

**TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN  
JALUR LINTAS SELATAN PLANJAN-TEPUS STA.  
8+530 - 8+650 MENGGUNAKAN *PCT GIRDER*  
(*BRIDGE SUPER STRUCTURE DESIGN OF THE  
PLANJAN-TEPUS STA. 8+530 - 8+650 USING PCT  
GIRDER*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**MENTARI AJENG SAPUTRI**

**18511041**

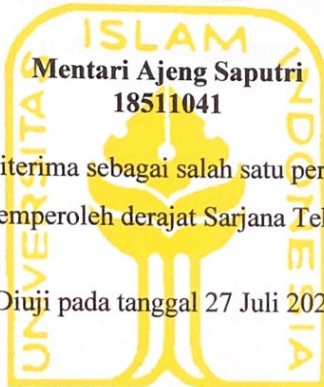
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2023**

## TUGAS AKHIR

# PERANCANGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN JALUR LINTAS SELATAN PLANJAN-TEPUS STA. 8+530 - 8+650 MENGGUNAKAN *PCT GIRDER* (*BRIDGE SUPER STRUCTURE DESIGN OF THE PLANJAN-TEPUS STA. 8+530 - 8+650 USING PCT GIRDER*)

Disusun oleh:



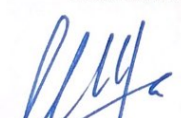
**Mentari Ajeng Saputri**  
18511041

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 27 Juli 2023

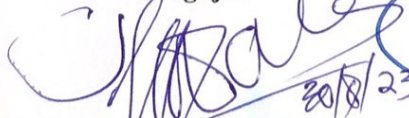
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

  
Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.  
NIK: 185111302


20/23  
8

Penguji I

  
Suharyatma, Ir., M.T.  
NIK: 865110201

20/8/23

Penguji II

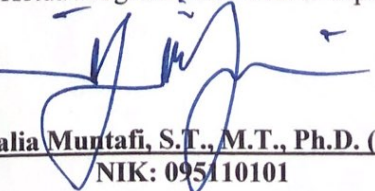
  
Jafar, S.T., M.T., MURP  
NIK: 185111305

30-08-23

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



  
Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.)  
NIK: 095110101

31/8/2023

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya saya sendiri yang saya tulis. Apabila ada bagian-bagian yang saya kutip dari orang lain, telah saya tuliskan sumbernya sesuai dengan syarat dan norma yang berlaku. Apabila ada plagiasi di kemudian hari yang ditemukan pada perancangan saya yang bukan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi yang termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai undang-undang yang berlaku.

Yogyakarta, 25 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Mentari Ajeng Saputri

(18511041)

## LEMBAR DEDIKASI

*“Long story short, I survived”.*

*(T.S.)*

Tugas akhir ini saya dedikasikan kepada:

Allah SWT yang telah memberikan nikmat, rezeki, kesehatan dan kelancaran atas terselesaikannya Tugas Akhir saya.

Diri saya sendiri yang tidak putus asa dan terus berjuang sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

Orang tua dan adik saya yang senantiasa memberi dukungan dalam bentuk do’a, perhatian, semangat, kasih sayang, dan materi.

Taylor Alison Swift yang selalu menemani dalam setiap suasana hati saya selama penyusunan Tugas Akhir dan seperti yang dia katakan, *“there was pages turned with the bridges burned, everything you lose is a step you take”*.

Teman-teman seperjuangan dari semester awal hingga akhir yaitu DPA 1 yang selalu menghibur dan bersama-sama berdiskusi mengerjakan Tugas Akhir.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur *Alhamdulillah* saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan studi serta memperoleh Derajat Sarjana Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, ada banyak semangat, bantuan serta saran dari berbagai pihak, maka saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu, saya ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Malik Mushtofa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang memberikan kritik dan saran sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Dosen Penguji Tugas Akhir
4. Seluruh dosen dan staff di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat yang banyak bagi kita semua.

Yogyakarta, 25 Agustus 2023

Penulis,

Mentari Ajeng Saputri

18511041

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
LEMBAR DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
ABSTRAK	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Perancangan	2
1.4 Batasan Perancangan	2
1.5 Manfaat Perancangan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Tinjauan Umum	4
2.2. Perancangan Terdahulu	4
2.2.1 Studi Perbandingan Penggunaan PCU <i>Girder</i> dan PCI <i>Girder</i> pada Struktur Atas Jembatan Jurang Gempal, Wonogiri	4
2.2.2 Desain Jembatan <i>T-Girder</i> Pada Sungai Jalan Antara Menggunakan SNI 1725 2016	5
2.2.3 Studi Perbandingan Perilaku Jembatan I <i>Girder</i> dan U <i>Girder</i> Akibat Pembebanan Jembatan	6

2.2.4	Perbandingan Desain Struktur Balok Sederhana Bentang 50 Meter Menggunakan <i>Prestressed Concrete T-Girder</i> dan <i>Prestressed Concrete Box Girder</i>	7
2.2.5	Optimalisasi Disain Jembatan Buntung di Sleman Yogyakarta Menggunakan <i>PCI girder</i> dengan Variasi Mutu Beton dan Tinggi <i>Girder</i>	8
2.3.	Perbedaan Perancangan yang Sebelumnya Dengan Perancangan Sekarang	9
BAB III LANDASAN TEORI		12
3.1.	Tinjauan Umum	12
3.2.	Jembatan	12
3.3.	Beton Prategang	13
3.3.1.	Konsep Analisis	14
3.4.	Perencanaan Struktur Atas	14
3.4.1.	Perencanaan Lantai Jembatan	14
3.4.2.	Perencanaan Balok Prategang	15
3.4.3.	Pembebanan Balok Prategang	16
3.4.4.	Kombinasi Pembebanan	26
3.4.5.	Kehilangan Gaya Prategang	28
3.4.6.	Perencanaan <i>Shear Connector</i>	33
3.4.7.	Perencanaan Sengkang untuk <i>Bursting Force</i>	34
BAB IV METODOLOGI PERANCANGAN		36
4.1.	Jenis Perancangan	36
4.2.	Alat dan Bahan Perancangan	36
4.3.	Studi Literatur	36
4.4.	Data Perancangan	37
4.5.	Analisis Perancangan Jembatan	37
4.6.	Bagan Alir Perancangan	39
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		42
5.1.	Tinjauan Umum	42

5.1.1.	Data Teknis Jembatan Eksisting <i>PCI Girder</i>	42
5.1.2.	Data Bahan	44
5.2.	Perencanaan Awal Desain <i>PCT Girder (Preliminary Design)</i>	45
5.3.	Perhitungan Pelat Lantai Jembatan	48
5.4.	Perhitungan Balok Kantilever	50
5.5.	Perancangan <i>PCT Girder</i> Jembatan	95
5.5.1.	Perhitungan Momen Pada Penampang Balok Prategang	95
5.5.2.	Pembebanan Balok Prategang <i>PCT Girder</i>	100
5.5.3.	Kombinasi Pembebanan Balok Prategang	114
5.5.4.	Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas, dan Jumlah Tendon	121
5.5.5.	Tata Letak Posisi Tendon ( <i>Lay-Out Tendon</i> )	125
5.5.6.	Kehilangan Gaya Prategang ( <i>Loss of prestress</i> )	133
5.5.7.	Tegangan yang terjadi pada Penampang Balok	142
5.5.8.	Perhitungan Tulangan Non-Prategang	148
5.5.9.	Tinjauan Ultimit <i>PCT Girder</i>	149
5.5.10.	Kapasitas Geser Penampang	154
5.5.11.	Penghubung Geser ( <i>Shear Connector</i> )	157
5.5.12.	Lendutan pada <i>T-Girder</i> Prategang	159
5.5.13.	Perhitungan Sengkang untuk <i>Bursting force</i>	166
5.5.14.	Perhitungan <i>End Block</i>	169
5.6.	Pembahasan	172
	BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	176
6.1	Kesimpulan	176
6.2	Saran	176
	DAFTAR PUSTAKA	177



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian yang Sebelumnya Dengan Penelitian Sekarang	9
Tabel 3.1 Berat isi dan Kerapatan Menurut SNI 1725-2016	16
Tabel 3.2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri (MS)	17
Tabel 3.3 Faktor Beban Perhitungan Beban Mati Tambahan	17
Tabel 3.4 Faktor Beban Lajur "D"	18
Tabel 3.5 Faktor Beban Untuk Beban "T"	19
Tabel 3.6 Nilai $V_o$ dan $Z_o$ untuk berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	22
Tabel 3.7 Tekanan Angin Dasar	22
Tabel 3.8 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal	24
Tabel 3.9 Zona Gempa	25
Tabel 3.10 Kombinasi Beban	27
Tabel 5.1 Dimensi Balok Prategang I-Girder	43
Tabel 5.2 Data Tendon Baja Prategang	44
Tabel 5.3 Data Berat Volume Bahan	45
Tabel 5.4 Dimensi Balok Prategang T-Girder	47
Tabel 5.5 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	52
Tabel 5.6 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	53
Tabel 5.7 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	55
Tabel 5.8 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	55
Tabel 5.9 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	55
Tabel 5.10 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	55
Tabel 5.11 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	56

Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)	56
Tabel 5.13 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)	56
Tabel 5.14 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)	57
Tabel 5.15 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)	57
Tabel 5.16 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)	57
Tabel 5.17 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)	58
Tabel 5.18 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tengah (Hk = 0,30 m)	63
Tabel 5.19 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tengah (Hk = 0,30 m)	63
Tabel 5.20 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	66
Tabel 5.21 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	66
Tabel 5.22 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	66
Tabel 5.23 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	67
Tabel 5.24 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	67
Tabel 5.25 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	67
Tabel 5.26 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	68

Tabel 5.27 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	68
Tabel 5.28 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	68
Tabel 5.29 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	69
Tabel 5.30 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)	69
Tabel 5.31 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tepi (Hk = 0,20 m)	74
Tabel 5.32 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tepi (Hk = 0,20 m)	75
Tabel 5.33 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	77
Tabel 5.34 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	77
Tabel 5.35 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	78
Tabel 5.36 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	78
Tabel 5.37 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	78
Tabel 5.38 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	78
Tabel 5.39 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	79
Tabel 5.40 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	79
Tabel 5.41 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	79

Tabel 5.42 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	80
Tabel 5.43 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)	80
Tabel 5.44 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tengah (Hk = 0,20 m)	85
Tabel 5.45 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tengah	86
Tabel 5.46 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	88
Tabel 5.47 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	88
Tabel 5.48 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	89
Tabel 5.49 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	89
Tabel 5.50 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	89
Tabel 5.51 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	90
Tabel 5.52 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	90
Tabel 5.53 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	90
Tabel 5.54 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	91
Tabel 5.55 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	91
Tabel 5.56 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)	91
Tabel 5.57 Modulus Penampang T-Girder	96
Tabel 5.58 Rekapitulasi Modulus Penampang Komposit <i>PCT Girder</i>	98

Tabel 5.59 Rekapitulasi Pembebanan Untuk Berat Sendiri	102
Tabel 5.60 Rekap Pembebanan Untuk Beban Mati Tambahan	103
Tabel 5.61 Statis Momen Distribusi Gaya Angin Struktur	110
Tabel 5.62 Rekapitulasi Pembebanan Balok Prategang	114
Tabel 5.63 Rekapitulasi Gaya Geser dan Momen Akibat Pembebanan	114
Tabel 5.64 Persamaan Momen dan Gaya Geser Pada Balok Prategang	115
Tabel 5.65 Momen Pada Balok Prategang Akibat Beban	116
Tabel 5.66 Gaya Geser pada Balok Prategang Akibat Beban	117
Tabel 5.67 Kombinasi Beban untuk Momen pada Balok Prategang	118
Tabel 5.68 Kombinasi Beban untuk Gaya Geser pada Balok Prategang	119
Tabel 5.69 Data <i>Strands Cable</i>	123
Tabel 5.70 Jumlah Strands PCT Girder pada Posisi Tengah Bentang	124
Tabel 5.71 Jumlah Strands pada Tiap Baris Tendon di Tumpuan	126
Tabel 5.72 Perhitungan Lintas Tendon	130
Tabel 5.73 Sudut Angkur	131
Tabel 5.74 Tata Letak Kabel Tendon	132
Tabel 5.75 Total Kehilangan Gaya Prategang	142
Tabel 5.76 Momen Akibat Temperatur	164
Tabel 5.77 Perhitungan Sengkang Arah Vertikal	168
Tabel 5.78 Perhitungan Sengkang Arah Horizontal	168
Tabel 5.79 Jumlah Sengkang digunakan untuk Bursting Force	169
Tabel 5.80 Momen Statis Luasan Bagian Atas ( $S_xa$ ) pada Penampang Balok	171
Tabel 5.81 Momen Statis Luasan Bagian Atas ( $S_xb$ ) pada Penampang Balok	171
Tabel 5.82 Rekapitulasi Jumlah Strands pada Posisi Tengah Bentang dan Tumpuan	173
Tabel 5.83 Rekapitulasi Lendutan pada Keadaan awal dan Keadaan Akhir	175

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Beban Lajur "D"	18
Gambar 3.2 Pembebanan Truk "T"	19
Gambar 3.3 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T	21
Gambar 3.4 Beban Temperatur	24
Gambar 3.5 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun	25
Gambar 4.1 Bagan Alir ( <i>Flowchart</i> ) Metodologi Penelitian	41
Gambar 5.1 Potongan Melintang Jembatan Eksisting PCI Girder	42
Gambar 5.2 Penampang Balok Prategang Eksisting I-Girder	43
Gambar 5.3 Penampang Balok Prategang T-Girder	47
Gambar 5.4 Potongan Melintang Jembatan PCT Girder	47
Gambar 5.5 Bagian Sayap Atas PCT Girder pada Posisi Tepi ( $H_k = 0,30$ m)	51
Gambar 5.6 Bagian Sayap Atas PCT Girder pada Posisi Tengah ( $H_k = 0,30$ m)	62
Gambar 5.7 Bagian Sayap Atas PCT Girder pada Posisi Tepi ( $h_k = 0,20$ m)	73
Gambar 5.8 Bagian Sayap Atas PCT Girder pada Posisi Tengah	84
Gambar 5.9 Titik Berat Balok Terhadap Alas	96
Gambar 5.10 Penampang PCT Girder	97
Gambar 5.11 Titik Berat Balok Komposit Terhadap Alas	98
Gambar 5.12 Penampang Balok Komposit	99
Gambar 5.13 Pembebanan Berat Sendiri	100
Gambar 5.14 Pembebanan Berat Mati Tambahan (MA)	102
Gambar 5.15 Pembebanan Lajur "D" pada Balok	104
Gambar 5.16 Faktor Beban Dinamis	104
Gambar 5.17 Pembebanan Rem (TB) pada Balok	106
Gambar 5.18 Distribusi Beban Angin Struktur (EWS)	109
Gambar 5.19 Beban Akibat Temperatur (Eun)	112
Gambar 5.20 Diagram Momen (Bending Moment Diagram) Beton Prategang	120

Gambar 5.21 Diagram Geser (Shearing Force Diagram) Beton Prategang	120
Gambar 5.22 Gaya Prategang Awal dan Eksentrisitas Tendon di Tengah Bentang	121
Gambar 5.23 Susunan Baris Tendon di Tengah Bentang	123
Gambar 5.24 Posisi Tendon di Tengah Bentang	125
Gambar 5.25 Posisi Tendon di Tumpuan	126
Gambar 5.26 Lintasan Inti Tendon	130
Gambar 5.27 Posisi Trace Cable pada Tumpuan dan Tengah Bentang	132
Gambar 5.28 Grafik Trace Cable	133
Gambar 5.29 Tegangan Saat Transfer	143
Gambar 5.30 Tegangan Saat Loss of Prestress	145
Gambar 5.31 Tegangan Saat Setelah Pelat dan Balok Menjadi Komposit	147
Gambar 5.32 Bagian Penampang Pada Balok Prategang	148
Gambar 5.33 Kapasitas Penampang T-Girder	150
Gambar 5.34 Penampang Gelagar dengan Shear Connector	157
Gambar 5.35 Pelat Angkur dan Sengkan untuk Bursting Force	166
Gambar 5.36 Angkur Hidup VSL Tipe Sc	169
Gambar 5.37 Angkur Mati VSL Tipe H 0,5	170
Gambar 5.38 Rekapitulasi Perhitungan End Block	171
Gambar 5.39 Momen Statis Penampang Balok PCT Girder	172
Gambar 5.40 Posisi Tendon	173

## DAFTAR NOTASI

A	= luas penampang gelagar
a	= tinggi blok tekan
Ac	= luas penampang gelagar komposit
As	= luas tulangan
Ast	= luas tampang nominal satu <i>strands</i>
as	= jarak antar <i>shear connector</i>
At	= luas baja prategang
beff	= lebar efektif
b	= lebar
btr	= lebar trotoar
c	= gaya internal tekan beton
Cc	= gaya internal tekan beton
D	= diameter tulangan
d	= diameter nominal <i>strands</i>
dv	= tinggi efektif geser
Ds	= diameter tulangan geser
dt	= diameter selubung tendon
E	= modulus elastisitas
Eps	= modulus elastisitas baja prategang atau <i>strands</i>
Ebalok	= modulus elastisitas balok
e	= eksentrisitas
es	= eksentrisitas tendon
emid	= eksentrisitas tendon pada tengah bentang
eend	= eksentrisitas tendon pada tumpuan
fa	= tegangan di sera atas
fb	= tegangan di serat bawah



$f'c$	= kuat tekan beton
$f_{eff}$	= total kehilangan tegangan efektif
$f_y$	= mutu baja
$f_{pu}$	= kuat tarik tendon
$f_{py}$	= kuat leleh tendon
$f_{ps}$	= tegangan baja prategang setelah transfer
$H$	= tinggi penampang
$H_c$	= tinggi penampang komposit
$h_0$	= tebal pelat lantai
$h_a$	= tebal lapisan aspal dan overlay
$I$	= momen inersia
$I_b$	= momen inersia terhadap alas gelagar
$I_{bc}$	= momen inersia terhadap alas gelagar komposit
$I_x$	= momen inersia terhadap titik berat gelagar
$I_{xc}$	= momen inersia terhadap titik berat gelagar komposit
$k$	= koefisien wobble
$L$	= panjang bentang jembatan
$L_{mid}$	= panjang setengah bentang
$l$	= panjang
$M$	= momen
$M_u$	= momen ultimit
$M_{ucr}$	= momen ultimit di tumpuan
$M_n$	= momen nominal
$M_{balok}$	= momen akibat berat sendiri balok
$M_{pelat}$	= momen akibat berat sendiri pelat
$ng$	= jumlah gelagar
$ns$	= jumlah <i>strands</i>
$nt$	= jumlah tendon
$ntr$	= jumlah trotoar
$P$	= gaya aksial
$PD$	= tekanan angin rencana

Pb1	= beban putus satu tendon
Pbs	= beban putus minimal satu <i>strands</i>
PBGT	= beban garis terpusat yang bekerja
PBTR	= beban terbagi rata yang bekerja di semua lajur
Peff	= gaya prategang efektif
Pj	= gaya prategang akibat jacking
Pt	= gaya prategang awal
Q	= beban
q	= intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang
rtendon	= panjang tendon di tengah bentang
s	= jarak antar gelagar
sb	= tebal selimut beton
Sx	= statis momen luasan pelat terhadap titik penampang komposit
Sxa	= momen statis luasan bagian atas
Sxb	= momen statis luasan bagian bawah
Tmax	= temperature jembatan rata-rata maksimum
Tmin	= temperature jembatan rata-rata minimum
Ts	= gaya tarik baja prategang
T	= tebal
TEWL	= tekanan angin akibat kendaraan
ts	= tebal sayap atas
th	= tebal genangan air hujan
V	= gaya geser
V0	= kecepatan gesekan angin
V10	= kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah
Vb	= kecepatan angin rencana
Vc	= kuat geser beton
VDZ	= kecepatan angin rencana pada elevasi rencana
Vu	= gaya geser ultimit
Vucr	= gaya geser ultimit di tumpuan
Vn	= gaya geser nominal

$V_p$	= gaya prategang terhadap ketahanan geser
$W_a$	= tahapan momen sisi atas
$W_b$	= tahapan momen sisi bawah
$W_{ac}$	= tahapan momen sisi atas pada gelagar komposit
$W_{bc}$	= tahapan momen sisi bawah pada gelagar komposit
$w_c$	= berat isi beton prategang
$w_c'$	= berat isi beton bertulang
$w_{aspal}$	= berat isi aspal
$w_{air}$	= berat isi air hujan
$x$	= jarak antar gandar
$y$	= lengan terhadap titik berat balok
$y_a$	= titik berat penampang terhadap sisi atas
$y_{ac}$	= titik berat penampang komposit terhadap sisi atas
$y_b$	= titik berat penampang terhadap sisi bawah
$y_{bc}$	= titik berat penampang komposit terhadap sisi bawah
$y_d$	= jarak vertikal antara as ke as tendon
$Z$	= elevasi struktur dari permukaan tanah
$Z_o$	= panjang gesekan di hulu jembatan
$\alpha$	= koefisien perpanjangan akibat suhu
$\alpha_{AB}$	= sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah
$\alpha_{BA}$	= sudut lintasan tendon dari tengah ke ujung
$\beta_1$	= faktor distribusi tegangan beton
$\epsilon$	= regangan
$\epsilon_t$	= regangan pada tulangan tarik
$\mu$	= koefisien gesek friksi
$\delta$	= lendutan
$\Delta_T$	= perbedaan temperatur
$\Delta_A$	= nilai slip ankur
$\Delta_{fpA}$	= kehilangan tegangan akibat gesekan ankur ( <i>anchorage seating losses</i> )
$\Delta_{fpF}$	= kehilangan tegangan akibat gesekan kabel ( <i>jack friction</i> )

$\Delta f_{pES}$	= kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis ( <i>elastic shortening</i> )
$\Delta f_{pCR}$	= kehilangan tegangan akibat pengaruh rangkak ( <i>Creep</i> )
$\Delta f_{pSH}$	= kehilangan tegangan akibat pengaruh susut ( <i>shrinkage</i> )
$\Delta f_{pR}$	= kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon ( <i>relaxation of tendon</i> )
$\rho$	= rasio
$\rho\rho$	= rasio luas penampang baja prategang
$\rho_{min}$	= rasio tulangan minimum
$\rho_{max}$	= rasio tulangan maksimum
$\emptyset$	= faktor reduksi

## ABSTRAK

Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 - 8+650 memiliki tiga bentang dengan panjang bentang masing-masing sebesar 40 m. Jembatan ini memiliki lebar total 9,5 m dengan lebar jalan 7,5 m dan lebar trotoar pada kedua sisi jalan sebesar 1 m. Studi ini bertujuan untuk merencanakan struktur atas jembatan tersebut menggunakan *PCT girder*. Perencanaan dilakukan dengan mengacu pada RSNI T-12-2004 dan Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan No. 02/M/BM/2021. Perencanaan pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016 untuk pembebanan gempa. Dari hasil penelitian ini digunakan 4 gelagar dengan 4 tendon dan jumlah total 74 *strands 7 wire low relaxation strands ASTM A-416-85 grade 270*. Kehilangan gaya prategang akhir atau *loss of prestress* yang terjadi pada *PCT girder* sebesar 23,231%. Kapasitas lentur penampang yang diperoleh dari perhitungan sebesar 14311,45 kNm dan kapasitas geser penampang sebesar 6281,83 kN.

**Kata kunci :** Jembatan beton, *PCT girder*, *loss of prestress*, kapasitas lentur girder, kapasitas geser girder.

## ***ABSTRACT***

*The Planjan-Tepus South Line Bridge, Station 8+530 - 8+650, has three spans and the length of each span is 40.65 meters. Total width of the bridge is 9.5 meters, consisting of a 7,5 meter wide road and 1 meter wide sidewalks on both sides of the road. The purpose of this study is to design the bridge's superstructure using PCT girders. The planning guidelines are based on RSNi T-12-2004 and Practical Guidelines for Bridge Technical Planning No. 02/M/BM/2021. The loading rules of bridge used SNI 1725-2016 and SNI 2833-2016 for seismic loading. The results of this analysis, the bridge used 4 girders with 4 tendons and total of 74 strands used 7-wire low relaxation strands ASTM A-416-85 grade 270. The loss of prestress in the PCT girder was 23,231%. From the calculation, the flexural capacity of the section was 14311,45 kNm, and the shear capacity of the section was 6281,83 kN.*

**Keywords :** *Concrete bridge, PCT girder, loss of prestress, the flexural capacity, the shear capacity.*

# **BABI**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Menurut Massaroh (2014) jembatan adalah bangunan yang berfungsi untuk menghubungkan dua ruas jalan yang terpisah oleh suatu halangan seperti saluran air, kabel, sungai, dan lainnya. Dengan berkembangnya teknologi-teknologi yang ada, jenis-jenis jembatan juga ikut berkembang, yang sebelumnya hanya ada beberapa jenis jembatan namun sekarang sudah banyak jenis jembatan yang diterapkan di Indonesia. Jenis jembatan tersebut antara lain adalah jembatan kayu, jembatan batu bata, jembatan baja, jembatan beton bertulang, dan juga jembatan komposit. Pemilihan penggunaan jenis-jenis jembatan tersebut dipilih berdasarkan fungsi, kegunaan, lokasi, biaya, serta faktor-faktor lingkungan yang dikerjakan dalam proyek tersebut.

Jembatan yang digunakan dalam perancangan ini yaitu jembatan yang terletak pada Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 - 8+650. Jembatan ini dibuat saat pelaksanaan proyek pembangunan jalan baru Planjan - Baron – Tepus pada tahun 2021. Beton prategang adalah beton bertulang yang diberi tegangan tekan untuk mengurangi tegangan tarik dalam yang diakibatkan oleh beban kerja (SNI 03-2847-2002). Sedangkan menurut Rizkia (2017), jembatan beton prategang adalah suatu konstruksi yang menghubungkan satu tempat ke tempat lainnya dengan memberi tegangan yang berlawanan dengan tegangan dari beban eksternal.

Struktur atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 – 8+650 eksisting menggunakan *Prestressed Concrete I-Girder* dengan desain bentang yaitu 40 m dan panjang total jembatan yaitu 123,48 m. Perancangan ini bertujuan untuk merencanakan ulang bagian struktur atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 - 8+650 menggunakan *Prestressed Concrete T-Girder (PCT girder)*. Perancangan jembatan ini dilakukan karena menurut Rahmawati (2019) *PCT girder* lebih efisien dalam pelaksanaan pekerjaannya. Hal

ini disebabkan slab yang ada pada jembatan sudah menyatu dengan *PCT girder*. Oleh karena itu, penulis membuat perancangan ini agar dapat diketahui hasil dari perancangan struktur atas pada Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 - 8+650 menggunakan *Prestressed Concrete T-Girder* dengan bentang dan panjang yang sama agar dapat diketahui hasil dari penggunaan *PCT girder* tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang di atas yaitu bagaimana hasil perancangan struktur atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 - 8+650 menggunakan *Prestressed Concrete T-Girder*.

## 1.3 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan dari perancangan ini yaitu untuk mengetahui hasil dari perancangan struktur atas jembatan dengan *Prestressed Concrete T-Girder* pada bentang 40 m (Studi Kasus Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 - 8+650).

## 1.4 Batasan Perancangan

Agar perancangan ini terarah dan tidak keluar dari tujuan serta mudah dipahami, untuk itu diperlukan adanya batasan perancangan sebagai berikut.

1. *Girder* yang digunakan dalam perancangan ulang jembatan yaitu *Prestressed Concrete T-Girder* dengan panjang bentang 40 m.
2. Proyek acuan dalam mendesain ulang struktur atas jembatan yaitu Proyek Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 – 8+650.
3. Perencanaan struktur beton pada perancangan ini mengacu pada RSNI-T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
4. Pembebanan yang digunakan dalam perancangan ini yaitu Peraturan Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI-1725-2016.
5. Perencanaan gempa yang digunakan dalam perancangan ini yaitu Standar Perencanaan Gempa untuk Jembatan SNI 2833-2016.



6. Analisis yang dilakukan dalam perancangan ini hanya untuk struktur atas jembatan meliputi balok prategang *girder* dan pelat lantai.
7. Perencanaan tidak dilakukan pada struktur bawah dan perletakan.
8. Analisis biaya dan waktu pengerjaan konstruksi tidak diperhitungkan.
9. Perancangan ulang jembatan dihitung menggunakan program *Microsoft Excel*.
10. Data-data yang tidak didapatkan dari proyek diasumsikan oleh penulis berdasarkan katalog yang valid dan relevan.

### **1.5 Manfaat Perancangan**

Adapun manfaat dari perancangan ini adalah hasil perancangan dapat digunakan sebagai referensi tentang alternatif desain struktur atas jembatan dengan *Prestressed Concrete T-Girder* pada bentang 40 m.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

*Girder* seperti *PCI girder*, *PCT girder*, *Box Girder*, dan lainnya pada jembatan jenis jembatan beton mempunyai peranan sebagai elemen utama penahan struktur. *Girder* memiliki fungsi yaitu mendistribusikan beban-beban yang diterima lantai jembatan ke struktur bawah. Struktur *girder* yang lazim dipakai untuk bentang 40 m adalah tipe *PCI girder* dan *PCT girder*. Penggunaan *I-girder* atau *T-Girder* ini dipilih berdasarkan fungsi dan keefektifan pada analisis mengenai proyek yang ada. Pada perancangan ini, proyek yang diteliti oleh penulis merupakan struktur eksisting yang menggunakan *PCI girder*. Perancangan ini menganalisis struktur atas jembatan menggunakan *PCT girder* bila diterapkan dalam proyek yang sama yaitu Proyek Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 – 8+650.

#### **2.2. Perancangan Terdahulu**

Perancangan mengenai *PCT Girder* sudah pernah dilakukan sebelumnya, hal ini memberikan referensi bagi penulis. Pada perancangan ini ada 5 jurnal terdahulu yang diambil sebagai referensi untuk pertimbangan perancangan ini. Jurnal tersebut adalah sebagai berikut.

##### **2.2.1 Studi Perbandingan Penggunaan PCU *Girder* dan *PCI Girder* pada Struktur Atas Jembatan Jurang Gempal, Wonogiri**

Studi yang dilakukan Putra dkk. (2017) merupakan penelitian yang bertujuan membandingkan hasil desain dengan kebutuhan luas total *girder*, tendon, penulangan struktur atas jembatan. Penelitian ini dilakukan pada jembatan Jurang Gempal dengan PCU *girder* dan *PCI girder*. Perhitungan ini memperhitungkan antara lain.

1. Perencanaan Dinding Tepi (*Barrier*) yang meliputi Desain Tulangan Pokok, desain tulangan susut, dan desain tulangan geser.
2. Perencanaan Pelat Lantai (*Slab*) Jembatan yang meliputi Berat Sendiri, Beban Mati Tambahan, Beban Hidup Truk “T”, Beban Angin (EW).
3. Desain Tulangan Pelat Lantai yang meliputi tulangan pokok, tulangan susut.
4. Perencanaan Pelat Injakan Jembatan yang meliputi penulangan arah melintang jembatan, Penulangan arah memanjang jembatan.
5. Perencanaan Balok Prategang U *Girder*
6. Desain Tulangan Lentur yang meliputi bagian samping, dan bagian bawah.
7. Desain Tulangan Geser.

Hasil dari perhitungan ini yaitu struktur atas jembatan PCU *girder* menggunakan 4 *girder* dan diperoleh luas total sebesar  $5,1192 \text{ m}^2$  dan PCI *girder* menggunakan 5 *girder* sehingga diperoleh luas total  $3,7615 \text{ m}^2$ . Hasil lainnya yaitu tendon yang dibutuhkan PCU dan PCI *girder* lebih banyak PCU *girder* sebanyak 32 buah, hal ini juga pada tulangan pokok dan geser yang dibutuhkan lebih banyak PCU *girder* sehingga PCU *girder* lebih mahal.

### **2.2.2 Desain Jembatan T-Girder Pada Sungai Jalan Antara Menggunakan SNI 1725 2016**

Ardi dkk. (2019) melakukan perencanaan ulang desain jembatan baru di Desa Putri Sembilan Kecamatan Rupal Utara dengan menggunakan *Prestressed Concrete T-Girder* dengan panjang bentang 25 meter dan lebar 7 meter. Perencanaan ulang ini mengacu pada SNI 1725-2016 bertujuan untuk mendapatkan desain struktur jembatan baru yang sesuai dengan standar aman yang berlaku. Pada perencanaan ulang jembatan ini menggunakan perhitungan antara lain sebagai berikut.

1. Perencanaan slab jembatan yang meliputi analisa beban slab jembatan, perhitungan momen jembatan, pembesian slab jembatan dengan menghitung tulangan lentur negatif dan tulangan lentur positif.
2. Perencanaan trotoar yang meliputi berat sendiri trotoar, beban hidup pedestrian, momen ultimit rencana trotoar, pembesian slab trotoar, dan pembesian slab trotoar.

3. Perencanaan pelat injak yang meliputi pelat injak arah melintang jembatan, momen pada pelat injak, pembesian pelat injak.
4. Perencanaan balok *girder* yang meliputi analisa beban balok *girder*, kombinasi pembebanan pada balok *girder*, dan pembesian balok *girder*.
5. Perencanaan balok diafragma yang meliputi analisa beban balok diafragma, kombinasi pembebanan pada balok diafragma, dan pembesian balok diafragma.

Hasil dari perhitungan pada perencanaan ulang jembatan ini yaitu mengetahui tebal pelat lantai, trotoar, pelat injak serta juga diketahui jumlah balok *girder* utama sebanyak 5 balok dengan jarak 1,5 m dan *girder* melintang sebanyak 6 balok diafragma dengan jarak diafragma yaitu 5 m.

### **2.2.3 Studi Perbandingan Perilaku Jembatan I Girder dan U Girder Akibat Pembebanan Jembatan**

Studi oleh Heryudiasari dkk. (2013) merupakan studi perbandingan pada struktur atas jembatan yang menggunakan gelagar beton prategang I *girder* dan U *girder*. Studi perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan perilaku jembatan akibat pembebanan pada struktur atas jembatan. Studi perbandingan dilakukan pada *Flyover* Peterongan, Jombang Jawa Timur dengan panjang bentang 36,6 meter. Perhitungan pada studi perbandingan ini antara lain.

1. Tegangan akibat sistem prategang
2. Kehilangan prategang (*Loss of Prestressed*) yang meliputi rangkakan (*creep*), susut (*shrinkage*), *Elastic Shortening of Concrete*, *Steel Shortening of Concrete*, dan *Steel Relaxation*.

Hasil dari penelitian studi perbandingan jembatan ini yaitu membandingkan I *girder* dan U *girder* yang ditinjau dari reaksi perletakan, gaya dalam balok *girder*, lendutan tengah bentang, lendutan pinggir bentang, tegangan, *Loss of Prestressed*, dan volume pekerjaan. Dari perhitungan tersebut diperoleh jembatan dengan struktur atas U *girder* lebih efektif dibandingkan dengan jembatan I *girder*. Kesimpulan yang dapat diambil adalah jembatan U *girder* apabila ditinjau mempunyai tingkat keefektifan yang tinggi pada struktur atas. Kekakuan struktur berpengaruh pada reaksi dan volume pekerjaan. Namun, volume pekerjaan pada U

*girder* lebih besar sehingga didapat perbandingan selisih volume antara jembatan U *girder* dan I *girder* sebesar 9,86%.

#### **2.2.4 Perbandingan Desain Struktur Balok Sederhana Bentang 50 Meter Menggunakan *Prestressed Concrete T-Girder* dan *Prestressed Concrete Box Girder***

Penelitian yang dilakukan oleh Rahmawati dkk. (2019) merupakan perancangan ulang struktur atas jembatan menggunakan dua jenis balok prategang yaitu *Prestressed Concrete T-Girder* dan *Prestressed Concrete Box Girder*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan keefektifan kedua balok prategang berdasarkan parameter berupa luas penampang, jumlah keausan tendon, dan jumlah *strands* yang digunakan. Penelitian dilakukan di Jembatan Sironoboyo, Pacitan dengan bentang 50 meter menggunakan SNI 1725:2016, RSNIT-12-2004 dan SNI 2833:2016. Adapun perhitungan pada analisis ini sebagai berikut.

1. Pembebanan balok prategang menggunakan peraturan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016
2. Perencanaan struktur atas yang meliputi tegangan pada kondisi awal dan kondisi akhir, kehilangan gaya prategang pada jangka pendek dan jangka panjang, tegangan akibat kombinasi pembebanan, kekuatan batas lentur, kontrol momen ultimit, dan tulangan geser.

Hasil yang didapat dari perhitungan analisis di atas yaitu struktur atas jembatan menggunakan *prestressed concrete T girder* didapat luas penampang sebesar 9,452 m<sup>2</sup>, digunakan 25 buah tendon, 650 buah *strands*, kehilangan gaya prategang 26,09% dan lendutan sebesar 0,0474 m, sedangkan pada struktur atas jembatan menggunakan *prestressed concrete Box girder* didapat luas penampang sebesar 12,289 m<sup>2</sup>, digunakan 24 buah tendon, 960 buah *strands*, kehilangan gaya prategang 27,8% dan lendutan sebesar 0,01654 m. Dari perbandingan tersebut disimpulkan bahwa *prestressed concrete T girder* lebih efisien digunakan pada Jembatan Sironoboyo.

### 2.2.5 Optimalisasi Disain Jembatan Buntung di Sleman Yogyakarta Menggunakan *PCI girder* dengan Variasi Mutu Beton dan Tinggi *Girder*

Penelitian yang dilakukan Prasetyo (2018) merupakan penelitian berupa desain ulang struktur Jembatan Buntung di Sleman dengan struktur atas *prestressed concrete I girder* menggunakan perbedaan variasi mutu dan tinggi *girder*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi antara variasi mutu dan tinggi *girder* mana yang aman dan paling hemat. Perhitungan pada penelitian ini meliputi antara lain.

1. Perhitungan dinding tepi (*barrier*) yang meliputi perhitungan pembebanan dan penulangan dinding pagar tepi.
2. Perhitungan pelat lantai (*slab*) jembatan yang meliputi perhitungan pembebanan dan penulangan pada pelat lantai jembatan serta, perhitungan pelat injak jembatan pada abutment.
3. Perhitungan balok prategang yang meliputi perhitungan momen pada penampang balok prategang, pembebanan balok prategang, perhitungan gaya prategang, eksentrisitas dan jumlah tendon, *Loss of Prestress*, tegangan yang terjadi pada penampang balok, control tegangan terhadap kombinasi pembebanan, tinjauan ultimit *I-Girder* prategang, momen ultimit akibat beton, lendutan pada *I-Girder* prategang, perhitungan besi non-prategang, tulangan geser balok prategang, dan *shear connector*.
4. Rincian anggaran biaya
5. Perhitungan kepala jembatan (*Abutment*) yang meliputi perhitungan pembebanan pada *abutment* jembatan, stabilitas terhadap guling dan geser pada *abutment*, *pile cap abutment*, *breast wall*, *back wall*, *corbel*, dan *wing wall*.

Hasil dari perhitungan ini didapat beberapa kombinasi antara mutu beton dengan ukuran tinggi *girder* yaitu H-210, H-170, H-160 dengan beberapa  $f_c'$ . Dari beberapa kombinasi tersebut yang masih aman digunakan dengan harga yang paling murah adalah kombinasi H-160 dengan  $f_c'49,8$  MPa.

### 2.3. Perbedaan Perancangan yang Sebelumnya Dengan Perancangan Sekarang

Berdasarkan beberapa perancangan analisis perbandingan struktur atas jembatan yang sudah dilakukan sebelumnya, pada perancangan sekarang dengan judul Perancangan Struktur Atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 - 8+650 menggunakan *PCT girder* belum pernah dilakukan. Berikut adalah Tabel 2.1 Perbedaan Perancangan yang Sebelumnya Dengan Perancangan Sekarang.

**Tabel 2.1 Perbedaan Perancangan yang Sebelumnya Dengan Perancangan Sekarang**

Penulis	Judul	Rumusan Masalah	Hasil
Putra dkk. (2017)	Studi Perbandingan Penggunaan PCU <i>Girder</i> dan <i>PCI girder</i> pada Struktur Atas Jembatan Jurang Gempal, Wonogiri	Bagaimana hasil perbandingan hasil desain PCU <i>Girder</i> dan <i>PCI girder</i> jika di desain pada struktur atas jembatan jurang gempal, wonogiri?	Didapat hasil PCU <i>girder</i> mempunyai luas total lebih banyak daripada <i>PCI girder</i> dan juga membutuhkan tendon lebih banyak daripada <i>PCI girder</i> yaitu sebanyak 32 buah.
Ardi dkk. (2019)	Desain Jembatan <i>T-Girder</i> pada Sungai Jalan Antara menggunakan SNI 1725 2016	Bagaimana hasil desain perencanaan ulang desain jembatan baru menggunakan <i>PCT girder</i> dengan panjang bentang 25 meter dan lebar 7 meter?	Diketahui analisa perhitungan pada <i>PCT girder</i> jembatan ini dengan jumlah balok <i>girder</i> utama sebanyak 5 balok jarak 1,5 m dan <i>girder</i> melintang sebanyak 6 balok diafragma dengan jarak diafragma yaitu 5 m.
Heryudiasari dkk. (2013)	Studi Perbandingan Perilaku Jembatan I <i>Girder</i> dan U <i>Girder</i> Akibat Pembebanan Jembatan	Bagaimana keefektifan perilaku jembatan pada struktur atas jembatan yang menggunakan <i>PCI girder</i> dan PCU <i>girder</i> ?	Hasil dari penelitian ini yaitu diperoleh jembatan dengan struktur atas PCU <i>girder</i> lebih efektif dibanding <i>PCI girder</i> . Serta hasil lainnya yaitu volume pekerjaan PCU <i>girder</i> lebih besar sebanyak 9,86% dibanding <i>PCI girder</i> .

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Perancangan yang Sebelumnya Dengan  
Perancangan Sekarang**

Rahmawati dkk. (2019)	Perbandingan Desain Struktur Balok Sederhana Bentang 50 Meter Menggunakan <i>Prestressed Concrete T-Girder</i> dan <i>Prestressed Concrete Box Girder</i>	Bagaimana perbandingan keefektifan kedua balok prategang berdasarkan parameter berupa luas penampang, jumlah keausan tendon, dan jumlah <i>strands</i> yang digunakan?	Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu jika penpggunakan <i>PCT girder</i> didapat luas penampang $9,452 \text{ m}^2$ , 25 tendon, 650 <i>strands</i> , kehilangan gaya prategang 26,09% dan lendutan sebesar 0,0474 m. Apabila menggunakan <i>PCB girder</i> didapat luas penampang $12,289 \text{ m}^2$ , 24 buah tendon, 960 buah <i>strands</i> , kehilangan gaya prategang 27,8% dan lendutan sebesar 0,01654 m
Prasetyo (2018)	Optimalisasi Disain Jembatan Buntung di Sleman Yogyakarta Menggunakan <i>PCI girder</i> dengan Variasi Mutu Beton dan Tinggi <i>Girder</i>	Bagaimana hasil desain ulang struktur Jembatan Buntung di Sleman dengan Struktur atas <i>PCI girder</i> menggunakan perbedaan variasi mutu dan tinggi <i>girder</i> ?	Hasil dari perhitungan ini didapat beberapa kombinasi antara mutu beton dengan ukuran tinggi <i>girder</i> yaitu H-210, H-170, H-160 dengan beberapa <i>fc'</i> . Dari beberapa kombinasi tersebut yang masih aman digunakan dengan harga yang paling murah adalah kombinasi H-160 dengan $fc'49,8 \text{ MPa}$ .
Saputri (2022)	Perancangan Struktur Atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 - 8+650 menggunakan <i>PCT girder</i>	Bagaimana hasil struktur atas jembatan dengan <i>Prestressed Concrete T Girder (PCT girder)</i> pada bentang 40 m?	



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1. Tinjauan Umum**

Pada bab ini menjelaskan tentang beberapa teori yang mendukung dalam penyusunan tugas akhir dengan judul Perancangan Struktur Atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 – 8+650 menggunakan *PCT girder*. Teori-teori tersebut diperoleh dari beberapa jurnal, buku, dan laporan tugas akhir dari peneliti sebelumnya meliputi teori tentang perbandingan struktur atas jembatan dengan menggunakan *prestressed concrete*. Analisis pada Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 – 8+650 ini dilakukan dengan merancang struktur atas jembatan.

#### **3.2. Jembatan**

Menurut Hadi (2018), jembatan merupakan suatu konstruksi guna meneruskan jalan yang melewati suatu rintangan di bawahnya berupa jalan air atau lalu lintas biasa. Jembatan dapat disebut *viaduct* jika jembatan tersebut berada di atas jalan lalu lintas biasa.

Struktur jembatan terbagi menjadi struktur atas dan struktur bawah jembatan. Pada struktur atas suatu jembatan terdapat bentang atau jarak antara dua penyangga sebuah struktur. Adapun bentang ekonomis jembatan berdasarkan material struktur atas yang digunakan. Menurut Direktorat Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga pada perencanaan jembatan, standar bangunan atas jembatan dengan tipe *girder* bentuk I dan T lebih efektif digunakan pada bentang 16 m – 40 m.

Struktur atas jembatan dirancang untuk memindahkan beban yang diterima slab jembatan yang berupa beban lalu lintas kemudian diteruskan ke perletakan. Adapun bagian-bagian dari struktur atas jembatan yaitu dinding tepi, trotoar, lantai atau slab jembatan, *girder*, diafragma jembatan, dan *bearing pad*.

### 3.3. Beton Prategang

Wiranata Zebua (2014) menyatakan bahwa beton prategang merupakan beton yang didalamnya diberi tegangan-tegangan. Gaya prategang yang diberikan di awal sebelum menerima beban kerja berfungsi untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan tegangan tarik saat menerima beban kerja. Adanya prategang pada beton memberikan tegangan tekan dalam penampang *prestressed concrete*. Gaya prategang ini berupa baja yang disebut *strand* atau tendon membentuk kabel sebagai tulangan tarik yang digantikan pada struktur beton bertulang pada umumnya.

Menurut Prasetyo (2018), terdapat beberapa jenis penampang berupa gelagar beton prategang atau *prestressed concrete girder* yang digunakan pada struktur atas jembatan pada perancangan ini yaitu sebagai berikut.

1. *Prestressed Concrete I-Girder (PCI-Girder)*

*PCI-Girder* memiliki desain penampang yang ramping yaitu bentuknya yang menyerupai huruf I. Penampang ini efektif dalam menahan beban tekuk dan beban geser.

2. *Box Girder*

*Box Girder* memiliki penampang berbentuk kotak berongga ataupun trapesium. Gelagar beton prategang ini efektif untuk menahan lendutan, geser, dan torsi.

3. *Prestressed Concrete U-Girder (PCU-Girder)*

*PCU-Girder* memiliki bentuk penampang yang menyerupai huruf U. Gelagar bentuk U ini diperkuat dengan baja-baja prategang di dalamnya.

Menurut Kiswanto (2020), terdapat juga gelagar beton prategang dengan penampang berbentuk T yaitu *Prestressed Concrete T-Girder (PCT girder)*. Pada *T-Girder* ini pelat lantai jalan dicor menyatu dengan beton prategang sehingga lebih efisiensi waktu pelaksanaan proyek. *T-Girder* dapat direncanakan variasi tinggi dan jumlah *T-Girder* sesuai dengan keinginan.

### 3.3.1. Konsep Analisis

Menurut Lin T.Y dan Burnas (1982), terdapat tiga konsep untuk menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang yaitu sebagai berikut.

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan elastis  
Konsep beton ini memerlukan beton sebagai bahan yang elastis. Konsep ini memberikan beton tekanan atau desakan terlebih dahulu. Beton mengalami dua pembebanan yaitu pada gaya internal prategang dan beban eksternal. Beban eksternal yang menyebabkan tegangan tarik dilawan oleh tegangan tekan gaya prategang.
2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi  
Konsep sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi ini seperti halnya pada beton bertulang yang dimana baja berperan guna menahan tarikan dan beton menahan desakan. Dengan kedua peran tersebut dapat menahan momen eksternal.
3. Sistem prategang untuk mencapai kesetimbangan beban  
Konsep untuk mencapai kesetimbangan beban ini usaha penggunaan prategang demi seimbangannya gaya-gaya pada batang. Pada struktur beton ini, pengaruh dari prategang dianggap kesetimbangan berat sendiri yang dimana lenturan pelat, balok dll tidak akan terjadi tegangan lentur pada pembebanannya.

### 3.4. Perencanaan Struktur Atas

Pada beton prategang jembatan lintas selatan jalur Planjan - Tepus ini digunakan panjang bentang yaitu 40 m. Pada perencanaan struktur atas terdiri dari beberapa perencanaan, antara lain adalah perencanaan lantai jembatan dan perencanaan balok prategang.

#### 3.4.1. Perencanaan Lantai Jembatan

Perencanaan lantai jembatan perlu dilakukan agar mampu mendukung beban untuk lalu lintas kendaraan. Lantai jembatan yang dipasang merupakan pelat melintang jembatan di atas *girder*. Pada perencanaan pelat lantai pada Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 - 8+650, data-data yang akan

digunakan dalam mendesain struktur atas jembatan *PCT girder* ini mengacu pada pembebanan untuk jembatan pada SNI 1725-2016.

Berdasarkan SNI 1725-2016, semua jembatan harus direncanakan dapat memikul beban tambahan untuk pelapisan kembali yang berupa aspal beton dengan tebal 50 mm kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang.

### 3.4.2. Perencanaan Balok Prategang

Pada perencanaan balok prategang ini, jenis balok prategang yang direncanakan yaitu balok T prategang atau *Prestressed Concrete T-Girder (PCT girder)*. Perencanaan balok prategang ini digunakan acuan pada SNI yang digunakan pada proyek jembatan yang digunakan sebagai obyek perancangan penulis. Balok prategang sendiri adalah balok beton dimana balok tersebut mengalami tegangan besar dan distribusi sehingga dapat mengimbangi hingga batas tertentu akibat beban eksternal.

Baja yang mempunyai kualitas baik dan mutu yang tinggi adalah bahan utama yang dimana berfungsi untuk menghasilkan gaya prategang dan gaya tarik pada perencanaan balok prategang ini. Baja ini sendiri berbentuk kawat, *strand* ataupun berbentuk batang. Menurut SNI, tegangan ijin beton untuk struktur lentur dan tegangan ijin tendon adalah sebagai berikut.

1. Tegangan ijin saat transfer untuk lentur tidak boleh melebihi:
  - a. Serat terluar mengalami  $f_{ci} \leq 0,6 \times f'_{ci}$
  - b. Serat terluar mengalami  $f_{ti} \leq 0,25 \times \text{akar } f'_{ci}$
2. Tegangan ijin saat akhir untuk lentur tidak boleh melampaui:
  - a. Serat terluar mengalami  $f_{cs} \leq 0,45 \times f'_{c}$
  - b. Serat terluar mengalami  $f_{ts} \leq 0,50 \times f'_{c}$
3. Tegangan ijin tarik tendon prategang tidak boleh melampaui:
  - a. Akibat gaya pengangkutan tendon  $\leq 0,94 \times f_{py}$ , tidak lebih besar dari  $0,85 \times f_{pu}$
  - b. setelah pemindahan gaya pratekan  $\leq 0,82 \times f_{py}$ , tidak lebih besar dari  $0,74 \times f_{pu}$ .

- c. Tendon paskatarik daerah angkur dan sambungan setelah penyaluran gaya  
 $\leq 0,70 \times f_{pu}$ .

Dengan:

$f_{ps}$  : tegangan tulang prategang saat mencapai kuat nominal

$f_{py}$  : kuat leleh tendon prategang

$f_{pu}$  : kuat tarik tendon prategang

### 3.4.3. Pembebanan Balok Prategang

Pembebanan yang digunakan dalam perencanaan balok prategang ini mengacu pada SNI 1725-2016 Pembebanan untuk jembatan yaitu sebagai berikut.

#### 1. Beban Permanen

Setiap bangunan yang dianalisis perlu dihitung berdasarkan dimensi yang tertera. Berat dari bangunan yang dianalisis tersebut dihitung dari massa dikali dengan percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi yang digunakan yaitu percepatan gravitasi standar  $9,81 \text{ m/detik}^2$ . Besarnya kerapatan massa dan berat isi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.1 Berat isi dan Kerapatan Menurut SNI 1725-2016**

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

#### a. Berat sendiri (MS)

Berat sendiri atau MS ini merupakan berat bagian tersebut serta structural lain yang termasuk didalamnya, hal ini termasuk juga bagian jembatan dan

bahan-bahannya (SNI 1725-2016). Faktor-faktor beban untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

**Tabel 3.2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri (MS)**

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		Keadaan Batas <i>Ultimate</i> ( $\gamma_{MS}^U$ )	
	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

b. Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan (MA) ini yaitu berat seluruh bahan yang ada pada jembatan yang merupakan non-struktural elemen serta besarnya berubah-ubah sesuai umur jembatan. Berdasarkan SNI 1725:2016 faktor-faktor beban yang digunakan untuk menghitung beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

**Tabel 3.3 Faktor Beban Perhitungan Beban Mati Tambahan**

Tipe beban	Faktor beban			
	Keadaan batas layan ( $\gamma_{ms}^L$ )		Keadaan batas <i>ultimate</i> ( $\gamma_{ms}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00(1)	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

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

2. Beban lalu lintas

a. Beban lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" ini terdiri dari Beban Terbagi Rata (BTR) dengan Beban Garis Terpusat (BGT). Faktor yang digunakan dalam beban lajur ini berdasarkan SNI 1725:2016 dapat dilihat pada Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.4 Faktor Beban Lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban ( $\gamma_{TD}$ )	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{sTD}$ )	Keadaan Batas <i>Ultimate</i> ( $\gamma_{uTD}$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

## b. Intensitas beban "D"

Berdasarkan SNI 1725:2016, BTR atau beban rata mempunyai intensitas  $q$  dengan satuan kPa. Besaran  $q$  ini diperhitungkan dengan panjang  $L$  yang dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

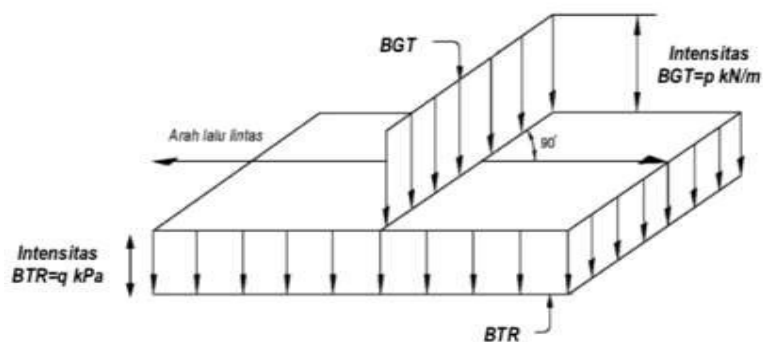
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \quad (3.1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (3.2)$$

dengan,

$q$  = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  = panjang total jembatan yang dibebani (meter)



Gambar 3.1 Beban Lajur "D"

Beban garis terpusat atau BGT ditempatkan pada tegak lurus terhadap arah lalu lintas. Untuk mendapatkan momen lentur negatif pada jembatan

menerus, BGT yang identik ditempatkan dengan arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

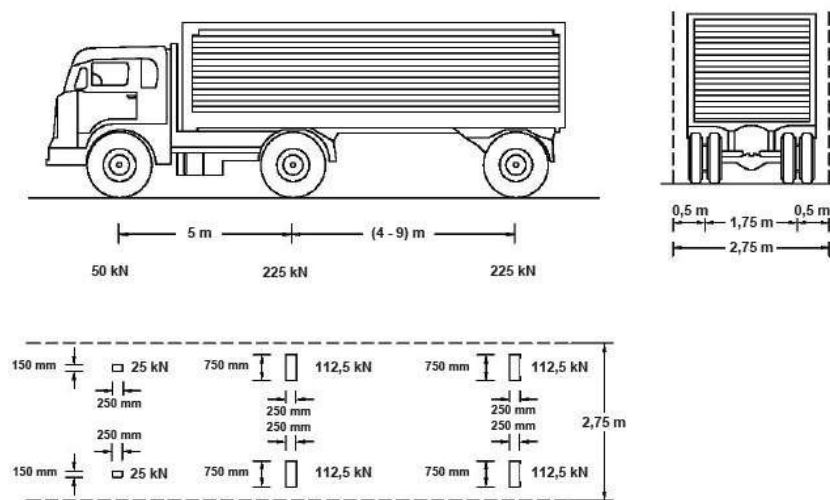
c. Beban truk "T" (TT)

Adanya beban truk "T" tidak dapat digunakan bersama dengan beban "D". Beban ini digunakan dalam perhitungan struktur lantai. Faktor beban truk ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.5 Faktor Beban Untuk Beban "T"**

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma^s_\pi$ )	Keadaan Batas Ultimate ( $\gamma^y_\pi$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Pembebanan truk "T" ini terdiri dari truk-truk semi-trailer yang berbentuk seperti gambar di bawah ini. Berat dari tiap gandar disebar menjadi 2 beban merata sama besar. Jarak antar 2 gandar tersebut bisa bervariasi dari 4-9 m untuk mendapat pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



**Gambar 3.2 Pembebanan Truk "T"**



d. Gaya Rem (TB)

Gaya rem diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1,8 m di atas permukaan jalan diletakan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Nilai gaya rem diambil dari nilai yang terbesar antara 25% berat truk desain atau 5% berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

e. Pejalan Kaki (TP)

Lebar trotoar lebih dari 600 mm harus dapat menerima beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan pada setiap lajur.

3. Faktor Beban Dinamis

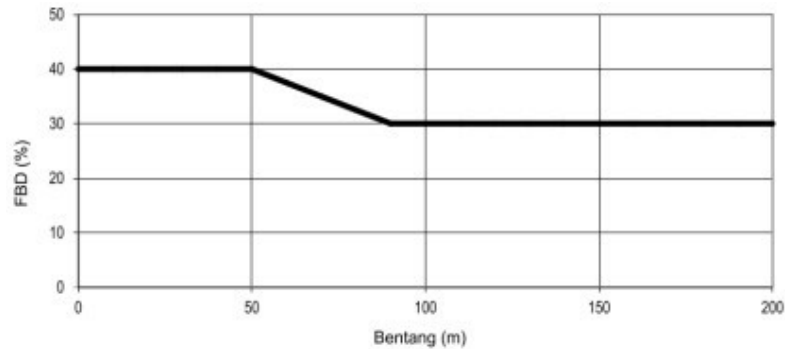
Faktor beban dinamis atau FBD yaitu interaksi antar kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besar dari faktor beban ini tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan. FBD dianggap sebagai beban statis ekuivalen pada perencanaan. Dalam pembebanan “D”, FBD adalah fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 3.4 dan juga untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$L_E = \sqrt{L_{max}L_{av}} \quad (3.3)$$

Dengan:

$L_{av}$  = panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambung secara menerus

$L_{max}$  = panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung secara menerus



**Gambar 3.3 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T**

#### 4. Beban Lingkungan

##### a. Tekanan Angin Horizontal

Beban angin bekerja horizontal dengan diasumsikan distribusi merata pada permukaan tegak lurus sumbu memanjang. Luas area yang dihitung adalah luas total dari seluruh komponen. Berdasarkan SNI 1725-2016, kecepatan angin rencana ( $V_{DZ}$ ) untuk jembatan dengan tinggi elevasi lebih dari 10000 mm di atas permukaan air atau tanah, harus dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \quad (3.4)$$

Dengan,

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

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

$V_B$  = kecepatan angin rencana (90 – 126 km/jam) pada elevasi 1000 mm

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

$V_o$  = kecepatan gesekan angin (berdasarkan Tabel 3.7) (km/jam)

$Z_o$  = panjang gesekan di hulu jembatan (berdasarkan Tabel 3.7) (mm)

Berdasarkan SNI 1725-2016, kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan ( $V_{10}$ ) dapat diperoleh dari,

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan,
- Jika tidak didapatkan data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90 - 126$  km/jam.

**Tabel 3.6 Nilai  $V_o$  dan  $Z_o$  untuk berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu**

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_o$	13,2	17,6	19,3
$Z_o$	70	1000	2500

b. Beban Angin pada Struktur ( $EW_s$ )

Arah angin rencana diasumsikan horizontal dengan kecepatan angin rencana yang digunakan sesuai dengan kondisi setempat. Apabila data tidak tersedia, tekanan angin rencana dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \times \left(\frac{VDZ}{VB}\right)^2 \quad (3.5)$$

Dengan,

$P_B$  = tekanan angin dasar ditentukan berdasarkan Tabel 3.6 pada SNI 1728-2016

**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 kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan tidak boleh kurang dari 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada gelagar balok.

c. Gaya angin pada kendaraan ( $E_{WL}$ )

Jembatan harus dapat memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan. Tekanan angin tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, yang tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

d. Beban akibat Temperatur ( $E_{un}$ )

Berdasarkan SNI 1725-2016, perbedaan temperatur pada gelagar terbuat dari beton atau baja harus berdasarkan temperature maksimum dan minimum pada Tabel 3.8 yang dapat digunakan untuk menghitung besaran rentang simpangan akibat beban temperature dengan persamaan berikut.

$$\Delta_T = \alpha L (T_{maxdesign} - T_{mindesign}) \quad (3.6)$$

dengan,

$\Delta_T$  = rentang simpangan akibat beban temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

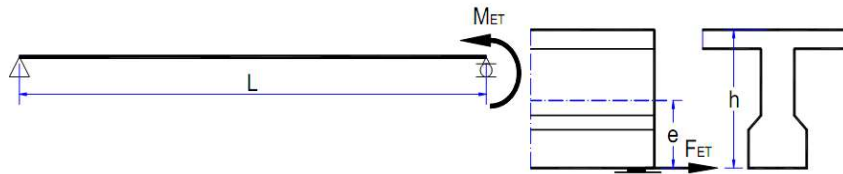
$L$  = panjang bentang jembatan (m)

$H$  = tinggi girder (m)

$T_{maxdesign}$  = temperatur jembatan rata-rata maksimum ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{mindesign}$  = temperatur jembatan rata-rata minimum ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\alpha$  = koefisien perpanjangan akibat suhu ( $\text{mm/mm}/^{\circ}\text{C}$ )



**Gambar 3.4 Beban Temperatur**

**Tabel 3.8 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal**

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut.		

e. **Beban Gempa**

Perencanaan beban gempa pada desain jembatan ini diambil dari peraturan SNI-2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Jembatan yang berlokasi di zona gempa 2, 3, dan 4, gempa vertikal harus disediakan pada perletakan dan pada lokasi sendi untuk struktur menerus dimana gaya gempa vertikal akibat gaya gempa longitudinal melebihi 50% dan kurang dari 100% reaksi vertikal akibat beban permanen. Gempa vertikal harus direncanakan untuk menahan nilai terbesar dari,

- 120% dari perbedaan antara gaya gempa vertikal dan reaksi akibat beban permanen, atau
- 10% reaksi akibat beban permanen.

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) sesuai Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Zona Gempa

Koefisien percepatan ( $S_{D1}$ )	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

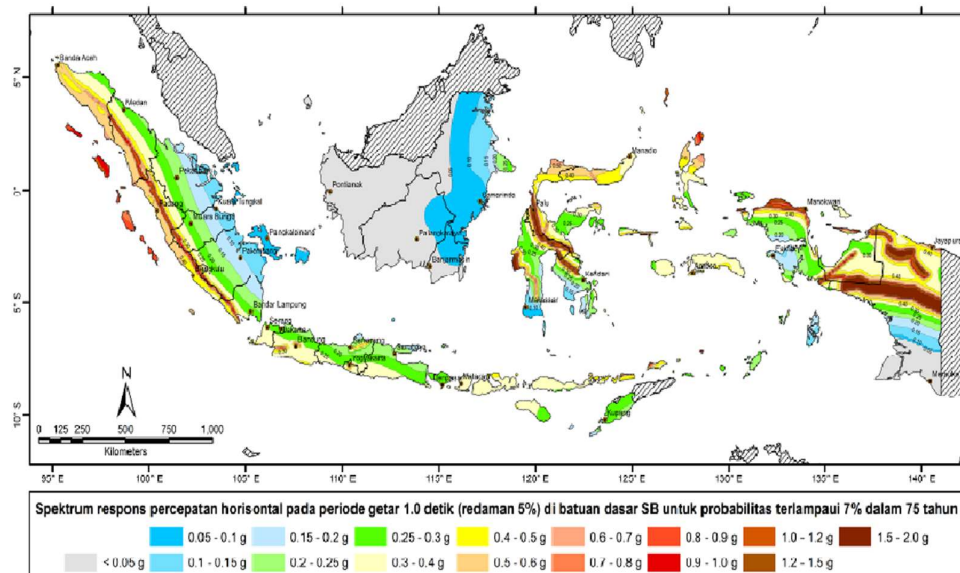
$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (3.7)$$

Dengan,

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

$F_v$  = nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ )

$S_1$  = parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1,0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 3.5).



**Gambar 3.5 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun**

#### **3.4.4. Kombinasi Pembebanan**

Kombinasi beban didasarkan pada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja bersamaan. Berdasarkan SNI 1725-2016, kombinasi beban harus dikalikan dengan faktor beban pada setiap beban yang dihitung sehingga dapat diketahui hasil dari beban yang bekerja pada jembatan. Faktor beban tersebut diambil sesuai pada Tabel 3.10 di bawah ini.

**Tabel 3.10 Kombinasi Beban**

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

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

-  $\gamma_p$  adalah faktor beban hidup kondisi gempa



### 3.4.5. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang pada tendon harus diambil dari jumlah kehilangan seketika dan kehilangan tergantung waktu dalam jangka pendek dan jangka panjang. Kehilangan gaya prategang atau *loss of prestress* dikelompokkan menjadi dua jenis sebagai berikut.

#### 1. Kehilangan prategang jangka pendek

##### a. Kehilangan tegangan akibat gesekan *cable (jack friction)*

Berdasarkan RSNI T-12-2004, koefisien gesek akibat adanya lengkungan tendon, bila tidak didapat data yang tepat dan semua tendon dalam satu selongsong diberi tegangan pada waktu yang sama. Perhitungan kehilangan gaya prategang akibat gesekan kabel (*jack*) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta_{fpF} = \frac{P_j - P_x}{A_t} \quad (3.8)$$

$$P_x = P_j \times e^{-\sum(\mu\alpha + kL_x)} \quad (3.9)$$

dengan,

$\Delta_{fpF}$  = kehilangan tegangan akibat gesekan *jack friction* (MPa)

$P_x$  = gaya prategang efektif tergesek pada lokasi sejarak  $x$  (N)

$P_j$  = gaya prategang pada saat *jacking* sebelum memperhitungkan kehilangan prategang (N)

$A_t$  = luas baja prategang yang digunakan ( $\text{mm}^2$ )

$e$  = bilangan natural

$k$  = koefisien *wobble*

$\mu$  = koefisien gesek

$\alpha$  = perubahan sudut total lintasan tendon (rad)

$L_x$  = panjang tendon yang ditinjau (mm)

Berdasarkan pada RSNI-T-12-2004, nilai koefisien gesek ( $\mu$ ) akibat kelengkungan tendon apabila tidak didapatkan nilai yang tepat dan jika

seluruh tendon dalam satu selongsong diberi tegangan dalam waktu yang sama, nilai koefisien gesek dapat diambil sebagai berikut.

- Untuk selongsong yang diberi pelumas diambil sebesar 0,05-0,15.
- Untuk selongsong logam dengan permukaan berprofil diambil sebesar 0,15-0,25.

Koefisien friksi *wobble* ( $k$ ) yaitu friksi yang tidak sengaja pada penempatan selongsong prategang dari kedudukan seharusnya. Berdasarkan RSNI T-12-2004, koefisien friksi *wobble* atau koefisien gesekan akibat simpangan menyudut yang tidak direncanakan dalam rad/m, dimana jika tidak diperoleh data yang tepat, nilai koefisien ini dapat ditetapkan berdasarkan ketentuan berikut.

- Untuk selongsong yang diberi pelumas bisa diambil sebesar 0,0003-0,0020.
- Untuk kawat baja (*wire*) pada selongsong logam dengan permukaan berprofil diambil sebesar 0,0010-0,0020.
- Untuk kawat untai (*strand*) pada selongsong logam dengan permukaan berprofil diambil sebesar 0,0005-0,0020 rad/m.
- Untuk batang baja (*bar*) pada selongsong logam yang berpermukaan berprofil diambil sebesar 0,0001-0,0006 rad/m.

b. Kehilangan tegangan akibat gesekan ankur (*anchorage set*)

Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur pada komponen paskatarik yang disebabkan adanya blok-blok pada ankur pada saat gaya *jacking* disalurkan ke ankur. Berdasarkan Buku Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan 021/BM/2011, besarnya gesekan ankur atau slip ankur bergantung pada sistem prategang yang digunakan dengan nilai variasi antara 3 – 10 mm. Nilai slip ankur sebesar 6 mm dapat diasumsikan dalam perhitungan untuk pendekatan (CL. 5.9.5.2.1 AASHTO-2004). Perhitungan kehilangan gaya prategang akibat slip ankur yaitu menggunakan persamaan berikut berdasarkan *Prestressed Concrete* oleh G. Nawy (2009).

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} \times E_s \quad (3.10)$$

dengan,

$\Delta f_{pA}$  = kehilangan tegangan akibat gesekan ankur (MPa)

$\Delta A$  = besar gesekan ankur (mm)

$E_s$  = Modulus elastisitas baja prategang (MPa)

$L$  = panjang tendon (m)

c. Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis (*elastic shortening*)

Pemendekan elastis terjadi akibat gaya prategang yang bekerja pada beton prategang. Perhitungan kehilangan tegangan akibat *elastic shortening* berdasarkan *Prestressed Concrete* oleh G. Nawy (2009) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\Delta f_{pES} = n \times f_{cs} \quad (3.11)$$

Dengan tegangan yang terjadi pada serat beton pada pusat baja balok saat transfer, diasumsikan  $P_i = P_j$ .

$$f_{cs} = -\frac{P_i}{A_c} \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) \frac{MD \times e}{I_c} \quad (3.12)$$

Reduksi  $P_i$  dengan asumsi 10% reduksi

$$\Delta f_{pES} = 90\% \times \Delta f_{pES} \quad (3.13)$$

2. Kehilangan prategang jangka panjang

a. Kehilangan tegangan akibat pengaruh rangkak (*creep*)

Berdasarkan RSNI T-12-2004, rangkak merupakan regangan yang terjadi dalam jangka panjang tergantung waktu sehingga mengakibatkan tambahan regangan terhadap regangan elastis beton. Kehilangan tegangan akibat rangkak dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta f_{pCR} = E_p \times \varepsilon_{cc} \quad (3.14)$$

$$(\varepsilon_{cc,t}) = \varphi_{cc}(t) \times \varepsilon_e \quad (3.15)$$

$$\varphi_{cc}(t) = \left( \frac{t^{0,6}}{(10+t^{0,6})} \right) \times C_u \quad (3.16)$$

$$C_u = 2,35 \times \gamma_{cc} \quad (3.17)$$

$$\gamma_{cc} = K_h^c \times K_d^c \times K_s^c \times K_f^c \times K_a^c \times K_{to}^c \quad (3.18)$$

dengan,

$\Delta f_{pCR}$  = kehilangan tegangan akibat susut (MPa)

$\varepsilon_{cc,t}$  = regangan elastis pada waktu tertentu

$\varphi_{cc}(t)$  = faktor rangkai beton

$C_u$  = koefisien rangkai maksimum

$T$  = waktu setelah pembebanan (hari)

$K_h^c$  = faktor koreksi kelembaban relatif setempat [H(%)]

$K_d^c$  = faktor koreksi ketebalan komponen beton [d (cm)]

$K_s^c$  = faktor koreksi konsistensi (*slump*) adukan beton [s (cm)]

$K_f^c$  = faktor koreksi kadar agregat halus dalam beton [F (%)]

$K_a^c$  = faktor koreksi kadar udara dalam beton [AC (%)]

$K_{to}^c$  = faktor koreksi umur beton saat dibebani [t (hari)]

b. Kehilangan tegangan akibat pengaruh susut (*shrinkage*)

Berdasarkan RSNI-T-12-2004, pengaruh susut beton pada struktur beton prategang harus diperhitungkan dalam kehilangan tegangan atau *loss of prestress* yang besar nilai susutnya bergantung pada waktu. Kehilangan tegangan akibat pengaruh susut dalam tendon dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta f_{pSH} = E_p \times \varepsilon_{cs} \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_{cs,t} = (t/(35+t)) \times \varepsilon_{cs,u} \quad (3.20)$$

$$\varepsilon_{cs,u} = 780 \times 10^{-6} \times \lambda_{cs} \quad (3.21)$$

$$\lambda_{cs} = K_h^s \times K_d^s \times K_s^s \times K_f^s \times K_b^s \times K_{ac}^s \quad (3.22)$$

dengan,

$\Delta f_{pCR}$  = kehilangan tegangan akibat susut (MPa)

$\epsilon_{cc,t}$  = regangan elastis pada waktu tertentu

$\phi_{cc}(t)$  = faktor rangkai beton

$C_u$  = koefisien rangkai maksimum

$T$  = umur beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan, terhitung sejak 7 hari setelah pengecoran (hari)

$K_h^s$  = faktor koreksi kelembaban relatif setempat [H(%)]

$K_d^s$  = faktor koreksi ketebalan komponen beton [d (cm)]

$K_s^s$  = faktor koreksi konsistensi (*slump*) adukan beton [s (cm)]

$K_F^s$  = faktor koreksi kadar agregat halus dalam beton [F (%)]

$K_b^s$  = faktor koreksi kadar udara dalam beton [C (kg/m<sup>3</sup>)]

$K_{ac}^s$  = faktor koreksi kadar udara dalam beton [AC (%)]

c. Kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon (*relaxation of tendon*)

Relaksasi tegangan baja terjadi karena tendon mengalami kehilangan gaya prategang akibat dari relaksasi atau perpanjangan konstan terhadap waktu serta, rasio antara prategang awal dan kuat leleh baja prategang  $f_{pi}/f_{py}$ . Menurut *Prestressed Concrete G. Nawy* (2009), untuk *low relaxation steel* kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \times \frac{\log t}{45} \times \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (3.23)$$

$$\log t = (\log t_2 - \log t_1) \quad (3.24)$$

Berdasarkan RSNI-T-12-2004, tegangan tarik baja prategang pada kondisi batas layan harus kurang dari nilai berikut.

- Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar  $0,94 f_{py}$  tetapi harus kurang dari  $0,85 f_{pu}$ .

- Sesaat setelah transfer gaya prategang, diambil sebesar  $0,82 f_{py}$  tetapi harus kurang dari  $0,74 f_{pu}$ .

### 3.4.6. Perencanaan *Shear Connector*

Penghubung geser atau shear connector direncanakan mampu menahan tegangan geser horizontal yang terjadi akibat adanya gaya lintang pada gelagar balok prategang. Berdasarkan RSNI T-12-2004 Pasal 5.2.8. tegangan ijin geser pada balok tidak boleh lebih dari nilai  $0,20 f_{ci}$ . Jika nilai tegangan geser yang terjadi lebih besar dari batas ketentuan tersebut, maka penampang balok harus diperbesar. Tegangan geser horizontal dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$f_v = \frac{V_i \times S_x}{b_v \times I_{xc}} \quad (3.25)$$

$$S_x = b_{eff} \times h_0 \times \left(\frac{y_{ac}-h}{2}\right) \quad (3.26)$$

$$a_s = \frac{f_s \times A_{st}}{V_i \times I_{xc}} \quad (3.27)$$

$$A_{st} = n_s \times A_s \quad (3.28)$$

dengan,

$f_v$  = tegangan geser horizontal akibat gaya lintang (kPa)

$V_i$  = gaya lintang pada penampang yang ditinjau (kN)

$S_x$  = statis momen bagian pelat terhadap titik berat penampang komposit ( $m^3$ )

$B_v$  = lebar bidang gesek antara pelat dan balok (m)

$b_{eff}$  = lebar efektif pelat (m)

$h_0$  = tebal pelat (m)

$I_{xc}$  = momen inersia penampang balok komposit ( $m^4$ )

$a_s$  = jarak antara *shear connector* (mm)

$f_s$  = tegangan ijin baja *shear connector* (kPa)

$A_{st}$  = luas total *shear connector* ( $m^2$ )

$n_s$  = jumlah *shear connector*

$A_s$  = luas satu *shear connector* ( $m^2$ )

### 3.4.7. Perencanaan Sengkang untuk *Bursting Force*

Berdasarkan RSNI-T-12-2004 *bursting* atau gaya pemecah yaitu tulangan tidak berada di dekat permukaan beton. Dipasang *bursting steel* pada daerah blok ujung selubung tendon (*end block*) untuk mencegah terjadinya retak atau hancur pada beton saat dilakukan *stressing cable* tendon. Perencanaan *bursting steel* pada balok prategang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

Rasio perbandingan lebar pelat angkur untuk sengkang arah vertikal,

$$r_a = \frac{a_1}{a} \quad (3.29)$$

Rasio perbandingan lebar pelat angkur untuk sengkang arah horizontal,

$$r_b = \frac{b_1}{b} \quad (3.30)$$

*Bursting force* untuk sengkang arah vertikal,

$$P_{bta} = 0,30 \times (1-r_a) \times P_j \quad (3.31)$$

*Bursting force* untuk sengkang arah horizontal,

$$P_{btb} = 0,30 \times (1-r_b) \times P_j \quad (3.32)$$

Luas tulangan sengkang arah vertikal yang diperlukan,

$$A_{ra} = \frac{P_{bta}}{(0,85 \times f_s)} \quad (3.33)$$

Luas tulangan sengkang arah horizontal yang diperlukan,

$$A_{rb} = \frac{P_{btb}}{(0,85 \times f_s)} \quad (3.34)$$

dengan,

$f_s$  = tegangan tarik ijin baja tulangan pada sengkang

Jumlah sengkang arah vertikal yang diperlukan,

$$n \text{ vertikal} = \frac{A_{ra}}{A_s} \quad (3.35)$$

Jumlah sengkang arah vertikal yang diperlukan,

$$n \text{ horizontal} = \frac{A_{rb}}{A_s} \quad (3.36)$$



## **BAB IV**

### **METODOLOGI PERANCANGAN**

#### **4.1. Jenis Perancangan**

Dalam perancangan ini, penulis mengumpulkan data-data yang berupa panjang bentang, tinggi *girder*, dan data-data lainnya yang digunakan untuk analisis struktur *girder* sebagai acuan yang akurat dalam desain struktur atas jembatan dengan *PCT girder*.

#### **4.2. Alat dan Bahan Perancangan**

Alat dan bahan yang akan digunakan dalam perancangan ini adalah sebagai berikut.

1. Kertas dan alat tulis  
Kertas dan alat tulis akan digunakan untuk mencatat data yang telah dikumpulkan dilapangan agar data tidak hilang dan tercatat dengan baik.
2. Laptop  
Laptop digunakan sebagai alat analisis dan pengolah data-data yang telah terkumpul.
3. *Software Microsoft Excel*  
*Software* ini digunakan untuk mengolah data-data yang telah didapat.
4. *Software Microsoft Word*  
*Software* ini digunakan untuk menganalisis hasil desain yang dilakukan di *Microsoft Excel*.

#### **4.3. Studi Literatur**

Dalam perancangan struktur atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 - 8+650, digunakan beberapa literatur sebagai berikut.

1. SNI 1725:2016 (Pembebanan untuk Jembatan)
2. SNI 2833:2016 (Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)

3. RSNI-T-12-2004 (Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)
4. RSNI-T-02-2005 (Standar Pembebanan untuk Jembatan)
5. Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, NO. 02 / M / BM / 2021

#### 4.4. Data Perancangan

Data untuk perancangan yang berjudul Perancangan Struktur Atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 - 8+650 menggunakan *PCT girder* ini yaitu data primer dan data sekunder. Adapun perbedaan antara data primer dan data sekunder adalah sebagai berikut.

1. Data primer adalah data yang dikumpulkan langsung oleh peneliti di lapangan yang dimana peneliti terlibat langsung dalam pengumpulan data-data ini. Data ini yaitu data analisa struktur *PCI girder* pada proyek perancangan.
2. Data sekunder adalah data yang dikumpulkan peneliti dari jurnal-jurnal terpublikasi di internet yang telah tervalidasi dan digunakan sebagai referensi oleh penulis untuk keperluan data tugas akhir perancangan ini.

#### 4.5. Analisis Perancangan Jembatan

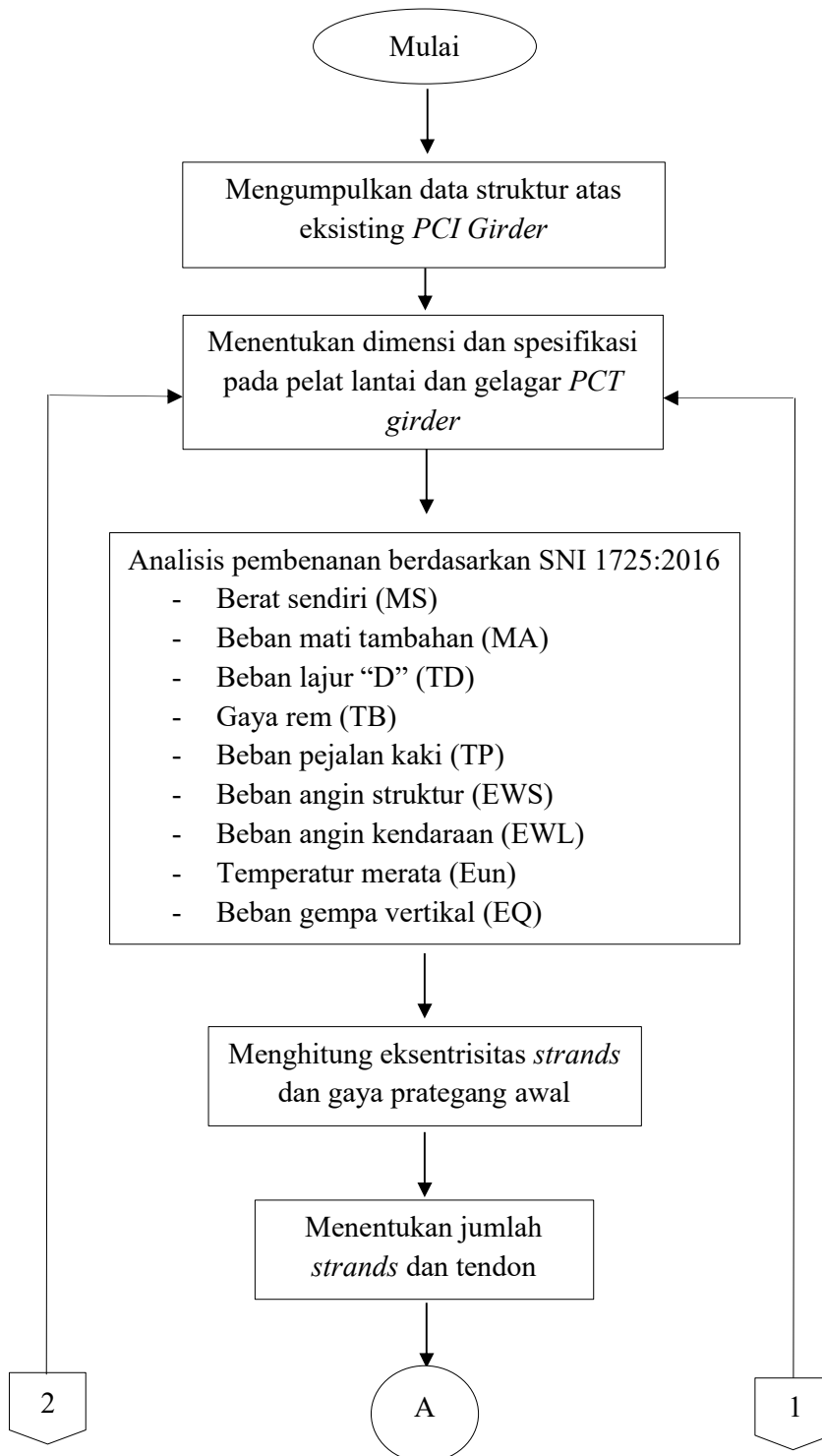
Data-data yang dikumpulkan oleh penulis diatas diperlukan guna menganalisis lebih lanjut *PCT girder*. Analisis tersebut dilakukan untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan dari penggunaan *PCT girder* yang akan didesain berdasarkan proyek perancangan. Adapun langkah-langkah analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

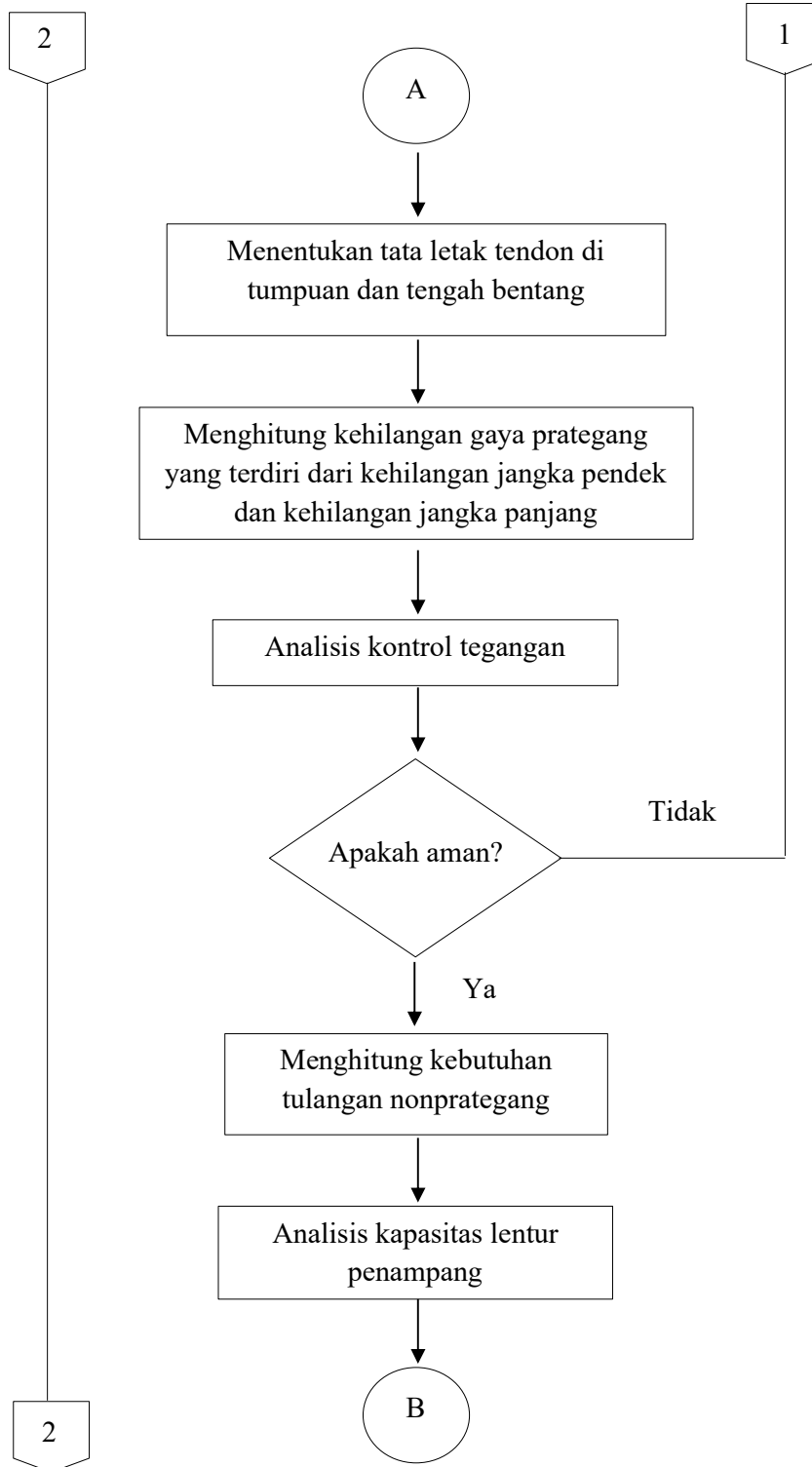
1. Mengumpulkan data struktur atas eksisting *PCI girder* Jembatan Jalur Pantai Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+53 – 8+650 seperti panjang bentang, lebar jembatan, kuat tekan beton yang digunakan, dan data-data struktur lainnya.
2. *Preliminary* desain atau desain pendahuluan dalam perancangan ini yaitu menentukan dimensi penampang *PCT girder* dan pelat lantai serta spesifikasi yang digunakan.
3. Menghitung pembebanan struktur atas berupa beban berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur “D”, beban akibat gaya rem, beban pejalan kaki, beban

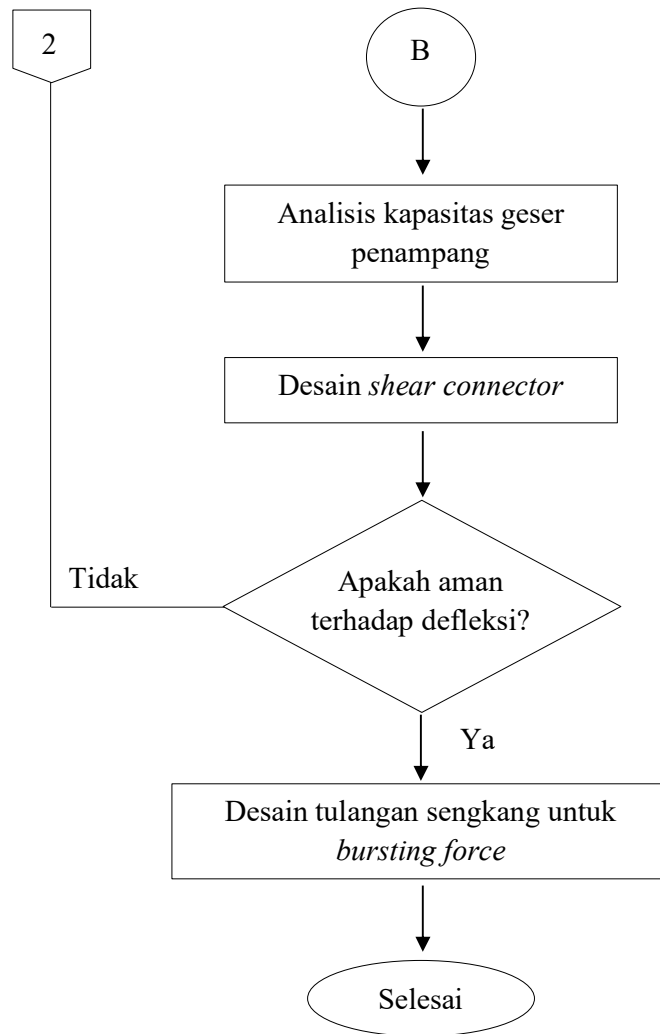
angin struktur, beban angin kendaraan, beban pengaruh temperature merata, dan beban gempa vertikal.

4. Menghitung eksentrisitas *strands* dan gaya prategang awal
5. Menghitung kebutuhan *strands* dan tendon untuk mendapatkan jumlah *strands* dan tendon yang dapat digunakan.
6. Menentukan tata letak tendon pada posisi di tengah bentang dan posisi di tumpuan. Selanjutnya, dapat dihitung eksentrisitas pada masing-masing tendon dan lintasan inti tendon.
7. Menghitung kehilangan prategang jangka pendek dan kehilangan prategang jangka panjang. Kehilangan prategang jangka pendek yang dihitung yaitu kehilangan tegangan akibat pergeseran ankur, kehilangan tegangan akibat gesekan kabel dan kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis. Kehilangan prategang jangka panjang yang dihitung yaitu kehilangan tegangan akibat pengaruh rangkai, kehilangan tegangan akibat pengaruh susut dan kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon.
8. Pemeriksaan tegangan pada keadaan awal, keadaan setelah kehilangan gaya prategang, keadaan setelah pelat lantai selesai dicor (beton muda), dan keadaan setelah pelat dan balok menjadi komposit.
9. Menghitung kebutuhan tulangan nonprategang yang dibutuhkan pada gelagar *PCT girder*.
10. Menghitung kapasitas lentur penampang.
11. Menghitung kapasitas geser penampang.
12. Menghitung desain *shear connector* yang digunakan.
13. Analisis kontrol defleksi pada gelagar sebelum komposit, defleksi pada gelagar komposit, dan defleksi akibat beban hidup kendaraan.
14. Menghitung desain tulangan sengkang untuk *bursting*.
15. Melakukan pembahasan terkait hasil perancangan struktur atas *PCT girder*.

#### 4.6. Bagan Alir Perancangan







**Gambar 4.1** Bagan Alir (*Flowchart*) Metodologi Perancangan

## BAB V

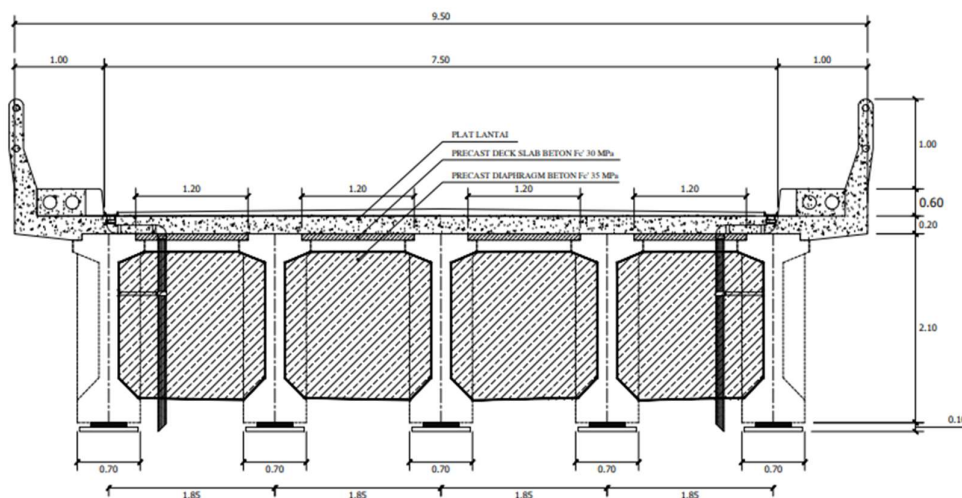
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Tinjauan Umum

Struktur atas pada Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 - 8+650 telah dibangun menggunakan konstruksi beton prategang dengan bentuk penampang *PCI girder*. Pada tugas akhir ini direncanakan desain struktur atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8+530 – 8+650 menggunakan konstruksi beton prategang dengan bentuk penampang *PCT girder* yang analisisnya menggunakan program *Microsoft Excel*. Dalam perencanaan jembatan ini, digunakan umur rencana 50 tahun berdasarkan RSNIT-02-2005 yaitu, faktor beban pada keadaan batas ultimit didasarkan pada umur rencana jembatan 50 tahun sehingga faktor beban ultimit diubah dengan faktor pengali.

##### 5.1.1. Data Teknis Jembatan Eksisting *PCI Girder*

Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8,530-8+650 telah dibangun menggunakan struktur atas balok prategang dengan bentuk penampang I-Girder dengan data sebagai berikut.



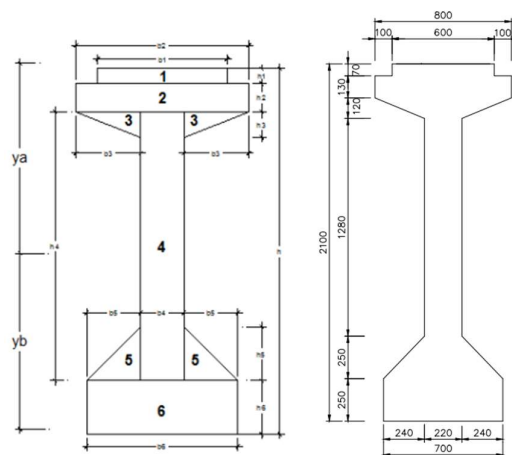
**Gambar 5.1 Potongan Melintang Jembatan Eksisting *PCI Girder***

1. Panjang total jembatan (Lt) = 123,477 m
2. Panjang bentang jembatan (L) = 40 m
3. Jumlah *PCI girder* (n) = 5 buah
4. Tebal genangan air hujan (th) = 0,04 m
5. Tebal lapisan aspal dan overlay (ha) = 0,04 m

Adapun dimensi penampang *PCI girder* yang digunakan pada jembatan ini yaitu pada Tabel 5.1 Berikut.

**Tabel 5.1 Dimensi Balok Prategang *I-Girder***

i	Dimensi		Luas Tampang
	Lebar	Tinggi	
	b	h	A
	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )
1	0,07	0,60	0,042
2	0,13	0,80	0,104
3	0,12	0,29	0,0348
4	0,22	1,65	0,363
5	0,25	0,24	0,06
6	0,25	0,70	0,175
Total =		2,1	0,7788



**Gambar 5.2 Penampang Balok Prategang Eksisting *I-Girder***



### 5.1.2. Data Bahan

Mutu bahan yang digunakan dalam perencanaan desain struktur atas jembatan dengan bentuk penampang *PCT girder* yaitu berdasarkan mutu bahan yang dipakai pada Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8,530-8+650 dengan struktur atas penampang *PCI girder* yaitu sebagai berikut.

1. Mutu Beton
  - a. Beton prategang pada *PCT girder* digunakan mutu beton K-600 atau setara dengan  $f'c = 49,8$  MPa.
  - b. Untuk beton prategang pada pelat lantai (*slab*) digunakan mutu beton K-350 atau setara dengan  $f'c = 29,05$  MPa.
2. Mutu Baja Tulangan
  - a. Untuk baja tulangan deform  $\phi > 12$  mm digunakan mutu baja U-42, tegangan leleh baja yang digunakan  $f_y = 420$  MPa.
  - b. Untuk baja tulangan polos  $\phi \leq 12$  mm digunakan mutu baja U-24, tegangan leleh baja yang digunakan  $f_y = 240$  MPa.

**Tabel 5.2 Data Tendon Baja Prategang**

<b>DATA STRANDS CABLE – STANDARD VSL</b>			
Jenis strands: 7 wire low relaxation strands ASTM A-416-85 grade 270			
Tegangan leleh <i>strand</i>	$f_{py}$	1675	Mpa
Kuat tarik <i>strand</i>	$f_{pu}$	1860	Mpa
Diameter nominal <i>strands</i>	$d$	12,7	mm
Luas tampang nominal satu <i>strands</i>	$A_{st}$	98,7	mm <sup>2</sup>
Beban putus minimal satu <i>strands</i>	$P_{bs}$	183,7	kN
Jumlah kawat untaian ( <i>strands cable</i> )	$n$	19	kawat/tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Beban putus satu tendon	$P_{b1}$	3490,3	kN
Modulus elastis <i>strands</i>	$E_s$	195000	MPa
Tipe dongkrak		VSL	

Tabel 5.3 Data Berat Volume Bahan

<i>Spesific Gravity</i>		(kN/m <sup>3</sup> )
Beton prategang	wc	25,50
Beton bertulang	wc'	24,00
Aspal	waspal	22
Air hujan	wair	9,80

### 5.2. Perencanaan Awal Desain *PCT Girder (Preliminary Design)*

Dilakukan perencanaan ulang struktur atas pada Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus STA. 8,530 - 8+650 menggunakan struktur balok prategang dengan penampang *PCT girder* dengan data berikut.

1. Panjang total jembatan (Lt) = 123,477 m
2. Panjang bentang jembatan (L) = 40 m
3. Tebal genangan air hujan (th) = 0,05 m
4. Tebal lapisan aspal dan overlay (ha) = 0,05 m

Perencanaan dimensi balok prategang T-*girder* dihitung berdasarkan Buku Desain Struktur Beton Prategang dari TY Lin dan H Burns untuk menentukan tinggi gelagar sedangkan kriteria penampang yang lain berdasarkan *AASHTO Standard Specifications of Highway Bridge 17<sup>th</sup> Edition*. Berikut perencanaan dimensi balok prategang T-*girder*.

1. Tinggi gelagar (H)

Tinggi gelagar ditentukan dengan rumus pendekatan  $\frac{1}{17} L$  s/d  $\frac{1}{25} L$  sehingga,

$$H = \frac{1}{17} \times 40$$

$$= 2,353 \text{ m s/d}$$

$$H = \frac{1}{25} \times 40$$

$$= 1,6 \text{ m}$$

Berdasarkan nilai tersebut direncanakan tinggi gelagar (H) = 1,65 m

2. Lebar web (bw)

Direncanakan tebal web (bw) sebesar 0,2 m.

3. Tebal sayap atas (ts)

Direncanakan tebal sayap atas (ts) sebesar 0,2 m.

Kontrol:

- a.  $t_s \geq t_{s \text{ min}}$   
 $0,2 \text{ m} \geq 0,12 \text{ m (OK)}$
- b.  $t_s \geq 0,5 b_w$   
 $0,2 \geq 0,5 \times 0,2$   
 $0,2 \text{ m} \geq 0,1 \text{ m (OK)}$

4. Lebar efektif sayap atas ( $b_{eff}$ )

Direncanakan lebar efektif sayap atas ( $b_{eff}$ ) sebesar 1,9 m sehingga, jarak antara balok prategang ( $s$ ) sebesar 1,9 m.

Kontrol:

- a.  $b_{eff} < \frac{1}{4} L$   
 $1,9 \text{ m} < 10 \text{ m (OK)}$
- b.  $\frac{b_{eff} - b_w}{2} \leq 8 t_s$   
 $\frac{1,9 - 0,2}{2} \leq 8 \times 0,2$   
 $0,85 \text{ m} \leq 1,6 \text{ m (OK)}$
- c.  $\frac{b_{eff} - b_w}{2} \leq \frac{s - b_w}{2}$   
 $\frac{1,9 - 0,2}{2} \leq \frac{1,9 - 0,2}{2}$   
 $0,85 \text{ m} \leq 0,85 \text{ m (OK)}$

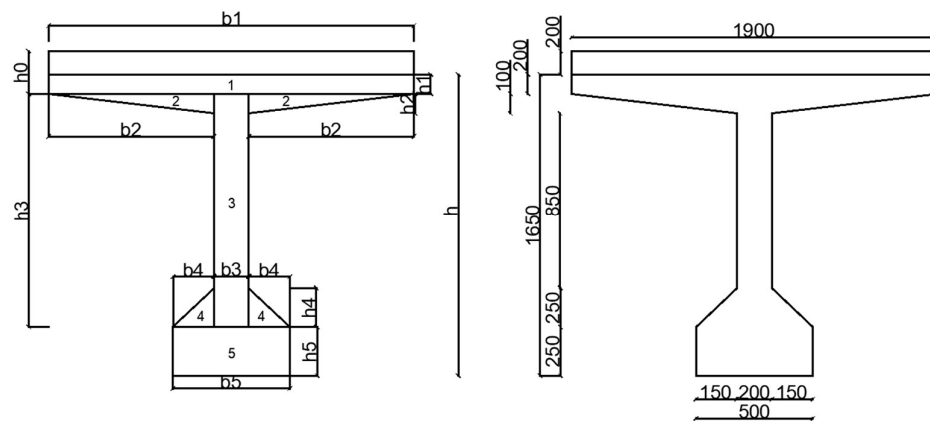
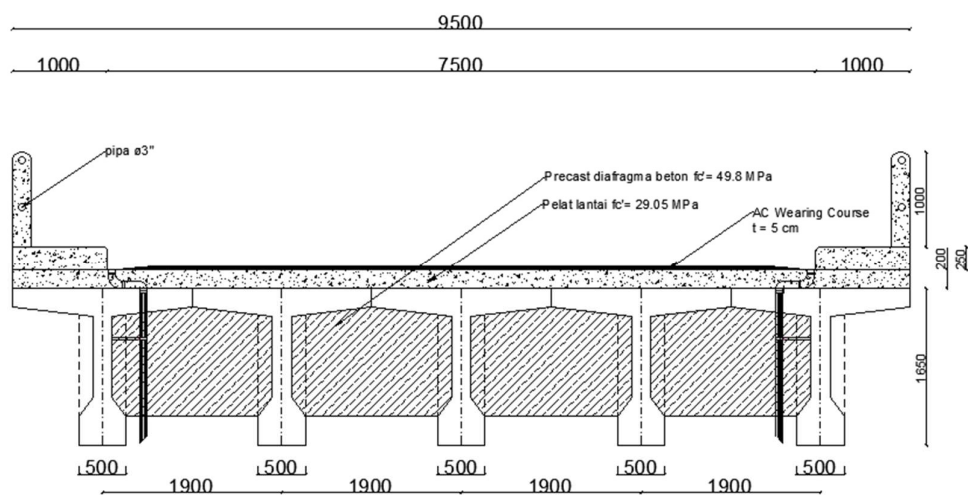
5. Lebar sayap bawah

Lebar sayap bawah dapat ditentukan antara 1,5 ft s/d 2 ft atau 0,4572 m s/d 0,609 m. Sehingga direncanakan lebar sayap bawah sebesar 0,5 m.

Berdasarkan penentuan dimensi penampang *T-Girder*, berikut adalah hasil dimensi *PCT girder* yang digunakan.

Tabel 5.4 Dimensi Balok Prategang *T-Girder*

i	Dimensi		Luas Tampang
	Lebar	Tinggi	
	b (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )
1	1,900	0,200	0,380
2	0,850	0,100	0,085
3	0,200	1,200	0,240
4	0,150	0,250	0,038
5	0,500	0,250	0,125
Total =		1,650	0,868

Gambar 5.3 Penampang Balok Prategang *T-Girder*Gambar 5.4 Potongan Melintang Jembatan *PCT Girder*

### 5.3. Perhitungan Pelat Lantai Jembatan

Berdasarkan pembebanan jembatan pada SNI 1725:2016, pelat lantai jembatan (slab) digunakan perencanaan tampang melintang dengan ketebalan minimum sesuai dengan Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan No.02/M/BM/2021.

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 40 \cdot s_g) \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 40 (1,9)) \text{ mm}$$

$$t_s \geq 176 \text{ mm}$$

Sehingga, digunakan tebal pelat lantai ( $h_0$ ) = 200 mm  
= 0,20 m

Pada *PCT girder*, slab telah dicor menyatu dengan gelagar sehingga pelat lantai ditambahkan setebal 0,20 m sebagai pengaku. Penulangan pelat lantai digunakan rasio tulangan minimum sebagai berikut.

Rasio tulangan minimum,

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \cdot \sqrt{49,8}}{420} \\ &= 0,0042 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum berdasarkan SNI 2847:2019,

$$\rho_{\max} = 0,025$$

Rasio tulangan pakai,  $\rho = 0,0042$

Luas tulangan perlu,

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0042 \times 1000 \times 200 \\ &= 840,109 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba diameter tulangan pokok D13 sehingga jumlah tulangan diperlukan,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\
 &= \frac{840,109}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} \\
 &= 6,329 \\
 &\approx 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan aktual terpasang,

$$\begin{aligned}
 A_{Spokok} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 929,126 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tinggi blok tekan,

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{Spokok} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{929,126 \times 420}{0,85 \times 49,8 \times 1000} \\
 &= 9,219 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai  $\beta_1$  untuk  $28 \text{ MPa} < f_c' < 58 \text{ MPa}$ ,

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{f_c' - 28}{7} \\
 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{49,8 - 28}{7} \\
 &= 0,694
 \end{aligned}$$

Garis netral,

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{9,219}{0,694} \\
 &= 13,278 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Regangan pada tulangan tarik,

$$\begin{aligned}
 dt &= h - P_b + \frac{1}{2} \times D \\
 &= 211 - 25 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 168,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{(dt - c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(168,5 - 13,278)}{13,278} \times 0,003 \\
 &= 0,035 > 0,005, \text{ tulangan terkendali tarik}
 \end{aligned}$$

Sehingga, tulangan pokok pada pelat lantai digunakan 7-D13 mm.

Desain tulangan susut,

$$\text{Diameter tulangan susut pakai (P)} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut (Ad)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Mutu baja tulangan digunakan (fy)} = 240 \text{ MPa}$$

Luas tulangan aktual terpasang,

$$\begin{aligned} \text{As susut} &= 0,0018 \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 200 \times 1000 \\ &= 360 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan diperlukan,

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{st}}{Ad} \\ &= \frac{360}{78,540} \\ &= 4,584 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

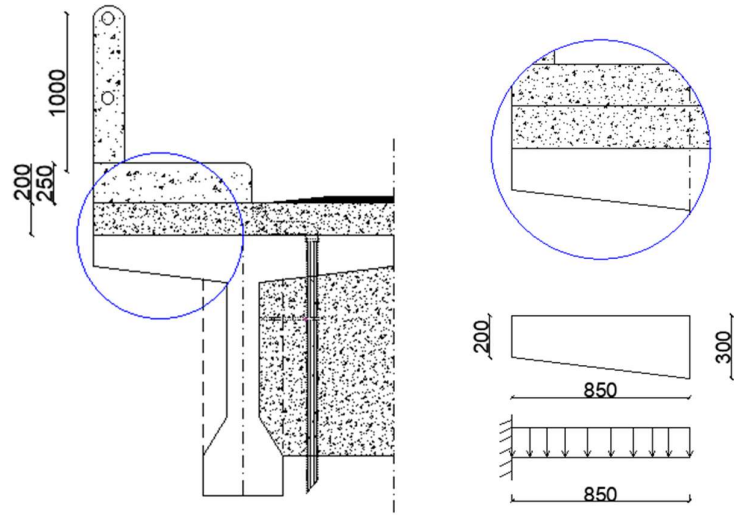
Sehingga tulangan susut yang dipakai pada pelat lantai yaitu 5-P10 mm.

#### 5.4. Perhitungan Balok Kantilever

Pada bagian sayap atas *PCT girder* diasumsikan menjadi balok kantilever untuk menentukan apakah dimensi sayap atas tersebut aman terhadap beban-beban yang bekerja di atasnya. Berikut adalah perhitungan balok kantilever pada sayap atas *PCT girder*.

1. Balok kantilever pada gelagar bagian tepi ( $h_k = 0,30 \text{ m}$ )

Pada balok kantilever di bagian tepi *PCT girder*, beban yang bekerja di atasnya yaitu beban berat sendiri, beban mati tambahan, beban pejalan kaki, dan beban gempa.



**Gambar 5.5 Bagian Sayap Atas *PCT Girder* pada Posisi Tepi ( $H_k = 0,30$  m)**

a. Pembebanan balok kantilever posisi tepi gelagar

1) Berat sendiri (MS)

a) Berat balok kantilever

$$\text{Lebar balok kantilever (bk)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balok kantilever (hk)} = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton prategang (wc)} = 25,50 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri balok kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok\_k}} &= A \times wc \\ &= (0,85 \times 0,30) \times 25,50 \\ &= 6,503 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b) Berat pelat lantai

$$\text{Lebar pelat lantai (bplat\_k)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Tebal pelat lantai (hplat\_k)} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton (wc')} = 24,00 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri pelat lantai kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{\text{plat\_k}} &= A \times wc' \\ &= (0,85 \times 0,20) \times 24,00 \\ &= 4,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tepi gelagar.

**Tabel 5.5 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban Berat Sendiri	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc	QMS_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Balok kantilever	0,85	0,30	0,255	25,50	6,503
2	Pelat lantai	0,85	0,20	0,17	24,00	4,08
Total						10,583

Momen akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} MMS_k &= \frac{1}{2} \times QMS \times L^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 10,583 \times 1^2 \\ &= 5,291 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} VMS_k &= RAV \\ &= QMS \times L \\ &= 10,583 \times 1 \\ &= 10,583 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 2) Beban mati tambahan (MA)

### a) Berat trotoar

$$\begin{aligned} \text{Lebar trotoar (btr}_k) &= 0,85 \text{ m} \\ \text{Tebal trotoar (ttr)} &= 0,25 \text{ m} \\ \text{Berat volume beton (wc')} &= 24,00 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Berat sendiri balok kantilever,

$$\begin{aligned} Qtr_k &= A \times wc \\ &= (0,85 \times 0,25) \times 24,00 \\ &= 5,100 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### b) Berat railing

$$\text{Lebar railing (br)} = 0,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi railing (hr)} &= 1,25 \text{ m} \\ \text{Berat volume beton (wc')} &= 24,00 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Berat sendiri pelat lantai kantilever,} \\ \text{Qrailing} &= A \times \text{wc}' \\ &= (0,20 \times 1,25) \times 24,00 \\ &= 6,00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tepi gelagar.

**Tabel 5.6 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban Mati Tambahan	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc'	QMA_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Trotoar	0,85	0,25	0,170	24,00	5,100
2	Railing	0,2	1,25	0,250	24,00	6,000
Total						11,100

Momen akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned} \text{MMA}_k &= \frac{1}{2} \times \text{QMA} \times L^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 11,100 \times 1^2 \\ &= 5,550 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned} \text{VMA}_k &= \text{RAV} \\ &= \text{QMA} \times L \\ &= 11,100 \times 1 \\ &= 11,100 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3) Pejalan kaki (TP)

Jumlah trotoar di salah satu tepi gelagar ( $\text{ntr}_k$ ) = 1,00 buah

$$\text{Beban pejalan kaki (Qp)} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lebar trotoar (btr}_k) = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (ltr}_k) = 1,00 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban pejalan kaki (QTP}_k) &= Q_p \times b_{tr\_k} \times n_{tr\_k} \\
 &= 5,00 \times 0,85 \times 1,00 \\
 &= 4,25 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban pejalan kaki,

$$\begin{aligned}
 \text{MTP}_k &= \frac{1}{2} \times \text{QTP}_k \times L^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 4,25 \times 1^2 \\
 &= 2,125 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban pejalan kaki,

$$\begin{aligned}
 \text{VTP}_k &= \text{RAV} \\
 &= \text{QTP}_k \times L \\
 &= 4,25 \times 1 \\
 &= 4,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 4) Beban Gempa (EQ)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban gempa vertikal (QEQv}_k) &= 10\% \times (\text{QMS} + \text{QMA}) \\
 &= 10\% \times (10,583 + 11,100) \\
 &= 2,066 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 \text{MEQv}_k &= \frac{1}{2} \times \text{QEQv}_k \times L^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 2,066 \times 1^2 \\
 &= 1,033 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 \text{VEQv}_k &= \text{RAV} \\
 &= \text{QTP}_k \times L \\
 &= 2,066 \times 1 \\
 &= 2,066 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### b. Kombinasi pembebanan

Perhitungan kombinasi pembebanan didasarkan pada SNI 1728:2016 dengan faktor beban yang telah ditetapkan dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

**Tabel 5.7 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	1,8	4,250	2,125	7,650	3,825
Total						42,549	21,275

**Tabel 5.8 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	1,4	4,250	2,125	5,950	2,975
Total						40,849	20,425

**Tabel 5.9 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
Total						34,899	17,450

**Tabel 5.10 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
Total						34,899	17,450

**Tabel 5.11 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
Total						34,899	17,450

**Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	0,3	4,250	2,125	1,275	0,638
4	Beban Gempa	EQ	1	2,066	1,033	2,066	1,033
Total						38,342	19,171

**Tabel 5.13 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	0,5	4,250	2,125	2,125	1,063
Total						37,024	18,512

**Tabel 5.14 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
3	Pejalan Kaki	TP	1	4,250	2,125	4,250	2,125
Total						25,933	12,966

**Tabel 5.15 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
3	Pejalan Kaki	TP	1,3	4,250	2,125	5,525	2,763
Total						27,208	13,604

**Tabel 5.16 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tepi (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
3	Pejalan Kaki	TP	0,8	4,250	2,125	3,400	1,700
Total						25,083	12,541

**Tabel 5.17 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tepi  
(Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
Total						21,683	10,841

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan pada balok kantilever didapatkan momen ultimit dan gaya geser ultimit terbesar pada kombinasi Kuat I sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimit pakai (Mu pakai)} &= 21,275 \text{ kNm} \\ &= 21274500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

c. Penulangan balok kantilever bagian tepi (hk = 0,30 m)

$$\begin{aligned} \text{Lebar balok kantilever (bk)} &= 850 \text{ mm} \\ \text{Tinggi balok kantilever (hk)} &= 300 \text{ mm} \\ \text{Tebal selimut beton (db)} &= 25 \text{ mm} \\ \text{Mutu baja tulangan (fy)} &= 420 \text{ MPa} \\ \text{Mutu beton (f'c)} &= 49,80 \text{ MPa} \\ \text{Diameter tulangan pokok (D)} &= 16 \text{ mm} \\ \text{Diameter tulangan susut (P)} &= 13 \text{ mm} \\ \text{Tebal efektif balok kantilever (d_k)} &= hk - (db + D/2) \\ &= 300 - (25 + \frac{16}{2}) \\ &= 267 \text{ mm} \end{aligned}$$

1) Desain tulangan pokok

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi \times bk \times d^2} \\ &= \frac{21274500}{0,8 \times 850 \times 267^2} \\ &= 0,418 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 49,80} \\
 &= 9,922 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan perlu,

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}}\right) \\
 &= \frac{1}{9,922} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,922) \times 0,439}{420}}\right) \\
 &= 0,00105
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum,

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_{c'}}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{49,80}}{420} \\
 &= 0,0042
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum berdasarkan SNI 2847-2019,

$$\rho_{\max} = 0,025$$

Rasio tulangan dipakai,

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0042$$

Luas tulangan diperlukan berdasarkan rasio,

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b_k \times d_k \\
 &= 0,0042 \times 850 \times 267 \\
 &= 953,313 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi D^2} \\
 &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} \\
 &= 4,741 \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$



Luas tulangan aktual terpasang,

$$\begin{aligned} A_{spokok} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 1005,310 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinggi blok tekan,

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{spokok} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b \times k} \\ &= \frac{1005,310 \times 420}{0,85 \times 49,80 \times 850} \\ &= 11,735 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena mutu beton sebesar 49,80 MPa maka, nilai  $\beta_1$  dihitung dengan persamaan,

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \left( \frac{f_c' - 28}{7} \right) \\ &= 0,85 - 0,05 \times \left( \frac{49,8 - 28}{7} \right) \\ &= 0,694 \end{aligned}$$

Tinggi garis netral,

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{11,735}{0,694} \\ &= 16,902 \text{ mm} \end{aligned}$$

Regangan pada tulangan tarik,

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \\ &= \frac{(269,02)}{16,902} \\ &= 0,044 \end{aligned}$$

$\epsilon_t > 0,005$ , balok terkendali tarik, sesuai dengan asumsi awal.

Nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) = 0,8

Momen nominal pada balok,

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{\beta_1}\right) \\
 &= 1005,310 \times 420 \times \left(267 - \frac{11,735}{0,694}\right) \\
 &= 110257995,763 \text{ Nmm} \\
 &= 1102,580 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Cek kapasitas balok,

$$M_u < \phi M_n$$

$$21,275 \text{ kNm} < 882,064 \text{ kNm (Aman)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi *PCT girder* dapat digunakan tulangan pokok 5D16 mm.

## 2) Desain tulangan susut

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan susut (A susut)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan aktual yang terpasang,

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ susut} &= 0,0018 \times b_k \times h_k \\
 &= 0,0018 \times 850 \times 300 \\
 &= 459 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

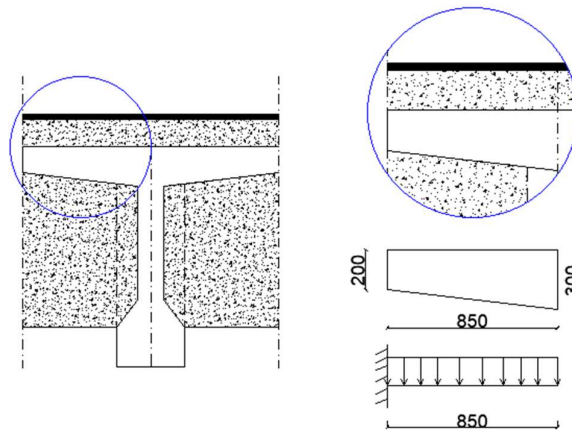
Jumlah tulangan diperlukan,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ susut}}{A \text{ susut}} \\
 &= \frac{459}{132,732} \\
 &= 3,458 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi *PCT girder* digunakan tulangan susut 4P13 mm.

## 2. Balok kantilever pada gelagar bagian Tengah ( $h_k = 0,30 \text{ m}$ )

Pada balok kantilever di bagian tengah *PCT girder*, beban yang bekerja di atasnya yaitu beban berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur "D", beban angin kendaraan, dan beban gempa.



**Gambar 5.6 Bagian Sayap Atas PCT Girder pada Posisi Tengah ( $H_k = 0,30$  m)**

a. Pembebanan balok kantilever pada gelagar posisi tengah

1) Berat sendiri (MS)

a) Berat balok kantilever

$$\text{Lebar balok kantilever (bk)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balok kantilever (hk)} = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton prategang (wc)} = 25,50 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri balok kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok\_k}} &= A \times wc \\ &= (0,85 \times 0,30) \times 25,50 \\ &= 6,503 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b) Berat pelat lantai

$$\text{Lebar pelat lantai (bplat\_k)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Tebal pelat lantai (hplat\_k)} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton (wc')} = 24,00 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri pelat lantai kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{\text{plat\_k}} &= A \times wc' \\ &= (0,85 \times 0,20) \times 24,00 \\ &= 4,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tepi gelagar.

**Tabel 5.18 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban Berat Sendiri	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc	QMS_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Balok kantilever	0,85	0,30	0,255	25,50	6,503
2	Pelat lantai	0,85	0,20	0,17	24,00	4,08
Total						10,583

Momen akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} MMS_k &= \frac{1}{2} \times QMS \times L^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 10,583 \times 1^2 \\ &= 5,291 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} VMS_k &= RAV \\ &= QMS \times L \\ &= 10,583 \times 1 \\ &= 10,583 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Beban mati tambahan (MA)

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tengah gelagar.

**Tabel 5.19 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban Mati Tambahan	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc'	QMA_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Lapisan aspal dan overlay	0,85	0,05	0,043	22,00	0,935
2	Air hujan	0,85	0,05	0,043	9,80	0,417
Total						1,352

Momen akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned} \text{MMA}_k &= \frac{1}{2} \times \text{QMA} \times L^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,352 \times 1^2 \\ &= 0,676 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned} \text{VMA}_k &= \text{RAV} \\ &= \text{QMA} \times L \\ &= 1,352 \times 1 \\ &= 1,352 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3) Beban lajur "D"

Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (q) sebesar  $9 \text{ kN/m}^2$  dan intensitas  $p = 49,0 \text{ kN/m}$  dengan  $\text{FBD} = 0,4$ .

Beban merata pada balok:

$$\begin{aligned} \text{Q}_{\text{BTR}} &= q \times s \\ &= 9 \times 0,850 \\ &= 7,65 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban terpusat BGT,

$$\begin{aligned} \text{P}_{\text{BGT}} &= 49 \times s \\ &= 49 \times 0,850 \\ &= 41,650 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Q}_{\text{BGT}} &= (1 + \text{FBD}) \times P \\ &= (1 + 0,4) \times 41,650 \\ &= 58,31 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen maksimum pada balok kantilever,

$$\begin{aligned} \text{MTD}_k &= \frac{1}{2} \times \text{Q}_{\text{BTR}} \times L^2 + \text{Q}_{\text{BGT}} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 7,65 \times 1^2 + 58,31 \times 1 \\ &= 62,135 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser pada balok kantilever,

$$\begin{aligned}
 VTD_k &= QBTR \times L \\
 &= 7,65 \times 1 \\
 &= 7,65 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4) Beban Angin Kendaraan (EWL)

$$\text{Tekanan angin (TEWL)} = 1,46 \text{ kN/m}$$

$$\text{Titik tangkap (y)} = 1,80 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar gandar (x)} = 1,75 \text{ m}$$

Beban merata angin kendaraan pada balok kantilever,

$$\begin{aligned}
 QEWL_k &= \frac{(TEWL \times y)}{x} \\
 &= \frac{(1,46 \times 1,80)}{1,75} \\
 &= 1,50 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

5) Beban Gempa (EQ)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban gempa vertikal (QEQv}_k) &= 10\% \times (QMS + QMA) \\
 &= 10\% \times (10,583 + 1,352) \\
 &= 1,193 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 MEQv_k &= \frac{1}{2} \times QEQv_k \times L^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 2,066 \times 1^2 \\
 &= 0,597 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 VEQv_k &= RAV \\
 &= QTP_k \times L \\
 &= 1,193 \times 1 \\
 &= 1,193 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Kombinasi pembebanan

Perhitungan kombinasi pembebanan didasarkan pada SNI 1728:2016 dengan faktor beban yang telah ditetapkan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.20 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	1,8	7,650	62,135	13,770	111,843
Total						29,172	119,544

**Tabel 5.21 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	1,4	7,650	62,135	10,710	86,989
Total						38,809	19,405

**Tabel 5.22 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
Total						15,402	7,701

**Tabel 5.23 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
Total						15,402	7,701

**Tabel 5.24 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Angin Kendaraan	EWL	1	1,502	0,751	1,502	0,751
Total						16,904	8,452

**Tabel 5.25 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	0,3	7,650	62,135	2,295	18,641
4	Beban Gempa	EQ	1	1,193	0,597	1,193	0,597
Total						18,890	26,938



**Tabel 5.26 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	10,583	5,291	12,699	6,350
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	0,5	7,650	62,135	3,825	31,068
Total						19,227	38,769

**Tabel 5.27 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
3	Beban Lajur D	TD	1	7,650	62,135	7,650	62,135
4	Beban Angin Kendaraan	EWL	1	1,502	0,751	1,502	0,751
Total						21,086	68,853

**Tabel 5.28 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
3	Beban Lajur "D"	TD	1,3	7,650	62,135	9,945	80,776
Total						21,879	86,743

**Tabel 5.29 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tengah  
(Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
3	Beban Lajur "D"	TD	0,8	7,650	62,135	6,120	49,708
Total						18,054	55,675

**Tabel 5.30 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tengah  
(Hk = 0,30 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	10,583	5,291	10,583	5,291
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
Total						11,934	5,967

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan pada balok kantilever bagian tengah didapatkan momen ultimit dan gaya geser ultimit terbesar pada kombinasi Kuat I sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimit pakai (Mu pakai)} &= 119,544 \text{ kNm} \\ &= 119544000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

c. Penulangan balok kantilever bagian tengah

$$\text{Lebar balok kantilever (bk)} = 850 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok kantilever (hk)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton (db)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu baja tulangan (fy)} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 49,80 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan pokok (D)} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan susut (P)} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif balok kantilever (d_k)} = hk - (db + D/2)$$

$$= 300 - \left(25 + \frac{16}{2}\right)$$

$$= 267 \text{ mm}$$

## 1) Desain tulangan pokok

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{119544000}{0,8 \times 850 \times 267^2}$$

$$= 2,466 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{420}{0,85 \times 49,80}$$

$$= 9,922 \text{ MPa}$$

Rasio tulangan perlu,

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}\right)$$

$$= \frac{1}{9,922} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,922) \times 2,466}{420}}\right)$$

$$= 0,00605$$

Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{49,80}}{420}$$

$$= 0,0042$$

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

$$= \frac{1,4}{420}$$

$$= 0,0033$$

Rasio tulangan maksimum berdasarkan SNI 2847-2019,

$$\rho_{\max} = 0,025$$

Rasio tulangan dipakai,

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,00605$$

Luas tulangan diperlukan berdasarkan rasio,

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b_k \times d_k \\
 &= 0,00605 \times 850 \times 267 \\
 &= 1373,786 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4}\pi D^2} \\
 &= \frac{1373,786}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} \\
 &= 6,833 \approx 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan aktual terpasang,

$$\begin{aligned}
 A_{spokok} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1407,434 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tinggi blok tekan,

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{spokok} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_k} \\
 &= \frac{1407,434 \times 420}{0,85 \times 49,80 \times} \\
 &= 16,429 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena mutu beton sebesar 49,80 MPa maka, nilai  $\beta_1$  dihitung dengan persamaan,

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \left( \frac{f_c' - 28}{7} \right) \\
 &= 0,85 - 0,05 \times \left( \frac{49,8 - 28}{7} \right) \\
 &= 0,694
 \end{aligned}$$

Tinggi garis netral,

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{16,429}{0,694} \\
 &= 23,663 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Regangan pada tulangan tarik,

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \\ &= \frac{(267-23,663)}{23,663} \\ &= 0,031\end{aligned}$$

$\epsilon_t > 0,005$ , balok terkendali tarik, sesuai dengan asumsi awal.

Nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) = 0,8

Momen nominal pada balok,

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{\beta_1}\right) \\ &= 1407,434 \times 420 \times \left(267 - \frac{16,429}{0,694}\right) \\ &= 152973834,22 \text{ Nmm} \\ &= 1529,738 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Cek kapasitas balok,

$$M_u < \phi M_n$$

$$119,544 \text{ kNm} < 1223,791 \text{ kNm (Aman)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi *PCT girder* dapat digunakan tulangan pokok 7D16 mm.

## 2) Desain tulangan susut

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan susut (A susut)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 132,732 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas tulangan aktual yang terpasang,

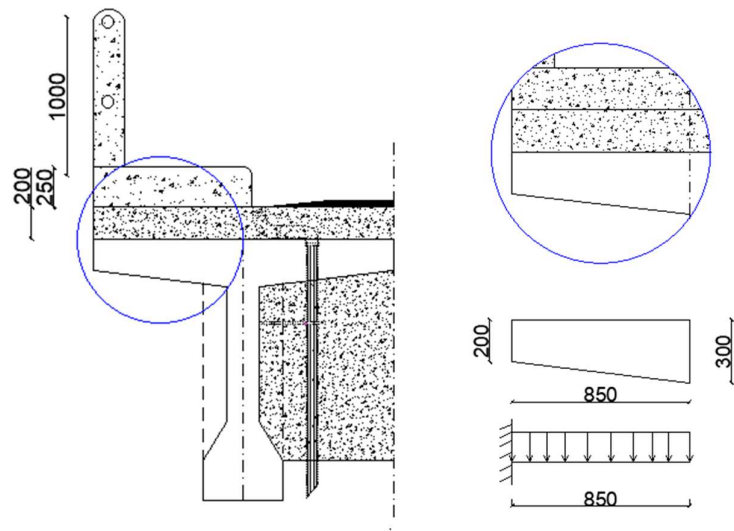
$$\begin{aligned}A_s \text{ susut} &= 0,0018 \times b_k \times h_k \\ &= 0,0018 \times 850 \times 300 \\ &= 459 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan diperlukan,

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s \text{ susut}}{A \text{ susut}} \\ &= \frac{459}{132,732} \\ &= 3,458 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi *PCT girder* digunakan tulangan susut 4P13 mm.

3. Balok kantilever pada gelagar bagian tepi ( $h_k = 0,20$  m)  
 Pada balok kantilever di bagian tepi *PCT girder*, beban yang bekerja di atasnya yaitu beban berat sendiri, beban mati tambahan, beban pejalan kaki, dan beban gempa.



**Gambar 5.7 Bagian Sayap Atas *PCT Girder* pada Posisi Tepi ( $h_k = 0,20$  m)**

- a. Pembebanan balok kantilever posisi tepi gelagar ( $h_k = 0,20$  m)

- 1) Berat sendiri (MS)

- a) Berat balok kantilever

$$\text{Lebar balok kantilever (bk)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balok kantilever (hk)} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton prategang (wc)} = 25,50 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri balok kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok}_k} &= A \times wc \\ &= (0,85 \times 0,30) \times 25,50 \\ &= 6,503 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- b) Berat pelat lantai

$$\text{Lebar pelat lantai (bplat}_k) = 0,85 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat lantai (hpelat\_k)} &= 0,20 \text{ m} \\ \text{Berat volume beton (wc')} &= 24,00 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Berat sendiri pelat lantai kantilever,} \\ \text{Qpelat\_k} &= A \times \text{wc}' \\ &= (0,85 \times 0,20) \times 24,00 \\ &= 4,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tepi gelagar.

**Tabel 5.31 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tepi (hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban Berat Sendiri	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc	QMS_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Balok kantilever	0,85	0,20	0,255	25,50	4,335
2	Pelat lantai	0,85	0,20	0,17	24,00	4,08
Total						8,415

Momen akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} \text{MMS\_k} &= \frac{1}{2} \times \text{QMS} \times L^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 8,415 \times 1^2 \\ &= 4,208 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} \text{VMS\_k} &= \text{RAV} \\ &= \text{QMS} \times L \\ &= 8,415 \times 1 \\ &= 8,415 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 5) Beban mati tambahan (MA)

##### a) Berat trotoar

$$\begin{aligned} \text{Lebar trotoar (btr\_k)} &= 0,85 \text{ m} \\ \text{Tebal trotoar (ttr)} &= 0,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat volume beton (wc')} = 24,00 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri balok kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{tr\_k} &= A \times wc \\ &= (0,85 \times 0,25) \times 24,00 \\ &= 5,100 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b) Berat railing

$$\text{Lebar railing (br)} = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi railing (hr)} = 1,25 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton (wc')} = 24,00 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri pelat lantai kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{railing} &= A \times wc' \\ &= (0,20 \times 1,25) \times 24,00 \\ &= 6,00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tepi gelagar.

**Tabel 5.32 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tepi (hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban Mati Tambahan	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc'	QMA_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Trotoar	0,85	0,25	0,170	24,00	5,100
2	Railing	0,20	1,25	0,250	24,00	6,000
Total						11,100

Momen akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned} M_{MA\_k} &= \frac{1}{2} \times QMA \times L^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 11,100 \times 1^2 \\ &= 5,550 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban mati tambahan,



$$\begin{aligned}
 VMA_k &= RAV \\
 &= QMA \times L \\
 &= 11,100 \times 1 \\
 &= 11,100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c) Pejalan kaki (TP)

Jumlah trotoar di salah satu tepi gelagar ( $ntr_k$ ) = 1,00 buah

$$\text{Beban pejalan kaki (} Q_p \text{)} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lebar trotoar (} btr_k \text{)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (} ltr_k \text{)} = 1,00 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban pejalan kaki (} QTP_k \text{)} &= Q_p \times btr_k \times ntr_k \\
 &= 5,00 \times 0,85 \times 1,00 \\
 &= 4,25 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban pejalan kaki,

$$\begin{aligned}
 MTP_k &= \frac{1}{2} \times QTP_k \times L^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 4,25 \times 1^2 \\
 &= 2,125 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban pejalan kaki,

$$\begin{aligned}
 VTP_k &= RAV \\
 &= QTP_k \times L \\
 &= 4,25 \times 1 \\
 &= 4,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d) Beban Gempa (EQ)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban gempa vertikal (} QEQv_k \text{)} &= 10\% \times (QMS + QMA) \\
 &= 10\% \times (8,415 + 11,100) \\
 &= 1,952 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 MEQv_k &= \frac{1}{2} \times QEQv_k \times L^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 2,066 \times 1^2 \\
 &= 1,033 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 VEQv\_k &= RAV \\
 &= QTP\_k \times L \\
 &= 2,066 \times 1 \\
 &= 2,066 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Kombinasi pembebanan

Perhitungan kombinasi pembebanan didasarkan pada SNI 1728:2016 dengan faktor beban yang telah ditetapkan dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

**Tabel 5.33 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	1,8	4,250	2,125	7,650	3,825
Total						39,948	19,974

**Tabel 5.34 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	1,4	4,250	2,125	5,950	2,975
Total						38,248	19,124

**Tabel 5.35 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
Total						32,298	16,149

**Tabel 5.36 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
Total						32,298	16,149

**Tabel 5.37 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
Total						32,298	16,149

**Tabel 5.38 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	0,3	4,250	2,125	1,275	0,638
4	Beban Gempa	EQ	1	1,952	0,976	1,952	0,976
Total						35,525	17,762

**Tabel 5.39 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	11,100	5,550	20,160	11,100
3	Pejalan Kaki	TP	0,5	4,250	2,125	2,125	1,063
Total						34,423	17,212

**Tabel 5.40 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
3	Pejalan Kaki	TP	1	4,250	2,125	4,250	2,125
Total						23,765	11,883

**Tabel 5.41 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tepi (Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
3	Pejalan Kaki	TP	1,3	4,250	2,125	5,525	2,763
Total						25,040	12,520

**Tabel 5.42 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tepi  
(Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
3	Pejalan Kaki	TP	0,8	4,250	2,125	3,400	1,700
Total						22,915	11,458

**Tabel 5.43 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tepi  
(Hk= 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	11,100	5,550	11,100	5,550
Total						19,515	9,758

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan pada balok kantilever didapatkan momen ultimit dan gaya geser ultimit terbesar pada kombinasi Kuat I sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimit pakai (Mu pakai)} &= 19,974 \text{ kNm} \\ &= 19974000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

e. Penulangan balok kantilever bagian tepi

$$\begin{aligned} \text{Lebar balok kantilever (bk)} &= 850 \text{ mm} \\ \text{Tinggi balok kantilever (hk)} &= 200 \text{ mm} \\ \text{Tebal selimut beton (db)} &= 25 \text{ mm} \\ \text{Mutu baja tulangan (fy)} &= 420 \text{ MPa} \\ \text{Mutu beton (f'c)} &= 49,80 \text{ MPa} \\ \text{Diameter tulangan pokok (D)} &= 16 \text{ mm} \\ \text{Diameter tulangan susut (P)} &= 13 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal efektif balok kantilever (d}_k) &= h_k - (d_b + D/2) \\
 &= 200 - (25 + \frac{16}{2}) \\
 &= 169 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

1) Desain tulangan pokok

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b_k \times d^2} \\
 &= \frac{19974000}{0,8 \times 850 \times 267^2} \\
 &= 1,035 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 49,80} \\
 &= 9,922 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan perlu,

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}) \\
 &= \frac{1}{9,922} \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,922) \times 1,035}{420}}) \\
 &= 0,00249
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum,

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{49,80}}{420} \\
 &= 0,0042
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum berdasarkan SNI 2847-2019,

$$\rho_{\max} = 0,025$$

Rasio tulangan dipakai,

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0042$$

Luas tulangan diperlukan berdasarkan rasio,

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b_k \times d_k \\
 &= 0,0042 \times 850 \times 169 \\
 &= 601,623 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4}\pi D^2} \\
 &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} \\
 &= 4,533 \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan aktual terpasang,

$$\begin{aligned}
 A_{spokok} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 663,661 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tinggi blok tekan,

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{spokok} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_k} \\
 &= \frac{663,661 \times 420}{0,85 \times 49,80 \times 850} \\
 &= 7,747 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena mutu beton sebesar 49,80 MPa maka, nilai  $\beta_1$  dihitung dengan persamaan,

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \left(\frac{f_c' - 28}{7}\right) \\
 &= 0,85 - 0,05 \times \left(\frac{49,8 - 28}{7}\right) \\
 &= 0,694
 \end{aligned}$$

Tinggi garis netral,

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{7,747}{0,694} \\
 &= 11,158 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Regangan pada tulangan tarik,

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \\ &= \frac{(267-11,158)}{11,158} \\ &= 0,042\end{aligned}$$

$\epsilon_t > 0,005$ , balok terkendali tarik, sesuai dengan asumsi awal.

Nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) = 0,8

Momen nominal pada balok,

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{\beta_1}\right) \\ &= 663,661 \times 420 \times \left(169 - \frac{11,735}{0,694}\right) \\ &= 45887641,886 \text{ Nmm} \\ &= 458,876 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Cek kapasitas balok,

$$M_u < \phi M_n$$

$$19,974,275 \text{ kNm} < 367,101 \text{ kNm (Aman)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi

*PCT girder* dapat digunakan tulangan pokok 5D13 mm.

### 3) Desain tulangan susut

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan susut (A susut)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 132,732 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas tulangan aktual yang terpasang,

$$\begin{aligned}A_s \text{ susut} &= 0,0018 \times b_k \times h_k \\ &= 0,0018 \times 850 \times 200 \\ &= 306 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

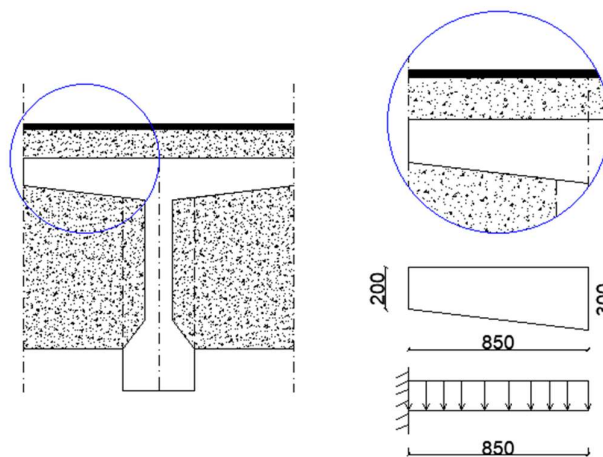
Jumlah tulangan diperlukan,

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s \text{ susut}}{A \text{ susut}} \\ &= \frac{306}{132,732} \\ &= 2,305 \approx 3 \text{ buah}\end{aligned}$$



Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi *PCT girder* digunakan tulangan susut 3P13 mm.

4. Balok kantilever pada gelagar bagian Tengah ( $h_k = 0,20$  m)  
 Pada balok kantilever di bagian tengah *PCT girder*, beban yang bekerja di atasnya yaitu beban berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur “D”, beban angin kendaraan, dan beban gempa.



**Gambar 5.8 Bagian Sayap Atas PCT Girder pada Posisi Tengah**

- a) Pembebanan balok kantilever pada gelagar posisi tengah

- 1) Berat sendiri (MS)

- a) Berat balok kantilever

$$\text{Lebar balok kantilever (bk)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balok kantilever (hk)} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton prategang (wc)} = 25,50 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri balok kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok\_k}} &= A \times w_c \\ &= (0,85 \times 0,20) \times 25,50 \\ &= 4,335 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- b) Berat pelat lantai

$$\text{Lebar pelat lantai (bplat\_k)} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Tebal pelat lantai (hplat\_k)} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton (wc')} = 24,00 \text{ kN/m}^3$$

Berat sendiri pelat lantai kantilever,

$$\begin{aligned} Q_{\text{pelat\_k}} &= A \times \text{wc}' \\ &= (0,85 \times 0,20) \times 24,00 \\ &= 4,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tepi gelagar.

**Tabel 5.44 Beban Berat Sendiri Balok Kantilever pada Bagian Tengah (hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban Berat Sendiri	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc	QMS_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Balok kantilever	0,85	0,20	0,255	25,50	4,335
2	Pelat lantai	0,85	0,20	0,17	24,00	4,08
Total						8,415

Momen akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} MMS_k &= \frac{1}{2} \times QMS \times L^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 8,415 \times 1^2 \\ &= 4,208 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat berat sendiri,

$$\begin{aligned} VMS_k &= RAV \\ &= QMS \times L \\ &= 8,415 \times 1 \\ &= 8,415 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 2) Beban mati tambahan (MA)

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan berat sendiri pada balok kantilever posisi tengah gelagar.

**Tabel 5.45 Beban Mati Tambahan Balok Kantilever pada Bagian Tengah**

No	Jenis Beban Mati Tambahan	Lebar	Tebal	Luas	Berat volume	Beban
		b	h	A	wc'	QMA_k
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
1	Lapisan aspal dan overlay	0,85	0,05	0,043	22,00	0,935
2	Air hujan	0,85	0,05	0,043	9,80	0,417
Total						1,352

Momen akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned}
 MMA_k &= \frac{1}{2} \times QMA \times L^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,352 \times 1^2 \\
 &= 0,676 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned}
 VMA_k &= RAV \\
 &= QMA \times L \\
 &= 1,352 \times 1 \\
 &= 1,352 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### 3) Beban lajur "D"

Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (q) sebesar 9 kN/m<sup>2</sup> dan intensitas p = 49,0 kN/m dengan FBD = 0,4.

Beban merata pada balok:

$$\begin{aligned}
 Q_{BTR} &= q \times s \\
 &= 9 \times 0,850 \\
 &= 7,65 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Beban terpusat BGT,

$$\begin{aligned}
 P_{BGT} &= 49 \times s \\
 &= 49 \times 0,850 \\
 &= 41,650 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{BGT} &= (1+FBD) \times P \\
 &= (1+0,4) \times 41,650 \\
 &= 58,31 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum pada balok kantilever,

$$\begin{aligned}
 MTD\_k &= \frac{1}{2} \times QBTR \times L^2 + QBGT \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 7,65 \times 1^2 + 58,31 \times 1 \\
 &= 62,135 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser pada balok kantilever,

$$\begin{aligned}
 VTD\_k &= QBTR \times L \\
 &= 7,65 \times 1 \\
 &= 7,65 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 4) Beban Angin Kendaraan (EWL)

$$\text{Tekanan angin (TEWL)} = 1,46 \text{ kN/m}$$

$$\text{Titik tangkap (y)} = 1,80 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar gandar (x)} = 1,75 \text{ m}$$

Beban merata angin kendaraan pada balok kantilever,

$$\begin{aligned}
 QEWL\_k &= \frac{(TEWL \times y)}{x} \\
 &= \frac{(1,46 \times 1,80)}{1,75} \\
 &= 1,50 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

#### 5) Beban Gempa (EQ)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban gempa vertikal (QEQv\_k)} &= 10\% \times (QMS + QMA) \\
 &= 10\% \times (8,415 + 1,352) \\
 &= 0,997 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 MEQv\_k &= \frac{1}{2} \times QEQv\_k \times L^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 0,997 \times 1^2 \\
 &= 0,488 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban gempa,

$$\begin{aligned} V_{EQv\_k} &= RAV \\ &= QTP\_k \times L \\ &= 0,977 \times 1 \\ &= 0,977 \text{ kN} \end{aligned}$$

c) Kombinasi pembebanan

Perhitungan kombinasi pembebanan didasarkan pada SNI 1728:2016 dengan faktor beban yang telah ditetapkan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.46 Kombinasi Pembebanan Kuat I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	1,8	7,650	62,135	13,770	111,843
Total						26,571	118,244

**Tabel 5.47 Kombinasi Pembebanan Kuat II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	1,4	7,650	62,135	10,710	86,989
Total						23,511	93,390

**Tabel 5.48 Kombinasi Pembebanan Kuat III Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	12,801	6,401
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
Total						15,402	7,701

**Tabel 5.49 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
Total						12,801	6,401

**Tabel 5.50 Kombinasi Pembebanan Kuat V Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Angin Kendaraan	EWL	1	1,502	0,751	1,502	0,751
Total						14,303	7,151

**Tabel 5.51 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	0,3	7,650	62,135	2,295	18,641
4	Beban Gempa	EQ	1	1,193	0,597	1,193	0,597
Total						16,073	25,529

**Tabel 5.52 Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1,2	8,415	4,208	10,098	5,049
2	Beban Mati Tambahan	MA	2	1,352	0,676	2,703	1,352
3	Beban Lajur "D"	TD	0,5	7,650	62,135	3,825	31,068
Total						16,626	37,468

**Tabel 5.53 Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Balok Kantilever Tengah (Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
3	Beban Lajur D	TD	1	7,650	62,135	7,650	62,135
4	Beban Angin Kendaraan	EWL	1	1,502	0,751	1,502	0,751
Total						18,918	67,769

**Tabel 5.54 Kombinasi Pembebanan Daya Layan II Balok Kantilever Tengah  
(Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
3	Beban Lajur "D"	TD	1,3	7,650	62,135	9,945	80,776
Total						19,712	85,659

**Tabel 5.55 Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Balok Kantilever Tengah  
(Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
3	Beban Lajur "D"	TD	0,8	7,650	62,135	6,120	49,708
Total						15,887	54,591

**Tabel 5.56 Kombinasi Pembebanan Daya Layan IV Balok Kantilever Tengah  
(Hk = 0,20 m)**

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Gaya Geser	Momen	Gaya Geser Ultimit	Momen Ultimit
				(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)
1	Berat Sendiri	MS	1	8,415	4,208	8,415	4,208
2	Beban Mati Tambahan	MA	1	1,352	0,676	1,352	0,676
Total						9,767	4,883

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan pada balok kantilever bagian tengah didapatkan momen ultimit dan gaya geser ultimit terbesar pada kombinasi Kuat I sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimit pakai (Mu pakai)} &= 118,244 \text{ kNm} \\ &= 118243500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



d) Penulangan balok kantilever bagian tengah ( $h_k = 0,20$  m)

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar balok kantilever (bk)} &= 850 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok kantilever (hk)} &= 200 \text{ mm} \\
 \text{Tebal selimut beton (db)} &= 25 \text{ mm} \\
 \text{Mutu baja tulangan (fy)} &= 420 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu beton (f'c)} &= 49,80 \text{ MPa} \\
 \text{Diameter tulangan pokok (D)} &= 16 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan susut (P)} &= 13 \text{ mm} \\
 \text{Tebal efektif balok kantilever (d_k)} &= h_k - (db + D/2) \\
 &= 200 - (25 + \frac{16}{2}) \\
 &= 169 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3) Desain tulangan pokok

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b_k \times d^2} \\
 &= \frac{118243500}{0,8 \times 850 \times 267^2} \\
 &= 2,466 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 49,80} \\
 &= 9,922 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan perlu,

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}}) \\
 &= \frac{1}{9,922} \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,922) \times 2,466}{420}}) \\
 &= 0,0158
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum,

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{49,80}}{420} \\
 &= 0,0042
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum berdasarkan SNI 2847-2019,

$$\rho_{\max} = 0,025$$

Rasio tulangan dipakai,

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0158$$

Luas tulangan diperlukan berdasarkan rasio,

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b_k \times d_k \\ &= 0,0158 \times 850 \times 169 \\ &= 2266,445 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan perlu,

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4}\pi D^2} \\ &= \frac{2266,445}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} \\ &= 11,272 \approx 12 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luas tulangan aktual terpasang,

$$\begin{aligned}A_{\text{spokok}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 12 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 2412,743 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tinggi blok tekan,

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_{\text{spokok}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_k} \\ &= \frac{2412,743 \times 420}{0,85 \times 49,80 \times 8} \\ &= 28,164 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena mutu beton sebesar 49,80 MPa maka, nilai  $\beta_1$  dihitung dengan persamaan,

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \left(\frac{f_c' - 28}{7}\right) \\ &= 0,85 - 0,05 \times \left(\frac{49,8 - 28}{7}\right) \\ &= 0,694\end{aligned}$$

Tinggi garis netral,

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{28,164}{0,694} \\ &= 40,565 \text{ mm} \end{aligned}$$

Regangan pada tulangan tarik,

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \\ &= \frac{(267-40,565)}{40,565} \\ &= 0,009 \end{aligned}$$

$\epsilon_t > 0,005$ , balok terkendali tarik, sesuai dengan asumsi awal.

Nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) = 0,8

Momen nominal pada balok,

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{\beta_1}\right) \\ &= 2412,743 \times 420 \times \left(169 - \frac{28,164}{0,694}\right) \\ &= 156479846,32 \text{ Nmm} \\ &= 1564,798 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Cek kapasitas balok,

$$M_u < \phi M_n$$

$$118,244 \text{ kNm} < 1251,839 \text{ kNm (Aman)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi *PCT girder* dapat digunakan tulangan pokok 12D16 mm.

#### 4) Desain tulangan susut

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut (A susut)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 132,732 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan aktual yang terpasang,

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= 0,0018 \times b_k \times h_k \\ &= 0,0018 \times 850 \times 200 \\ &= 306 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan diperlukan,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ susut}}{A \text{ susut}} \\
 &= \frac{459}{132,732} \\
 &= 2,305 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pada balok kantilever bagian tepi *PCT girder* digunakan tulangan susut 3P13 mm.

## 5.5. Perancangan *PCT Girder* Jembatan

Berdasarkan data-data teknis jembatan yang telah didapat selanjutnya dapat dilakukan perancangan struktur atas jembatan dengan gelagar *PCT girder*.

### 5.5.1. Perhitungan Momen Pada Penampang Balok Prategang

Bentuk penampang balok prategang yang digunakan pada struktur atas jembatan ini yaitu *PCT girder*. Saat umur beton 14 hari berdasarkan tabel perbandingan kuat tekan beton, kekuatan beton pada umur 14 hari baru 80%. Sehingga untuk mutu beton K-600 atau  $f'c = 49,80$  MPa pada saat umur 14 hari mempunyai mutu:

$$\begin{aligned}
 f'ci &= 80\% \times f'c \\
 &= 0,8 \times 49,80 \\
 &= 39,84 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

1. Tegangan ijin beton berdasarkan RSNIT-12-2004 pada saat kondisi transfer tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut.

- a. Tegangan ijin pada saat transfer,

$$\begin{aligned}
 \text{Serat tekan, } fci &= 0,60 \times f'ci \\
 &= 0,60 \times 39,84 \\
 &= 23,90 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Serat ijin, } fti &= 0,25 \times \sqrt{f'ci} \\
 &= 0,25 \times \sqrt{39,84} \\
 &= 1,58 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

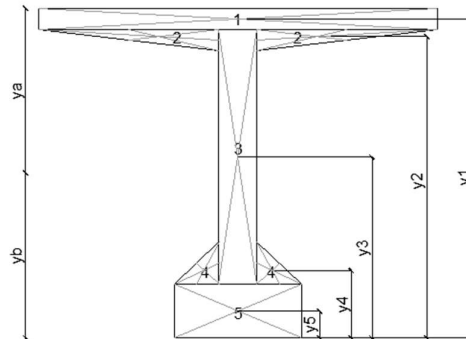
b. Tegangan ijin pada saat layan,

$$\begin{aligned}\text{Serat tekan, } f_{cs} &= 0,45 \times f'_{ci} \\ &= 0,45 \times 49,80 \\ &= 22,41 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Serat tarik, } f_{ts} &= 0,50 \times \sqrt{f'_{ci}} \\ &= 0,50 \times \sqrt{49,80} \\ &= 3,53 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2. *Properties Penampang PCT girder*

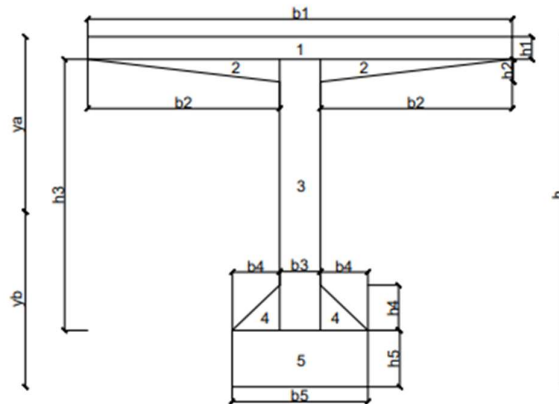
*Properties* balok prategang *T-Girder* dihitung berdasarkan titik berat balok terhadap alas seperti Gambar 5.7 di bawah ini. Perhitungan momen ultimit yang terjadi pada penampang balok prategang *T-Girder* dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut.



**Gambar 5.9 Titik Berat Balok Terhadap Alas**

**Tabel 5.57 Modulus Penampang *T-Girder***

No	Dimensi		Luas Tampang	Jarak titik berat penampang terhadap alas	Axyi	Jarak titik berat penampang ke titik berat gabungan	Axy <sup>2</sup>	Ii	Inersia Momen Gabungan
	Lebar	Tinggi							
	b (m)	h (m)				A (m <sup>2</sup> )			yi (m)
1	1,900	0,200	0,380	1,650	0,589	0,465	0,082	0,00127	0,083
2	0,850	0,100	0,085	1,417	0,120	0,331	0,009	0,0000236	0,009
3	0,200	1,200	0,240	0,850	0,204	0,235	0,013	0,0288	0,042
4	0,150	0,250	0,038	0,333	0,013	0,752	0,021	0,0000651	0,021
5	0,500	0,250	0,125	0,125	0,016	0,960	0,115	0,000651	0,116
Total =			0,868		0,942				0,272



**Gambar 5.10 Penampang PCT Girder**

$$\text{Tinggi penampang balok prategang } T\text{-Girder (H)} = 1,650 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang balok prategang } T\text{-Girder } (\Sigma A) = 0,868 \text{ m}^2$$

Penentuan letak titik berat,

$$\begin{aligned} Y_b &= \frac{\Sigma A \times y_i}{\Sigma A} \\ &= \frac{0,941}{0,868} \\ &= 1,085 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_a &= H - Y_b \\ &= 1,65 - 1,085 \\ &= 0,565 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen inersia terhadap alas gelagar,

$$I_x = 0,272 \text{ m}^4$$

Momen inersia terhadap titik berat gelagar,

$$\begin{aligned} I_b &= I_x + A \times y_b^2 \\ &= 0,272 + 0,868 \times 1,085^2 \\ &= 1,294 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Tahanan momen sisi atas,

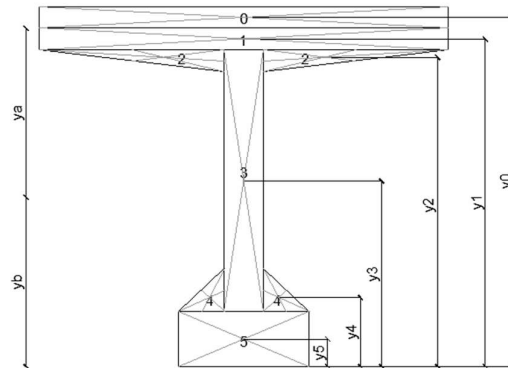
$$\begin{aligned} W_a &= \frac{I_x}{y_a} \\ &= \frac{0,272}{0,565} \\ &= 0,482 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tahanan momen sisi bawah,

$$\begin{aligned} W_b &= \frac{Ix}{yb} \\ &= \frac{0,272}{1,085} \\ &= 0,251 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3. Properties Penampang Balok Komposit (Balok Prategang + Slab)

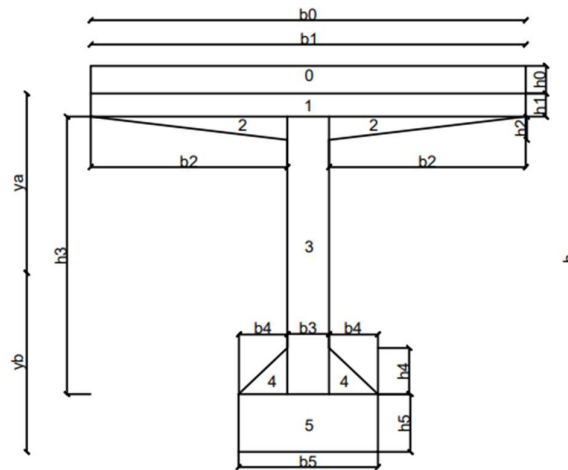
*PCT girder* yang digunakan untuk perencanaan struktur atas jembatan mempunyai tinggi balok ( $H$ ) = 1,65 m dan tebal slab ( $h_o$ ) yang digunakan untuk *PCT girder* yaitu 0,20 m. Sehingga pada perhitungan *properties* penampang balok komposit tersebut seperti pada Tabel 5.32.



Gambar 5.11 Titik Berat Balok Komposit Terhadap Alas

Tabel 5.58 Rekapitulasi Modulus Penampang Komposit *PCT Girder*

No	Dimensi		Luas Tampang	Jarak titik berat penampang terhadap alas	Acxyi	Jarak titik berat penampang ke titik berat gabungan	Acxy <sub>2</sub>	Iic	Inersia Momen Gabungan		
	Lebar	Tinggi				y			Ac x y <sup>2</sup> + Iic		
	b	h								Ac	yi
	(m)	(m)									
0	1,900	0,200	0,380	1,750	0,665	0,462	0,081	0,00127	0,082		
1	1,900	0,200	0,380	1,650	0,589	0,262	0,026	0,00127	0,027		
2	0,850	0,100	0,085	1,417	0,120	0,129	0,001	0,00002	0,001		
3	0,200	1,200	0,240	0,850	0,204	0,438	0,046	0,02880	0,075		
4	0,150	0,250	0,038	0,333	0,013	0,954	0,034	0,00007	0,034		
5	0,500	0,250	0,125	0,125	0,016	1,163	0,169	0,00065	0,170		
Total =			1,248		1,607		0,277		0,390		



**Gambar 5.12 Penampang Balok Komposit**

$$\text{Tinggi total balok prategang komposit (Hc)} = 1,850 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang (Ac)} = 1,248 \text{ m}^2$$

Letak titik berat,

$$\begin{aligned} Y_{bc} &= \frac{\sum A x y}{\sum A c} \\ &= \frac{1,607}{1,248} \\ &= 1,288 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{ac} &= h_c - y_{bc} \\ &= 1,850 - 1,288 \\ &= 0,562 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen inersia terhadap alas balok,

$$\begin{aligned} I_{bc} &= \sum A x y^2 + \sum I_o \\ &= 0,427 + 0,0007 \\ &= 2,459 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia terhadap titik berat balok,

$$\begin{aligned} I_{xc} &= I_{bc} - A_c x y_{bc}^2 \\ &= 2,459 - 1,288 \times 1,0817^2 \\ &= 0,390 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Modulus penampang sisi atas,



$$\begin{aligned}
 W_{ac} &= \frac{I_{xc}}{y_{ac}} \\
 &= \frac{0,390}{0,562} \\
 &= 0,694 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Modulus penampang sisi bawah,

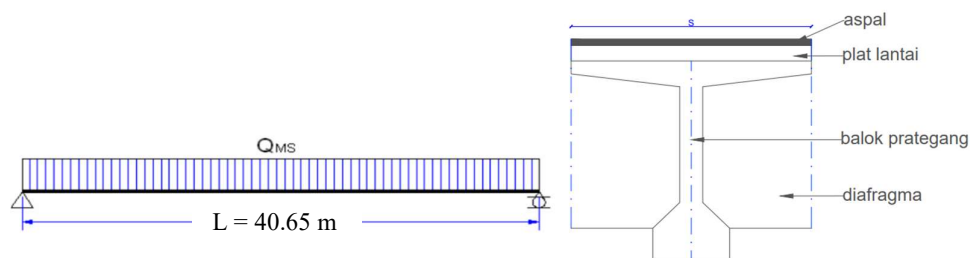
$$\begin{aligned}
 W_{bc} &= \frac{I_{xc}}{y_{bc}} \\
 &= \frac{0,390}{1,288} \\
 &= 0,303 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

### 5.5.2. Pembebanan Balok Prategang *PCT Girder*

Pembebanan balok prategang *T-Girder* meliputi perhitungan akibat berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup lajur “D”, beban akibat gaya rem, beban pejalan kaki, beban angin struktur, beban angin kendaraan, beban akibat temperatur, dan beban gempa.

#### 1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri atau *self weight* adalah berat dari elemen struktural dan elemen non-struktural pada jembatan yang bersifat tetap. Jenis beban berat sendiri yang dihitung pada jembatan ini yaitu beban balok prategang, beban pelat lantai, dan beban diafragma.



**Gambar 5.13 Pembebanan Berat Sendiri**

#### a. Berat Diafragma

Tebal diafragma (td)	= 0,20 m
Lebar diafragma (bd)	= 1,70 m
Tinggi diafragma (hd)	= 1,15 m

$$\begin{aligned} \text{Jumlah diafragma (n)} &= 7 \text{ buah} \\ \text{Berat beton prategang (wc)} &= 25,50 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Berat diafragma (W)} &= 25,50 \times (0,20 \times 1,70 \times 1,15) \\ &= 9,384 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang setengah bentang (L)} = 20 \text{ m}$$

Jarak diafragma dari tengah bentang,

$$X4 = 20 \text{ m}$$

$$X3 = 13,30 \text{ m}$$

$$X2 = 6,50 \text{ m}$$

$$X1 = 0 \text{ m}$$

Momen maksimal di tengah bentang,

$$\begin{aligned} M_{max} &= RAV - X4 - X3 - X2 - X1 \times W \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 7 \times 20 - 20 - 13,30 - 6,50 - 0\right) \times 9,384 \\ &= 283,968 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berat sendiri diafragma,

$$\begin{aligned} Q_{\text{diafragma}} &= \frac{8 \times M_{max}}{L^2} \\ &= \frac{8 \times 283,968}{20^2} \\ &= 5,668 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

#### b. Berat Balok Prategang

$$\text{Panjang balok prategang (L)} = 40 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang (A)} = 0,868 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat balok prategang (W}_{\text{balok}}) &= A \times L \times Wc \\ &= 0,868 \times 40 \times 25,5 \\ &= 884,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok}} &= \frac{W_{\text{balok}}}{L} \\ &= \frac{884,85}{40} \\ &= 22,121 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

#### c. Gaya Geser dan Momen akibat Berat Sendiri (MS)

$$\text{Beban (Qms)} = A \times w$$

$$\text{Gaya Geser (Vms)} = \frac{1}{2} \times Q_{ms} \times L$$

$$\text{Momen (Mms)} = \frac{1}{8} \times Q_{ms} \times L^2$$

**Tabel 5.59 Rekapitulasi Pembebanan Untuk Berat Sendiri**

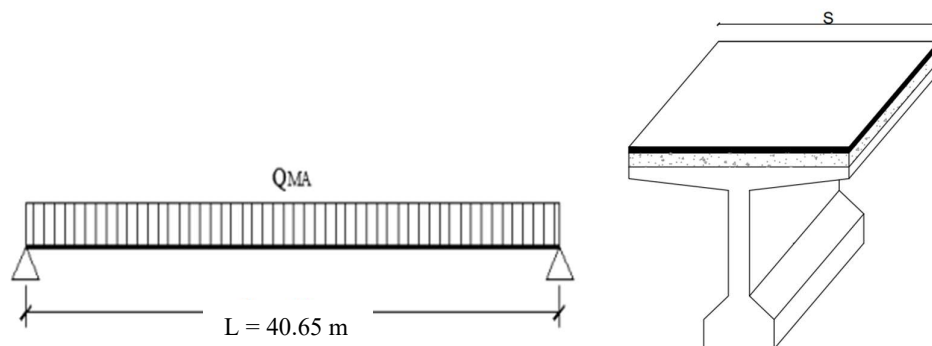
No	Jenis Beban Berat Sendiri	Lebar	Tebal	Luas	Berat sat	Beban	Gaya Geser	Momen
		b	h	A	w	Q <sub>ms</sub>	V <sub>ms</sub>	M <sub>ms</sub>
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)	(kN)	(kNm)
1	Balok prategang					22,121	442,4	4424,250
2	Pelat lantai	1,9	0,20	0,38	24	9,120	182,400	1824,000
3	Diafragma					5,668	113,359	1133,587
Total =						36,909	738,2	7381,837

## 2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada balok jembatan yang merupakan elemen non-struktural dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

Berdasarkan SNI 1725:2016 balok girder jembatan direncanakan mampu memikul beban mati tambahan berupa,

- Aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari (*overlay*).
- Genangan air hujan setinggi 50 mm apabila saluran drainase tidak bekerja dengan baik.



**Gambar 5.14 Pembebanan Berat Mati Tambahan (MA)**

**Tabel 5.60 Rekap Pembebanan Untuk Beban Mati Tambahan**

No	Jenis Beban Mati Tambahan	Lebar	Tebal	Luas	Berat sat	Beban	Gaya Geser	Momen
		b	h	A	w	QMA	VMA	MMA
		(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)	(kN)	(kNm)
1	Trotoar dan railing					6,720	134,400	1344,000
2	Lapisan aspal + overlay	1,9	0,05	0,095	22,00	2,090	41,800	418,000
3	Air hujan	1,9	0,05	0,095	9,80	0,931	18,620	186,200
Total =						9,741	194,820	1948,200

Perhitungan gaya geser pada struktur atas balok prategang akibat berat mati tambahan yaitu dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 VMA &= \frac{1}{2} \times QMA \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 9,741 \times 40 \\
 &= 194,820 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen maksimum struktur atas balok prategang di tengah bentang akibat beban mati tambahan yaitu dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 MMA &= \frac{1}{8} \times QMA \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 9,741 \times 40^2 \\
 &= 1948,200 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

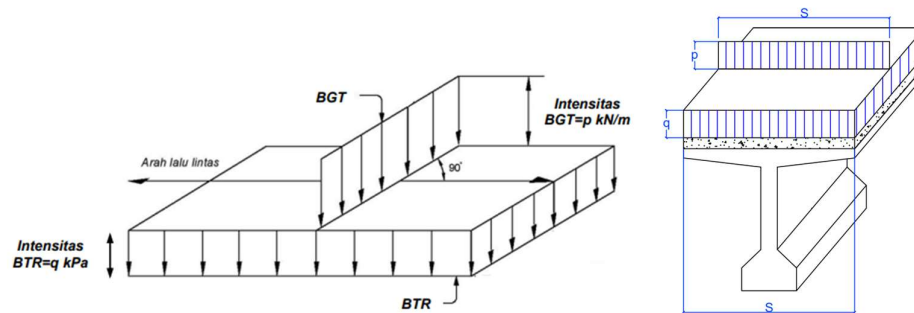
### 3. Beban Lajur “D” (TD)

Beban Lajur “D” terdiri dari beban terbagi rata (*BTR*) dan beban garis terpusat (*BGT*) KEL seperti pada Gambar 5.13. *BTR* mempunyai intensitas *q* (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total *L* yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai berikut.

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

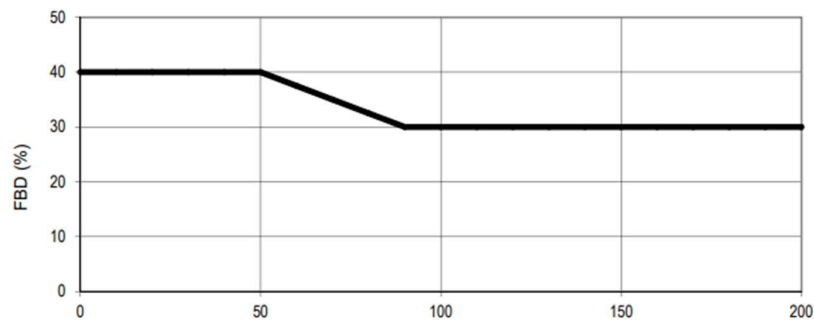
$$q = 9,0 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa, untuk } L > 30 \text{ m}$$

Besarnya intensitas *p* = 49,0 kN/m



**Gambar 5.15 Pembebanan Lajur “D” pada Balok**

Faktor beban dinamis (*FBD*) diambil berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 berikut.



**Gambar 5.16 Faktor Beban Dinamis**

- a. Beban merata di sepanjang bentang jembatan (BTR)

$$\begin{aligned}
 q &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa, untuk } L = 40 \text{ m} \\
 &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{40}\right) \\
 &= 7,875 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban merata pada balok (UDL):

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{BTR}} &= q \times s \\
 &= 7,875 \times 1,900 \\
 &= 14,963 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b. Beban terpusat (BGT)

Beban garis BGT mempunyai intensitas  $p = 49 \text{ kN/m}$  dan beban BGT diperbesar dengan faktor beban dinamis FBD sebesar,  $FBD = 0,4$  pada panjang bentang jembatan  $40 \text{ m}$ .

Beban terpusat BGT,

$$\begin{aligned} P_{BGT} &= 49 \times s \\ &= 93,100 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{BGT} &= (1+FBD) \times P \\ &= (1+0,4) \times 93,100 \\ &= 130,340 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser pada balok prategang akibat beban lajur, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

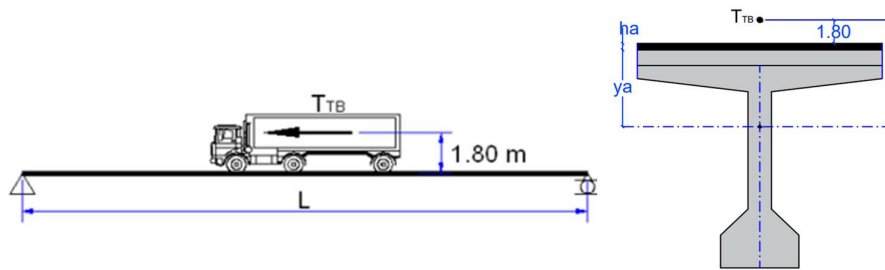
$$\begin{aligned} VTD &= \frac{1}{2} \times QBTR \times L + \frac{1}{2} \times QBGT \\ &= \frac{1}{2} \times 14,963 \times 40 + \frac{1}{2} \times 130,340 \\ &= 364,420 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen maksimum di tengah bentang akibat beban lajur, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} MTD &= \frac{1}{8} \times QBTR \times L^2 + \frac{1}{4} \times QBGT \times L \\ &= \frac{1}{8} \times 14,963 \times 40^2 + \frac{1}{4} \times 130,340 \times 40 \\ &= 4296,900 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil nilai terbesar dari 25% berat gandar truk desain atau 5% berat truk rencana ditambah beban BTR. Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada jarak  $1800 \text{ mm}$  di atas permukaan lantai jembatan (Sumber: SNI 1728:2016).



**Gambar 5.17 Pembebanan Rem (TB) pada Balok**

Panjang bentang (L)	= 40 m
Lebar lalu lintas (b)	= 7,5 m
Jumlah balok prategang selebar b (n)	= 5 buah
Jumlah lajur (n <sub>L</sub> )	= 2 lajur
Jarak antar balok prategang (s)	= 1,900 m
Beban gandar belakang (P <sub>1</sub> )	= 225 kN
Beban gandar tengah (P <sub>2</sub> )	= 225 kN
Beban gandar depan (P <sub>3</sub> )	= 50 kN
Beban gandar (P)	= 225 kN
Berat truk rencana (P <sub>T</sub> )	= 500 kN
Beban lajur terbagi rata (q)	= 7,875 kN/m <sup>2</sup>

Beban BTR yang bekerja di semua lajur,

$$\begin{aligned}
 P_{BTR} &= q \times b \times L \\
 &= 7,875 \times 7,5 \times 40 \\
 &= 2362,500 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya rem,

$$\begin{aligned}
 TB_1 &= 25\% \times \frac{(nL \times P)}{n} \\
 &= 25\% \times \frac{(2 \times 225)}{5} \\
 &= 22,500 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TB_2 &= 5\% \times \frac{(P_T \times nL + P_{BTR})}{n} \\
 &= 5\% \times \frac{(P_T \times nL + P_{BTR})}{n} \\
 &= 33,625 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya rem dipakai,  $TB = 33,625 \text{ kN}$

Lengan terhadap titik berat balok T Girder,

$$\begin{aligned} y_c &= 1,80 + h_0 + h_a + y_{ac} \\ &= 1,80 + 0,20 + 0,04 + 0,562 \\ &= 2,935 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Beban momen akibat gaya rem,

$$\begin{aligned} M &= TTB \times y_c \\ &= 33,625 \times 2,56 \\ &= 98,701 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk menghitung gaya geser beton prategang akibat beban rem, maka dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} VTB &= \frac{M}{L} \\ &= \frac{108,229}{40} \\ &= 2,468 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga momen maksimum ditengah bentang akibat gaya rem dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$\begin{aligned} MTB &= \frac{1}{2} \times M \\ &= \frac{1}{2} \times 98,701 \\ &= 49,351 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 5. Beban Pejalan Kaki (TP)

Beban pejalan kaki sebesar  $5 \text{ kN/m}^2$  diterapkan untuk sepanjang trotoar dengan lebar lebih dari  $600 \text{ mm}$  (SNI 1725:2016).

Jumlah trotoar (ntr)	= 2 buah
Beban pejalan kaki (W)	= $5 \text{ kN/m}^2$
Lebar trotoar (btr)	= 1 m
Panjang bentang (L)	= 40 m
Jumlah balok prategang (n)	= 5 buah



Beban pejalan kaki,

$$\begin{aligned} QTP &= W \times btr \times ntr \\ &= 5 \times 1 \times 2 \\ &= 10 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban yang diterima tiap gelagar,

$$\begin{aligned} QTP &= \frac{TP}{n} \\ &= \frac{10}{5} \\ &= 2,00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen dan gaya geser akibat beban pejalan kaki,

$$\begin{aligned} MTP &= \frac{1}{8} \times QTP \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 2,00 \times 40^2 \\ &= 400,000 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VTP &= \frac{1}{2} \times QTP \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 2,00 \times 40 \\ &= 40,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 6. Beban Angin Struktur (EWS)

Berdasarkan SNI 1725:2016, nilai  $V_o$  dan  $Z_o$  pada kondisi lahan terbuka yaitu kecepatan gesekan angin ( $V_o$ ) = 13,2 dan panjang gesekan di hulu jembatan ( $Z_o$ ) = 0,07.

$$\text{Elevasi struktur dari permukaan tanah (Z)} = 30,40 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan angin rencana (V}_B\text{)} = 126 \text{ kph}$$

Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah,

$$V_{10} = 126 \text{ kph}$$

$$\text{Tinggi struktur bangunan atas (d)} = 2,919 \text{ m}$$

Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana,

$$\begin{aligned} V_{DZ} &= 2,5 V_o \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \\ &= 2,5 V_o \left( \frac{126}{126} \right) \ln \left( \frac{30,40}{0,07} \right) \\ &= 200,432 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Tekanan angin dasar untuk komponen bangunan atas berupa balok sebesar  $P_B = 0,0024$  sehingga, tekanan angin rencana dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_D &= P_B \times \left(\frac{VDZ}{VB}\right)^2 \\ &= 0,0024 \times \left(\frac{200,432}{126}\right)^2 \\ &= 0,006073 \text{ MPa} \\ &= 6,0730 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Nilai beban angin pada struktur,

$$\begin{aligned} E_{WSH} &= P_D \times d \times L \\ &= 6,0730 \times 2,850 \times 40 \\ &= 692,325 \text{ kN} \end{aligned}$$

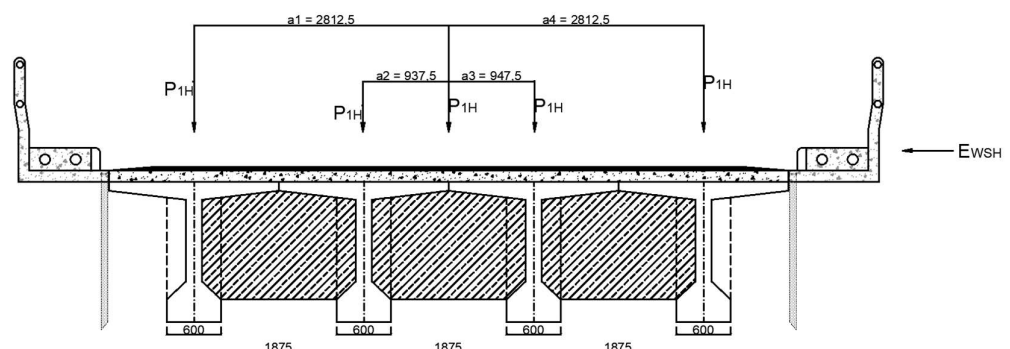
Gaya tekan angin tiap mm panjang jembatan,

$$\begin{aligned} P_H &= \frac{E_{WS}}{L} \\ &= \frac{692,325 \times 1000}{40000} \\ &= 17,308 \text{ N/mm} > 4,4 \text{ N/mm (memenuhi syarat)} \end{aligned}$$

Momen guling akibat gaya angin horizontal,

$$\begin{aligned} M_{EWS} &= \frac{1}{2} \times d \times E_{WSH} \\ &= \frac{1}{2} \times 2,850 \times 692,325 \\ &= 986,563 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Distribusi beban angin secara memanjang pada gelagar beton ptegang ( $P_{1H}$ ) dapat dilihat pada Gambar 5.16 Berikut.



**Gambar 5.18 Distribusi Beban Angin Struktur (EWS)**

Sehingga statis momen distribusi gaya angin tekan pada girder didapat sebagai berikut.

**Tabel 5.61 Statis Momen Distribusi Gaya Angin Struktur**

Pi	ai (m)	ai <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
P1	3,800	14,440
P2	1,900	3,610
P3	1,900	3,610
P4	3,800	14,440
Total		36,100

Nilai gaya angin tekan pada nilai maksimum,

$$\begin{aligned}
 P_{1H} &= \frac{a_i}{\sum a_i^2} \times M_{EWS} \\
 &= \frac{3,800}{36,100} \times 986,563 \\
 &= 103,849 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Beban merata angin pada girder,

$$\begin{aligned}
 Q_{EWS} &= \frac{P_{1H}}{L} \\
 &= \frac{103,849}{40} \\
 &= 2,596 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung gaya geser pada balok prategang akibat beban angin struktur, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{EW} &= \frac{1}{2} \times Q_{EWS} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 2,596 \times 40 \\
 &= 51,924 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung momen maksimal balok prategang ditengah bentang akibat beban angin struktur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 M_{EW} &= \frac{1}{8} \times Q_{EWS} \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 2,596 \times 40^2 \\
 &= 519,244 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7. Beban Angin Kendaraan ( $E_{WL}$ )

Beban angin kendaraan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan dan tegak lurus terhadap arah beban kendaraan dengan tekanan angin rencana sebagai beban merata sebesar,  $T_{EWL} = 1,46 \text{ kN/m}$ .

$$\begin{aligned} \text{Titik tangkap (y)} &= 1800 \text{ mm} \\ &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak antar gandar (x)} = 1,75 \text{ m}$$

$$\text{Panjang bentang (L)} = 40 \text{ m}$$

Beban merata angin kendaraan pada girder,

$$\begin{aligned} Q_{EWL} &= \frac{(T_{EWL} \times y)}{x} \\ &= \frac{(1,46 \times 1,8)}{1,75} \\ &= 1,50 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat beban angin kendaraan,

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{2} \times Q_{EWL} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 1,50 \times 40 \\ &= 30,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen akibat beban angin kendaraan,

$$\begin{aligned} M_{EW} &= \frac{1}{8} \times Q_{EWL} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1,50 \times 40^2 \\ &= 300,34 \text{ kNm} \end{aligned}$$

8. Beban Temperatur ( $E_{un}$ )

Perhitungan momen dan gaya geser pada girder diperhitungkan terhadap gaya yang timbul akibat pengaruh temperatur.

$$\text{Panjang bentang jembatan (L)} = 40 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi girder (h)} = 1,65 \text{ m}$$

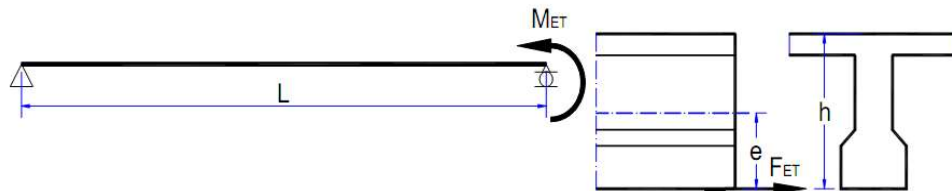
$$\text{Temperatur jembatan rata-rata maksimum, (Tmax)} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur jembatan rata-rata minimum, (Tmin)} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Koefisien perpanjangan akibat suhu ( $\text{mm/mm/}^\circ\text{C}$ ),

$$\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_T &= \alpha L (T_{maxdesign} - T_{mindesign}) \\
 &= (11 \times 10^{-6}) \times 40 \times (40 - 15) \\
 &= 11,000 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$



**Gambar 5.19** Beban Akibat Temperatur ( $E_{un}$ )

Modulus elastisitas beton dengan kuat tekan  $> 30$  MPa berdasarkan SNI 1725-2016 dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 E &= 4700\sqrt{f_c'} \\
 E &= 33167,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

*Shear stiffness of elastomeric bearing* ( $k$ ) = 15000 kN/m

Pergerakan temperatur,

$$\begin{aligned}
 \delta &= \alpha \times \Delta_T \times L \\
 &= 11 \times 10^{-6} \times 11,000 \times 40 \\
 &= 0,005 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Gaya akibat pergerakan temperatur,

$$\begin{aligned}
 F_{Eun} &= k \times \delta \\
 &= 15000 \times 0,005 \\
 &= 72,600 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Eksentrisitas balok prategang ( $e_{ET}$ ) = 1,085 m

Momen akibat pengaruh temperatur,

$$\begin{aligned}
 M_{Eun} &= F_{Eun} \times e \\
 &= 72,600 \times 1,085 \\
 &= 78,796 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat pengaruh temperatur,

$$\begin{aligned}
 V_{Eun} &= \frac{MEun}{L} \\
 &= \frac{78,796}{40} \\
 &= 1,970 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

9. Beban Gempa (EQ)

Berdasarkan peta respon spectra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun pada SNI-2833-2016, didapat nilai  $S_1$  untuk Kabupaten Gunung Kidul yaitu sebesar 0,4 g. Untuk tanah sedang pada  $S_1 = 0,4$ , besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) yaitu sebesar 1,6. Sehingga, nilai spectra permukaan tanah pada periode 1,0 detik ( $S_{D1}$ ) dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S_{D1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,6 \times 0,4 \\
 &= 0,640
 \end{aligned}$$

$S_{D1} > 0,50$  sehingga, berdasarkan tabel zona gempa pada SNI 2833:2016 dapat diketahui bahwa Kabupaten Gunung Kidul termasuk dalam zona gempa 4. Jembatan yang terletak pada zona gempa 2, 3, dan 4, gaya angkat efektif untuk beban gempa vertikal diambil 10% dari reaksi akibat beban permanen.

Beban gempa vertikal,

$$\begin{aligned}
 Q_{EQ} &= 10\% \times (Q_{MS} + Q_{MA}) \\
 &= 10\% \times (36,909 + 9,741) \\
 &= 4,665 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Gaya geser pada balok prategang akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 V_{EQ} &= \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 4,665 \times 40 \\
 &= 93,30 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Momen pada balok prategang akibat beban gempa,

$$\begin{aligned}
 M_{EQ} &= \frac{1}{8} \times Q_{EQ} \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 4,665 \times 40^2 \\
 &= 933,00 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 10. Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser pada Balok

Rekapitulasi perhitungan momen dan gaya geser pada balok yaitu pada Tabel 5.36 berikut.

**Tabel 5.62 Rekapitulasi Pembebanan Balok Prategang**

No.	Jenis Beban	Kode beban	Q	P	M
			(kN/m)	(kN)	(kN/m)
1	Berat sendiri	MS	36,909	-	-
2	Mati tambahan	MA	9,741	-	-
3	Lajur D	TD	14,963	93,100	-
4	Gaya rem	TB	-	-	98,701
5	Pejalan kaki	TP	2,000	-	-
6	Angin struktur	EWS	2,596	-	-
7	Angin kendaraan	EWL	1,502		
8	Temperatur	Eun	-	-	78,796
9	Gempa	EQ	4,665	-	-

**Tabel 5.63 Rekapitulasi Gaya Geser dan Momen Akibat Pembebanan**

Jenis Beban	Kode Beban	Gaya Geser	Momen maksimum
		kN	kNm
Berat sendiri	MS	738,184	7381,837
Mati tambahan	MA	194,820	1948,200
Lajur D	TD	364,420	4295,900
Gaya rem	TB	2,468	49,351
Pejalan kaki	TP	40,000	400,000
Angin struktur	EWS	51,924	519,244
Angin kendaraan	EWL	30,034	300,343
Temperatur	Eun	1,970	78,796
Gempa	EQ	93,300	933,004

### 5.5.3. Kombinasi Pembebanan Balok Prategang

Perhitungan kombinasi pembebanan didasarkan pada SNI 1728:2016 dengan perhitungan momen dan gaya geser pada balok prategang akibat pembebanan yaitu pada Tabel 5.38 berikut.

**Tabel 5.64 Persamaan Momen dan Gaya Geser Pada Balok Prategang**

No.	Jenis Beban	Persamaan Momen	Persamaan Gaya Geser
1.	Berat Sendiri (MS)	$M_x = \frac{1}{2} \times QMS \times (L \times X - X^2)$	$V_x = QMS \times (L/2 - X)$
2.	Mati Tambahan (MA)	$M_x = \frac{1}{2} \times QMA \times (L \times X - X^2)$	$V_x = QMA \times (L/2 - X)$
3.	Lajur "D" (TD)	$M_x = \frac{1}{2} \times QTD \times (L \times X - X^2) + \frac{1}{2} \times PTD \times X$	$V_x = QTD \times (L/2 - X) + \frac{1}{2} \times PTD$
4.	Gaya Rem (TB)	$M_x = X / L \times MTB$	$V_x = MTB / L$
5.	Pejalan Kaki (TP)	$M_x = \frac{1}{2} \times QTP \times (L \times X - X^2)$	$V_x = QTP \times (L/2 - X)$
6.	Angin Struktur (EWS)	$M_x = \frac{1}{2} \times QEWS \times (L \times X - X^2)$	$V_x = QEWS \times (L/2 - X)$
7.	Angin Kendaraan (EWL)	$M_x = \frac{1}{2} \times QEWL \times (L \times X - X^2)$	$V_x = QEWL \times (L/2 - X)$
8.	Temperatur (Eun)	$M_x = X / L \times MET$	$V_x = VET / L$
9.	Gempa (EQ)	$M_x = \frac{1}{2} \times QEQ \times (L \times X - X^2)$	$V_x = QEQ \times (L/2 - X)$

Dengan persamaan seperti pada Tabel 5.38 di atas maka didapat hasil rekapitulasi momen dan gaya geser pada balok prategang akibat beban sebagai berikut.



**Tabel 5.65 Momen Pada Balok Prategang Akibat Beban**

Jarak	Momen Akibat Beban									
	Berat balok	Berat Sendiri	Mati tambahan	Lajur "D"	Rem	Pejalan Kaki	Angin Struktur	Angin Kendaraan	Temperatur	Gempa
X		MS	MA	TD	TB	TP	EWS	EWL	Eun	EQ
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,0	21,41	697,17	184,00	327,68	2,39	37,78	49,04	28,37	1,91	88,12
2,0	43,53	1381,18	364,52	651,51	4,86	74,84	97,15	56,20	3,88	174,57
3,0	65,65	2028,27	535,30	960,39	7,32	109,91	142,67	82,52	5,85	256,36
4,0	87,77	2638,46	696,34	1254,30	9,79	142,97	185,59	107,35	7,82	333,48
5,0	109,90	3211,74	847,64	1533,25	12,26	174,03	225,92	130,68	9,79	405,94
6,0	132,02	3748,11	989,19	1797,24	14,73	203,10	263,64	152,50	11,76	473,73
7,0	154,14	4247,57	1121,01	2046,26	17,19	230,16	298,78	172,82	13,73	536,86
8,0	176,26	4710,12	1243,09	2280,32	19,66	255,23	331,31	191,64	15,70	595,32
9,0	198,38	5135,76	1355,42	2499,42	22,13	278,29	361,25	208,96	17,67	649,12
10,0	220,50	5524,50	1458,01	2703,56	24,60	299,36	388,60	224,77	19,64	698,25
11,0	242,62	5876,32	1550,87	2892,74	27,06	318,42	413,34	239,09	21,61	742,72
12,0	264,74	6191,23	1633,98	3066,95	29,53	335,48	435,50	251,90	23,58	782,52
13,0	286,87	6469,24	1707,35	3226,20	32,00	350,55	455,05	263,21	25,55	817,66
14,0	308,99	6710,33	1770,98	3370,49	34,47	363,61	472,01	273,02	27,52	848,13
15,0	331,11	6914,52	1824,87	3499,81	36,93	374,68	486,37	281,33	29,49	873,94
16,0	353,23	7081,80	1869,01	3614,17	39,40	383,74	498,14	288,14	31,46	895,08
17,0	375,35	7212,17	1903,42	3713,57	41,87	390,81	507,31	293,44	33,43	911,56
18,0	397,47	7305,63	1928,09	3798,01	44,34	395,87	513,88	297,24	35,40	923,37
19,0	419,59	7362,18	1943,01	3867,48	46,80	398,93	517,86	299,54	37,36	930,52
20,0	441,71	7381,82	1948,19	3922,00	49,27	400,00	519,24	300,34	39,33	933,00

Tabel 5.66 Gaya Geser pada Balok Prategang Akibat Beban

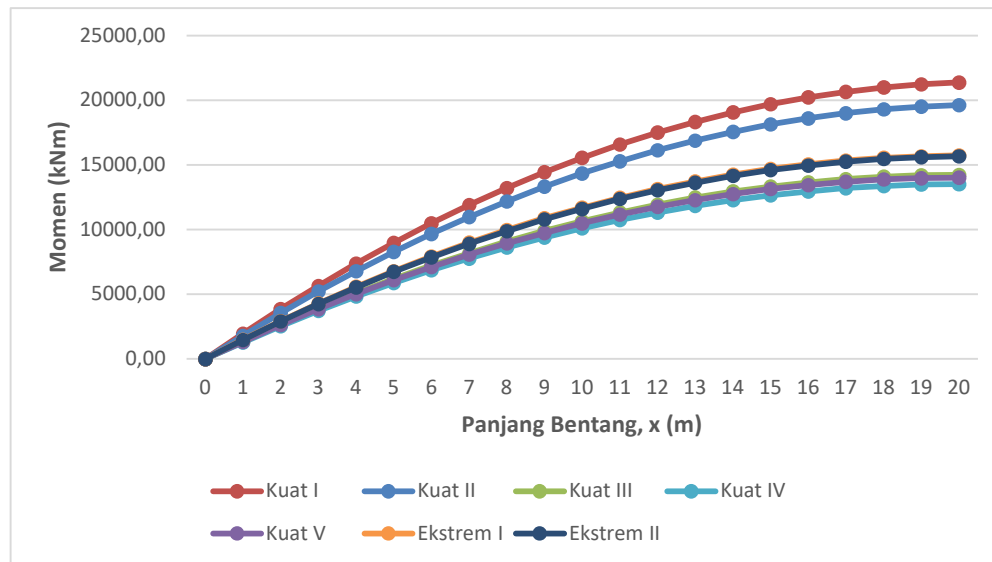
Jarak	Gaya Geser Akibat Beban									
	Berat balok	Berat Sendiri	Mati tambahan	Lajur "D"	Rem	Pejalan Kaki	Angin Struktur	Angin Kendaraan	Temperatur	Gempa
X		MS	MA	TD	TB	TP	EWS	EWL	Eun	EQ
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kN)	(kN)
0,0	0,0	0,00	738,18	194,82	345,80	2,47	40,00	51,92	30,03	1,97
1,0	1,0	21,41	702,46	185,39	331,32	2,47	38,06	49,41	210,33	1,97
2,0	2,0	43,53	665,55	175,65	316,36	2,47	36,06	46,82	27,08	1,97
3,0	3,0	65,65	628,64	165,91	301,39	2,47	34,06	44,22	25,58	1,97
4,0	4,0	87,77	591,73	156,17	286,43	2,47	32,06	41,62	24,08	1,97
5,0	5,0	109,90	554,82	146,43	271,47	2,47	30,06	39,03	22,57	1,97
6,0	6,0	132,02	517,91	136,69	256,51	2,47	28,06	36,43	21,07	1,97
7,0	7,0	154,14	481,01	126,95	241,54	2,47	26,06	33,83	19,57	1,97
8,0	8,0	176,26	444,10	117,21	226,58	2,47	24,06	31,24	18,07	1,97
9,0	9,0	198,38	407,19	107,46	211,62	2,47	22,06	28,64	16,57	1,97
10,0	10,0	220,50	370,28	97,72	196,66	2,47	20,06	26,05	15,07	1,97
11,0	11,0	242,62	333,37	87,98	181,69	2,47	18,06	23,45	13,56	1,97
12,0	12,0	264,74	296,46	78,24	166,73	2,47	16,06	20,85	12,06	1,97
13,0	13,0	286,87	259,55	68,50	151,77	2,47	14,06	18,26	10,56	1,97
14,0	14,0	308,99	222,64	58,76	136,81	2,47	12,06	15,66	9,06	1,97
15,0	15,0	331,11	185,73	49,02	121,84	2,47	10,06	13,06	7,56	1,97
16,0	16,0	353,23	148,82	39,28	106,88	2,47	8,06	10,47	6,06	1,97
17,0	17,0	375,35	111,91	29,54	91,92	2,47	6,06	7,87	4,55	1,97
18,0	18,0	397,47	75,00	19,80	76,96	2,47	4,06	5,28	3,05	1,97
19,0	19,0	419,59	38,10	10,05	61,99	2,47	2,06	2,68	1,55	1,97
20,0	20,0	441,71	1,19	0,39	47,03	2,47	0,06	0,08	0,05	1,97

**Tabel 5.67 Kombinasi Beban untuk Momen pada Balok Prategang**

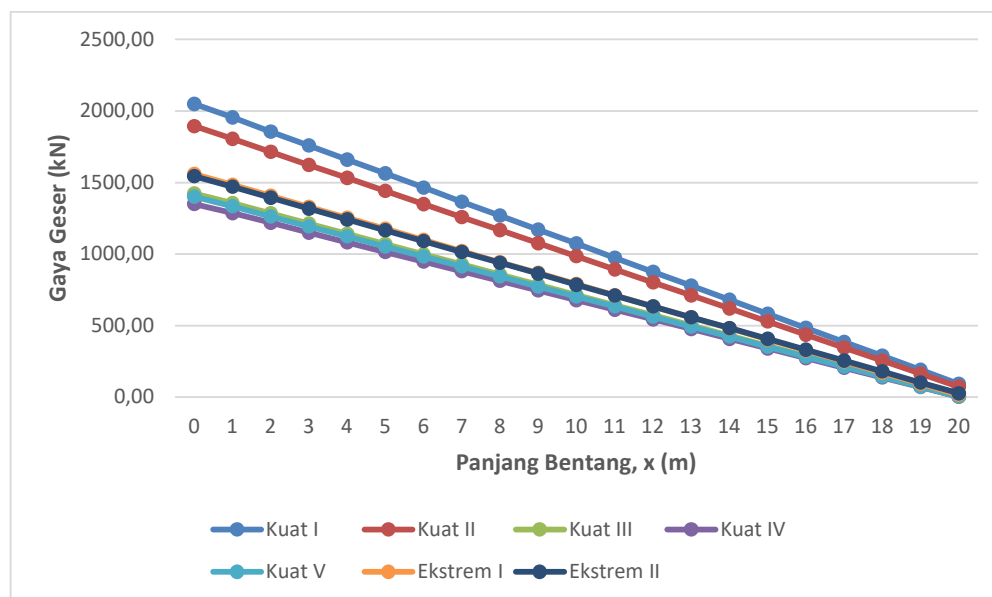
Jarak X (m)	Kombinasi Beban untuk Momen pada Balok Prategang						
	Kuat I	Kuat II	Kuat III	Kuat IV	Kuat V	Ekstrem I	Ekstrem II
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1937,38	1790,24	1343,92	1275,26	1323,25	1472,78	1458,23
2	3842,68	3550,20	2662,51	2526,50	2621,56	2918,49	2890,17
3	5649,99	5218,94	3910,01	3710,27	3849,86	4286,99	4246,16
4	7359,29	6796,47	5086,41	4826,58	5008,17	5578,27	5526,20
5	8970,60	8282,79	6191,71	5875,43	6096,47	6792,33	6730,30
6	10483,92	9677,89	7225,91	6856,81	7114,76	7929,18	7858,46
7	11899,24	10981,79	8189,01	7770,72	8063,05	8988,80	8910,67
8	13216,56	12194,47	9081,01	8617,18	8941,34	9971,21	9886,93
9	14435,89	13315,95	9901,92	9396,16	9749,62	10876,40	10787,25
10	15557,21	14346,21	10651,73	10107,69	10487,90	11704,38	11611,63
11	16580,55	15285,26	11330,43	10751,75	11156,18	12455,13	12360,06
12	17505,88	16133,10	11938,04	11328,35	11754,45	13128,67	13032,54
13	18333,22	16889,72	12474,55	11837,48	12282,71	13724,99	13629,08
14	19062,57	17555,14	12939,96	12279,15	12740,97	14244,09	14149,67
15	19693,91	18129,34	13334,28	12653,35	13129,23	14685,98	14594,32
16	20227,26	18612,34	13657,49	12960,10	13447,49	15050,64	14963,03
17	20662,62	19004,12	13909,61	13199,37	13695,74	15338,09	15255,78
18	20999,97	19304,69	14090,62	13371,19	13873,98	15548,32	15472,60
19	21239,34	19514,05	14200,54	13475,54	13982,22	15681,34	15613,46
20	21380,70	19632,19	14239,36	13512,42	14020,46	15737,13	15678,39

**Tabel 5.68 Kombinasi Beban untuk Gaya Geser pada Balok Prategang**

Jarak X (m)	Kombinasi Beban untuk Gaya Geser pada Balok Prategang						
	Kuat I	Kuat II	Kuat III	Kuat IV	Kuat V	Ekstrem I	Ekstrem II
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0	2049,15	1893,84	1422,96	1350,26	1401,07	1559,06	1543,41
1	1954,30	1805,56	1354,14	1284,97	1333,31	1484,32	1469,91
2	1856,30	1714,35	1283,05	1217,50	1263,31	1407,11	1393,96
3	1758,31	1623,14	1211,95	1150,04	1193,31	1329,89	1318,02
4	1660,39	1531,92	1140,85	1082,58	1123,30	1252,67	1242,07
5	1562,31	1440,71	1069,75	1015,11	1053,30	1175,45	1166,13
6	1464,32	1349,50	998,65	947,65	983,29	1098,24	1090,18
7	1366,32	1258,29	927,55	880,18	913,29	1021,02	1014,24
8	1268,32	1167,08	856,45	812,72	843,28	943,80	938,29
9	1170,33	1075,87	785,36	745,26	773,28	866,58	862,35
10	1072,33	984,66	714,26	677,79	703,28	789,36	786,40
11	974,33	893,44	643,16	610,33	633,27	712,15	710,46
12	876,34	802,23	572,06	542,86	563,27	634,93	634,51
13	778,34	711,02	500,96	475,40	493,26	557,71	558,57
14	680,35	619,81	429,86	407,94	423,26	480,49	482,62
15	582,35	528,60	358,76	340,47	353,26	403,28	406,68
16	484,35	437,39	287,66	273,01	283,25	326,06	330,73
17	386,36	346,18	216,57	205,55	213,25	248,84	254,79
18	288,36	254,96	145,47	138,08	143,24	171,62	178,84
19	190,36	163,75	74,37	70,62	73,24	94,40	102,90
20	92,37	72,54	3,27	3,15	3,24	17,19	26,95



**Gambar 5.20 Diagram Momen (*Bending Moment Diagram*) Beton Prategang**



**Gambar 5.21 Diagram Geser (*Shearing Force Diagram*) Beton Prategang**

#### 5.5.4. Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas, dan Jumlah Tendon

Pada dasarnya baik pada sistem pratarik maupun paskatarik, pola tegangan umumnya ditinjau atau diperiksa pada dua keadaan yang berbeda, (Sumber: Beton Prategang Suatu Pendekatan Dasar, Edisi 2) yaitu kondisi awal (saat transfer) dan kondisi akhir (*service*). Batasan tegangan ijin pada beton prategang ditetapkan sebagai berikut.

Mutu beton balok prategang *T-Girder* K-600,

$$f'c = 0,83 \times \frac{K}{10} = 0,83 \times \frac{600}{10} = 49,80 \text{ MPa}$$

Pada keadaan awal, kuat tekan beton,

$$f'ci = 80\% \times f'c = 0,8 \times 49,80 = 39,84 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin saat transfer,

$$\text{Serat tekan} : fci = 0,60 \times f'ci = 0,60 \times 39,84 = 23,90 \text{ MPa}$$

(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.2)

$$\text{Serat tarik} : fti = 0,25 \times \sqrt{f'ci} = 0,25 \times \sqrt{39,84} = 1,58 \text{ MPa}$$

(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.4)

$$\text{Serat tekan} : fcs = 0,45 \times f'c = 0,45 \times 49,80 = 22,41 \text{ MPa}$$

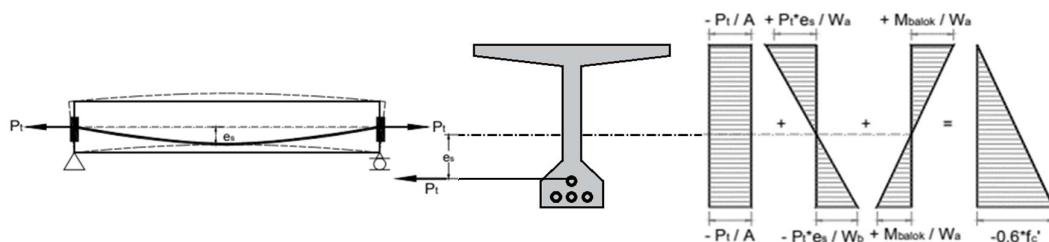
(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.1)

$$\text{Serat tarik} : fts = 0,50 \times \sqrt{f'c} = 0,50 \times \sqrt{49,80} = 3,53 \text{ MPa}$$

(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.3)

##### 1. Kondisi awal (saat transfer)

Gaya prategang awal ditinjau pada kondisi awal atau saat transfer yaitu tegangan pada saat pemberian gaya prategang pada tendon seperti saat penarikan tendon dan pemotongan tendon pada sistem paskatarik.



**Gambar 5. 22 Gaya Prategang Awal dan Eksentrisitas Tendon di Tengah Bentang**

Section properties penampang *T-Girder* dan perhitungan gaya prategang awal pada kondisi saat transfer yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang } T\text{-Girder } (A) &= 0,868 \text{ m}^2 \\
 \text{Tahapan momen sisi atas } (W_a) &= 0,482 \text{ m}^3 \\
 \text{Tahapan momen sisi bawah } (W_b) &= 0,251 \text{ m}^3 \\
 \text{Jarak titik berat } T\text{-Girder} \text{ terhadap sisi bawah } (y_b) &= 1,085 \text{ m} \\
 \text{Jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah } T\text{-Girder } (Z_0) &= 0,175 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas tendon } (e_s) &= y_b - Z_0 \\
 &= 1,085 - 0,175 \\
 &= 0,910 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Momen akibat berat sendiri } (M_{\text{balok}}) = 4424,250 \text{ kNm}$$

Tegangan pada bagian serat atas,

$$0 = -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt \times e_s}{W_a} - \frac{M_{\text{balok}}}{W_a} \left( \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{kN.m}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kN.m}}{\text{m}^3} \right)$$

$$0 = -\frac{Pt}{0,868} + \frac{Pt \times 0,910}{0,482} - \frac{4424,250}{0,482}$$

$$Pt = 12464,334 \text{ kN}$$

Tegangan pada bagian serat bawah,

$$0,6 \times f_{ci} = -\frac{Pt}{A} - \frac{Pt \times e_s}{W_b} + \frac{M_{\text{balok}}}{W_b} \left( \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{kN.m}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kN.m}}{\text{m}^3} \right)$$

$$23,90 = -\frac{Pt}{0,868} - \frac{Pt \times 0,910}{0,251} + \frac{4424,250}{0,251}$$

$$Pt = 8685,101 \text{ kN}$$

Diambil besar gaya prategang dari nilai terkecil,  $Pt = 8685,101 \text{ kN}$

## 2. Kondisi akhir

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untaian “*Strands cable*” standar VSL, dengan data pada Tabel 5.19.

**Tabel 5.69 Data Strands Cable**

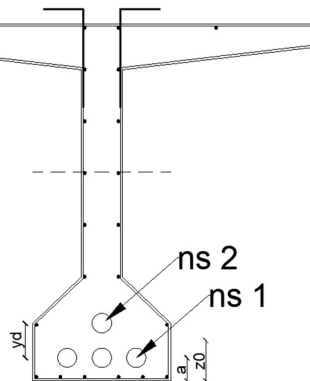
<b>DATA STRANDS CABLE – STANDARD VSL</b>			
Jenis strands : 7 wire low relaxation strands ASTM A-416-85 grade 270			
Tegangan leleh <i>strand</i>	$f_{py}$	1675	Mpa
Kuat tarik <i>strand</i>	$f_{pu}$	1860	Mpa
Diameter nominal <i>strands</i>	$d$	12,7	mm
Luas tampang nominal satu <i>strands</i>	$A_{st}$	98,7	mm <sup>2</sup>
Beban putus minimal satu <i>strands</i>	$P_{bs}$	183,7	kN
Jumlah kawat untaian ( <i>strands</i> cable)	$n$	19	kawat/tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Beban putus satu tendon	$P_{b1}$	3490,3	kN
Modulus elastis <i>strands</i>	$E_s$	195000	MPa
Tipe dongkrak		VSL	

Perhitungan jumlah tendon yang diperlukan dan jumlah *strands* dalam masing-masing tendon dihitung dengan langkah sebagai berikut.

$$\text{Gaya prategang awal (Pt)} = 8685,101 \text{ kN}$$

$$\text{Beban putus satu tendon (Pb1)} = 3490,3 \text{ kN}$$

$$\text{Beban putus minimal satu strands (Pbs)} = 183,7 \text{ kN}$$

**Gambar 5.23 Susunan Baris Tendon di Tengah Bentang**

Gaya prategang saat jacking dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$P_j = \frac{P_t}{0,85}$$

$$P_j = 0,80 \times P_{b1} \times n_t$$



Dari persamaan di atas didapat kebutuhan jumlah tendon dan jumlah *strands* sebagai berikut,

$$nt = \frac{Pt}{(0,85 \times 0,80 \times Pb)} = \frac{8685,101}{(0,85 \times 0,80 \times 3490,3)} = 3,659$$

Diambil jumlah tendon (nt) = 4 tendon

$$ns = \frac{Pt}{(0,85 \times 0,80 \times Pbs)} = \frac{8685,101}{(0,85 \times 0,80 \times 183,7)} = 69,528$$

Diambil total jumlah *strands* (ns) = 70 *strands*

Rekapitulasi jumlah *strands* pada Prestressed Concrete *T-Girder* dapat dilihat pada Tabel 5.20.

**Tabel 5.70 Jumlah Strands PCT Girder pada Posisi Tengah Bentang**

Jumlah tendon baris ke-1 :	nt1 =	3	tendon	19	<i>strands</i> =	57	<i>strands</i>
Jumlah tendon baris ke-2 :	nt2 =	1	tendon	17	<i>strands</i> =	17	<i>strands</i>
	nt =	4	tendon	$\Sigma$ <i>strands</i> ,	ns =	74	<i>strands</i>

Presentase tegangan yang timbul pada baja (% *jacking force*):

$$\begin{aligned} Po &= \frac{Pt}{(0,85 \times ns \times Pbs)} \\ &= \frac{8685,101}{(0,85 \times 70 \times 183,7)} \\ &= 75,165\% < 80\% \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Gaya prategang (aktual) yang terjadi akibat jacking:

$$\begin{aligned} Pj &= Po \times ns \times Pbs \\ &= 75,165\% \times 74 \times 183,7 \\ &= 10217,766 \text{ kN} \end{aligned}$$

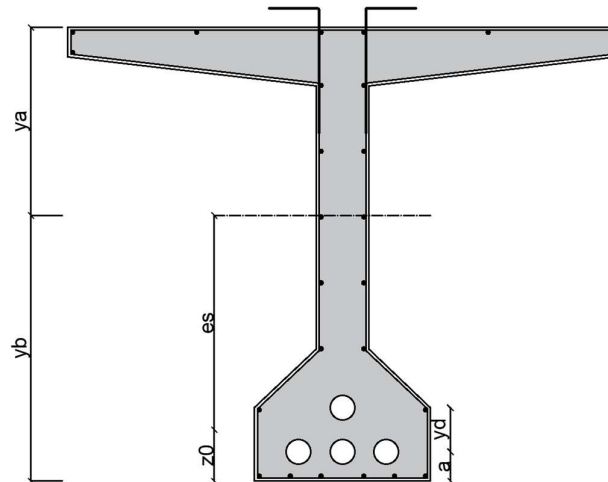
Diperkirakan kehilangan tegangan (*loss of prestress*) sebesar 25% sehingga, gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan sebesar 25% sebagai berikut,

$$\begin{aligned} Peff &= (100\% - 25\%) \times Pj \\ &= 25\% \times 10217,766 \\ &= 7701,2605 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 5.5.5. Tata Letak Posisi Tendon (*Lay-Out Tendon*)

Tata letak tendon dilakukan perencanaan dengan peninjauan pada titik tengah bentang dan pada tumpuan balok.

#### 1. Posisi Tendon di Tengah Bentang



**Gambar 5.24 Posisi Tendon di Tengah Bentang**

Jarak antara alas balok prategang ke as baris tendon ke-1,

$$a = 0,10 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon (es)} = 0,910 \text{ m}$$

Jarak titik berat tendon terhadap alas balok,

$$\begin{aligned} Z_0 &= y_b - es \\ &= 1,085 - 0,910 \\ &= 0,175 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen statis tendon terhadap alas balok prategang,

$$n_s \times Z_0 = n_1 \times a + n_2 \times (a + y_d)$$

Jarak vertikal antara as ke as tendon ,

$$\begin{aligned} y_d &= \frac{n_s \times (Z_0 - a)}{n_2} \\ &= \frac{74 \times (0,175 - 0,10)}{17} \\ &= 0,326 \text{ m} \end{aligned}$$

diambil  $y_d = 0,150 \text{ m}$

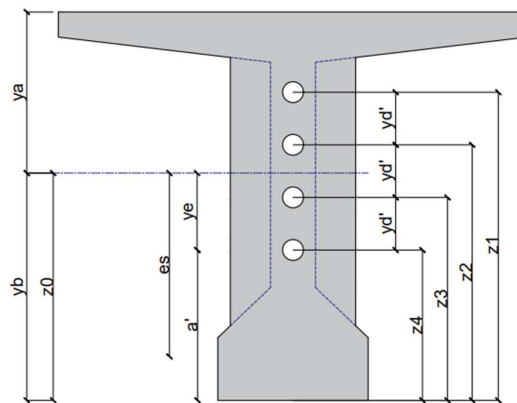
Diameter selubung tendon ( $dt$ ) = 0,084 m

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon,

$$y_d - dt = 0,15 - 0,084 \\ = 0,066 \text{ m} > 0,025 \text{ m (OK)}$$

## 2. Posisi Tendon di Tumpuan

Perhitungan posisi tendon pada tumpuan dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



**Gambar 5.25 Posisi Tendon di Tumpuan**

Berdasarkan Gambar 5.22, posisi tendon dengan  $y_d$  yaitu jarak antar tendon dengan ditetapkan nilai  $a'$ . Jumlah *strands* pada tiap baris tendon yaitu seperti pada Tabel 5.21.

**Tabel 5.71 Jumlah Strands pada Tiap Baris Tendon di Tumpuan**

Jumlah tendon baris ke-1 :	$n_1 =$	1 tendon	19 strands =	19	strands
Jumlah tendon baris ke-2 :	$n_2 =$	1 tendon	19 strands =	19	strands
Jumlah tendon baris ke-3 :	$n_3 =$	1 tendon	19 strands =	19	strands
Jumlah tendon baris ke-4 :	$n_4 =$	1 tendon	17 strands =	17	strands
$\Sigma Strands,$			$n_s =$	74	strands

Perhitungan jarak pada tiap baris tendon di tumpuan dan jarak antara titik pusat balok ke as tendon yaitu sebagai berikut.

Dipakai jarak dari alas balok prategang *T-Girder* ke as baris tendon ke-4,

$$a' = 0,75 \text{ m}$$

Letak titik berat penampang balok terhadap alas,

$$y_b = 1,085 \text{ m}$$

Perhitungan momen statis pada tendon terhadap pusat tendon terbawah dengan persamaan berikut,

$$\sum n_i x y_d' = n_s x y_e$$

$$\frac{y_e}{y_d} = \frac{\left( \frac{\sum n_i x y_d'}{y_d'} \right)}{n_s}$$

$$\text{Tendon baris ke-1} = n_1 x y_d' = 19 x 0 = 0$$

$$\text{Tendon baris ke-2} = n_2 x y_d' = 19 x 1 = 19$$

$$\text{Tendon baris ke-3} = n_3 x y_d' = 19 x 2 = 38$$

$$\text{Tendon baris ke-4} = n_4 x y_d' = 17 x 3 = 51$$

$$\frac{\sum n_i x y_d'}{y_d} = 108$$

$$\begin{aligned} \frac{y_e}{y_d} &= \frac{\left( \frac{\sum n_i x y_d'}{y_d'} \right)}{n_s} \\ &= \frac{108}{74} \\ &= 1,459 \end{aligned}$$

Jarak antara titik pusat berat balok ke as tendon ke-4,

$$\begin{aligned} y_e &= y_b - a' \\ &= 1,085 - 0,75 \\ &= 0,335 \text{ m} \end{aligned}$$

jarak vertikal antara as ke as tendon

$$\begin{aligned} y_d' &= \frac{y_e}{\left( \frac{y_e}{y_d'} \right)} \\ &= 0,230 \text{ m} \end{aligned}$$

eksentrisitas,

$$\begin{aligned} z_0 &= a' + y_e = y_b \\ &= 0,75 + 0,335 \\ &= 1,085 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Eksentrisitas masing-masing tendon

Eksentrisitas tendon adalah perbedaan elevasi tendon pada tumpuan dan di lapangan. Perhitungan nilai elevasi untuk tiap baris tendon di tumpuan dan di lapangan sebagai berikut.

a. Posisi tendon pada tumpuan  $x = 0$  m

Dipakai jarak dari alas balok prategang *T-Girder* ke as baris tendon ke-4,

$$a' = 0,75 \text{ m}$$

Tendon baris ke-1

$$\begin{aligned} z_1' &= a' + 3 \times yd' \\ &= 0,75 + 3 \times 0,230 \\ &= 1,439 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-2

$$\begin{aligned} z_2' &= a' + 2 \times yd' \\ &= 0,75 + 2 \times 0,230 \\ &= 1,210 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-3

$$\begin{aligned} z_3' &= a' + yd' \\ &= 0,75 + 0,230 \\ &= 0,980 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-4

$$\begin{aligned} z_4' &= a' \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Posisi tendon pada tengah bentang  $x = 20,33$  m

Dipakai jarak dari alas balok prategang *T-Girder* ke as baris tendon ke 4

$$(a) = 0,10 \text{ m}$$

Tendon baris ke-1

$$\begin{aligned} z_1 &= a + yd \\ &= 0,10 + 0,15 \\ &= 0,25 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-2

$$\begin{aligned} z_2 &= a \\ &= 0,10 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-3

$$\begin{aligned} z_3 &= a \\ &= 0,10 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-4

$$\begin{aligned} z_4 &= a \\ &= 0,10 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Eksentrisitas pada tiap tendon

Tendon baris ke-1

$$\begin{aligned} f_1 &= z_1' - z_1 \\ &= 1,439 - 0,25 \\ &= 1,189 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-2

$$\begin{aligned} f_2 &= z_2' - z_2 \\ &= 1,210 - 0,10 \\ &= 1,916 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-3

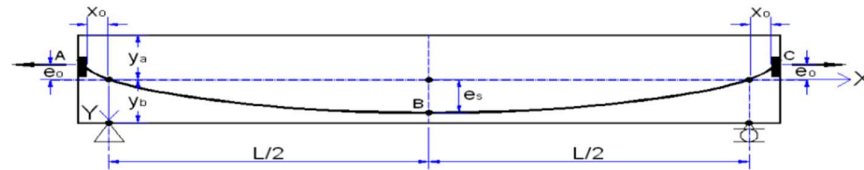
$$\begin{aligned} f_3 &= z_3' - z_3 \\ &= 0,980 - 0,10 \\ &= 0,880 \text{ m} \end{aligned}$$

Tendon baris ke-4

$$\begin{aligned} f_4 &= z_4' - z_4 \\ &= 0,75 - 0,10 \\ &= 0,650 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Lintasan Inti Tendon

Lintasan inti tendon pada penampang *PCT girder* dapat dilihat pada Gambar 5.29.



**Gambar 5.26 Lintasan Inti Tendon**

Perhitungan lintasan inti pada tendon *PCT girder* yaitu sebagai berikut.

Panjang bentang *PCT girder* ( $L$ ) = 40 m

Eksentrisitas tendon ( $e_s$ ) = 0,910 m

Persamaan parabola lintasan inti tendon,

$$Y = 4 \times f \times \frac{X}{L^2} \times (L - X)$$

dengan,  $f = e_s$

Dengan persamaan di atas dilakukan perhitungan lintasan inti tendon yang dapat dilihat pada Tabel 5.46 berikut.

**Tabel 5.72 Perhitungan Lintas Tendon**

X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
-0,32	-0,029	8	0,583	17	0,890	26	0,828	35	0,398
0	0,000	9	0,635	18	0,901	27	0,799	36	0,328
1	0,089	10	0,683	19	0,908	28	0,765	37	0,253
2	0,173	11	0,726	20	0,910	29	0,726	38	0,173
3	0,253	12	0,765	21	0,908	30	0,683	39	0,089
4	0,328	13	0,799	22	0,901	31	0,635	40	0,000
5	0,398	14	0,828	23	0,890	32	0,583	0,32	0,029
6	0,464	15	0,853	24	0,874	33	0,526		
7	0,526	16	0,874	25	0,853	34	0,464		

$x_0$  = 0,32 m

$e_0$  = 0,029 m

Jarak AB = jarak BC

$$= \frac{L}{2} + x_0$$

$$= \frac{40}{2} + 0,32$$

$$= 20,32 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 es + e_0 &= 0,910 + 0,029 \\
 &= 0,939 \text{ m} \\
 \alpha_{AB} &= \alpha_{BC} \\
 &= \frac{2x(es+e_0)}{\left(\frac{L}{2}+x_0\right)} \\
 &= \frac{2x0,939}{20,32} \\
 &= 0,092 \text{ rad}
 \end{aligned}$$

#### 5. Sudut angkur

Persamaan lintasan tendon adalah sebagai berikut,

$$Y = 4x f x \frac{x}{L^2} x(L-x)$$

$$\frac{dy}{dx} = 4x f i x \left(\frac{L-2x}{L^2}\right)$$

Pada posisi angkur di tumpuan,  $X = 0$  sehingga menggunakan persamaan,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4x f i}{L^2}$$

Sudut angkur dapat dihitung menggunakan persamaan  $\alpha = \text{ATAN}\left(\frac{dy}{dx}\right)$  dan hasil perhitungan menggunakan persamaan-persamaan di atas dapat dilihat pada Tabel 5.47 berikut.

**Tabel 5.73 Sudut Angkur**

Baris Tendon	Jumlah Strands	Diameter Selubung	Eksentrisitas	f <sub>i</sub>	dY/dX	Sudut Angkur (°)			
				(m)					
1	19	84	f <sub>1</sub> =	1,189	0,119	α <sub>1</sub> =	0,118	rad =	6,783
2	19	84	f <sub>2</sub> =	1,916	0,111	α <sub>2</sub> =	0,111	rad =	6,331
3	19	84	f <sub>3</sub> =	0,880	0,088	α <sub>3</sub> =	0,088	rad =	5,028
4	17	84	f <sub>4</sub> =	0,650	0,065	α <sub>4</sub> =	0,065	rad =	3,719

#### 6. Tata letak kabel pada tendon

Panjang bentang jembatan *PCT girder* (L) = 40 m

$$f_0 = es = 0,910 \text{ m}$$

$$f_1 = 1,19 \text{ m}$$

$$f_2 = 1,11 \text{ m}$$



$$f_3 = 0,88 \text{ m}$$

$$f_4 = 0,65 \text{ m}$$

$$y_b = z_0 = 1,085 \text{ m}$$

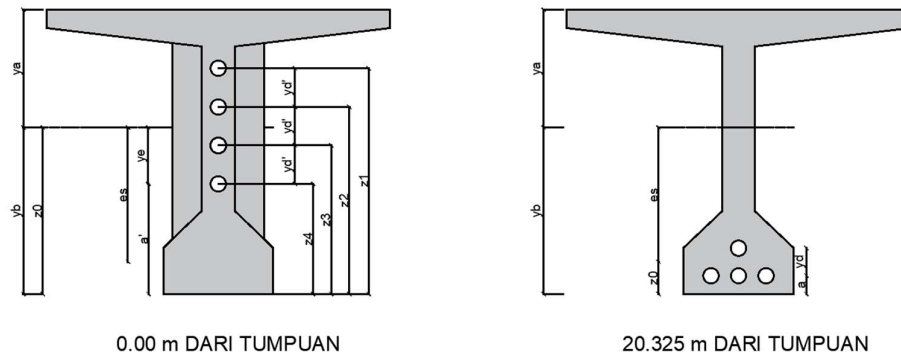
Perhitungan posisi masing-masing cable pada tendon dihitung dengan persamaan,

$$z_i = z_0 - 4 \times f_i \times \frac{x}{L^2} \times (L - x)$$

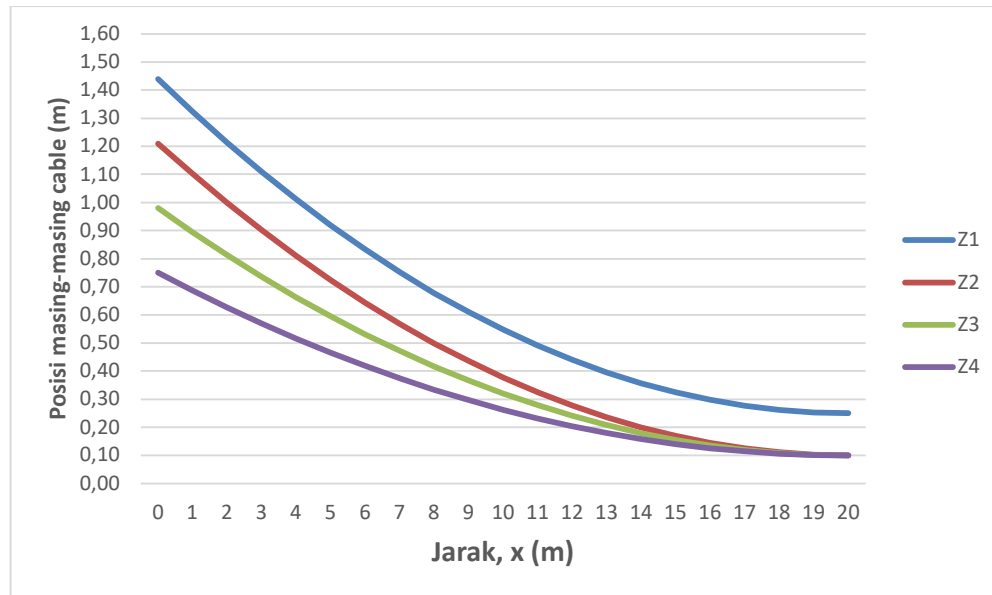
Hasil perhitungan tata letak masing-masing kabel tendon dapat dilihat pada Tabel 5.48 berikut.

**Tabel 5.74 Tata Letak Kabel Tendon**

Jarak X (m)	Trace Z0 (m)	Posisi masing-masing cable			
		Z1 (m)	Z2 (m)	Z3 (m)	Z4 (m)
0	1,085	1,439	1,210	0,980	0,750
5	0,687	0,919	0,724	0,595	0,466
10	0,403	0,547	0,377	0,320	0,263
15	0,232	0,324	0,169	0,155	0,141
20	0,175	0,250	0,100	0,100	0,100



**Gambar 5.27 Posisi Trace Cable pada Tumpuan dan Tengah Bentang**



Gambar 5.28 Grafik *Trace Cable*

### 5.5.6. Kehilangan Gaya Prategang (*Loss of prestress*)

Berdasarkan RSNI T-02-2004 Pasal 6,4, kehilangan gaya prategang dalam tendon untuk setiap waktu harus diambil sebagai jumlah dari kehilangan seketika dan kehilangan yang tergantung waktu, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Kehilangan prategang dapat dinyatakan dalam bentuk kehilangan gaya atau kehilangan tegangan didalam tendon.

Pengaruh gaya prategang dibagi menjadi dua yaitu sebelum kehilangan gaya prategang dan sesudah kehilangan gaya prategang. Kehilangan gaya prategang (*loss prestress*) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

Didapat gaya prategang baja saat (*jacking force*) ( $f_{pj}$ ) = 10217,766 kN

1. Kehilangan gaya prategang jangka pendek
  - a. Kehilangan tegangan akibat gesekan *cabl* (*jack friction*)  
 Sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah,  
 $\alpha_{AB} = 0,092 \text{ rad}$   
 $\alpha_{BC} = 0,092 \text{ rad}$   
 Perubahan sudut total lintasan tendon,

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_{AB} + \alpha_{BC} \\ &= 0,092 + 0,092 \\ &= 0,185 \text{ rad}\end{aligned}$$

Diperoleh koefisien gesek berdasarkan RSNI-T-12-2004 sebesar,

$$\mu = 0,25$$

Koefisien *wobble* yaitu friksi yang tidak sengaja pada penempatan selongsong prategang dari kedudukan seharusnya,

$$k = 0,0005$$

Gaya prategang di ujung akibat *jacking* sebelum memperhitungkan *loss of prestress* akibat gesekan angkur,

$$P_j = 10217,766 \text{ kN}$$

*Loss of prestress* akibat gesekan kabel (*jack friction*) dihitung dengan persamaan berikut dengan bilangan natural ( $e$ ) = 2,7183 pada bentang

$$(L_x) = 40 \text{ m,}$$

$$\begin{aligned}P_x &= P_j \times e^{-\sum(\mu\alpha+kL)} \\ &= 10217,766 \times 2,7183^{-\sum(0,25 \times 0,185+0,0005 \times 40)} \\ &= 9563,030 \text{ kN}\end{aligned}$$

Luas baja prategang yang digunakan,

$$\begin{aligned}A_t &= n_s \times A_{st} \\ &= 74 \times 98,7 \\ &= 7303,800 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kehilangan tegangan akibat gesekan kabel (*jack friction*),

$$\begin{aligned}\Delta f_{pF} &= \frac{(P_j - P_x)}{A_t} \\ &= \frac{(10217,766 - 9563,030) \times 1000}{7303,800} \\ &= 89,643 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- b. Kehilangan tegangan akibat gesekan angkur (*anchorage friction*)

Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur pada komponen paskatarik yang disebabkan adanya blok-blok pada angkur pada saat gaya pendongkrak disalurkan ke angkur. Panjang tarik masuk antara 3 – 10 mm. Nilai slip angkur dapat diasumsikan 6 mm berdasarkan Buku

Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan 021/BM/2011.

$$\text{Pergeseran angkur } (\Delta A) = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja prategang } (E_s) = 195000 \text{ MPa}$$

$$\text{Panjang bentang tendon } (L) = 40 \text{ m}$$

Kehilangan prategang akibat pergeseran angkur,

$$\begin{aligned} \Delta f_{pA} &= \frac{\Delta A}{L} \times E_s \\ &= \frac{0,006}{40} \times 195000 \\ &= 29,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- c. Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis (*elastic shortening*)

Perhitungan *elastic shortening* berdasarkan *Prestressed Concrete* oleh G.

Nawy yaitu sebagai berikut.

$$\text{Kuat tekan beton prategang } (f'_c) = 49,80 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan beton pada keadaan awal } (f'_{ci}) = 0,8 \times f'_c$$

$$= 39,84 \text{ MPa}$$

Berdasarkan data *strands* cable jenis *7 wire low relaxation strands* ASTM A-416-85 grade 270 didapat data sebagai berikut.

$$\text{Kuat tarik } \textit{strands} \text{ (} f_{pu} \text{)} = 1860 \text{ MPa}$$

$$\text{Luas tampang nominal satu } \textit{strands} \text{ (} A_{st} \text{)} = 98,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tampang } \textit{strands} \text{ (} A_{ps} \text{)} = 0,001875 \text{ m}^2$$

Berdasarkan *stress-strain diagram for prestressing steel* pada buku *Prestressed Concrete* didapat nilai *strand*  $E_{ps}$  sebagai berikut.

$$E_{ps} = 27500000 \text{ psi}$$

$$= 189605,8256 \text{ MPa}$$

$$\text{Luas penampang balok prategang komposit } (A_c) = 1,248 \text{ m}^2$$

$$\text{Momen inersia terhadap titik berat balok komposit } (I_c) = 0,390 \text{ m}^4$$

$$r^2 = \frac{I}{A} = \frac{0,272}{0,868} = 0,393 \text{ m}^2$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } (e) = 0,910 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya prategang transfer (P}_i) &= 0,75 \times f_{pu} \times A_{ps} \\
 &= 0,75 \times 1860 \times 0,001875 \\
 &= 2,616 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MD &= \frac{wl^2}{8} \\
 &= \frac{22,121 \times 40^2}{8} \\
 &= 4424,250 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat beton pada pusat baja balok saat transfer, diasumsikan  $P_i = P_j$ .

$$\begin{aligned}
 f_{cs} &= -\frac{P_i}{Ac} \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) \frac{MD \times e}{Ic} \\
 &= -\frac{2,616}{0,90} \left(1 + \frac{0,910^2}{0,393}\right) \frac{4424,2502 \times 0,910}{0,390} \\
 &= -10,33 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Initial } E_{ci} &= 4700 \times \sqrt{f'c_i} \\
 &= 4700 \times \sqrt{39,84} \\
 &= 29665,90 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Initial modular ratio, } n &= \frac{E_{ps}}{E_{ci}} \\
 &= \frac{189605,8256}{29665,90} \\
 &= 6,39
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{28 days' strength, } E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \sqrt{49,80} \\
 &= 33167,48 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{28 days' modular ratio, } n &= \frac{E_{ps}}{E_c} \\
 &= \frac{189605,8256}{33167,48} \\
 &= 5,72
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas sehingga dapat dihitung *loss of prestress* pada *elastic shortening* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta f_{pES} &= n \times f_{cs} \\ &= 5,72 \times 10,33 \\ &= 66,03 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Asumsi jika  $P_i$  direduksi 10% maka,

$$\begin{aligned}\Delta f_{pES} &= 0,90 \times 66,03 \\ &= 59,43 \text{ MPa}\end{aligned}$$

## 2. Kehilangan prategang jangka panjang

### a. Kehilangan tegangan akibat pengaruh rangkak (*creep*)

Untuk prategang pascatarik ditentukan,

$$\text{Waktu setelah pembebanan (t)} = 18250 \text{ hari}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja prategang (E}_s\text{)} = 195000 \text{ MPa}$$

Regangan elastis sesaat akibat bekerjanya tegangan tetap karena tidak dilakukan pengujian secara khusus maka dihitung dengan,

$$\begin{aligned}\epsilon_e &= \frac{0,7 \times \sqrt{f'c}}{4700 \times \sqrt{f'c}} \\ &= \frac{0,7 \times \sqrt{49,80}}{4700 \times \sqrt{49,80}} \\ &= 0,000149\end{aligned}$$

Karena tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, maka berdasarkan RSNI T-12-2004 koefisien rangkak dapat dihitung sebagai berikut.

Kelembaban relatif,  $H = 70\%$  sehingga,

$$\begin{aligned}K_{h^c} &= 1,27 - 0,067H \\ &= 1,27 - 0,067 \times 70 \\ &= 0,801\end{aligned}$$

Ketebalan minimum beton,  $d = 22 \text{ cm}$  sehingga,

$$\begin{aligned}K_{d^c} &= 1,12 - 0,0079d \\ &= 1,12 - 0,0079 \times 25 \\ &= 0,923\end{aligned}$$

Tinggi slump adukan beton,  $s = 12 \text{ cm}$  sehingga,

$$\begin{aligned}
 K_s^c &= 0,82 + 0,026s \\
 &= 0,82 + 0,026 \times 12 \\
 &= 1,132
 \end{aligned}$$

Kehalusan agregat yang kurang dari saringan no,4, F = 40 % sehingga,

$$\begin{aligned}
 K_f^c &= 0,88 + 0,0024F \\
 &= 0,88 + 0,0024 (40) \\
 &= 0,976
 \end{aligned}$$

Kadar udara, A = 6% sehingga,

$$\begin{aligned}
 K_a^c &= 0,46 + 0,09A \\
 &= 0,46 + 0,09 \times 6 \\
 &= 1,00
 \end{aligned}$$

Umur beton saat pembebanan, t = 18250 hari sehingga,

$$\begin{aligned}
 K_{t0}^c &= 1,13 \times (t^{-0,118}) \\
 &= 1,13 \times (18250^{-0,118}) \\
 &= 0,393
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_{cc} &= K_h^c \times K_d^c \times K_s^c \times K_f^c \times K_a^c \times K_{t0}^c \\
 &= 0,801 \times 0,923 \times 1,132 \times 0,976 \times 1,00 \times 0,393 \\
 &= 0,321
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_u &= 2,35 \times \gamma_{cc} \\
 &= 2,35 \times 0,321 \\
 &= 0,753
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_{cc}(t) &= \left( \frac{t^{0,6}}{(10+t^{0,6})} \right) \times C_u \\
 &= \left( \frac{18250^{0,6}}{(10+18250)} \right) \times 0,753 \\
 &= 0,733
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan rangkai} (\varepsilon_{cc.t}) &= \phi_{cc}(t) \times \varepsilon_e \\
 &= 0,733 \times 0,000149 \\
 &= 0,000109
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{pCR} &= \varepsilon_{cc.t} \times E_s \\
 &= 0,000109 \times 195000 \\
 &= 21,291 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

b. Kehilangan tegangan akibat pengaruh susut (*shrinkage*)

Kehilangan tegangan akibat pengaruh susut pada beton dengan perawatan metode pembasahan di lokasi pekerjaan yang terhitung sejak 7 hari setelah pengecoran maka ditentukan,

$$\text{Waktu setelah pembebanan (t)} = 18250 \text{ hari}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja prategang (Es)} = 195000 \text{ MPa}$$

Berdasarkan RSNI T-12-2004 karena tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, nilai regangan susut beton yang dirawat dengan metode *curing* pembasahan pada umur t hari ditentukan sebagai berikut.

$$\epsilon_{cs,t} = \left( \frac{t}{35 + t} \right) \times \epsilon_{cs,u}$$

dengan besaran nilai susut maksimum beton dihitung dengan rumus,

$$\epsilon_{cs,u} = 780 \times 10^{-6} \lambda_{cs}$$

Nilai  $\lambda_{cs}$  ditentukan berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi campuran beton dan lingkungan sehingga,

$$\lambda_{cs} = K_h^s \times K_d^s \times K_s^s \times K_f^s \times K_{pc}^s \times K_{ac}^s$$

dengan,

$$K_h^s = \text{faktor koreksi kelembaban relatif setempat [H(\%)]}$$

$$K_d^s = \text{faktor koreksi ketebalan komponen beton [d (cm)]}$$

$$K_s^s = \text{faktor koreksi konsistensi (slump) adukan beton [s (cm)]}$$

$$K_f^s = \text{faktor koreksi kadar agregat halus dalam beton [F (\%)]}$$

$$K_{pc}^s = \text{faktor koreksi akibat kandungan semen [C (kg/m}^3\text{)]}$$

$$K_{ac}^s = \text{faktor koreksi kadar udara dalam beton [AC (\%)]}$$

Besarnya faktor-faktor di atas dihitung sebagai berikut.

Kelembaban relatif, H = 70% sehingga,

$$K_h^s = 1,4 - 0,01 \times H$$

$$= 1,4 - 0,01 \times 70$$

$$= 0,700$$

Ketebalan minimum beton, d = 22 cm sehingga,

$$K_d^s = 1,193 - 0,012 \times d$$

$$= 1,193 - 0,012 \times 25$$

$$= 0,893$$



Tinggi slump adukan beton,  $s = 12$  cm sehingga,

$$\begin{aligned} K_s^s &= 0,89 + 0,016 \times s \\ &= 0,89 + 0,016 \times 12 \\ &= 1,050 \end{aligned}$$

Kehalusan agregat yang kurang dari saringan no,4,  $F = 40$  % sehingga,

$$\begin{aligned} K_f^s &= 0,3 + 0,014 \times F \\ &= 0,3 + 0,014 \times 40 \\ &= 0,860 \end{aligned}$$

Berat jenis semen ( $c$ ) =  $3,8 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^3 = 387,49216 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} K_{pc}^s &= 0,75 + 0,00061 \times c \\ &= 0,75 + 0,00061 \times 387,49216 \\ &= 0,986 \end{aligned}$$

Kadar udara,  $A = 6\%$  sehingga,

$$\begin{aligned} K_{ac}^s &= 0,95 + 0,008 \times A \\ &= 0,95 + 0,008 \times 6 \\ &= 0,998 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{cs} &= K_h^s \times K_d^s \times K_s^s \times K_f^s \times K_{pc}^s \times K_{ac}^s \\ &= 0,700 \times 0,893 \times 1,050 \times 0,860 \times 0,986 \times 0,998 \\ &= 0,556 \end{aligned}$$

Regangan susut *ultimate*,

$$\begin{aligned} \epsilon_{cs.u} &= 780 \times 10^{-6} \lambda_{cs} \\ &= 780 \times 10^{-6} \times 0,556 \\ &= 0,000451 \end{aligned}$$

Koefisien susut maksimum,

$$\begin{aligned} \epsilon_{cs.t} &= \left( \frac{t}{35 + t} \right) \times \epsilon_{cs.u} \\ &= \left( \frac{18250}{35 + 18250} \right) \times 0,000451 \\ &= 0,000433 \end{aligned}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh susut,

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{pSH} &= \epsilon_{cs} \cdot t \times E_s \\
 &= 0,000433 \times 195000 \\
 &= 84,354 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- c. Kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon (*relaxation of tendon*)

Kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon akibat adanya tegangan tarik dalam waktu yang cukup lama,

$$\text{Kuat tarik tendon (fpu)} = 1860 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh tendon (fpy)} = 1675 \text{ MPa}$$

Berdasarkan RSNI T-12-2004, tegangan baja prategang setelah transfer dapat diambil sebesar 0,82 fpy dan tidak lebih besar dari 0,74 fpu sehingga,

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= 0,82 \times f_{py} \\
 &= 0,82 \times 1675 \\
 &= 1373,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= 0,74 \times f_{pu} \\
 &= 0,74 \times 1860 \\
 &= 1376,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dipakai  $f_{ps} = 1373,5 \text{ MPa}$

Diperhitungkan tegangan yang terjadi pada tendon 3 bulan setelah transfer dengan waktu sebagai berikut.

$$t_1 = 1 \text{ hari}$$

$$t_2 = 18250 \text{ hari}$$

Kehilangan prategang akibat relaksasi tendon,

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{pR} &= f_{ps} \times \left( \frac{\log t_2 - \log t_1}{45} \right) \times \left( \frac{f_{ps}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\
 &= 1373,5 \times \left( \frac{18520 - 1}{45} \right) \times \left( \frac{1373,5}{1675} - 0,55 \right) \\
 &= 35,117 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.75 Total Kehilangan Gaya Prategang**

No.	Level Tegangan	Tegangan Baja	Presentase
		(Mpa)	(%)
	<b>Setelah Penegangan</b>	1373,5	<b>100%</b>
	<b>Kehilangan tegangan:</b>		
1	Pergeseran ankur ( <i>anchorage friction</i> )	29,250	2,130%
2	Gesekan kabel ( <i>jack friction</i> )	89,643	6,527%
3	Perpendekan elastis beton ( <i>elastic shortening</i> )	59,427	4,327%
4	Rangkak beton ( <i>creep</i> )	21,291	1,550%
5	Susut beton ( <i>shrinkage</i> )	84,354	6,142%
6	Relaksasi tendon ( <i>relaxation of tendon</i> )	35,117	2,557%
	Beban mati tambahan:		
1	Beban mati tambahan topping	0,000	0,000%
	Tegangan Akhir (fpe)	1054,418	76,769%
	Kehilangan Tegangan Total ( <i>loss of prestress</i> )		23,231%

Total kehilangan tegangan akhir atau tegangan efektif (feff) = 1054,418 MPa

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang tendon baja prategang (Aps)} &= ns \times A_{st} \\
 &= 74 \times 98,7 \\
 &= 7303,800 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya efektif yang terjadi pada tengah bentang

$$\begin{aligned}
 P_{eff} &= A_{ps} \times f_{eff} \\
 &= 7303,800 \times 1054,418 \\
 &= 7701,260 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### 5.5.7. Tegangan yang terjadi pada Penampang Balok

Berdasarkan RSNIT-12-2004, tegangan beton pada kondisi saat transfer dan kondisi layan setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut.

Serat tekan,

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= 0,60 \times f'_{ci} \\
 &= 0,60 \times 39,84 \\
 &= 23,90 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.2)

Serat tarik,

$$\begin{aligned} f_{ti} &= 0,25 \times \sqrt{f'_{ci}} \\ &= 0,25 \times \sqrt{39,84} \\ &= 1,578 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.4)

Serat tekan,

$$\begin{aligned} f_{cs} &= 0,45 \times f'_c \\ &= 0,45 \times 49,80 \\ &= 22,41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.1)

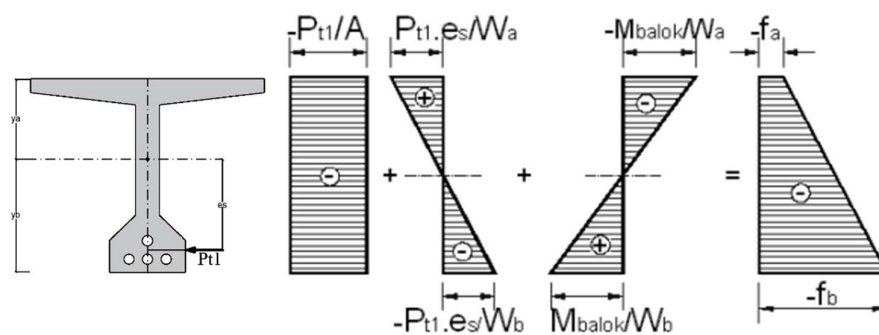
Serat tarik,

$$\begin{aligned} f_{ts} &= 0,50 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0,50 \times \sqrt{49,80} \\ &= 3,53 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(Sumber: RSNIT-12-2004 Pasal 4.4.1.2.3)

#### 1. Keadaan awal (saat transfer)

Pada keadaan awal atau saat transfer terjadi proses penyaluran tegangan di dalam tendon melalui lekatan beton. Pada saat transfer digunakan sistem pasca tarik dari angkur atau jack pada komponen struktur beton prategang.



**Gambar 5.29 Tegangan Saat Transfer**

Perhitungan tegangan yang terjadi pada serat atas dan bawah penampang balok di keadaan awal setelah transfer sebagai berikut.

Data properties balok prategang,

$$\text{Gaya prategang awal (Pt)} = 8685,101 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok prategang (M}_{\text{balok}}) = 4424,250 \text{ kNm}$$

$$\text{Tahapan momen sisi atas (Wa)} = 0,482 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahapan momen sisi bawah (Wb)} = 0,251 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas penampang T-Girder (A)} = 0,868 \text{ m}^2$$

$$\text{Eksentrisitas tendon T-Girder (es)} = 0,910 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat atas (fca)} &= -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt \times es}{Wa} - \frac{M_{\text{balok}}}{Wa} \\ &= -\frac{8685,101}{0,868} + \frac{8685,101 \times 0,910}{0,482} - \frac{4424,250}{0,482} \\ &= -2784,20 \text{ kPa} \\ &= -2,784 \text{ MPa} \end{aligned}$$

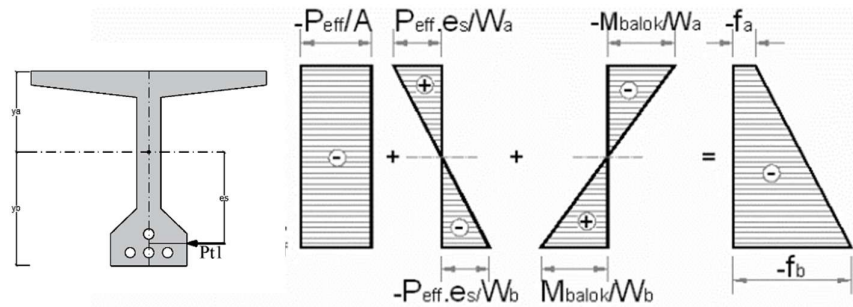
$fca = -2,784 \text{ MPa} \leq fci = 23,904 \text{ MPa}$  sehingga aman.

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat bawah (fcb)} &= -\frac{Pt}{A} - \frac{Pt \times es}{Wb} + \frac{M_{\text{balok}}}{Wb} \\ &= -\frac{8685,101}{0,868} - \frac{8685,101 \times 0,910}{0,251} + \frac{4424,250}{0,251} \\ &= -23904,00 \text{ kPa} \\ &= -23,904 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$fcb = 23,904 \text{ MPa} \leq fci = 23,904 \text{ MPa}$  sehingga aman.

2. Keadaan Akhir (setelah *loss of prestress*)

Digunakan gaya prategang akhir setelah *loss of prestress* untuk perhitungan tegangan pada keadaan akhir seperti Gambar 5.28 berikut.



**Gambar 5.30 Tegangan Saat *Loss of Prestress***

Perhitungan tegangan yang terjadi pada serat atas dan bawah penampang balok di keadaan akhir setelah *loss of prestressed* sebagai berikut.

Data properties balok prategang,

$$\text{Gaya prategang akhir (Peff)} = 7701,260 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok prategang (M}_{\text{balok}}) = 4424,250 \text{ kNm}$$

$$\text{Tahapan momen sisi atas (W}_a) = 0,482 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahapan momen sisi bawah (W}_b) = 0,251 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas penampang T-Girder (A)} = 0,868 \text{ m}^2$$

$$\text{Eksentrisitas tendon T-Girder (e}_s) = 0,910 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat atas (f}_a) &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \times e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a} \\ &= -\frac{7701,260}{0,868} + \frac{7701,260 \times 0,910}{0,482} - \frac{4424,250}{0,482} \\ &= -3536,95 \text{ kPa} \\ &= -3,537 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_a = 3,537 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,410 \text{ MPa}$  sehingga aman.

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat bawah (f}_b) &= -\frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times e_s}{W_b} + \frac{M_{balok}}{W_b} \\ &= -\frac{7701,260}{0,868} - \frac{7701,260 \times 0,910}{0,251} + \frac{4424,250}{0,251} \\ &= -19015,23 \text{ kPa} \\ &= -19,015 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_b = 19,015 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,410 \text{ MPa}$  sehingga aman.

3. Keadaan setelah pelat lantai selesai dicor (beton muda)

Pada keadaan pelat lantai bersifat beton muda, digunakan gaya prategang akhir setelah *loss of prestress* dengan data properties balok prategang seperti di bawah ini digunakan untuk perhitungan tegangan.

Data properties balok prategang,

$$\text{Gaya prategang akhir (Peff)} = 7701,260 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok prategang (M}_{\text{balok}}) = 4424,250 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen pada pelat lantai (M}_{\text{pelat}}) = 1824,000 \text{ kNm}$$

$$\text{Tahapan momen sisi atas (W}_a) = 0,482 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahapan momen sisi bawah (W}_b) = 0,251 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas penampang T-Girder (A)} = 0,868 \text{ m}^2$$

$$\text{Eksentrisitas tendon T-Girder (es)} = 0,910 \text{ m}$$

Tegangan di serat atas (fa),

$$\begin{aligned} f_a &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \times es}{W_a} - \frac{M_{balok} + M_{plat}}{W_a} \\ &= -\frac{7701,260}{0,868} + \frac{7701,260 \times 0,910}{0,482} - \frac{4424,250 + 1824,000}{0,482} \\ &= -7322,6977 \text{ KPa} \\ &= -7,323 \text{ MPa} \end{aligned}$$

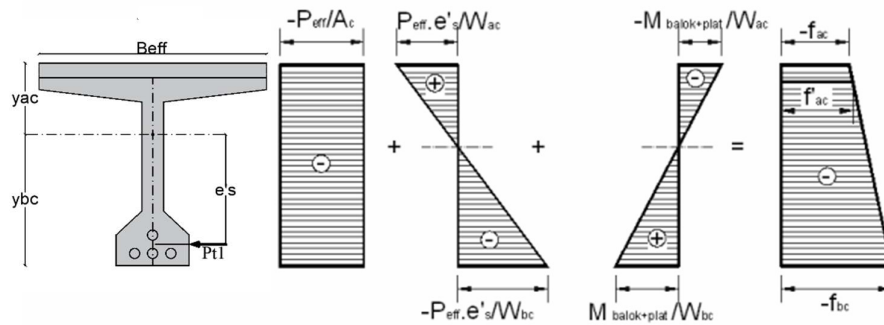
$f_a = 7,323 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,410 \text{ MPa}$  sehingga aman.

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat bawah (fb)} &= -\frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times es}{W_b} + \frac{M_{balok} + M_{plat}}{W_b} \\ &= -\frac{7701,260}{0,868} - \frac{7701,260 \times 0,910}{0,251} + \frac{4424,250 + 1824,000}{0,251} \\ &= -11738,402 \text{ Kpa} \\ &= -11,738 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_b = 11,738 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,410 \text{ MPa}$  sehingga aman.

4. Keadaan setelah pelat dan balok menjadi komposit

Pada kondisi ini digunakan gaya prategang akhir setelah *loss of prestress* dan penampang yang digunakan adalah penampang balok prategang *T-Girder* setelah menjadi komposit seperti Gambar 5.32 berikut.



**Gambar 5.31 Tegangan Saat Setelah Pelat dan Balok Menjadi Komposit**

Data properties balok prategang,

$$\text{Gaya prategang akhir (Peff)} = 7701,260 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok prategang (Mbalok)} = 4424,250 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen pada pelat lantai (Mpelat)} = 1824,000 \text{ kNm}$$

$$\text{Tahapan momen sisi atas balok komposit (Wac)} = 0,694 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahapan momen sisi bawah balok komposit (W'ac)} = 1,916 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahapang momen sisi bawah balok komposit (Wbc)} = 0,303 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas penampang pada balok komposit (Ac)} = 1,248 \text{ m}^2$$

Eksentrisitas tendon pada penampang komposit,

$$\begin{aligned} e's &= es + (ybc - yb) \\ &= 0,910 + (1,288 - 1,085) \\ &= 1,113 \text{ m} \end{aligned}$$

Tegangan beton di serat atas pelat (fac)

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \times e's}{W_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{plat}}{W_{ac}} \\ &= -\frac{7701,260}{1,248} + \frac{7701,260 \times 1,113}{0,694} - \frac{4424,250 + 1824,000}{0,694} \\ &= -2858,110 \text{ kPa} \\ &= -2,858 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_a = 2,858 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,410 \text{ MPa}$  sehingga aman.

Tegangan beton di serat atas balok komposit (f'ac)

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} - \frac{P_{eff} \times e's}{W'_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{pla}}{W'_{ac}} \\ &= -\frac{7701,260}{1,248} - \frac{7701,260 \times 1,113}{1,916} + \frac{4424,250 + 1824,000}{1,916} \end{aligned}$$



$$= -4953,208 \text{ kPa}$$

$$= -4,953 \text{ MPa}$$

$f_{ac} = 4,953 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,410 \text{ MPa}$  sehingga aman.

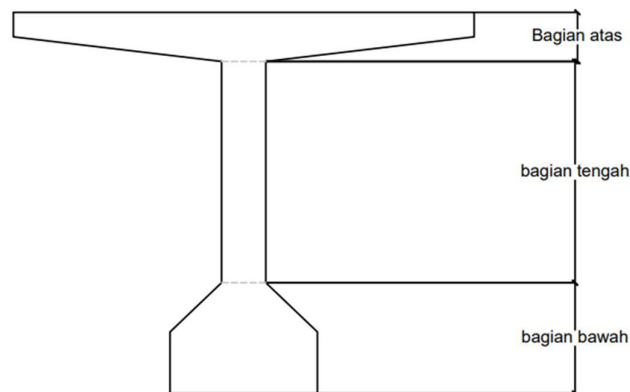
Tegangan di serat bawah balok komposit ( $f_{bc}$ )

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} - \frac{P_{eff} \times e's}{W_{bc}} + \frac{M_{balok} + M_{pla}}{W_{bc}} \\ &= -\frac{7701,260}{1,248} + \frac{7701,260 \times 1,113}{0,303} - \frac{4424,250 + 1824,000}{0,303} \\ &= -13667,505 \text{ kPa} \\ &= -13,668 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_{bc} = 13,668 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,410 \text{ MPa}$  sehingga aman.

### 5.5.8. Perhitungan Tulangan Non-Prategang

Berdasarkan RSNI-T-12-2004, luas tulangan minimum non-prategang harus dipasang sebesar luas tulangan  $A_s = 0,004 A$ . Perhitungan kebutuhan tulangan pada penampang *T-Girder* dibagi dalam beberapa bagian seperti Gambar 5.29 berikut.



**Gambar 5.32 Bagian Penampang Pada Balok Prategang**

Pada tulangan arah memanjang digunakan besi dengan diameter D-16 dengan luas tulangan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 0,00020 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang bagian bawah (A}_{\text{bawah}}) &= 0,213 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas tulangan bagian bawah (A}_{\text{s bawah}}) &= 0,4\% \times A_{\text{bawah}} \\
 &= 0,4\% \times 0,213 \\
 &= 0,00085 \text{ m}^2 \\
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_{\text{s bawah}}}{A_{\text{s}}} \\
 &= \frac{0,00085}{0,00020} \\
 &= 4,23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka, untuk bagian bawah pada *PCT girder* digunakan tulangan 6-D16.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang bagian badan (A}_{\text{badan}}) &= 0,170 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas tulangan bagian badan (A}_{\text{s badan}}) &= 0,4\% \times A_{\text{badan}} \\
 &= 0,4\% \times 0,170 \\
 &= 0,00068 \text{ m}^2 \\
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_{\text{s badan}}}{A_{\text{s}}} \\
 &= \frac{0,00068}{0,00020} \\
 &= 3,38 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka, untuk bagian badan pada *PCT girder* digunakan tulangan 4-D16.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang bagian atas (A}_{\text{atas}}) &= 0,485 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas tulangan bagian atas (A}_{\text{s atas}}) &= 0,4\% \times A_{\text{atas}} \\
 &= 0,4\% \times 0,485 \\
 &= 0,00194 \text{ m}^2 \\
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_{\text{s atas}}}{A_{\text{s}}} \\
 &= \frac{0,00194}{0,00020} \\
 &= 9,65 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka, untuk bagian atas pada *PCT girder* digunakan tulangan 10-D16.

### 5.5.9. Tinjauan Ultimit *PCT Girder*

Tinjauan momen ultimit pada *T-Girder* yaitu perhitungan kapasitas atau kemampuan maksimal balok prategang untuk menahan momen akibat adanya beban. Perhitungan momen ultimit pada *T-Girder* sebagai berikut.

Modulus elastis *strands* berdasarkan ASTM A-416 ( $E_s$ ) = 195000 MPa

Total jumlah *strands* ( $n_s$ ) = 70 buah

Luas tampang nominal satu *strands* ( $A_{st}$ ) = 0,0000987 m<sup>2</sup>

Tegangan leleh tendon baja prategang ( $f_{py}$ ) = 1675 MPa

Luas tampang tendon baja prategang,

$$\begin{aligned} A_{ps} &= n_s \times A_{st} \\ &= 74 \times 0,0000987 \\ &= 0,0073 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) = 49,80 MPa = 49800 kPa

Panjang bentang balok prategang ( $L$ ) = 40 m

Gaya prategang akhir ( $P_{eff}$ ) = 7701,260 kN

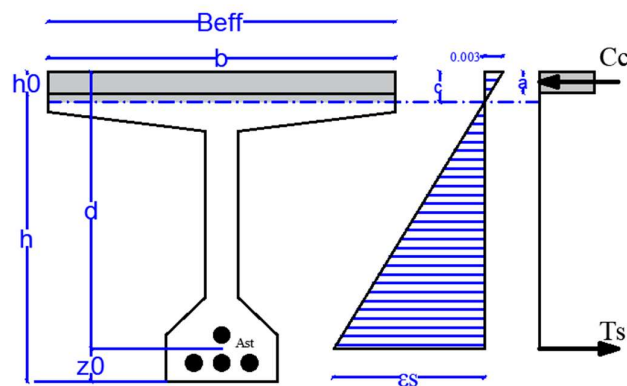
Tegangan efektif baja prestress,

$$\begin{aligned} f_{eff} &= \frac{P_{eff}}{A_{ps} \times 10^{-3}} \\ &= \frac{7701,260}{0,0073 \times 10^{-3}} \\ &= 1054,418 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Luas penampang balok prategang komposit ( $A_c$ ) = 1,248 m<sup>2</sup>

Rasio luas penampang baja *prestress*,

$$\begin{aligned} \rho_p &= \frac{A_{ps}}{A_c} \\ &= \frac{0,0073}{1,248} \\ &= 0,00586 \end{aligned}$$



**Gambar 5.33 Kapasitas Penampang T-Girder**

*Section properties* penampang *T-Girder* berdasarkan gambar di atas sebagai berikut.

$$b1 = 1,900 \text{ m}$$

$$b2 = 0,850 \text{ m}$$

$$b3 = 0,200 \text{ m}$$

$$b4 = 0,150 \text{ m}$$

$$b5 = 0,500 \text{ m}$$

$$h1 = 0,200 \text{ m}$$

$$h2 = 0,100 \text{ m}$$

$$h3 = 1,200 \text{ m}$$

$$h4 = 0,250 \text{ m}$$

$$h5 = 0,250 \text{ m}$$

$$h = 1,650 \text{ m}$$

$$h0 = 0,200 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi total balok prategang (H)} &= h + h0 \\ &= 1,65 + 0,20 \\ &= 1,85 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan bentang dan tinggi penampang} &= \frac{L}{H} \\ &= \frac{40}{1,85} \\ &= 21,62 < 35 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Tegangan batas baja prategang,

$$\begin{aligned} f_{ps} &= 0,8 \times f_{py} \\ &= 0,8 \times 1675 \\ &= 1340 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan RSNI T-12-2004 untuk perbandingan bentang dan tinggi penampang balok prategang  $\leq 35$ , tegangan batas baja prategang ( $f_{ps}$ ) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$f_{ps} = f_{eff} + 100 + \frac{f'c}{100 \times \rho_p}$$

$$\begin{aligned} f_{ps} &= 1054,418 + 100 + \frac{49,80}{100 \times 0,00586} \\ &= 1209,477 \text{ MPa} \end{aligned}$$

fps tidak boleh diambil lebih dari,

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{eff} + 400 \\ &= 1054,418 + 400 \\ &= 1454,418 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Diambil nilai fps terkecil,  $f_{ps} = 1209,477 \text{ MPa} = 1204477 \text{ kPa}$ .

Berdasarkan RSNI T-12-2004 untuk nilai  $f'_c = 49,80 \text{ MPa} > 30 \text{ MPa}$ , maka nilai  $\beta_1$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,08 \times \left( \frac{f'_c - 30}{10} \right) \\ &= 0,85 - 0,08 \times \left( \frac{49,80 - 30}{10} \right) \\ &= 0,692 \end{aligned}$$

Letak titik berat tendon baja prategang terhadap alas balok,

$$z_0 = 0,175 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok (d)} &= h + h_0 - z_0 \\ &= 1,850 - 0,175 \\ &= 1,675 \text{ m} \end{aligned}$$

Gaya tarik pada baja prategang,

$$\begin{aligned} T_s &= A_{ps} \times f_{ps} \\ &= 0,0073 \times 1204477 \\ &= 8833,781 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diasumsikan,  $a < (h_0 + h_1)$

$$\begin{aligned} h_0 + h_1 &= 0,20 + 0,20 \\ &= 0,40 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi balok tekan,

$$\begin{aligned} a &= \frac{\left( \frac{T_s}{0,85 \times f'_c} \right)}{b \times \beta_1} \\ &= \frac{\left( \frac{8833,781}{(0,85 \times 49800)} \right)}{1,900} \end{aligned}$$

$$= 0,11 \text{ m} < h_0 + h_1 = 0,40 \text{ m} \text{ maka, asumsi benar.}$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas,

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{0,110}{0,692} \\ &= 0,159 \text{ m} \end{aligned}$$

Regangan baja prategang,

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0,003 \times \frac{(d - c)}{c} \\ &= 0,003 \times \frac{(1,675 - 0,159)}{0,159} \\ &= 0,029 < 0,03 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Gaya internal tekan beton,

$$C_c = \Sigma (A_i \times 0,85 f'_c)$$

Momen nominal,

$$M_n = \Sigma (A_i \times 0,85 f'_c \times y_i)$$

Dengan,

$A_i$  = Luas penampang tekan beton

$Y_i$  = Jarak pusat berat penampang tekan beton terhadap pusat titik berat baja prategang

Perhitungan momen nominal berdasarkan Gambar 5.40 yaitu sebagai berikut.

Luas penampang tekan beton,

$$\begin{aligned} A &= b_{eff} \times a \\ &= 1,900 \times 0,1136 \\ &= 0,209 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Gaya internal tekan beton,

$$\begin{aligned} C_c &= A \times 0,85 \times f'_c \\ &= 0,209 \times 0,85 \times 49800 \end{aligned}$$

$$C_c = T_s = 8833,781 \text{ kN}$$

Perhitungan lengan terhadap pusat baja prategang,

$$\begin{aligned} y &= d - \frac{(h_0 - (h_0 - a))}{2} \\ &= 1,675 - \frac{(0,20 - (0,20 - 0,1136))}{2} \\ &= 1,620 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen nominal,

$$\begin{aligned} M_n &= A \times 0,85 f_c \times y \\ &= 0,209 \times 0,85 \times 1,620 \\ &= 14311,45 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur berdasarkan RSNI T-12-2004 yaitu  $\phi = 0,80$ .

Kapasitas momen ultimit balok prategang,

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times M_n \\ &= 0,80 \times 14311,45 \\ &= 11449,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 5.5.10. Kapasitas Geser Penampang

Tulangan geser pada balok prategang ditinjau kemampuannya untuk menahan gaya geser balok prategang akibat beban kombinasi. Pada kapasitas geser penampang ini dapat dihitung seperti berikut.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi penampang (h)} &= 1850 \text{ mm} \\ \text{Selimut beton (sb)} &= 40 \text{ mm} \\ \text{Tinggi efektif penampang (d)} &= 1,675 \text{ mm} \\ \text{Diameter tulangan positif (Ds)} &= 13 \text{ mm} \\ \text{Kuat leleh tulangan (fy)} &= 420 \text{ MPa} \\ \text{Tinggi efektif geser (dv)} &= h - a - y_{\text{mid}} \\ &= 1850 - 100 - 175 \\ &= 1575 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Lebar penampang geser (bv)} = 302,5 \text{ mm}$$

Jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1 di tengah bentang,

$$a = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor reduksi kuat geser } (\phi_v) = 0,7$$

- Kekuatan geser dari prategang

$$\text{Titik berat tendon di tumpuan } (y_{\text{end}}) = 1085,351 \text{ mm}$$

$$\text{Titik berat tendon di tengah bentang } (y_{\text{mid}}) = 175 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang setengah bentang } (L_{\text{mid}}) = 20000 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya prategang fefektif } (P_{\text{eff}}) = 7701,260 \text{ kN}$$

Panjang bentang di tengah bentang ( $r_{tendon}$ ) = 20020,71 mm

Kontribusi gaya prategang terhadap ketahanan geser,

$$\begin{aligned} V_p &= P_{eff} \times \frac{(y_{end} - y_{mid})}{r_{tendon}} \\ &= 7701,260 \times \frac{(1085,351 - 175)}{20020,71} \\ &= 350,180 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya dalam

$$\text{Gaya geser ultimit (} V_{ucr} \text{)} = 2049,15 \text{ kN}$$

$$\text{Momen ultimit di tumpuan (} M_{ucr} \text{)} = 21380,70 \text{ kNm}$$

Momen kombinasi Kuat 1 di muka geser kritis tidak boleh kurang dari,

$$M_{ucr} > (V_{ucr} - V_p) \times d_v$$

$$21380,70 \text{ kNm} > 2675,871 \text{ kNm, sehingga aman.}$$

$$\text{Gaya aksial nominal, } N_u = 0 \text{ kN}$$

- Kekuatan geser dari beton

Regangan longitudinal pada baja tulangan tidak boleh kurang dari 0.

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{\frac{M_{ucr}}{d_v} + 0,5 \times N_u - (V_{ucr} - V_p) - A_{ps} \times 0,7 \times f_{pu}}{E_{ps} \times A_{ps}}} \\ &= \frac{\frac{M_{ucr}}{d_v} + 0,5 \times N_u - (V_{ucr} - ) - A_{ps} \times 0,7 \times f_{pu}}{E_{ps} \times A_{ps}}} \\ &= 0,00405 > 0 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Faktor  $\beta$  dengan asumsi tulangan minimum,

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{4,8}{1 + 750 \times \epsilon_s} \\ &= \frac{4,8}{1 + 750 \times 0,00405} \\ &= 1,189 \end{aligned}$$

Sudut tegangan utama,

$$\begin{aligned} \theta &= 29 + 3500 \times \epsilon_s \\ &= 29 + 3500 \times 0,00405 \\ &= 43,166 \end{aligned}$$

Kuat geser beton,

$$V_c = 0,083 \times \beta \times \sqrt{f_c'} \times b_v \times d_v$$



$$= 0,083 \times 1,189 \times \sqrt{f'c} \times b_v \times d_v$$

$$= 331923,208 \text{ kN}$$

- Kebutuhan tulangan geser

Gaya geser yang ditahan baja tulangan,

$$V_s = \frac{V_{ucr}}{\theta_v} - V_c - V_p$$

$$= \frac{V_{ucr}}{43,166} - 331923,208 - V_p$$

$$= -329346,0371 \text{ kN}$$

Digunakan tulangan geser dengan diameter 13 mm,

$$\text{Jumlah kaki } (n_v) = 2$$

$$\text{Luas tulangan } (A_v) = 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2$$

$$= 265,465 \text{ mm}^2$$

Dicoba jarak tulangan 200 mm,

Kuat geser tulangan,

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d_v \times (\cot(\theta))}{S_v}$$

$$= \frac{A_v \times f_y \times d_v \times (\cot(\theta))}{S_v}$$

$$= 989721,2179 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal,

$$V_{n1} = V_c + V_s + V_p$$

$$= 331923,208 + 989721,2179 + 989721,2179$$

$$= 1321994,605 \text{ kN}$$

$$V_{n2} = 0,25 \times f_c' \times b_v \times d_v + V_p$$

$$= 0,25 \times 49,80 \times 302,5 \times 1575 + 350,180$$

$$= 6281,827 \text{ kN}$$

Kekuatan geser nominal digunakan,

$$V_n = 6281,827 \text{ kN}$$

Cek kapasitas geser,

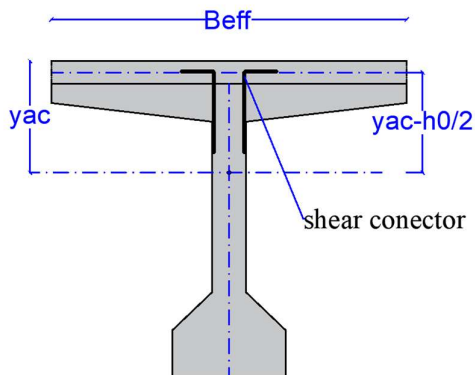
$$\theta_v \times V_n \geq V_{ucr}$$

$$4397,279 \text{ kN} \geq 2049,15 \text{ (aman)}$$

Kapasitas geser nominal masih dapat menerima gaya geser yang terjadi pada gelagar. Sehingga, digunakan tulangan geser D13-200 mm.

#### 5.5.11. Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Pada balok prategang *T-Girder*, memiliki bagian yang komposit yaitu pada lantai jembatan dan bagian atas penampang *T-Girder*. Tetapi, pada lantai jembatan dan bagian atas penampang tidak dicor dalam kesatuan oleh karena itu, agar bagian komposit tersebut dalam menahan beban dapat bekerja bersamaan maka diberi penghubung geser atau *shear connector* seperti pada Gambar 5.32 berikut.



**Gambar 5.34 Penampang Gelagar dengan *Shear Connector***

Dimensi:

Lebar efektif penampang *T-Girder* ( $b_{eff}$ ) = 1,900 m = 1900 mm

Jarak tulangan *shear connector* ( $S_v$ ) = 0,200 m = 200 mm

Tebal pelat ( $h_0$ ) = 0,200 m = 200 mm

Jarak antar titik pusat tendon ke titik tengah tinggi pelat dek,

$$\begin{aligned} d_{vi} &= H - y_{mid} + \frac{1}{2} h_0 \\ &= 1650 - 175 + \frac{1}{2} (200) \\ &= 1575 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya geser kombinasi kuat 1 ( $V_i$ ) = 2049,145 kN

Tegangan geser bidang antar muka,

$$v_{ui} = \frac{V_i}{b_{eff} \times d_{vi}}$$

$$= \frac{2049,145}{1900 \times 1575}$$

$$= 0,685 \text{ MPa}$$

Gaya geser bidang antar muka,

$$V_{ui} = v_{ui} \times b_{eff} \times S_v$$

$$= 0,685 \times 1900 \times 200$$

$$= 260,209 \text{ kN}$$

Faktor friksi ( $\mu$ ) = 1

Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) = 420 MPa

Jumlah tulangan per spasi tulangan geser ( $n$ ) = 2 buah

Diameter tulangan ( $D$ ) = 13 mm

Luas tulangan,

$$A_{sv} = n \times A_s$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2$$

$$= 265,465 \text{ mm}^2$$

Luas bidang geser antar muka,

$$A_{cv} = S_v \times b_{eff}$$

$$= 200 \times 1900$$

$$= 480000 \text{ mm}^2$$

Faktor reduksi geser ( $\phi_v$ ) = 0,75

Ketahanan geser antar muka,

$$\phi V_{ni} = \phi_v [c_x A_{cv} + \mu (A_{sv} f_y + P_c)]$$

$$= 0,75 [1 \times 480000 + 1 (265,465 \times 420 + 0)]$$

$$= 625121,342 \text{ N}$$

$$= 625,121 \text{ kN}$$

Cek kapasitas geser,

$$V_{ui} \leq \phi V_{ni}$$

$$260,209 \text{ kN} \leq 625,121 \text{ kN (Aman)}$$

Sehingga tulangan *shear connector* yang digunakan D13-200 mm.

### 5.5.12. Lendutan pada *T-Girder* Prategang

Balok *T-Girder* mengalami lendutan pada dua kondisi, yaitu saat struktur belum mencapai kondisi komposit dan setelah kondisi komposit dengan pelat lantai kendaraan. Perhitungan lendutan pada dua kondisi tersebut dapat dihitung sebagai berikut.

#### 1. Lendutan pada Keadaan Awal (*Transfer*)

##### a. Lendutan pada balok prategang (sebelum balok menjadi komposit)

$$\text{Modulus elastisitas balok (Ec)} = 33167484,080 \text{ kPa}$$

$$\text{Momen inersia terhadap titik berat balok (Ix)} = 0,27 \text{ m}^4$$

$$\text{Panjang bentang balok prategang (L)} = 40 \text{ m}$$

Lendutan pada keadaan awal (saat transfer)

$$\text{Gaya prategang awal (Pt)} = 8685,101 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok prategang (M}_{\text{balok}}) = 4424,250 \text{ kNm}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } T\text{-Girder (es)} = 0,910 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{pt1}} &= \frac{8 \times Pt1 \times es}{L^2} \\ &= \frac{8 \times 8685,101 \times 0,910}{40^2} \\ &= 39,53 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok}} &= \frac{8 \times M_{\text{balok}}}{L^2} \\ &= \frac{8 \times 4424,250}{40^2} \\ &= 22,12 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-Q_{\text{pt1}} + Q_{\text{balok}}) \times L^4}{Ec \times Ix} \right) \\ &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-39,53 + 22,12) \times 40^4}{33167484,080 \times 0,27} \right) \\ &= -0,064 \text{ m (ke atas)} < L/240 = 0,169 \text{ m (Aman)} \end{aligned}$$

##### b. Lendutan setelah *loss of prestress*

$$\text{Gaya prategang akhir (Peff)} = 7701,260 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok prategang (M}_{\text{balok}}) = 4424,250 \text{ kNm}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } T\text{-Girder (es)} = 0,910 \text{ m}$$

$$Q_{\text{peff}} = \frac{8 \times Peff \times es}{L^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8 \times 7701,260 \times 0,910}{40^2} \\
 &= 35,05 \text{ kN/m} \\
 Q_{\text{balok}} &= \frac{8 \times M_{\text{balok}}}{L^2} \\
 &= \frac{8 \times 4424,250}{40^2} \\
 &= 22,12 \text{ kN/m} \\
 \delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok}}) \times L^4}{E_c \times I_x} \right) \\
 &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-35,05 + 22,12) \times 40^4}{33167484,080 \times 0,27} \right) \\
 &= -0,048 \text{ (ke atas)} < L/240 = 0,169 \text{ m (Aman)}
 \end{aligned}$$

c. Lendutan setelah pelat dicor beton muda

$$\text{Gaya prategang akhir (Peff)} = 7701,260 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok dan pelat (M}_{\text{balok+pelat}}) = 6248,250 \text{ kNm}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } T\text{-Girder (es)} = 0,910 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peff}} &= \frac{8 \times \text{Peff} \times \text{es}}{L^2} \\
 &= \frac{8 \times 7701,260 \times 0,910}{40^2} \\
 &= 35,05 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{balok+pelat}} &= \frac{8 \times M_{\text{balok+pelat}}}{L^2} \\
 &= \frac{8 \times 6248,250}{40^2} \\
 &= 31,24 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok+pelat}}) \times L^4}{E_c \times I_x} \right) \\
 &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-35,05 + 31,24) \times 40^4}{33167484,080 \times 0,27} \right) \\
 &= -0,014 \text{ (ke atas)} < L/240 = 0,169 \text{ m (Aman)}
 \end{aligned}$$

d. Lendutan setelah pelat dan balok menjadi komposit (saat keadaan akhir)

$$\text{Momen inersia terhadap titik berat balok (I}_{\text{xc}}) = 0,39 \text{ m}^4$$

$$\text{Eksentrisitas tendon untuk penampang komposit (e's)} = 1,113 \text{ m}$$

$$\text{Gaya prategang akhir (Peff)} = 7701,260 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada balok dan pelat (M}_{\text{balok+pelat}}) = 6248,250 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{peff} &= \frac{8 \times Peff \times e's}{L^2} \\
 &= \frac{8 \times 7701,260 \times 1,113}{40^2} \\
 &= 42,850 \text{ kN/m} \\
 Q_{balok+pelat} &= \frac{8 \times M_{balok+pelat}}{L^2} \\
 &= \frac{8 \times 6248,250}{40^2} \\
 &= 31,24 \text{ kN/m} \\
 \delta_c &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-Q_{peff} + Q_{balok+plata}) \times L^4}{Ec \times Ixc} \right) \\
 &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-42,850 + 31,24) \times 40^4}{33167484,080 \times 0,39} \right) \\
 &= -0,030 \text{ (ke atas)} < L/240 = 0,169 \text{ m (Aman)}
 \end{aligned}$$

2. Lendutan Pada Keadaan Akhir (*Service*)

Modulus elastisitas balok ( $E_c$ ) = 33167484,080 kPa

Momen inersia terhadap titik berat balok ( $I_{xc}$ ) = 0,39 m<sup>4</sup>

Panjang bentang ( $L$ ) = 40 m

Gaya efektif di tengah bentang ( $P_{eff}$ ) = 7701,260 kN

Eksentrisitas tendon untuk penampang komposit ( $e's$ ) = 1,113 m

Luas penampang pada balok komposit ( $A_c$ ) = 1,248 m<sup>2</sup>

Tahapan momen sisi atas balok komposit ( $W_{ac}$ ) = 0,694 m<sup>3</sup>

Tahapan momen sisi bawah balok komposit ( $W_{bc}$ ) = 0,303 m<sup>3</sup>

a. Lendutan akibat berat sendiri (MS)

Beban merata akibat berat sendiri ( $Q_{MS}$ ) = 36,91 kN/m

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{MS} \times L^4}{(Ec \times Ixc)} \right) \\
 &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{36,91 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\
 &= 0,0951 \text{ m (ke bawah)}
 \end{aligned}$$

b. Lendutan akibat beban mati tambahan (MA)

Beban merata akibat beban mati tambahan ( $Q_{MA}$ ) = 9,74 kN/m

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{MA} \times L^4}{(Ec \times Ixc)} \right) \\
 &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{9,74 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 0,0251 \text{ m (ke bawah)}$$

c. Lendutan akibat *prestress* (PR)

$$\begin{aligned} Q_{peff} &= \frac{8 \times P_{eff} \times e' s}{L^2} \\ &= \frac{8 \times 7701,260 \times 1,113}{40^2} \\ &= 42,85 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-Q_{peff}) \times L^4}{(Ec \times I_{xc})} \right) \\ &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-42,85) \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= -0,110 \text{ m (ke atas)} \end{aligned}$$

d. Lendutan akibat susut dan rangkai (SR)

1) Lendutan akibat susut (*shrinkage*)

$$\text{Modulus elastisitas pelat lantai (E}_{\text{pelat}}) = 25332084,399 \text{ kPa}$$

$$\text{Luas penampang pelat lantai (A}_{\text{pelat}}) = 0,275 \text{ m}^2$$

Koefisien susut beton maksimum diambil dari RSNI T-12-2004 untuk kuat tekan beton 40-60 MPa maka,  $\epsilon_{cs.t} = 0,000153$

Nilai perbandingan modulus elastisitas pelat dan balok ( $n$ ) = 0,7638

Eksentrisitas pelat ( $e'$ ) = 0,46 m

Gaya internal yang timbul akibat susut,

$$\begin{aligned} P_s &= A_{\text{pelat}} \times E_{\text{pelat}} \times \epsilon_{cs.t} \times n \\ &= 0,380 \times 25332084,399 \times 0,000153 \times 0,7638 \\ &= 1124,875 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ps} &= \frac{8 \times P_s \times e'}{L^2} \\ &= \frac{8 \times 1124,875 \times 0,46}{40^2} \\ &= 2,60 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{SR} &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-Q_{ps}) \times L^4}{(Ec \times I_{xc})} \right) \\ &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{(-2,60) \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,0067 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Lendutan akibat rangkai (*creep*)

Lendutan pada balok setelah pelat selesai dicor (beton muda),

$$\delta_1 = -0,014 \text{ m}$$

Lendutan pada balok setelah pelat dan balok menjadi komposit,

$$\delta_2 = -0,030 \text{ m}$$

Lendutan akibat rangkai,

$$\begin{aligned} \delta_{CR} &= \delta_2 - \delta_1 \\ &= -0,030 - (-0,014) \\ &= -0,0158 \text{ m} \end{aligned}$$

Lendutan superposisi akibat susut dan rangkai,

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_{SR} + \delta_{CR} \\ &= 0,0067 + (-0,0158) \\ &= -0,0091 \text{ m (ke atas)} \end{aligned}$$

e. Lendutan akibat beban lajur "D" (TD)

Beban merata akibat berat sendiri ( $Q_{BTR}$ ) = 14,96 kN/m

$$P_{BGT} = 93,10 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{48} \times \left( \frac{P_{BGT} \times L^3}{(Ec \times I_{xc})} \right) + \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{BTR} \times L^4}{(Ec \times I_{xc})} \right) \\ &= \frac{1}{48} \times \left( \frac{93,10 \times 40^3}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) + \frac{5}{384} \times \left( \frac{14,96 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,048 \text{ m (ke bawah)} \end{aligned}$$

f. Lendutan akibat beban rem (TB)

$$M_{TB} = 98,70 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 0,0642 \times \left( \frac{M_{TB} \times L^2}{(Ec \times I_{xc})} \right) \\ &= 0,0642 \times \left( \frac{98,70 \times 40^2}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,00078 \text{ m (ke bawah)} \end{aligned}$$

g. Lendutan akibat pengaruh temperatur (Eun)

Perbedaan temperatur pada penampang *PCT girder*,

$$\Delta T = 11 \text{ }^\circ\text{C}$$

Modulus elastisitas balok prategang,

$$E_{balok} = 33167,484 \text{ kPa}$$

Koefisien muai panjang untuk beton,

$$\beta = 0,000011 / \text{ }^\circ\text{C}$$



Lebar efektif penampang balok T Girder,

$$B_{eff} = 1,900 \text{ m}$$

Tinggi efektif penampang balok T Girder,

$$h = 1,65 \text{ m}$$

$$h/2 = 0,83 \text{ m}$$

$$h^3 = 0,525 \text{ m}$$

Gaya internal akibat perbedaan temperatur dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_t = A_t \times E_{balok} \times \beta \times \frac{(T_a + T_b)}{2}$$

dengan,

$A_t$  = Luas tampang yang ditinjau

$T_a$  = Perbedaan temperature gradien bagian atas

$T_b$  = Perbedaan temperature gradien bagian bawah

Hasil perhitungan momen akibat temperature pada penampang *T-Girder* dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

**Tabel 5.76 Momen Akibat Temperatur**

No	Lebar	Tebal	Luas	Temperatur		$(T_a+T_b)/2$	Gaya	z <sub>i</sub>	Momen
	b	h	A <sub>t</sub>	atas	bawah		P <sub>t</sub>		M <sub>pt</sub>
	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	(°C)	(kg)	(m)	(kg-cm)
0	1,900	0,200	0,380	11	11	11	1525,041	0,46	704,860
1	1,900	0,200	0,380	11	11	11	1525,041	0,26	399,852
2	0,850	0,100	0,085	11	11	11	341,128	0,11	38,271
3	0,200	1,200	0,240	11	11	11	963,184	-0,54	-518,009
						ΣP <sub>t</sub> =	4354,393	ΣM <sub>pt</sub> =	624,975

$$\text{Eksentrisitas (ep)} = \frac{\Sigma M_{pt}}{\Sigma P}$$

$$= \frac{0,912}{2,450}$$

$$= 0,144 \text{ m}$$

Total gaya internal akibat perbedaan temperature,

$$\Sigma P_t = 4354,39 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\delta &= 0,0642 \times \left( \frac{\Sigma Pt \times ep \times L^2}{(Ec \times Ixc)} \right) \\ &= 0,0642 \times \left( \frac{4354,39 \times 0,144 \times 40^2}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,00496 \text{ m (ke bawah)}\end{aligned}$$

h. Lendutan akibat beban angin struktur ( $E_{WS}$ )

Transfer beban angin ke lantai jembatan ( $Q_{EWS}$ ) = 2,596 kN/m

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{EWS} \times L^4}{(Ec \times Ixc)} \right) \\ &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{2,596 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,0067 \text{ m} > 0 \text{ (ke bawah)}\end{aligned}$$

i. Lendutan akibat beban angin struktur ( $E_{WL}$ )

Transfer beban angin ke lantai jembatan ( $Q_{EWL}$ ) = 1,50 kN/m

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{EW} \times L^4}{(Ec \times Ixc)} \right) \\ &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{1,50 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,0039 \text{ m} > 0 \text{ (ke bawah)}\end{aligned}$$

j. Lendutan akibat beban gempa (EQ)

Beban akibat gempa ( $Q_{EQ}$ ) = 4,67 kN/m

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{EQ} \times L^4}{(Ec \times Ixc)} \right) \\ &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{4,67 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,0120 \text{ m (ke bawah)}\end{aligned}$$

3. Lendutan akibat beban hidup kendaraan

Beban hidup BTR ( $Q_{BTR}$ ) = 14,96 kN/m

Beban hidup BGT ( $Q_{BGT}$ ) = 130,34 kN/m

$$\begin{aligned}\delta_{BTR} &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{BTR} \times L^4}{(Ec \times Ixc)} \right) \\ &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{14,96 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\ &= 0,0061 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\delta_{BGT} = \frac{5}{384} \times \left( \frac{Q_{BGT} \times L^4}{(Ec \times Ixc)} \right)$$

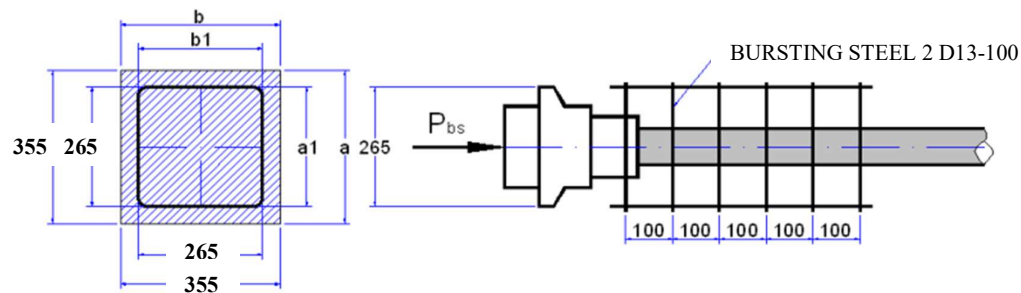
$$\begin{aligned}
 &= \frac{5}{384} \times \left( \frac{130,34 \times 40^4}{(33167484,08 \times 0,39)} \right) \\
 &= 0,0021 \text{ m} \\
 \delta &= \delta_{BTR} + \delta_{BGT} \\
 &= 0,0061 + 0,0021 \\
 &= 0,0082 \text{ m} > 0 \text{ (ke bawah)}
 \end{aligned}$$

Syarat batas lendutan yang diakibatkan beban lalu lintas yaitu lendutan tidak melebihi  $L/800$  sehingga,

$$\delta = 0,0082 \text{ m} < \delta_{LL \text{ allow}} = L/800 = 0,05081 \text{ m}$$

Sehingga, jembatan mampu menahan lendutan akibat beban hidup kendaraan.

### 5.5.13. Perhitungan Sengkang untuk *Bursting force*



**Gambar 5.35 Pelat Angkur dan Sengkang untuk *Bursting Force***

Rasio perbandingan lebar pelat angkur untuk sengkang arah vertikal,

$$r_a = \frac{a_1}{a}$$

Rasio perbandingan lebar pelat angkur untuk sengkang arah horizontal,

$$r_b = \frac{b_1}{b}$$

*Bursting force* untuk sengkang arah vertikal,

$$P_{bta} = 0,30 \times (1 - r_a) \times P_j$$

*Bursting force* untuk sengkang arah horizontal,

$$P_{btb} = 0,30 \times (1 - r_b) \times P_j$$

Luas tulangan sengkang arah vertikal yang diperlukan,

$$A_{ra} = \frac{P_{bta}}{(0,85 \times f_s)}$$

Luas tulangan sengkang arah horizontal yang diperlukan,

$$A_{rb} = \frac{P_{btb}}{(0,85 \times f_s)}$$

dengan,

$f_s$  = tegangan tarik ijin baja tulangan pada sengkang

Mutu baja tulangan pada sengkang digunakan U-54,5 sehingga,

Tegangan leleh baja sengkang ( $f_y$ ) = 420000 kPa

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ijin baja sengkang (} f_s \text{)} &= 0,578 \times f_y \\ &= 0,578 \times 420000 \\ &= 242760 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Digunakan sengkang tertutup dengan diameter D13 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang sengkang (} A_s \text{)} &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \\ &= 0,000265 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jumlah sengkang arah vertikal yang diperlukan,

$$n \text{ vertikal} = \frac{A_{ra}}{A_s}$$

Jumlah sengkang arah horizontal yang diperlukan,

$$n \text{ horizontal} = \frac{A_{rb}}{A_s}$$

Hasil perhitungan sengkang untuk *bursting force* dengan persamaan di atas dapat dilihat pada Tabel 5.53 berikut.

**Tabel 5.77 Perhitungan Sengkang Arah Vertikal**

No. Tendon	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Pj (kN)	a1 (mm)	a (mm)	ra	Pbta (kN)	Ara (m2)	Jumlah sengkang
	Sc (Ton)	Ø (mm)	H 0,5" (Ton)	Ø (mm)							
1	19	265	19	470	2623,48	265	355	0,746	199,532	0,00097	3,64
2	19	265	19	470	2623,48	265	355	0,746	199,532	0,00097	3,64
3	19	265	19	470	2623,48	265	355	0,746	199,532	0,00097	3,64
4	19	265	19	470	2347,32	265	355	0,746	178,529	0,00087	3,26

**Tabel 5.78 Perhitungan Sengkang Arah Horizontal**

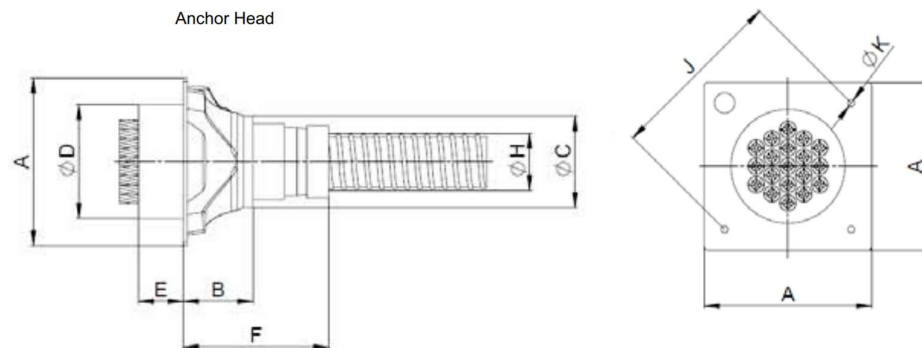
No. Tendon	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Pj (kN)	a1 (mm)	a (mm)	ra	Pbtb (kN)	Arb (m2)	Jumlah sengkang
	Sc (Ton)	Ø (mm)	H 0,5" (Ton)	Ø (mm)							
1	19	265	19	470	2623,48	265	355	0,746	199,532	0,00097	3,64
2	19	265	19	470	2623,48	265	355	0,746	199,532	0,00097	3,64
3	19	265	19	470	2623,48	265	355	0,746	199,532	0,00097	3,64
4	19	265	19	470	2347,32	265	355	0,746	178,529	0,00087	3,26

**Tabel 5.79 Jumlah Senggang digunakan untuk *Bursting Force***

No. Tendon	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		Jumlah senggang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)	
1	19	265	19	470	4D13
2	19	265	19	470	4D13
3	19	265	19	470	4D13
4	19	265	19	470	4D13

#### 5.5.14. Perhitungan *End Block*

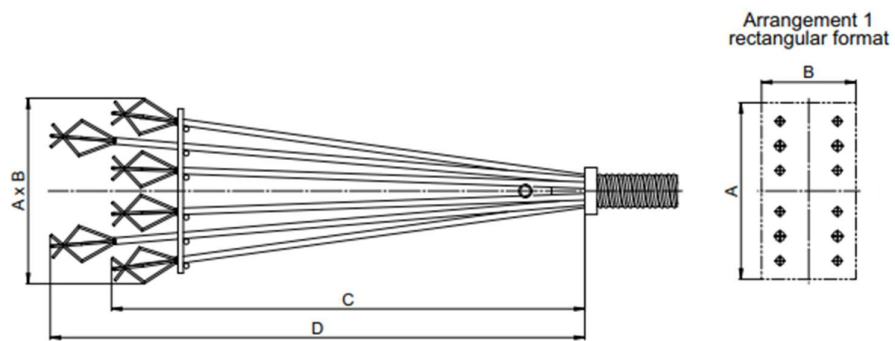
Pada daerah tumpuan *PCT girder* digunakan ankur hidup VSL unit 5-19 tipe Sc dengan diameter *strand* 12,7 mm, jumlah *strand* pada tendon ke-1 sampai dengan ke-3 yaitu 17 buah dan pada tendon ke-4 yaitu 19 buah maka, didapat dimensi sebagai berikut.



**Gambar 5.36 Angkur Hidup VSL Tipe Sc**

- A = 265 mm
- B = 210 mm
- ØC = 90 mm
- ØD = 180 mm
- E = 71 mm
- F = 210 mm
- ØH = 100 mm
- J = 283 mm
- ØK = 11 mm

Sedangkan, angkur mati yang digunakan yaitu *dead end anchorage* tipe H 0,5 unit 5-19 dengan diameter *strand* 12,7 mm maka, didapat dimensi angkur mati sebagai berikut.



**Gambar 5.37 Angkur Mati VSL Tipe H 0,5**

- A = 470 mm
- B = 190 mm
- C = 1130 mm
- D = 1280 mm

**Gambar 5.38 Rekapitulasi Perhitungan End Block**

No Cable	Angkur hidup VSL		Angkur Mati VSL		ns (mm)	Pbs (kN)	Po	Pj (kN)	Sudut Angkur (°)
	Sc (Ton)	Ø (mm)	H 0,5" (Ton)	Ø (mm)					
1	19	265	19	470	19	183,7	75,165%	2623,480	6,783
2	19	265	19	470	19	183,7	75,165%	2623,480	6,331
3	19	265	19	470	19	183,7	75,165%	2623,480	5,028
4	19	265	19	470	17	183,7	75,165%	2347,325	3,719

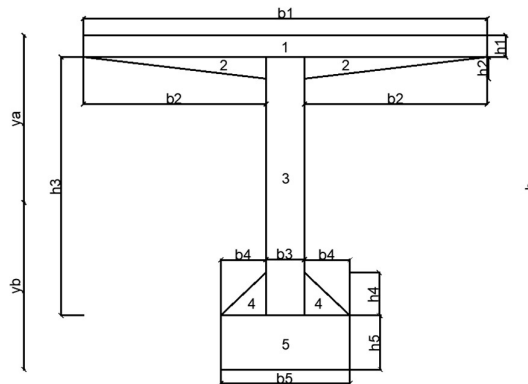
**Tabel 5.80 Momen Statis Luasan Bagian Atas (Sxa) pada Penampang Balok**

No	Lebar	Tebal	Shape	Luas	Lengan	Momen
	b	h		A	y	A*y
	(m)	(m)		(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> )
1	1,900	0,200	1,00	0,38	0,465	0,177
2	0,850	0,100	1,00	0,09	0,331	0,028
3	0,200	0,365	1,00	0,07	0,182	0,013
Sxa =						0,218

**Tabel 5.81 Momen Statis Luasan Bagian Atas (Sxb) pada Penampang Balok**

No	Lebar	Tebal	Shape	Luas	Lengan	Momen
	b	h		A	y	A*y
	(m)	(m)		(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> )
4	0,200	0,840	1,00	0,17	0,418	0,070
5	0,150	0,250	1,00	0,04	0,752	0,028
6	0,500	0,250	1,00	0,13	0,960	0,120
Sxb =						0,218





**Gambar 5.39 Momen Statis Penampang Balok *PCT Girder***

## 5.6. Pembahasan

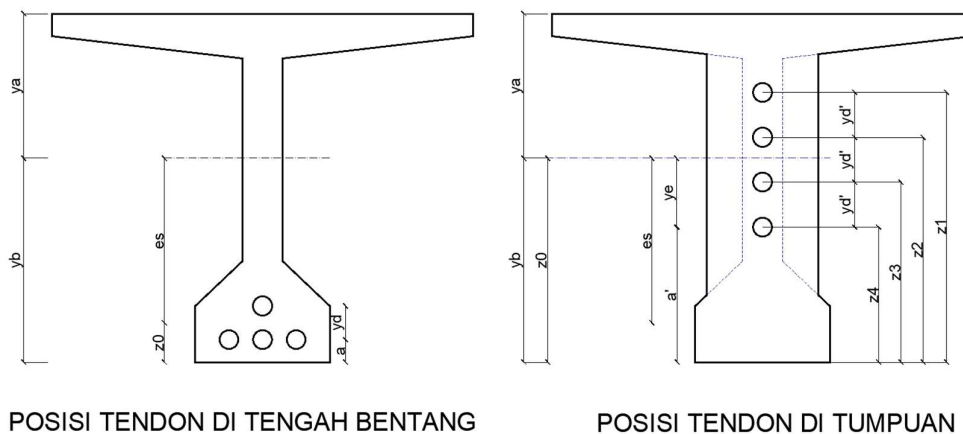
Pembahasan mengenai hasil perancangan struktur atas Jembatan Jalur Lintas Selatan Planjan-Tepus Sta. 8+530 – 8+650 menggunakan *PCT girder* yaitu sebagai berikut.

- Pada perancangan kali ini penulis menggunakan mutu beton K-600 pada beton prategang, mutu beton K-350 pada pelat lantai, mutu baja prategang ( $f_{py}$ ) sebesar 1675 MPa, mutu baja tulangan *deform* atau ulir ( $f_y$ ) sebesar 420 MPa dan mutu baja tulangan polos ( $f_y$ ) 240 MPa. Jumlah pemakaian girder *PCT girder* yaitu 4 buah.
- Penulis mengambil beberapa data pada katalog *Prestressing 7 wire low relaxation strands ASTM A-416-85 grade 270* untuk *strands cable* dan *VSL Strand Post-Tensioning Systems* untuk tipe angkur. Dengan mutu serta acuan tersebut tanpa mengurangi panjang bentang, didapatkan dimensi desain *PCT girder* seperti pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.4.
- Berdasarkan pada perhitungan kombinasi pembebanan untuk momen dan gaya geser pada balok prategang didapat hasil terbesar yaitu pada kombinasi pembebanan “Kuat I”.
- Kebutuhan tendon berdasarkan hasil perhitungan, jumlah tendon yang dibutuhkan pada *PCT girder* yaitu sebanyak 4 tendon dengan jumlah total 74

*strands cable*. Dengan tata letak posisi tendon di tengah bentang dan tumpuan dapat dilihat pada Tabel 5.56 dan Gambar berikut.

**Tabel 5.82 Rekapitulasi Jumlah *Strands* pada Posisi Tengah Bentang dan Tumpuan**

Baris tendon	Tumpuan		Tengah Bentang	
	Jumlah tendon	Jumlah strands	Jumlah tendon	Jumlah strands
Baris ke-1	1	19	3	19
Baris ke-2	1	19	1	17
Baris ke-3	1	19	0	0
Baris ke-4	1	17	0	0
	$\Sigma strands =$	74	$\Sigma strands =$	74



**Gambar 5.40 Posisi Tendon**

- Kehilangan prategang yang terjadi pada *PCT girder* yaitu sebesar 23,231% lebih kecil dari asumsi kehilangan gaya prategang sebesar 30% sehingga, gaya prategang yang terjadi pada gelagar semakin besar.
- Pemeriksaan tegangan beton yang terjadi pada kondisi saat transfer dan kondisi layan pada perhitungan sub-bab 5.2.7. didapatkan hasil yang aman terhadap serat tekan dan serat tarik karena tidak melebihi nilai dari tegangan izin.

- Kebutuhan tulangan non-prategang penampang *PCT-Girder* pada bagian bawah penampang digunakan tulangan 5-D16, bagian badan penampang digunakan tulangan 4-D16, dan bagian atas penampang digunakan tulangan 4-D16.
- Tinjauan momen ultimit atau kapasitas lentur penampang diperoleh hasil momen nominal sebesar 14311,45 kNm dan setelah direduksi kekuatan lentur, kapasitas momen ultimit balok prategang yaitu sebesar 11449,16 kNm.
- Kapasitas geser penampang mampu menahan gaya geser balok prategang akibat beban kombinasi sebesar 6281,83 kN karena tidak kurang dari nilai gaya geser ultimit. Dari hasil perhitungan, digunakan tulangan geser D13-200 mm.
- Berdasarkan perhitungan penghubung geser pada sub-bab 5.2.11, pada penulangan *shear connector* digunakan tulangan D13-200 mm untuk dapat menahan beban yang bekerja bersamaan pada bagian komposit penampang *PCT girder*.
- Lendutan yang terjadi pada keadaan awal dan keadaan akhir tidak melebihi lendutan maksimum yang diijinkan yaitu  $L/240$  atau sebesar 0,169 m sehingga *PCT girder* mampu bekerja dengan baik menahan lendutan, hasil rekapitulasi perhitungan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5.57 berikut.

**Tabel 5.83 Rekapitulasi Lendutan pada Keadaan awal dan Keadaan Akhir**

No	Jenis beban lendutan	Kode beban	Lendutan (m)	Keterangan
<b>Lendutan pada keadaan awal (transfer)</b>				
1	Saat transfer		-0,064	CHAMBER
2	Setelah <i>loss of prestress</i>		-0,048	CHAMBER
3	Setelah pelat selesai dicor (beton muda)		-0,014	CHAMBER
4	Setelah pelat dan balok menjadi komposit		-0,030	CHAMBER
<b>Lendutan pada keadaan akhir (service)</b>				
1	Berat sendiri	MS	0,095	DEFLECTION
2	Mati tambahan	MA	0,025	DEFLECTION
3	Prategang	PR	-0,110	CHAMBER
4	Susut dan rangkai	SR	-0,009	CHAMBER
5	Lajur "D"	TD	0,048	DEFLECTION
6	Gaya rem	TB	0,001	DEFLECTION
7	Pengaruh temperatur	Eun	0,005	DEFLECTION
8	Angin struktur	EWS	0,007	DEFLECTION
9	Angin kendaraan	EWL	0,004	DEFLECTION
10	Gempa	EQ	0,012	DEFLECTION
Total lendutan			0,066	< L/240 (aman)

Lendutan akibat beban hidup kendaraan tidak melebihi batas lendutan maksimum yang diijinkan untuk beban kendaraan yaitu  $L/800$  atau sebesar 0,050 m sehingga, jembatan mampu menahan beban hidup kendaraan.

- Jumlah sengkang untuk *bursting force* pada nomor tendon ke-1 sampai dengan tendon ke-4 digunakan tulangan 4D13-100.
- Pada perhitungan *end block*, daerah tumpuan *PCT girder* digunakan angkur hidup VSL unit 5-19 tipe Sc dengan diameter *strands* 12,7 mm dan angkur mati *dead end anchorage* unit 5-19 tipe H 0,5.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari perhitungan dan desain pada perancangan ini yaitu sebagai berikut.

- Setiap bentang *PCT girder* digunakan 4 buah tendon dengan jumlah *strands* yaitu 19, 19, 19, dan 17 buah dengan jenis *uncoated 7 wire low relaxation strands* ASTM A-416 grade 270. Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking* sebesar 10217,766 kN.
- Kehilangan gaya prategang akhir (*loss of prestress*) yang terjadi pada *PCT girder* sebesar 23,231% sehingga dari hasil yang didapat masih memenuhi kehilangan gaya prategang yang diijinkan yaitu 25%.
- Tulangan geser digunakan D13-200 mm dan pada *shear connector* digunakan tulangan D13-200 mm. Sengkang pada *bursting force* digunakan tulangan 4D13-100 mm.
- Kapasitas lentur penampang diperoleh sebesar 14311,45 kNm dan kapasitas geser penampang sebesar 6281,83 kN, sehingga girder yang digunakan aman dalam menahan kuat lentur dan kuat geser.

#### **6.2 Saran**

Saran penulis pada perancangan selanjutnya yaitu sebaiknya perlu dilakukan analisa lebih lanjut. Perhitungan pada perancangan ini hanya sebatas struktur atas, sehingga perlu penyesuaian kebutuhan elemen struktur bawah dan tumpuan jembatan seperti *abutment*, *bearing pad*, dan lain sebagainya. Pada perancangan struktur atas perlu melakukan analisis dengan menggunakan pemodelan SAP2000 sebagai pembanding nilai momen dan gaya geser yang didapat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardi Muhamad, R. dan I. Puluhulawa. 2020. Desain Jembatan *T-Girder* Pada Sungai Jalan Antara Menggunakan SNI 1725-2016. *Journal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*. Vol,5 No,2. Riau.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI- 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Gedung. Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. RSNI-T12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Jakarta :BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. RSNI-T02-2005 Standar Pembebanan Untuk Jembatan. Jakarta :BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 1725- 2016 Pembebanan Untuk Jembatan. Jakarta :BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Jakarta :BSN.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2021. Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, NO. 02 / M / BM / 2021. Jakarta :Direktorat Jendral Bina Marga.
- Hadi, N. dan Leo, E. 2018. Analisis Perbandingan Perkuatan Jembatan Rangka Baja Dengan Metode Prategang Eksternal Ditinjau dari Bentuk Trase Kabel Prategang. *Journal Mitra Teknik Sipil*. Vol,1 No,1:230-239. Jakarta.
- Heryudiasari, W. dan Rahim, S.A. 2013. Studi Perbandingan Perilaku Jembatan *I Girder* dan *U Girder* Akibat Pembebanan Jembatan. Universitas Indonesia. Depok.
- Kiswanto, M.K., 2020. Perencanaan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang *T-Girder* Sta. 6+ 300 Pada Pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Malang. Malang
- Lin T.Y., Burns Ned H. 1982. Disain Struktur Beton Prategang jilid 1 dan 2 terjemahan Mediana Sianipar. Interaksara.
- Massaroh, A. 2014. Perhitungan Struktur Jembatan Rangka (*Truss Bridge*) Bentang 60 Meter di Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara. *Tugas Akhir*. Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda. Samarinda.
- Nawy, Edward G. 2009. *Prestressed Concrete: A Fundamental Approach. Fifth Edition Uate*. New Jersey.

- Prasetyo, H. 2018. Optimalisasi Disain Jembatan Buntung di Sleman Yogyakarta Menggunakan *PCI girder* Dengan Variasi Mutu Beton dan Tinggi *Girder*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Putra, P.B., Muntafi, Y., dan Suharyatma. 2017. Studi Perbandingan Penggunaan PCU *Girder* Pada Struktur Atas Jembatan Jurang Gempal, Wonogiri. *Jurnal Teknisia*. Vol.XXII, No,1. Yogyakarta.
- Rahmawati, A.W.S. dan Suharyatma. 2019. Perbandingan Desain Struktur Balok Sederhana Bentang 50 Meter Menggunakan Prestressed Concrete T *Girder* dan Prestressed Concrete Box *Girder*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rizkia, S. R. 2017. Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode *Stressing* Satu Arah Dan Dua Arah Pada Jembatan Beton Prategang. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Lampung. Lampung.
- Zebua, A. W. 2014. Optimasi Ukuran Penampang Beton Prategang Pada Balok Sederhana dan Balok Menerus dengan Menggunakan Algoritma Genetika. *E-Journal MATRIKS TEKNIK SIPIL 2014*. Yogyakarta.

# LAMPIRAN





KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM & PERA  
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA  
SATKER PERENCANAAN DAN PENGAWASAN JALAN NASIONAL VII  
PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
JALAN RING ROAD UTARA MAGLUBOHARJO, DEPOK, SLEMAN, YOGYAKARTA (0274) 488583

KEGIATAN :  
REVIEW DESAIN JALAN BARON-TEPUS

PAKET	PROVINSI	NO. LINK
11	D.I. YOGYAKARTA	
LOKASI	GUNUNGKIDUL	

KONSULTAN PERENCANA  
PT. WASTU ANOPAMA CONSULTANT  
(JO) PT. TRI PATRA CONSULTANT

DI GAMBAR  
*[Signature]*  
FAJAR HERMAWAN, A.MD  
DRAFTMAN

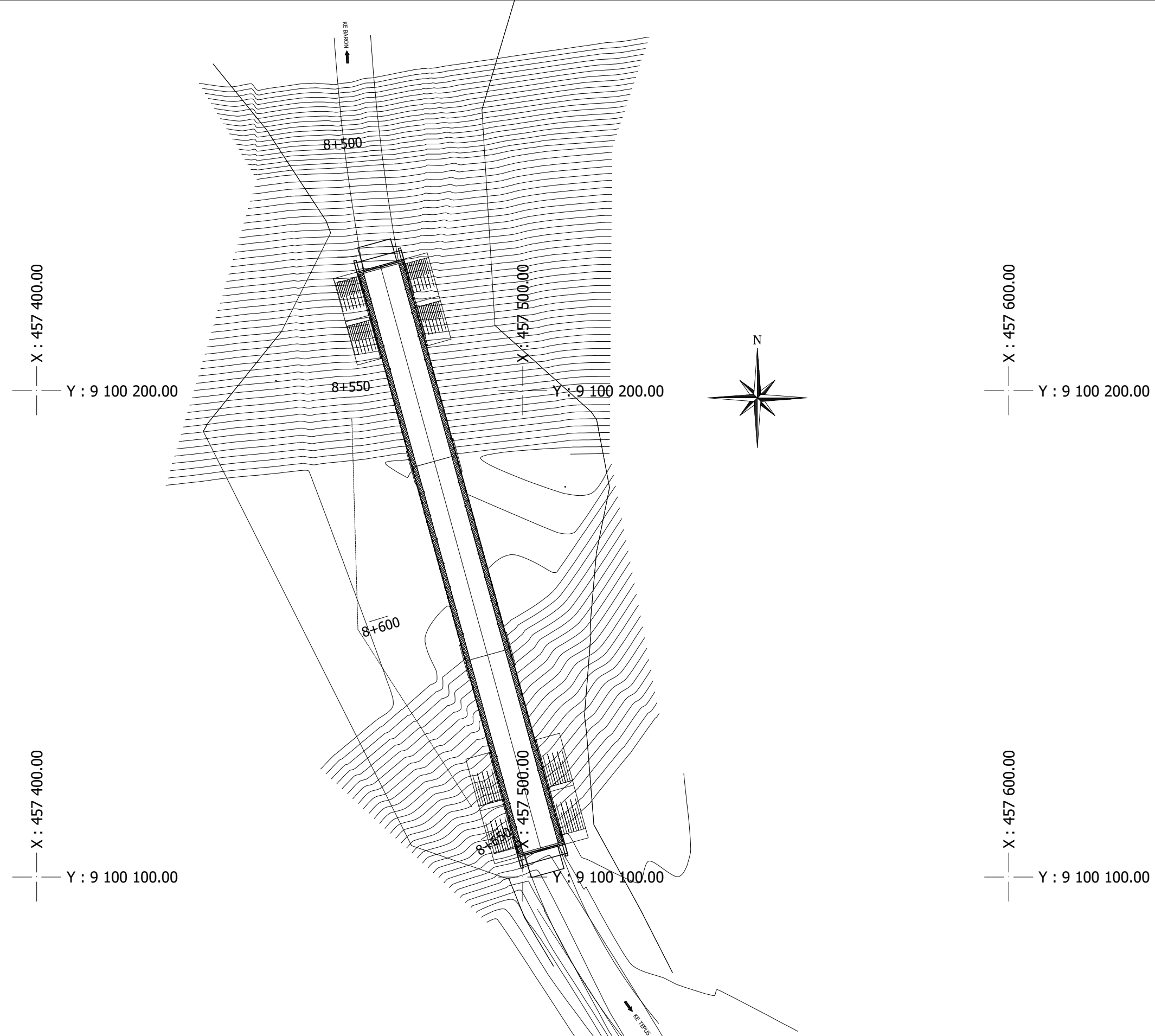
DIREKANAKAN  
*[Signature]*  
MUHAMMAD DONIE AULIA, ST.MT  
HIGHWAY ENGINEER

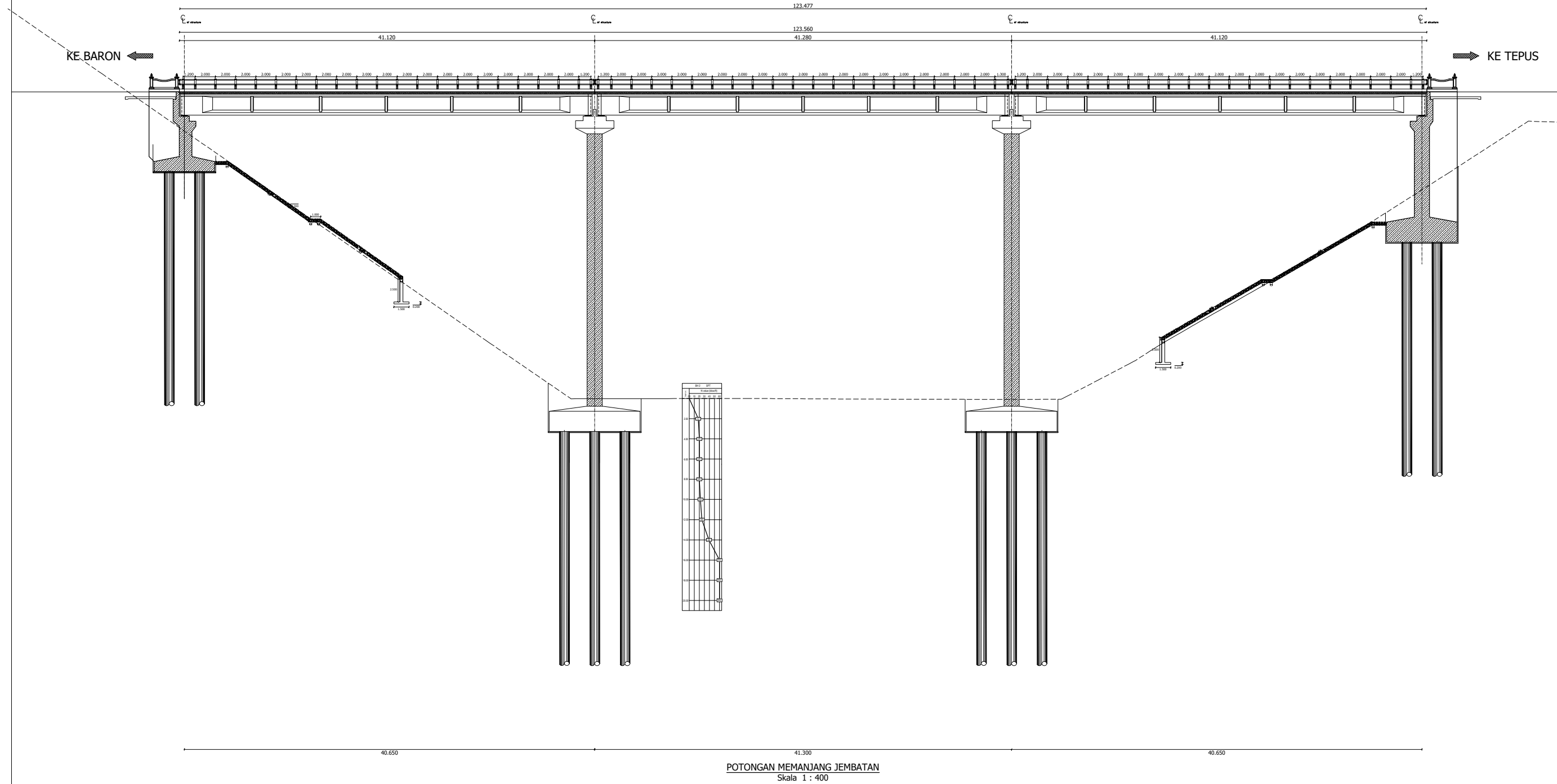
DIKETAHUI  
*[Signature]*  
Ir. SADI MARGO OETOMO, MT  
TEAM LEADER

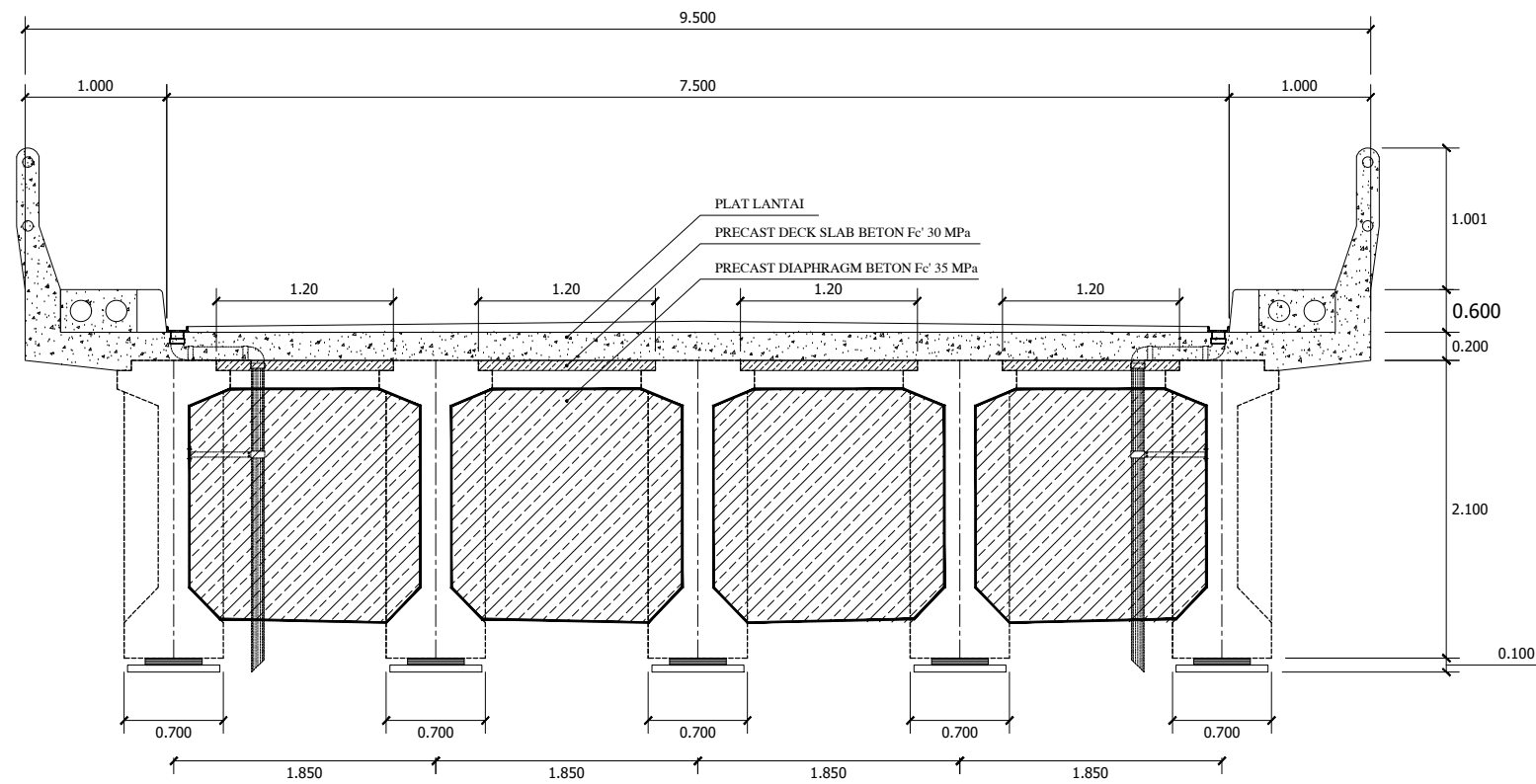
MENGETAHUI  
*[Signature]*  
Ir. SIGIT GAURIBANGKAR  
CORE TEAM

SITUASI JEMBATAN 2  
RUAS PLANJAN - BARON - TEPUS

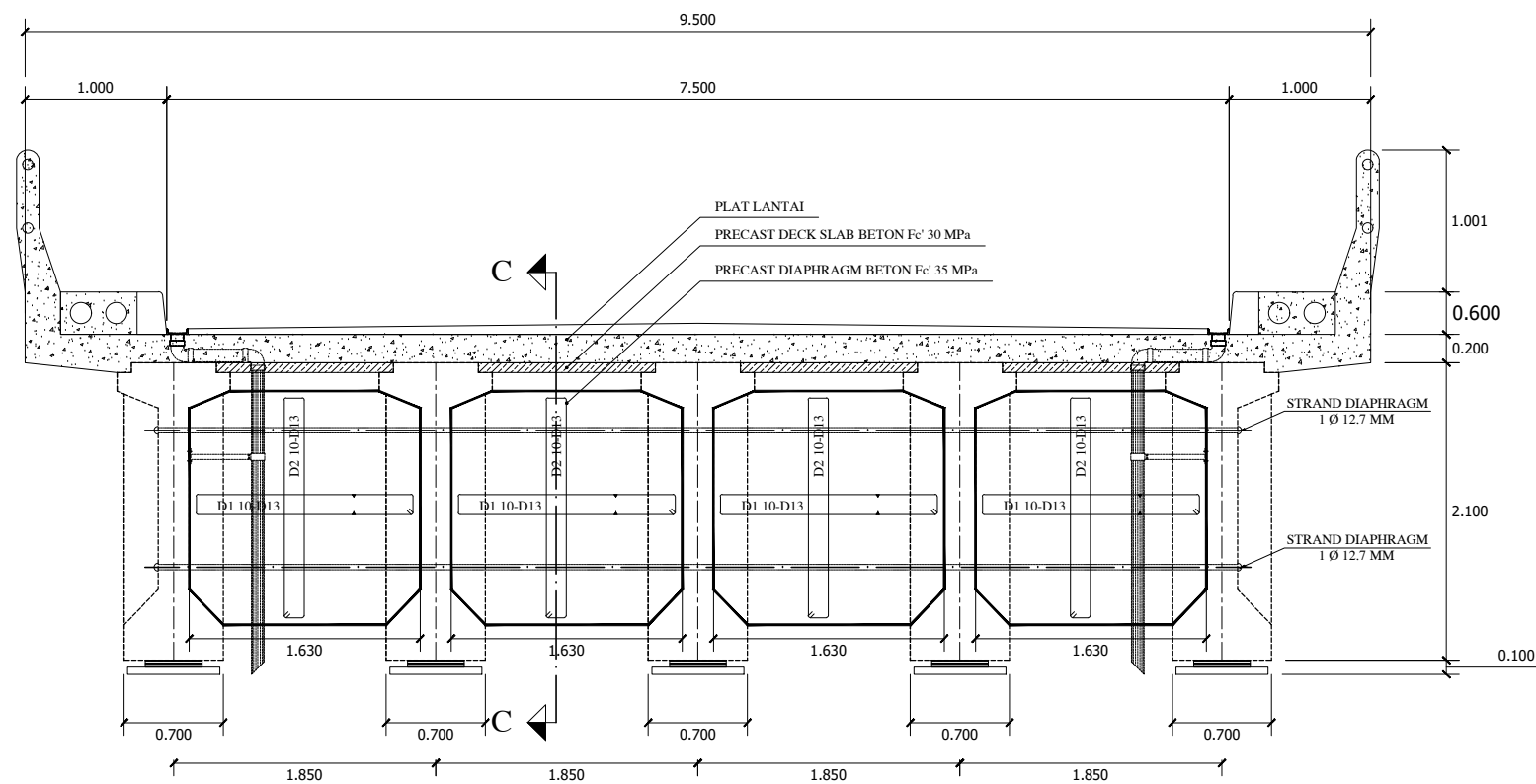
NO. GAMBAR :  
F.01  
SKALA :  
H = 1 : 800



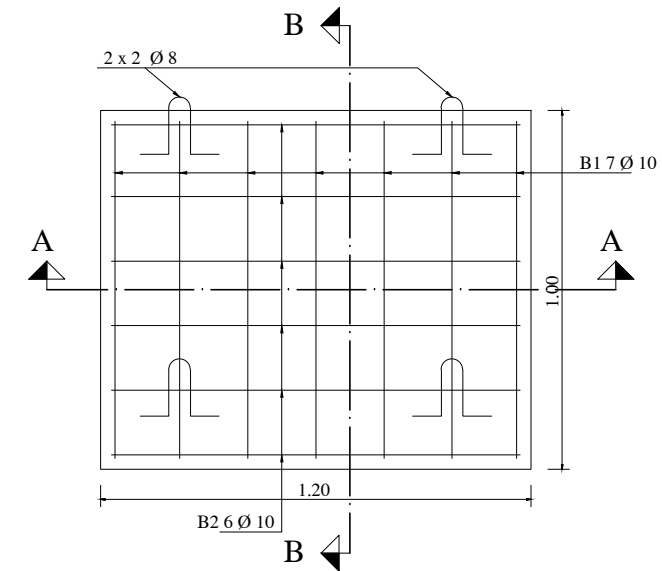




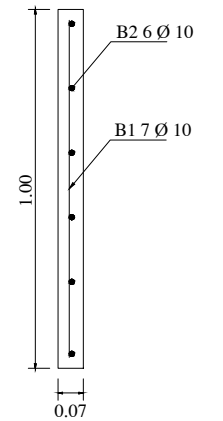
**POTONGAN MELINTANG JEMBATAN**  
 Skala 1:50



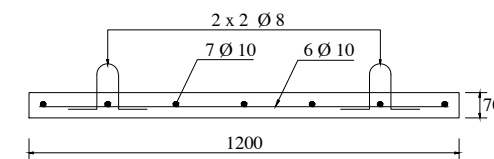
**POTONGAN MELINTANG JEMBATAN**  
 Skala 1:50



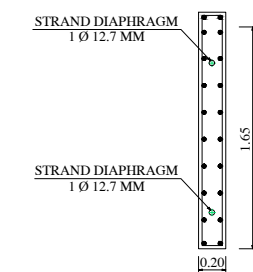
**DETAIL PRECAST DECK SALB**  
 Skala 1:20



**POTONGAN B-B**  
 Skala 1:20



**POTONGAN A-A**  
 Skala 1:20



**POTONGAN C-C**  
 Skala 1:20