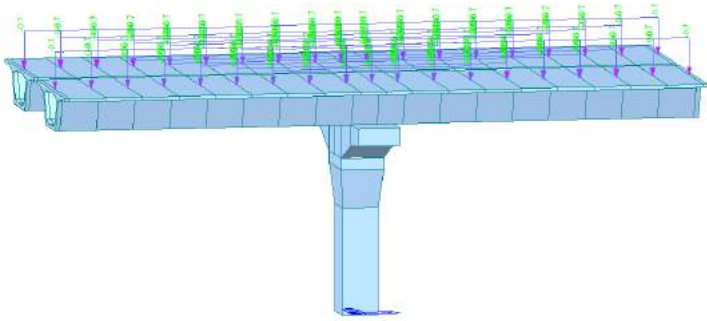
### 4.2.1. Input Beban Mati Tambahan (MA)

❖ Input Beban Parapet dan Aspal



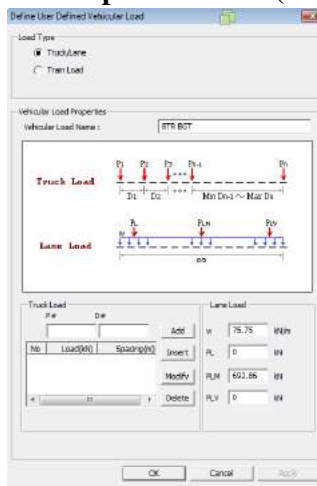
Gambar 4. 17. Input Beban Parapet dan Aspal – kN/m

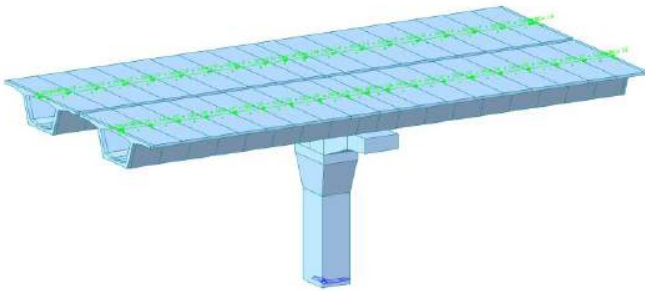
## ❖ Input Beban Tendon (PR)



Gambar 4. 18. Input Beban Tendon (PR) – kN/m

## 4.2.2. Input Beban Hidup Kendaraan (TD)





Gambar 4. 19. Input Beban Hidup Kendaraan (TD) – kN/m

#### 4.2.3. Input Beban Truk (TT)

Define User Defined Vehicular Load

Load Type

Truck/Lane  
 Train Load

Vehicular Load Properties

Vehicular Load Name : Truk 1

Truck Load

Lane Load

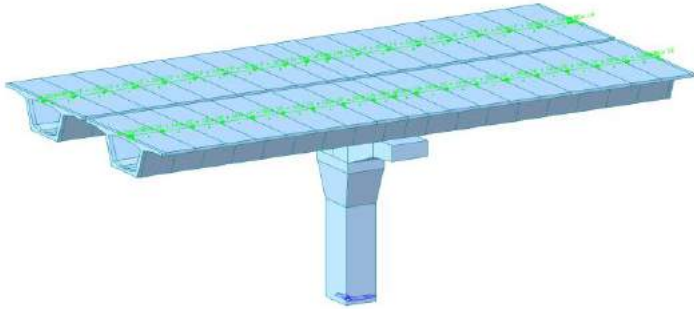
Truck Load

No	Load(kN)	Spacing(m)	Insert
1	32.5	5	
2	146.3	7	
3	146.3	end	Modify

Lane Load

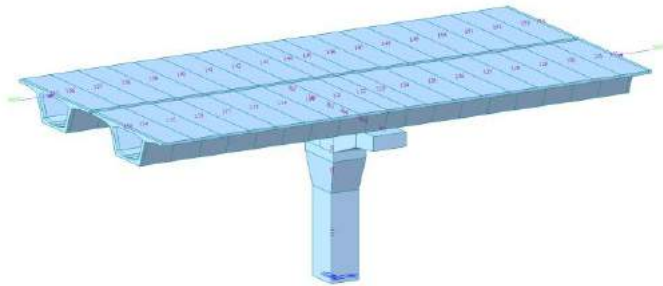
w 0 kN/m  
PL 0 kN  
PLM 0 kN  
PLV 0 kN

OK Cancel Apply



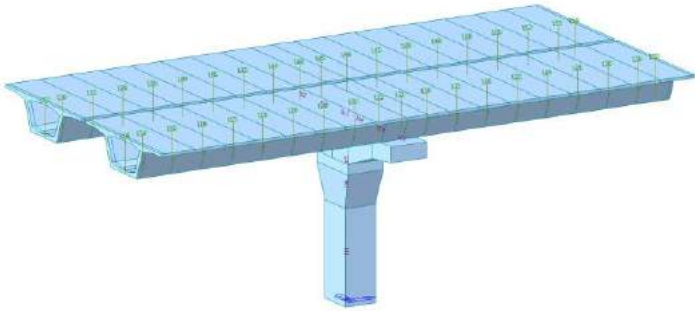
Gambar 4. 20. Input Beban Truk (TT) – Kn

#### 4.2.4. Input Beban Rem (TB)



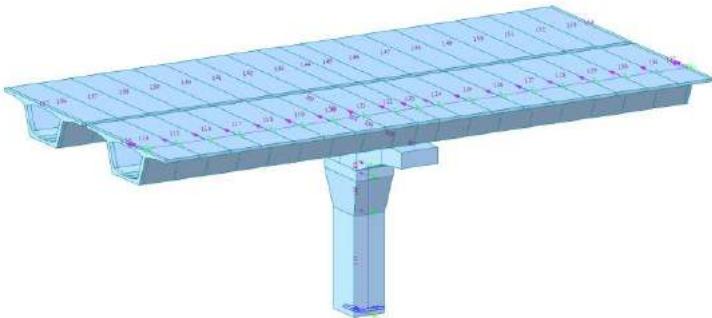
Gambar 4. 21. Input Beban Rem (TB) - kN

#### 4.2.5. Pengaruh Temperatur (TU)



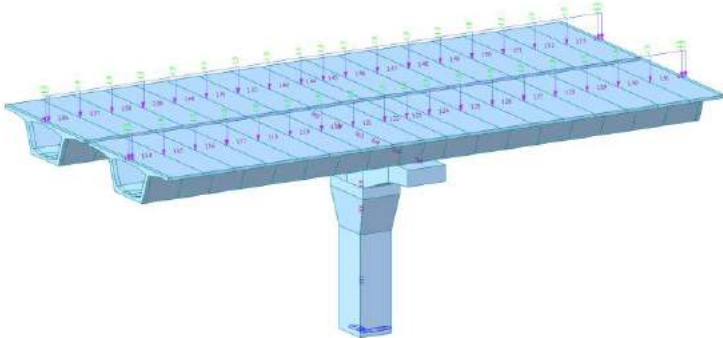
Gambar 4. 22. Input Pengaruh Temperatur (TU) pada Jembatan - °C

#### 4.2.6. Input Beban Angin (EWs)



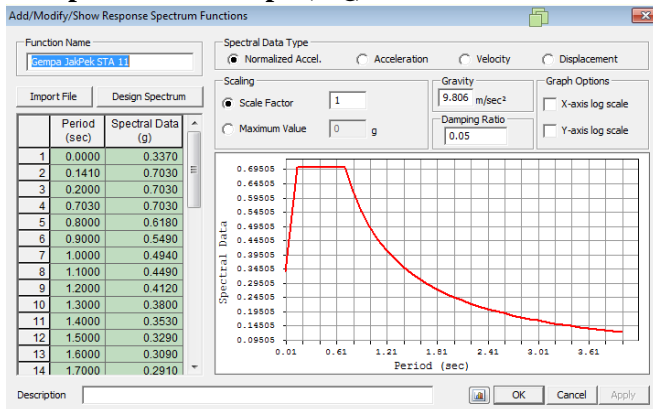
Gambar 4. 23. Input Beban Angin (EWs) – kN/m

#### 4.2.7. Input Beban Angin pada Kendaraan (EWI)



Gambar 4. 24. Input Beban Angin pada Kendaraan (EWI) – kN/m

#### 4.2.8. Input Beban Gempa (EQ)



Gambar 4. 25. Input Beban Gempa Respon Spektrum

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

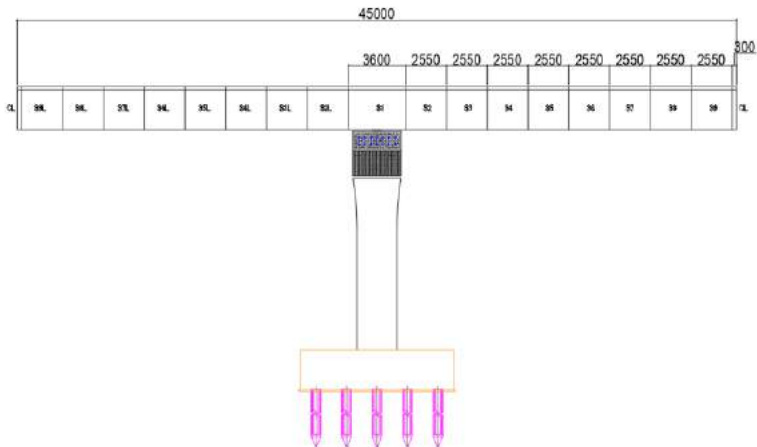
## BAB V PERENCANAAN STRUKTUR ATAS

### 5.1. Preliminary Design

Desain pada elemen struktur box girder mengacu pada AASHTO LRFD 2012, dan peraturan Indonesia (Standar Nasional Indonesia).

Perencanaan ini didesain dengan panjang bentang 45 m. Jalan tol tersebut terbagi menjadi 4 (empat) lajur dua arah dengan lebar masing-masing sebesar 3,5 meter.

Desain direncanakan dengan pembagian segmen sebagai berikut :



Gambar 5. 1. Pembagian Segmen Box Girder

Segmen box girder direncanakan panjang per segmen sebesar 2,55 meter (S2-S9 & S2L – S9L), 3,6 meter pada tumpuan (S1) dan 0,6 meter pada *Closure* (CL).



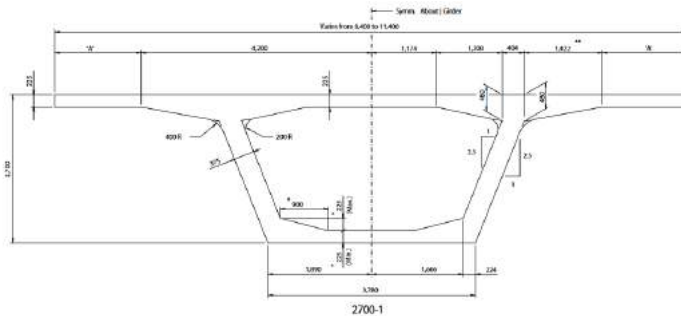
### 5.1.1. Preliminary Design Box Girder

Tinggi penampang box girder diperhitungkan berdasarkan berdasarkan AASHTO LRFD Tabel 2.5.2.6.3-1 dengan minimal tinggi penampang :

$$D = 0,040 L = 0,040 \times 45 \text{ m} = 1,8 \text{ m} \sim 2,7 \text{ m}$$

Desain penampang memperhatikan penampang tipikal berdasarkan AASHTO-PCI-ASBI untuk tinggi penampang 2700 mm.

Desain penampang awal yang digunakan dalam perencanaan sebagai berikut :



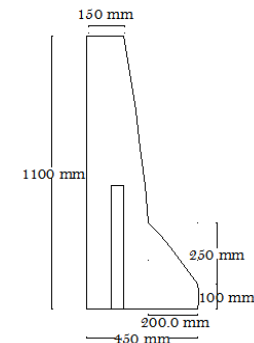
Gambar 5. 2. Desain Penampang Awal : *Standard Segment*

Tabel 5. 1. Desain Penampang Awal Berdasarkan Lebar *Deck*

2700-1					
Deck Width (mm)	'A' (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Wt/3,000 mm (Kn)	Ix (m <sup>4</sup> )	Yt (mm)
8,400	0	5,471,000	401	5.368	1,021
8,700	150	5,539,000	405	5.423	1,010
9,000	300	5,606,000	410	5.477	999
9,300	450	5,674,000	415	5.530	989
9,600	600	5,741,000	420	5.581	978
9,900	750	5,809,000	425	5.632	968
10,200	900	5,876,000	430	5.681	958
10,500	1,050	5,944,000	435	5.729	949
10,800	1,200	6,011,000	440	5.776	939
11,100	1,350	6,079,000	445	5.822	930
11,400	1,500	6,146,000	450	5.867	921

### 5.1.2. Preliminary Design Parapet

Pada Tugas Akhir ini, sandaran jembatan menggunakan parapet sebagai dinding penahan kendaraan, karena Jembatan ini merupakan bagian dari Jalan Tol Jakarta – Cikampek sehingga tidak terdapat kerb dan trotoar.



Gambar 5. 3. Preliminary Desain Parapet

Dimensi parapet yang direncanakan seperti berikut :

$$h = 1,1 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,45 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,15 \text{ m}$$

### 1. Perencanaan Parapet

Pada perencanaan Parapet pembebanan yang bekerja yaitu beban mati ( berat sendiri parapet ) dan beban hidup parapet

#### ➤ Beban Mati

Volume parapet per meter

$$V_1 = 0,15 \times 1,1 \times 1$$

$$= 0,165 \text{ m}^3$$

$$V_2 = ( 0,1 \times 0,75 ) / 2 \times 1$$

$$= 0,0375 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0,35 \times 0,1 \times 1$$

$$= 0,035 \text{ m}^3$$

$$V_4 = ( 0,35 + 0,1 ) / 2 \times 0,2 \times 1$$

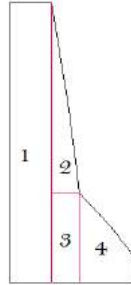
$$= 0,045 \text{ m}^3$$

$$\text{Total volume parapet} = 0,165 + 0,0375 + 0,035 + 0,045 = 0,283 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban mati parapet} = \text{Volume} \times \text{Berat jenis} \times \text{KuMS}$$

$$= 0,283 \times 24 \times 1,2$$

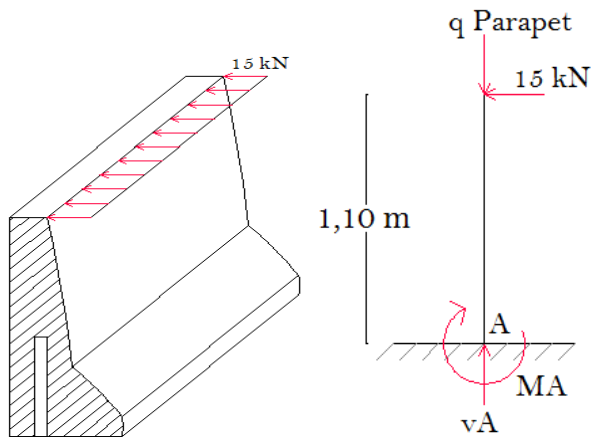
$$= 8,1504 \text{ kN/m}$$



#### ➤ Beban Hidup

Parapet direncanakan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan ( fungsi kerb ), sehingga beban hidup yang digunakan dalam perencanaanya adalah memakai beban hidup kerb, yaitu sebesar 15 kN/m. \

## 2. Perhitungan Momen



$$\begin{aligned} MA &= 15 \times H \\ &= 15 \times 1,1 \\ &= 16,5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= MA \times KuTP \\ &= 16,5 \times 1,8 \\ &= 29,7 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

## 3. Perhitungan Penulangan Parapet

Mutu beton,		$f_c'$	= 30 MPa
Mutu baja tulangan,	polos	$f_y$	= 240 MPa
	Ulir	$f_y$	= 400 Mpa
Selimut beton,		$d'$	= 30 mm
Tebal efektif,		$d$	= 120 mm
Lebar yang ditinjau,		$b$	= 1000 mm
Faktor reduksi lentur,		$\phi$	= 0.9
Diameter tulangan lentur,		$D$	= 13 mm
Diameter tulangan bagi,		$\emptyset$	= 13 mm

- Penulangan lentur  
 $Mu = 29.7 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{29,7 \text{ kNm}}{1000 \cdot 120^2} \\
 &= 2,292 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{240}{0,85 \cdot 30} \\
 &= 9,412
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \\
 &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,412 \cdot 2,292}{0,85 \cdot 30}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0113 \\
 \rho_{\text{pakai}} &= 0,0100 \\
 A_s_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0100 \cdot 1000 \cdot 120 \\
 &= 1203 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{b \cdot A_{s\text{tulangan}}}{A_{s\text{perlu}}} \\
 &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{A_{s\text{perlu}}} \\
 &= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2}{1203}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{pasang}} &= 110 \text{ mm} \\
 &= 100 \text{ mm} \\
 A_{s_{\text{pasang}}} &= \frac{b \cdot A_{s_{\text{tulanga}}}}{S_{\text{pasang}}} \\
 &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{S_{\text{pasang}}} \\
 &= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2}{100} \\
 &= 1327 \\
 \alpha &= \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{1327 \cdot 240}{0.85 \cdot 30 \cdot 1000} \\
 &= 12.5 \text{ mm} \\
 c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\
 &= \frac{12.5}{0.85} \\
 &= 17.7 \text{ mm} \\
 \emptyset M_n &= \emptyset A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\
 &= 0.9 \cdot 1327 \cdot 240 \left(100 - \frac{12.5}{2}\right) \\
 &= 32.62 \text{ kNm} \\
 \text{Mu} &= 29.7 \text{ kNm} \\
 \text{Kontrol,} \\
 \emptyset M_n &> \text{Mu} \\
 32,62 \text{ kNm} &> 29.7 \text{ kNm} \dots\dots\dots(\mathbf{OK})
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan utama pada parapet D13 - 100

Tulangan bagi

Luas tulangan bagi yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s' &= 50\% \times A_s \\ &= 50\% \times 1203 \\ &= 601.27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan bagi  $\emptyset 13$

Jarak tulangan yang diperlukan

$$S_{\text{perlu}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ tulangan bagi}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{601.27} \\ &= 220.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan S pasang tul. bagi = 200 mm

Maka , dipasang tulangan bagi D13 – 300.

## 5.2. Karakteristik Material

Material yang digunakan dalam perencanaan struktur ini adalah beton mutu K-600 dengan karakteristik sebagai berikut :

### 5.2.1. Beton

Kekuatan Tekan Beton (K-600) :

- Kuat tekan rencana (28 hari) :  $f'c$  = 50 MPa
- Kuat tekan beton awal (7 hari) :  $f_{ci}$  = 75%  $f'c$   
= 37,5 MPa

Modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times (f'c)^{0.5} \\ &= 4700 \times (50)^{0.5} \\ &= 33234,0187 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Poisson ratio = 0,2 untuk beton

**Tegangan ijin pada saat transfer :**

Teg. ijin tekan saat transfer :  $0,6 f_{ci} = 22,5 \text{ MPa}$   
 Teg. ijin tarik saat transfer :  $0,25\sqrt{f_{ci}} = 1,53 \text{ MPa}$

**Tegangan ijin pada saat servis :**

Teg. ijin tekan saat servis :  $0,45 f'c = 22,5 \text{ MPa}$   
 Teg. ijin tarik saat servis :  $0,5\sqrt{f'c} = 3,535 \text{ MPa}$

**5.2.2. Baja Tulangan**

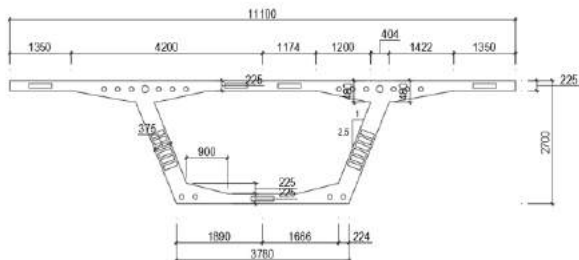
Baja tulangan yang dipakai harus memenuhi SNI 2847-2013 Pasal 21.1.5 dengan komponen sebagai berikut :

- Mutu tulangan :  $f_u = 550 \text{ MPa}$ ,  $f_y = 410 \text{ MPa}$
- Modulus elastisitas :  $E_s = 200000 \text{ MPa}$

**5.2.3. Baja Tendon Prategang**

Baja prategang yang digunakan adalah 7-wire Grade 270, low relaxation strand berdasarkan ASTM A416-74. Gaya jacking maksimum dibatasi saat tegangan mencapai 75%  $f_{pu}$ .

- Diameter :  $d = 15,24 \text{ mm}$
- Ultimate Tensile Strength :  $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$
- Yield strength :  $f_{py} = 1674 \text{ MPa}$

**5.3. Analisa Penampang Box Girder Segmen Tipikal :**

Gambar 5. 4. Segmen Tipikal



Karakteristik Penampang :

H = 2,7 meter

A = luas penampang = 6,079 m<sup>2</sup>

Y<sub>b</sub> = titik berat bawah = 1,77 m

Y<sub>a</sub> = titik berat atas = 0,93 m

I<sub>x</sub> = momen inersia thd titik berat = 5,822 m<sup>4</sup>

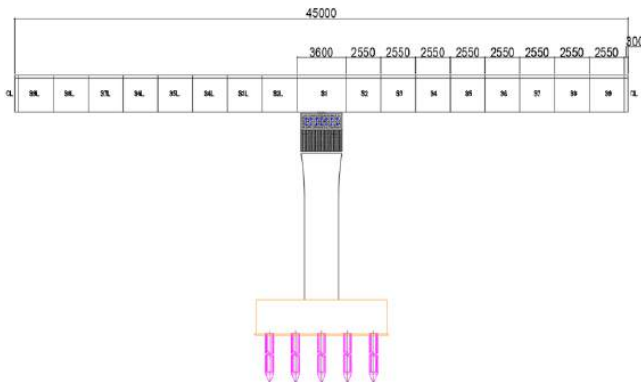
W<sub>a</sub> = tahanan momen sisi atas = 6,2602 m<sup>3</sup>

W<sub>b</sub> = tahanan momen sisi bawah = 3,2892 m<sup>3</sup>

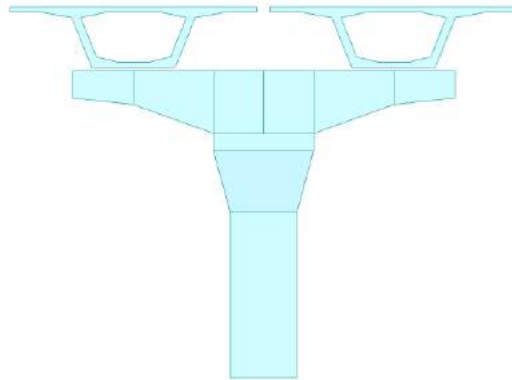
#### 5.4. Permodelan dan Analisa Struktur

Desain struktur dimodelkan dengan program bantu MIDAS 2012 dan analisa struktur berdasarkan AASHTO LRFD serta Standar Peraturan Indonesia (SNI).

Desain Elevated Bridge pada Jalan Tol Jakarta Cikampek II ini direncanakan sebagai jembatan lurus dengan tumpuan monolid pada kolom tengah dan rol pada kolom ujung setiap 3 span. Pada tugas akhir ini hanya merencanakan bentang jembatan pada tumpuan monolid. Tumpuan monolid tersebut diharapkan dapat menahan beban gempa dan beban aksial lainnya.



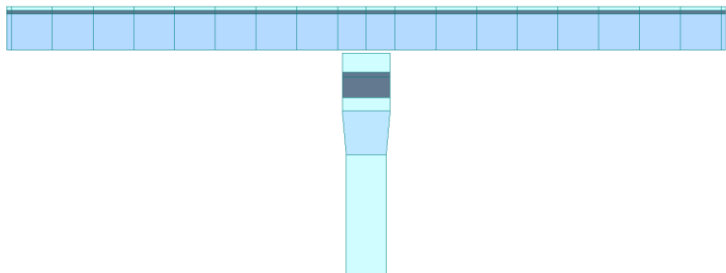
Gambar 5. 5. Permodelan Struktur Bangunan Atas pada Jembatan (Memanjang)



Gambar 5. 6. Permodelan Struktur Bangunan Atas pada Jembatan  
(*Cross Section*)

#### 5.4.1. Permodelan pada Kantilever

Pada perencanaan tendon kantilever didesain dengan panjang setengah span pada kanan dan kiri serta didesain dengan 1 tumpuan yaitu monolid dengan menggunakan angkur prategang.



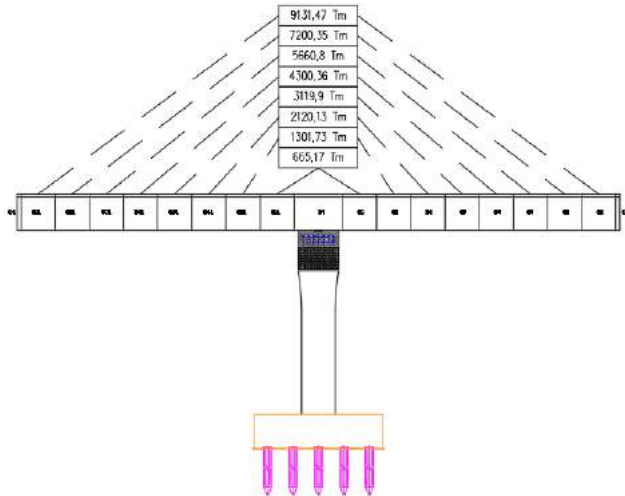
Gambar 5. 7. Permodelan Strukur Bangunan Atas pada Program  
MIDAS 2012

#### 5.5. Analisa Kantilever

Analisa Tendon kantilever merupakan perhitungan untuk menentukan gaya prategang awal yang digunakan untuk menahan beban saat pemasangan segmen

### 5.5.1. Pembebanan Kantilever

Momen pada tendon kantilever ini dipengaruhi oleh beban mati dan beban luar



Gambar 5. 8. Momen yang Terjadi pada Segmen 1

Tabel 5. 2. Momen yang Terjadi pada Segmen 1

Saat Terpasang Segmen	Mg pada Segmen 1 tm
2 & 2L	665.17
3 & 3L	1301.73
4 & 4L	2120.13
5 & 5L	3119.9
6 & 6L	4300.36
7 & 7L	5660.8
8 & 8L	7200.35
9 & 9L	9131.47

### 5.5.2. Gaya Prategang Awal pada Kantilever

Momen pada Segmen 1 digunakan untuk mencari tegangan awal pada masing-masing segmen dengan cara perhitungan,

$$\sigma_{ijin} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

Tegangan awal yang terjadi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Saat Transfer :

- Tegangan total yang mengalami tekan diijinkan mengalami tekan pada beton maksimal yaitu  $0,6 f_{ci}$
- Untuk tegangan yang mengalami tarik diijinkan mengalami tarik pada beton maksimal yaitu  $0,25 \sqrt{f_{ci}}$

Saat Service :

- Tegangan total yang mengalami tekan diijinkan mengalami tekan pada beton maksimal yaitu  $0,45 f_c$
- Untuk tegangan yang mengalami tarik diijinkan mengalami tarik pada beton maksimal yaitu  $0,5 \sqrt{f_c}$

Contoh perhitungan untuk segmen terpasang 2 & 2L :

$$A = 6,079 \text{ m}^2$$

$$Y_a = 0,93 \text{ m}$$

$$Y_b = 1,77 \text{ m}$$

$$I = 5,822 \text{ m}^4$$

$$M_g = 665,17 \text{ Tm (pada saat segmen 2 & 2L terpasang)}$$

Direncanakan eksentrisitas tendon dari serat atas,  $e = 0,8175 \text{ m}$

Karena pada serat atas diinginkan terjadinya tegangan tekan, maka tegangan Tarik pada serat atas  $f_a = 0 \text{ MPa}$

Serat atas,

$$0 = -\frac{F}{6,079 \cdot 10^6} - \frac{F \cdot 817,5 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} + \frac{665,17 \cdot 10^7}{5,822 \cdot 10^{12}}$$

$$0 = -1,645 \cdot 10^{-7} F - 1,306 \cdot 10^{-7} F + 1,062$$

$$F = 3,6 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Serat bawah,

$$\begin{aligned}
 -22,5 &= -\frac{F}{6,079 \cdot 10^6} + \frac{F \cdot 817,5 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} - \frac{665,17 \cdot 10^7}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 -22,5 &= -1,645 \cdot 10^{-7} F + 2,485 \cdot 10^{-7} F - 2,022 \\
 F &= -2,436 \cdot 10^8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Digunakan  $F = 3,6 \cdot 10^6 \text{ N}$ . Dengan menganggap kehilangan gaya prategang awal sebesar 15 %, sehingga nilai gaya prategang saat *jecking force* adalah :

$$F_o = \frac{F}{0,85} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{0,85} = 4,236 \cdot 10^6$$

Kontrol tegangan segmen 1 :

Serat atas,

$$\begin{aligned}
 fa &= -\frac{4,236 \cdot 10^6}{6,079 \cdot 10^6} - \frac{4,236 \cdot 10^6 \cdot 817,5 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &\quad + \frac{665,17 \cdot 10^7 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &= -0,696 - 0,553 + 1,062 \\
 &= -0,187 \text{ MPa} < 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Serat bawah,

$$\begin{aligned}
 fb &= -\frac{4,236 \cdot 10^6}{6,079 \cdot 10^6} + \frac{4,236 \cdot 10^6 \cdot 817,5 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &\quad - \frac{665,17 \cdot 10^7 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &= -0,696 + 1,052 - 2,022 \\
 &= -1,666 \text{ MPa} < 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 3 Fperlu pada Segmen 1 (Tumpuan)

Saat Terpasang Segmen	A	Ya	Yb	e	l	Mg pada Segmen 1	f ijin tarik (MPa)	f ijin tekan (MPa)	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		F perlu (N)	
	m2	m	m	m	m4	tm	0,5 vfc'	0,45 fc'	MPa	atas	bawah	atas	bawah	F1	F2
2 & 2L	6.079	0.93	1.77	0.818	5.822	665.17	3.53553391	-22.5	-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	1.06254	-2.02224476	3600749.18	-243681306
3 & 3L						1301.73			-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	2.07937	-3.95750962	7046624.51	-220652031
4 & 4L						2120.13			-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	3.38667	-6.44560306	11476850.1	-191044203
5 & 5L						3119.9			-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	4.98369	-9.48509619	16888881.6	-154874825
6 & 6L						4300.36			-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	6.86935	-13.0739217	23279038	-112168500
7 & 7L						5660.8			-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	9.0425	-17.209921	30643476	-62950911.8
8 & 8L						7200.35			-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	11.5018	-21.8904492	38977486	-7253536.51
9, 9L & CL						9131.47			-1.645E-07 F	-1.3059E-07 F	2.48536E-07 F	14.5865	-27.7614255	49431172.6	62609940.1

Tabel 5. 4. Kontrol Tegangan pada Segmen 1 (Tumpuan)

Saat Terpasang Segmen	Mg pada Segmen 1	f ijin tarik (MPa)	f ijin tekan (MPa)	F pakai	Fo	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		f (MPa)		Ket.	f tambahan
	tm	0,5 vfc'	0,45 fc'	N	N	MPa	atas	bawah	atas	bawah	fa	fb		N
2 & 2L	665.17	3.53553391	-22.5	3600749.177	4236175.502	-0.6969	-0.5532	1.05284	1.06254	-2.0222	-0.1875	-1.6663	OK	4236175.502
3 & 3L	1301.73			7046624.511	8290146.484	-1.3637	-1.0826	2.0604	2.07937	-3.9575	-0.3669	-3.2608	OK	4053970.982
4 & 4L	2120.13			11476850.06	13502176.54	-2.2211	-1.7632	3.35577	3.38667	-6.4456	-0.5976	-5.3109	OK	5212030.054
5 & 5L	3119.9			16888881.58	19869272.44	-3.2685	-2.5947	4.93822	4.98369	-9.4851	-0.8795	-7.8154	OK	6367095.903
6 & 6L	4300.36			23279038.04	27387103.57	-4.5052	-3.5764	6.80667	6.86935	-13.074	-1.2122	-10.772	OK	7517831.131
7 & 7L	5660.8			30643476.02	36051148.25	-5.9304	-4.7078	8.96	9.0425	-17.21	-1.5957	-14.18	OK	8664044.681
8 & 8L	7200.35			38977485.96	45855865.84	-7.5433	-5.9882	11.3968	11.5018	-21.89	-2.0297	-18.037	OK	9804717.583
9, 9L & CL	9131.47			49431172.61	58154320.72	-9.5664	-7.5942	14.4534	14.5865	-27.761	-2.5741	-22.45	OK	12298454.89

### 5.5.3. Perencanaan Kabel Tendon

Baja pratekan (tendon) direncanakan menggunakan kabel jenis strand *seven wires stress relieved* (7 kawat untaian). Dengan mengacu pada table VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik dari baja pratekan yang digunakan :

- Diameter = 15,2 mm
- Luas nominal ( $A_s$ ) = 140 mm<sup>2</sup>
- Nominal massa = 1,102 kg/m
- Minimum breaking load = 260,7 kN
- Modulus elastisitas ( $E_s$ ) = 200000 MPa
- Batas leleh =  $0,82 f_{py} = 1374,261$  MPa
- Batas putus =  $0,74 f_{pu} = 1377,986$  MPa
- $f_{py} = 1675$  MPa
- $f_{pu} = 1860$  MPa

Contoh perhitungan untuk join 3 & 3L :

$$F_o \text{ tambahan} = 4,053 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Jumlah strand untuk 1 web :

$$A_{ps} = \frac{\frac{F_o \text{ tambahan}}{2}}{0,82 f_{py}} = \frac{4,053 \cdot 10^6}{2 \cdot 1374,261} = 1475 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan 1 duct :

$$\frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1}{1} \times \frac{1475}{140} = 10,535 \text{ strand} \sim 12 \text{ strand}$$

Maka untuk menahan di join 3 & 3L di pasang tendon 2 VSL 7-wire dengan gaya  $F = 6256,8$  kN

Saat Segmen 3 & 3L terpasang, pada segmen 2 & 2L telah terpasang 4 tendon, yaitu 2 VSL 12 Sc pada join 2 & 2L dan 2 VSL 12 Sc pada join 3 & 3L. Sehingga akan terdapat gaya total tendon sebesar :

$$F_{\text{total}} = F_{\text{join 2 \& 2L}} + F_{\text{join 3 \& 3L}}$$

$$\begin{aligned}
 &= (2 \cdot 12 \cdot 260,7 \text{ kN}) + (2 \cdot 12 \cdot 260,7 \text{ kN}) \\
 &= 12513,6 \text{ kN} > \quad F_o = 8290,146 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}
 fa &= -\frac{1,251 \cdot 10^7}{6,079 \cdot 10^6} - \frac{1,251 \cdot 10^7 \cdot 817,5 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} + \frac{1301,73 \cdot 10^7 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &= -2,058 - 1,634 + 2,079 \\
 &= -1,613 \text{ MPa} < \quad 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Serat bawah,

$$\begin{aligned}
 fb &= -\frac{1,251 \cdot 10^7}{6,079 \cdot 10^6} + \frac{1,251 \cdot 10^7 \cdot 817,5 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} - \frac{1301,73 \cdot 10^7 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &= -2,058 + 3,11 - 3,958 \\
 &= -2,905 \text{ MPa} < \quad 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

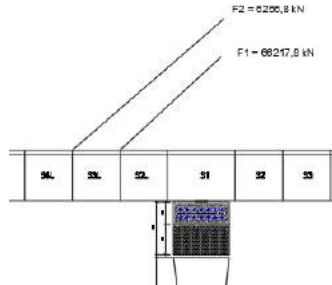


Tabel 5. 5. Perhitungan Tendon dan Kontrol Tegangan pada Segmen 1 (Tumpuan)

Join	F tambahan	Kebutuhan Tendon	Jenis Tendon	W (kg/m)	F (N) sesuai VSL	F (N) Kumulatif	f ijin tarik	f ijin tekan	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		Resultan (MPa)		Ket.
	N						0,5 $v_{fc}'$	0,45 $fc'$	MPa	atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah	
2 & 2L	4236175.502	11.008967	12 Sc	26.448	6256800	6256800	3.5355 MPa	-22.5 MPa	-1.0292	-0.8171	1.555	1.0625	-2.0222	-0.7838	-1.4965	OK
3 & 3L	4053970.982	10.535454	12 Sc	26.448	6256800	12513600			-2.0585	-1.6341	3.1101	2.0794	-3.9575	-1.6132	-2.9059	OK
4 & 4L	5212030.054	13.545016	14 Sc	30.856	7299600	19813200			-3.2593	-2.5873	4.9243	3.3867	-6.4456	-2.46	-4.7806	OK
5 & 5L	6367095.903	16.546799	18 Sc	39.672	9385200	29198400			-4.8032	-3.8129	7.2568	4.9837	-9.4851	-3.6324	-7.0314	OK
6 & 6L	7517831.131	19.537328	20 Sc	44.08	10428000	39626400			-6.5186	-5.1747	9.8486	6.8693	-13.074	-4.8239	-9.7439	OK
7 & 7L	8664044.681	22.516107	23 Sc	50.692	11992200	51618600			-8.4913	-6.7407	12.829	9.0425	-17.21	-6.1895	-12.872	OK
8 & 8L	9804717.583	25.480486	26 Sc	57.304	13556400	65175000			-10.721	-8.511	16.198	11.502	-21.89	-7.7306	-16.413	OK
9, 9L & CL	12298454.89	31.961206	26 Sc	57.304	13556400	78731400			-12.951	-10.281	19.568	14.587	-27.761	-8.6461	-21.145	OK

❖ **Kontrol tegangan tiap join pada saat transfer dengan kantilever penuh**

Contoh perhitungan pada join 3 & 3L :



Gambar 5. 9. F1 dan F2 pada Joint S3 & S3L

$M_g = 2412,92 \text{ Tm}$  (Momen pada segmen 3 & 3L)

Kontrol tegangan saat transfer :

Serat atas,

$$\begin{aligned}
 f_a &= -\frac{F_1 + F_2}{A} - \frac{(F_1 e_1 + F_2 e_2) \cdot y_a}{I} + \frac{M_g \cdot y_a}{I} \\
 &= -\frac{(6,621 \cdot 10^7) + (6,256 \cdot 10^6)}{6,079 \cdot 10^6} \\
 &\quad - \frac{((6,621 \cdot 10^7 \cdot 817,5) + (6,256 \cdot 10^6 \cdot 707,5)) \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &\quad + \frac{2412,92 \cdot 10^7 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &= -11,922 - 9,354 + 3,854 \\
 &= -17,422 \text{ MPa} < 0,6 f_{ci} = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Serat bawah,

$$f_b = -\frac{F_1 + F_2}{A} - \frac{(F_1 e_1 + F_2 e_2) \cdot y_b}{I} + \frac{M_g \cdot y_b}{I}$$

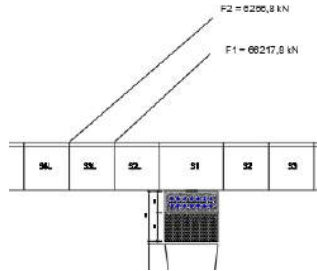
$$\begin{aligned}
 &= - \frac{(6,621 \cdot 10^7) + (6,256 \cdot 10^6)}{6,079 \cdot 10^6} \\
 &\quad + \frac{((6,621 \cdot 10^7 \cdot 817,5) + (6,256 \cdot 10^6 \cdot 707,7)) \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &\quad - \frac{2412,92 \cdot 10^7 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &= - 11,922 + 17,803 - 7,335 \\
 &= - 1,455 \text{ MPa} < 0,6 f_{ci} = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 6. Kontrol Tegangan Kantilever Penuh Tiap Segmen saat Transfer

Segmen	Mg	F1	e1	F2	e2	$\Sigma(F)/A$			$Mg.y/I$ (MPa)		Resultan (MPa)		f ijin tarik	f ijin tekan	Ket.
	tm	N	m	N	m	MPa	atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah	0,25 v fci	0,6 fci	
1	3713.8	78731400	0.8175	0	0.7075	-12.951	-10.281	19.5676	5.93238	-11.291	-17.3	-4.6745	1.5309 MPa	-22.5 MPa	OK
2 & 2L	3141.46	72474600		6256800		-12.951	-10.171	19.3583	5.01813	-9.5506	-18.105	-3.1437			OK
3 & 3L	2412.92	66217800		6256800		-11.922	-9.3543	17.8033	3.85437	-7.3357	-17.422	-1.4546			OK
4 & 4L	1780.79	58918200		7299600		-10.893	-8.5189	16.2134	2.84461	-5.4139	-16.567	-0.0934			OK
5 & 5L	1244.87	49533000		9385200		-9.6921	-7.529	14.3294	1.98854	-3.7846	-15.233	0.85268			OK
6 & 6L	805	39105000		10428000		-8.1482	-6.2851	11.962	1.2859	-2.4474	-13.147	1.36642			OK
7 & 7L	460.92	27112800		11992200		-6.4328	-4.8959	9.31795	0.73627	-1.4013	-10.592	1.48386			OK
8 & 8L	212.39	13556400		13556400		-4.4601	-3.3024	6.28514	0.33927	-0.6457	-7.4232	1.17936			OK
9, 9L & CL	59.08	0		13556400		-2.23	-1.5321	2.9159	0.09437	-0.1796	-3.6677	0.50624			OK

❖ **Kontrol tegangan tiap join pada saat service dengan kantilever penuh**

Contoh perhitungan pada join 3 & 3L :



Gambar 5. 10. F1 dan F2 pada Joint S3 & 3L

$M_g = 6260,55 \text{ Tm}$  (Momen pada segmen 3 & 3L)

Kontrol tegangan saat service :

Serat atas,

$$\begin{aligned}
 fa &= -\frac{F_1 + F_2}{A} - \frac{(F_1 e_1 + F_2 e_2) \cdot ya}{I} + \frac{M_g \cdot ya}{I} \\
 &= -\frac{(6,621 \cdot 10^7) + (6,256 \cdot 10^6)}{6,079 \cdot 10^6} \\
 &\quad - \frac{((6,621 \cdot 10^7 \cdot 817,5) + (6,256 \cdot 10^6 \cdot 707,5)) \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &\quad + \frac{6260,55 \cdot 10^7 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
 &= -11,922 - 9,354 + 10 \\
 &= -11,276 \text{ MPa} < 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Serat bawah,

$$fb = -\frac{F_1 + F_2}{A} - \frac{(F_1 e_1 + F_2 e_2) \cdot yb}{I} + \frac{M_g \cdot yb}{I}$$

$$\begin{aligned}
&= - \frac{(6,621 \cdot 10^7) + (6,256 \cdot 10^6)}{6,079 \cdot 10^6} \\
&+ \frac{((6,621 \cdot 10^7 \cdot 817,5) + (6,256 \cdot 10^6 \cdot 707,7)) \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
&- \frac{6260,55 \cdot 10^7 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} \\
&= - 11,922 + 17,803 - 19,033 \\
&= - 13,152 \text{ MPa} < 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Tabel 5. 7. Kontrol Tegangan Kantilever Penuh Tiap Segmen saat Service

Segmen	Mg	F1	e1	F2	e2	$\sum(F)/A$			Mg.y/I (MPa)		Resultan (MPa)		f ijin tarik	f ijin tekan	Ket.
	tm	N	m	N	m	MPa	atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah	0,5 $\sqrt{f'c}$	0,45 $f'c'$	
1	9131.47	78731400	0.8175	0	0.7075	-12.951	-10.281	19.5676	14.5865	-27.761	-8.6461	-21.145	3.5355 MPa	-22.5 MPa	OK
2 & 2L	7879.07	72474600		6256800		-12.951	-10.171	19.3583	12.5859	-23.954	-10.537	-17.547			OK
3 & 3L	6260.55	66217800		6256800		-11.922	-9.3543	17.8033	10.0005	-19.033	-11.276	-13.152			OK
4 & 4L	4824.52	58918200		7299600		-10.893	-8.5189	16.2134	7.70664	-14.667	-11.705	-9.347			OK
5 & 5L	3570.79	49533000		9385200		-9.6921	-7.529	14.3294	5.70394	-10.856	-11.517	-6.2186			OK
6 & 6L	2499.19	39105000		10428000		-8.1482	-6.2851	11.962	3.99218	-7.598	-10.441	-3.7842			OK
7 & 7L	1609.48	27112800		11992200		-6.4328	-4.8959	9.31795	2.57097	-4.8931	-8.7577	-2.008			OK
8 & 8L	901.39	13556400		13556400		-4.4601	-3.3024	6.28514	1.43987	-2.7404	-6.3226	-0.9153			OK
9, 9L & CL	374.62	0		13556400		-2.23	-1.5321	2.9159	0.59841	-1.1389	-3.1637	-0.4531			OK

#### 5.5.4. Pemilihan Selongsong Tendon Prategang (*Duct*)

Digunakan selongsong tendon untuk *internal prestressed tendon* tipe *corrugated steel ducts* dari VSL untuk ketahanan korosi pada gesekan tendon.



Gambar 5. 11. Selongsong (*Duct*)

Dimensi selongsong tendon yang digunakan :

Tabel 5. 8. Diameter Selongsong Tendon

Jumlah Strands	Diameter Selongsong (mm)
12	75
14	80
18	90
20	100
23	100
26	110

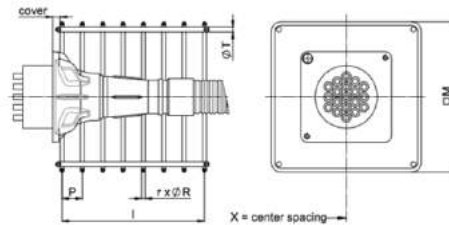
#### 5.5.5. Pemilihan Angkur Tendon Prategang

Penarikan pada tendon prategang dilakukan dua arah, maka dipasang angkur hidup tipe GC dengan *stirrup reinforcement*.



Tabel 5. 9. Dimensi *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

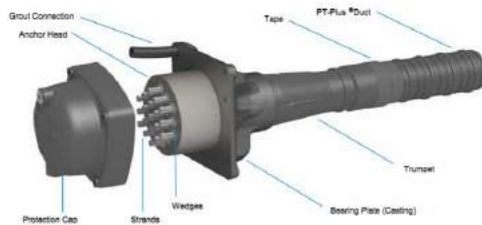
Tendon	<i>Stirrup Reinforcement</i>						
	I (mm)	P (mm)	R (mm)	M (mm)	r	X (mm)	T (mm)
6-12	225	45	20	245	6	265	10
6-15	300	60	25	275	6	295	10
6-19	300	50	25	315	7	335	12
6-22	350	70	32	335	6	355	12
6-27	350	70	32	375	6	395	16

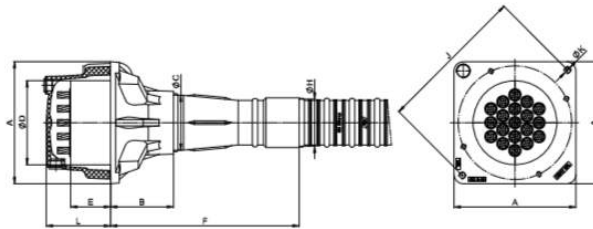


Gambar 5. 12. Detail *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

Tabel 5. 10. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC.

Tendon	A	B	øC	øD	E	F	øH	J	L
6-12	230	220	92	170	75	220	92	264	135
6-15	260	240	113	190	85	240	113	316	145
6-19	290	150	131	200	95	450	112	354	155
6-22	320	150	153	220	100	640	112	400	160
6-27	350	170	164	240	110	620	127	430	170





Gambar 5. 13. Detail Angkur Hidup Tipe GC

## 5.6. Analisa Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang (*loss prestressed*) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Kehilangan gaya prategang langsung, yaitu kehilangan gaya prategang yang terjadi segera setelah peralihan gaya prategang (waktu jangka pendek), yang meliputi :
  - a. Perpendekan Elastis
  - b. Gesekan Kabel dan *Wobble effect*
  - c. Slip Angkur
2. Kehilangan gaya prategang berdasarkan fungsi waktu, yaitu kehilangan gaya prategang yang tergantung pada waktu (jangka waktu tertentu), yang meliputi :
  - a. Rangkak Beton (*Creep*)
  - b. Susut Beton (*Shrinkage*)
  - c. Relaksasi Baja (*Relaxation*)

### 5.6.1. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Langsung

#### 5.6.1.1. Akibat Perpendekan Elastis (ES)

Beton mengalami perpendekan pada saat gaya prategang bekerja pada beton. Karena tendon yang melekat pada beton disekitarnya secara simultan juga memendek maka tendon tersebut juga akan kehilangan sebagian dari gaya prategang yang dipikulnya. Berikut adalah persamaan yang berkaitan tentang masalah ini :

$$f_{cir} = -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \cdot e^2}{I} + \frac{M_g \cdot e}{I} \leq \sigma_{ci}$$

$$\Delta f_s = K_{es} \cdot \frac{E_s \cdot f_{cir}}{E_{ci}}$$

Dimana :

$f_{cir}$  = Tegangan beton pada garis yang melalui titik berat saja (c.g.s) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton.

$\Delta f_s$  = Perpendekan elastis beton

$E_s$  = 200000 MPa

$K_{es}$  = 0,5 untuk komponen struktur pasca tarik kabel – kabel secara berurutan ditarik dengan gaya yang sama

$F_o$  = 0,9  $F_i$

Contoh perhitungan pada segmen 2 & 2L :

$E_c$  = modulus elastisitas beton = 33234,0187 MPa

$$f_{cir} = -\frac{7,873 \cdot 10^7}{6,079 \cdot 10^6} - \frac{7,873 \cdot 10^7 \cdot 817,5^2}{5,822 \cdot 10^{12}} + \frac{7879,07 \cdot 10^7}{5,822 \cdot 10^{12}}$$

$$= -12,951 - 9,037 + 11,063$$

$$= -10,925 \text{ MPa} < 0,45 f_c' = 22,5 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_s = 0,5 \cdot \frac{200000 \cdot 10,925}{33234,0187} = 32,874 \text{ MPa}$$

$$\%LOSS = \frac{E_s}{0,7 \cdot f_{pu}} \cdot 100\% = \frac{32,874}{0,7 \cdot 1344,99} \cdot 100\% = 2,385\%$$

Tabel 5. 11. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis Tendon Kantilever

Segmen	Fo N	Mg tm	e m	A m2	I m4	Fo/A MPa	Fo.(e <sup>2</sup> )/I MPa	Mg.e/I MPa	fcir MPa	Ec MPa	Es MPa	ES MPa	% LOSS
2 & 2L	78731400	7879.07	0.8175	6.079	5.822	-12.95137	-9.037562	11.06345	-10.92549	33234.0187	200000	32.874	2.38569
3 & 3L	72474600	6260.55				-11.92213	-8.319345	8.790793	-11.45068			34.455	2.50037
4 & 4L	66217800	4824.52				-10.89288	-7.601128	6.774382	-11.71962			35.264	2.55909
5 & 5L	58918200	3570.79				-9.692088	-6.763209	5.013949	-11.44135			34.427	2.49833
6 & 6L	49533000	2499.19				-8.148215	-5.685883	3.509254	-10.32484			31.067	2.25453
7 & 7L	39105000	1609.48				-6.432801	-4.488855	2.259962	-8.661695			26.063	1.89136
8 & 8L	27112800	901.39				-4.460076	-3.112273	1.265693	-6.306656			18.977	1.37712
9, 9L & CL	13556400	374.62				-2.230038	-1.556137	0.526025	-3.260149			9.8097	0.71189

### 5.6.1.2. Akibat Gesekan dan *Wobble Effect* ( $F_x$ )

Kehilangan gaya prategang akibat pengaruh kelengkungan dihasilkan dari kelengkungan tendon yang diinginkan sebagai tambahan pada penyimpangan turun naiknya selubung (*duct*). Kehilangan gaya prategang ini tergantung pula pada koefisien gesekan diantara bahan yang bersentuhan dan tekanan yang disebabkan oleh tendon. Adapun rumus umum kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan *wobble effect* adalah :

$$F_x = f_o \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha - K \cdot L)}$$

Dimana :

$F_x$  = Gaya prategang akhir sesudah loss akibat *wobble effect* dan gesekan

$F_o$  = Gaya prategang awal

$K$  = Koefisien *wobble*

$\mu$  = Koefisien kelengkungan

$L$  = Panjang balok

$\alpha$  = Perubahan sudut akibat pengaruh kelengkungan

Contoh perhitungan pada Segmen 2 & 2L :

$$F = 6256800 \text{ N}$$

$$K = 0,002$$

$$\mu = 0,2$$

$$L = 4,35 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,24$$

$$F_x = F_o \cdot e^{-\mu\alpha + KL}$$

$$F_x = 6256800 \cdot e^{-(0,2 \cdot 0,24 + 0,002 \cdot 4,35)}$$

$$F_x = 6328696,738 \text{ N}$$

$$\%Loss = \frac{F_o - F_x}{F_o} \cdot 100\%$$

$$\%Loss = \frac{6256800 - 6328696,738}{6256800} \cdot 100\%$$

$\%Loss = 1,136 \%$

Tabel 5. 12. Kehilangan Gaya Prategang Akibat wobble Effect (Fx) Tendon Kantilever

Segmen	Fo	L	K	K.L	$\mu$	$\bar{\alpha}$	$\mu \cdot \bar{\alpha}$	$-(\mu \cdot \bar{\alpha} + K.L)$	$e^{-(\mu \cdot \bar{\alpha} + K.L)}$	Fx	% LOSS
	N	m		m						N	
2 & 2L	6256800	4.35	0.002	0.0087	0.2	0.24	0.048	-0.0567	1.011490816	6328695.738	1.136
3 & 3L	6256800	6.9	0.002	0.0138	0.2	0.24	0.048	-0.0618	1.012530832	6335202.907	1.2376
4 & 4L	7299600	9.45	0.002	0.0189	0.2	0.24	0.048	-0.0669	1.013571916	7398669.56	1.339
5 & 5L	9385200	12	0.002	0.024	0.2	0.24	0.048	-0.072	1.014614072	9522355.984	1.4404
6 & 6L	10428000	14.55	0.002	0.0291	0.2	0.24	0.048	-0.0771	1.015657298	10591274.31	1.5416
7 & 7L	11992200	17.1	0.002	0.0342	0.2	0.24	0.048	-0.0822	1.016701598	12192488.9	1.6427
8 & 8L	13556400	19.65	0.002	0.0393	0.2	0.24	0.048	-0.0873	1.017746971	13796985.04	1.7438
9, 9L & CL	13556400	22.2	0.002	0.0444	0.2	0.24	0.048	-0.0924	1.018793419	13811171.1	1.8447

**5.6.1.3. Akibat Slip Angker ( $\Delta\sigma$ )**

Kehilangan prategang akibat Slip Angker dihitung :

$$\Delta\sigma = 2\sigma_o \cdot \left(\frac{\mu \cdot \alpha}{K + L}\right) \cdot X, \quad X = \sqrt{\left(\frac{Es \cdot d}{\sigma_o \left(\frac{\mu \cdot \alpha}{K + L}\right)}\right)}$$

Contoh perhitungan pada segmen 2 & 2L :

- $\sigma_o = 0,7 \cdot f_{pu} = 1377,99 \text{ MPa}$
- $\mu = 0,2$
- $\alpha = 0,24$
- $K = 0,002$
- $L = 4,35 \text{ m}$
- $Es = 200000 \text{ MPa}$
- $d = 1 \text{ mm}$

menghitung jarak pengaruh slip angker :

$$X = \sqrt{\left(\frac{200000 \cdot 1}{1377,99 \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 0,24}{0,002 + 4,35}\right)}\right)} = 114,71 \text{ mm}$$

$$\Delta\sigma = 2 \cdot 1377,99 \cdot \left( \frac{0,2,0,24}{0,002 + 4,35} \right) \cdot 114,71 = 3,486 \text{ MPa}$$

$$\%Loss = \frac{3,486}{1377,99} \cdot 100\% = 0,253 \%$$

Tabel 5. 13. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Slip Angker pada Tendon Kantilever

Segmen	$\bar{\alpha}$	$\mu$	$\mu \cdot \bar{\alpha}$	K	$f_{pu}$		Es	d	Es.d	L	K+L	X	$\Delta\sigma$	% LOSS
					MPa	0,7 fpu (Mpa)								
2 & 2L	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	4.35	4.352	114.71	3.48693	0.25305
3 & 3L	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	6.9	6.902	144.46	2.76886	0.20094
4 & 4L	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	9.45	9.452	169.06	2.36606	0.1717
5 & 5L	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	12	12.002	190.5	2.09972	0.15238
6 & 6L	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	14.55	14.552	209.77	1.90689	0.13838
7 & 7L	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	17.1	17.102	227.4	1.75899	0.12765
8 & 8L	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	19.65	19.652	243.77	1.64091	0.11908
9, 9L & CL	0.24	0.2	0.048	0.002	1862.14	1377.985714	200000	1	200000	22.2	22.202	259.1	1.5438	0.11203

## 5.6.2. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Berdasarkan Fungsi Waktu

### 5.6.2.1. Akibat Rangkak Beton (CR)

Kehilangan prategang akibat rangkakan beton dengan rumus :

$$CR = K_{cr} \cdot \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \cdot (f_{cir} - f_{c ds})$$

Contoh perhitungan pada segmen 2 & 2L :

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 33234,0187 \text{ MPa}$$

$$f_{cir} = -10,925 \text{ MPa (perhitungan pada akibat perpindahan elastis)}$$

$$M = 7879,07 \text{ tm}$$

$$e = 0,8175 \text{ m}$$

$$I = 5,822 \text{ m}^4$$

$$K_{CR} = 1,6 \text{ (Pasca Tarik)}$$

$$f_{c ds} = \frac{M \cdot e}{I} = \frac{7879,07 \cdot 10^7 \cdot 817,5}{5,822 \cdot 10^{12}} = 11,063 \text{ MPa}$$

$$CR = 1,6 \cdot \frac{200000}{33234,0187} \cdot (10,925 - 11,063) = 1,328 \text{ MPa}$$

$$\%Loss = \frac{1,328}{1377,99} \cdot 100\% = 0,0964 \%$$

Tabel 5. 14. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton pada Tendon Kantilever

Segmen	Mg	e	fcir	l	fcds	Kcr	Es	Ec	fcir-fcdis	Es/Ec	CR	% LOSS
	tm	m	MPa	m4	MPa		MPa	MPa	MPa		MPa	
2 & 2L	7879.07	0.8175	-10.925	5.822	11.063	1.6	200000	33234.019	0.137961	6.0179	1.3284	0.0964
3 & 3L	6260.55		-11.451		8.7908				2.659885		25.611	1.8586
4 & 4L	4824.52		-11.72		6.7744				4.945242		47.616	3.4555
5 & 5L	3570.79		-11.441		5.0139				6.427399		61.887	4.4912
6 & 6L	2499.19		-10.325		3.5093				6.81559		65.625	4.7624
7 & 7L	1609.48		-8.6617		2.26				6.401733		61.64	4.4732
8 & 8L	901.39		-6.3067		1.2657				5.040963		48.538	3.5224
9, 9L & CL	374.62		-3.2601		0.526				2.734124		26.326	1.9105

**5.6.2.2. Akibat Susut Beton**

Kehilangan prategang akibat susut beton dapat dirumuskan :

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

Contoh perhitungan pada segmen 2 & 2L :

$E_s = 200000 \text{ MPa}$

$K_{SH} = 0,73$

$V = \text{Luas Box Girder} = 6,079 \text{ m}^2$

$S = \text{Keliling Box Girder} = 25,7 \text{ m}$

$RH = 75 \%$

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,73 \cdot 200000 \cdot \left(1 - 0,0236 \cdot \frac{6,079 \cdot 10^6}{25700}\right) \cdot (100 - 75) = 29,505 \text{ MPa}$$

$$\%Loss = \frac{29,505}{1377,99} \cdot 100\% = 2,141 \%$$

Tabel 5. 15. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton Tendon Kantilever

Segmen	Ksh	Es	V	S	V/S	RH	(0,06*(V/S	100-RH	SH	% LOSS
		MPa	m2	m	m	%			MPa	
2 & 2L	0.73	200000	6.079	25.7	0.23652	75	0.98581	25	29.5052	2.1412
3 & 3L										2.1412
4 & 4L										2.1412
5 & 5L										2.1412
6 & 6L										2.1412
7 & 7L										2.1412
8 & 8L										2.1412
9, 9L & CL										2.1412

### 5.6.2.3. Akibat Relaksasi Baja

Kehilangan prategang akibat relaksasi baja dapat dirumuskan :

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

Contoh perhitungan pada segmen 2 & 2L :

$$K_{RE} = 138$$

$$J = 0,15$$

$$C = 1,27$$

$$CR = 1,328 \text{ MPa}$$

$$SH = 29,505 \text{ MPa}$$

$$ES = 32,874 \text{ MPa}$$

$$RE = (138 - 0,15(29,505 + 1,328 + 32,874)) \cdot 1,27$$

$$= 163,124 \text{ MPa}$$

$$\%Loss = \frac{163,124}{1377,99} \cdot 100\% = 11,837 \%$$



Tabel 5. 16. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja Tendon Kantilever

Segmen	Kre	J	C	SH	CR	ES	RE	% LOSS
				MPa	MPa	MPa	MPa	
2 & 2L	138	0.15	1.27	29.5052	1.3284	32.8744	163.124	11.837831
3 & 3L				29.5052	25.611	34.4547	158.197	11.480286
4 & 4L				29.5052	47.616	35.2639	153.851	11.16489
5 & 5L				29.5052	61.887	34.4266	151.291	10.979172
6 & 6L				29.5052	65.625	31.0671	151.219	10.973943
7 & 7L				29.5052	61.64	26.0627	152.932	11.098215
8 & 8L				29.5052	48.538	18.9765	156.778	11.377314
9, 9L & CL				29.5052	26.326	9.80967	162.755	11.811109

Tabel 5. 17. Total Kehilangan Prategang Tendon Kantilever

Segmen	% LOSS						TOTAL
	ES	Fx	CR	SH	RE	$\Delta\sigma$	
2 & 2L	2.3857	1.136	0.0964	2.1412	11.838	0.253	17.85
3 & 3L	2.5004	1.2376	1.8586	2.1412	11.48	0.2009	19.419
4 & 4L	2.5591	1.339	3.4555	2.1412	11.165	0.1717	20.831
5 & 5L	2.4983	1.4404	4.4912	2.1412	10.979	0.1524	21.703
6 & 6L	2.2545	1.5416	4.7624	2.1412	10.974	0.1384	21.812
7 & 7L	1.8914	1.6427	4.4732	2.1412	11.098	0.1276	21.374
8 & 8L	1.3771	1.7438	3.5224	2.1412	11.377	0.1191	20.281
9, 9L & CL	0.7119	1.8447	1.9105	2.1412	11.811	0.112	18.531

5.6.3. Kontrol Tegangan setelah Kehilangan

$$f_{eff} = \frac{100 - \%Loss}{100} \cdot F_o$$

Contoh perhitungan pada segmen 2 & 2L :

$$f_{eff} = \frac{100 - 17,85}{100} \cdot 6256800 N = 5139950,099 N$$

Kontrol tegangan :  
Serat Atas,

$$f_a = -\frac{5,139 \cdot 10^6}{6,079 \cdot 10^6} - \frac{5,139 \cdot 10^6 \cdot 817,5 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}} + \frac{665,17 \cdot 10^7 \cdot 930}{5,822 \cdot 10^{12}}$$

$$= -0,454 \text{ MPa} < 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}$$

Serat bawah,

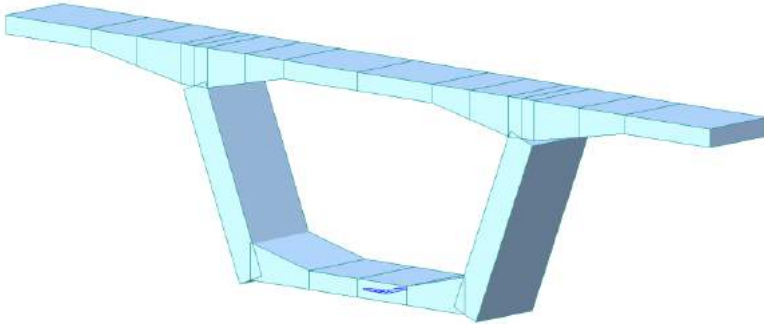
$$f_b = -\frac{5,139 \cdot 10^6}{6,079 \cdot 10^6} + \frac{5,139 \cdot 10^6 \cdot 817,5 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}} - \frac{665,17 \cdot 10^7 \cdot 1770}{5,822 \cdot 10^{12}}$$

$$= -1,59 \text{ MPa} < 0,45 f_c = 22,5 \text{ MPa}$$

Tabel 5. 18. Kontrol Tegangan Setelah kehilangan Prategang pada Tendon Kantilever

Segmen	% LOSS TOTAL	Feff (N)	Tegangan Setelah Kehilangan		Kontrol
			Serat Atas	Serat Bawah	
2 & 2L	17.850177	5139950.099	-0.454198657	-1.590309125	OK
3 & 3L	19.418946	10083590.74	-0.89617019	-3.110135209	OK
4 & 4L	20.831385	15685836	-1.242018333	-5.127444044	OK
5 & 5L	21.702573	22861595.94	-1.762472205	-7.563922285	OK
6 & 6L	21.812035	30983075.74	-2.273363751	-10.47025933	OK
7 & 7L	21.374357	40585456.01	-2.933752117	-13.79932275	OK
8 & 8L	20.280829	51956969.62	-3.830080898	-17.52424593	OK
9, 9L & CL	18.53136	64141400.44	-4.340801536	-22.37130375	OK

**5.7. Penulangan Utama (Tulangan Lentur)**

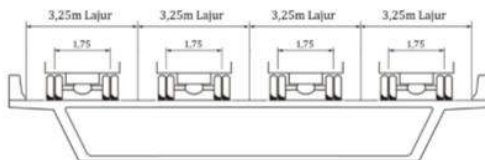


Gambar 5. 14. Permodelan Box Girder per Meter

*Cross section* penampang dimodelkan sepanjang 1 meter untuk menentukan desain pembebanan per unit panjang. Perhitungan penulangan utama ini menggunakan kombinasi pembebanan terpilih, yakni kombinasi pembebanan Kuat 1 dengan faktor beban sebagai berikut:

Kombinasi	MS	MA	TT	EWs
Kuat 1	1,2	2	1,8	0,3

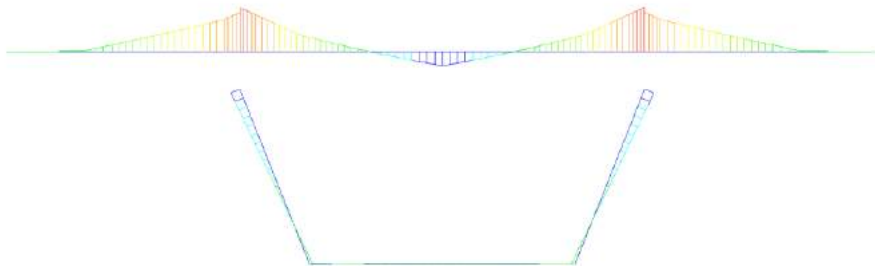
Beban hidup kendaraan dianggap sebagai beban terpusat yang mewakili lalu lintas kendaraan. Jarak minimum antara dua kendaraan adalah 1200 mm.



Gambar 5. 15. Ilustrasi Beban Truk pada Box Girder

### 5.7.1. Desain Flens Atas

Flens atas didesain dengan posisi beban hidup kendaraan dalam Gambar. Analisa gaya yang terjadi didapat dari program bantu MIDAS 2012 sebagai berikut :



Gambar 5. 16. Diagram Momen Akibat Beban Terfaktor

$$M_u = 61,77 \text{ tm}$$

Direncanakan :

$$D \text{ (tul. utama)} = 25 \text{ mm}$$

$$D \text{ (tul. bagi)} = 16 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Decking (d)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal flens (h)} = 480 \text{ mm}$$

$$d_x = 480 - 25 - 25/2 = 442,5 \text{ mm}$$

$$f'_c = 50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{617700000}{0,8} = 772125000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{772125000}{1000 \cdot 442,5^2} = 3,943$$

$$m = \frac{f_y}{0,8 \cdot f'_c} = \frac{410}{0,8 \cdot 50} = 10,25$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,00341$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,85}{410} \cdot \frac{600}{600 + 410} = 0,0523$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_{balance} = 0,75 \cdot 0,0523 = 0,0392$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0101$$

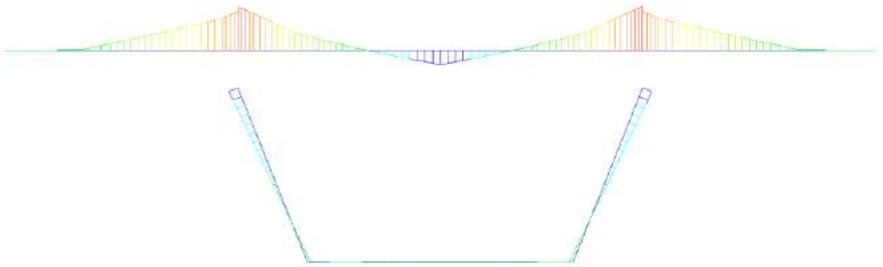
Karena  $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$ , maka digunakan  $\rho_{perlu} = 0,0101$

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0101 \cdot 1000 \cdot 442,5 \\ &= 4489,312 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan utama D25 - 200 (4908,793 mm<sup>2</sup>) dan tulangan pembagi D16 - 200 (1608,495 mm<sup>2</sup>)

### 5.7.2. Desain Flens Bawah

Flens atas didesain dengan posisi beban hidup kendaraan dalam Gambar. Analisa gaya yang terjadi didapat dari program bantu MIDAS 2012 sebagai berikut :



Gambar 5. 17. Diagram Momen Akibat Beban Terfaktor

$$\begin{aligned}
 Mu &= 24,12 \text{ tm} \\
 \text{Direncanakan :} \\
 D \text{ (tul. utama)} &= 25 \text{ mm} \\
 D \text{ (tul. bagi)} &= 10 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{Decking (d)} &= 25 \text{ mm} \\
 \text{Tebal flens (h)} &= 225 \text{ mm} \\
 dx &= 225 - 25 - 25/2 = 187,5 \text{ mm} \\
 f'c &= 50 \text{ MPa} \\
 fy &= 410 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,8} = \frac{241200000}{0,8} = 301500000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot dx^2} = \frac{301500000}{1000 \cdot 187,5^2} = 8,576$$

$$m = \frac{fy}{0,8 \cdot f'c} = \frac{410}{0,8 \cdot 50} = 10,25$$

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{410} = 0,00341$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,85}{410} \cdot \frac{600}{600 + 410} = 0,0523$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_{balance} = 0,75 \cdot 0,0523 = 0,0392$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = 0,0238$$

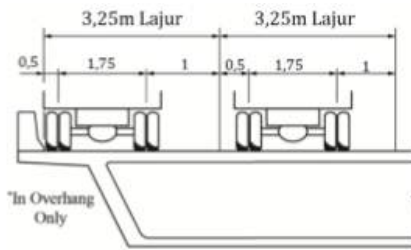
Karena  $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$ , maka digunakan  $\rho_{perlu} = 0,0238$

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0238 \cdot 1000 \cdot 187,5 \\ &= 4467,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan utama D25 – 200 (4908,738 mm<sup>2</sup>) dan tulangan pembagi D10 – 200 (706,858 mm<sup>2</sup>)

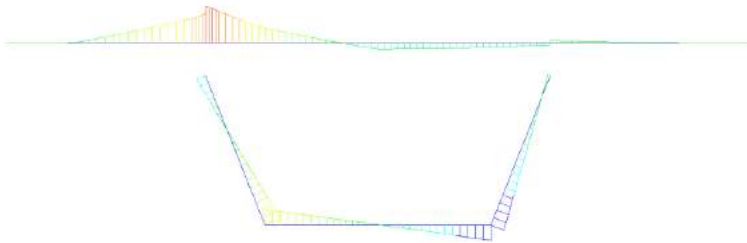
### 5.7.3. Desain Flens Tegak

Beban hidup kendaraan dianggap sebagai beban terpusat empat titik diposisikan pada tiap ujung lajur lalu lintas.



Gambar 5. 18. Ilustrasi Beban Truk pada Setengah Badan Box Grider

Analisa gaya yang terjadi didapat dari program bantu MIDAS 2012 sebagai berikut :



Gambar 5. 19. Diagram Momen di Badan Box Akibat Beban Terfaktor

$$M_u = 36,46 \text{ tm}$$

Direncanakan :

$$D \text{ (tul. utama)} = 25 \text{ mm}$$

$$D \text{ (tul. bagi)} = 13 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Decking (d)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal flens (h)} = 375 \text{ mm}$$

$$d_x = 375 - 25 - 25/2 = 337,5 \text{ mm}$$

$$f'_c = 50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{364600000}{0,8} = 455750000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{455750000}{1000 \cdot 337,5^2} = 4,001$$

$$m = \frac{f_y}{0,8 \cdot f'_c} = \frac{410}{0,8 \cdot 50} = 10,25$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,00341$$



$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,85}{410} \cdot \frac{600}{600 + 410} = 0,0523$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_{balance} = 0,75 \cdot 0,0523 = 0,0392$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = 0,0103$$

Karena  $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$ , maka digunakan  $\rho_{perlu} = 0,0103$

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0103 \cdot 1000 \cdot 337,5 \\ &= 3477,187 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan utama D25 – 200 (3926,99 mm<sup>2</sup>) dan tulangan pembagi D13 – 200 (1194,59 mm<sup>2</sup>)

## 5.8. Perencanaan Tulangan Geser

### 5.8.1. Perhitungan Gaya Geser

Perhitungan gaya geser didasarkan pada gaya post tension tendon kantilever. Kemudian gaya geser post tensioning yang sesuai dengan letak jackingnya masing-masing akan di superposisikan dengan gaya geser akibat beban mati dan beban hidup yang bekerja.

❖ Perhitungan gaya geser akibat tendon kantilever

Perhitungan gaya geser akibat tendon tahap kantilever pada segmen

1

$$F = 5139950,099 \text{ N}$$

$$L = 4,35 \text{ m}$$

$$h = 0,11 \text{ m}$$

$$Wp = \frac{8 \cdot F \cdot h}{L^2} = \frac{8 \cdot 5139950,099 \cdot 0,11}{4,35^2} = 239035,861 \text{ N/m}$$

$$\begin{aligned}
 V_p &= W_p \cdot L = 239035,861 \cdot 4,35 = 1039805,997 \text{ N} \\
 V_u' &= 10648403,71 \text{ N (didapatkan dari Output MIDAS 2012)} \\
 V_u &= |V_u' - V_p| \\
 &= |10648403,71 - 1039805,997| \\
 &= 8978104,414 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 19. Gaya Geser pada Box Girder

Segmen	Feff	e	h	L	Wp akibat tendon	Vp akibat tendon	Vp segmen	Vu'	Vu
	N	m	m	m	N/m	N	N	N	N
1	5139950.099	0.8175	0.11	4.35	239035.861	1039805.997	1670299.296	10648403.71	8978104.414
2L	5139950.099			4.35	239035.861	1039805.997	1670299.296	10075844.44	8405545.144
3L	4943640.64			6.9	91375.8404	630493.299	1152183.863	9205569.92	8053386.057
4L	5602245.262			9.45	55205.3507	521690.564	1047912.959	8233787.12	7185874.161
5L	7175759.938			12	43851.8663	526222.3954	1017418.425	7147235.47	6129817.045
6L	8121479.805			14.55	33759.1773	491196.0294	985353.6104	5934459.33	4949105.72
7L	9602380.267			17.1	28898.1042	494157.581	1003416.206	4585223.46	3581807.254
8L	11371513.61			19.65	25916.4695	509258.6248	992245.0718	3090332.45	2098087.378
9L	12184430.82			22.2	21756.1463	482986.447	482986.447	1442459.97	959473.523

Setelah hasil perhitungan gaya geser pada tendon kantilever, dilanjutkan pada perencanaan dan perhitungan tulangan geser yang diperlukan. Berikut adalah contoh perhitungan gaya geser :

- Perhitungan retak geser badan ( $V_{cw}$ ) pada segmen 1 :
 
$$\begin{aligned}
 V_p &= 1670299,296 \text{ N} \\
 d &= 2550 \text{ mm} \\
 b_w &= 3780 \text{ mm} \\
 Feff &= 64141400,44 \text{ N} \\
 Ac &= 6079000 \text{ mm}^2 \\
 f_{pc} &= Feff / Ac = 64141400,44 / 6079000 = 10,551 \\
 V_{cw} &= [0,3 (\sqrt{f_c} + f_{pc}) \cdot b_w \cdot d] + V_p \\
 &= [0,3 (\sqrt{50} + 10,551) \cdot 3780 \cdot 2550] + 1670299,296 \\
 &= 52628923,01 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 20. Retak Geser ( $V_{cw}$ ) pada Box Girder

Segmen	$V_p$	$d$	$b_w$	$F_{eff}$	$A_c$	$f_{pc}$	$V_{cw}$
	N	mm	mm	N	mm <sup>2</sup>	N	N
1	1670299.296	2550	3780	64141400.44	6079000	10.5513	52628923.01
2L	1670299.296	2550	3780	64141400.44	6079000	10.5513	52628923.01
3L	1152183.863	2550	3780	59001450.34	6079000	9.70578	49665801.21
4L	1047912.959	2550	3780	54057809.7	6079000	8.89255	47209905.76
5L	1017418.425	2550	3780	48455564.44	6079000	7.97098	44514497.15
6L	985353.6104	2550	3780	41279804.5	6079000	6.79056	41069018.12
7L	1003416.206	2550	3780	33158324.7	6079000	5.45457	37223800.05
8L	992245.0718	2550	3780	23555944.43	6079000	3.87497	32644903.47
9L	482986.447	2550	3780	12184430.82	6079000	2.00435	26726366.03

- Perhitungan retak geser lentur ( $V_{ci}$ ) pada segmen 1 :

$$F_{eff} = 64141400,44 \text{ N}$$

$$A_c = 6079000 \text{ mm}^2$$

$$b_w = 3780 \text{ mm}$$

$$d = 2550 \text{ mm}$$

$$M_{max} = 1,22 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$e = 817,5 \text{ mm}$$

$$V_D = 3197555,31 \text{ N (didapatkan dari Output MIDAS 2012)}$$

$$V_L = 2495245,84 \text{ N (didapatkan dari Output MIDAS 2012)}$$

$$I = 5,822 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

$$y_a = 930 \text{ mm}$$

$$W_a = \frac{I}{y_a} = \frac{5,822 \cdot 10^{12}}{930} = 6260215054 \text{ mm}^3$$

$$f_{pe} = \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \cdot e}{W_a}$$

$$= \frac{64141400,44}{6079000} + \frac{64141400,44 \cdot 817,5}{6260215054} = 10,56 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{M_{max}}{W_a} = \frac{1,22 \cdot 10^{11}}{6260215054} = 19,498 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{I}{y_a} \cdot \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \\
 &= \frac{5,822 \cdot 10^{12}}{930} \left( \frac{\sqrt{50}}{2} + 10,56 - 19,498 \right) \\
 &= -33822803862 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{20} \cdot b_w \cdot d \right) + VD + \left( \frac{VL \cdot M_{cr}}{M_{max}} \right) \\
 &= \left( \frac{\sqrt{50}}{20} \cdot 3780 \cdot 2550 \right) + 3197555,31 \\
 &\quad + \left( \frac{2495245,84 \cdot 33822803862}{1,22 \cdot 10^{11}} \right) \\
 &= 5914035,025 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &> \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{7} \cdot b_w \cdot d \right) \\
 5914035,025 \text{ N} &> \left( \frac{\sqrt{50}}{7} \cdot 3780 \cdot 2550 \right) \text{ N} \\
 5914035,025 \text{ N} &< 9736860,377 \text{ N} \\
 \text{Maka digunakan nilai } V_{ci} &= 9736860,377
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 21. Retak Geser Lentur (Vci)

Segmen	l mm4	d mm	bw mm	Feff N	Ac mm2	ya mm	e mm	VD N	VL N	Momen Nmm	Wa mm3	fpe MPa	fd MPa	Mcr Nmm	Vci N	Kontrol N	Vci pakai N
1	5.822E+12	2550	3780	64141400.44	6079000	930	0.8175	3197555.31	2495245.84	1.22062E+11	6260215054	10.56	19.498	-33822803862	5914035.025	9736860.377	9736860.377
2L	5.822E+12	2550	3780	64141400.44	6079000	930		2941750.89	2293648.77	1.0536E+11	6260215054	10.56	16.8301	-17120672662	5976940.399	9736860.377	9736860.377
3L	5.822E+12	2550	3780	59001450.34	6079000	930		2579361.28	2008052.91	83767089530	6260215054	9.7135	13.3809	-825369066.4	5967476.781	9736860.377	9736860.377
4L	5.822E+12	2550	3780	54057809.7	6079000	930		2216971.68	1723118.44	64598923910	6260215054	8.8996	10.319	13247744508	5978244.532	9736860.377	9736860.377
5L	5.822E+12	2550	3780	48455564.44	6079000	930		1854582.08	1438845.29	47853580070	6260215054	7.9773	7.64408	24219260261	5990699.753	9736860.377	9736860.377
6L	5.822E+12	2550	3780	41279804.5	6079000	930		1492192.48	1155343.87	33529230940	6260215054	6.7959	5.35592	31148073791	5973388.021	9736860.377	9736860.377
7L	5.822E+12	2550	3780	33158324.7	6079000	930		1129808.88	872834.53	21623630510	6260215054	5.4589	3.45414	34683453708	5937702.303	9736860.377	9736860.377
8L	5.822E+12	2550	3780	23555944.43	6079000	930		767413.27	591427.51	12134105750	6260215054	3.878	1.93829	34276501198	5845982.696	9736860.377	9736860.377
9L	5.822E+12	2550	3780	12184430.82	6079000	930		405023.67	311287.83	5057634950	6260215054	2.0059	0.8079	29633177236	5636790.607	9736860.377	9736860.377

### 5.8.2. Perhitungan Kebutuhan & Jarak Tulangan Geser

- Gaya geser yang dipikul oleh tulangan pada segmen 1  
 $V_n = V_{u(1)} / 0,7 = 8978104,414 \text{ N} / 0,7 = 12825863,45 \text{ N}$   
 $V_c = \min(V_{cw(1)}, V_{ci(1)}) = 9736860,377 \text{ N}$   
 $V_s = V_n - V_c$   
 $= 12825863,45 \text{ N} - 9736860,377 \text{ N}$   
 $= 3089003,072 \text{ N}$
- Jarak tulangan geser pada segmen 1

$$V_s > \left( \frac{f'_c}{3} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$3089003,072 \text{ N} > \left( \frac{50}{3} \right) \cdot 3780 \cdot 2550$$

$$3089003,072 \text{ N} < 22719340,88 \text{ N}$$

Berdasarkan peraturan SNI pasal 13 yang berkaitan dengan perencanaan geser, tulangan geser untuk beton prategang tidak boleh melebihi :

$$S_1 = 600 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{3}{4} \cdot h = \frac{3}{4} \cdot 2700 = 2025 \text{ mm}$$

Maka spasi maksimum tulangan geser,  $S_{max} = 600 \text{ mm}$  dan direncanakan tulangan geser,  $S = 200 \text{ mm}$

- Kebutuhan tulangan geser pada segmen 1

$$V_s \geq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

$$A_v \text{ perlu} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} = \frac{3089003,072 \cdot 200}{410 \cdot 2550} = 590,914 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w \cdot S}{3 \cdot f_y} = \frac{3780 \cdot 200}{3 \cdot 410} = 614,634 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ min}$$

Maka direncanakan menggunakan tulangan geser, 4 D16 – 200  
(804,247 mm<sup>2</sup>)

Tabel 5. 22. Jarak Tulangan Geser Box Girder

Segmen	f'c	fy	Vn	Vc	Vs	</>	Kontrol	Smax	S
	MPa	MPa	N	N	N		N	mm	mm
1	50	410	12825863.45	9736860.377	3089003.072	<	22719340.9	600	200
2L			12007921.63	9736860.377	2271061.257	<	22719340.9	600	200
3L			11504837.22	9736860.377	1767976.847	<	22719340.9	600	200
4L			10265534.52	9736860.377	528674.1381	<	22719340.9	600	200
5L			8756881.493	9736860.377	0	<	22719340.9	600	200
6L			7070151.028	9736860.377	0	<	22719340.9	600	200
7L			5116867.506	9736860.377	0	<	22719340.9	600	200
8L			2997267.683	9736860.377	0	<	22719340.9	600	200
9L			1370676.461	9736860.377	0	<	22719340.9	600	200

Tabel 5. 23. Kebutuhan Tulangan Geser Box Girder

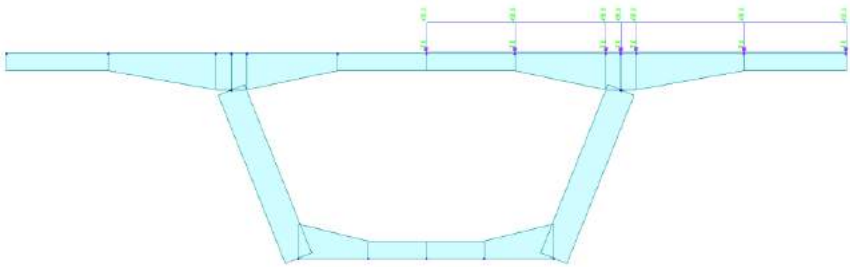
Segmen	f'c	fy	Vn	Vc	Vs	Ket.	S	Av perlu	Av min	Ø tul.	Jumlah tul.
	MPa	MPa	N	N	N		mm	mm2	mm2	mm	bh
1	50	410	12825863.45	9736860.377	3089003.072	Perlu Tul.	200	590.9140261	614.634	16	4
2L			12007921.63	9736860.377	2271061.257	Perlu Tul.	200	434.4450038	614.634	16	4
3L			11504837.22	9736860.377	1767976.847	Perlu Tul.	200	338.2069531	614.634	16	4
4L			10265534.52	9736860.377	528674.1381	Perlu Tul.	200	101.1332641	614.634	16	4
5L			8756881.493	9736860.377	0	Tdk Perlu Tul.	200	0	614.634	16	4
6L			7070151.028	9736860.377	0	Tdk Perlu Tul.	200	0	614.634	16	4
7L			5116867.506	9736860.377	0	Tdk Perlu Tul.	200	0	614.634	16	4
8L			2997267.683	9736860.377	0	Tdk Perlu Tul.	200	0	614.634	16	4
9L			1370676.461	9736860.377	0	Tdk Perlu Tul.	200	0	614.634	16	4



### 5.9. Kontrol Torsi

Kontrol torsi digunakan untuk menganalisa kemampuan box girder saat menerima beban eksentrisitas. Berikut ini langkah-langkah perhitungannya :

#### 1. Perhitungan momen penyebab torsi



Gambar 5. 20. Permodelan Box Girder per Meter dengan Beban Luar Setengah Badan Box

Dari gambar di atas maka dapat dihitung momen total yang dapat menyebabkan torsi adalah sebagai berikut :

- Momen akibat BTR
 
$$\begin{aligned} \text{BTR} &= 7,5 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Momen}_{\text{BTR}} &= \frac{1}{2} \cdot \text{BTR} \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{L}{2}\right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot \left(10,1\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \left(45\frac{1}{2}\right) \\ &= 2151,773 \text{ kNm} \end{aligned}$$
- Momen akibat BGT
 
$$\begin{aligned} \text{BGT} &= 68,6 \text{ kN/m} \\ \text{Momen}_{\text{BGT}} &= \frac{1}{2} \cdot \text{BGT} \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 68,6 \cdot \left(10,1\frac{1}{2}\right)^2 \\ &= 874,735 \text{ kNm} \end{aligned}$$
- Momen akibat beban angin  
Ada dua beban pengaruh akibat beban angin yang bekerja pada struktur jembatan yaitu :

- Beban angin yang bekerja pada truk setinggi 1,8 m dan panjang 9 m di atas jembatan sebesar  $T_{ew(T)}$ . Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$T_{ew(T)} = 1,46 \text{ kN/m}$$

$$P.T_{ew(T)} = T_{ew(T)} \cdot \text{panjang truk} \\ = 1,46 \cdot 9 = 13,14 \text{ kN}$$

$$M.T_{ew(T)} = P.T_{ew(T)} \cdot (1,8 + y_a) \\ = 13,14 \cdot (1,8 + 0,93) \\ = 35,872 \text{ kNm}$$

- Beban angin yang bekerja pada sisi samping box girder sebesar  $T_{ew}$ . Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$T_{ew} = 7,25829 \text{ kN/m}$$

$$q.T_{ew} = T_{ew} \cdot \text{panjang box} \\ = 7,25829 \cdot 9 = 65,324 \text{ kN}$$

$$M.T_{ew} = q.T_{ew} \cdot |y_b - \frac{1}{2} \cdot H \text{ box}| \\ = 65,324 \cdot |1,77 - \frac{1}{2} \cdot 2,7| \\ = 27,436 \text{ kNm}$$

Jadi, M total yang dapat menyebabkan torsi adalah,

$$T_u = 1,8 (M_{BTR} + M_{BGT}) + 1,3 (M.T_{ew(T)} + M.T_{ew}) \\ = 1,8 (2151,773 + 874,735) + 1,3 (35,872 + 27,436) \\ = 5530,017 \text{ kNm} = 5530017635 \text{ Nmm}$$

## 2. Perhitungan torsi ijin

- Perhitungan konstanta torsi
  - Pelat atas

$$\dot{\eta}_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{x_1}{y_1}\right)\right]}$$

Dimana,	$x_1$	= tebal pelat atas	= 225 mm
	$y_1$	= lebar pelat atas	= 11100 mm
maka,	$\dot{\eta}_1$	= 0,454	

- Pelat badan
 

$x_1$ = tebal pelat atas	= 375 mm
$y_1$ = lebar pelat atas	= 2390 mm
maka, $\eta_1$	= 0,385
- Pelat bawah
 

$x_1$ = tebal pelat atas	= 225 mm
$y_1$ = lebar pelat atas	= 3780 mm
maka, $\eta_1$	= 0,432

Konstanta torsi :

$$\begin{aligned}
 \sum \eta_1 \cdot x_1 \cdot y_1 &= (0,454 \cdot 225^2 \cdot 11100) = 255336513,2 \\
 &= (0,358 \cdot 375^2 \cdot 2390) = 129708153,1 \\
 &= (0,432 \cdot 275^2 \cdot 3780) = \underline{82736139,71} + \\
 &= 467780806
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{cr} &= 6 \sqrt{f'_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \cdot \left(\frac{F}{A}\right)}{f'_c}} \cdot \sum \eta_1 \cdot x_1 \cdot y_1 \\
 &= 6 \sqrt{50} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \cdot \left(\frac{12184430,82}{6079000}\right)}{50}} \cdot 467780806 \\
 &= 32411771107 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Torsi ijin  
Tulangan torsi tidak diperlukan apabila :

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

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ ijin} &= \phi \cdot T_{cr} \cdot 0,25 \\
 &= 0,7 \cdot 32411771107 \cdot 0,25
 \end{aligned}$$

$$= 5672059944 \text{ Nmm}$$

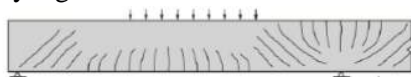
Syarat,

$$\begin{aligned} T_u \text{ ijin} &> T_u \\ 5672059944 \text{ Nmm} &> 5530017635 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa tidak diperlukan adanya tulangan torsi.

### 5.10. Kontrol Momen Retak

Momen retak yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok beton prategang dihitung dengan teori elastis, dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada saat serat terluar beton mencapai modulus keruntuhan. Harus diperhatikan bahwa modulus keruntuhan hanyalah 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 sebab-sebab lainnya, maka retak-retak dapat terlihat pada tegangan tarik yang terkecil.



Gambar 5. 21. Retak Rambut pada Penampang

Perhitungan penulangan utama ini menggunakan kombinasi pembebanan terpilih, yakni kombinasi pembebanan Kuat 1.

- Kontrol retak saat kantilever pada segmen 1 (tumpuan)

$$M_u = 1,095 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$A = 6079000 \text{ mm}^2$$

$$I = 5,822 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

$$y_a = 930 \text{ mm}$$

$$e = 817,5 \text{ mm}$$

$$F_{eff} = 64141400,44 \text{ N}$$

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{50} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \left[ F_{eff} \cdot \left( e + \frac{I}{A \cdot y} \right) \right] + \left( \frac{f_r \cdot I}{y} \right) \\
 &= \left[ 64141400,44 \cdot \left( 817,5 + \frac{5,822 \cdot 10^{12}}{6079000 \cdot 930} \right) \right] \\
 &\quad + \left( \frac{4,95 \cdot 5,822 \cdot 10^{12}}{930} \right) \\
 &= 1,261 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat,

$$\begin{array}{rcl}
 M_{cr} & > & M_u \\
 1,261 \cdot 10^{11} \text{ Nmm} & > & 1,095 \cdot 10^{11} \text{ (OK)}
 \end{array}$$

### 5.11. Kontrol Momen Batas

Momen batas balok ditinjau pada serat yang mengalami tekan. Pada segmen 1 serat atas mengalami tarik sedangkan serat bawah mengalami tekan. Momen batas tekan box ini merupakan control dimana momen ultimate box tidak boleh kurang dari  $M_{cr}$  serta momen tahanan batas  $\phi M_n$  tidak boleh lebih kecil dari momen kombinasi Kuat 1.

Data bahan :

- Pada segmen tumpuan terdapat tendon kantilever yang terdiri dari 4 VSL 12 Sc, 2 VSL 14 Sc, 18 Sc, 20 Sc, 23 Sc, 4 VSL 26 Sc.
- $f_{pu} = 1862,142 \text{ MPa}$
- $f_{py} = 1675,92 \text{ MPa}$
- $A_{strand} = 140 \text{ mm}^2$
- $\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,9$ , maka  $\gamma_p = 0,28$
- $\beta_1 = 0,85 - \left( 8 \cdot \frac{f'_c - 30}{1000} \right) = 0,69$
- Momen batas segmen 1 (tumpuan) saat service
  - A =  $6,079 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$
  - I =  $5,822 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$
  - ya = 930 mm
  - yb = 1770 mm

$$\begin{aligned} e &= 817,5 \text{ mm (eksentrisitas tendon kantilever)} \\ b &= 3780 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ps} &= \text{jumlah strand} \cdot A_{\text{strand}} \\ &= [(4 \cdot 12) + (2 \cdot (14 + 18 + 20 + 23)) + (4 \cdot 26)] \cdot 140 \\ &= 42280 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_b &= y_b + e \\ &= 1770 + 817,5 \\ &= 2587,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_b} = \frac{42280}{3780 \cdot 2587,5} = 0,00432$$

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{pu} \cdot \left( 1 - \frac{y_p}{\beta_1} \cdot \left[ \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c} \right] \right) \\ &= 1862,142 \cdot \left( 1 - \frac{0,28}{0,69} \cdot \left[ 0,00432 \cdot \frac{1862,142}{50} \right] \right) \\ &= 1740,488 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_p &= A_{ps} \cdot f_{ps} \\ &= 42280 \cdot 1740,488 \\ &= 73587852,84 \text{ N} \end{aligned}$$

Kesetimpangan aksial

$$\begin{aligned} T_p &= C \\ T_p &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \\ a &= \frac{T_p}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\ &= \frac{73587852,84}{0,85 \cdot 50 \cdot 3780} = 458,063 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kesetimpangan static momen

$$M_n = T_p \cdot \left( d_b - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 73587852,84 \cdot \left( 2587,5 - \frac{458,063}{2} \right)$$

$$= 1,735 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$\varphi \cdot M_n = 0,9 \cdot 1,735 \cdot 10^{11}$$

$$= 1,561 \cdot 10^{11}$$

Dari hasil analisa struktur dengan momen kombinasi Kuat 1 didapat momen maksimum pada segmen 1 sebesar  $1,095 \cdot 10^{11}$  Nmm.

$$\begin{array}{ccc} \text{Mu} & \leq & \varphi \cdot M_n \\ 1,095 \cdot 10^{11} & \leq & 1,561 \cdot 10^{11} \end{array}$$

Syarat,

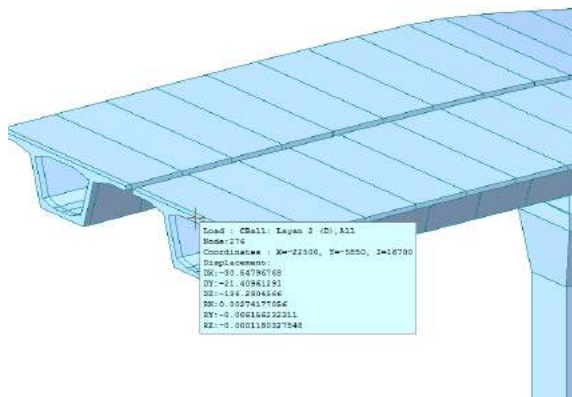
$$\begin{array}{ccc} 1,2 \cdot M_{cr} & \leq & \varphi \cdot M_n \\ 1,2 \cdot 1,261 \cdot 10^{11} & \leq & 1,561 \cdot 10^{11} \\ 1,514 \cdot 10^{11} & \leq & 1,561 \cdot 10^{11} \end{array}$$

(OK)

### 5.12. Kontrol Lentutan

Batas lentutan yang terjadi diatur pada SNI T-12-2004 pasal 9.2.1 dimana lentutan yang terjadi tidak boleh melebihi dari  $y = L/400$  (mm) saat layan yang dibebani sesuai dengan kombinasi beban terpilih, yaitu kombinasi pembebanan Layan 2 (D).

Kombinasi	MS	MA	TD	TU	PR
Layan 1	1	1	1,3	1,2	1



Gambar 5. 22. Output Lendutan dari Program MIDAS 2012 (mm)

Dari hasil analisa program bantu MIDAS 2012 didapat defleksi yang terjadi pada struktur saat dibebani beban terfaktor sebesar  $\Delta_1 = 136,29$  mm.

### Lendutan ke atas akibat tendon prategang pada tengah bentang

Gaya prategang efektif,  $F_{eff} = 12184430,8$  N

Eksentrisitas tendon terhadap tendon di tumpuan,  $e = 110$  mm

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \frac{F \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{12184430,8 \cdot 110 \cdot 22500^2}{8 \cdot 200000 \cdot 5,822 \cdot 10^{12}} \\ &= 72,84 \text{ mm}\end{aligned}$$

### Lendutan Total

$$\Delta_1 - \Delta_2 = 136,29 \text{ mm} - 72,84 \text{ mm} = 63,449 \text{ mm}$$

Syarat,

$$\begin{array}{rcll}\Delta_{ijin} & \geq & \Delta_{layan} & \\ L/400 \text{ mm} & \geq & 63,449 \text{ mm} & \\ 112,5 \text{ mm} & \geq & 63,449 \text{ mm} & \text{(OK)}\end{array}$$



### 5.13. Sambungan antar Segmen Box Girder (*Shear Key*)

Desain sambungan (*shear key*) antar segmen mengacu pada *Bridge Design Specifications - American Segmental Bridge Institute, 2005*. Desain sambungan untuk *box girder precast segmental* terbagi menjadi dua bagian sambungan :

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

Data penampang box girder :

$$h = 2700 \text{ mm}$$

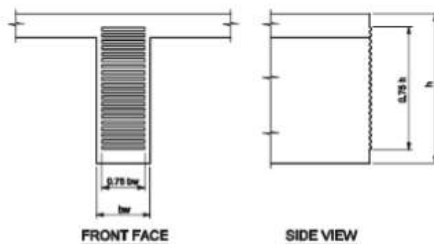
$$b_w = 375 \text{ mm}$$

Parameter desain *shear key* :

$$d = 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 2700 = 2025 \text{ mm}$$

$$\text{panjang} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{lebar} = 0,75 \cdot b_w = 0,75 \cdot 375 = 281,25 \text{ mm}$$



Gambar 5. 23. Detail Sambungan Antar Segmen

Desain Kekuatan Geser dari Sambungan :

Pada perencanaan kekuatan geser sambungan digunakan segmen tipikal dengan panjang segmen 2500 mm. Gaya geser akibat berat sendiri segmen dapat dihitung:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \text{berat segmen} \cdot \text{panjang segmen} \\ &= 148,935 \text{ kN/m} \cdot 2,55 \text{ m} \\ &= 379,78425 \text{ kN} \\ &= 379784,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor :

$$\begin{aligned} \text{diff} &= 2\% \text{ dari } V_{dc} \\ &= 7595,685 \text{ N} \\ V_u &= 1,1 \cdot (V_{dc} + \text{diff}) \\ &= 1,1 \cdot (379784,25 + 7595,685) \\ &= 426117,928 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser pada badan :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{0,5 \cdot V_u}{\phi} \\ &= \frac{0,5 \cdot 426117,928}{0,9} \\ &= 236732,2 \text{ N} \end{aligned}$$

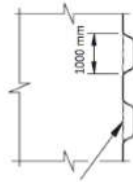
Gaya geser pada sambungan antar segmen :

$$\begin{aligned} A_k &= \text{luas shear key} \\ &= 100 \cdot 281,25 \\ &= 28125 \text{ mm}^2 \\ v &= 2 \cdot \sqrt{f'_c} \text{ (psi)} = 1,173 \text{ N/mm}^2 \\ V_c &= A_k \cdot v \\ &= 28125 \cdot 1,173 \\ &= 33013,047 \text{ N} \end{aligned}$$

Banyaknya gigi *shear key*,

$$\begin{aligned} n_{\text{gigi}} &= \frac{V_c \text{ per badan}}{V_c \text{ per sambungan}} \\ &= \frac{236732,2}{33013,047} \end{aligned}$$

$= 7,17 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$



Gambar 5. 24. Gigi Kunci pada Sambungan Antar Segmen

**5.14. Perletakan**

**5.14.1. Pot Bearing**

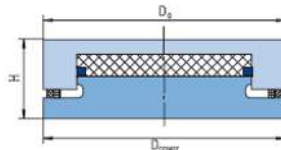
Pada desain Elevated Bridge pada Ruas Jalan Tol Jakarta-Cikampek II ini direncanakan menggunakan perletakan *pot bearing* dengan jenis model *Fixed Pot Bearing*.

Dari program bantu MIDAS 2012 didapatkan reaksi pada perletakan yang terjadi sebesar :

Tabel 5. 24. Reaksi Perletakan

Axial (N)	Shear Y (N)	Shear Z (N)
4803092.54	7618411.81	10648404

Berdasarkan hasil reaksi yang didapat maka *Fixed Pot Bearing* yang digunakan akan didesain berdasarkan brosur MAURER Pot Bearing 2016. *Pot Bearing* rencana harus memenuhi batas tegangan sebesar 26 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 5. 25. *Fixed Pot Bearing* Tipe TF-6

Digunakan tipe TF-6 dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$F\text{-}z_{\text{ijin}} = 6000 \text{ kN}$$

$$F\text{-}y_{\text{ijin}} = 900 \text{ kN}$$

$$H = 100 \text{ mm}$$

$$D_{\text{cover}} = 600 \text{ mm}$$

$$D_o = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Berat} = 192 \text{ kg}$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = 26 \text{ N/mm}^2$$

Cek batas tegangan :

$$A = 3,14 \cdot 0,25 \cdot (600^2) = 282743,34 \text{ mm}^2$$

$$P = \text{Shear } Z / 2 = 10648404 / 2 = 5324201,865 \text{ N}$$

$$\text{Tegangan} = P/A = 5324201,865 / 282743,34 = 18,83 \text{ N/mm}^2 < 26 \text{ N/mm}^2 \text{ (OK)}$$

### 5.14.2. Angkur (Tumpuan Monolid)

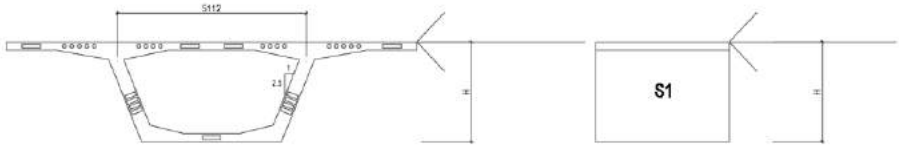
Angkur direncanakan dengan menggunakan tendon prategang yang diletakkan pada tumpuan yang berfungsi sebagai perletakan jepit dan diharapkan dapat menahan gaya gempa, aksial, serta saat pelaksanaan *balanced cantilever*.

#### 5.14.2.1. Gaya Prategang Awal

Pembebanan angkur ini menggunakan gaya *shear* dengan kombinasi layan. Dari program bantu MIDAS 2012 didapatkan reaksi pada perletakan yang terjadi sebesar :

Tabel 5. 25. Reaksi Perletakan

Axial (N)	Shear Y (N)	Shear Z (N)
3362164.78	5332888.27	7325386.71



Gambar 5. 26. Ilustrasi Pembebanan pada Perencanaan Angkur Box Girder

Momen pada Sumbu-X,

$$F = \text{Shear-Y} = 5332888,27 \text{ N}$$

$$H \text{ box} = 2700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= F \cdot H \text{ box} \\ &= 5332888,27 \cdot 2700 \\ &= 1,439 \cdot 10^{10} \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen pada Sumbu-Y

$$F = \text{Shear-X} = 3362164,78 \text{ N}$$

$$H \text{ box} = 2700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= F \cdot H \text{ box} \\ &= 3362164,78 \cdot 2700 \\ &= 9,077 \cdot 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan untuk Sumbu-X :

$$A = 2,7 \text{ m}^2$$

$$Y_{ki} = 2,556 \text{ m}$$

$$Y_{ka} = 2,556 \text{ m}$$

$$I = 41,27 \text{ m}^4$$

$$M_{\max} = 1,439 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}$$

Direncanakan eksentrisitas tendon dari serat kanan,  $e = 1,25 \text{ m}$

Karena pada serat kanan diinginkan terjadinya tegangan tekan, maka tegangan Tarik pada serat kanan  $f_{ka} = 0 \text{ MPa}$

Serat kanan,

$$0 = -\frac{F}{2,7 \cdot 10^6} - \frac{F \cdot 1250 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} + \frac{1,439 \cdot 10^{10} \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}}$$

$$0 = -3,704 \cdot 10^{-7} F - 7,741 \cdot 10^{-8} F + 0,892$$

$$F = 1,991 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Serat kiri,

$$-30 = -\frac{F}{2,7 \cdot 10^6} + \frac{F \cdot 1250 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} - \frac{1,439 \cdot 10^{10} \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}}$$

$$-30 = -3,704 \cdot 10^{-7} F + 7,741 \cdot 10^{-7} F - 0,892$$

$$F = 7,375 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Pada tabel digunakan  $F = 9,627 \cdot 10^5 \text{ N}$ . Dengan menganggap kehilangan gaya prategang awal sebesar 10 %, sehingga nilai gaya prategang saat *jecking force* adalah :

$$F_o = \frac{F}{0,9} = \frac{9,627 \cdot 10^5}{0,9} = 1,069 \cdot 10^6$$

Kontrol tegangan pada Sumbu-X :

Serat kanan,

$$f_{ka} = -\frac{1,069 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6} - \frac{1,069 \cdot 10^6 \cdot 1250 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} + \frac{1,439 \cdot 10^6 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}}$$

$$= -0,396 - 0,083 + 0,892$$

$$= 0,412 \text{ MPa} < 0,25 \sqrt{f'_c} = 1,77 \text{ MPa}$$

Serat kiri,

$$f_{ki} = -\frac{1,069 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6} + \frac{1,069 \cdot 10^6 \cdot 1250 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} - \frac{1,439 \cdot 10^6 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}}$$

$$= -0,396 + 0,083 - 0,892$$

$$= -1,205 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa}$$

Tabel 5. 26. Perhitungan Fperlu pada Angkur Box Girder

Tendon dipasang sejajar	A	Yki	Yka	e	l	Mmax	f ijin tarik (MPa)	f ijin tekan (MPa)	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		F perlu (N)	
	m2	m	m	m	m4	tm	0,5 vfc'	0,45 fc'	MPa	kiri	kanan	kiri	kanan	F1	F2
Sumbu X	2.7	2.556	2.556	1.25	41.27	1439.8798	3.535534	-22.5	-3.7037E-07 F	7.7417E-08 F	-7.7417E-08 F	-0.89177	0.89177	73759967.93	1991502.15
Sumbu Y		1.8	1.8	0.9375		907.78449				-3.7037E-07 F	4.08893E-08 F	-4.08893E-08 F	-0.39593	0.39593	67087512.82

Tabel 5. 27. Kontrol Tegangan Fperlu pada Angkur Box Girder

Tendon dipasang sejajar	Mmax	f ijin tarik (MPa)	f ijin tekan (MPa)	F pakai	Fo	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		f (MPa)		Ket.
	tm	0,5 vfc'	0,45 fc'	N	N	MPa	kiri	kanan	kiri	kanan	fki	fka	
Sumbu X	1439.88	3.5355339	-22.5	962730.45	1069700.5	-0.39619	0.08281	-0.08281	-0.89177	0.89177	-1.20514	0.41277	OK
Sumbu Y	907.7845			962730.45	1069700.5	-0.39619	0.04374	-0.04374	-0.39593	0.39593	-0.74838	-0.04399	OK

### 5.14.2.2. Perencanaan Kabel Tendon

Baja pratekan (tendon) direncanakan menggunakan kabel jenis strand *seven wires stress relieved* (7 kawat untai). Dengan mengacu pada table VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik dari baja pratekan yang digunakan :

- Diameter = 15,2 mm
- Luas nominal ( $A_s$ ) = 140 mm<sup>2</sup>
- Nominal massa = 1,102 kg/m
- Minimum breaking load = 260,7 kN
- Modulus elastisitas ( $E_s$ ) = 200000 MPa
- Batas leleh = 0,82  $f_{py}$  = 1374,261 MPa
- Batas putus = 0,74  $f_{pu}$  = 1377,986 MPa
- $f_{py}$  = 1675 MPa
- $f_{pu}$  = 1860 MPa

Contoh perhitungan untuk Sumbu-X :

$$F_o = 1069700,499 \text{ N}$$

Jumlah strand untuk 1 web :

$$A_{ps} = \frac{\frac{F_o}{2}}{0,82 f_{py}} = \frac{1069700,499}{2 \cdot 1374,261} = 389,19 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan 1 duct :

$$\frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1}{1} \times \frac{389,19}{140} = 2,779 \text{ strand} \sim 4 \text{ strand}$$

Maka untuk menahan beban aksial pada sumbu-X di pasang tendon 2 VSL 7-wire dengan gaya  $F = 2085,6 \text{ kN}$

Kontrol tegangan :

Serat kanan,

$$\begin{aligned} f_{ka} &= -\frac{2,085 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6} - \frac{2,085 \cdot 10^6 \cdot 1250 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} + \frac{1,439 \cdot 10^6 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} \\ &= -0,772 - 0,161 + 0,892 \\ &= -0,042 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Serat kiri,

$$\begin{aligned}
 f_{ki} &= -\frac{2,085 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6} + \frac{2,085 \cdot 10^6 \cdot 1250 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} - \frac{1,439 \cdot 10^6 \cdot 2556}{41,27 \cdot 10^{12}} \\
 &= -0,772 + 0,161 - 0,892 \\
 &= -1,503 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 28. Kontrol Tegangan Fo pada Angkur Box Girder

Tendon dipasang sejajar	Fo	Kebutuhan Tendon	Jenis Tendon	F (N) sesuai VSL	f ijin tarik	f ijin tekan	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		Resultan (MPa)		Ket.
	N				0,5 $\sqrt{f'c}$	0,45 $f'c$		kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan	
Sumbu X	1069700	2.779936077	4 Sc	2085600	3.5355339	-22.5	-0.77244	0.16146	-0.16146	-0.89177	0.89177	-1.50275	-0.0421	OK
Sumbu Y	1069700	2.779936077	4 Sc	2085600			-0.77244	0.08528	-0.08528	-0.39593	0.39593	-1.0831	-0.4618	OK

**Kontrol terhadap pelaksanaan kantilever**

Berat box girder per m = 148,94 kN/m  
 Berat box girder per segmen = 148,94 kN/m . panjang per segmen  
 = 148,94 kN/m . 2,55 m  
 = 379,784 kN = 379784 N

F tendon > Berat box girder per segmen  
 2085600 N > 379784 N  
 (OK)

**Perhitungan Tulangan Hairpin**

Perhitungan didapat dari brosur VSL :

$$\text{Dimana : } A_s \cdot n = P_o \cdot \pi$$

As = Luas penampang tulangan (mm<sup>2</sup>)

n = Jumlah tulangan hairpin

Po = Gaya prategang pada tendon (kN)

Direncanakan :

Diameter Tulangan = 19 mm

Po = 2085600 N / 2 = 1042,8 kN

$$n = \frac{P_o \cdot \pi}{A_s} = \frac{1042,8 \cdot 3,14}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 19^2} = 11,554 \sim 12 \text{ buah tulangan hairpin}$$

**5.14.2.3. Pemilihan Selongsong Tendon Prategang (Duct)**

Digunakan selongsong tendon untuk *internal prestressed tendon* tipe *corrugated steel ducts* dari VSL untuk ketahanan korosi pada gesekan tendon.

Gambar 5. 27. Selongsong (*Duct*)

Dimensi selongsong tendon yang digunakan :

Tabel 5. 29. Dimensi Selongsong Tendon

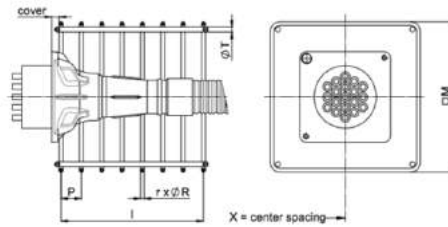
Jumlah Strands	Diameter Selongsong (mm)
4	50

#### 5.14.2.4. Pemilihan Angkur Tendon Prategang

Penarikan pada tendon prategang dilakukan satu arah, yakni pada bagian bawah *box girder* dan dilanjutkan dengan penarikan pada bagian atas *box girder*. Maka dipasang angkur hidup tipe GC dengan *stirrup reinforcement* dan angkur mati tipe-L sebagai penghubung antar tendon di *pier head*.

Tabel 5. 30. Dimensi *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

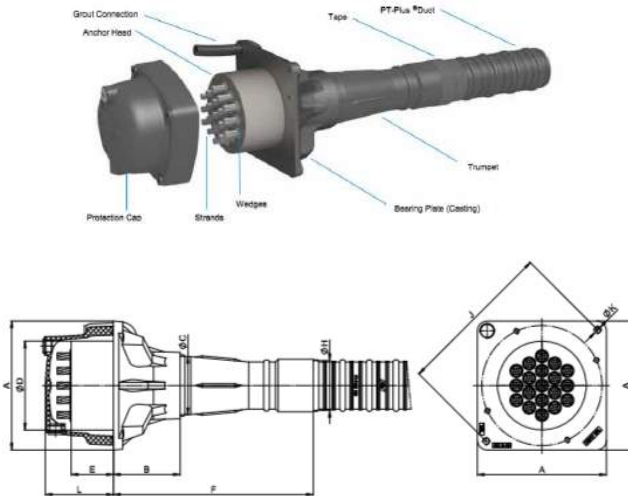
Tendon	<i>Stirrup Reinforcement</i>						
	I (mm)	P (mm)	R (mm)	M (mm)	r	X (mm)	T (mm)
6-4	150	50	16	140	4	160	8



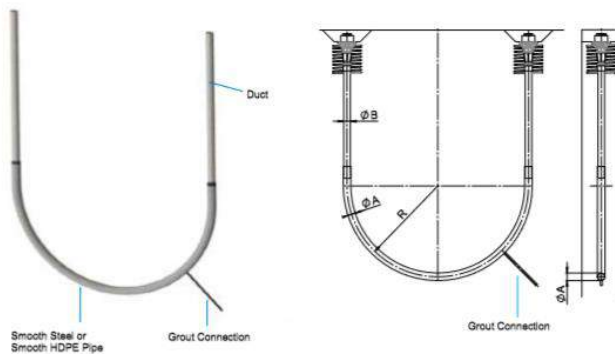
Gambar 5. 28. Detail *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

Tabel 5. 31. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC

Tendon	A	B	$\phi C$	$\phi D$	E	F	$\phi H$	J	L
6-4	140	120	60	110	55	120	60	154	110



Gambar 5. 29. Detail Angkur Hidup Tipe GC



Gambar 5. 30. Detail Angkur Mati VSL Tipe-L

Tabel 5. 32. Dimensi Angkur Mati VSL Tipe-L

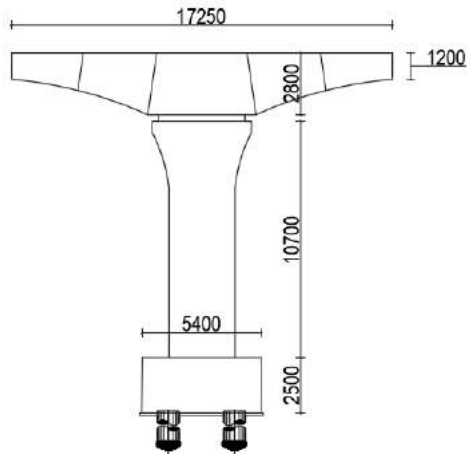
Tendon	<i>Anchorage Details</i>		
	$\phi A$ (mm)	$\phi B$ (mm)	R min (mm)
6-4	60	55	600

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB VI PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH

### 6.1. Umum

Desain struktur bawah pada perencanaan elevated bridge pada ruas Jalan Tol Jakarta Cikampek II ini direncanakan menggunakan pilar dengan kolom tunggal. Perencanaan desain pilar menggunakan metode cast in-situ untuk kolom dan kepala pilar (pier head).

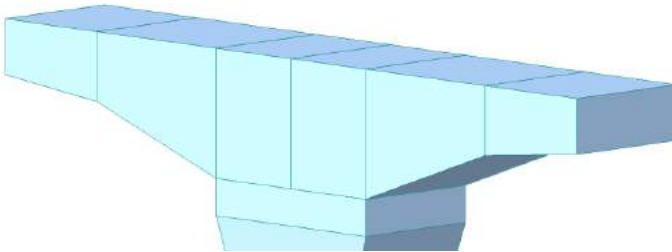


Gambar 6. 1. Permodelan Struktur Bangunan Bawah

### 6.2. Desain *Pier Head*

Perencanaan kepala pilar (*pier head*) menggunakan beton mutu K-600 dengan baja prategang (*prestressed concrete*).

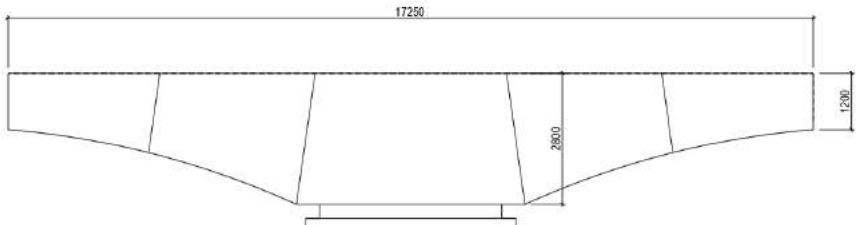




Gambar 6. 2. Permodelan *Pier Head*

### 6.2.1. Analisa Struktur *Pier Head*

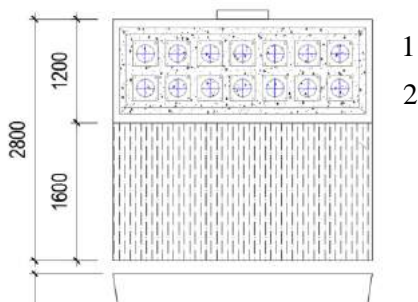
Analisa struktur *pier head* ini merupakan perhitungan untuk menentukan gaya prategang awal pada tendon *pier head* yang digunakan untuk menahan beban yang terjadi.



Gambar 6. 3. Dimensi *Pier Head*

#### 6.2.1.1. Penentuan Letak Tendon

Tendon direncanakan sebanyak 14 duct pada penampang *pier head*. Ditentukan dalam perhitungan, tendon dibagi menjadi 2 kurva dengan setiap kurva terdapat 7 duct dengan tinggi (Y) yang sama.

Gambar 6. 4. Letak Tendon pada *Pier Head*Tabel 6. 1. Letak Tendon pada *Pier Head*

X (m)	Kurva Tendon					
	1			2		
	Y (m)	e (m)	$\bar{\alpha}$	Y (m)	e (m)	$\bar{\alpha}$
0	0.8	0.2	-1.32835973	0.4	0.2	-2.65529
3.25	1.4181636	0.539663621	-0.82790911	1.079327	0.200827	-1.65547
6.375	2.4931947	1.093194707	-0.3465865	2.186389	0.786389	-0.69315
8.625	2.5	1.1	0	2.2	0.8	0
10.875	2.4931947	1.093194707	0.3465865	2.186389	0.786389	0.693148
14	1.4181636	0.539663621	0.82790911	1.079327	0.200827	1.655473
17.25	0.8	0.2	1.32835973	0.4	0.2	2.655293

### 6.2.1.2. Analisa Pembebanan

Momen pada *pier head* ini digunakan momen terfaktor yaitu momen kombinasi layan 2 (D).

Tabel 6. 2. Momen pada *Pier Head*

X (m)	Momen (tm)	Kombinasi
0 (Ujg. Kiri)	0	
3.25	1280.3	Layan 2 (D)
6.375	5084.51	Layan 2 (D)
8.625 (Tumpuan)	8359.88	Layan 2 (D)
10.875	5084.51	Layan 2 (D)
14	1280.3	Layan 2 (D)
17.25 (Ujg. Kanan)	0	

### 6.2.1.3. Gaya Prategang Awal

Setelah didapat momen pada masing-masing segmen, selanjutnya menghitung kebutuhan tendon sesuai rumus berikut :

$$f_c = -\frac{F_0}{A} \pm \frac{F_0 \cdot e \cdot y}{I} \mp \frac{M \cdot y}{I}$$

Dan tegangan yang terjadi harus memenuhi persyaratan yaitu :

- Tegangan total yang mengalami tekan diijinkan mengalami tekan pada beton maksimal yaitu  $0,45 f_c$
- Untuk tegangan yang mengalami tarik diijinkan mengalami tarik pada beton maksimal yaitu  $0,5 \sqrt{f_c}$

❖ Tegangan pada  $X = 8,625$  m (Tumpuan) pada Kurva Tendon 1 :  
 Karena pada jarak  $X = 8,625$  m ini memiliki momen negatif, sehingga perlu gaya prategang ( $F$ ) pada bagian atas *pier head*. Parameter *pier head*:

$$A = 8,4 \text{ m}^2$$

$$y_a = 1,4 \text{ m}$$

$$y_b = 1,4 \text{ m}$$

$$I = 5,488 \text{ m}^4$$

$$M = 8359,88 \text{ tm} / 2 = 4179,94 \text{ tm (momen per kurva)}$$

Letak tendon ( $e$ ) telah ditentukan sebesar 1,1 m dari eksentrisitas.

Karena hanya diinginkan terjadinya tegangan tekan, maka tegangan tarik pada serat atas ( $f_b$ ) = 0 MPa.

Serat atas,

$$0 = -\frac{F}{8,4 \cdot 10^6} - \frac{F \cdot 1100 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} + \frac{4179,94 \cdot 10^7 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}}$$

$$0 = -1,19 \cdot 10^{-7} F - 2,806 \cdot 10^{-7} F + 10,633$$

$$F = 2,668 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Serat bawah,

$$\begin{aligned}
 -22,5 &= -\frac{F}{8,4 \cdot 10^6} + \frac{F \cdot 1100 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} - \frac{4179,94 \cdot 10^7 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} \\
 0 &= -1,19 \cdot 10^{-7} F + 2,806 \cdot 10^{-7} F - 10,633 \\
 F &= -7,326 \cdot 10^7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada table.

Dari tabel digunakan nilai  $F = 1,629 \cdot 10^7 \text{ N}$  dengan menganggap kehilangan gaya prategang awal sebesar 15% sehingga nilai gaya prategang saat *jecking force* adalah,

$$F_o = \frac{F}{0,85} = \frac{1,629 \cdot 10^7}{0,85} = 1,917 \cdot 10^7$$

#### 6.2.1.4. Perencanaan Kabel Tendon

Pada tahap ini, baja pratekan (tendon) direncanakan menggunakan kabel jenis *strand seven wires stress relieved* (7 kawat untaian). Dengan mengacu pada tabel VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik dari baja pratekan yang digunakan :

- Diameter = 15,2 mm
- Luas nominal ( $A_s$ ) = 140 mm<sup>2</sup>
- Nominal massa = 1,102 kg/m
- Minimum breaking load = 260,7 kN
- Modulus elastisitas ( $E_s$ ) = 200000 MPa
- Batas leleh = 0,82  $f_{py}$  = 1374,261 MPa
- Batas putus = 0,74  $f_{pu}$  = 1377,986 MPa
- $f_{py}$  = 1675 MPa
- $f_{pu}$  = 1860 MPa

Contoh perhitungan pada  $X = 8,625 \text{ m}$  (Tumpuan) pada Kurva Tendon 1 :

$$F_o = 2,222 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Jumlah strand untuk 1 web :

$$A_{ps} = \frac{F_o}{0,82f_{py}} = \frac{1,917 \cdot 10^7}{7 \cdot 1374,261} = 1993,181 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan 1 duct :

$$\frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1}{1} \times \frac{1993,181}{140} = 14,237 \text{ strand} \sim 19 \text{ strand}$$

Maka untuk menahan momen yang terjadi, direncanakan 7 duct dengan jenis 1 VSL 19 Sc pada kurva tendon 1.

$$\begin{aligned} F &= (7 \times 19) \times 260,7 \text{ kN} \\ &= 34673100 \text{ N} > F_o = 1,917 \cdot 10^7 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol Tegangan pada  $X = 8,625 \text{ m}$  (Tumpuan) pada Kurva Tendon 1 :

Parameter *pier head* :

$$\begin{aligned} A &= 8,4 \text{ m}^2 \\ y_a &= 1,4 \text{ m} \\ y_b &= 1,4 \text{ m} \\ I &= 5,488 \text{ m}^4 \\ M &= 4179,94 \text{ tm (momen per kurva)} \\ e &= 1,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Serat atas,

$$\begin{aligned} f_a &= -\frac{3,467 \cdot 10^7}{8,4 \cdot 10^6} - \frac{3,467 \cdot 10^7 \cdot 1100 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} + \frac{4179,94 \cdot 10^7 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} \\ &= -4,127 - 9,729 + 10,663 \\ &= -3,194 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Serat bawah,

$$\begin{aligned}
 fb &= -\frac{3,467 \cdot 10^7}{8,4 \cdot 10^6} + \frac{3,467 \cdot 10^7 \cdot 1100 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} - \frac{4179,94 \cdot 10^7 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} \\
 &= -4,127 + 9,729 - 10,663 \\
 &= -5,061 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Setelah perhitungan kontrol tegangan pada masing-masing kurva tendon, kemudian dijumlahkan dengan masing-masing serat atas-bawah pada kurva tendon 1 dan 2. Perhitungan kontrol tegangan total dapat dilihat pada tabel.

Tabel 6. 3. Perhitungan Fperlu pada Tendon *Pier Head*

X (m)	A	Ya	Yb	e	l	Momen	f ijin tarik (MPa)	f ijin tekan (MPa)	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		F perlu (N)	
	m2	m	m	m	m4	tm	0,25 v <sup>f</sup> c	0,6 fci	MPa	atas	bawah	atas	bawah	F1	F2
Kurva Tendon 1															
0 (Ujg. Kiri)	3.6	0.6	0.6	0.2	4.2	0	1.76776695	-22.5	-2.778E-07 F	-2.857E-08 F	2.8571E-08 F	0	0	0	90286624.2
3.25	5.271	0.8785	0.8785	0.5397	4.2	640.15			-1.897E-07 F	-1.129E-07 F	1.1288E-07 F	1.339	-1.339	4424963.186	275398989.9
6.375	8.4	1.4	1.4	1.0932	5.488	2542.255			-1.19E-07 F	-2.789E-07 F	2.7888E-07 F	6.4853	-6.485	16297954.7	-100198947.1
8.625 (Tumpuan)	8.4	1.4	1.4	1.1	5.488	4179.94			-1.19E-07 F	-2.806E-07 F	2.8061E-07 F	10.663	-10.66	26680468.09	-73264105.26
10.875	8.4	1.4	1.4	1.0932	5.488	2542.255			-1.19E-07 F	-2.789E-07 F	2.7888E-07 F	6.4853	-6.485	16297954.7	-100198947.1
14	5.271	0.8785	0.8785	0.5397	4.2	640.15			-1.897E-07 F	-1.129E-07 F	1.1288E-07 F	1.339	-1.339	4424963.186	275398989.9
17.25 (Ujg. Kanan)	3.6	0.6	0.6	0.2	4.2	0			-2.778E-07 F	-2.857E-08 F	2.8571E-08 F	0	0	0	90286624.2
Kurva Tendon 2															
0 (Ujg. Kiri)	3.6	0.6	0.6	0.2	4.2	0	1.76776695	-22.5	-2.778E-07 F	2.8571E-08 F	-2.857E-08 F	0	0	0	73445595.85
3.25	5.271	0.8785	0.8785	0.2008	4.2	640.15			-1.897E-07 F	-4.201E-08 F	4.2006E-08 F	1.339	-1.339	5778349.377	143259647.8
6.375	8.4	1.4	1.4	0.7864	5.488	2542.255			-1.19E-07 F	-2.006E-07 F	2.0061E-07 F	6.4853	-6.485	20288437.52	-196349651.5
8.625 (Tumpuan)	8.4	1.4	1.4	0.8	5.488	4179.94			-1.19E-07 F	-2.041E-07 F	2.0408E-07 F	10.663	-10.66	32999526.32	-139201800
10.875	8.4	1.4	1.4	0.7864	5.488	2542.255			-1.19E-07 F	-2.006E-07 F	2.0061E-07 F	6.4853	-6.485	20288437.52	-196349651.5
14	5.271	0.8785	0.8785	0.2008	4.2	640.15			-1.897E-07 F	-4.201E-08 F	4.2006E-08 F	1.339	-1.339	5778349.377	143259647.8
17.25 (Ujg. Kanan)	3.6	0.6	0.6	0.2	4.2	0			-2.778E-07 F	2.8571E-08 F	-2.857E-08 F	0	0	0	73445595.85

Tabel 6. 4. Perhitungan Tendon dan Kontrol Tegangan pada *Pier Head*

X (m)	F pakai	Fo	Kebutuhan Tendon	Jenis Tendon	F (N) sesuai VSL	Momen (tm)	f ijin tarik	f ijin tekan	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		Resultan (MPa)	
	N	N					0,25 vf'c	0,6 fci	MPa	atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah
Kurva Tendon 1															
0 (Ujg. Kiri)	16297954.7	19174064.35	14.2370086	19 Sc	34673100	0	1.7678 MPa	-22.5 MPa	-9.6314	-0.9907	0.99066	0	0	-10.622	-8.6408
3.25	16297954.7	19174064.35	14.2370086	19 Sc	34673100	640.15			-6.5781	-3.9139	3.91389	1.33898	-1.339	-9.153	-4.0032
6.375	16297954.7	19174064.35	14.2370086	19 Sc	34673100	2542.255			-4.1278	-9.6695	9.6695	6.48534	-6.4853	-7.3119	-0.9436
8.625 (Tumpuan)	16297954.7	19174064.35	14.2370086	19 Sc	34673100	4179.94			-4.1278	-9.7297	9.7297	10.6631	-10.663	-3.1943	-5.0612
10.875	16297954.7	19174064.35	14.2370086	19 Sc	34673100	2542.255			-4.1278	-9.6695	9.6695	6.48534	-6.4853	-7.3119	-0.9436
14	16297954.7	19174064.35	14.2370086	19 Sc	34673100	640.15			-6.5781	-3.9139	3.91389	1.33898	-1.339	-9.153	-4.0032
17.25 (Ujg. Kanan)	16297954.7	19174064.35	14.2370086	19 Sc	34673100	0			-9.6314	-0.9907	0.99066	0	0	-10.622	-8.6408
Kurva Tendon 2															
0 (Ujg. Kiri)	20288437.52	23868750.02	17.7228778	19 Sc	34673100	0	1.7678 MPa	-22.5 MPa	-9.6314	0.99066	-0.9907	0	0	-8.6408	-10.622
3.25	20288437.52	23868750.02	17.7228778	19 Sc	34673100	640.15			-6.5781	-1.4565	1.45649	1.33898	-1.339	-6.6956	-6.4606
6.375	20288437.52	23868750.02	17.7228778	19 Sc	34673100	2542.255			-4.1278	-6.9558	6.95575	6.48534	-6.4853	-4.5982	-3.6573
8.625 (Tumpuan)	20288437.52	23868750.02	17.7228778	19 Sc	34673100	4179.94			-4.1278	-7.0761	7.07614	10.6631	-10.663	-0.5408	-7.7147
10.875	20288437.52	23868750.02	17.7228778	19 Sc	34673100	2542.255			-4.1278	-6.9558	6.95575	6.48534	-6.4853	-4.5982	-3.6573
14	20288437.52	23868750.02	17.7228778	19 Sc	34673100	640.15			-6.5781	-1.4565	1.45649	1.33898	-1.339	-6.6956	-6.4606
17.25 (Ujg. Kanan)	20288437.52	23868750.02	17.7228778	19 Sc	34673100	0			-9.6314	0.99066	-0.9907	0	0	-8.6408	-10.622

Tabel 6. 5. Tegangan Total Tendon *Pier Head*

Segmen	f Pier Head				f Total (MPa)		Ket.
	Tendon 1		Tendon 2		fa	fb	
	fa	fb	fa	fb			
0 (Ujg. Kiri)	-10.622	-8.6408	-8.6408	-10.622	-19.263	-19.263	OK
3.25	-9.153	-4.0032	-6.6956	-6.4606	-15.849	-10.464	OK
6.375	-7.3119	-0.9436	-4.5982	-3.6573	-11.91	-4.6009	OK
8.625 (Tumpuan)	-3.1943	-5.0612	-0.5408	-7.7147	-3.7351	-12.776	OK
10.875	-7.3119	-0.9436	-4.5982	-3.6573	-11.91	-4.6009	OK
14	-9.153	-4.0032	-6.6956	-6.4606	-15.849	-10.464	OK
17.25 (Ujg. Kanan)	-10.622	-8.6408	-8.6408	-10.622	-19.263	-19.263	OK



**6.2.1.5. Pemilihan Selongsong Tendon Prategang (*Duct*)**

Digunakan selongsong tendon untuk *internal prestressed tendon* tipe *corrugated steel ducts* dari VSL untuk ketahanan korosi pada gesekan tendon.



Gambar 6. 5. Selongsong (*Duct*)

Dimensi selongsong tendon yang digunakan :

Tabel 6. 6. Dimensi Selongsong Tendon

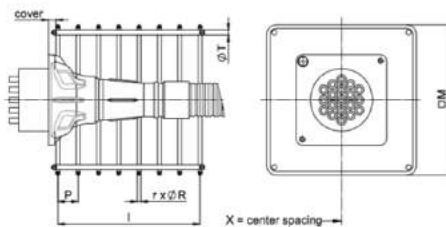
Jumlah Strands	Diameter Selongsong (mm)
19	90

**6.2.1.6. Pemilihan Angkur Tendon Prategang**

Penarikan pada tendon prategang dilakukan dua arah, maka dipasang angkur hidup tipe GC dengan *stirrup reinforcement*.

Tabel 6. 7. Dimensi *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

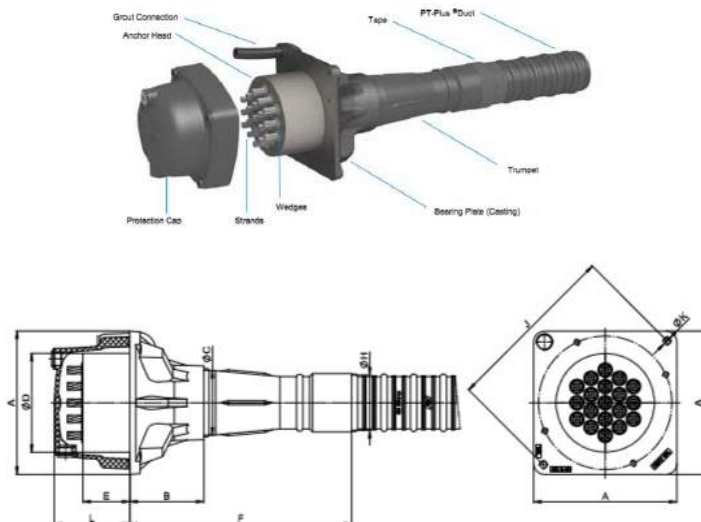
Tendon	<i>Stirrup Reinforcement</i>						
	I (mm)	P (mm)	R (mm)	M (mm)	r	X (mm)	T (mm)
6-19	300	50	25	315	7	335	12



Gambar 6. 6. Detail *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

Tabel 6. 8. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC

Tendon	A	B	ØC	ØD	E	F	ØH	J	L
6-19	290	150	131	200	95	450	112	354	155



Gambar 6. 7. Detail Angkur Hidup Tipe GC

### 6.2.2. Analisa Kehilangan Gaya Prategang

Perhitungan analisa kehilangan gaya prategang pada *pier head*, sama seperti perhitungan kehilangan gaya prategang pada Tendon Box Girder (Sub. Bab 5.6. Analisa Kehilangan Gaya Prategang).

#### 6.2.2.1. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Langsung

Tabel 6. 9. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis

X (m)	Fo	Mg	e	A	I	Fo/A	Fo.(e <sup>2</sup> )/I	Mg.e/I	f <sub>cir</sub>	E <sub>c</sub>	E <sub>s</sub>	ES	% LOSS	
	N	tm	m	m <sup>2</sup>	m <sup>4</sup>	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa		
Kurva Tendon 1														
0 (Ujg. Kiri)	34673100	0	0.2	3.6	4.2	-9.631	-0.33022	0	-9.9616	33234.0187	200000	29.9742	2.175	2.175
8.625 (Tumpuan)	34673100	4179.94	1.1	8.4	5.488	-4.128	-7.6447615	8.3782	-3.3944			10.2135	0.741	
17.25 (Ujg. Kanan)	34673100	0	0.2	3.6	4.2	-9.631	-0.33022	0	-9.9616			29.9742	2.175	
Kurva Tendon 2														
0 (Ujg. Kiri)	34673100	0	0.2	3.6	4.2	-9.631	-0.33022	0	-9.9616	33234.0187	200000	29.9742	2.175	2.175
8.625 (Tumpuan)	34673100	4179.94	0.8	8.4	5.488	-4.128	-4.0435102	6.0932	-2.0781			6.25279	0.454	
17.25 (Ujg. Kanan)	34673100	0	0.2	3.6	4.2	-9.631	-0.33022	0	-9.9616			29.9742	2.175	

Tabel 6. 10. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Wobble Effect (F<sub>x</sub>)

X (m)	Fo	L	K	K.L	μ	α	μ.α	-(μ.α + K.L)	e <sup>α</sup> [-(μ.α + K.L)]	F <sub>x</sub>	% LOSS	
	N	m		m					MPa			
Kurva Tendon 1												
0 (Ujg. Kiri)	34673100	0	0.002	0	0.2	0.0232	0.0046377	-0.0046377	1.007491985	34932870.4	0.74363	1.82819
8.625 (Tumpuan)	34673100	17.25	0.002	0.03	0.2	0.006	0.0012098	-0.0357098	0.996602275	34555290.3	0.34093	
17.25 (Ujg. Kanan)	34673100	0	0.002	0	0.2	0.0232	0.0046377	-0.0046377	1.007491985	34932870.4	0.74363	
Kurva Tendon 2												
0 (Ujg. Kiri)	34673100	0	0.002	0	0.2	0.0464	0.0092754	-0.0092754	1.015040101	35194586.9	1.48172	3.7839
8.625 (Tumpuan)	34673100	17.25	0.002	0.03	0.2	0.0121	0.0024197	-0.0369197	1.008272413	34959930.2	0.82045	
17.25 (Ujg. Kanan)	34673100	0	0.002	0	0.2	0.0464	0.0092754	-0.0092754	1.015040101	35194586.9	1.48172	

Tabel 6. 11. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Slip Angker

X (m)	α	μ	μ.α	K	fpu	σo	Es	d	Es.d	L	K+L	X	Δσ	% LOSS	
					MPa	fpu (Mg)	MPa	mm		m			MPa		
Kurva Tendon 1															
0 (Ujg. Kiri)	0.023	0.2	0.00464	0.002	1862.1	1378	200000	1	200000	17.25	17.252	734.788	0.544	0.04	0.03951
8.625 (Tumpuan)	0.006	0.2	0.00121	0.002	1862.1	1378	200000	1	200000	17.25	17.252	1438.63	0.278	0.02	
17.25 (Ujg. Kanan)	0.023	0.2	0.00464	0.002	1862.1	1378	200000	1	200000	17.25	17.252	734.788	0.544	0.04	
Kurva Tendon 2															
0 (Ujg. Kiri)	0.046	0.2	0.00928	0.002	1862.1	1378	200000	1	200000	17.25	17.252	519.573	0.77	0.056	0.05587
8.625 (Tumpuan)	0.012	0.2	0.00242	0.002	1862.1	1378	200000	1	200000	17.25	17.252	1017.27	0.393	0.029	
17.25 (Ujg. Kanan)	0.046	0.2	0.00928	0.002	1862.1	1378	200000	1	200000	17.25	17.252	519.573	0.77	0.056	

### 6.2.2.2. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Berdasarkan Fungsi Waktu

Tabel 6. 12. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton

X (m)	Mg	e	fcir	l	fcds	Kcr	Es	Ec	fcir-fcdis	Es/Ec	CR	% LOSS	
	tm	m	MPa	m4	MPa		MPa	MPa	MPa		MPa		
Kurva Tendon 1													
0 (Ujg. Kiri)	0	0.2	-9.9616	4.2	0				9.9616		95.9175	6.9607	
8.625 (Tumpuan)	4179.94	1.1	-3.3944	5.488	8.3782	1.6	200000	33234.0187	4.9838	6.018	47.9875	3.48244	6.961
17.25 (Ujg. Kanan)	0	0.2	-9.9616	4.2	0				9.9616		95.9175	6.9607	
Kurva Tendon 2													
0 (Ujg. Kiri)	0	0.2	-9.9616	4.2	0				9.9616		95.9175	6.9607	
8.625 (Tumpuan)	4179.94	0.8	-2.0781	5.488	6.0932	1.6	200000	33234.0187	4.0152	6.018	38.6607	2.80559	6.961
17.25 (Ujg. Kanan)	0	0.2	-9.9616	4.2	0				9.9616		95.9175	6.9607	

Tabel 6. 13. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton

X (m)	Ksh	Es	V	S	V/S	RH	1-(0,06*(V/S))	100-RH	SH	% LOSS	
		MPa	m2	m	m	%			MPa		
Kurva Tendon 1											
0 (Ujg. Kiri)	0.73	200000	3.6	8.4	0.4286	75	0.974285714	25	29.16	2.116	2.116
8.625 (Tumpuan)			8.4	11.6	0.7241				28.63	2.078	
17.25 (Ujg. Kanan)			3.6	8.4	0.4286				29.16	2.116	
Kurva Tendon 2											
0 (Ujg. Kiri)	0.73	200000	3.6	8.4	0.4286	75	0.974285714	25	29.16	2.116	2.116
8.625 (Tumpuan)			8.4	11.6	0.7241				28.63	2.078	
17.25 (Ujg. Kanan)			3.6	8.4	0.4286				29.16	2.116	

Tabel 6. 14. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja

X (m)	Kre	J	C	SH	CR	ES	RE	% LOSS	
				MPa	MPa	MPa	MPa		
Kurva Tendon 1									
0 (Ujg. Kiri)	138	0.15	1.27	29.16	95.917	29.974	145.72	10.575	11.518
8.625 (Tumpuan)				28.63	47.988	10.213	158.72	11.518	
17.25 (Ujg. Kanan)				29.16	95.917	29.974	145.72	10.575	
Kurva Tendon 2									
0 (Ujg. Kiri)	138	0.15	1.27	29.16	95.917	29.974	145.72	10.575	11.702
8.625 (Tumpuan)				28.63	38.661	6.2528	161.25	11.702	
17.25 (Ujg. Kanan)				29.16	95.917	29.974	145.72	10.575	

Tabel 6. 15. Total Kehilangan Prategang pada Tendon *Pier Head*

X (m)	% LOSS							TOTAL
	ES	Fx	CR	SH	RE	$\Delta\sigma$		
Kurva Tendon 1								
0 (Ujg. Kiri)	2.17522	1.82819	6.9607	2.11616	10.575	0.03951	23.6948	23.6948
8.625 (Tumpuan)	0.74119	1.82819	3.48244	2.07764	11.5182	0.02018	19.6678	
17.25 (Ujg. Kanan)	2.17522	1.82819	6.9607	2.11616	10.575	0.03951	23.6948	
Kurva Tendon 2								
0 (Ujg. Kiri)	2.17522	3.7839	6.9607	2.11616	10.575	0.05587	25.6669	25.6669
8.625 (Tumpuan)	0.45376	3.7839	2.80559	2.07764	11.7019	0.02854	20.8513	
17.25 (Ujg. Kanan)	2.17522	3.7839	6.9607	2.11616	10.575	0.05587	25.6669	

### 6.2.2.3. Kontrol Tegangan setelah Kehilangan

$$f_{eff} = \frac{100 - \%Loss}{100} \cdot F_o$$

Contoh perhitungan pada X = 8,625 m (Tumpuan) pada Kurva Tendon 1:

$$f_{eff} = \frac{100 - 19,667}{100} \cdot 34673100 \text{ N} = 27853662,02 \text{ N}$$

Kontrol tegangan :

Serat Atas,

$$f_a = - \frac{2,785 \cdot 10^7}{8,4 \cdot 10^6} - \frac{2,785 \cdot 10^7 \cdot 1100 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} + \frac{4179,94 \cdot 10^7 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}}$$

$$= - 0,468 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa}$$

Serat bawah,

$$f_b = - \frac{2,785 \cdot 10^7}{8,4 \cdot 10^6} + \frac{2,785 \cdot 10^7 \cdot 1100 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}} - \frac{4179,94 \cdot 10^7 \cdot 1400}{5,488 \cdot 10^{12}}$$

$$= - 6,162 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa}$$

Tabel 6. 16. Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang

X (m)	% LOSS TOTAL	Feff (N)	Tegangan Setelah Kehilangan	
			Serat Atas	Serat Bawah
Kurva Tendon 1				
0 (Ujg. Kiri)	23.6948	26457373.03	-8.105195231	-6.593345343
8.625 (Tumpuan)	19.6678	27853662.02	-0.468878526	-6.162945763
17.25 (Ujg. Kanan)	23.6948	26457373.03	-8.105195231	-6.593345343
Kurva Tendon 2				
0 (Ujg. Kiri)	25.6669	25773591.14	-6.422942555	-7.895719192
8.625 (Tumpuan)	20.8513	27443307.32	1.795376888	-8.329497677
17.25 (Ujg. Kanan)	25.6669	25773591.14	-6.422942555	-7.895719192

X (m)	f Pier Head				f Total (MPa)		Ket.
	Tendon 1		Tendon 2		fa	fb	
	fa	fb	fa	fb			
0 (Ujg. Kiri)	-8.1052	-6.59335	-6.42294	-7.89572	-14.5281	-14.4891	OK
8.625 (Tumpuan)	-0.46888	-6.16295	1.79538	-8.3295	1.3265	-14.4924	OK
17.25 (Ujg. Kanan)	-8.1052	-6.59335	-6.42294	-7.89572	-14.5281	-14.4891	OK

### 6.2.3. Perencanaan Angkur Pier Head pada Kolom

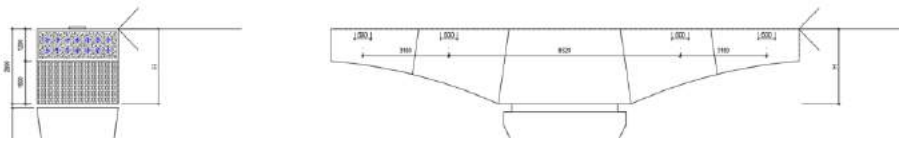
Angkur direncanakan dengan menggunakan tendon prategang yang diletakkan pada kolom yang berfungsi sebagai jepit dan diharapkan dapat menahan gaya gempa dan aksial.

#### 6.2.3.1. Gaya Prategang Awal

Pembebanan angkur ini menggunakan gaya *shear* dengan kombinasi layan. Dari program bantu MIDAS 2012 didapatkan reaksi pada perletakan yang terjadi pada beban kombinasi terpilih, yaitu kombinasi layan 4 sebesar :

Tabel 6. 17. Reaksi Gaya Normal pada *Pier Head*

Axial (N)	Shear Y (N)	Shear Z (N)
21042742.23	15716811.32	20117989.3



Gambar 6. 8. Ilustrasi Pembebanan pada *Pier Head*

Momen pada Sumbu-X,

$$\begin{aligned}
 F &= \text{Axial} = 21042742,23 \text{ N} \\
 H_{\text{pier head}} &= 2800 \text{ mm} \\
 M_{\text{max}} &= F \cdot H_{\text{box}} \\
 &= 21042742,23 \cdot 2800 \\
 &= 5,891 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen pada Sumbu-Y

$$\begin{aligned}
 F &= \text{Shear-Y} = 15716811,32 \text{ N} \\
 H_{\text{box}} &= 2800 \text{ mm} \\
 M_{\text{max}} &= F \cdot H_{\text{box}} \\
 &= 15716811,32 \cdot 2800 \\
 &= 4,4 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan untuk Sumbu-X :

$$\begin{aligned}
 A &= 13,5 \text{ m}^2 \\
 Y_{ki} &= 2,25 \text{ m} \\
 Y_{ka} &= 2,25 \text{ m} \\
 I &= 6,3 \text{ m}^4 \\
 M_{\text{max}} &= 5,891 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan eksentrisitas tendon dari serat kanan,  $e = 1,2 \text{ m}$

Karena pada serat kanan diinginkan terjadinya tegangan tekan, maka tegangan Tarik pada serat kanan  $f_{ka} = 0 \text{ MPa}$

Serat kanan,

$$\begin{aligned}
 0 &= -\frac{F}{13,5 \cdot 10^6} - \frac{F \cdot 1200 \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}} + \frac{5,891 \cdot 10^{10} \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}} \\
 0 &= -7,407 \cdot 10^{-8} F - 4,286 \cdot 10^{-7} F + 21,043 \\
 F &= 4,186 \cdot 10^7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Serat kiri,

$$-30 = -\frac{F}{13,5 \cdot 10^6} + \frac{F \cdot 1200 \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}} - \frac{5,891 \cdot 10^{10} \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}}$$

$$-30 = -7,407 \cdot 10^{-8} F + 4,286 \cdot 10^{-7} F - 21,043$$

$$F = -4,11 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Dari tabel digunakan gaya prategang awal pada tabel  $F = 1,174 \cdot 10^7 \text{ N}$ . Dengan menganggap kehilangan gaya prategang awal sebesar 10 %, sehingga nilai gaya prategang saat *jecking force* adalah :

$$F_o = \frac{F}{0,9} = \frac{1,174 \cdot 10^7}{0,9} = 1,305 \cdot 10^7$$

### 6.2.3.2. Perencanaan Kabel Tendon

Baja pratekan (tendon) direncanakan menggunakan kabel jenis strand *seven wires stress relieved* (7 kawat untai). Dengan mengacu pada table VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik dari baja pratekan yang digunakan :

- Diameter = 15,2 mm
- Luas nominal ( $A_s$ ) = 140 mm<sup>2</sup>
- Nominal massa = 1,102 kg/m
- Minimum breaking load = 260,7 kN
- Modulus elastisitas ( $E_s$ ) = 200000 MPa
- Batas leleh = 0,82  $f_{py} = 1374,261 \text{ MPa}$
- Batas putus = 0,74  $f_{pu} = 1377,986 \text{ MPa}$
- $f_{py}$  = 1675 MPa
- $f_{pu}$  = 1860 MPa

Contoh perhitungan untuk Sumbu-X :

$$F_o = 13053636,39 \text{ N}$$

Jumlah strand untuk 1 duct :

$$A_{ps} = \frac{F_o}{0,82 f_{py}} = \frac{13053636,39}{6 \cdot 1374,261} = 1583,109 \text{ mm}^2$$



Direncanakan menggunakan 1 duct :

$$\frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1}{1} x \frac{1583,109}{140} = 11,307 \text{ strand} \sim 35 \text{ strand} \quad (\text{disamakan dengan jenis tendon pada Sumbu Y})$$

Maka untuk menahan beban aksial pada sumbu-X di pasang tendon 6 VSL 7-wire dengan gaya  $F = 54747 \text{ kN}$

Kontrol tegangan :

Serat kanan,

$$\begin{aligned} f_{ka} &= -\frac{5,474 \cdot 10^7}{13,5 \cdot 10^6} - \frac{5,474 \cdot 10^7 \cdot 1200 \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}} + \frac{5,891 \cdot 10^{10} \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}} \\ &= -4,055 - 23,463 + 21,043 \\ &= -6,476 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Serat kiri,

$$\begin{aligned} f_{ki} &= -\frac{5,474 \cdot 10^7}{13,5 \cdot 10^6} + \frac{5,474 \cdot 10^7 \cdot 1200 \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}} - \frac{5,891 \cdot 10^{10} \cdot 2250}{6,3 \cdot 10^{12}} \\ &= -4,055 + 23,463 - 21,043 \\ &= -1,635 \text{ MPa} < 0,6 f'_{ci} = 22,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 6. 18. Perhitungan Fperlu pada Angkur *Pier Head*

Tendon dipasang sejajar	Tendon	A	Yki	Yka	e	l	Mmax	f ijin tarik (MPa)	f ijin tekan (MPa)	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		F perlu (N)	
		m2	m	m	m	m4	tm	0,25 vfc	0,6 fci	MPa	kiri	kanan	kiri	kanan	F1	F2
Sumbu X	Tendon (1 s/d 6)	13.5	2.25	2.25	1.2	6.3	5891.9678	1.767767	-22.5	-7.407E-08 F	4.2857E-07 F	-4.286E-07 F	-21.0427	21.0427	-4110771.918	41863981.9
Sumbu Y	Tendon 1				0.9375		1466.9024			-7.407E-08 F	2.2321E-07 F	-2.232E-07 F	-3.49262	3.49262	-127446347.7	11748272.8
	Tendon 2				0.5625		1466.9024			-7.407E-08 F	1.3393E-07 F	-1.339E-07 F	-3.49262	3.49262	-317559683.9	16791251.5
	Tendon 3	0.1875	1466.9024	-7.407E-08 F	4.4643E-08 F	-4.464E-08 F	-3.49262	3.49262	645823626.9	29419769.4						

Tabel 6. 19. Perhitungan Tendon dan Kontrol Tegangan pada Angkur *Pier Head*

Tendon dipasang sejajar	Tendon	F pakai	Fo	Kebutuhan Tendon	Jenis Tendon	F (N) sesuai VSL	f ijin tarik	f ijin tekan	F/A	F.e.y/l (MPa)		Mg.y/l (MPa)		Resultan (MPa)				Ket.
		N	N				0,25 vfc	0,6 fci	MPa	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan	kiri	kanan	
Sumbu X	Tendon (1 s/d 6)	11748272.76	13053636.39	11.3079237	35 Sc	54747000	1.767767	-22.5	-4.0553333	23.463	-23.463	-21.043	21.043	-1.6351	-6.4756	-1.6351	-6.4756	OK
Sumbu Y	Tendon 1	11748272.76	13053636.39	33.923771	35 Sc	18249000			-1.3517778	4.0734	-4.0734	-3.4926	3.4926	-0.771	-1.9326	-7.201	-0.9096	OK
	Tendon 2	11748272.76	13053636.39	33.923771	35 Sc	18249000			-1.3517778	2.4441	-2.4441	-3.4926	3.4926	-2.4003	-0.3032			
	Tendon 3	11748272.76	13053636.39	33.923771	35 Sc	18249000	-1.3517778	0.8147	-0.8147	-3.4926	3.4926	-4.0297	1.3262					

### Perhitungan Tulangan Hairpin

Perhitungan didapat dari brosur VSL :

$$A_s \cdot n = P_o \cdot \pi$$

Dimana :

$A_s$  = Luas penampang tulangan ( $\text{mm}^2$ )

$n$  = Jumlah tulangan hairpin

$P_o$  = Gaya prategang pada tendon (kN)

Direncanakan :

Diameter Tulangan = 29 mm

$P_o$  =  $18249000 \text{ N} / 2 = 9124,5 \text{ kN}$

$$n = \frac{P_o \cdot \pi}{A_s} = \frac{9124,5 \cdot 3,14}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 29^2} = 43,398 \sim 44 \text{ buah tulangan hairpin}$$

#### 6.2.3.3. Pemilihan Selongsong Tendon Prategang (*Duct*)

Digunakan selongsong tendon untuk *internal prestressed tendon* tipe *corrugated steel ducts* dari VSL untuk ketahanan korosi pada gesekan tendon.



Gambar 6. 9. Selongsong (*Duct*)

Dimensi selongsong tendon yang digunakan :

Tabel 6. 20. Dimensi Selongsong Tendon

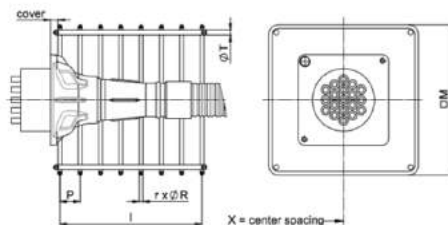
Jumlah Strands	Diameter Selongsong (mm)
35	130

#### 6.2.3.4. Pemilihan Angkur Tendon Prategang

Penarikan pada tendon prategang dilakukan satu arah, yakni pada bagian bawah *box girder* dan dilanjutkan dengan penarikan pada bagian atas *box girder*. Maka dipasang angkur hidup tipe GC dengan *stirrup reinforcement* dan angkur mati tipe-L sebagai penghubung antar tendon di *pier head*.

Tabel 6. 21. Dimensi *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

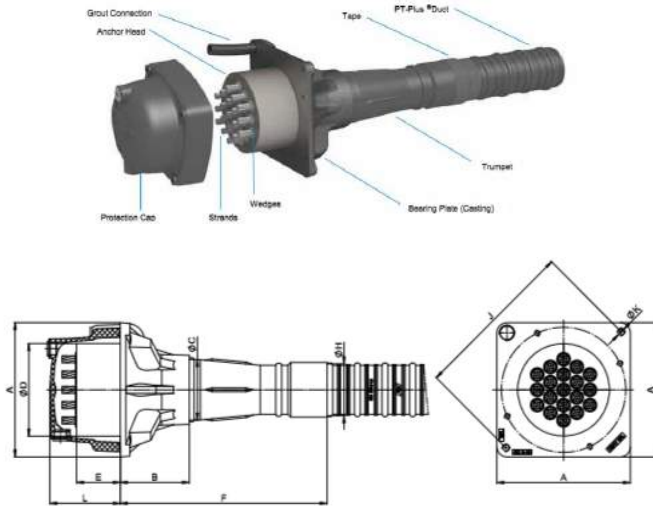
Tendon	<i>Stirrup Reinforcement</i>						
	I (mm)	P (mm)	R (mm)	M (mm)	r	X (mm)	T (mm)
6-22	350	70	32	335	6	355	12
6-37	420	60	32	445	8	465	16



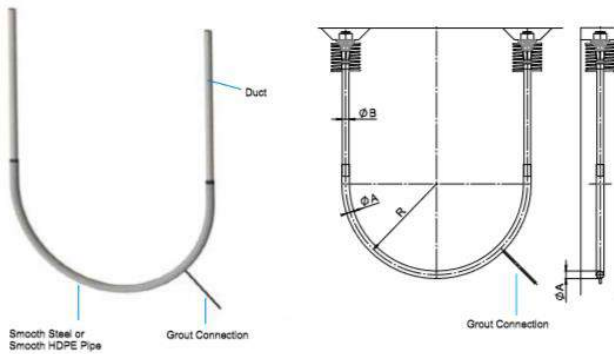
Gambar 6. 10. Detail *Stirrup Reinforcement* Tipe GC

Tabel 6. 22. Dimensi Angkur Hidup Tipe GC

Tendon	A	B	øC	øD	E	F	øH	J	L
6-22	320	150	153	220	100	640	112	400	160
6-37	410	170	196	280	135	770	142	524	200



Gambar 6. 11. Detail Angkur Hidup Tipe GC



Gambar 6. 12. Detail Angkur VSL Mati Tipe-L

Tabel 6. 23. Dimensi Angkur Mati VSL Tipe-L

Tendon	<i>Anchorage Details</i>		
	$\phi A$ (mm)	$\phi B$ (mm)	R min (mm)
6-22	110	95	1500

Catatan :

- Pemilihan ukuran dimensi angkur hidup tipe GC pada tendon angkur *pier head* disesuaikan dengan ukuran angkur mati VSL tipe-L, dikarenakan keterbatasan informasi brosur.

#### 6.2.4. Tulangan Longitudinal Pier Head

Tulangan susut pada *pier head* diperhitungkan dengan rasio tulangan minimum  $\rho = 0,0025$  dari luasan penampang beton.

Direncanakan :

$$D \text{ (tul. utama)} = 29 \text{ mm}$$

$$D \text{ (tul. sengkang)} = 16 \text{ mm}$$

$$b = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Decking (d)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal PH (h)} = 2800 \text{ mm}$$

$$dx = 2800 - 25 - 25/2 = 2759 \text{ mm}$$

$$f'c = 50 \text{ MPa}$$

$$fy = 410 \text{ MPa}$$

$$\rho \text{ perlu} = 0,0025$$

$$A_{\text{spertlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0025 \cdot 3000 \cdot 2759$$

$$= 20703,75 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan susut D29 - 250 (21797,155 mm<sup>2</sup>)

#### 6.2.5. Perencanaan Tulangan Geser Pier Head

##### 6.2.5.1. Perhitungan Gaya Geser

Perhitungan gaya geser didasarkan pada gaya post tension tendon *pier head*. Kemudian gaya geser post tensioning yang sesuai dengan letak

jackingnya masing-masing akan disuperposisikan dengan gaya geser akibat beban mati dan beban hidup yang bekerja.

❖ Perhitungan gaya geser akibat tendon *pier head*

Perhitungan gaya geser akibat tendon *pier head* pada tumpuan (x = 8,625 m)

$F = 365616749,3 \text{ N}$

$L = 17,25 \text{ m}$

$h = 0,15 \text{ m}$

$$W_p = \frac{8 \cdot F \cdot h}{L^2} = \frac{8 \cdot 365616749,3 \cdot 0,15}{17,25^2} = 1474446,88 \text{ N/m}$$

$V_p = W_p \cdot L = 1474446,88 \cdot 17,25 = 25434208,6 \text{ N}$

$V_{u'} = 28819852,22 \text{ N}$  (didapatkan dari Output MIDAS 2012)

$V_u = |V_{u'} - V_p|$   
 $= |28819852,22 - 25434208,6|$   
 $= 3385643,576 \text{ N}$

Tabel 6. 24. Gaya Geser pada Tendon *Pier Head*

X (m)	Feff	e	h	L	Wp akibat tendon	Vp akibat tendon	Vp	Vu'	Vu
	N	m	m	m	N/m	N	N	N	N
3.25	365616749.3	0.3702	0.0917	17.25	901825.1015	15556483	15556483	30787922.25	15231439.25
6.375	365616749.3	0.9398	0.1398	17.25	1374106.448	23703336.22	23703336.22	31308930.85	7605594.628
8.625 (Tumpuan)	365616749.3	0.95	0.15	17.25	1474446.878	25434208.64	25434208.64	28819852.22	3385643.576

Setelah hasil perhitungan gaya geser pada tendon *pier head*, dilanjutkan pada perencanaan dan perhitungan tulangan geser yang diperlukan.

Berikut adalah contoh perhitungan gaya geser :

- Perhitungan retak geser badan ( $V_{cw}$ ) pada tumpuan (x = 8,625 m) :

$V_p = 25434208,64 \text{ N}$

$d = 2650 \text{ mm}$

$b_w = 3000 \text{ mm}$

$F_{eff} = 365616749,3 \text{ N}$

$A_c = 8400000 \text{ mm}^2$

$f_{pc} = F_{eff} / A_c = 365616749,3 / 8400000 = 43,525$

$V_{cw} = [0,3 (\sqrt{f'_c} + f_{pc}) \cdot b_w \cdot d] + V_p$

$$= [0,3 (\sqrt{50} + 43,525) \cdot 3000 \cdot 2650] + 25434208,64$$

$$= 146107746,7 \text{ N}$$

Tabel 6. 25. Retak Geser ( $V_{cw}$ )

X (m)	$V_p$	d	$b_w$	$F_{eff}$	Ac	$f_{pc}$	$V_{cw}$
	N	mm	mm	N	mm <sup>2</sup>	N	N
3.25	15556483	1607	3000	365616749	5271000	69.364	126104276.1
6.375	23703336.22	2650	3000	365616749	8400000	43.526	144376874.3
8.625 (Tumpuan)	25434208.64	2650	3000	365616749	8400000	43.526	146107746.7

- Perhitungan retak geser lentur ( $V_{ci}$ ) pada tumpuan ( $x = 8,625 \text{ m}$ ) :

$$F_{eff} = 365616749,3 \text{ N}$$

$$A_c = 8400000 \text{ mm}^2$$

$$b_w = 3000 \text{ mm}$$

$$d = 2650 \text{ mm}$$

$$M_{max} = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$e = 950 \text{ mm}$$

$$V_D = 7651889,05 \text{ N (didapatkan dari Output MIDAS 2012)}$$

$$V_L = 4990491,68 \text{ N (didapatkan dari Output MIDAS 2012)}$$

$$I = 5,488 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

$$y_a = 1400 \text{ mm}$$

$$W_a = \frac{I}{y_a} = \frac{5,488 \cdot 10^{12}}{1400} = 3920000000 \text{ mm}^3$$

$$f_{pe} = \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \cdot e}{W_a}$$

$$= \frac{365616749,3}{8400000} + \frac{365616749,3 \cdot 950}{3920000000} = 43,614 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{M_{max}}{W_a} = \frac{1,1 \cdot 10^{11}}{3920000000} = 28,219 \text{ MPa}$$



$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{I}{y_a} \cdot \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \\
 &= \frac{5,488 \cdot 10^{12}}{1400} \left( \frac{\sqrt{50}}{2} + 43,614 - 28,219 \right) \\
 &= 74207885830 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{20} \cdot b_w \cdot d \right) + VD + \left( \frac{VL \cdot M_{cr}}{M_{max}} \right) \\
 &= \left( \frac{\sqrt{50}}{20} \cdot 3000 \cdot 2650 \right) + 7651889,05 \\
 &\quad + \left( \frac{4990491,68 \cdot 74207885830}{1,1 \cdot 10^{11}} \right) \\
 &= 13810443,57 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &> \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{7} \cdot b_w \cdot d \right) \\
 13810443,57 \text{ N} &> \left( \frac{\sqrt{50}}{7} \cdot 3000 \cdot 2650 \right) \text{ N} \\
 13810443,57 \text{ N} &< 8030712,73 \text{ N} \\
 \text{Maka digunakan nilai } V_{ci} &= 13810443,57 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tabel 6. 26. Retak Geser Lentur (Vci)

X (m)	l	d	bw	Feff	Ac	ya	e	VD	VL	Momen	Wa	fpe	fd	Mcr	Vci	Kontrol	Vci pakai
	mm4	mm	mm	N	mm2	mm	mm	N	N	Nmm	mm3	MPa	MPa	Nmm	N	N	N
3.25	4.2E+12	1607	3000	365616749.3	5271000	878.5	0.37	6658676.02	4911459.72	16949825680	4780876494	69.3921	3.54534	3.31708E+11	104480513.5	4869945.417	104480513.5
6.375	5.488E+12	2650	3000	365616749.3	8400000	1400	0.94	7092849.85	4911459.72	67367367904	3920000000	43.6135	17.1856	1.17457E+11	18466851.26	8030712.729	18466851.26
8.625 (Tumpuan)	5.488E+12	2650	3000	365616749.3	8400000	1400	0.95	7651889.05	4990491.68	1.1062E+11	3920000000	43.6144	28.2194	74207885830	13810443.57	8030712.729	13810443.57

### 6.2.5.2. Perhitungan Kebutuhan & Jarak Tulangan Geser

- Gaya geser yang dipikul oleh tulangan pada tumpuan ( $x = 8,625$  m)

$$V_n = V_{u(x=8,625)} / 0,7 = 3385643,576 \text{ N} / 0,7 = 4836633,68 \text{ N}$$

$$V_c = \min(V_{cw(1)}, V_{ci(1)}) = 13810443,57 \text{ N}$$

$$V_n < V_c + V_s$$

$$V_s = 0 \text{ N}$$

$$4836633,68 \text{ N} < 13810443,57 \text{ N} + 0 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

- Jarak tulangan geser pada tumpuan ( $x = 8,625$  m)

$$V_s > \left( \frac{f'_c}{3} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$0 \text{ N} > \left( \frac{50}{3} \right) \cdot 3000 \cdot 2650$$

$$0 \text{ N} < 18738329,7 \text{ N}$$

Berdasarkan peraturan SNI pasal 13 yang berkaitan dengan perencanaan geser, tulangan geser untuk beton prategang tidak boleh melebihi :

$$S1 = 600 \text{ mm}$$

$$S2 = \frac{3}{4} \cdot h = \frac{3}{4} \cdot 2800 = 2100 \text{ mm}$$

Maka spasi maksimum tulangan geser,  $S_{max} = 600$  mm dan direncanakan tulangan geser,  $S = 300$  mm

- Kebutuhan tulangan geser pada tumpuan ( $x = 8,625$  m)

$$V_s \geq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

$$A_v \text{ perlu} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} = \frac{0 \cdot 300}{410 \cdot 2650} = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w \cdot S}{3 \cdot f_y} = \frac{3000 \cdot 300}{3 \cdot 410} = 731,707 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ perlu} < A_v \text{ min}$$

Maka direncanakan menggunakan tulangan geser, 4 D16 – 300 (804,247 mm<sup>2</sup>)

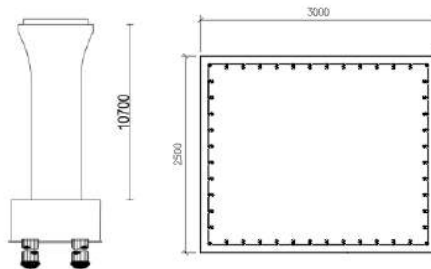
Tabel 6. 27. Jarak Tulangan Geser pada *Pier Head*

X (m)	f'c	fy	Vn	Vc	Vs	</>	Kontrol	Smax	S
	MPa	MPa	N	N	N		N	mm	mm
3.25	50	410	21759198.93	104480513.5	0	<	11363205.97	600	300
6.375			10865135.18	18466851.26	0	<	18738329.7	600	300
8.625 (Tumpuan)			4836633.68	13810443.57	0	<	18738329.7	600	300

Tabel 6. 28. Kebutuhan Tulangan Geser pada *Pier Head*

X (m)	f'c	fy	Vn	Vc	Vs	Ket.	S	Av perlu	Av min	Ø tul.	Jumlah tul.
	MPa	MPa	N	N	N		mm	mm2	mm2	mm	bh
3.25	50	410	21759198.93	104480513.5	0	Tdk Perlu Tul.	300	0	731.707317	16	4
6.375			10865135.18	18466851.26	0	Tdk Perlu Tul.	300	0	731.707317	16	4
8.625 (Tumpuan)			4836633.68	13810443.57	0	Tdk Perlu Tul.	300	0	731.707317	16	4

### 6.3. Pier Column



Gambar 6. 13. Dimensi Kolom

#### 6.3.1. Parameter Pier Column

Tinggi (b)	: 3000 mm
Lebar (h)	: 2500 mm
Panjang (L)	: 10700 mm
Tulangan kolom segmen	: 92 D32

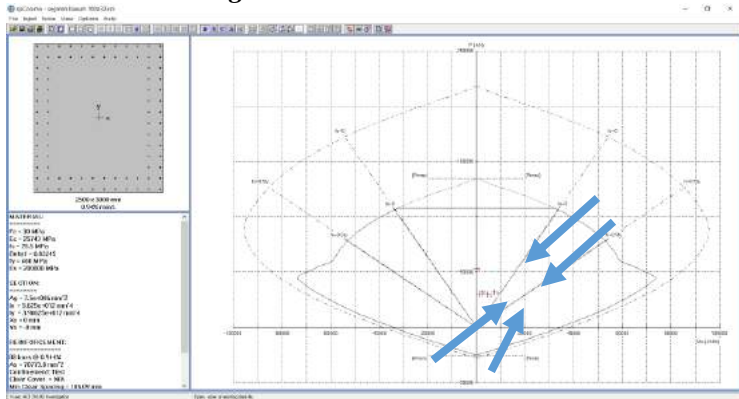
#### 6.3.2. Gaya yang terjadi

Tabel 6. 29. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Kolom

Kombinasi	Pu	Vu 2	Vu 3	Mu 2	Mu 3
	kN	kN	kN	kNm	kNm
Env 1	49064.896	0	3.104E-10	5.983E-09	2.752E-12
Env 2	26179.414	1895.006	163.034	1413.1002	25471.416
Env 3	29390.498	0	1004.136	16427.3067	1.895E-11
Env 4	29390.498	0	1004.136	16427.3067	1.895E-11
Env 5	34810.133	4.739E-09	2.557E-10	1.107E-09	97088.473

### 6.3.3. Perencanaan tulangan lentur pier column

- **Kolom Pilar Segmen** →



Gambar 6. 14. Diagram Kapasitas Kolom dari SPCol

### 6.3.4. Perencanaan Tulangan Geser Pier Column

#### ❖ Terhadap Sumbu X

- Menghitung kapasitas geser beton

- Tinggi efektif penampang dalam arah pembebanan (d) :

$$d = B - \text{selimut beton} - \text{dia. Tul geser} - \frac{1}{2} \text{tul.Long}$$

$$= 2500 - 100 - 16 - \frac{1}{2} (32)$$

$$= 2368 \text{ mm}$$

- Luas total tulangan geser ( $A_v$ )

$$A_v = n \text{ kaki } \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 6 \cdot \frac{1}{4} \pi 16^2$$

$$= 1206,37 \text{ mm}^2$$

- Rasio tulangan geser

$$\rho_w \text{ req} = \frac{A_v}{s \cdot b}$$

$$= \frac{1206,37}{150 \times 3000}$$

$$= 0.0027$$

d. Menentukan  $f_w$

$$f_w = 2 \times \rho_w \times f_{yh}$$

$$= 2 \times 0.0027 \times 390$$

$$= 2,09$$

$$f_w \leq 2,41$$

$f_w$  diambil nilai terkecil yaitu 2,09

e. Rasio daktilitas simpangan local maksimum elemen,  $\mu_D$  (untuk KDS D) diambil nilai 4

f. Faktor penyesuaian tegangan geser beton

$$\alpha' = \frac{f_w}{1.03} + 3.67 - \mu_D$$

$$= \frac{2,09}{1.03} + 3.67 - 4$$

$$= 1.7$$

g. Luas penampang gross

$$A_g = 2500 \times 3000$$

$$= 7500000 \text{ mm}^2$$

h. Menghitung  $V_c$

$$V_c = 0.084 \times \alpha' \times \left( 1 + \frac{P_u}{2A_g} \right) \sqrt{f'_c}$$

$$= 0.084 \times 1.7 \times \left( 1 + \frac{P_u}{2 \times 7500000} \right) \sqrt{30}$$

$$= 0.68 \text{ N/mm}^2$$

i. Luas penampang efektif

$$A_e = 0.8 A_g$$

$$= 0.8 \times 7500000$$

$$= 6000000 \text{ mm}^2$$

j. Sehingga kapasitas geser beton

$$\begin{aligned} V_c &= V_c \cdot A_e \\ &= 0.68 \cdot 60000000 \\ &= 4075,06 \text{ kN} \end{aligned}$$

➤ Menghitung kapasitas tulangan geser

a. Kapasitas geser tulangan lateral

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot h \cdot d}{s} \\ &= \frac{1206,37 \cdot 390 \cdot 2368}{150} \\ &= 7427,39 \text{ Kn} \end{aligned}$$

b. Kuat geser maksimum

$$\begin{aligned} V_s \text{ maks} &= 0.658 \times \sqrt{f'c} \times A_e \\ &= 0.658 \times \sqrt{30} \times \frac{6000000}{1000} \\ &= 21624.09 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Sehingga kapasitas geser yang digunakan diambil yang terkecil

$$V_s = 7427,39 \text{ kN}$$

➤ Menghitung kapasitas geser nominal

$$\text{Faktor reduksi geser} = 0.7$$

Kapasitas geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 4075,06 \text{ kN} + 7427,39 \text{ kN} \\ &= 11502,44 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas geser ultimate

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.7 \times 11502,44 \text{ kN} \\ &= 8051,71 \text{ kN} \end{aligned}$$



## ➤ Kontrol Geser

$$\begin{aligned} V_u &< \phi V_n \\ 1895,01 \text{ kN} &< 8051,71 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK}) \end{aligned}$$

❖ Terhadap Sumbu Y

## ➤ Menghitung kapasitas geser beton

- a. Tinggi efektif penampang dalam arah pembebanan (d) :

$$\begin{aligned} d &= B - \text{selimut beton} - \text{dia. Tul geser} - \frac{1}{2} \text{ tul. Long} \\ &= 3000 - 100 - 16 - \frac{1}{2} (32) \\ &= 2868 \text{ mm} \end{aligned}$$

- b. Luas total tulangan geser (
- $A_v$
- )

$$\begin{aligned} A_v &= n \text{ kaki } \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 6 \cdot \frac{1}{4} \pi 16^2 \\ &= 1206,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- c. Rasio tulangan geser

$$\begin{aligned} \rho_w \text{ req} &= \frac{A_v}{s \cdot b} \\ &= \frac{1206,37}{150 \times 2500} \\ &= 0.0032 \end{aligned}$$

- d. Menentukan
- $f_w$

$$\begin{aligned} f_w &= 2 \times \rho_w \times f_{yh} \\ &= 2 \times 0.0032 \times 390 \\ &= 2,496 \\ f_w &\leq 2,41 \end{aligned}$$

$f_w$  diambil nilai terkecil yaitu 2,41

- e. Rasio daktilitas simpangan local maksimum elemen,
- $\mu_D$
- (untuk KDS D) diambil nilai 4

f. Faktor penyesuaian tegangan geser beton

$$\begin{aligned}\alpha' &= \frac{fw}{1.03} + 3.67 - \mu D \\ &= \frac{2,41}{1.03} + 3.67 - 4 \\ &= 2,01\end{aligned}$$

g. Luas penampang gross

$$\begin{aligned}A_g &= 2500 \times 3000 \\ &= 7500000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

h. Menghitung  $v_c$

$$\begin{aligned}v_c &= 0.084 \times \alpha' \times \left(1 + \frac{P_u}{2A_g}\right) \sqrt{f'_c} \\ &= 0.084 \times 2,01 \times \left(1 + \frac{P_u}{2 \times 7500000}\right) \sqrt{30} \\ &= 0.68 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

i. Luas penampang efektif

$$\begin{aligned}A_e &= 0.8 A_g \\ &= 0.8 \times 7500000 \\ &= 6000000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

j. Sehingga kapasitas geser beton

$$\begin{aligned}V_c &= v_c \cdot A_e \\ &= 0.68 \cdot 6000000 \\ &= 4075,06 \text{ kN}\end{aligned}$$

➤ Menghitung kapasitas tulangan geser

a. Kapasitas geser tulangan lateral

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot h \cdot d}{s} \\ &= \frac{1206,37 \cdot 390 \cdot 2868}{150}\end{aligned}$$

$$= 8995,67 \text{ kN}$$

b. Kuat geser maksimum

$$\begin{aligned} V_s \text{ maks} &= 0.658 \times \sqrt{f'c} \times A_e \\ &= 0.658 \times \sqrt{30} \times \frac{6000000}{1000} \\ &= 21624.09 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Sehingga kapasitas geser yang digunakan diambil yang terkecil

$$V_s = 8995,67 \text{ kN}$$

➤ Menghitung kapasitas geser nominal

$$\text{Faktor reduksi geser} = 0.7$$

Kapasitas geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 4075,06 \text{ kN} + 8995,67 \text{ kN} \\ &= 13070,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas geser ultimate

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.7 \times 13070,73 \text{ kN} \\ &= 9149,51 \text{ kN} \end{aligned}$$

➤ Kontrol Geser

$$\begin{array}{rcl} V_u & < & \phi V_n \\ 1004,14 \text{ kN} & < & 9149,51 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK}) \end{array}$$

### Perhitungan Tulangan Confinement

➤ Menghitung Lebar penampang inti beton (yang terkekang) (bc)

$$\begin{aligned} bc &= \text{Lebar kolom} - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times 0.5 \times \text{dia. tul. geser}) \\ &= 3000 - (2 \times 100) - (2 \times \frac{1}{2} \times 16) \end{aligned}$$

$$= 2784 \text{ mm}$$

- Menghitung luas penampang gross ( $A_g$ )

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 2500 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm} \\ &= 7500000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar hoop ke hoop lainnya ( $A_{ch}$ )

$$\begin{aligned} A_{ch} &= \{B - (2 \times \text{selimut})\} \times \{H - (2 \times \text{selimut})\} \\ &= \{2500 - (2 \times 200)\} \times \{3000 - (2 \times 100)\} \\ &= 6440000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung luas penampang confinement yang disyaratkan ( $A_{sh}$ )

$$\begin{aligned} A_{sh(1)} &= 0.3 a_{hc} \frac{f'_c}{f_y h} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0.3 \cdot 150 \cdot 2784 \cdot \frac{30}{390} \left( \frac{7500000}{6440000} - 1 \right) \\ &= 1586,20 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh(2)} &= 0.12 a_{hc} \frac{f'_c}{f_y h} \\ &= 0.12 \cdot 150 \cdot 2784 \cdot \frac{30}{390} \\ &= 3854,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai  $A_{sh}$  diambil yang terbesar, yaitu  $3854,77 \text{ mm}^2$

- Menghitung luas penampang confinement yang digunakan ( $A_{sh}$  pakai)

$$\begin{aligned} A_{sh} \text{ pakai} &= n \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 20 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 \\ &= 4021,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

Ash pakai	>	Ash yang disyaratkan
4021,24 mm <sup>2</sup>	>	3854,77 mm <sup>2</sup>
<b>(OK)</b>		

### **Persyaratan jarak confinement**

Syarat jarak confinement diambil terkecil dari syarat berikut :

*Syarat 1* = ¼ dimensi penampang kolom terkecil  
 = ¼ x 2500 = 625 mm

*Syarat 2* = 6 diameter tulangan longitudinal  
 = 6 x 32 = 192 mm

*Syarat 3`* = tidak melebihi 150 mm

Sehingga jarak confinement yang digunakan = 150 mm

### **Pemasangan tulangan confinement**

Persyaratan pemasangan confinement, diambil terkecil dari syarat berikut:

*Syarat 1* = dimensi penampang kolom terbesar  
 = 3000 mm

*Syarat 2* = 1/6 tinggi bersih pier  
 = 1/6 x 10700 = 1783,33 mm

*Syarat 3* = tidak melebihi 150 mm

Sehingga Panjang pemasangan confinement yang dipakai = 3000 mm

### **Rekapitulasi tulangan geser kolom**

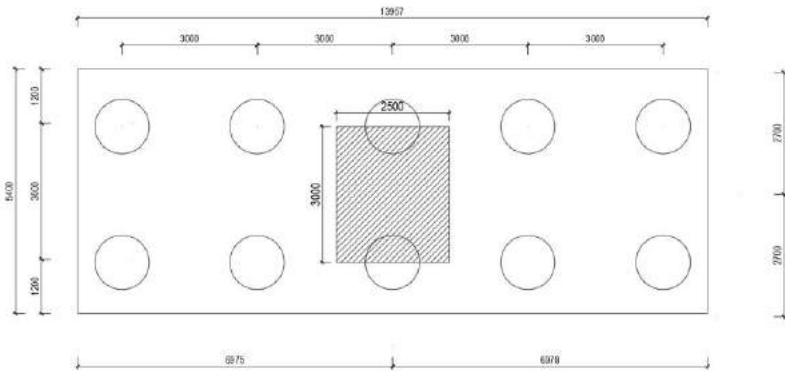
#### ***a. Tulangan Longitudinal →***

- Pilar : 92 D32  
 → rasio penulangan 1.67% (> 1%, OK)

#### ***b. Tulangan Transversal →***

**Segmen Atas** - Sengkang Arah X & Y : 6D16 – 150  
**Segmen Sendi Plastis** - Sengkang Arah X & Y : 10D16 – 150

## 6.4. Pile Cap



Gambar 6. 15. Dimensi *Pile Cap*

### 6.4.1. Parameter Pile Cap

Lebar : 5400 mm  
 Panjang : 14400 mm  
 Tebal : 2500 mm

### 6.4.2. Gaya yang terjadi

Tabel 6. 30. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Pile Cap

Nama	Mu (kNm)
Pilecap Arah (X) - Sisi Bawah	23918
Pilecap Arah (X) - Sisi Atas	7465,2
Pilecap Arah (Y) - Sisi Bawah	7882,4
Pilecap Arah (Y) - Sisi Atas	4292,5

### 6.4.3. Perhitungan tulangan lentur pile cap

#### ❖ Tulangan lentur pile cap arah X sisi bawah

$$Mu = 23918 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{23918}{1000 \cdot 2430^2} \\
 &= 1.238
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0.85f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0.85 \cdot f'_c}} \right) \\
 &= \frac{0.85 \cdot 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1.238}{0.85 \cdot 30}} \right) \\
 &= 0.0032
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0032$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0.0032 \cdot 1000 \cdot 2430 \\
 &= 23254 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{b \cdot A_{s \text{ tulangan}}}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{23254} \\
 &= 173 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pasang}}} &= \frac{b \cdot A_{s1\text{tulanga}}}{S_{\text{pasang}}} \\
 &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{S_{\text{pasang}}} \\
 &= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{150} \\
 &= 26808 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} \\
 &= \frac{26808 \cdot 400}{0.85 \cdot 30 \cdot 1000} \\
 &= 168.21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\
 &= \frac{168.21}{0.85} \\
 &= 237.87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset Mn &= \emptyset A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\
 &= 0,8 \cdot 26808 \cdot 400 \left( 2430 - \frac{168.21}{2} \right) \\
 &= 24413,92 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mu} = 23918 \text{ kNm}$$

Kontrol,



$$\begin{aligned} \emptyset M_n &> M_u \\ 24413,92 \text{ kNm} &> 23918 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (\text{OK})$$

❖ **Tulangan lentur pile cap arah X sisi atas**

$$M_u = 7465,2 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{7465,2}{1000 \cdot 2430^2} \\ &= 0,644 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,644}{0,85 \cdot 30}} \right) \\ &= 0,0016 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 2430 \\ &= 7911 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{b \cdot A_{s1\text{tulangan}}}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{A_{s \text{ perlu}}} \end{aligned}$$

$$= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{7911}$$

$$= 152 \text{ mm}$$

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

$$A_{S_{\text{pasang}}} = \frac{b \cdot A_{s1\text{tulanga}}}{S_{\text{pasang}}}$$

$$= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{S_{\text{pasang}}}$$

$$= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{150}$$

$$= 8042 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$= \frac{8042 \cdot 400}{0.85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$= 84.1 \text{ mm}$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1}$$

$$= \frac{168.21}{0.85}$$

$$= 118.94 \text{ mm}$$

$$\emptyset Mn = \emptyset A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 0,8 \cdot 8042 \cdot 400 \left( 2430 - \frac{84,1}{2} \right)$$

$$= 7532,40 \text{ kNm}$$

$$M_u = 7465,20 \text{ kNm}$$

Kontrol,

$$\begin{array}{lcl} \emptyset M_n & > & M_u \\ 7532,40 \text{ kNm} & > & 7465,20 \text{ kNm} \dots\dots\dots(\text{OK}) \end{array}$$

❖ **Tulangan lentur pile cap arah Y sisi bawah**

$$M_u = 7882,4 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{7882,4}{1000 \cdot 2430^2}$$

$$= 0,68$$

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

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,68}{0,85 \cdot 30}} \right)$$

$$= 0,0017$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0018$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 2430$$

$$= 7911 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{b \cdot A_{s1\text{tulangan}}}{A_{s\text{perlu}}} \\
 &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{A_{s\text{perlu}}} \\
 &= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{7911} \\
 &= 305 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{pasang}} &= \frac{b \cdot A_{s1\text{tulanga}}}{S_{\text{pasang}}} \\
 &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{S_{\text{pasang}}} \\
 &= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{200} \\
 &= 12063.72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} \\
 &= \frac{12063.72 \cdot 400}{0.85 \cdot 30 \cdot 1000} \\
 &= 126.16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1}$$

$$= \frac{168.21}{0.85}$$

$$= 178.4 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 0,8 \cdot 12063,72 \cdot 400 \left( 2430 - \frac{168.21}{2} \right)$$

$$= 11067.43 \text{ kNm}$$

$$M_u = 7882.40 \text{ kNm}$$

Kontrol,

$$\phi M_n > M_u$$

$$11067.43 \text{ kNm} > 7882.40 \text{ kNm} \quad \text{(OK)}$$

❖ **Tulangan lentur pile cap arah Y sisi atas**

$$M_u = 4929,5 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{4929,5}{1000 \cdot 2430^2}$$

$$= 0.370$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0.85 \cdot f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0.85 \cdot 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.0 \cdot 370}{0.85 \cdot 30}} \right)$$

$$= 0.0009$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0018$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 2430 \\ &= 7911 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{b \cdot A_{s\text{ tulangan}}}{A_{s\text{ perlu}}} \\ &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{A_{s\text{ perlu}}} \\ &= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{7911} \end{aligned}$$

$$= 152 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} A_{S\text{ pasang}} &= \frac{b \cdot A_{s\text{ tulanga}}}{S_{\text{pasang}}} \\ &= \frac{b \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{S_{\text{pasang}}} \end{aligned}$$

$$= \frac{1000 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2}{150}$$

$$= 6031,86 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$= \frac{6031,86 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$= 63,08 \text{ mm}$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1}$$

$$= \frac{168,21}{0,85}$$

$$= 89,20 \text{ mm}$$

$$\emptyset Mn = \emptyset A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 0,8 \cdot 6031,86 \cdot 400 \left( 2430 - \frac{168,21}{2} \right)$$

$$= 5594,59 \text{ kNm}$$

$$Mu = 4292,5 \text{ kNm}$$

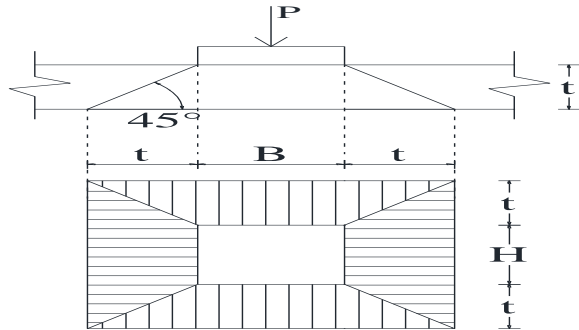
Kontrol,

$$\emptyset Mn > Mu$$

$$5594,59 \text{ kNm} > 4292,5 \text{ kNm} \quad \text{(OK)}$$

#### 6.4.4. Geser Pons

- ❖ Geser pons kolom pilar terhadap pile cap



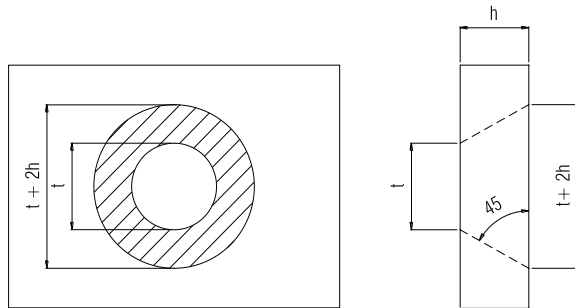
Gambar 6. 16. Geser Pons Kolom Pilar terhadap Pile Cap

Tabel 6. 31. Geser Pons Kolom Pilar terhadap Pile Cap

Pier Persegi										
Tipe	tebal pilecap (h)	Cover Beton	Dimensi Kolom		Tebal eff. Pilecap	$f_c'$	$\phi$	$\phi V_c = \phi \left[ \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_g}{s} \right) + \frac{A_g}{s} \left( \frac{V_u}{d} \right) \right]$	$V_u$	$\phi V_c > V_u$
			B	H						
Pier	2,500	70	3,000	2,500	2,430	30	0.75	48750.79057	5958.9	OK



## ❖ Geser pons borepile terhadap pile cap



Gambar 6. 17. Geser Pons Borepile terhadap Pile Cap

Tabel 6. 32. Geser Pons Borepile terhadap Pile Cap

Borepile							
Tipe	tebal pilecap (h)	diameter spun (D)	fc'	Ø	$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \left[ \frac{\pi D + \pi(D+2h)}{2} h \sqrt{2} \right]$	Vu	ØVc > Vu (check)
	mm	mm	N/mm2				
Tiang pancang	2,500	1,200	30	0.75	28136.96456	1,929.00	OK

## 6.5. Pondasi

Pada Tugas akhir ini, pondasi direncanakan menggunakan borepile dengan diameter tiang sebesar 1200 mm. Kedalaman borepile direncanakan sedalam 36 m di bawah permukaan tanah dan diharapkan daya dukung borepile pada kedalaman 36 m ini dapat menahan beban luar dan beban seluruh jembatan.

### 6.5.1. Perhitungan Daya Dukung Borepile

Tabel 6. 33. Daya Dukung Borepile (1)

Elevasi Asli	Kedalaman	N	N'	Jenis Tanah	Tahanan Ujung				Tahanan Selimut						
					Np'	K t/m <sup>2</sup>	qp t/m <sup>2</sup>	QP ton	Ns	Ns'	q <sub>s</sub> t/m <sup>2</sup>	A <sub>s</sub> m <sup>2</sup>	QS ton		
														m	m
0	0	1	1												
-2	2	10	10	Lempung	6.3	12	76.0	73.0	10	10.00	4.33	7.54	26.1		
-4	4	8	8	Lempung	8.0	12	96.0	92.2	8	9.00	4.00	15.08	48.3		
-6	6	6	6	Lempung	7.3	12	88.0	84.5	6	8.00	3.67	22.62	66.4		
-8	8	8	8	Lanau berlempung	8.0	20	160.0	153.7	8	8.00	3.67	30.16	88.6		
-10	10	10	10	Lanau berlempung	13.0	20	260.0	249.7	10	8.40	3.80	37.70	114.6		
-12	12	27	21	Lanau berlempung	17.7	20	353.3	339.4	27	11.50	4.83	45.24	174.8		
-14	14	29	22	Lanau berlempung	25.2	20	503.3	483.5	29	14.00	5.67	52.78	239.4		
-16	16	50	32.5	Pasir berlanau	25.8	25	645.8	620.3	50	18.50	7.17	60.32	346.0		
-18	18	31	23	Pasir berlanau	24.7	25	616.7	592.3	31	19.89	7.63	67.86	414.2		
-20	20	22	18.5	Lanau berlempung	24.5	20	490.0	470.7	22	20.10	7.70	75.40	464.5		
-22	22	49	32	Lanau berlempung	29.3	20	586.7	563.5	49	22.73	8.58	82.94	569.3		
-24	24	60	37.5	Lanau berlempung	29.7	20	593.3	569.9	50	25.00	9.33	90.48	675.3		
-26	26	24	19.5	Lanau berlempung	24.5	20	490.0	470.7	24	24.92	9.31	98.02	730.1		
-28	28	18	16.5	Lanau berlempung	18.5	20	370.0	355.4	18	24.43	9.14	105.56	771.9		
-30	30	24	19.5	Lanau berpasir	20.5	25	512.5	492.3	24	24.40	9.13	113.10	826.1		
-32	32	36	25.5	Lanau berpasir	24.7	25	616.7	592.3	36	25.13	9.38	120.64	905.3		
-34	34	43	29	Lanau berpasir	26.0	25	650.0	624.3	43	26.18	9.73	128.18	997.8		
-36	36	32	23.5	Lanau berpasir	30.0	25	750.0	720.4	32	26.50	9.83	135.72	1,067.3		
-38	38	60	37.5	Lanau berpasir	27.2	25	679.2	652.3	50	27.74	10.25	143.26	1,174.7		
-40	40	26	20.5	Lanau berlempung	26.3	20	526.7	505.9	26	27.65	10.22	150.80	1,232.9		
-42	42	27	21	Lanau berlempung	22.7	20	453.3	435.4	27	27.62	10.21	158.34	1,293.3		
-44	44	38	26.5	Lanau berlempung	24.7	20	493.3	473.8	38	28.09	10.36	165.88	1,374.8		
-46	46	38	26.5	Lanau berlempung	23.8	20	476.7	457.8	38	28.52	10.51	173.42	1,458.1		

Tabel 6. 34. Daya Dukung Borepile (2)

Daya Dukung Ultimate			Daya Dukung Izin		
Tahanan Tekan Ujung	Tahanan Gabung (Ujung + Selimut)	Tahanan Tarik Selimut	Tahanan Tekan Ujung	Tahanan Gabung (Ujung + Selimut)	Tahanan Tarik Selimut
ton	ton	ton	ton	ton	ton
73.0	99.1	26.1	24.3	33.0	8.7
92.2	140.5	48.3	30.7	46.8	16.1
84.5	150.9	66.4	28.2	50.3	22.1
153.7	242.2	88.6	51.2	80.7	29.5
249.7	364.3	114.6	83.2	121.5	38.2
339.4	514.2	174.8	113.1	171.4	58.3
483.5	722.9	239.4	161.2	241.0	79.8
620.3	966.3	346.0	206.8	322.1	115.3
592.3	1,006.5	414.2	197.4	335.5	138.1
470.7	935.1	464.5	156.9	311.7	154.8
563.5	1,132.8	569.3	187.8	377.6	189.8
569.9	1,245.2	675.3	190.0	415.1	225.1
470.7	1,200.7	730.1	156.9	400.2	243.4
355.4	1,127.2	771.9	118.5	375.8	257.3
492.3	1,318.3	826.1	164.1	439.5	275.4
592.3	1,497.6	905.3	197.4	499.2	301.8
624.3	1,622.1	997.8	208.1	540.7	332.6
720.4	1,787.7	1,067.3	240.1	595.9	355.8
652.3	1,827.1	1,174.7	217.5	609.0	391.6
505.9	1,738.8	1,232.9	168.6	579.6	411.0
435.4	1,728.7	1,293.3	145.1	576.3	431.1
473.8	1,848.7	1,374.8	158.0	616.2	458.3
457.8	1,916.0	1,458.1	152.6	638.7	486.0

Di mana :

$N'$  = Nilai N-SPT terkoreksi untuk lapisan  
(berdasarkan persamaan terzaghi dan peck )  
=  $15 + 0.5 ( N - 15 )$

$N$  = Nilai N-SPT di lapangan

$Q_{all}$  = Daya dukung ijin tiang  
=  $Q_L / SF$

$SF$  = Angka keamanan, untuk perencanaan diambil sebesar **3**

$Q_L$  = Daya dukung ultimate dari suatu pondasi dalam.  
=  $Q_P + Q_S$

$Q_P$  = Daya dukung pondasi berdasarkan kapasitas ujung dasar tiang.

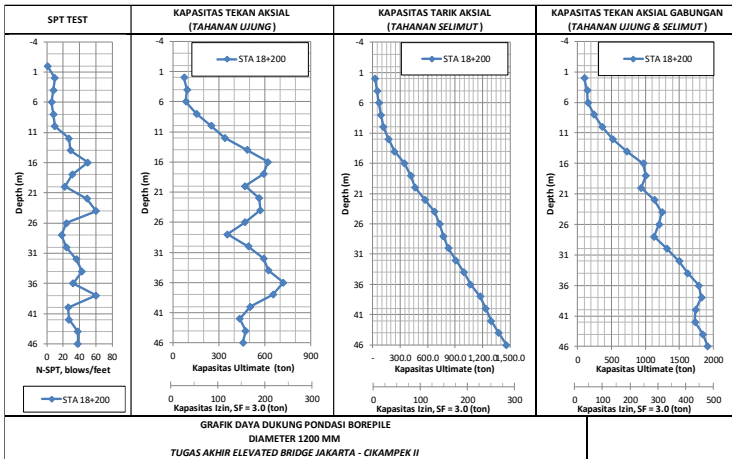
=  $\alpha \times q_p \times A_p$

- $= \alpha \times (\check{N}_P \times K) \times A_P$   
 $Q_S =$  Daya dukung pondasi berdasarkan kapasitas gesekan dinding/selimut tiang.  
 $= \beta \times q_s \times A_s$   
 $= \beta \times (\check{N}_S/3 + 1) \times A_s$   
 $\check{N}_P =$  Rata-rata nilai N-SPT sepanjang  $4 \times B$  di atas dan  $4 \times B$  I bawah ujung dasar tiang.  
 $= \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$   
 $B =$  Diameter Tiang Rencana  
 $K =$  Koefisien karakteristik tanah.  
 $= 12 \text{ t/m}^2$  untuk lempung.  
 $= 20 \text{ t/m}^2$  untuk lanau berlempung.  
 $= 25 \text{ t/m}^2$  untuk lanau berpasir.  
 $= 40 \text{ t/m}^2$  untuk pasir.  
 $A_P =$  Luasan pada ujung dasar tiang  
 $q_P =$  kekuatan pada ujung dasar tiang.  
 $\alpha =$  Koefisien Dasar Tiang  
 $= 1.00$  (Untuk Tiang Pancang / Driven Pile)  
 $= 0.85$  (Untuk Bore Pile pada Tanah Lempung Lunak)  
 $= 0.6$  (Untuk Bore Pile pada Tanah Kepadatan Sedang)  
 $= 0.5$  (Untuk Bore Pile pada Tanah Berpasir)  
 $q_S =$  Kekuatan berdasarkan gesekan lateral ( $\text{t/m}^2$ )  
 $\check{N}_S =$  Rata-rata nilai N-SPT (Sepanjang tiang tertanam), Dengan batasan:  $3 \leq N \leq 50$   
 $A_s =$  Luas selimut tiang tertanam  
 $=$  Keliling tiang x Panjang Tiang Tertanam  
 $\beta =$  Koefisien Shaft  
 $= 1.00$  (Untuk Tiang Pancang)  
 $= 0.8$  (Untuk Bore Pile pada Tanah Lempung Lunak)  
 $= 0.65$  (Untuk Bore Pile pada Tanah Kepadatan Sedang)

= 0.5 (Untuk Bore Pile pada Tanah Berpasir)

Tabel 6. 35. (Decourt & Quaersma, 1978 & Decourt et al, 1996)

Pile/Soil	Clay		Intermediate Soil		Sand	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
1. Driven Pile	1	1	1	1	1	1
2. Bored Pile	0,85	0,80	0,60	0,65	0,50	0,50
3. Injected Pile	1	3	1	3	1	3



Gambar 6. 18. Grafik Daya Dukung Pondasi Borepile

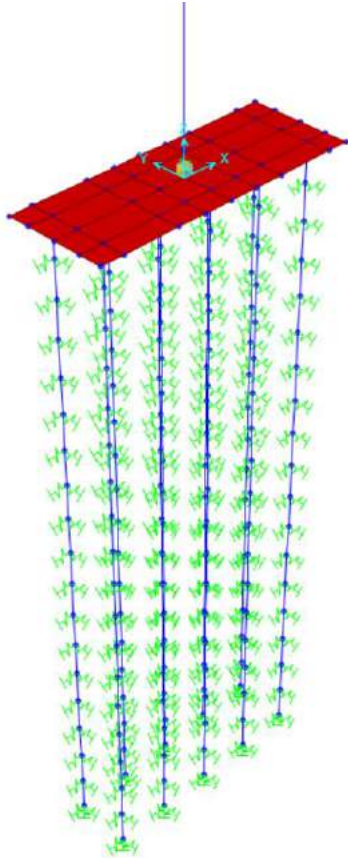
### 6.5.2. Perhitungan Konstanta Pegas Lateral Dari Lapisan Tanah

Untuk melaksanakan sebuah pemodelan lengkap dari sruktur bawah, maka konstanta pegas lateral harus

diaplikasikan pada elemen tiang pondasi. Dengan kata lain, konstanta pegas lateral dari lapisan tanah atau modulus tanah dasar diperlukan untuk memodelkan daya dukung dinamis lateral dari tanah terhadap permukaan tiang pancang. Kekakuan dari konstanta pegas lapisan tanah sangat diperlukan untuk mengevaluasi struktur khususnya pada zona gempa.

Sebagaimana diketahui, pada tugas akhir ini didapat tanah dari pengujian SPT. Di mana dari nilai “N” – SPT tersebut dapat digunakan untuk menghitung modulus tarik – tekan dari tanah,  $E_s$ , yang kemudian dapat ditransformasikan menjadi modulu lateral dari reaksi tanah dasar.

Menurut Glick (1948), penurunan dari modulus tekan – tarik dari tanah,  $E_s$ , menjadi modulus lateral dari reaksi tanah dasar, adalah sebagai berikut:



Gambar 6. 19 Permodelan Koefisien Spring pada Borepile

Tabel 6. 36. Koefisien Spring

Original Elevation (m)	Boring Depth (m)	Pile Length (m)	Pile Width (m)	SPT Value	Type of Soil	$\mu$	Es		ks' (N/m <sup>2</sup> )	ks input SAP (x & y)	
							Kpa	N/m <sup>2</sup>		N/m	kN/m
0	0	0	1.2	1							
-2	2	2	1.2	10	Lempung	0.3	4,800	4,800,000	16,286,070	39,086,568.16	39,087
-4	4	2	1.2	8	Lempung	0.3	4,200	4,200,000	14,250,311	34,200,747.14	34,201
-6	6	2	1.2	6	Lempung	0.3	3,600	3,600,000	12,214,553	29,314,926.12	29,315
-8	8	2	1.2	8	Lanau berlempung	0.3	4,200	4,200,000	14,250,311	34,200,747.14	34,201
-10	10	2	1.2	10	Lanau berlempung	0.3	4,800	4,800,000	16,286,070	39,086,568.16	39,087
-12	12	2	1.2	27	Lanau berlempung	0.3	9,900	9,900,000	33,590,020	80,616,046.84	80,616
-14	14	2	1.2	29	Lanau berlempung	0.3	10,500	10,500,000	35,625,778	85,501,867.86	85,502
-16	16	2	1.2	50	Pasir berlanau	0.3	16,800	16,800,000	57,001,245	136,802,988.58	136,803
-18	18	2	1.2	31	Pasir berlanau	0.3	11,100	11,100,000	37,661,537	90,387,688.88	90,388
-20	20	2	1.2	22	Lanau berlempung	0.3	8,400	8,400,000	28,500,623	68,401,494.29	68,401
-22	22	2	1.2	49	Lanau berlempung	0.3	16,500	16,500,000	55,983,366	134,360,078.07	134,360
-24	24	2	1.2	60	Lanau berlempung	0.3	19,800	19,800,000	67,180,039	161,232,093.68	161,232
-26	26	2	1.2	24	Lanau berlempung	0.3	9,000	9,000,000	30,536,381	73,287,315.31	73,287
-28	28	2	1.2	18	Lanau berlempung	0.3	7,200	7,200,000	24,429,105	58,629,852.25	58,630
-30	30	2	1.2	24	Lanau berpasir	0.3	9,000	9,000,000	30,536,381	73,287,315.31	73,287
-32	32	2	1.2	36	Lanau berpasir	0.3	12,600	12,600,000	42,750,934	102,602,241.43	102,602
-34	34	2	1.2	43	Lanau berpasir	0.3	14,700	14,700,000	49,876,090	119,702,615.00	119,703
-36	36	2	1.2	32	Lanau berpasir	0.3	11,400	11,400,000	38,679,416	92,830,599.39	92,831
-38	38	2	1.2	60	Lanau berpasir	0.3	19,800	19,800,000	67,180,039	161,232,093.68	161,232
-40	40	2	1.2	26	Lanau berlempung	0.3	9,600	9,600,000	32,572,140	78,173,136.33	78,173
-42	42	2	1.2	27	Lanau berlempung	0.3	9,900	9,900,000	33,590,020	80,616,046.84	80,616
-44	44	2	1.2	38	Lanau berlempung	0.3	13,200	13,200,000	44,786,693	107,488,062.45	107,488
-46	46	2	1.2	38	Lanau berlempung	0.3	13,200	13,200,000	44,786,693	107,488,062.45	107,488
-48	48	2	1.2	22	Lanau berlempung	0.3	8,400	8,400,000	28,500,623	68,401,494.29	68,401
-50	50	2	1.2	25	Lanau berlempung	0.3	9,300	9,300,000	31,554,261	75,730,225.82	75,730

Koefisien spring vertikal, ks z :

$$m = 0.3$$

$$E_s = 11,400 \text{ kPa}$$

$$k_s z = 91,506 \text{ kN/m}^3$$

Di mana:

$$k_s' = \frac{22.4 E_s (1-\mu)}{(1+\mu)(3-4\mu)[2 \ln(2 L_p/B) - 0.433]} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$k_s = \frac{k_s' t}{B} \text{ (N/m)}$$

$E_s$  = modulus tarik - tekan (kPa, N/m<sup>2</sup>) (hasil penyelidikan tanah dari nilai N – SPT menurut Bowles)

Tipe Tanah	$E_s$ (kPa)
Pasir (Konsolidasi Normal)	500 (N + 15)
Pasir (Jenuh)	250 (N + 15)
Pasir berbatu	1200 (N + 6)
Pasir kelempungan	320 (N + 15)
Lanau, Lanau kepasiran, Lanau kelempungan	300 (N + 6)



$\mu$  = poisson's ratio (berdasarkan table bowles (1977))

<b>Tipe Tanah</b>	<b><math>\mu</math></b>
Pasir Halus	0.25
Pasir Kasar	0.35
Pasir Padat	0.2 – 0.4
Lanau	0.3– 0.35
Lempung Kelanauan	0.2 – 0.3
Lempung Tidak Jenuh	0.1 – 0.3
Lempung Jenuh	0.4 – 0.5
Batu Padat	0.1 – 0.4
Batu Lepas	0.1 – 0.3

$L_p$  = panjang segmen tiang pancang per konstanta pegas, m

$B$  = lebar pancang, m

Maka dalam pemodelan struktur nantinya, elemen tiang pancang akan diberikan perletakan pegas setiap interval 2 (dua) meter hingga kedalaman rencana tiang berdasarkan titik penentuan daya dukung. Adapun untuk ujung-ujung paling dasar borepile dimodelkan dengan pegas vertikal.

### 6.5.3. Perhitungan Kelas Situs

Klasifikasi situs ditentukan untuk lapisan setebal 30 m .

Tabel 6. 37. Klasifikasi Kelas Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_i$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_i \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_i \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_i, \bar{V}_c \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_i, \bar{V}_c \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_i < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air ( $w$ ) $\geq 40\%$ , dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3$ m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

Penentuan kelas situs pada tugas akhir ini ditinjau dari besarnya nilai “N” pada data bor log.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / N}$$

Tabel 6. 38. Penentuan Kelas Situs

Elevasi Asli	Kedalaman	Ni	di	$d_i/N$
m	m		m	
0	0	1		
-2	2	10	2.0	0.2
-4	4	8	2.0	0.3
-6	6	6	2.0	0.3
-8	8	8	2.0	0.3
-10	10	10	2.0	0.2
-12	12	27	2.0	0.1
-14	14	29	2.0	0.1
-16	16	50	2.0	0.0
-18	18	31	2.0	0.1
-20	20	22	2.0	0.1
-22	22	49	2.0	0.0
-24	24	60	2.0	0.0
-26	26	24	2.0	0.1
-28	28	18	2.0	0.1
-30	30	24	2.0	0.1
$\sum_{i=1}$				1.9
$N$				15.6
Site Class				SD

#### 6.5.4. Evaluasi Kapasitas Daya Dukung Borepile

##### a. Gaya reaksi 1 tiang dan gaya reaksi group tiang

Tabel 6. 39 Gaya Reaksi Group Tiang Akibat Beban Layan dan Gempa

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	GlobalFZ		
Text	Tonf		
Allow 1 (D) A	2076.895	Allow 1 (D) D	2076.895
Allow 1 (T)	1479.478	Allow 1 (D) E	1451.225
Allow 2 (D) A	2406.449	Allow 1 (D) F	1103.627
Allow 2 (T)	1629.807	Allow 2 (D) B	1593.078
Allow 3 (EX)	<b>957.6986</b>	Allow 2 (D) C	1141.2
Allow 4 (EY)	957.6568	Allow 2 (D) D	<b>2406.449</b>
Allow 1 (D) B	1451.225	Allow 2 (D) E	1593.078
Allow 1 (D) C	1103.627	Allow 2 (D) F	1141.2

Tabel 6. 40 Gaya Reaksi Satu Tiang Akibat Beban Layan dan Beban Gempa

TABLE: Element Force - Frames			
OutputCase	P		
Text	Tonf		
Allow 1 (D) A	476.7596	Allow 1 (D) D	456.7373
Allow 2 (D) A	511.4	Allow 1 (D) E	472.892
Allow 2 (T)	404.1257	Allow 2 (D) B	557.1146
Allow 3 (EX)	<b>448.5895</b>	Allow 2 (D) C	388.3426
Allow 4 (EY)	421.8183	Allow 2 (D) D	<b>482.7406</b>
Allow 1 (D) B	511.9246	Allow 2 (D) E	506.3722
Allow 1 (D) C	382.1	Allow 2 (D) F	352.2631

## b. Kontrol Daya Dukung 1 tiang

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{maks. tekan}} &< Q_{\text{izin tekan}} \\
 482.75 \text{ ton} &< 595.9 \text{ ton} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

## c. Kontrol Daya Dukung Group Tiang Borepile

## • Data

Diameter Tiang, D	= 1.2 meter
Jumlah Tiang	= 10
Jumlah Bore per baris, n	= 5
Jumlah Baris, m	= 2
Spasi Tiang, St	= 3 meter
Q <sub>izin tekan</sub>	= 595.9 ton

## • Menghitung Koefisien Efisiensi Grup,

$$\begin{aligned}
 \text{Eff. grup} &= 1 - \theta \cdot \frac{(n-1) \cdot m_t + (m_t-1) \cdot n}{90 \cdot m_t \cdot n} \\
 &= 1 - 21.8 \cdot \frac{(5-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 4}{90 \cdot 2 \cdot 5} \\
 &= 0.69
 \end{aligned}$$

dimana :

$$\theta = \arctan \left( \frac{D}{St} \right) = \arctan \left( \frac{1.2}{3} \right) = 21.8$$

## • Menghitung daya dukung group

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{izin grup}} &= \text{Eff. grup} \times \text{jumlah tiang} \times Q_{\text{izin tekan}} \\
 &= 0.69 \times 10 \times 595.9 \\
 &= 4,082.4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

## • Kontrol Daya Dukung group

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{tekan total maks}} &< Q_{\text{izin grup}} \\
 2,406.5 \text{ ton} &< 4,082.4 \text{ ton} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

### 6.5.5. Kapasitas Material Borepile

- ❖ Gaya yang terjadi pada Bore Pile Atas

Tabel 6. 41. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Bore Pile Atas

Kom binasi	Pu	Vu 2	Vu 3	Mu 2	Mu 3
	kN	kN	kN	kNm	kNm
ENV 1	9567.8	45.1	0.6	0.95	1359.78
ENV 2	643.5	852.7	137.	635.3	1455.5
ENV 3	1314.2	268.2	454.6	2647.1	288.26
ENV 4	1314.2	268.2	454.6	2647.1	288.2
ENV 5	3892.8	30.2	4.4	14.9	1524.1

- ❖ Gaya yang terjadi pada Bore Pile Bawah

Tabel 6. 42. Reaksi Gaya yang Terjadi pada Bore Pile Bawah

Kom binasi	Pu	Vu 2	Vu 3	Mu 2	Mu 3
	kN	kN	kN	kNm	kNm
ENV 1	10070.6	0.0003	3.9	0	1.2E-18
ENV 2	3922.4	316.6	2.4	6.08	1463.71
ENV 3	7239.4	51.3	484.7	2647.0	243.87
ENV 4	1313.9	69.1	484.7	2647.06	288.26
ENV 5	3922.4	316.6	2.4	6.08	1463.7



### 6.5.6. Perhitungan Tulangan Geser Berdasarkan RSNI 2833-201X

#### Kapasitas Geser Bore Pile Sisi Atas

Tabel 6. 43 Resume Bore Pile Atas

Kom binasi	Pu	Vu 2	Vu 3	Mu 2	Mu 3
	kN	kN	kN	kNm	kNm
ENV 1	9567.8	45.1	0.6	0.95	1359.78
ENV 2	643.5	852.7	137.	635.3	1455.5
ENV 3	1314.2	268.2	454.6	2647.1	288.26
ENV 4	1314.2	268.2	454.6	2647.1	288.2
ENV 5	3892.8	30.2	4.4	14.9	1524.1

Diameter Bored Pile (D) = 1,200.00 mm

Selimit Beton = 100.00 mm

Dia. Tulangan Longitudinal (dlong) = 25.00 mm

Dia. Tulangan Geser (dlat) = 13.00 mm

Jumlah penampang inti sengkang melingkar interlocking(n)  
= 1.00

Spasi Tul. Geser (s) = 100.00 mm

Kuat tekan beton silinder (fc') = 30.00 MPa

KDS (Kategori Desain Seismik) = D

Kuat leleh baja tul. (fyh) Dia 13>> = 390.00 MPa

Kuat leleh baja tul. (fyh) Dia 13<< = 390.00 MPa

#### **Kapasitas Geser Beton**

Diameter inti kolom dari pusat sengkang melingkar (D')

$$= D - (2 \times d') - (2 \times (0.5 \times dlat))$$

$$= 1200.00 - (2 \times 100) - (2 \times (0.5 \times 13.00))$$

$$= 987.00 \text{ mm}$$

Luas tulangan spiral/melingkar (Asp)



$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times dlat^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13.00 \text{ mm}^2 \\
 &= 132.73 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan geser ( $\rho_s \text{ req.} = 4 \text{ Asp}/(sD')$ )

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4 \times \text{Asp}}{s \times D'} \\
 &= \frac{4 \times 132.73 \text{ mm}^2}{100 \times 987.00 \text{ mm}} \\
 &= 0.0054
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan geser minimum ( $\rho_s \text{ min}$ ) (untuk KDS D)

$$= 0,005$$

Rasio tulangan geser yang digunakan ( $\rho_s$ )

$$= D = 0.0054$$

$f_s$  (min. dari  $f_s = \rho_s \cdot f_{yh}$  atau  $f_s = 2.41$ )

$$\begin{aligned}
 &= \rho_s \times f_{yh} \\
 &= 0,0054 \times 390 \\
 &= 2,10
 \end{aligned}$$

Rasio daktilitas simpangan lokal maksimum elemen,  $\mu_D$   
(pasal 10.6.2)

$$= -$$

Rasio daktilitas simpangan lokal maksimum elemen,  $\mu_D$   
(untuk KDS D)

$$\begin{aligned}
 &= 1.00 + 3.00 \\
 &= 4.00
 \end{aligned}$$

Faktor penyesuaian tegangan geser beton ( $\alpha' = f_s/1.03 + 3.67 - \mu_D$ )

$$\begin{aligned}
 &= \frac{f_s}{1.03} + 3.67 - \mu_D \\
 &= \frac{2.10}{1.03} + 3.67 - 4.00 \\
 &= 1.71
 \end{aligned}$$

Luas penampang gross ( $A_g$ )

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 1200.00 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,130,973.36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$V_c$  diambil terkecil dari  $v_c = 0.084 \alpha (1 + P_u / (2A_g)) f'_c^{0.5}$  ;  
 $0.29 f'_c^{0.5}$  dan  $0.124 f'_c^{0.5}$

$$= 0,68 \text{ N/mm}^2$$

Luas penampang efektif ( $A_e = 0.8 A_g$ )

$$\begin{aligned}
 &= 0.8 \times 1,130,973.36 \text{ mm}^2 \\
 &= 904,778.68 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kapasitas Geser Beton ( $V_c = v_c \cdot A_e$ )

$$\begin{aligned}
 &= V_c \times A_g \\
 &= 0.68 \text{ N/mm}^2 \times 904,778.68 \text{ mm}^2 : 1000 \\
 &= 614.50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### **Kapasitas Tulangan Geser**

Kapasitas geser tulangan lateral ( $V_s$ )

$$\begin{aligned}
 V_s &= \pi/2 \times (n \cdot A_{sp} \cdot f_y \cdot D/s) \\
 &= \pi/2 \times (1 \times 132,73 \times 390 \times 13/100) \\
 &= 802,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kuat geser maksimum ( $V_{maks}$ )

$$\begin{aligned}
 V_{maks} &= 0,658 \times f'_c^{0.5} \times A_e \\
 &= 0,658 \times 30^{0.5} \times 904778,68 \\
 &= 3,260.84 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas geser tulangan yang digunakan

$$= 802.56 \text{ kN}$$

### **Kapasitas Tulangan Nominal**

Kapasitas geser nominal ( $V_n$ )

$$\begin{aligned}
 &= V_c + V_s \\
 &= 614.50 \text{ kN} + 802.56 \text{ kN} \\
 &= 1,417.07 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Faktor reduksi Geser ( $\phi_s$ )  
 $= 0.70$

Kapasitas Geser Ultimate ( $\phi V_n$ )  
 $= V_n \times \phi_s$   
 $= 1,417.07 \text{ kN} \times 0.70$   
 $= 991.95 \text{ kN}$

Kontrol  $= \max V_u < \phi V_n$   
 $= 852.7 \text{ kN} < 991.95 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$

### Kapasitas Geser Bore Pile Sisi Bawah

#### Resume Bore Pile Bawah

Kom binasi	Pu	Vu 2	Vu 3	Mu 2	Mu 3
	kN	kN	kN	kNm	kNm
ENV 1	10070.6	0.0003	3.9	0	1.2E-18
ENV 2	3922.4	316.6	2.4	6.08	1463.71
ENV 3	7239.4	51.3	484.7	2647.0	243.87
ENV 4	1313.9	69.1	484.7	2647.06	288.26
ENV 5	3922.4	316.6	2.4	6.08	1463.7

Diameter Bored Pile (D)  $= 1,200.00 \text{ mm}$   
 Selimut Beton  $= 100.00 \text{ mm}$   
 Dia. Tulangan Longitudinal (dlong)  $= 25.00 \text{ mm}$   
 Dia. Tulangan Geser (dlat)  $= 13.00 \text{ mm}$   
 Jumlah penampang inti sengkang melingkar  
 interlocking(n)  
 $= 1.00$   
 Spasi Tul. Geser (s)  $= 200.00 \text{ mm}$   
 Kuat tekan beton silinder (fc')  $= 30.00 \text{ MPa}$

Gaya aksial ultimate ( $P_u$ ), diambil yang terkecil

=

1313.98

KDS (Kategori Desain Seismik) = D

Kuat leleh baja tul. (fyh) Dia 13>> = 390.00 MPa

Kuat leleh baja tul. (fyh) Dia 13<< = 390.00 Mpa

### **Kapasitas Geser Beton**

Diameter inti kolom dari pusat sengkang melingkar ( $D'$ )

$$= D - (2 \times d') - (2 \times (0.5 \times dlat))$$

$$= 1200.00 - (2 \times 100) - (2 \times (0.5 \times 13.00))$$

$$= 987.00 \text{ mm}$$

Luas tulangan spiral/melingkar (Asp)

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times dlat^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 13.00 \text{ mm}^2$$

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

Rasio tulangan geser ( $\rho_s \text{ req.} = 4 \text{ Asp}/(sD')$ )

$$= \frac{4 \times \text{Asp}}{s \times D'}$$

$$= \frac{4 \times 132.73 \text{ mm}^2}{200 \times 987.00 \text{ mm}}$$

$$= 0.0027$$

Rasio tulangan geser minimum ( $\rho_s \text{ min}$ ) (untuk KDS D)

$$= 0,005$$

Rasio tulangan geser yang digunakan ( $\rho_s$ )

$$= D = 0.0050$$

$f_s$  (min. dari  $f_s = \rho_s \cdot f_{yh}$  atau  $f_s = 2.41$ )

$$= \rho_s \times f_{yh}$$

$$= 0,0027 \times 390$$

$$= 1,05$$

Rasio daktilitas simpangan lokal maksimum elemen,  $\mu_D$

(pasal 10.6.2)

= -

Rasio daktilitas simpangan lokal maksimum elemen,  $\mu D$   
(untuk KDS D)

$$= 1.00 + 3.00$$

$$= 4.00$$

Faktor penyesuaian tegangan geser beton ( $\alpha' = fs/1.03 + 3.67 - \mu D$ )

$$= \frac{fs}{1.03} + 3.67 - \mu D$$

$$= \frac{1.05}{1.03} + 3.67 - 4.00$$

$$= 0.69$$

Luas penampang gross ( $A_g$ )

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1200.00 \text{ mm}^2$$

$$= 1,130,973.36 \text{ mm}^2$$

$V_c$  diambil terkecil dari  $vc=0.084 \alpha (1 + Pu/(2A_g)) f'c^{0.5}$  ;  
 $0.29 f'c^{0.5}$  dan  $0.124 f'c^{0.5}$

$$= 0,5 \text{ N/mm}^2$$

Luas penampang efektif ( $A_e = 0.8 A_g$ )

$$= 0.8 \times 1,130,973.36 \text{ mm}^2$$

$$= 904,778.68 \text{ mm}^2$$

Kapasitas Geser Beton ( $V_c = vc \cdot A_e$ )

$$= V_c \times A_e$$

$$= 0.5 \text{ N/mm}^2 \times 904,778.68 \text{ mm}^2 : 1000$$

$$= 453.03 \text{ kN}$$

### Kapasitas Tulangan Geser

Kapasitas geser tulangan lateral ( $V_s$ )

$$V_s = \pi/2 \times (n \text{ Asp } f_{yh} D'/s)$$

$$= \pi/2 \times (1 \times 132,73 \times 390 \times 13/200)$$

$$= 401,28 \text{ kN}$$

Kuat geser maksimum (V maks)

$$\begin{aligned} V_{\text{maks}} &= 0,658 \times f'c^{0.5} \times Ae \\ &= 0,658 \times 30^{0.5} \times 904778,68 \\ &= 3,260.84 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas geser tulangan yang digunakan

$$= 401.28 \text{ kN}$$

### **Kapasitas Tulangan Nominal**

Kapasitas geser tulangan nominal

$$\begin{aligned} &= V_c + V_s \\ &= 453.1 \text{ kN} + 401.28 \text{ kN} \\ &= 854.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor reduksi Geser ( $\phi_s$ )

$$= 0.70 \text{ kN}$$

Kapasitas Geser Ultimate ( $\phi V_n$ )

$$\begin{aligned} &= V_n \times \phi_s \\ &= 854.31 \text{ kN} \times 0.70 \text{ kN} \\ &= 598.02 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &= \max V_u < \phi V_n \\ &= 484.7 \text{ kN} < 481.49 \text{ kN} \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB VII PENUTUP**

### **7.1. Kesimpulan**

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perencanaan Elevated Bridge pada Ruas Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Menggunakan Segmental Concrete Box Girder dengan Metode Balanced Cantilever” ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Detail dan hasil desain elemen struktur atas adalah sebagai berikut :

**a. Parapet**

Tebal	: 0.2 m
Tinggi	: 1.1 m
Tulangan lentur	: D13 - 150
Tulangan bagi	: D10 - 200

**b. Girder**

Tipe box girder	: Segmental concrete box girder
Tinggi	: 2700 mm
Lebar	: 3780 mm
Tulangan Utama	
- Flens Atas	: Tul. Utama D25-200, Tul. Bagi D16-200
- Flens Bawah	: Tul. Utama D25-200, Tul. Bagi D10-200
- Flens Tegak	: Tul. Utama D25-200, Tul. Bagi D13-200
Tulangan Geser	: 4D16-200
Rencana Tendon	:
- S2 & S2L	- 12 Strands
- S3 & S3L	- 12 Strands
- S4 & S4L	- 14 Strands
- S5 & S5L	- 18 Strands
- S6 & S6L	- 20 Strands
- S7 & S7L	- 23 Strands



- S8 & S8L – 26 Strands
- S9 & S9L – 26 Strands

**c. Perletakan**

- Jensi Perletakan :
- Fixed Pot Bearing
  - Angkur Box Girder (Monolid) 4 x T4-0,6”

2. Detail penulangan elemen struktur bawah adalah sebagai berikut:

**a. Kolom Pilar :**

- *Tulangan Longitudinal* →

Pilar segmen tengah & sendi plastis : 92 D32

*Tulangan Transversal* →

**Segmen Atas**

Sengkang Arah X & Y : 6D16 – 150

**Segmen Sendi Plastis**

Sengkang Arah X & Y : 10D16 – 150

**b. Balok Pier Head**

- Tipe balok pier head : prestress  
 Jumlah tendon : 14 buah (14 x T19-0,6”)  
 Jumlah tendon angkur : 12 buah (12 x T35-0,6”)

**c. Pile Cap :**

- Tebal : 2500 mm
- Arah X (pendek)
  - D32 – 150 (2 layer) bagian awah
  - D32 – 150 pada sisi atas
- Arah Y (panjang)
  - D32 – 200 (2 layer) bagian awah
  - D32 – 200 pada sisi atas

**d. Pondasi :**

- a. Dimensi Tiang : 1200 mm
- b. Jumlah Tiang : 10 buah (2 x 5)
- c. Kedalaman Tiang : 36 meter

- d. Tulangan Long. Bore Pile :
  - Segmen Atas : 28 D25 (0 – 2 m)
  - Segmen Bawah : 24 D25 (2 – 36 m)
- e. Tul. Geser Borepile :
  - Segmen Atas : D13 - 100 (0 – 2 m)
  - Segmen Bawah : D13 – 200 (2 – 36 m)

3. Pada informasi data yang didapat, perencanaan awal proyek *elevated bridge* pada ruas Jalan Tol Jakarta – Cikampek II ini menggunakan *steel box girder* dengan panjang bentang 60 m. Sedangkan pada tugas akhir ini, bentang jembatan direncanakan dengan panjang 45 m sehingga selisih dari perubahan perencanaan *elevated bridge* pada tugas akhir ini sebesar 15 m. Dan dapat disimpulkan bahwa penggunaan *steel box girder* lebih efektif karena pier yang direncanakan jumlahnya lebih sedikit. Namun dari segi ketahanan, penggunaan *segmental concrete box girder* dapat dijadikan alternatif perencanaan jembatan yang tahan terhadap suhu, karat, dll. Sehingga untuk biaya perawatannya lebih murah dibandingkan menggunakan *steel box girder*.

## 7.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dalam Tugas Akhir ini meliputi :

1. Perencanaan jembatan menggunakan metode *balanced cantilever* sebaiknya direncanakan jembatan dengan karakter *non-prismatic* sebab reaksi gaya yang terjadi pada tengah bentang akan lebih kecil dibandingkan jembatan dengan karakter *prismatic*. Sehingga jembatan dengan karakter *non-prismatic* dapat direncanakan bentang jembatan yang lebih panjang dibandingkan *prismatic*.
2. Penggunaan metode *balanced cantilever* merupakan metode yang efektif pada jembatan *prismatic* maupun *non-prismatic*. Dan juga efektif untuk pelaksanaan di lapangan dimana kondisi di bawahnya terdapat lalu lintas yang padat.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (2012) “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications”  
American Association of State Highway and Transportation  
Officials Washington, D.C
- Nasional, B. S. (2016). Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725-2016).  
Jakarta: BSNI.
- BSN. (201X). RSNI 2833: 201X Perancangan jembatan terhadap beban  
gempa. Badan Standar Nasional.
- Nasional, B. S. (2004). SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk  
Jembatan.
- Nasional, B. S. (2005) RSNI T-03- 2005 Perencanaan Struktur Baja untuk  
Jembatan.
- Chen, Wai-Fah and Duan Lian. 2014. Bridge Engineering Handbook  
Superstructure Design
- Vanessa, 2017. Modifikasi Perencanaan Struktur Flyover Menggunakan  
Segmental Box Girder Dengan Metod Span By Span Proyek  
Jalan Tol Bekasi – Cawang – Kampung Melayu ( Section 1C.
- Libby, James R. 1984. Modern Prestressed Concrete :Design, Principles,  
Lin, T.Y., dan Burns. N.H. 2000. Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1.  
Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Lin, T.Y., dan Burns. N.H. 2000. Desain Struktur Beton Prategang Jilid 2.  
Jakarta : Penerbit Erlangga.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



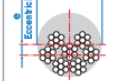
Muhammad Rayendra,

Penulis dilahirkan di Surabaya 26 Agustus 1993, merupakan anak kedua dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Bhayangkari (Surabaya), SDN 4 Simomulyo (Surabaya), SDN 1 Sidorejo (Pangkalan Bun), SMP Negeri 1 Arut Selatan (Pangkalan Bun), SMA Negeri 1 Pangkalan Bun (Pangkalan Bun). Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Pangkalan Bun tahun 2012, Penulis mengikuti program pendidikan Bahasa Inggris Diploma 1 di Genta (Pare, Kediri). Setelah lulus, penulis mengikuti ujian masuk Diploma ITS dan

diterima di Jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113 030 113. Di jurusan Diploma III Teknik Sipil penulis mengambil bidang studi Bangunan Transportasi. Penulis sempat mengikuti magang kerja di “Proyek Tol Surabaya-Mojokerto Seksi IV, PT. WIKA Persero Tbk” pada tahun 2015. Penulis pernah aktif di Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) sebagai staff di departemen Pendidikan dan Kesehatan (PenKes) periode 2014-2015. Kemudian setelah lulus dari Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS, penulis mengikuti ujian masuk Program S1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS dan diterima di Program S1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 03111 645 000 031. Untuk pertanyaan mengenai Tugas Akhir dapat menghubungi penulis via email : [muhammadrayendra@gmail.com](mailto:muhammadrayendra@gmail.com).



Unit	Strands numbers	Steel area		Breaking load			Corrugated steel duct <sup>1)</sup> (recommended)	Corrugated plastic duct VSL PT-PLUS <sup>®</sup>	Steel pipes						
		Ap acc. to prEN		ASTM	Y1860S7 (prEN)					Grade 270 (ASTM)	Ø i / Ø e	e	Ø i / Ø e	e	Ø ext. x t
		d=15.3 mm	d=15.7 mm	d=15.24 mm	d=15.3 mm	d=15.7 mm				d=15.24 mm					
		Ap=140 mm <sup>2</sup>	Ap=150 mm <sup>2</sup>	Ap=140 mm <sup>2</sup>	Ap=150 mm <sup>2</sup>	Ap=150 mm <sup>2</sup>				Ap=140 mm <sup>2</sup>					
[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]						
6-1	1	140	150	140	260	279	260.7	25/30	5	22/25	4	25.0 x 2.0			
6-2	2	280	300	280	520	558	521	40/45	9	76/25 <sup>2)</sup>	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0			
6-3	3	420	450	420	780	837	782	40/45	6	76/25 <sup>2)</sup>	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0			
6-4	4	560	600	560	1040	1116	1043	45/50 <sup>3)</sup>	7	76/25 <sup>2)</sup>	-	48.3 x 2.0/2.5/3.0			
6-7	5	700	750	700	1300	1395	1304	50/57	8	58/63	13	76.1 x 2.0/2.5/3.0			
6-8	6	840	900	840	1550	1674	1564	55/62	9	58/63	11	76.1 x 2.0/2.5/3.0			
6-7	7	980	1050	980	1820	1953	1825	55/62	7	58/63	9	76.1 x 2.0/2.5/3.0			
6-12	8	1120	1200	1120	2080	2232	2086	65/72	11	76/81	18	80.0 x 2.0/ 2.5			
6-12	9	1260	1350	1260	2340	2511	2346	65/72	9	76/81	16	80.0 x 2.0/ 2.5			
6-12	10	1400	1500	1400	2600	2790	2607	70/77	11	76/81	15	80.0 x 2.0/ 2.5			
6-12	11	1540	1650	1540	2860	3069	2868	70/77	9	76/81	13	80.0 x 2.0/ 2.5			
6-12	12	1680	1800	1680	3120	3348	3128	75/82	11	76/81	12	80.0 x 2.0/ 2.5			
6-15	13	1820	1950	1820	3380	3627	3389	80/87	13	100/106	25	101.6 x 3.0/4.0/5.0			
6-15	14	1960	2100	1960	3640	3906	3650	80/87	11	100/106	24	101.6 x 3.0/4.0/5.0			
6-15	15	2100	2250	2100	3900	4185	3911	80/87	10	100/106	23	101.6 x 3.0/4.0/5.0			
6-19	16	2240	2400	2240	4160	4464	4171	85/92	12	100/106	22	101.6 x 3.0/4.0/5.0			
6-19	17	2380	2550	2380	4420	4743	4432	85/92	11	100/106	20	101.6 x 3.0/4.0/5.0			
6-19	18	2520	2700	2520	4680	5022	4693	90/97	13	100/106	19	101.6 x 3.0/4.0/5.0			
6-19	19	2660	2850	2660	4940	5301	4953	90/97	12	100/106	18	101.6 x 3.0/4.0/5.0			
6-22	20	2800	3000	2800	5200	5580	5214	100/107	17	100/106	17	114.3 x 3.0/4.0/5.0			
6-22	21	2940	3150	2940	5460	5859	5475	100/107	16	100/106	16	114.3 x 3.0/4.0/5.0			
6-22	22	3080	3300	3080	5720	6138	5735	100/107	15	100/106	15	114.3 x 3.0/4.0/5.0			
6-27	23	3220	3450	3220	5980	6417	5996	100/107	14	115/121	22	114.3 x 3.0/4.0/5.0			
6-27	24	3360	3600	3360	6240	6696	6257	100/107	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	130/136	27	127.0 x 3.0/4.0/5.0			
6-31	29	4060	4350	4060	7540	8091	7560	120/127	21	130/136	27	127.0 x 3.0/4.0/5.0			
6-31	30	4200	4500	4200	7800	8370	7821	120/127	20	130/136	26	127.0 x 3.0/4.0/5.0			
6-31	31	4340	4650	4340	8060	8649	8082	120/127	19	130/136	25	127.0 x 3.0/4.0/5.0			
6-37	32	4480	4800	4480	8320	8928	8342	120/127	18	130/136	24	139.7 x 3.0/4.0			
6-37	33	4620	4950	4620	8580	9207	8603	120/127	17	130/136	23	139.7 x 3.0/4.0			
6-37	34	4760	5100	4760	8840	9486	8864	120/127	16	130/136	22	139.7 x 3.0/4.0			
6-37	35	4900	5250	4900	9100	9765	9125	130/137	22	130/136	22	139.7 x 3.0/4.0			
6-37	36	5040	5400	5040	9360	10044	9385	130/137	21	130/136	21	139.7 x 3.0/4.0			
6-43	37	5180	5550	5180	9620	10323	9646	130/137	20	130/136	20	139.7 x 3.0/4.0			
6-43	43	6020	6450	6020	11180	11997	11210	140/147	21	150/157	27	152.4 x 3.0/4.0/5.0			
6-55	55	7700	8250	7700	14300	15345	14339	160/167	26	150/157	21	168.3 x 3.0/4.0			



- 1) Flat ducts possible as well
- 2) Flat duct PP-PLUS<sup>®</sup> with rectangular slab anchorages, for PP-PLUS<sup>®</sup> see also under 3.1.2.
- 3) If flat ducts (slab or PP-PLUS<sup>®</sup>) to be used with square type castings please contact your VSL representative. In plan view, tendons with slab type anchorages must be straight between anchorages or have only unidirectional turns with min. radii of > 6 m. Strands must always be pushed-in prior to concreting. Eccentricity e: negligible
- 4) Given values may slightly vary depending on local availability of ducts. They are minimal for most applications. For special cases (long tendons, many curvatures, small radii etc.) greater size duct is recommended – please verify with VSL. In any case the filling ratio (cross-section steel / duct) must not exceed 0.5 (EN523).
- 5) Please check with the nearest VSL office for the complete anchorage list.

Strand type	prEN 10138 – 3 (2006)			ASTM A 416-06 Grade 270
	Y1860S7			
Nominal diameter	d (mm)	15.3	15.7	15.24
Nominal cross section	Ap (mm <sup>2</sup> )	140	150	140
Nominal mass	M (kg/m)	1.093	1.172	1.102
Nominal yield strength	f <sub>p0.1k</sub> (MPa)	1636 <sup>1)</sup>	1640 <sup>1)</sup>	1676 <sup>1)</sup>
Nominal tensile strength	f <sub>pk</sub> (MPa)	1860	1860	1860
Specif./min. breaking load	F <sub>pk</sub> (kN)	260	279	260.7
Young's modulus	(GPa)	approx. 195		
Relaxation <sup>2)</sup> after 1000 h at 20°C and 0.7 x F <sub>pk</sub>	(%)	max. 2.5		

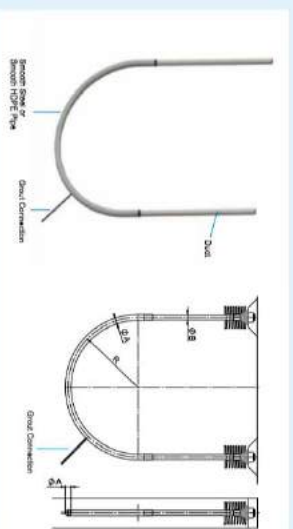
- 1) Characteristic value measured at 0.1% permanent extension
- 2) Minimum load at 1% extension for low-relaxation strand
- 3) Valid for relaxation class acc. to prEN 10138-3 or low-relaxation grade acc. to ASTM A 416-06



## Multistrand Post-Tensioning System

### Internal Bonded Post-Tensioning

#### DEAD END ANCHORAGE TYPE L



Unit	For strands with $F_p = 250 / 1 / 252 \text{ kN}$				For strands with $F_p = 279 \text{ kN}$			
	$\phi_A$	$\phi_B$	$\phi_{max}$	$\phi_{min}$	$\phi_A$	$\phi_B$	$\phi_{max}$	$\phi_{min}$
6-2	40/52	46/50	52/52	52/52	40/52	46/50	52/52	52/52
6-3	40/52	46/50	52/52	52/52	40/52	46/50	52/52	52/52
6-4	46/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
6-5	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
6-7	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
6-8	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
6-9	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
6-10	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
6-11	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
6-12	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50

#### Notes

All dimensions in mm.  
System applies to strands with  $A_p = 140 \text{ mm}^2$  or  $A_p = 150 \text{ mm}^2$ .  
System can be used with longitudinal steel duct or with PTFE duct.  
For other areas contact VSL.

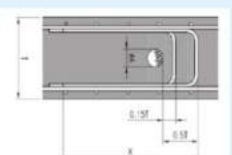
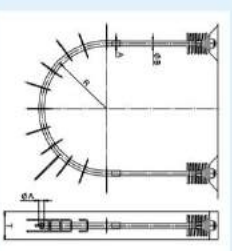
Dead End Type L  
Anchor Type L: STRAND POST-TENSIONING SYSTEM

## Multistrand Post-Tensioning System

### Internal Bonded Post-Tensioning

#### ANCHORAGE TYPE L 0.6 (Strand $F_p = 260 / 265 / 279 \text{ kN}$ )

#### LOCAL ZONE REINFORCEMENT $f_{yk} = 390 \text{ N/mm}^2$



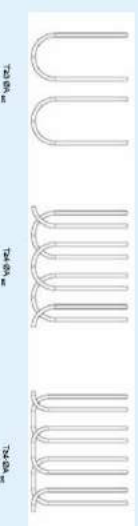
Required cross-sectional area of tendon based on anchorage is an intermediate anchorage ( $\alpha = 16$ ) of a  $P_0$  anchored strand anchor with  $\alpha = 50\% \cdot \eta \cdot \gamma$ .

$$A_{p,1} = A_p \cdot \gamma$$

Symbol	Unit	Description
$A_p$	$\text{mm}^2$	cross-sectional area of one tendon; see number of strands; see
$\gamma$	[-]	number of strands; see
$\eta$	[-]	Partial safety factor for tendon
$\alpha$	[-]	Partial safety factor for steel
$\eta$	[-]	Concrete thickness
$\gamma$	[-]	Required anchorage length according to applicable standard
$\eta$	[-]	Yield strength of tendon based on $260 \text{ N/mm}^2$

Min. required concrete strength  $f_{c,req} = 1.4 \cdot \alpha \cdot A_{p,1} / (b \cdot d)$  at face of casting.  
Concrete size  $d$  to steel shall not be less than the nominal diameter of the strand.

Arrangement of multiple anchorages depending on available concrete thickness



Anchor Type L  
Anchor Type L: STRAND POST-TENSIONING SYSTEM Page 24

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN**  
**PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR**  
**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK - ITS**

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN**  
**SEMINAR DAN LISAN**  
**TUGAS AKHIR**

Pada hari ini **Senin tanggal 16 Juli 2018** jam **09.00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

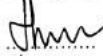

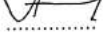
NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000031	Muhammad Rayendra	Perencanaan Elevated Bridge pada Ruas Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Menggunakan Segmental Concrete Box Girder dengan Metode Balanced Cantilever

Dengan Hasil :

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- 1) Tanda  $\ominus$  pd. gaya geser dihapus.
- 2) Gaya Ash dicek. 3)  $\phi$  tdk lencur.
- 4) Jarak (geser).
- 5) Keterangan pd. Gambar: Cl dll!
- 6) Keterangan Gambar Beamif pd. Cek Keterangan -  
pd. Perbaikan Gambar
- 7) Informasi perubahaan box beton ke ff. sebelumnya  
baji
- 8) Cek masalah confinement/perampangan beton

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Harun Al Rasyid, ST. MT	
Bumbang Piscesa, ST. MT. PhD	
Candra Irawan, ST. MT	

Surabaya, 16 Juli 2018  
 Dosen Pembimbing 1  
 (Ketua)

**Ir. Mudji Irmawan, MS**

Dosen Pembimbing 2  
 (Sekretaris)

**Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS**

Dosen Pembimbing 3  
 (Sekretaris)



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Murni, MS.
NAMA MAHASISWA	: Muhammad Rayenda
NRP	: 03111645000031
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Elevated Bridge pada ruas Jalan Tol Jakarta - Cikampek II Menggunakan Segmental Concrete Box Girder dengan Metode Balanced Cantilever
TANGGAL PROPOSAL	: 24 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 028813 / IT2.VI.4.1 / PP.05.02.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	20/1/2018	- Preliminary Design - Pembatasan Struktur	- lanjut ke permodelan - pile cap R=1.5	
2	28/1/2018	- Permodelan - Box Girder (Tendon Kontilever) - Box Girder (Tendon Menaras)	- Perletakan Jepit-jepit - Tambahkan Anykur pada box ditambahkan potongan tempak atas pier head	
3	22/1/2018	- Bangunan Akras - Bangunan Bawah - Gambar	- lengkap gambar pada anykur Box girder <del>- Tambahkan pengelasan</del> <del>gambar spring bar pile</del> <del>pada SAP</del> - Tambahkan keterangan gambar yang menjelaskan katal spring pada bar pile	



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

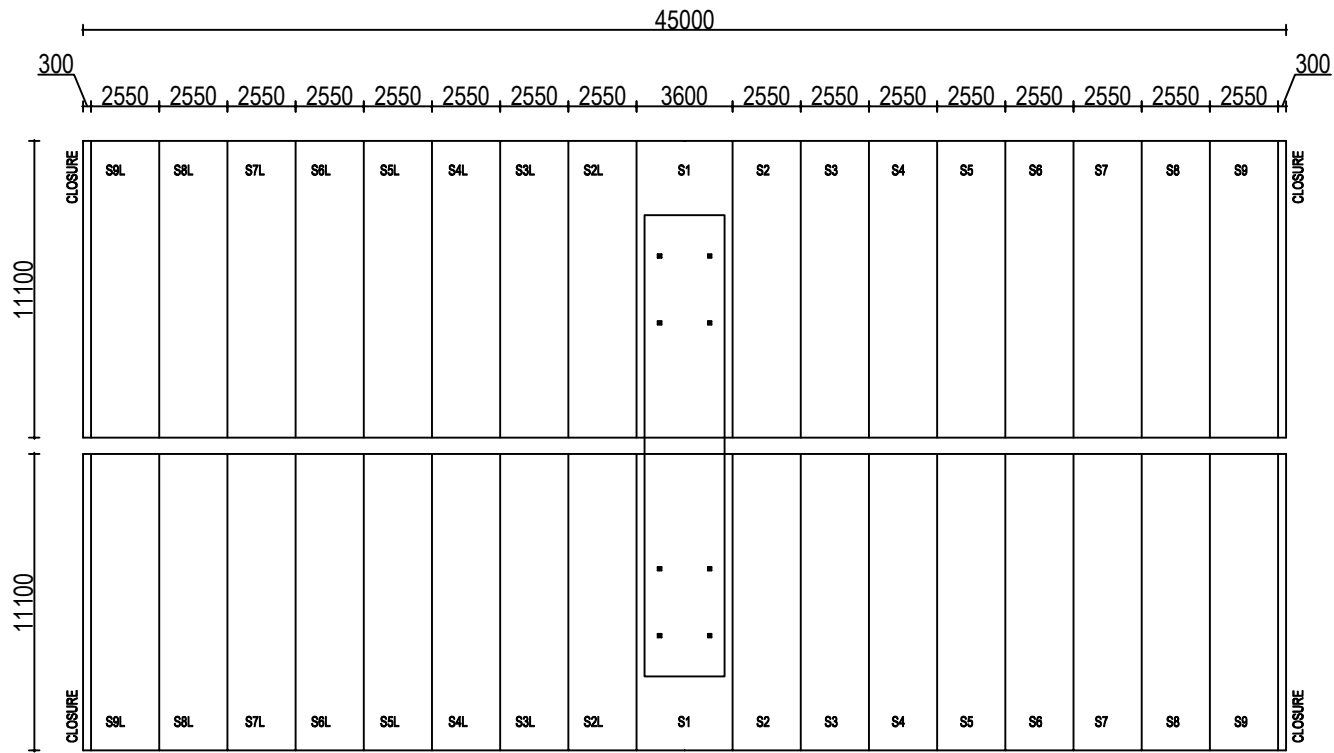
Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284




NAMA PEMBIMBING	: Ir. Mudji Irmawan, MS
NAMA MAHASISWA	: Muhammad Rayendra
NRP	: 03111645000031
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Elevated Bridge pada Rues Jalan Tol Jakarta - Cikampek II Menggunakan Segmental Concrete Box Girder dengan Metode Balok cast in situ
TANGGAL PROPOSAL	: 24 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 020813 / IT2.VJ.4.1 / PP 05.02.00 / 2018

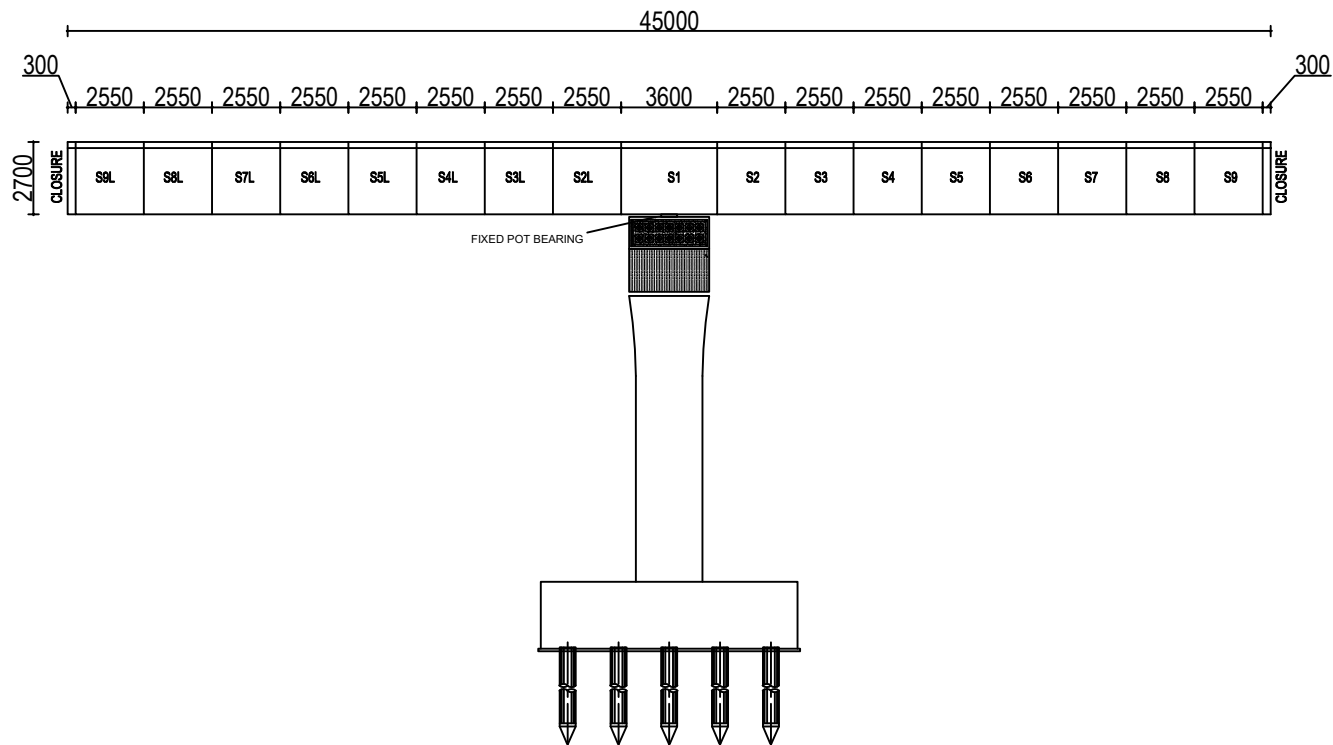
NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	12/5/2018	Pengukuran Atas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diubah menjadi continuous beam</li> <li>- diubah menjadi 3 spans</li> <li>- RSMI Genpro 2018</li> </ul>	PM
2	23/6/2018	Continuous Beam (Tendon minors) Tendon kantilever Pier head	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gambar dilengkapi</li> <li>- Section pier head tumpak atas</li> <li>- hanya 1 span untuk permedebn</li> </ul>	PR
3	10/6/2018	Pier head	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lengkapi gambar</li> <li>- Cek kehilangan protektif</li> </ul>	PM
4	23/6/2018	Pengukuran balok	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanpa Continuous beam (hanya tendon kantilever)</li> <li>- Kolom di divide jadi 2 segmen (tulang kolom)</li> <li>- tulangan pile cap dibuat beda tulangan arah X dan tulangan arah Y</li> <li>- upser spans pile cap dihitung.</li> </ul>	PR

DRAWING LIST	NO. GAMBAR
TAMPAK ATAS ELEVATED BRIDGE	1
POTONGAN MEMANJANG ELEVATED BRIDGE	2
POTONGAN MELINTANG ELEVATED BRIDGE	3
DETAIL CONCRETE BOX GIRDER	4
MET. BALANCED CANTILEVER DGN LAUNCHING GANTRY	5
DENAH TENDON KANTILEVER	6
DETAIL BOX GIRDER S1, S2 & S2L	7
DETAIL BOX GIRDER S3, S3L, S4 & S4L	8
DETAIL BOX GIRDER S5, S5L, S6 & S6L	9
DETAIL BOX GIRDER S7, S7L, S8 & S8L	10
DETAIL BOX GIRDER S9 & S9L	11
DETAIL TULANGAN BOX GIRDER	12
TULANGAN GESER BOX GIRDER	13
DETAIL ANGKUR PADA BOX GIRDER	14
POTONGAN B-B (ANGKUR BOX GIRDER)	15
DETAIL CROSS SECTION TENDON PADA PIER HEAD	16
DETAIL LAYOUT TOP TENDON PADA PIER HEAD	17
DETAIL PENULANGAN PIER HEAD	18
PENULANGAN PIER	19
DENAH PILE CAP	20
PENULANGAN BORED PILE	21




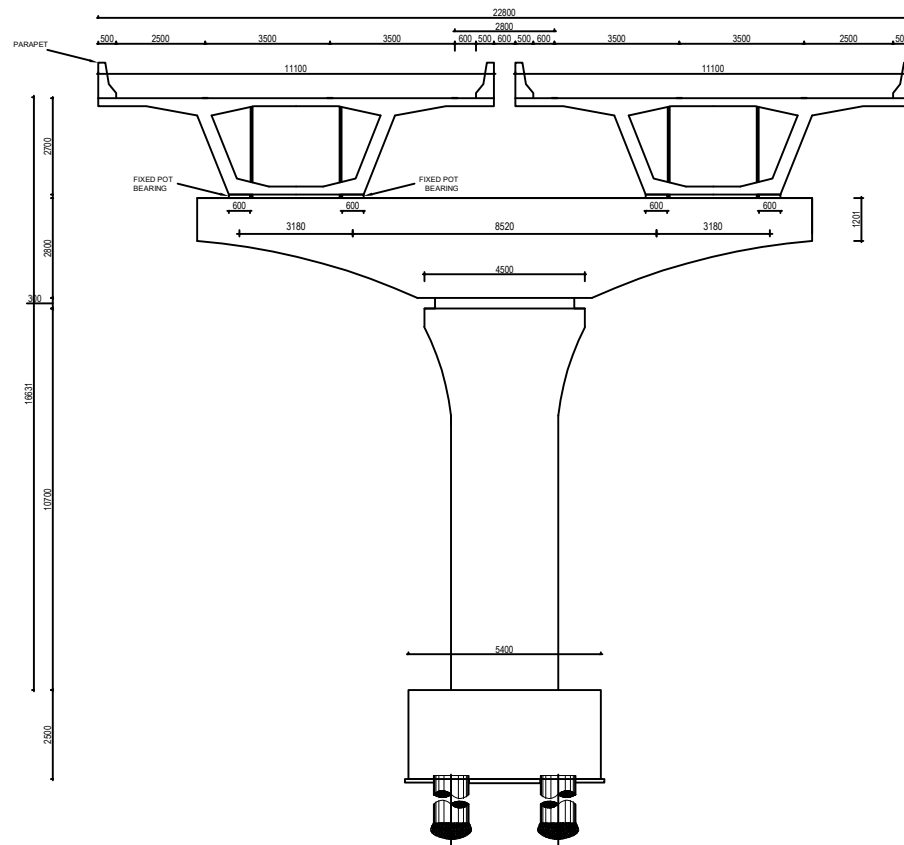
 **TAMPAK ATAS ELEVATED BRIDGE**  
SKALA 1:200

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	TAMPAK ATAS ELEVATED BRIDGE	1 : 200	1	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					



 **POTONGAN MEMANJANG ELEVATED BRIDGE**  
SKALA 1:200

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	POTONGAN MEMANJANG ELEVATED BRIDGE	1 : 200	2	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					

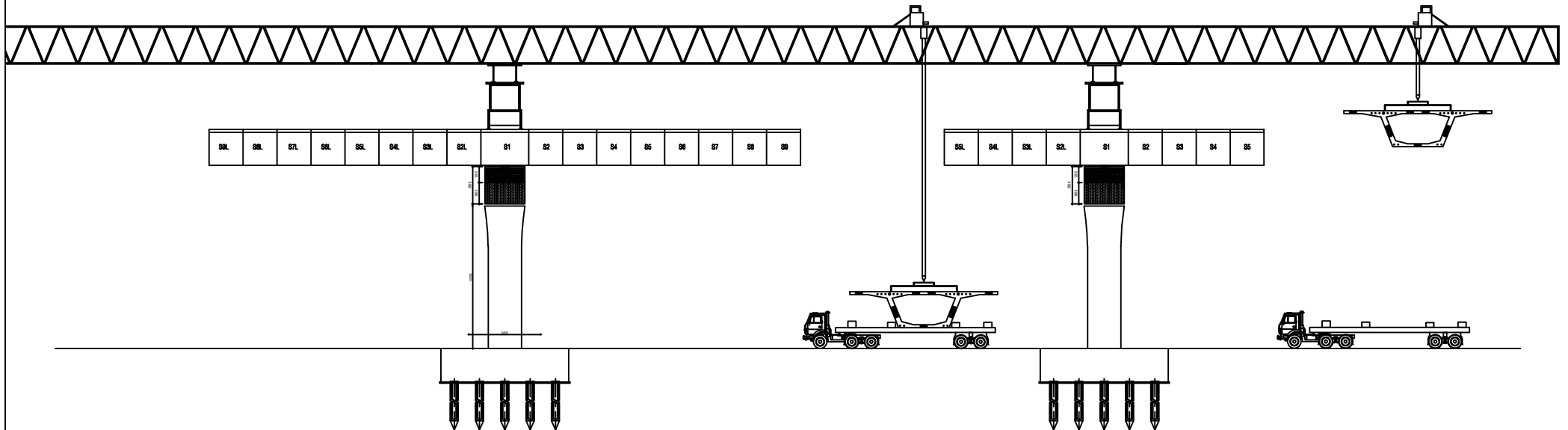


**POTONGAN MELINTANG ELEVATED BRIDGE**  
 SKALA 1:150

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	POTONGAN MELINTANG ELEVATED BRIDGE	1 : 150	3	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					

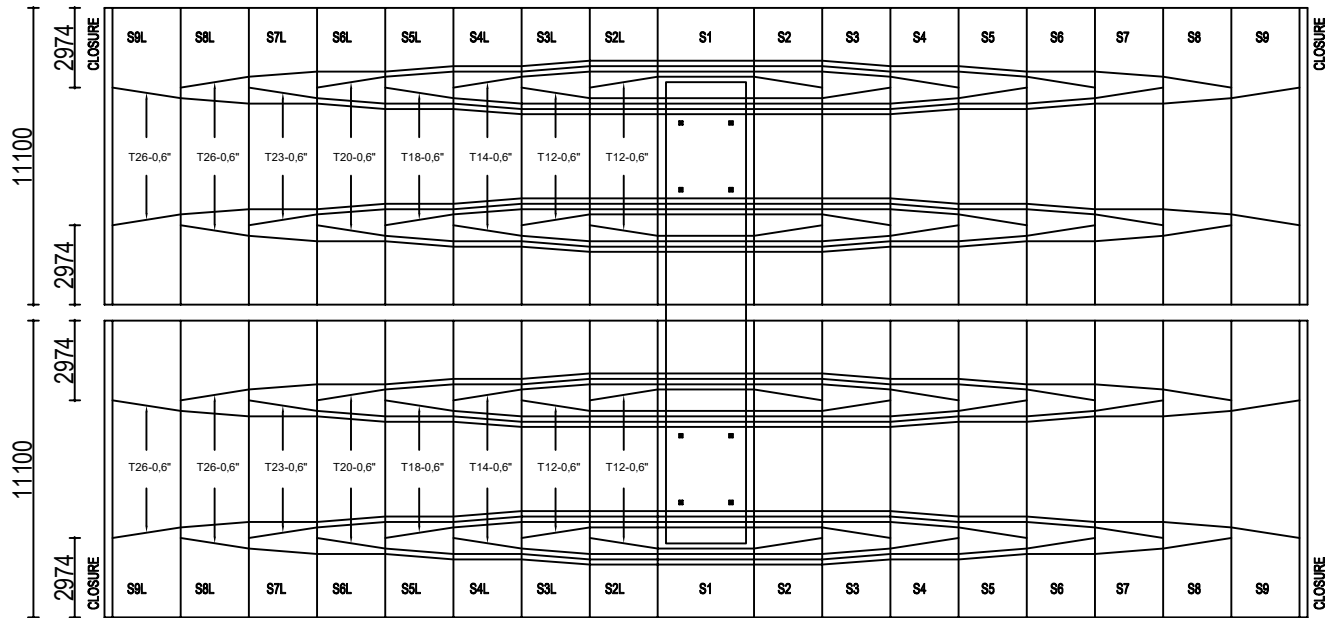
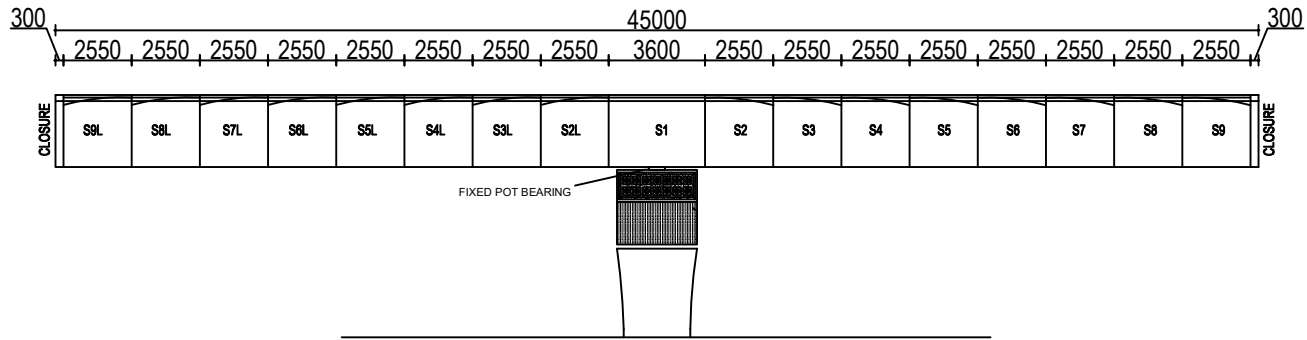






**METODE BALANCED CANTILEVER DENGAN LAUNCHING GANTRY**  
 SKALA 1:300

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	METODE BALANCED CANTILEVER DENGAN LAUNCHING GANTRY	1 : 300	5	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					

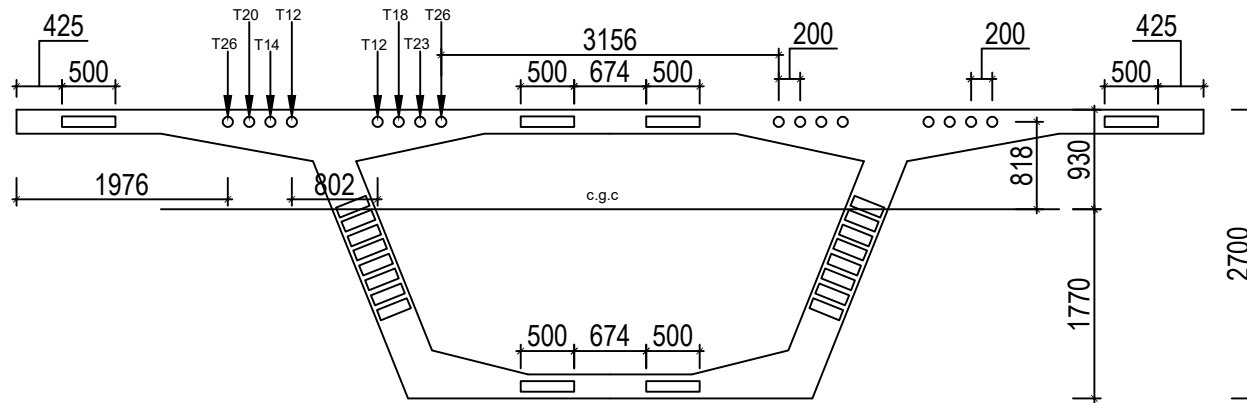


## DENAH TENDON KANTILEVER

SKALA 1:200

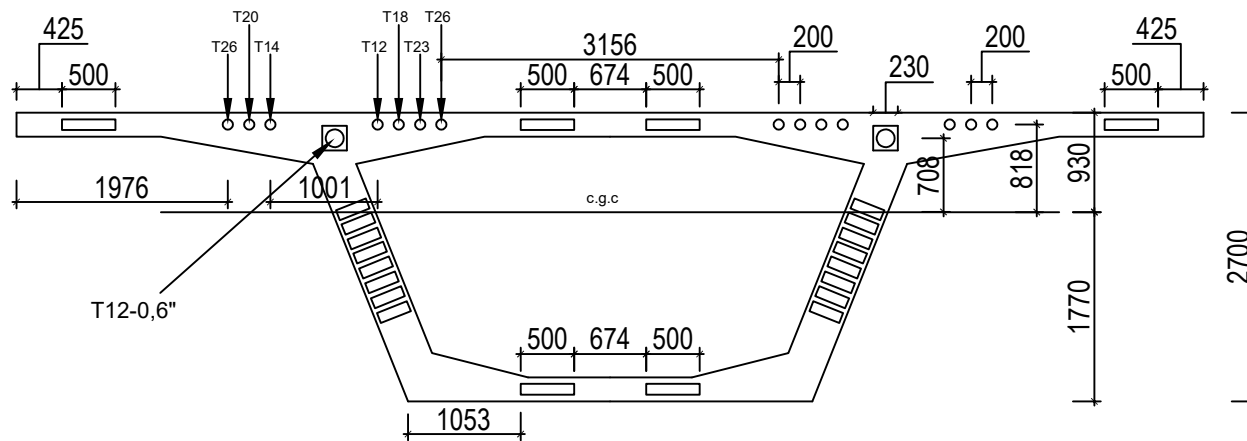


JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DENAH TENDON KANTILEVER	1 : 200	6	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
			JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
			21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	



**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 1 (S1)**

SKALA 1:50

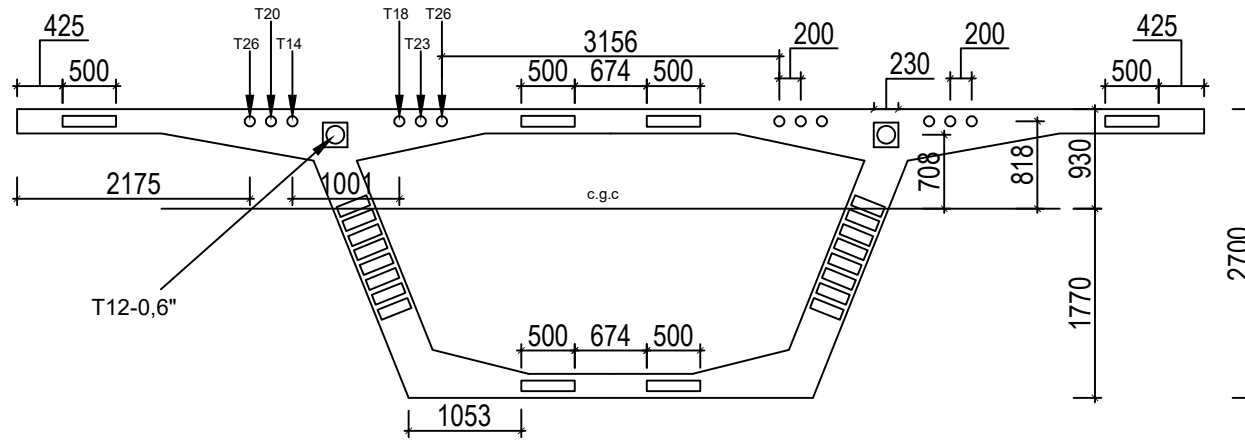


**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 2 & 2L (S2 & S2L)**

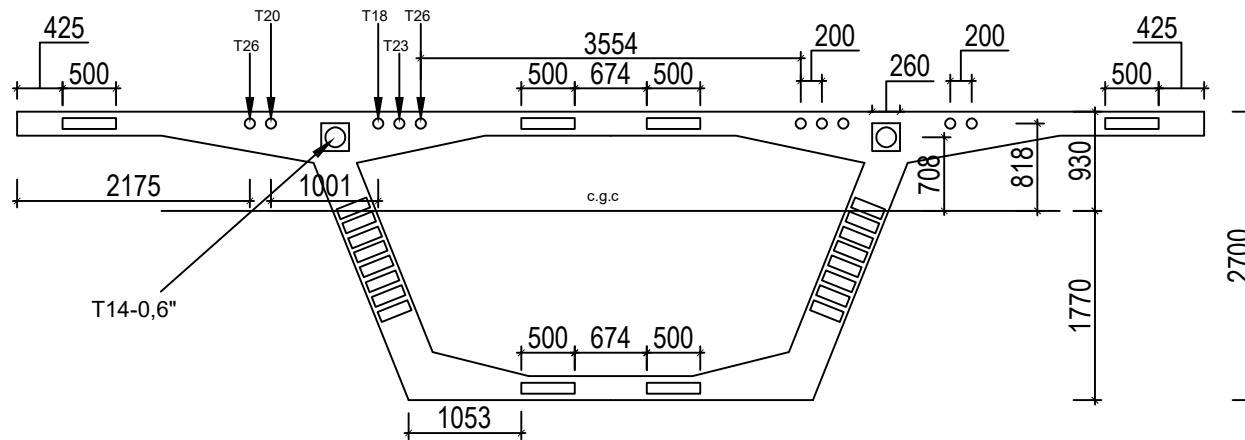
SKALA 1:50



JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL BOX GIRDER S1, S2 & S2L	1 : 50	7	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
			JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
			21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	

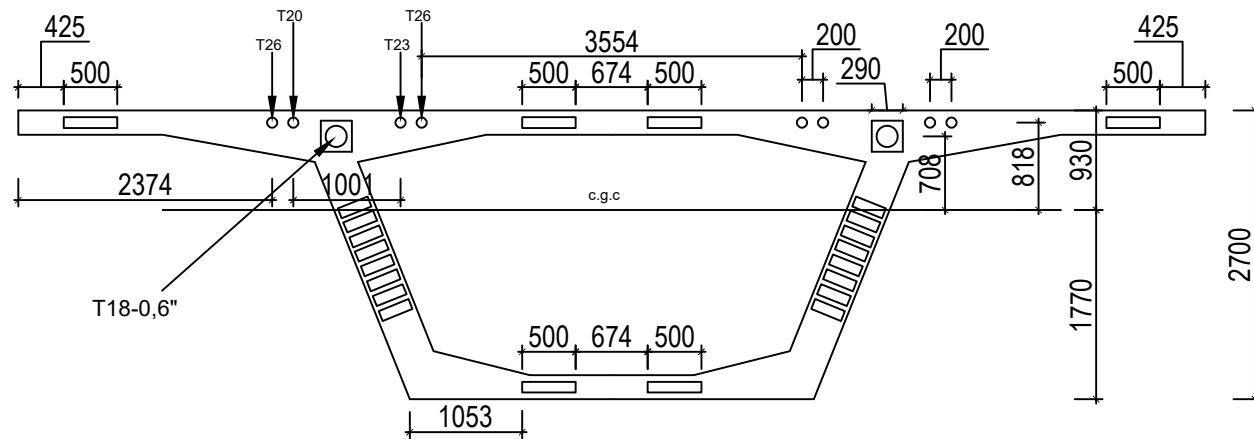


**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 3 & 3L (S3 & S3L)**  
SKALA 1:50

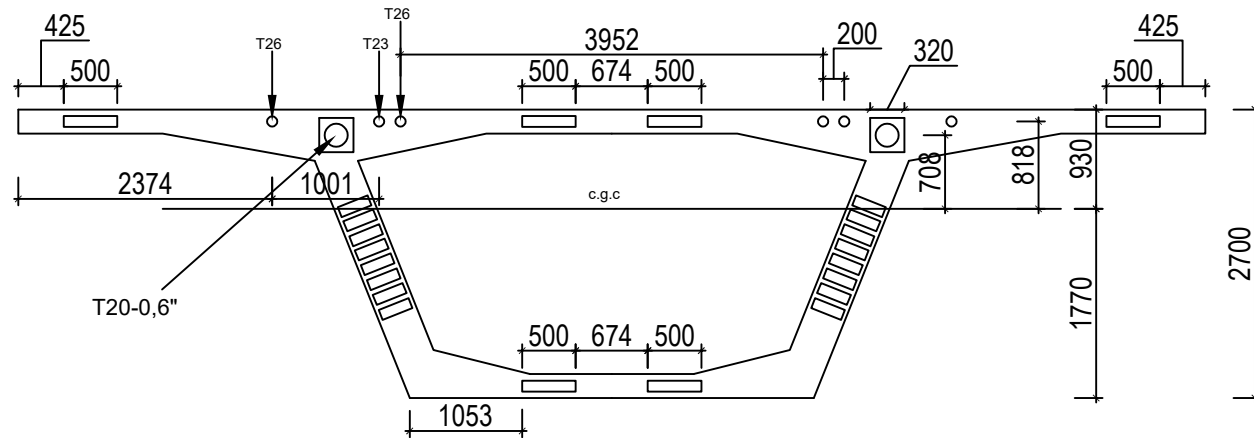


**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 4 & 4L (S4 & S4L)**  
SKALA 1:50

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL BOX GIRDER S3, S3L, S4 & S4L	1 : 50	8	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					

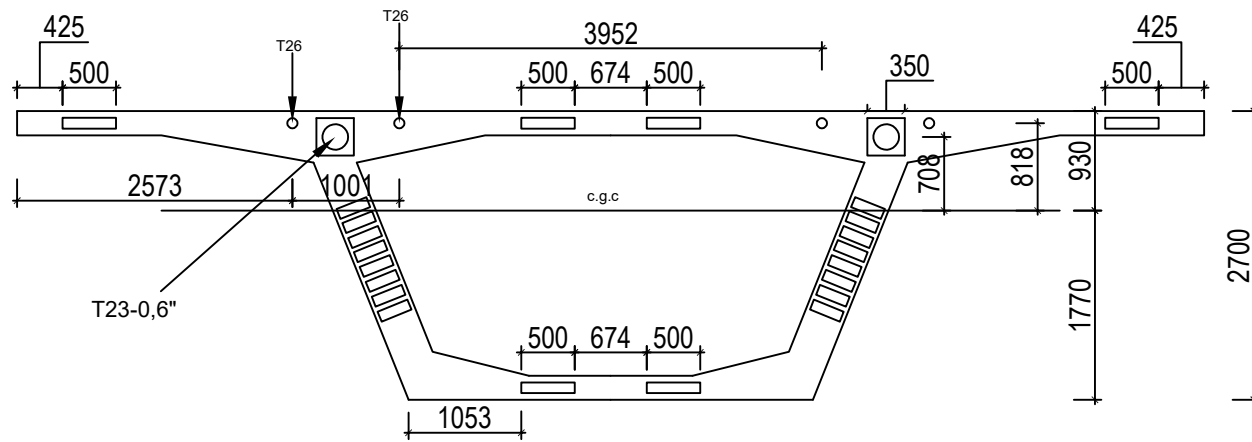


**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 5 & 5L (S5 & S5L)**  
SKALA 1:50

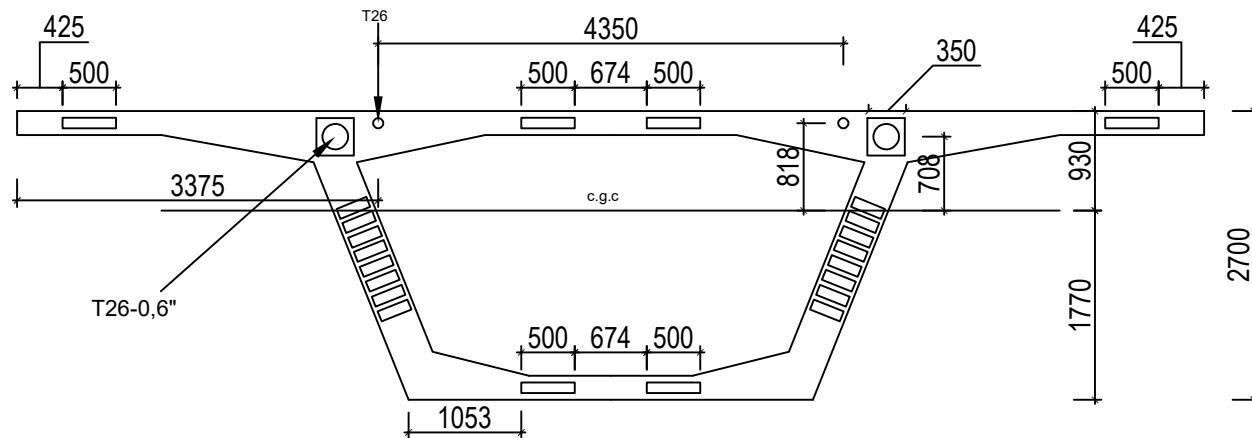


**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 6 & 6L (S6 & S6L)**  
SKALA 1:50

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL BOX GIRDER S5, S5L, S6 & S6L	1 : 50	9	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					

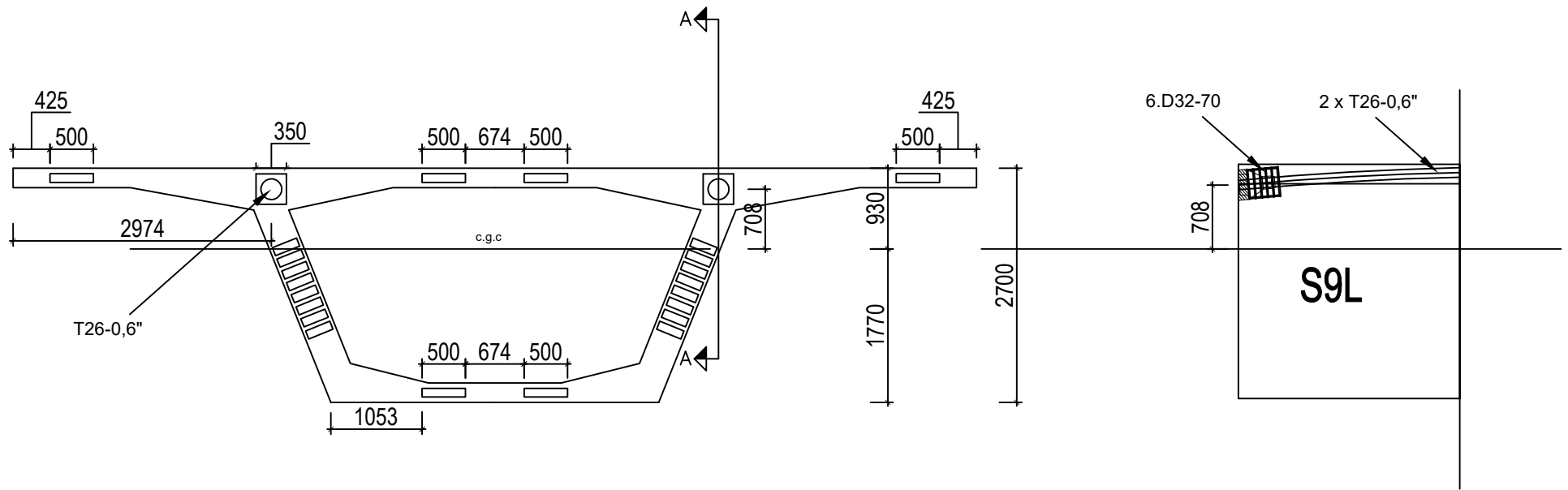


**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 7 & 7L (S7 & S7L)**  
SKALA 1:50



**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 8 & 8L (S8 & S8L)**  
SKALA 1:50

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL BOX GIRDER S7, S7L, S8 & S8L	1 : 50	10	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					

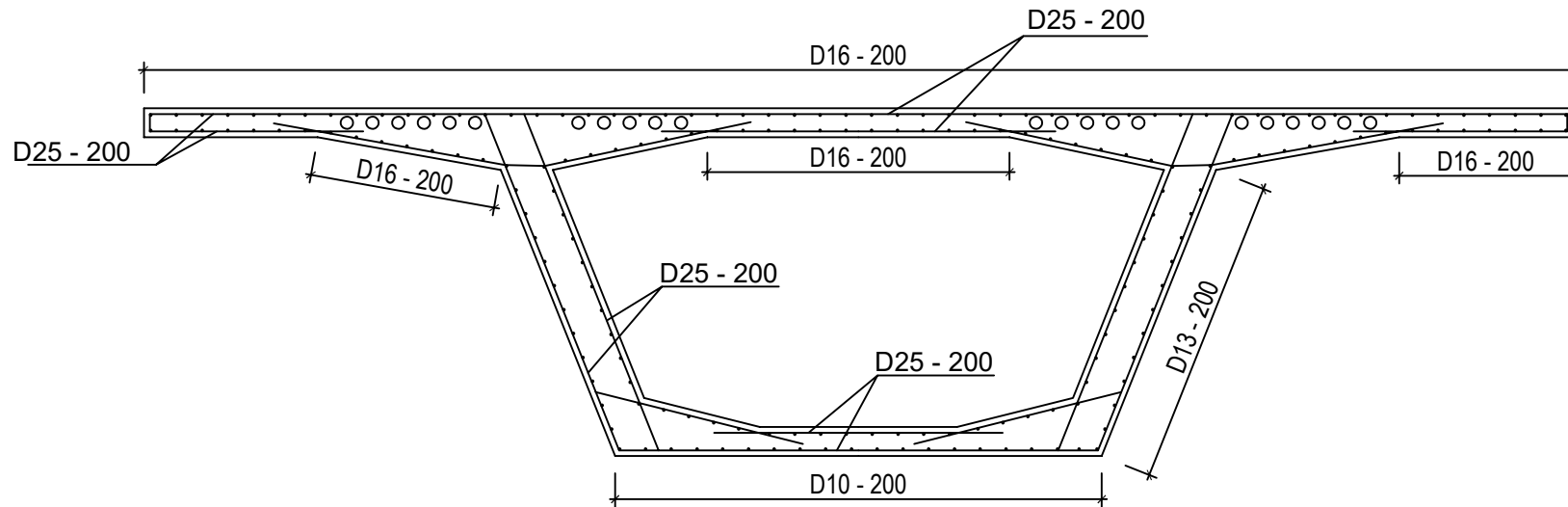


**DETAIL BOX GIRDER SEGMENT 9 & 9L (S9 & S9L)**  
 SKALA 1:50

**POTONGAN A-A**  
 SKALA 1:50


	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL BOX GIRDER S9 & S9L	1 : 50	11	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					

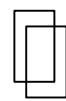
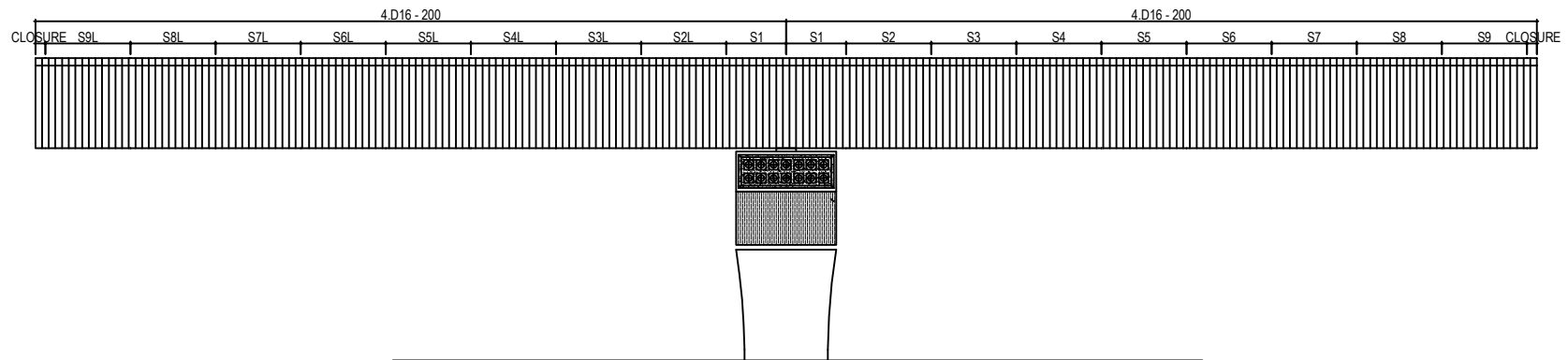




## PENULANGAN BOX GIRDER (TYPICAL)

SKALA 1:40

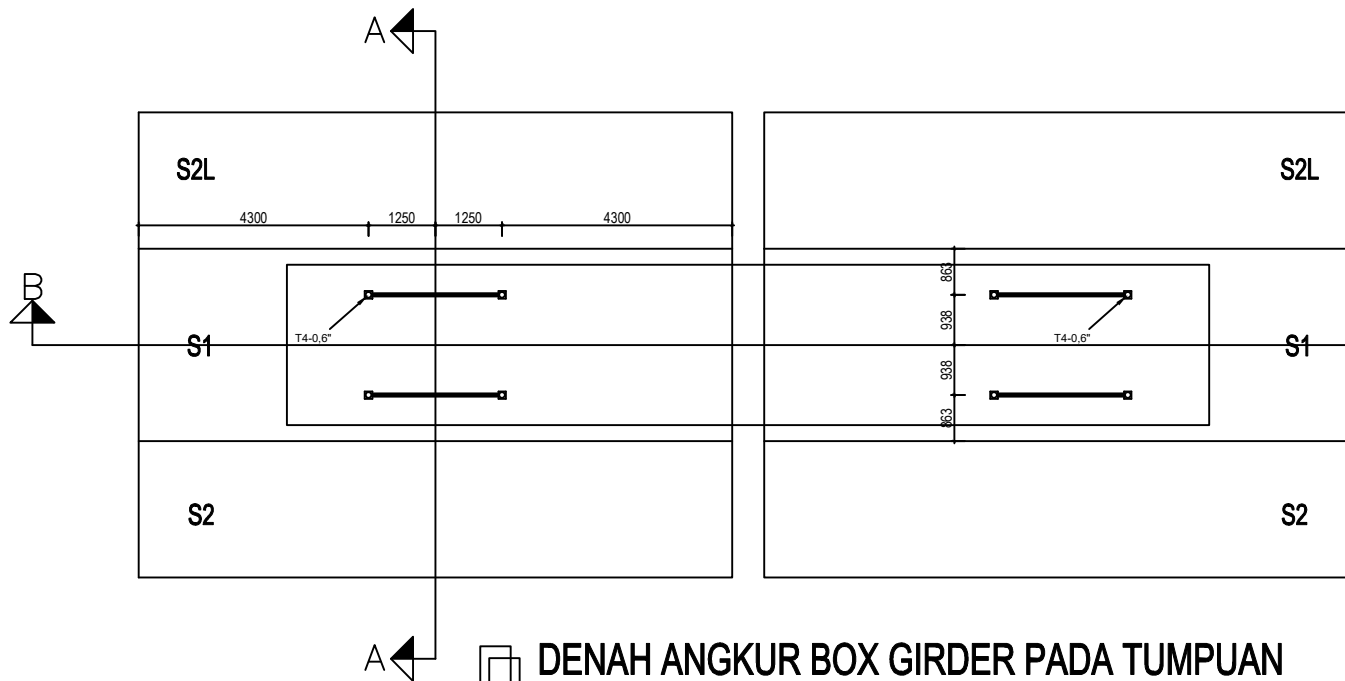
	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL TULANGAN BOX GIRDER	1 : 40	12	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
				21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	



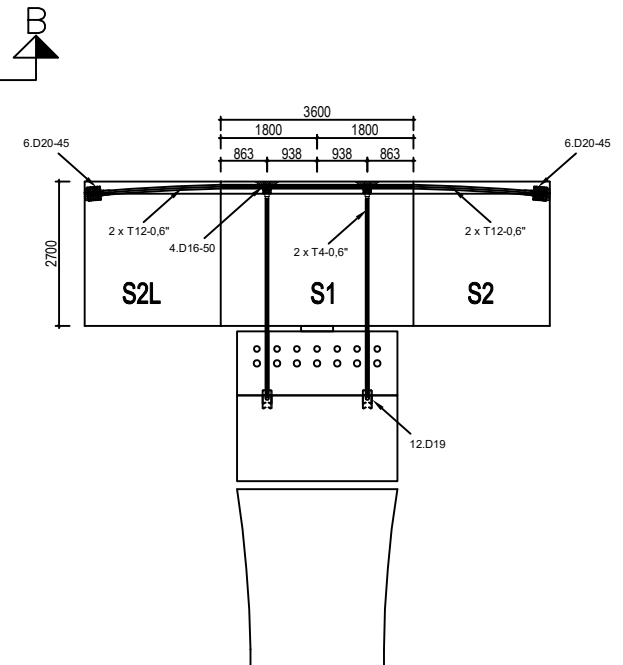
## TULANGAN GESER BOX GIRDER

SKALA 1:150

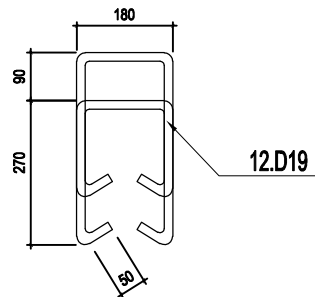
	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL TULANGAN GESER PADA BOX GIRDER	1 : 150	13	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					



**DENAH ANGKUR BOX GIRDER PADA TUMPUAN**  
SKALA 1:100

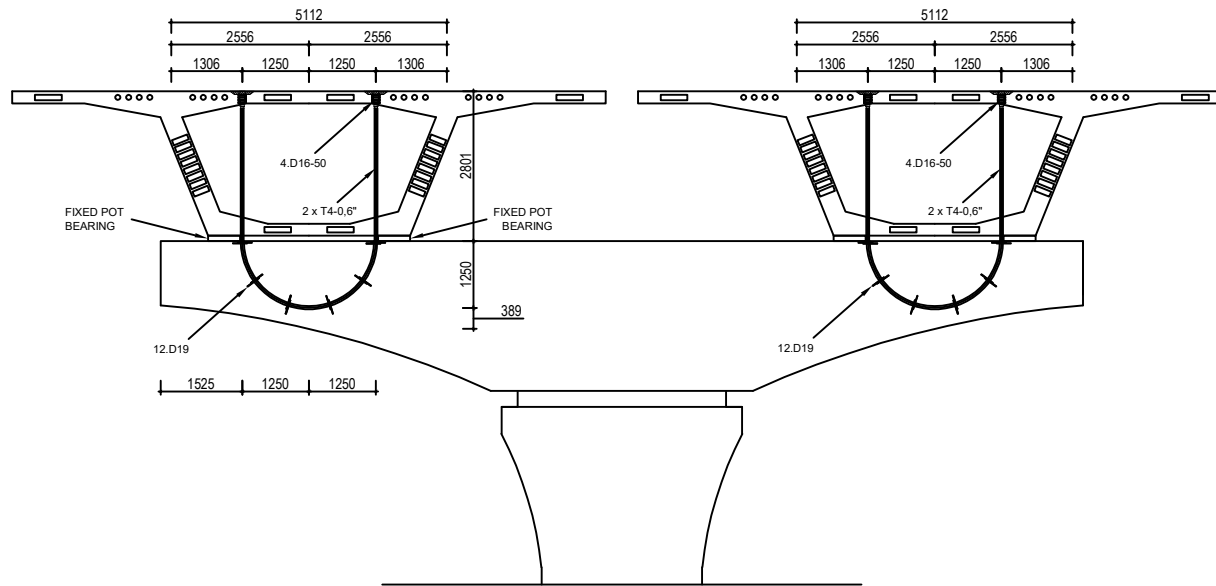


**POTONGAN A-A**  
SKALA 1:100



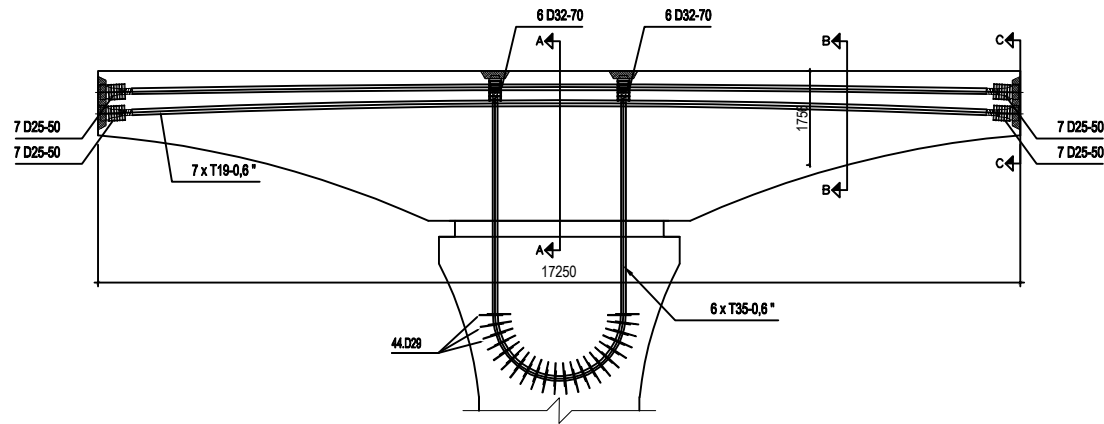
**DETAIL HAIRPIN**  
SKALA 1:10

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL ANGKUR PADA BOX GIRDER	1 : 100	14	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
			1 : 10	JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
				21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	

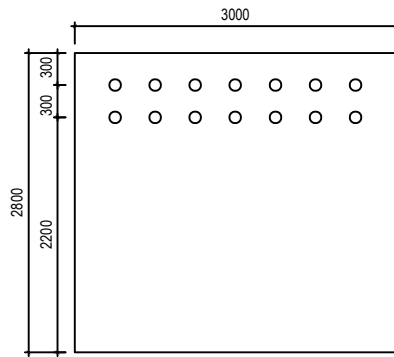


**POTONGAN B-B (ANGKUR BOX GIRDER)**  
 SKALA 1:100

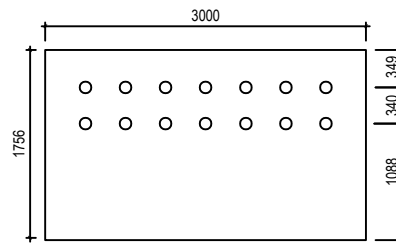
	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	POTONGAN B-B (ANGKUR BOX GIRDER)	1 : 100	15	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					



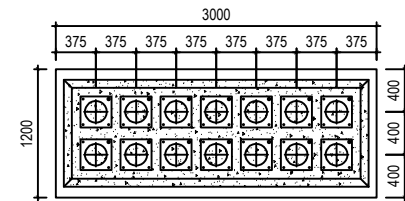
**CROSS SECTION TENDON**  
SKALA 1:100



**POTONGAN A-A**  
SKALA 1:50



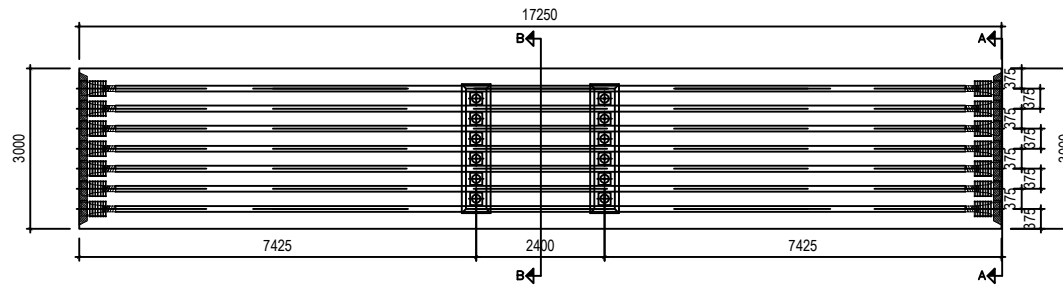
**POTONGAN B-B**  
SKALA 1:50



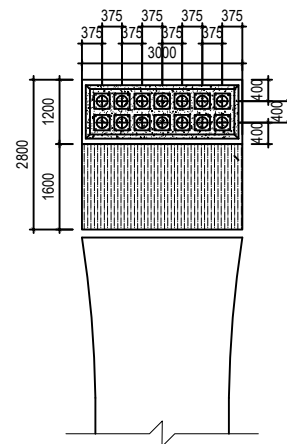
**POTONGAN C-C**  
SKALA 1:50



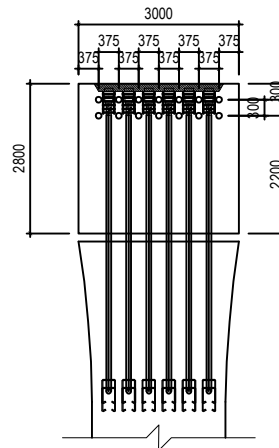
JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL CROSS SECTION TENDON PADA PIER HEAD	1 : 100	16	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
			JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
			21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	



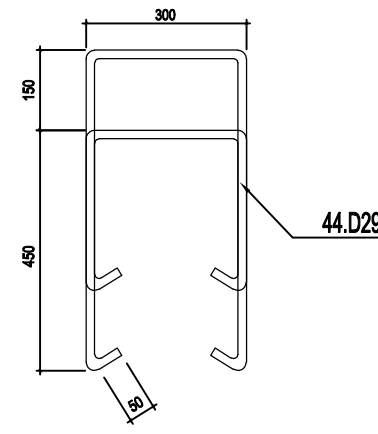
**LAYOUT TOP TENDON**  
SKALA 1:100



**POTONGAN A-A**  
SKALA 1:100



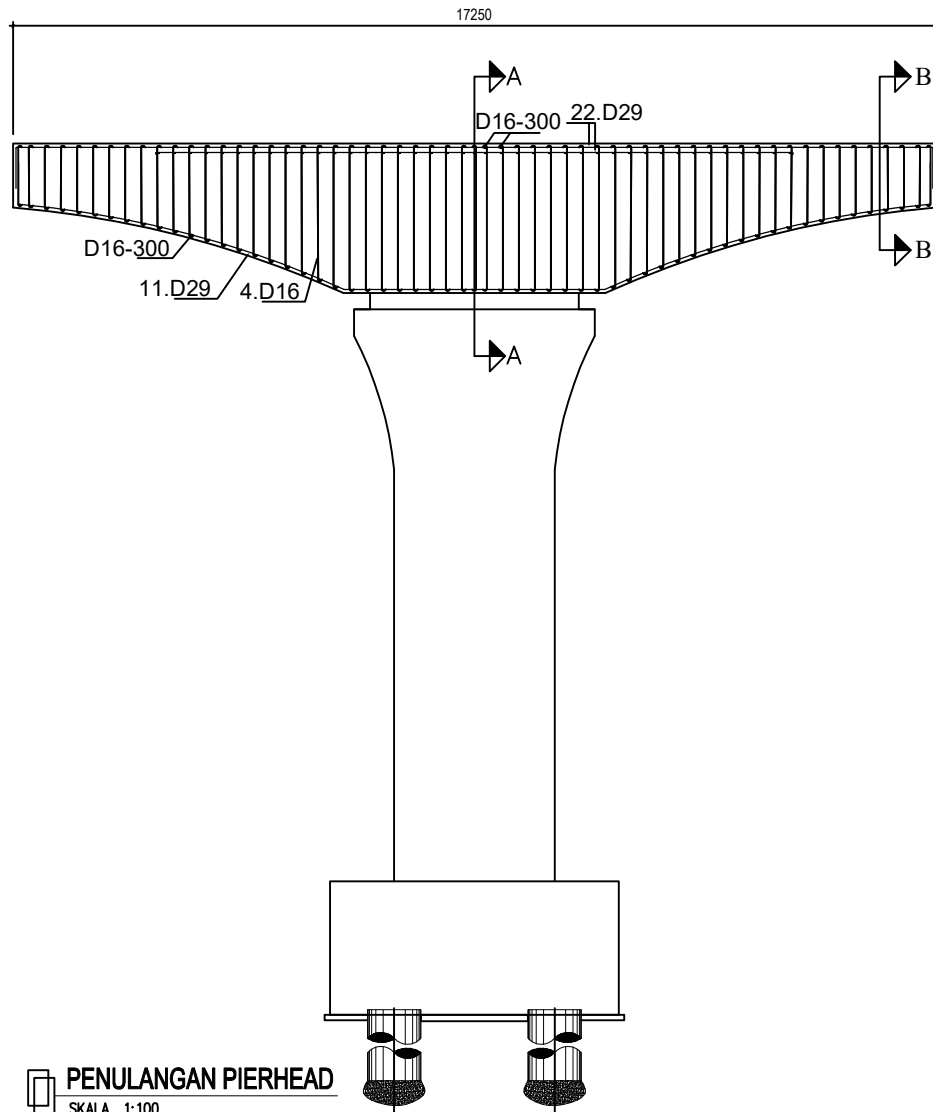
**POTONGAN B-B**  
SKALA 1:100



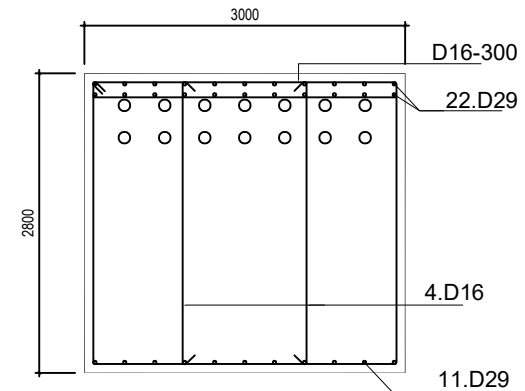
**DETAIL HAIRPIN**  
SKALA 1:10



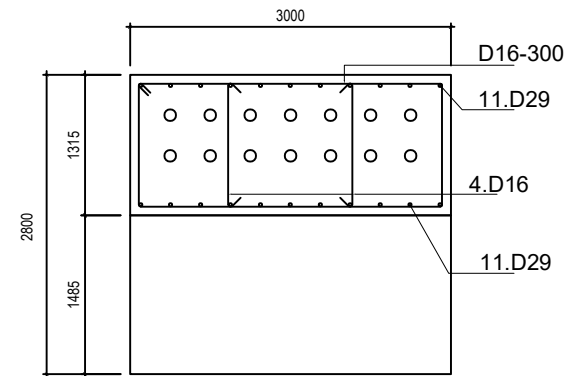
JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DETAIL LAYOUT TOP TENDON PADA PIER HEAD	1 : 100	17	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
			JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
			21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	



**PENULANGAN PIERHEAD**  
SKALA 1:100



**POTONGAN A-A**  
SKALA 1:50



**POTONGAN B-B**  
SKALA 1:50



JUDUL TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE  
PADA RUAS JALAN TOL  
JAKARTA-CIKAMPEK II  
MENGUNAKAN SEGMENTAL  
CONCRETE BOX GIRDER DENGAN  
METODE BALANCED CANTILEVER

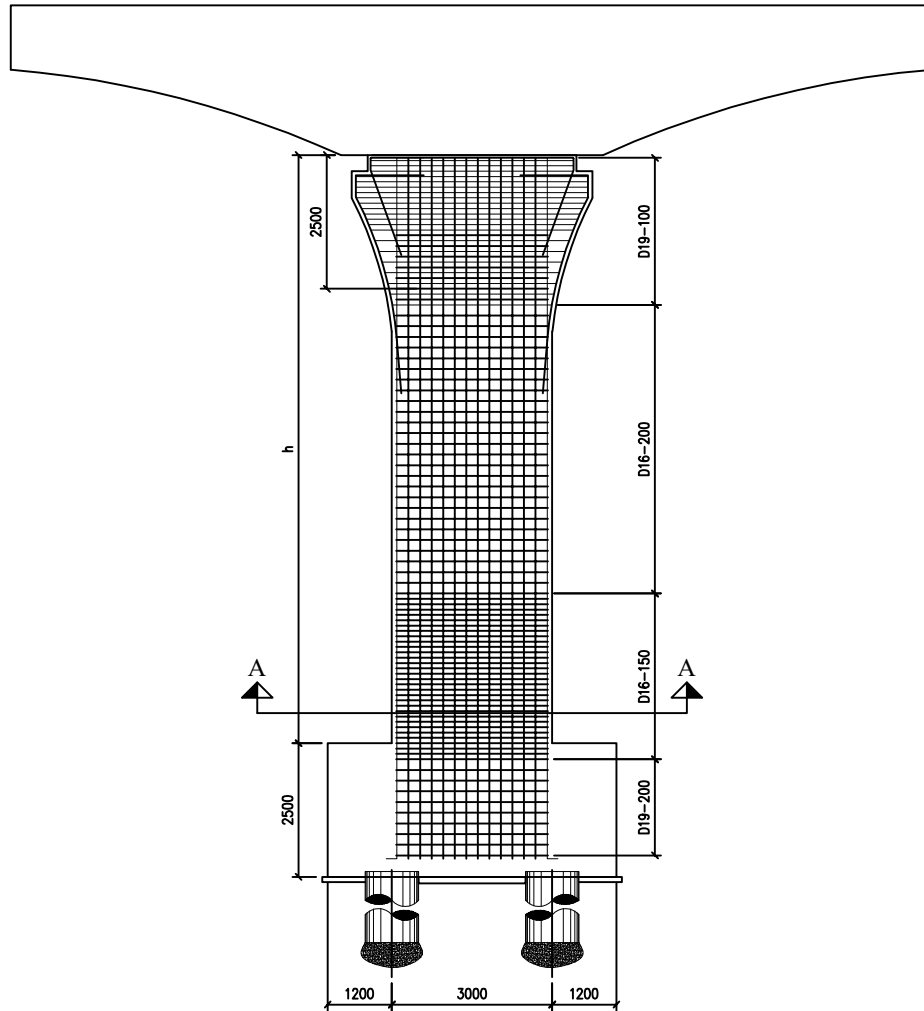
JUDUL GAMBAR  
DETAIL PENULANGAN  
PIER HEAD

SKALA  
1 : 100

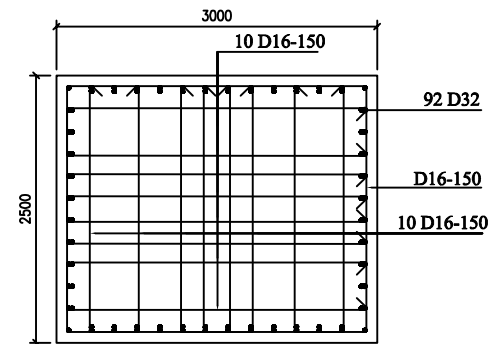
NO. LEMBAR  
18  
JMLH LEMBAR  
21

NAMA DOSEN KONSULTASI 1  
Ir. Mudji Irmawan, MS.  
NAMA DOSEN KONSULTASI 2  
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.

NAMA / NRP MAHASISWA  
MUHAMMAD RAYENDRA  
03111645000031



**PENULANGAN PIER**  
SKALA 1:100

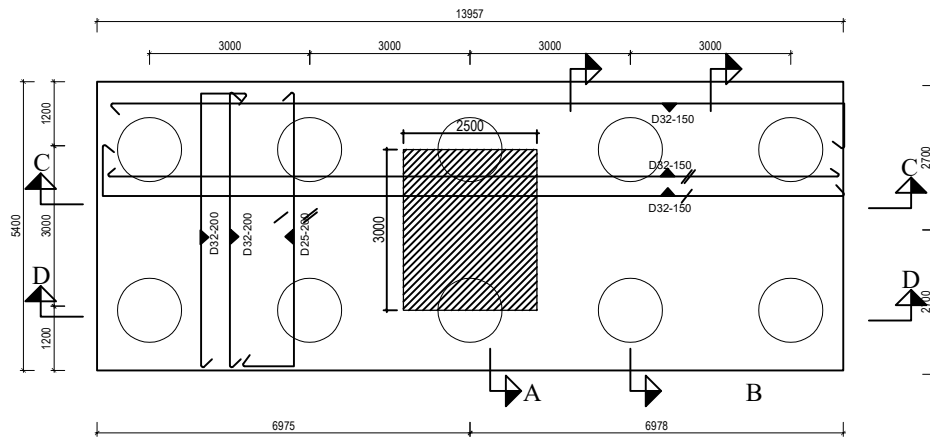


**POTONGAN A**  
SKALA 1:50

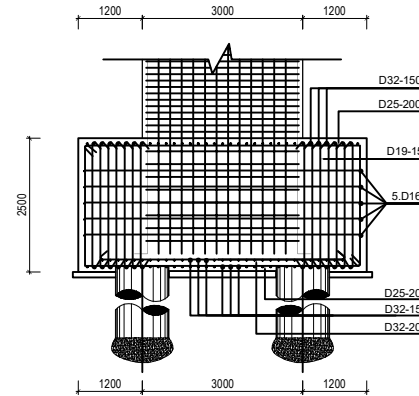


JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	PENULANGAN PIER	PIER 1 : 100 POTONGAN 1 : 50	19	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
			JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
			21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	

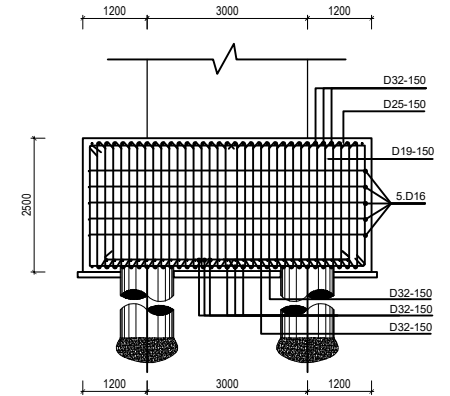




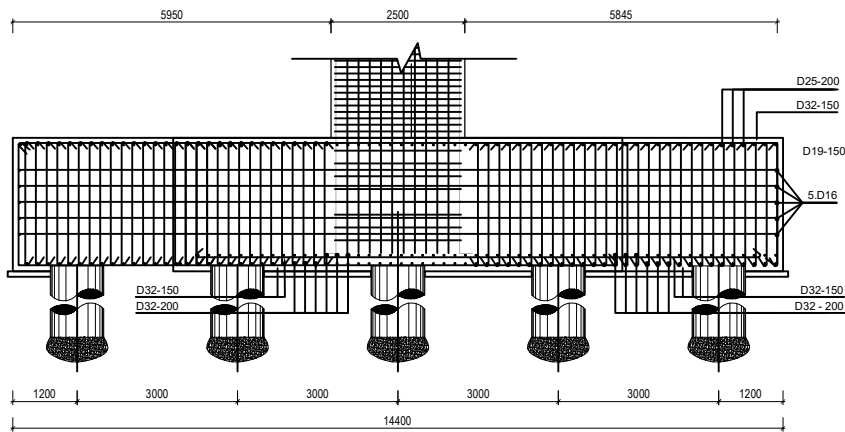
**DENAH BOREDPILE**



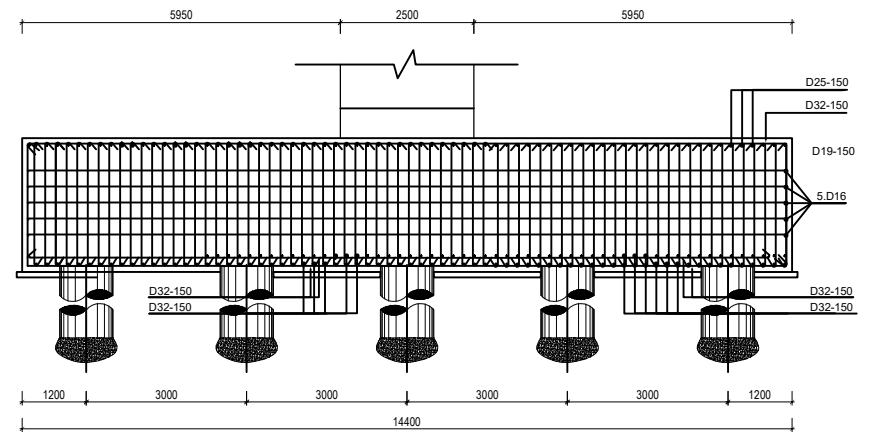
**POTONGAN A - A**  
SKALA 1:100



**POTONGAN B - B**  
SKALA 1:100



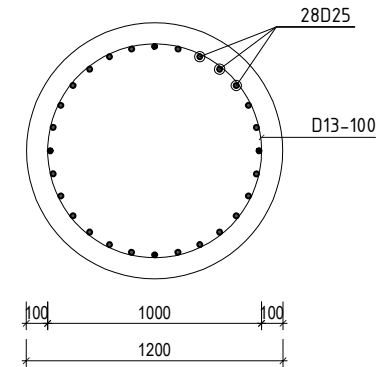
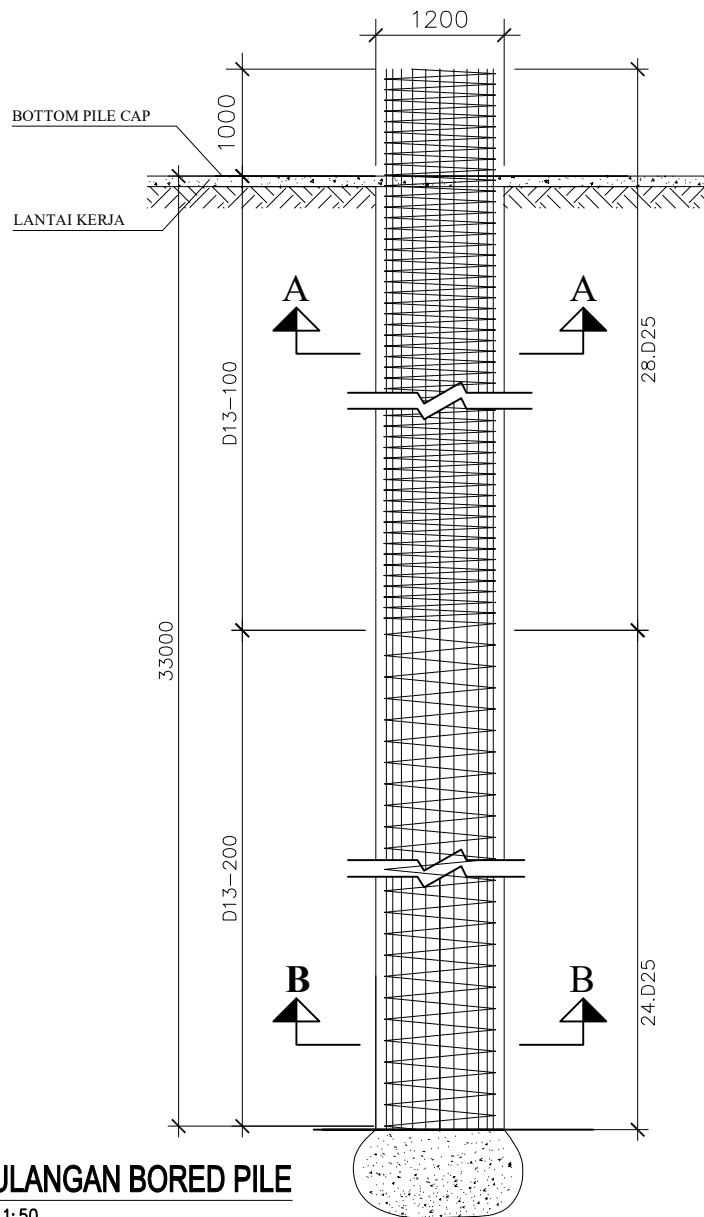
**POTONGAN C - C**  
SKALA 1:100



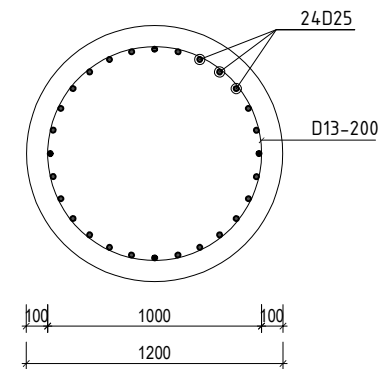
**POTONGAN D - D**  
SKALA 1:100



JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	DENAH PILE CAP	1 : 100	20	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
			JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
			21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.	



**POTONGAN A**  
SKALA 1:50



**POTONGAN B**  
SKALA 1:50

**PENULANGAN BORED PILE**  
SKALA 1:50

	JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 1	NAMA / NRP MAHASISWA
	PERENCANAAN ELEVATED BRIDGE PADA RUAS JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II MENGGUNAKAN SEGMENTAL CONCRETE BOX GIRDER DENGAN METODE BALANCED CANTILEVER	PENULANGAN BORED PILE	1 : 50	21	Ir. Mudji Irmawan, MS.	MUHAMMAD RAYENDRA 03111645000031
				JMLH LEMBAR	NAMA DOSEN KONSULTASI 2	
21	Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.					