

**ANALISIS PERHITUNGAN KEHILANGAN GAYA  
PRATEGANG PADA BALOK GELAGAR JEMBATAN PARIT  
SULANG SALING**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**KHAIRANTI SINULINGGA  
188110042**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2023**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 23/11/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)23/11/23

# **ANALISIS PERHITUNGAN KEHILANGAN GAYA PRATEGANG PADA BALOK GELAGAR JEMBATAN PARIT SULANG SALING**

## **SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Pada  
Balok Gelagar Jembatan Parit Sulang Saling  
Nama : Khairanti Sinulingga  
NPM : 188110042  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:  
Komisi Pembimbing



Tanggal Lulus : 2 Agustus 2023

### HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 2 Agustus 2023



Khairanti Sinulingga  
188110042

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Khairanti Sinulingga  
NPM : 188110042  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Pada Balok Gelagar Jembatan Parit Sulang Saling. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 2 Agustus 2023  
Yang menyatakan



(Khairanti Sinulingga)

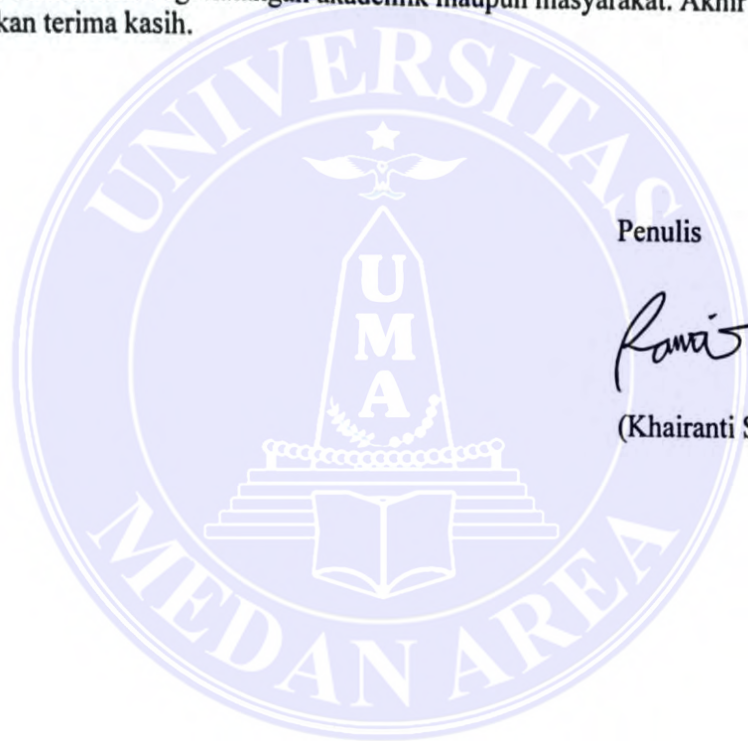
## RIWAYAT HIDUP

Khairanti Sinulingga, lahir di Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Bedagai, Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 27 November 2000. Anak ke lima dari enam bersaudara dari pasangan Kolen Sinulingga dan Erlina Sembiring. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP N 2 Perbaungan dan lulus pada tahun 2015, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA N 1 Perbaungan dan lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2018 Penulis melanjutkan pendidikan Strata satu (S-1) disalah satu Universitas Medan Area dan mengambil jurusan Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Medan Area.



## KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Analisis Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Pada Balok Gelagar Jembatan Parit Sulang Saling. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. H. Irwan M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.



Penulis

(Khairanti Sinulingga)

## ABSTRAK

Pelebaran jembatan pada jembatan Jalan Bilal Ujung Kec. Medan Timur dilakukan guna mengatasi kemacetan yang akan terjadi pada daerah tersebut. Dilakukannya pelebaran dengan menggunakan sistem balok prategang sebagai balok tambahan jembatan. Penelitian ini menggunakan balok beton prategang dengan profil I girder pasca tarik dengan mutu beton 70 Mpa dengan tinggi 1,6 meter dan panjang bentang 21,6 meter. Kabel baja prategang yang digunakan adalah *Uncoated stress relieve seven wires strand ASTM A 416 Grade 270 Low Relaxation or JIS G 3536* diameter 12,7 mm. Tahap-tahap perencanaan pada penelitian ini meliputi analisis penampang girder, pembebanan dengan menggunakan SNI 1725-2016 sebagai acuan, perhitungan gaya prategang, kehilangan gaya prategang, dan lendutan pada balok. Setelah semua kehilangan gaya prategang diperhitungkan didapat total kehilangan gaya prategang sebesar 10,60%. Untuk mengetahui batas maksimal persentase dari kehilangan gaya prategang menggunakan perhitungan dari buku Desain Struktur Beton Prategang oleh T. Y. Lin & H. Burns dengan rumus yaitu  $P_e/A_c$  dan didapat nilai sebesar 1,75 MPa. Dimana batas persentase 1,75 MPa sebesar 15%, sehingga 10,60% lebih kecil dari 15% dapat dikatakan aman. Kemudian dilakukan juga analisis lendutan dengan lendutan maksimum yang terjadi sebesar 0,0119 m dengan lendutan ijin sebesar 0,0722 m. Apabila dibandingkan, maka lendutan yang terjadi masih didalam lingkup lendutan ijin.

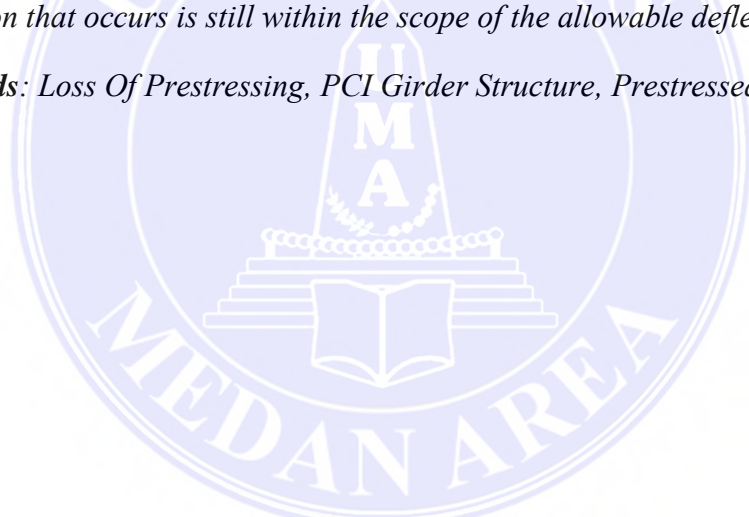
**Kata Kunci:** Kehilangan Gaya Prategang, Struktur *PCI Girder*, Beton Prategang



## ABSTRACT

*The widening of the bridge on Jalan Bilal Ujung bridge, East Medan Sub-District was carried out to overcome the congestion that would occur in the area. The widening was carried out by using a pre-stressed beam system as an additional bridge beam. This research uses prestressed concrete beams with post-tensile girder I profiles with a concrete quality of 70 Mpa with a height of 1.6 meters and a span length of 21.6 meters. The prestressed steel cable used is Uncoated stress relieve seven wires strand ASTM A 416 Grade 270 Low Relaxation or JIS G 3536 diameter 12.7 mm. The planning stages in this study include girder cross-section analysis, loading using SNI 1725-2016 as a reference, calculation of prestress force, loss of prestress force, and deflection of the beam. After all prestress force losses are calculated, the total loss of prestress force is 10.60%. To find out the maximum percentage limit of prestress force loss using calculations from the book Design of Prestressed Concrete Structures by T. Y. Lin & H. Burns with the formula  $P_e / A_c$  and obtained a value of 1.75 MPa. Where the percentage limit of 1.75 MPa is 15%, so 10.60% less than 15% can be said to be safe. Then a deflection analysis was also carried out with a maximum deflection that occurred of 0.01187 m with an allowable deflection of 0.07217 m. When compared, the deflection that occurs is still within the scope of the allowable deflection.*

**Keywords:** Loss Of Prestressing, PCI Girder Structure, Prestressed Concrete



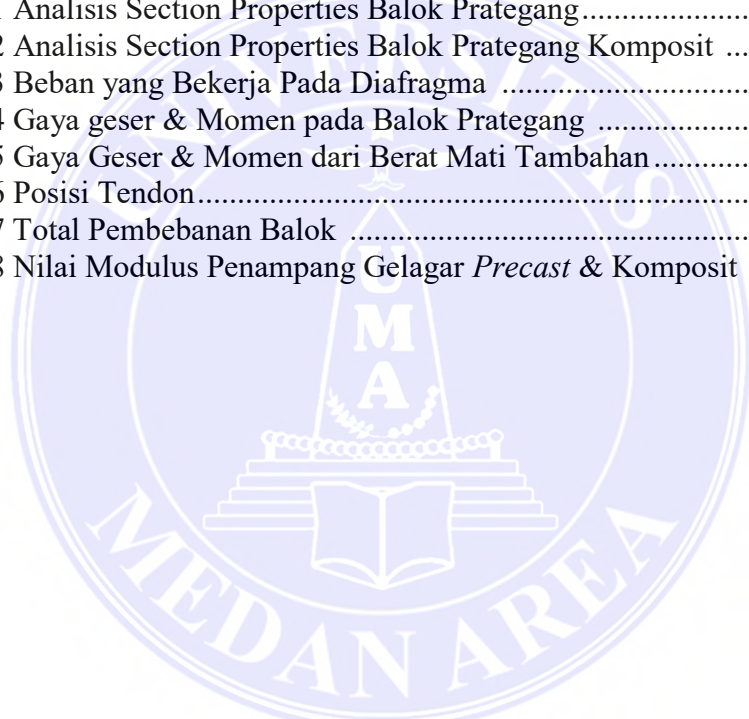
## DAFTAR ISI

	Halaman
COVER .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
RIWAYAT HIDUP .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Maksud Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Batasan Masalah .....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Perbedaan Penelitian .....	9
2.3 Pengertian Jembatan .....	12
2.4 Jembatan Gelagar Beton .....	13
2.4.1 Beton Prategang .....	14
2.4.2 Baja Prategang .....	15
2.4.3 Konsep Prategang .....	16
2.4.4 Metode Balok Prategang.....	18
2.4.5 Jenis Balok Jembatan .....	20
2.4.6 Kelebihan dan Kelemahan Beton Prategang .....	22
2.5 Pembebanan Jembatan .....	23
2.5.1 Berat Sendiri (MS) .....	24
2.5.2 Beban Mati Tambahan/Utilitas (Ma) .....	26
2.5.3 Beban Lalu Lintas .....	27
2.5.4 Beban Angin .....	29
2.5.5 Gaya Rem (Tb).....	29
2.6 Perhitungan Struktur Beton Prategang .....	29
2.6.1 Gaya Prategang .....	30
2.6.2 Tegangan Izin Pada Beton Prategang .....	30
2.6.3 Lintasan Inti Tendon .....	30

2.6.4	Tata Letak & Trace Tendon .....	31
2.7	Kehilangan Gaya Prategang .....	32
2.8	Lendutan Izin Jembatan .....	38
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>39</b>
3.1	Lokasi Penelitian .....	39
3.2	Pengumpulan Data .....	41
3.2.1	Data Primer .....	41
3.2.2	Data Skunder .....	41
3.3	Prosedur Penelitian .....	41
3.4	Tahap Penelitian .....	41
3.4.1	Persiapan .....	41
3.4.2	Analisa Penampang Girder .....	42
3.4.3	Menghitung Gaya Prategang .....	42
3.4.4	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang .....	42
3.4.5	Menghitung Lendutan .....	43
3.4.6	Kesimpulan .....	43
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	44
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>45</b>
4.1	Analisis Penampang Balok .....	45
4.1.1	Penentuan Lebar Efektif Plat Lantai .....	45
4.1.2	Section Properties Balok Prategang .....	46
4.1.3	Section Properties Balok Prategang Komposit .....	48
4.2	Pembebanan Balok Prategang .....	49
4.2.1	Berat Sendiri Balok ( $M_S$ ) .....	49
4.2.2	Berat Mati Tambahan ( $M_A$ ) .....	51
4.2.3	Beban Hidup .....	51
4.2.4	Gaya Rem .....	52
4.2.5	Beban Angin .....	53
4.3	Perhitungan Gaya Prategang .....	54
4.3.1	Tegangan Izin .....	55
4.3.2	Gaya Prategang .....	56
4.4	Kehilangan Gaya Prategang .....	58
4.3.1	Kehilangan Jangka Pendek .....	58
4.3.2	Kehilangan Jangka Panjang .....	60
4.5	Total Kehilangan Gaya Prategang .....	62
4.6	Lendutan Balok Prategang .....	62
4.7	Pembahasan .....	65
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>67</b>
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>xv</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>xvii</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Perbedaan Penelitian .....	9
Tabel 2 Berat Isi Untuk Beban Mati .....	23
Tabel 3 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri .....	24
Tabel 4 Faktor Beban Untuk Beban T .....	28
Tabel 5 Koefisien Gesek Kelengkungan <i>Wobble K</i> .....	34
Tabel 6 Koefisien Susut ( $K_{sh}$ ) .....	36
Tabel 7 Nilai $K_{RE}$ dan $J$ .....	37
Tabel 8 Nilai $C$ .....	37
Tabel 9 Uraian data Jembatan .....	40
Tabel 10 Dimensi Balok Prestress .....	45
Tabel 11 Analisis Section Properties Balok Prategang.....	47
Tabel 12 Analisis Section Properties Balok Prategang Komposit .....	48
Tabel 13 Beban yang Bekerja Pada Diafragma .....	50
Tabel 14 Gaya geser & Momen pada Balok Prategang .....	51
Tabel 15 Gaya Geser & Momen dari Berat Mati Tambahan.....	50
Tabel 16 Posisi Tendon.....	59
Tabel 17 Total Pembebanan Balok .....	65
Tabel 18 Nilai Modulus Penampang Gelagar <i>Precast</i> & Komposit .....	65



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Bangunan Alat Jembatan .....	12
Gambar 2 Jenis-Jenis Baja Beton Prategang .....	16
Gambar 3 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang .....	17
Gambar 4 Momen Tahanan Internal Pada Balok Beton Prategang & Beton Bertulang .....	17
Gambar 5 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola .....	18
Gambar 6 Tahap – Tahap <i>Pretensioning</i> .....	19
Gambar 7 Tahap – Tahap <i>Post-Pretensioning</i> .....	20
Gambar 8 Beban Lajur “D” .....	28
Gambar 9 Lintasan Inti Tendon . .....	31
Gambar 10 Tata Letak & Trace Tendon .....	31
Gambar 11 Peta Lokasi Jembatan Bilal .....	39
Gambar 12 Situasi Jembatan Bilal .....	39
Gambar 13 Balok Gelagar tipe-I <i>girder</i> .....	40
Gambar 14 Tampak Samping Struktur Jembatan .....	40
Gambar 15 Bilal Bagan Alir Penelitian .....	44
Gambar 16 Notasi Dimensi Balok <i>Prestress</i> .....	45
Gambar 17 Notasi Penampang Balok Prategang .....	46
Gambar 18 Notasi Penampang Balok Komposit .....	48
Gambar 19 Posisi Tendon Pada Balok Ditegah Bentang .....	56
Gambar 20 Posisi kabel pada balok girder (Gambar DED Jembatan Bilal) ...	56

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Dokumentasi Lapangan .....	xvii
Lampiran 2. Gambar Bestek .....	xix



## DAFTAR NOTASI

$A$	= Luas penampang
$A_c$	= Luas penampang balok komposit
$A_t$	= Luas tampang tendon bja prategang
$A_{st}$	= Luas tampang nominal <i>strand</i>
$B_{eff}$	= Lebar pengganti beton pelat lantai jembatan
$B_e$	= Lebar plat efektif
$e$	= eksentrisitas
$E$	= Modulus elastis pelat beton
$E_c$	= Elastisitas beton
$E_s$	= Elastisitas baja strand
$e_s$	= Eksentrisitas (m)
$ES$	= Perpendekan elastis baja ( $M_a$ )
$F_{BD}$	= Faktor beban dinamis
$F_c'$	= Kuat tekan beton saat masa pelayanan
$F_{ci}'$	= Kuat tekan beton saat awal penegangan kabel
$F_{cs}$	= Tegangan izin tekan saat penarikan (Mpa)
$F_{cds1}$	= Tegangan akibat beban mati non komposit
$F_{cds2}$	= Tegangan akibat beban mati setelah komposit
$F_{cds}$	= Tegangan dipusat berat beton karena semua beban mati
$F_y$	= Tegangan leleh tarik baja (Mpa)
$F_{peff}$	= Tegangan efektif setelah mengalami kehilangan gaya prategang
$F_{pi}$	= Tegangan awal pada baja prategang
$F_{pu}$	= Kuat tarik strand (Mpa)
$F_{py}$	= Tegangan leleh strand (Mpa)
$F_{cir}$	= Tegangan dipusat berat tendon setelah gaya prategang ditetapkan
$I_o$	= Inersia penampang
$I_x$	= Inersia arah x
$K_{cr}$	= Koefesien rangkak
$K_{re}$	= Koefesien relaksasi
$K_{sh}$	= Koefesien susut
$M_{bs}$	= Momen maksimum ditengah bentang
$n$	= Jumlah sengkang bursting steel yang diperlukan
$n_s$	= Jumlah strand minimal yang diperlukan
$P_{bs}$	= Beban putus strand
$P_e$	= Gaya prategang efektif (setelah semua gaya prategang diperhitungkan)
$P_o$	= Gaya jacking force
$P_i$	= Initial prestress force
$P_t$	= Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaryh gaya prestress
$P_{eff}$	= Gaya prategang efektif
$R$	= Faktor reduksi dari benda uji kubus ke silinder
$W$	= Berat jenis beton
$W_a$	= Luas penampang Atas
$W_{ac}$	= Tahanan momen sisi atas pelat
$W_b$	= Luas penampang bawah
$W_{bc}$	= Tahanan momen sisi bawah

$Y_b$	= Jarak dari pusat titik berat ke bawah balok
$Y_a$	= Jarak dari pusat titik berat ke atas balok
$e\varepsilon$	= Regangan elastis
$c\varepsilon$	= Regangan rangkai
$\varepsilon_{sh}$	= Regangan susut
$C$	= Faktor relaksasi
$CR$	= Kehilangan tegangan akibat rangkai
$\varphi$	= Faktor reduksi kekuatan
$\sigma_{top}$	= Tegangan pada bagian atas balok
$\sigma_{bot}$	= Tegangan pada bagian bawah balok
$\mu$	= Koefisien gesekan
$\alpha$	= Sudut pada tendon
$\beta$	= Deviasi angular wobble terhadap variasi selongsong tendon





## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan pelayanan bagi jasa transportasi adalah salah satu solusi alternatif untuk mengatasi kemacetan akibat penggunaan kendaraan yang semakin meningkat dimasyarakat. Seperti halnya pelebaran jalan dan jembatan bilal (Bhayangkara) Kecamatan Medan Timur Sumatera Utara. Jembatan jalan bilal adalah jembatan yang menyambungkan prasana jalanan dari saluran parit sulang saling dengan bentang 21,6 meter. Jembatan tersebut di prediksi akan mengalami kemacetan pada 2 atau 3 tahun kedepan, maka perlu direncanakannya pembangunan pelebaran pada jembatan tersebut.

Hal ini mengharuskan jembatan memiliki tingkat keamanan yang baik. Jika suatu jembatan runtuh atau tidak berfungsi dengan baik, maka akan mengganggu dan bahkan dapat membuat lumpuh sistem transportasi. Jembatan yang akan ditinjau adalah pelebaran jembatan Bilal Kecamatan Medan Timur yang dilakukan pada ruas sisi kanan dan kiri Jembatan sebesar 5,5 meter. Sebelumnya jembatan tersebut menggunakan balok gelagar bertulang biasa, dan kemudian pada pelebaran jembatan tersebut direncanakan dengan menambahkan *Precast Concrete I (PCI)* sebagai balok gelagar yang menggunakan sistem konstruksi beton prategang.

Dalam buku (Lin & Burns, 2000) bahwasannya nilai kehilangan gaya prategang yang diizinkan yaitu 25% untuk pratarik dan 20% untuk pasca tarik. Tetapi bila gaya prategang rata-rata pada komponen struktur (Pe/Ac) tinggi sekitar 7 MPa, maka kehilangan gaya prategang bertambah menjadi 30% untuk pratarik

dan 25% untuk pasca-tarik. Jika nilai rata-rata prategang rendah sekitar 1,7 MPa, maka kehilangan prategangnya harus dikurangi sampai 18% untuk pratarik dan 15% untuk pasca-tarik.

Analisis kehilangan gaya prategang dibuat untuk keadaan yang istimewa di mana lendutan dapat menjadi kritis. Beberapa struktur mempunyai batas lendutan yang ketat akibat toleransi rancangan yang dipakai, seperti ditetapkan batas lendutan izin pada balok jembatan dalam penelitian ini yang mengacu pada RSNI T-12-2004. Beranjak dari kondisi ini, penulis tertarik mengangkat judul “Analisis Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Pada Balok Gelagar Jembatan Parit Sulang Saling”. Diharapkan dari penelitian ini dapat menjadi pengetahuan kepada pembaca tentang bagaimana cara menganalisis penampang jembatan balok prategang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Berapa total kehilangan gaya prategang secara langsung dan gaya prategang tergantung waktu pada girder jembatan?
2. Apakah total kehilangan gaya prategang termasuk dalam batas izin yang ditetapkan dan aman?
3. Apakah lendutan yang terjadi pada balok girder memenuhi syarat lendutan yang diizinkan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui persentase kehilangan gaya prategang jangka pendek dan kehilangan gaya prategang jangka panjang pada balok girder jembatan .
2. Mengetahui apakah nilai total kehilangan gaya prategang termasuk dalam batas izin yang ditetapkan.
3. Mengetahui lendutan yang terjadi pada balok terhadap syarat lendutan yang diizinkan.

### 1.4 Maksud Penelitian

Adapun maksud daripada penelitian yang saya lakukan yaitu melakukan analisis untuk mengetahui berapa nilai kehilangan gaya prategang yang terjadi pada balok prategang akibat pengaruh jangka pendek dan jangka panjang sesuai pada rumus ACI dalam buku (Edward. G. Nawy. 2001). Serta menganalisis lendutan yang terjadi pada balok girder akibat beban yang bekerja setelah mengalami kehilangan gaya prategang dengan menggunakan SNI 1725:2016 sebagai acuan pembebanan pada balok jembatan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah menjadi bahan referensi ataupun acuan alternatif dalam menghitung tentang kehilangan tegangan beton prategang akibat dari *stressing* pada beton prategang *post-tensioned*. Bagi peneliti, dapat menambah pengetahuan dan memperluas wawasan tentang beton prategang.

## 1.6 Batasan Masalah

Penelitian ini terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Struktur beton yang ditinjau dalam penelitian ini adalah pada Pelebaran Jembatan Jl. Bilal Ujung Kec.Medan Timur dengan panjang bentang 25,6 meter.
2. Sistem penarikan (*stressing*) beton prategang yang digunakan adalah pasca tarik (*post-tensioned*).
3. Analisa perhitungan pembebanan yang bekerja pada pelebaran jembatan menggunakan SNI 1725:2016.
4. Tidak meninjau metode pelaksanaan pekerjaan ereksi girder.
5. Penelitian ini fokus hanya membahas perhitungan kehilangan gaya prategang.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

(Hidayat, 2013), telah melakukan penelitian yang berjudul “*anlisis Perhitungan Jembatan Gelagar I Pada Jembatan Jalan Raya Dan Jembatan Kereta Api*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Analisis perhitungan kedua jenis jembatan (jalan raya dan kereta api) menggunakan panjang gelagar, jarak antar gelagar, penampang gelagar, tebal pelat, dan tebal deck slab yang sama. Kuat tekan beton untuk gelagar adalah 724,3 kg/cm<sup>2</sup> (K-800) sedangkan untuk pelat 291,8 kg/cm<sup>2</sup> (K-350). Kabel prategang yang digunakan yaitu uncoated stress relieve 7 wires strand dengan kuat tarik ultimate: 19.000 kg/cm<sup>2</sup> , diameter: 12,7 mm, luas efektif: 0,987 cm<sup>2</sup> , dan modulus elastisitas 1.960.000 kg/cm<sup>2</sup> . Dari hasil Perhitungan antara jembatan gelagar I bentang 50 m, dapat di ambil kesimpulan bahwa untuk tinggi gelagar 210 cm pada jembatan kereta api, tegangan pada serat bawah tidak mencukupi batas tegangan yang di ijinakan. Dari hasil ini dapat diidentifikasi bahwa dengan tinggi gelagar 210 cm pada jembatan kereta api belum mampu menahan beban yang ada pada jembatan kereta api.

Penelitian yang berjudul “*Perancangan Struktur Atas Jembatan Leuwi cantik Dengan Konstruksi Beton Prategang Profil I Girder*” oleh (Hariansyah & Sekaryadi, 2022) membahas tentang perbaikan jembatan yang sudah tidak layak dengan panjang jembatan 21 m dengan lebar 5 m, untuk balok girder menggunakan beton prategang dengan tinggi 160 cm serta jarak antar balok girder

150 cm. Tiang sandaran memiliki dimensi 40x15 cm dengan jarak antar tiang 200 cm dan tinggi tiang 100 cm, tulangan yang digunakan 4Ø10 mm dengan tulangan sengkang Ø6-150 mm. Plat kendaraan memiliki tebal 20 cm dengan tulangan utama Ø10-200 mm. Deck slab memiliki dimensi panjang 100 cm, lebar 100 cm dan tebal 7 cm dengan tulangan utama Ø8-100 mm dan tulangan pembagi Ø8-250 mm. Balok diagfragma memiliki panjang 125 cm, tinggi 132 cm, dan tebal 20 cm dengan tulangan utama Ø13 mm dan tulangan sengkang Ø8 mm. Untuk tendon yang digunakan sebanyak 4 buah tendon dengan tipe VSL ½ inc berdiameter 12,7 mm dan menggunakan jenis unit E5-10 yang memiliki luas baja 1,53 inc<sup>2</sup>.

(Sari, 2022), dengan penelitiannya yang berjudul “*Analisis Kehilangan Gaya Prategang Girder Pada Jembatan Proyek Pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi – Inderapura*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar persentase kehilangan gaya prategang yang terjadi pada balok jembatan. Kehilangan gaya prategang tidak boleh melebihi maksimal dari yang telah ditentukan. Terdapat beberapa kehilangan gaya prategang yang diperhitungkan. Kehilangan prategang jangka pendek yaitu perpendekan elastis beton, gesekan disepanjang tendon dan slip ankur. Selanjutnya Kehilangan gaya prategang jangka panjang yaitu rangkai pada baja, susut pada beton dan relaksasi baja. Setelah semua kehilangan gaya prategang diperhitungkan maka didapatkan total kehilangan gaya prategang sebesar 21,62%. Untuk mengetahui batas maksimal persentase dari kehilangan gaya prategang menggunakan perhitungan dari buku Desain Struktur Beton Prategang oleh T. Y. Lin & H. Burns dengan rumus yaitu  $P_e/A_c$  dan didapat nilainya 8,98 MPa. Dimana 8,98 MPa sebesar 25%, sehingga 21,62% lebih kecil dari 25%, jadi masih aman. Sebagai tambahan diperkenalkan metode pelaksanaan

dalam pemasangan girder pada jembatan.

(Yustika Hubertha Haning et al., 2021), telah melakukan penelitian dengan judul “*Studi Alternatif Struktur Atas Jembatan Dengan Balok Girder Prategang Tipe I*”. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan alternatif struktur atas jembatan Langgaliru dengan menggunakan balok girder prategang. Bentuk penampang balok girder yang digunakan pada perencanaan adalah balok girder tipe I. Pemberian tegangan dilakukan dengan metode Pasca Tarik (*Post-Tensioning*) dimana *compressive force* diinduksi ke dalam struktur beton dengan menggunakan high strength steel tendon yang dipasang dalam *ducts embedded* dalam beton. Tendon *distressing* setelah beton dicor dan dicuring sampai kuat tekan beton yang disyaratkan. Jumlah tendon yang digunakan 3 buah yang masing-masing tendon terdiri dari 15 untaian (strand). Tulangan Geser yang digunakan adalah D 19 – 250, penghubung geser yang digunakan adalah D 19 – 700, tulangan pecah ledak arah vertikal yang digunakan adalah D 10 – 550, tulangan pecah ledak arah horizontal yang digunakan adalah D 10 – 550, tulangan pecah gumpal arah vertikal yang digunakan adalah D 36 – 60, tulangan pecah gumpal arah horizontal yang digunakan adalah D 36 – 240.

Penelitian berjudul yang berjudul “*Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0 – 152*” Oleh (Apriyanto, 2021) membahas Pada perencanaan jembatan beton prategang menggunakan I girder sebagai struktur utamanya. Bentang jembatan section 0-152 adalah 80 m terbagi dalam jarak masing-masing 40 m. Dasar perencanaan struktur PCI Girder dan pembebanan jembatan mengacu pada Bridge Management System ( BMS, 1992), dengan tegangan ijin dari PCI girder mengacu pada SNI 03-2847-2002.

Analisa pembebanan yaitu beban mati, beban hidup, beban angin dan analisa pengaruh waktu seperti rangkai, susut dan kehilangan prategang. Dari analisa perhitungan balok induk berbentuk I diperoleh lebar jembatan yang direncanakan 2 lajur 1 arah, dengan lebar per arah 3,5 meter. Disisi kanan kiri jalan terdapat concrete barrier dengan lebar 0,6 meter. Perencanaan ini dimulai dengan pengumpulan data-data teknis yang diperlukan dalam perencanaan. Kemudian dilanjutkan dengan penjelasan mengenai latar belakang pemilihan jembatan, perumusan tujuan perencanaan, pembahasan, dan dasar-dasar perencanaan yang mengacu pada peraturan perencanaan jembatan RSNI T-02- 2005, SNI T-12-2004, dan ASTM A416. Analisa beban yang terjadi seperti : analisa berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas, dan analisa pengaruh waktu seperti creep dan kehilangan gaya prategang. Kemudian dari hasil analisa tersebut dilakukan kontrol tegangan yang terjadi pada struktur. Tahap yang terakhir dari perencanaan ini adalah perencanaan perletakan. Akhir dari perencanaan ini adalah didapat bentuk dan dimensi penampang I girder yang mampu menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan, sehingga didapat suatu struktur jembatan yang aman.

Penelitian yang berjudul “*Analisa Nilai Sisa Kapasitas Balok Prategang Tipe-I Jembatan Pulas Dengan Menggunakan Metode Rating Factor*” oleh (Arifai et al., 2013) Penelitian ini dilakukan pada gelagar balok prategang tipe-I. Penentuan pembebanan mengacu pada Standar Pembebanan untuk Jembatan (RSNI T-02-2005), sedangkan analisis tampang jembatan menggunakan Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004). Dari hasil analisis diperoleh RF berdasarkan inventory antara lain : RF akibat momen sebesar  $0,634 < 1$  (tidak aman) dan RF akibat gaya geser sebesar  $1,147 > 1$



(aman). Sedangkan RF berdasarkan operating antara lain : RF akibat momen sebesar  $1,14 > 1$  (aman) dan RF akibat gaya geser sebesar  $1,198 > 1$  (aman). Kemudian lendutan yang terjadi setelah kombinasi ialah 0,03899 m. Kesimpulan yang dapat diambil adalah nilai RF pada kondisi inventory akibat momen dinyatakan tidak aman, sedangkan kondisi inventory akibat gaya geser dinyatakan aman. Kemudian nilai RF pada kondisi operating akibat momen maupun gaya geser dinyatakan aman. Pada analisis lendutan yang terjadi pada balok prategang dinyatakan bahwa lebih kecil daripada lendutan ijin sebesar 0,0667 m.

## 1.2 Perbedaan Penelitian

Berikut adalah tabel persamaan dan perbedaan antara penelitian saat ini dengan penelitian terdahulu.

Tabel 1. persamaan dan perbedaan penelitian terdahulu

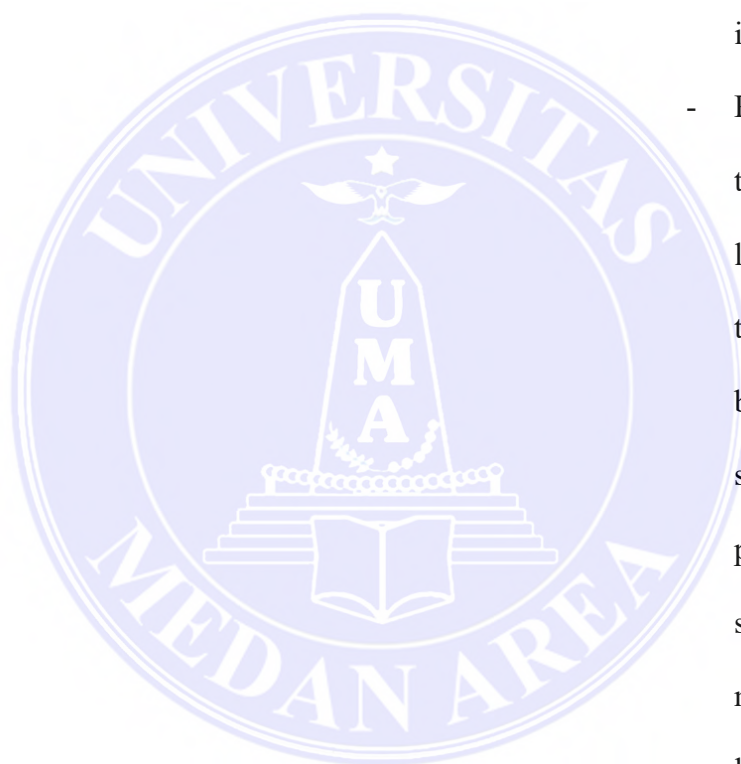
No.	Penulis	Judul	Persamaan	Perbedaan
1.	(Hidayat, 2013)	Gelagar I Pada Jembatan Jalan Raya Dan Jembatan Kereta Api	Pada ini membahas perhitungan balok prategang PCI pada jembatan.	Perbedaan penelitian terdapat pada studi kasus yang sangat berbeda dan juga pada penelitian Hidayat pembebanan menggunakan RSNI -T-02-2005 sedangkan penelitian ini menggunakan

			SNI 1725-2016 sebagai acuan perhitungan pembebanan.
2.	(Hariansyah & Sekaryadi, 2022)	Perencanaan Struktur Atas Jembatan Leuwi Cantik dengan Konstruksi Beton Prategang Profil I Girder PCI Girder dan pada jembatan menggunakan SNI 1725-2016.	- Studi kasus berbeda Pada penelitian Wan Wan dan Yudi lebih fokus terhadap perhitungan dimensi serta momen inersia gelagar dari pada perhitungan kehilangan gaya prategang pada balok gelagar.
3.	(Sari, 2022)	Analisis Kehilangan Gaya Prategang Girder Pada Jembatan Penelitian dengan judul yang sama yaitu analisis kehilangan gaya prategang pada	- Terletak perbedaan pada studi kasus lokasi proyek penelitian Nur

---

Pembangunan	balok gelagar	Purnama Sari
Jalan Tol		membahas
Tebing Tinggi –		metode
Indera Pura		pemasangan
		Girder,
		sedangkan
		penelitian saat
		ini tidak.
		- Penelitian Nur
		tidak membahas
		lendutan yang
		terjadi pada
		balok,
		sedangkan
		penelitian
		sekarang
		memhitung
		lendutan yang
		terjadi.

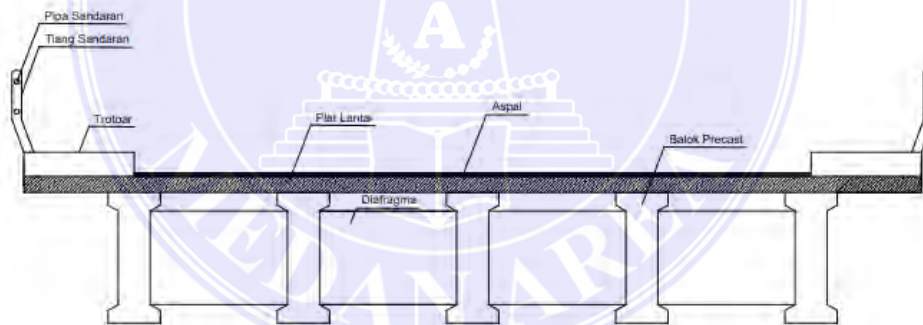
---



## 2.3 Pengertian Jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan struktural yang digunakan untuk melewati orang atau kendaraan di atas dua daerah/kawasan atau ruang yang terpisah oleh sungai, lembah, jurang, jalan atau hambatan fisik lainnya. Jembatan mempunyai fungsi sebagai penghubung dua daerah yang terpisah untuk melancarkan dan memudahkan kegiatan manusia. (BSN, 2008)

Elemen struktur jembatan dibagi menjadi empat bagian utama, yaitu struktur bawah, struktur atas, jalan pendekat (oprit) dan bangunan pengaman. Untuk struktur atas jembatan adalah bagian yang memindahkan beban pada lantai jembatan ke perletakan. Sedangkan lantai jembatan adalah bagian dari jembatan yang langsung menerima beban yang meliputi beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki dan lain-lain.



Gambar 1. Bangunan Atas Jembatan (Dokumen Proyek, 2023)

Struktur atas jembatan umumnya terdiri dari :

- 1) Trotoar
  - a) Sandaran dan tiang sandaran
  - b) Peninggian trotoar (kerb)
  - c) Lantai trotoar
- 2) Lantai kendaraan/jembatan

- 3) Gelagar induk/Balok Jembatan
- 4) Balok diafragma
- 5) Ikatan pengaku (ikatan angin dan ikatan melintang)
- 6) Tumpuan (bearing)

Jembatan berfungsi untuk melayani arus lalu lintas dengan baik, dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis serta estetika-arsitektural yang meliputi aspek lalu lintas, aspek teknis, dan aspek estetika. Jembatan adalah bagian jalan yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua jalan yang terpisah karena suatu rintangan seperti sungai, lembah, laut, jalan raya dan rel kereta api. Jembatan sangat vital fungsinya terhadap kehidupan manusia dan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi tiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik (Supriyadi & Muntohar, 2007).

## 2.4 Jembatan Gelagar Beton

Jembatan gelagar beton berdasarkan macam konstruksi terdiri atas jembatan beton non prategang/beton bertulang dan jembatan beton prategang. Jembatan beton non prategang/beton bertulang, adalah struktur jembatan yang memakai bahan beton dan penulangan baja. Jembatan beton prategang, adalah struktur jembatan yang memakai bahan beton dan kawat baja bermutu tinggi, dimana kawat baja tersebut harus ditarik terlebih dahulu sebelum bekerjanya beban luar. Penarikan baja ini menyebabkan tertekannya beton yang ada disekitarnya, sehingga beton menjadi mampu menahan beban yang lebih tinggi sebelum mengalami keretakan (Supriyadi & Muntohar, 2007).

### 2.4.1. Beton Prategang

Saat ini lebih dari 50% jembatan dibuat dengan sistem beton prategang, baik berupa balok pracetak dengan perletakan sederhana struktur menerus dengan gelagar profil dan *box* maupun *cable stayed*. Jika dibandingkan dengan kayu, beton bertulang atau baja, penggunaan beton prategang pada struktur atas jembatan tergolong relatif baru. Eugene Freyssinet memperkenalkan penggunaan kawat baja berkekuatan tinggi disamping beton mutu tinggi, sebagai beton prategang yang kemudian dipatenkan pada tahun 1928. (Supriyadi 2007)

Beton prategang adalah jenis beton dimana tulangan bajanya ditarik/ ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat dan daktail terhadap tekanan dan sebaliknya lemah serta rapuh terhadap tarikan maka kemampuan menahan beban luar dapat ditingkatkan dengan pemberian pratekanan. Sedangkan menurut komisi ACI, beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan dalam dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban luar. Pada elemen beton bertulang, sistem prategang dilakukan dengan menarik tulangnya. (Supriyadi, 2007)

Pada konstruksi beton prategang biasanya dipergunakan beton mutu tinggi dengan kuat tekan  $f_c' = 30\sim 40$  MPa, hal ini diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada pengankuran tendon (baja prategang) agar

tidak terjadi keretakan-keretakan. Kuat tarik beton mempunyai harga yang jauh lebih rendah dari kuat tekannya. SNI 03-2874-2002 menetapkan untuk kuat tarik beton  $\sigma_{ts} = 0,50 \sqrt{f_c}$  sedangkan ACI menetapkan  $\sigma_{ts} = 0,60 \sqrt{f_c}$ . Modulus elastisitas beton E dalam SNI 03-2874-2002 ditetapkan :  $E_c = (w_c)^{1,5} \times 0,043 \sqrt{f_c}$

Dimana :

$E_c$  = modulus elastisitas beton ( MPa )

$w_c$  = berat voluna beton ( kg/m<sup>3</sup> )

$f_c$  = tegangan tekan beton ( MPa )

sedangkan untuk beton normal diambil :  $E_c = 4700 \sqrt{f_c}$  MPa

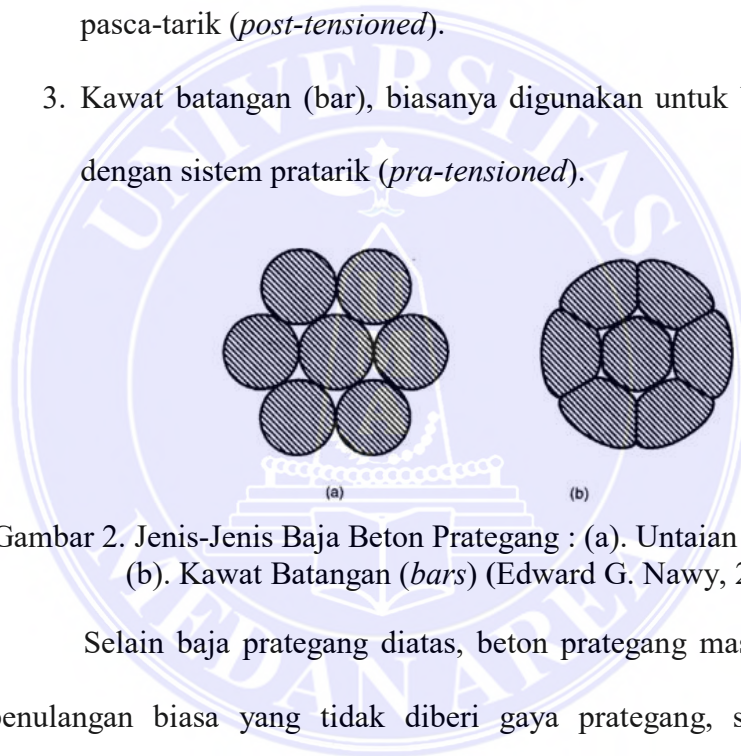
#### 2.4.2 Baja Prategang

Baja pada konstruksi beton prategang (tendon) merupakan penyebab terjadinya pemendekan pada beton dikarenakan pengaruh rangkak dan susut. Kehilangan gaya prategang pada baja sesaat setelah penegangan pada baja akibat gesekan disepanjang tendon atau saat pengangkutan ujung (*draw-in*) akan mempengaruhi gaya prategang pada beton dengan angka yang cukup signifikan.

Untuk tujuan ke-efektifan desain, total kehilangan gaya prategang harus relatif kecil dibandingkan gaya prategang yang berkerja. Kondisi ini dipengaruhi oleh jenis baja prategang yang digunakan dalam konstruksi. Pada proyek Pelebaran Jembatan Bilal baja yang digunakan adalah baja strand sebagai tulangan prategang dan baja tulangan biasa sebagai tulangan geser.

Baja tulangan (tendon) dilapangan dalam pengaplikasian beton prategang ada tiga macam, yaitu :

1. Kawat tunggal (*wires*), kawat ini hanya menjadi satu bagian belum digabungkan biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pra tarik (*pratensioned*).
2. Kawat untaian (*strand*), kawat ini merupakan gabungan dari wires yang biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pasca-tarik (*post-tensioned*).
3. Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pratarik (*pra-tensioned*).



Gambar 2. Jenis-Jenis Baja Beton Prategang : (a). Untaian Kawat (*Strand*) (b). Kawat Batangan (*bars*) (Edward G. Nawy, 2001)

Selain baja prategang diatas, beton prategang masih memerlukan penulangan biasa yang tidak diberi gaya prategang, seperti tulangan memanjang, sengkang, tulangan untuk pengankuran dan lain-lain.

### 2.4.3 Konsep Prategang

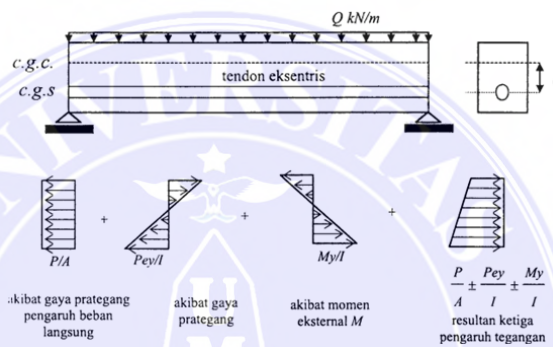
(Lin & Burns, 2000) ada tiga konsep yang berbeda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang yaitu :

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

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis dan



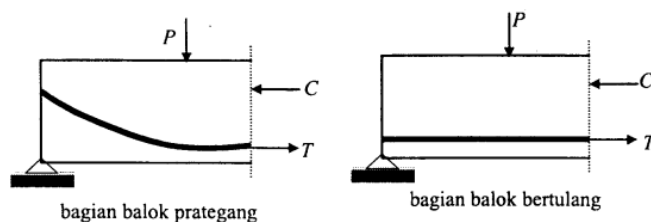
merupakan pendapat yang umum dari para insinyur. Ini merupakan buah pemikiran *Eugene Freyssinet* yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik.



Gambar 3. Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris. (supriyadi,2007)

2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan desakan. dengan demikian kedua bahan membentuk tahanan untuk menahan momen eksternal.



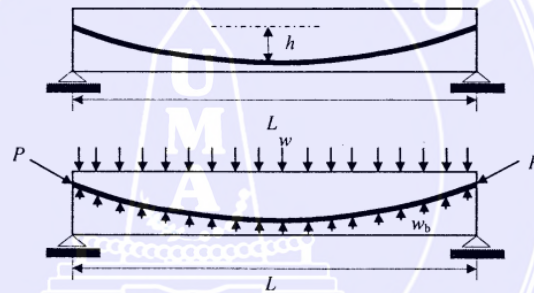
Gambar 4. Momen Tahanan Internal Pada Balok Beton Prategang & Beton Bertulang. (Supriyadi, 2007)

3. Sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban.

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai usaha untuk

membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya pada beton sepanjang bentang.

Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prate- gang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit.



Gambar 5. Balok Prategang Dengan Tendon Parabola (Supriyadi, 2007)

#### 2.4.4 Metode Beton Prategang

Pada dasarnya ada 2 macam metode pemberian gaya prategang pada beton, yaitu :

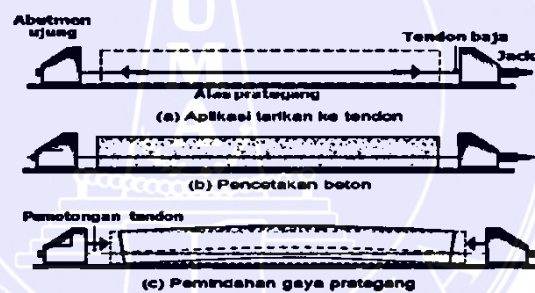
##### 1. Pra-Tarik (*Pre-Tension Method*)

Dalam sistem pretensioning, tendon baja kekuatan tinggi ditarik diantara dua ujung abutmen (juga disebut bulkhead ) sebelum pengecoran beton. Abutmen-abutmen dikekang pada ujung-ujung landasan prategang. Pada saat beton mencapai kekuatan yang diinginkan untuk penegangan, tendon-tendon diputus dari abutmen-

abutmennya. Gaya pratekan ditransfer ke beton dari tendon, berdasarkan ikatan/reakatan diantara beton dan tendon. Selama transfer prategang, elemen mengalami perpendekkan elastik. Apabila tendon diaplikasikan secara eksentris, elemen sangat mungkin mengalami lenturan dan defleksi.

Tahap-tahap dari pelaksanaan pretensioning sbb:

1. Pengangkuran tendon pada ujung-ujung abutmen
2. Penempatan *jack-ack* (dongkrak)
3. Aplikasi tarikan pada tendon
4. Pencetakan beton
5. Memutus tendon



Gambar 6. Tahap-tahap *Pretensioning* (Pra Tarik) (Supriyadi, 2007)

## 2. Pasca Tarik (*Post-Tension Method*)

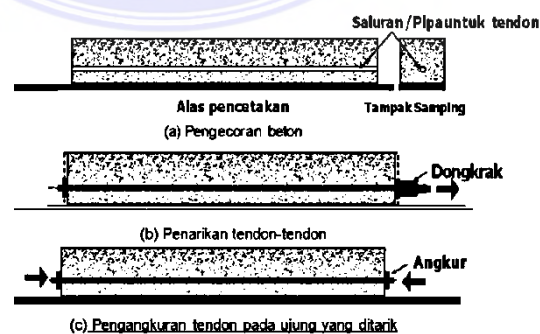
Dalam sistem *post-tensioning*, pipa atau saluran untuk tendon (*strands*) ditempatkan bersama-sama dengan penulangan sebelum pencetakan beton. Tendon dimasukkan kedalam saluran (pipa) sesudah pencetakan beton. Pipa mencegah kontak diantara beton dan tendon selama pelaksanaan penarikan. Tidak seperti sistem *pretensioning*, tendon-tendon ditarik dengan reaksi yang bekerja terhadap beton yang mengeras. Bila saluran/pipa dipenuhi dengan

injeksi semen (*grout*), maka ini disebut post-tensioning terekat (*bonded*). Injeksi merupakan pasta semen murni atau suatu mortar semen-pasir yang mengandung bahan tambahan yang sesuai. Dalam sistem post-tensioning tak-terekat (*unbonded*), pipa/saluran tidak pernah diinjeksi dan tendon ditahan semata-mata oleh pengangkuran ujung. Profil saluran bergantung pada kondisi tumpuan.

Untuk elemen perletakkan sederhana, saluran mempunyai suatu profil penurunan diantara ujung-ujung. Untuk elemen perletakkan menerus, saluran menurun pada bagian bentangan dan naik di atas tumpuan.

Tahap-tahap dari pelaksanaan post-tensioning :

1. Pengecoran beton
2. Penempatan tendon
3. Penempatan blok angkur dan dongkrak
4. Aplikasi tarikan pada tendon-tendon
5. Pengaturan pasak/baji
6. Pemotongan tendon



Gambar 7. Tahap-tahap *Post-Tensioning* (Pasca Tarik) (Supriyadi, 2007)

## 2.4.5 Jenis balok Jembatan

### 1. PC Voided Slab PC

Voided slab merupakan girder yang menggabungkan fungsi girder sekaligus slab. PC voided slab biasanya digunakan pada jembatan bentang pendek. Bentang terpanjang untuk jenis girder ini adalah 17 meter.

### 2. Box Girder

*Box girder* merupakan girder jembatan yang dalam spesifikasi produksi tidak memiliki batasan panjang bentang. Dalam tahapan pekerjaan, box girder terlebih dahulu mengalami proses *erection* dan diangkat per segmental. Proses stressing dilakukan setelah tahapan *erection*. Bentuk dari *Box girder* juga cukup memenuhi nilai estetika pada bangunan jembatan.

### 3. PCI Girder

*PCI girder* merupakan girder jembatan yang memiliki bentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing daripada bagian pinggir. *PCI girder* merupakan girder dengan penampang yang kecil dibanding dengan jenis girder lainnya dan memiliki berat sendiri yang relatif lebih ringan per unitnya *PCU Girder*

*PCU girder* merupakan girder jembatan yang memiliki bentuk penampang yang lebar namun pada bagian tengah bentang penampangnya cukup langsing. Berdasarkan dari bentuknya, *PCU girder* cukup memenuhi nilai estetika jembatan. Menurut spesifikasi produksi girder, *PCU girder* memiliki bentang terpanjang sepanjang 42 meter.

#### 2.4.6 Kelebihan dan Kelemahan Beton Prategang

Menurut Nawy dkk., (2001) keuntungan dan kekurangan penggunaan prategang antara lain sebagai berikut:

Keuntungan :

- 1) Mempunyai tinggi yang lebih kecil dibanding dengan beton bertulang dalam kondisi beban dan bentang yang sama sehingga dapat menghemat material betonnya, dan dapat menghemat biaya yang harus dikeluarkan.
- 2) Penghematan jangka panjang penggunaan beton prategang cukup besar, karena dibutuhkan perawatan yang lebih sedikit. Daya guna beton prategang lebih lama karena kontrol kualitasnya lebih baik yaitu penggunaan material yang bermutu tinggi.
- 3) Di gunakan dalam pembuatan jembatan dengan bentang yang panjang, karena beton prategang menghasilkan komponen yang lebih ringan, sehingga rangkai dan susut jangka panjang tidak dapat berperilaku dengan baik.

Kelemahan :

- 1) Pemberian prategang dan material mutu tinggi menjadikan beton prategang memiliki tambahan biaya
- 2) Perbedaan harga awal dengan beton bertulang (tanpa memperhatikan biaya material dan pemberian tegangan) biasanya tidak terlalu besar.
- 3) Pelaksanaan beton prategang ini memerlukan orang dengan kemampuan keahlian khusus.

## 2.5 Pembebanan Jembatan

*Girder* jembatan bilal berupa *PCI girder* prategang dengan panjang bentang adalah 21,6 m yang dibagi dalam 3 segmen, sehingga sebelum proses pemberian tegangan (*stressing*) segmental concrete terlebih dahulu disatukan/dilem dan lalu dilakukan *stressing*.

Jembatan Jl.Bilal termasuk dalam golongan jembatan dengan gelagar tipe I segmental pracetak. Gelagar jembatan terbuat dari bahan beton dengan kuat tekan beton ( $f_c'$ ) = 70 mpa yang dikompositkan terhadap lantai beton bertulang dengan ( $f_c'$ ) = 28 mpa Bentuk gelagar adalah I beam.

Pada penelitian ini digunakan perencanaan jembatan dan SNI 1725 : 2016 sebagai acuan. Pembebanan balok prategang dilakukan untuk mengetahui apakah penampang balok prategang mampu menahan beban yang bekerja pada penampang. Beban mati jembatan adalah kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini dianggap sebagai satu kesatuan aksi yang tidak dapat terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban berkurang. Berikut berat isi untuk beban mati yang mana beban jembatan tersebut terbagi atas :

Tabel 2. Berat Isi Untuk Beban Mati (SNI 1725 : 2016)

No.	Bahan	Berat isi (kN/m <sup>3</sup> )	Kecepatan massa (kg/m <sup>3</sup> )
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2	Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8 - 22,7	1920-2315
5	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25 - 19,6	1250-2000

7	Beton	$f'c < 35$ MPa	22,0 - 25,0	2320
		$35 < f'c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja ( <i>steel</i> )		78,5	7850
9	Kayu (ringan)		7,8	800
10	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )		11,0	1125

### 2.5.1 Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada berikut.

Tabel 3. Faktor Beban Untuk Berat Sendiri (SNI 1725 : 2016)

Tipe	Faktor Beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Beban	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		
		Bahan	Biasa	Terkurang i
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 ditempat	1,00	1,30	0,74
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Untuk menentukan berat sendiri tersebut ada beberapa pembebanan yang bekerja yaitu beban berat diafragma, pelat lantai dan berat balok prategang. diafragma pada gelagar beton prategang ini sebagai pengaku antar gelagar dengan yang lainnya. Maka didapatkan perhitungan beban yang bekerja pada gelagar menggunakan rumus persamaan 2.1 dan



persamaan 2.2.

$$M_{\max} = (1/2 \times n \times X_n - X_0) \times W \quad (2.1)$$

Dimana :

$M_{\max}$  = Momen maksimal diafragma di tengah bentang (kNm)

$N$  = Jumlah diafragma (m)

$X_n$  = Jarak diafragma ujung (m)

$W$  = Berat diafragma (kN)

$$Q_{\text{diafragma}} = 8 \times M_{\max} / L \quad (2.2)$$

Dimana :

$Q_{\text{diafragma}}$  = berat diafragma ekivalen (kN/m)

$M_{\max}$  = momen maksimal diafragma ditengah bentang (kN/m)

$L$  = panjang bentang gelagar (m)

Kemudian untuk menentukan beban mati yang terjadi pada balok prategang dapat diperhitungkan dengan rumus persamaan 2.3 dan persamaan 2.4.

$$W_{\text{balok}} = A \times L \times W_c \quad (2.3)$$

Dimana :

$W_{\text{balok}}$  = Berat balok prategang (kN)

$A$  = Luas penampang balok prategang (m<sup>2</sup>)

$L$  = Panjang bentang balok prategang (m)

$W_c$  = Berat isi beton balok prategang (kN/m<sup>2</sup>)

$$Q_{\text{balok}} = W_{\text{balok}} / L \quad (2.4)$$

Dimana :

$Q_{\text{balok}}$  = Beban merata pada balok prategang (kN/m)

$W_{\text{balok}}$  = Berat balok prategang (kN)

$L$  = Panjang bentang balok prategang (m)

### 2.5.2 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar rencana (SNI 1725 : 2016).

Untuk perhitungan beban mati tambahan pada lapisan aspal dapat menggunakan rumus persamaan (2.5).

$$Q_{\text{ms}} = A \times W \quad (2.5)$$

Dimana :

$Q_{\text{ms}}$  = Beban merata akibat berat aspal (kN/m)

$A$  = Luas penampang aspal ( $\text{m}^2$ )

$W$  = Berat jenis aspal ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )

Berdasarkan SNI 1725 : 2016 pasal 7.3.2 saran lain di jembatan, pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung seakurat mungkin. Berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lainlainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan

penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

### 2.5.3 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

Secara umum, Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian integer dari hasil pembagian lebar bersih jembatan ( $w$ ) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm.

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Beban terbagi rata mempunyai intensitas  $q$  kPa, dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  seperti berikut:

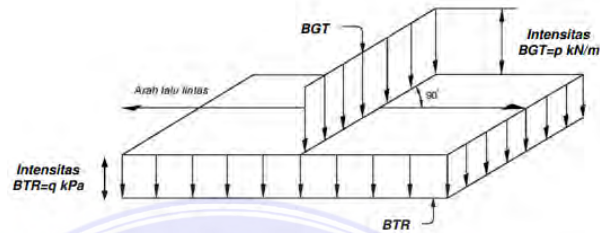
$$L \leq 30m : q = 9,0 \text{ kPa} = 9,0 \text{ kN} \quad (2.6)$$

$$L > 30m : q = 9 (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \tag{2.7}$$

Dimana :

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

$L$  = Panjang jembatan



Gambar 8. Beban lajur “D” (Sumber : SNI 1725 : 2016)

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

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai.

Tabel 4. Faktor Beban untuk Beban T (SNI 1725 : 2016)

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TT}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TT}^S$ )
Transien	Beton	1,00	1.80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

#### 2.5.4 Beban Angin

Beban angin merupakan beban skunder, pengaruh tekanan angin bekerja dalam arah horizontal dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Dalam memperhitungkan jumlah luas bagian jembatan pada setiap sisi digunakan jumlah luas bagian jembatan. Beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan diatas lantai jembatan.

#### 2.5.5 Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masingmasing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

### 2.6 Perhitungan Struktur Beton Prategang

Perhitungan struktur beton prategang bertujuan untuk menentukan nilai tegangan yang akan diberikan ke *strand* atau tendon, menentukan eksentrisitas, dan lintasan tendon.

### 2.6.1 Gaya Prategang

Gaya prategang adalah pemberian tegangan berupa tekan ke penampang beton prategang pada bentang suatu struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup.

Gaya prategang berfungsi untuk mengurangi tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja yang menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa. Dalam menghitung tegangan yang terjadi pada beton prategang ada dua kondisi yang harus diperhatikan yaitu kondisi saat transfer dan kondisi saat beban layan.

### 2.6.2 Tegangan Izin Pada Beton Prategang

Mengacu pada RSNI T-12-2004 Tegangan beton pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai dari rumus persamaan berikut :

$$1. \text{ Tegangan izin serat tekan} = 0,60 \times f_{c(\text{awal})} \quad (2.8)$$

$$2. \text{ Tegangan izin serat tarik} = 0,25 \sqrt{f_{c(\text{awal})}} \quad (2.9)$$

Tegangan beton pada saat beban layan tidak boleh melampaui nilai dari persamaan berikut :

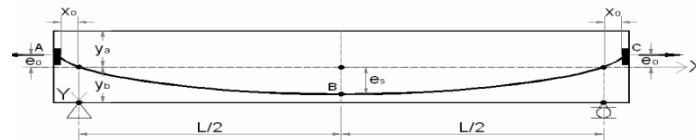
$$1. \text{ Tegangan izin serat tekan} = 0,45 \times f_c \quad (2.10)$$

$$2. \text{ Tegangan izin serat tarik} = 0,5 \times \sqrt{f_c} \quad (2.11)$$

### 2.6.3 Lintasan Inti Tendon

Untuk menentukan lintasan inti tendon dapat menggunakan rumus berikut ini :

$$Y = \left( \frac{4 \cdot f_i \cdot X}{L^2} \right) \cdot (L - X) \quad (2.12)$$



Gambar 9. Lintasan Inti Tendon (Yustika Hubertha Haning, 2021)

Dimana :

Y = Persamaan lintasan tendon

X = jarak yang ditinjau (m)

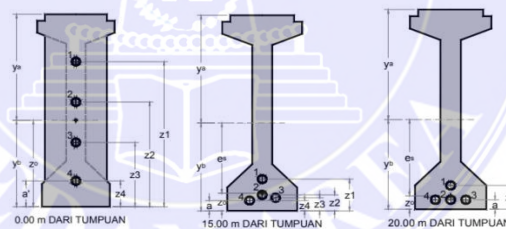
L = panjang bentang jembatan (m)

$F_i = e_s =$  Eksentrisitas tendong (m)

### 2.6.4 Tata Letak & Trace Tendon

Untuk menentukan tata letak dan *trace* tendon dapat menggunakan rumus berikut :

$$Z_o = z_i' - \left[ \left( \frac{4 \cdot f_i \cdot x}{L^2} \right) \right] \cdot (L - X) \quad (2.13)$$



Gambar 10. Tata Letak & Trace Tendon (Yustika Hubertha Haning, 2021)

Dimana :

$Z_o =$  Titik tendon diujung

$Z_i =$  Titik tendon setelah mengalami perlengkungan

## 2.7 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan. Metode – metode empiris untuk memperkirakan kehilangan berbeda-beda menurut peraturan atau rekomendasi, seperti metode komite gabungan ACI-ASCE, AASHTO dll.

Secara umum kehilangan gaya prategang dapat dibagi 2 jenis :

1. Immediate Elastic Losses (Kehilangan Prategang dalam Jangka Pendek) yaitu kehilangan gaya prategang langsung/segera setelah beton diberi gaya prategang.
2. Time dependent Losses (Kehilangan prategang dalam jangka panjang) yaitu kehilangan gaya prategang dari pengaruh waktu.



Gaya Prategang Awal (Jacking Force)    Gaya Prategang Sesaat Transfer (Initial Force)    Gaya Prategang Akhir (Final/Dependent Force)

Berikut adalah jenis kehilangan gaya prategang yang diperhitungkan :

1. Perpendekan Elastis (ES)

Jika gaya prategang ditransfer ke beton (*gaya jacking*), maka beton akan memendek (perpendekan elastis) dan diikuti dengan perpendekan baja prategang yang mengikuti perpendekan baja prategang maka akan menyebabkan terjadinya kehilangan tegangan yang ada pada baja prategang tersebut.

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis menurut



rekomendasi ACI-ASCE untuk kehilangan elastik memperhitungkan pengaruh penarikan yang berturut-turut pada kehilangan elastik, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$K_{es} \cdot E_s \left( \frac{f_{ci}}{E_{ci}} \right) \quad (2.17)$$

Dimana :

$K_{es} = 1,0$  untuk komponen struktur pratarik

$K_{es} = 0,5$  untuk komponen struktur pasca-tarik bila kabel-kabel secara berturut-turut ditarik dengan gaya yang sama

## 2. Kehilangan Prategang Akibat Gesekan Tendon

Pada struktur beton prategang dengan tendon yang dipasang melengkung ada gesekan terhadap penarik (*jacking*) dan ankur, sehingga tegangan yang terjadi pada tendon atau baja prategang akan lebih kecil dari pada bacaan pada alat baca tegangan (*pressure gauge*). Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada tendon akan sangat dipengaruhi oleh :

1. Efek gerakan/goyangan dari selongsong (*wobble*) kabel prategang, untuk itu dipergunakan koefisien *wobble*  $K$ .
2. Kelengkungan tendon/kabel prategang, untuk itu digunakan koefisien geseran  $\mu$ .

Untuk mengetahui kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon dapat dihitung menggunakan rumus yang ditetapkan oleh ACI 318 sebagai berikut :

$$P_x = P_o \times e^{-\mu(\alpha + \beta \cdot Lx)} \quad (2.18)$$

Dimana :

$P_x =$  Gesekan pada tendon ( $N/mm^2$ )

$K$  = Koefesien wobble

$L$  = Panjang segmen yang diperhitungkan (m)

$\mu$  = Koefesien kelengkungan

$\alpha$  = Sudut pada tendon

Berikut adalah tabel Koefesien Wobble :

Tabel 5. Koefesien Gesek Kelengkungan *Wobble* K (Lin, 2000)

Jenis Tendon	Koefesien Wobble K	Koefesien Kelengkungan ( $\mu$ )
Tendon di selebung metal fleksibel		
Tendon kawat	0,0010 – 0,0015	0,15 – 0,25
<i>Strand</i> 7 kawat	0,0005 – 0,0020	0,15 – 0,25
Batang mutu tinggi	0,0001 – 0,0006	0,08 – 0,030
Tendon disaluran metal yang rigid <i>Strand</i> 7 kawat		
	0,0002	0,15 – 0,25
Tendon yang dilapisi <i>mastici</i>		
	0,0010 – 0,0020	0,05 – 0,15
Tendon kawat dan <i>strand</i> 7		
Tendon yang dilumasi dahulu		
	0,0003 – 0,0020	0,05 – 0,15
Tendon kawat <i>strand</i> 7		

### 3. Kehilangan Prategang akibat Slip Pada Angkur

Hal ini terjadi pada saat baja/kabel prategang dilepas dari mesin penarik (dongkrak) kemudian kabel ditahan oleh baja dipengangkuran dan gaya prategang ditransfer dari mesin penarik ke angkur. Besarnya slip pada pengangkuran ini tergantung pad type baja dan tegangan pada kabel prategang (tendon). Besarnya Perpanjangan Total Tendon :

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} E_{ps} \quad (2.19)$$

Dimana :

$\Delta A$  = Besar gelincir (m)

$E_{ps}$  = modulus elastis baja/kabel prategang (Mpa)

$L$  = panjang kabel (m)

#### 4. Kehilangan Prategang akibat Rangkak Pada Beton

Kehilangan Gaya Prategang yang diakibatkan oleh (Rangkak) dari beton ini merupakan salah satu kehilangan gaya prategang yang tergantung pada waktu (time dependent loss of stress) yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian. Kehilangan tegangan akibat rangkakan dapat dihitung dengan persamaan :

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd}) \quad (2.20)$$

Dimana :

$CR$  = rangkakan pada beton

$K_{cr}$  = Koef rangkakan

$E_c$  = modulus elastis beton

$E_s$  = modulus elastis baja

$f_{ci}$  = tegangan pada beton pada level baja setelah ditransfer

$f_{cd}$  = tegangan pada pusat berat tendon beban mati

#### 4. Kehilangan Prategang akibat Susut pada Beton

Penyusutan beton dipengaruhi oleh :

1. Rasio antara volume beton dan luas permukaan beton.
2. Kelembaban relatif waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang.

Kehilangan tegangan akibat penyusutan beton dapat dihitung dengan persamaan :

$$SH = \epsilon_{sh} K_{sh} E_s \quad (2.21)$$

Dimana :

$\epsilon_{sh}$  = susut efektif

RH = kelembaban udara relatif

SH = susut pada beton

$K_{sh}$  = koefesien susut

Untuk menentukan nilai dari koefesien susut tergantung waktu dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6. Koefesien susut ( $K_{sh}$ ) (Lin, 2000)

Waktu Antara (Hari)	1	3	5	7	10	20	30	60
$K_{sh}$	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

## 6. Kehilangan Prategang akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang ini akan tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio antara prategang awal (  $f_{pi}$  ) dan prategang akhir (  $f_{py}$  ). (Budiadi,2008)

Besarnya kehilangan tegangan akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$RE = C [K_{re} - J (SH + CR + ES)] \quad (2.23)$$

Dimana :

C = faktor ralaksasi

Kcr = koefesien relaksasi

J = faktor waktu

Tabel 7. Nilai  $K_{RE}$  dan J (Nawy,2001)

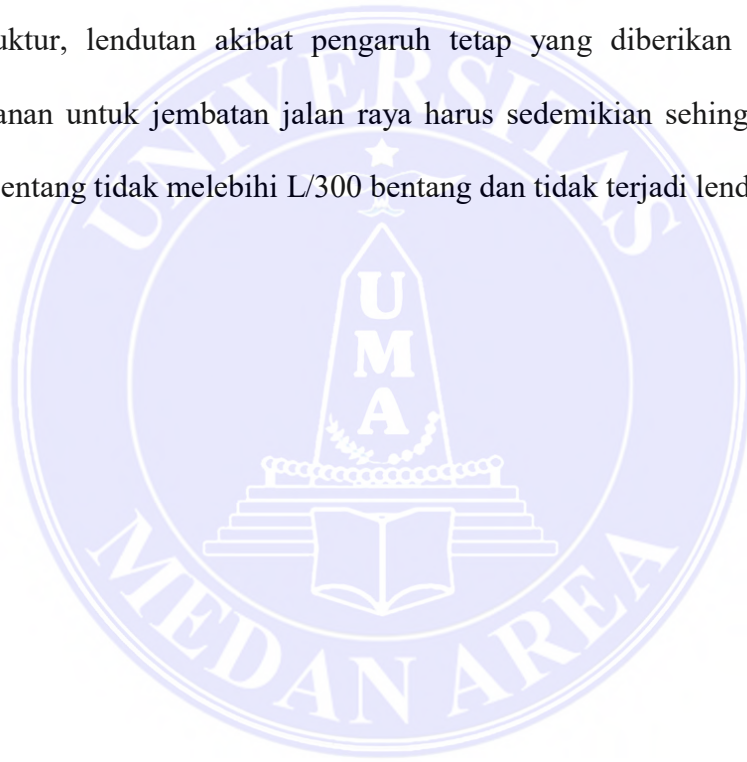
Jenis tendon	$K_{RE}$	J
Kawat atau stress-relieved strand mutu 270	20000	0,15
Kawat atau stress-relieved strand mutu 250	18500	0,14
Kawat stress-relieved strand mutu 240 atau 350	17600	0,13
Strand relaksasi rendah mutu 270	5000	0,04
Kawat relaksasi rendah mutu 250	4630	0,037
Kawat relaksasi rendah mutu 240 atau 235	4400	0,035
Batang stress-relieved mutu 145 atau 160	6000	0,05

Tabel 8. Nilai C (Nawy,2001)

fpi/fpu	Kawat atau strand stressrelieve	Kawat atau strand relaksasi rendah atau batang stressrelieved
0,80		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

## 1.8 Lentutan Izin Balok Prategang

Lentutan yang diizinkan pada sistem struktur sangat bergantung pada besarnya lentutan yang masih dapat ditahan oleh komponen struktur yang berinteraksi pada elemen yang terdefleksi. Dengan demikian akan diperoleh elemen-elemen struktur yang semakin langsing dan dalam hal ini lentutan sesaat maupun jangka panjang sangat perlu dikontrol. Menurut RSNI 12 – 2004 hal. 97, batas lentutan izin yang diperhitungkan agar lentutan tidak mengganggu tampak dari struktur, lentutan akibat pengaruh tetap yang diberikan pada peraturan pembebanan untuk jembatan jalan raya harus sedemikian sehingga pada bagian tengah bentang tidak melebihi  $L/300$  bentang dan tidak terjadi lentutan.

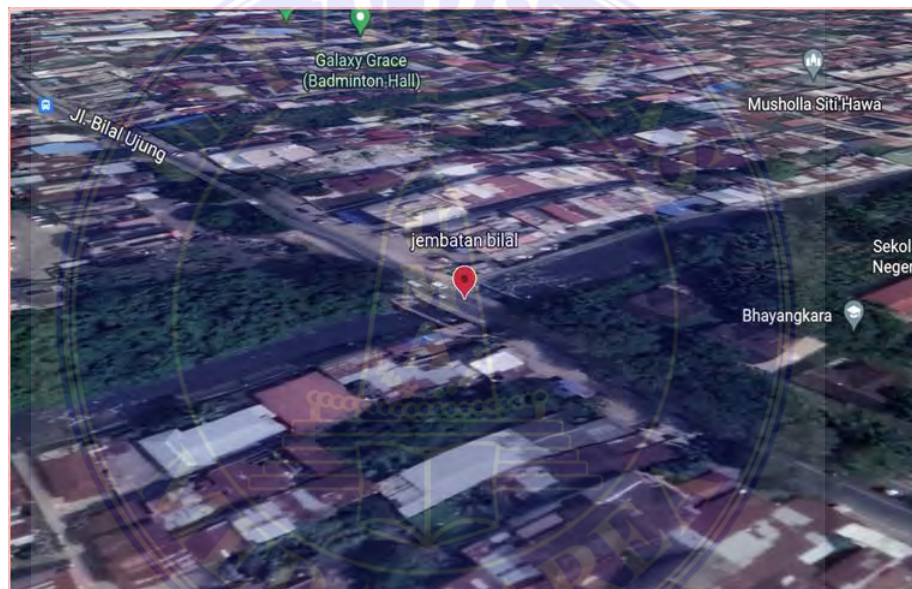


## BAB III

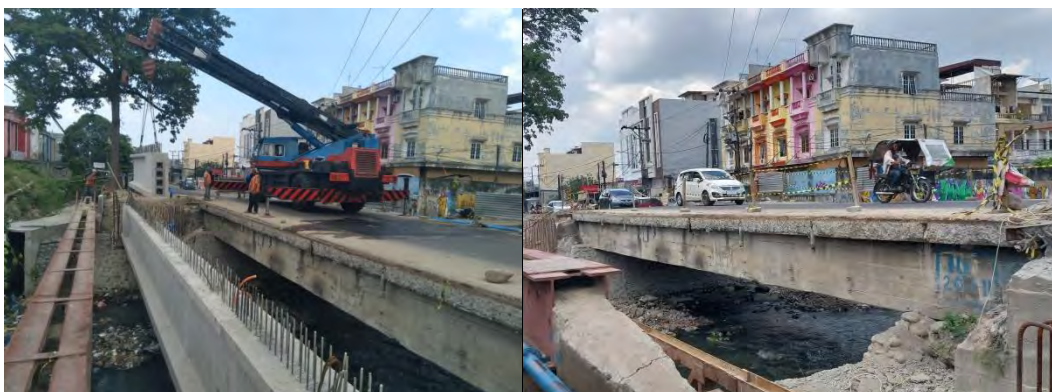
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan Pada Pelebaran Jembatan Bilal yang berlokasi di jalan Bilal Ujung Kec.Medan Timur. Pelebaran jembatan direncanakan sebesar 5,5 meter pada ruas kiri dan kanan dengan panjang jembatan sepanjang 25,6 m. Adapun lokasi penelitian ini dapat dilihat lebih jelas pada peta berikut.



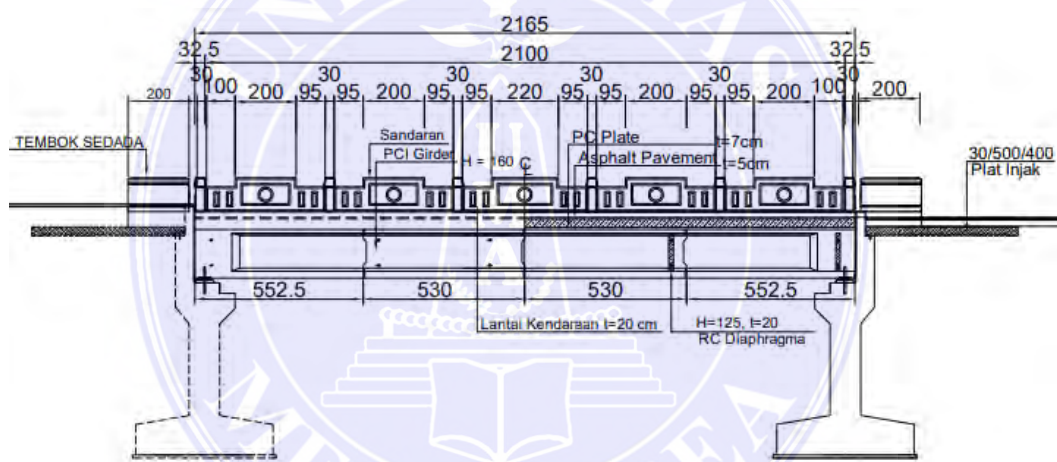
Gambar 11. Peta Lokasi Jembatan Bilal  
Sumber : Aplikasi google earth <https://earth.google.com>



Gambar 12. Situasi Jembatan Bilal (Dokumentasi lapangan)



Gambar 13. Balok Gelagar tipe-I girder (Dokumentasi lapangan)



Gambar 14. Tampak Samping Struktur Jembatan (Bestek jembatan Bilal)

Tabel 9. Uraian Data Jembatan (Data Lapangan Proyek Jembatan Jl.Bilal, 2023)

Uraian	Notasi	Dimensi (m)
Panjang balok prategang	L	21,6
jarak antara balok prategang	s	1,20
Tebal plat lantai jembatan	h <sub>o</sub>	0,20
Tebal lapisan aspal + overlay	h <sub>a</sub>	0,10
Tinggi genangan air hujan	t <sub>h</sub>	0,05



## 3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data lapangan dijabarkan sebagai berikut :

### 3.2.1 Data Primer

Merupakan data yang dikumpulkan secara langsung dari lapangan untuk mengetahui gambaran pekerjaan secara nyata seperti melihat langsung keadaan jembatan ataupun pengukuran secara langsung.

### 3.2.2 Data Sekunder

Merupakan data yang diperoleh dari arsip perusahaan berupa data gambar rencana (profil melintang, profil memanjang, dimensi gelagar dll).

## 3.3 Prosedur Penelitian

Adapun langkah - langkah dalam analisa perhitungan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Mengolah data – data yang ada dilapangan dengan cara, diantaranya :
  - 1) Menghitung analisis penampang girder.
  - 2) Menghitung pembebanan jembatan
2. Melakukan analisis struktur pada *PCI* Girder beton prategang dengan menghitung kehilangan gaya prategang akibat stressing tersebut dan kemudian menyimpulkan berapa total kehilangan gaya prategang pada balok *PCI* Girder tersebut apakah sesuai syarat keamanan.

## 3.4 Tahap Penelitian

### 3.4.1 Persiapan

Tahap persiapan meliputi tinjauan pustaka dan studi literatur. Tinjauan pustaka yaitu mengumpulkan teori-teori, buku acuan, peraturan-

peraturan mengenai pembebanan jembatan dan analisis tegangan. Sedangkan studi literatur, mencari informasi tentang perkembangan penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan bidang yang diteliti, sehingga mudah mengembangkan sesuatu yang belum diteliti.

### **3.4.2 Analisa Penampang Girder**

Tahap analisa yang dilakukan yaitu menghitung dimensi analisa luas penampang girder.

### **3.4.3 Menghitung Pembebanan Jembatan**

Menghitung pembebanan jembatan disesuaikan SNI 1725 : 2016 dengan menghitung pembebanan terhadap beban sendiri, beban mati, beban hidup, dan beban lingkungan.

### **3.4.4 Menghitung Gaya Prategang**

Menghitung gaya prategang yaitu perhitungan gaya prategang awal terhadap bagian atas dan bawah gelagar, bertujuan untuk menentukan nilai tegangan yang akan diberikan ke strand atau tendon, dan menentukan eksentrisitas pada penampang.

### **3.4.5 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang**

Bertujuan untuk mengetahui kehilangan gaya prategang setelah dilakukannya penarikan pada gelagar seperti kehilangan prategang jangka pendek yaitu gesekan pada ankur, gesekan pada tendon dan perpendekan elastis beton, dan juga kehilangan gaya prategang jangka panjang yaitu rangkai pada baja, dan susut pada beton.

### **3.4.6 Menghitung Lendutan**

Bertujuan untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada balok

akibat beban yang ada pada balok tersebut dan mengetahui apakah lendutan tersebut aman.

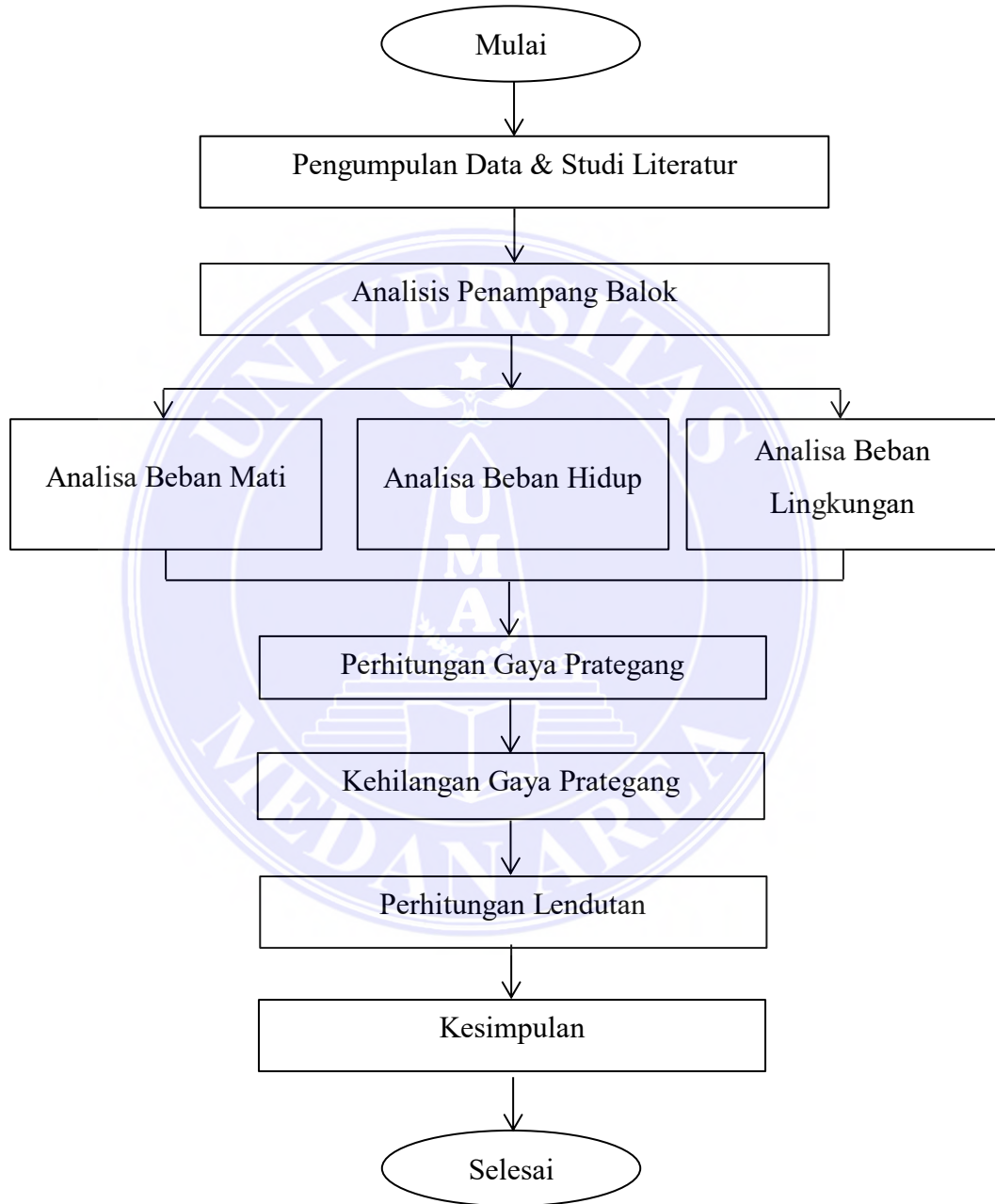
### 3.4.7 Kesimpulan

Berupa hasil yang didapatkan dari penelitian yang telah selesai dilakukan.



### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan dari tahapan penelitian tersebut, maka dapat dilihat bagan alir penelitian sebagai berikut.



Gambar 15. Diagram Alir Penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Terdapat beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dari total kehilangan gaya prategang akibat jangka pendek dan jangka panjang didapat sebesar sebesar 10,60%.
2. Pada batas maksimum kehilangan gaya prategang, dihitung  $P_e/A_c$  dan didapat nilainya 1,75 Mpa. Dimana maksimal kehilangan gaya prategangnya 15%. Total perhitungan kehilangan gaya prategang sebesar 10,60% yang mana angka tersebut lebih kecil dari 15% maka kehilangan prategang dinyatakan lebih kecil dari pada batas yang diizinkan dan aman.
3. Pada hasil analisis lendutan didapat 0,01187 m dan lendutan ijin sebesar 0,07217 m. Apabila dibandingkan, maka lendutan yang terjadi masih didalam lingkup lendutan ijin.

#### 5.2 Saran

Diharapkan untuk perencanaan jembatan, diperhatikan kehilangan gaya prategang agar tidak mendekati batas maksimal yang diizinkan dan hendaknya perencanaan selalu mengacu ada peraturan atau landasan dari pihak berwenang. Pada penelitian selanjutnya akan lebih baik apabila perhitungan selanjutnya menggunakan software dengan ketelitian tinggi agar hasil hitungan yang didapat lebih baik dan juga akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

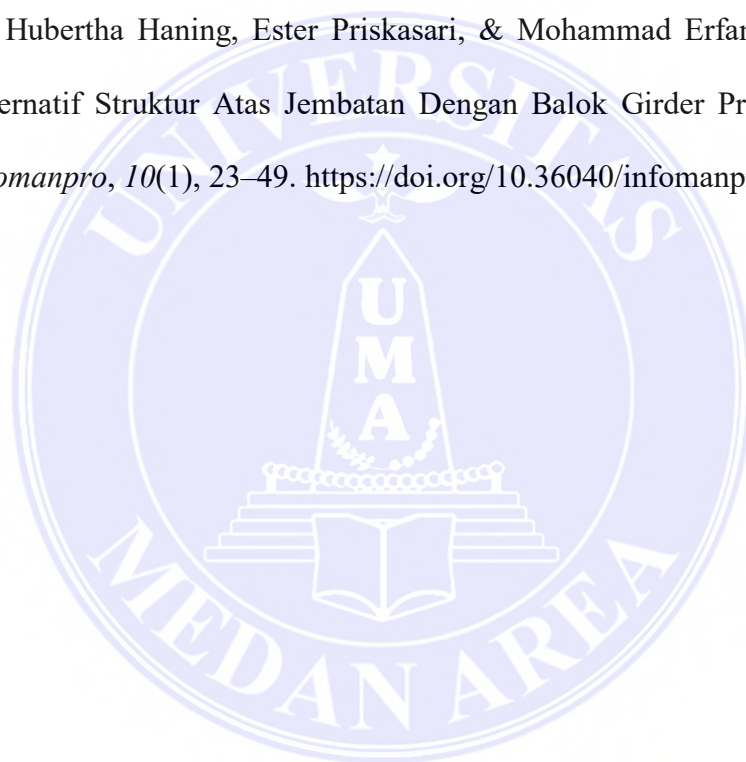
- Apriyanto, D. (2021). Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0-152. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 9(1), 35–40.
- Arifai, Y. A., Soebandono, B., & Syamsi, M. I. (2013). *Analisa Nilai Sisa Kapasitas Balok Prategang Tipe-I Jembatan Pules Dengan Menggunakan Metode Rating Factor*. 20130110069, 1.
- Hariansyah, W. W., & Sekaryadi, Y. (2022). Perencanaan Struktur Bangunan Atas Jembatan Leuwi Cantik Dengan Konstruksi Beton Prategang Profil I Girder. *Jurnal Momen Teknik Sipil*, 5(1), 37.  
<https://doi.org/10.35194/momen.v5i1.2479>
- Harsan Ingot Hasudungan, Nurmaidah Perhitungan, E., Atas, B., Calculation, B., & Of, E. (2021). *BUILDING CALCULATION EVALUATION OF COMPOSITE*. 5(1), 26–36.
- Hidayat, I. (2013). Analisis Perhitungan Jembatan Gelagar I pada Jembatan Jalan Raya dan Jembatan Kereta Api. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 4(1), 517.  
<https://doi.org/10.21512/comtech.v4i1.2797>
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). Desain Struktur Beton Prategang. *Lin, T. Y. Burns, Ned H.*, 441.
- RSNI T-03. (2005). Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. *Rsni T-03-2005*, 9, 5.
- Sari, N. P. (2022). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur ( JITAS ) Analisis*

*Kehilangan Gaya Prategang Girder Pada Jembatan Proyek Analysis Of Loss Of Girder Prestress Forces On Bridge Toll Road Construction Projects High Cllips – Inderapura. 1(2), 112–117.*  
<https://doi.org/10.31289/jitas.v1i2.1456>

SNI T-12-2004. (2004). Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. *SNI T-12-2004*, 1–140.

Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan (Edisi Pertama)*. 1–244.

Yustika Hubertha Haning, Ester Priskasari, & Mohammad Erfan. (2021). Studi Alternatif Struktur Atas Jembatan Dengan Balok Girder Prategang Tipe I. *Infomanpro*, 10(1), 23–49. <https://doi.org/10.36040/infomanpro.v10i1.3634>



## Lampiran 1. Dokumentasi Lapangan



Gambar 1. Proses *stressing* balok prategang  
Sumber : Data Lapangan



Gambar 2. Proses *erection* balok prategang  
Sumber : Data Lapangan



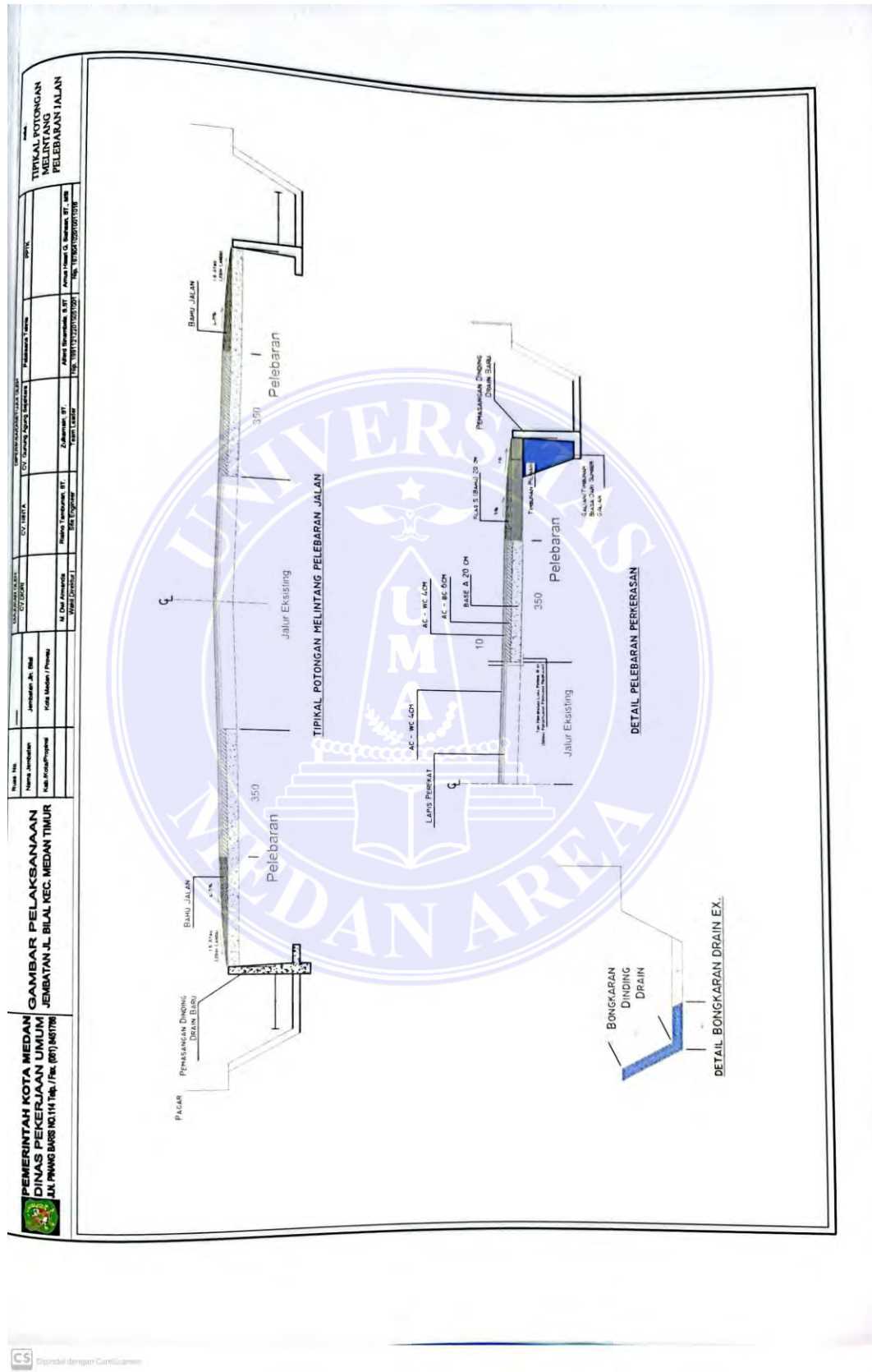


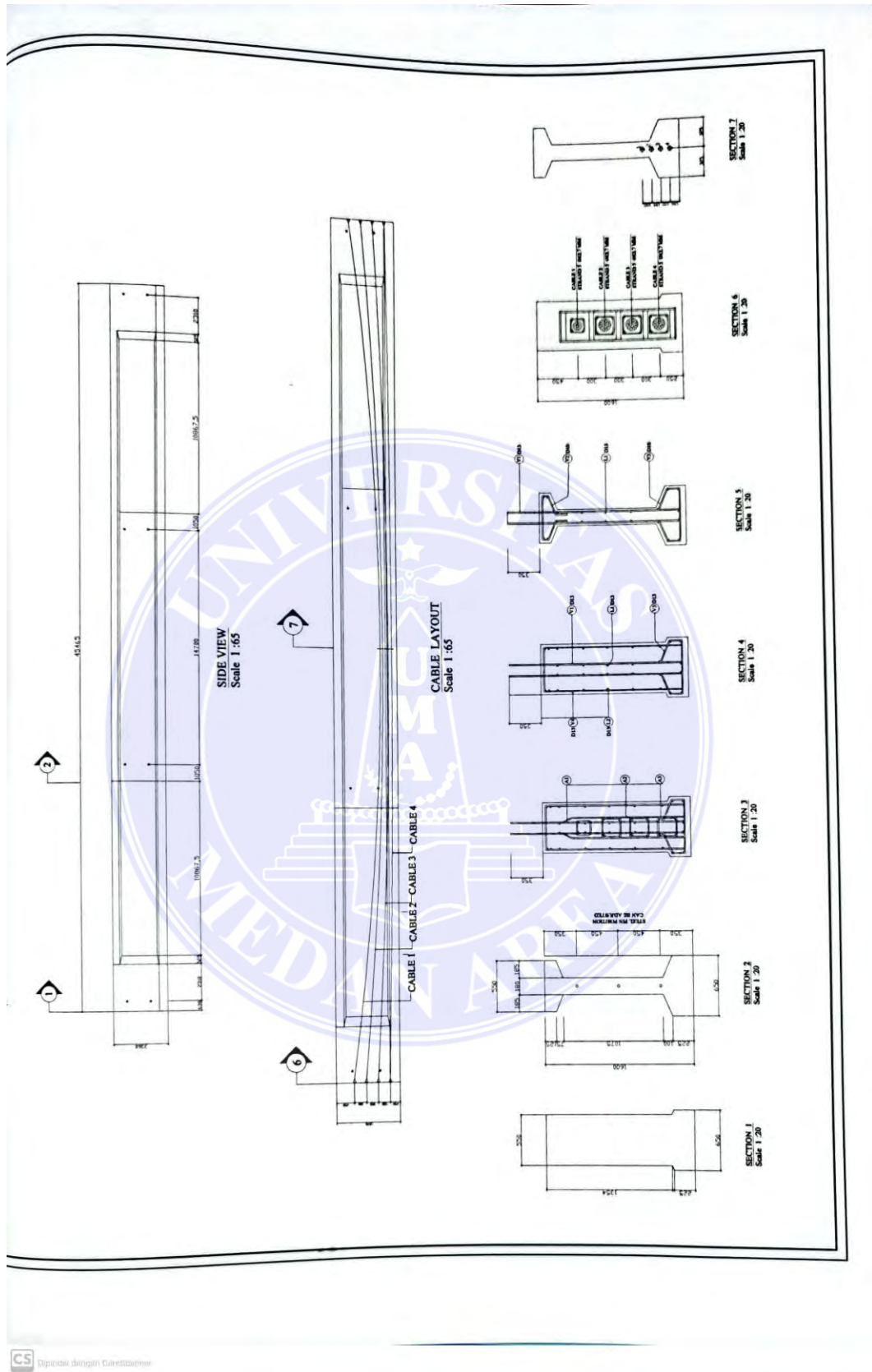
Gambar 3. Proses penyambungan segmen balok prategang  
Sumber : Data Lapangan

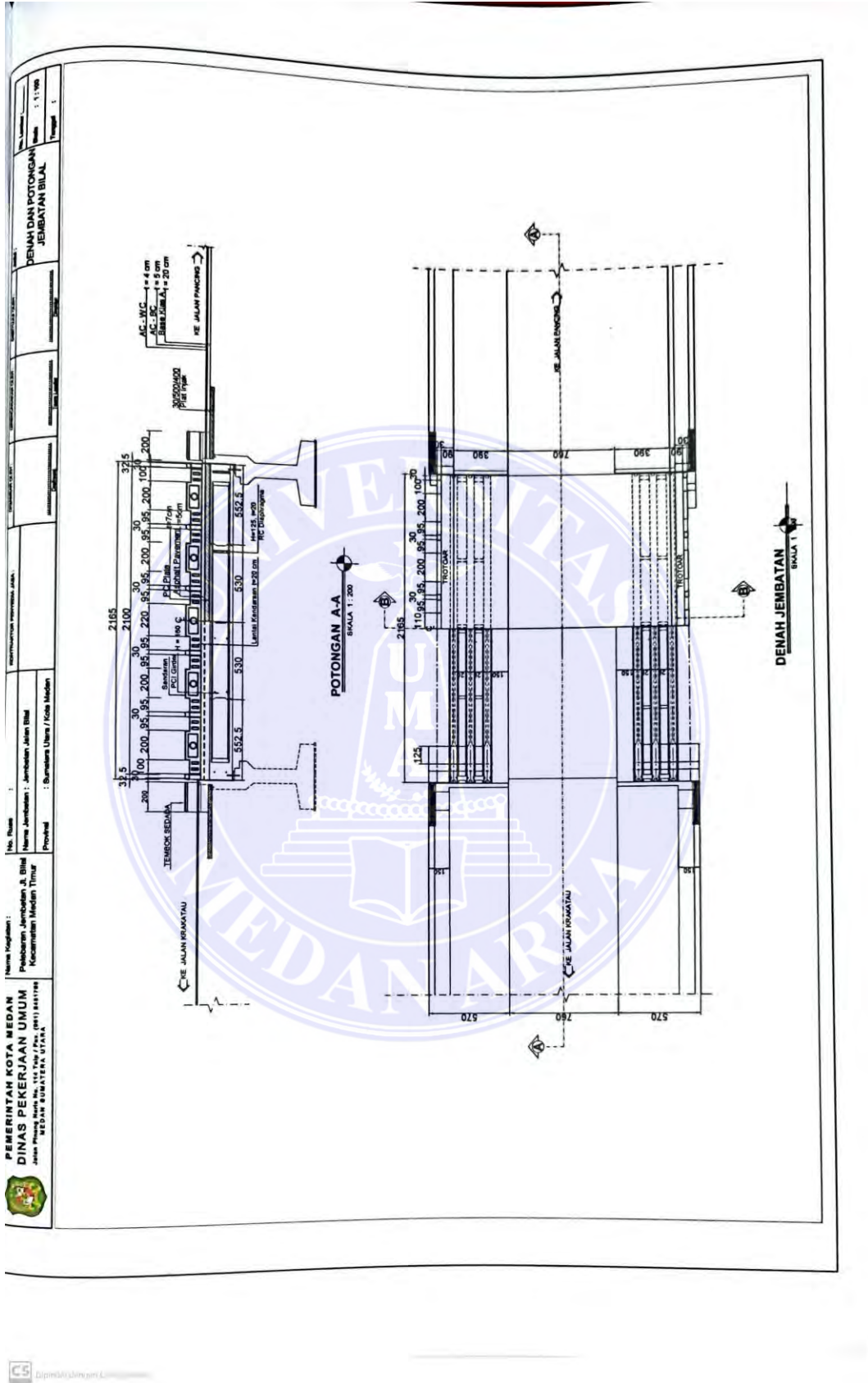


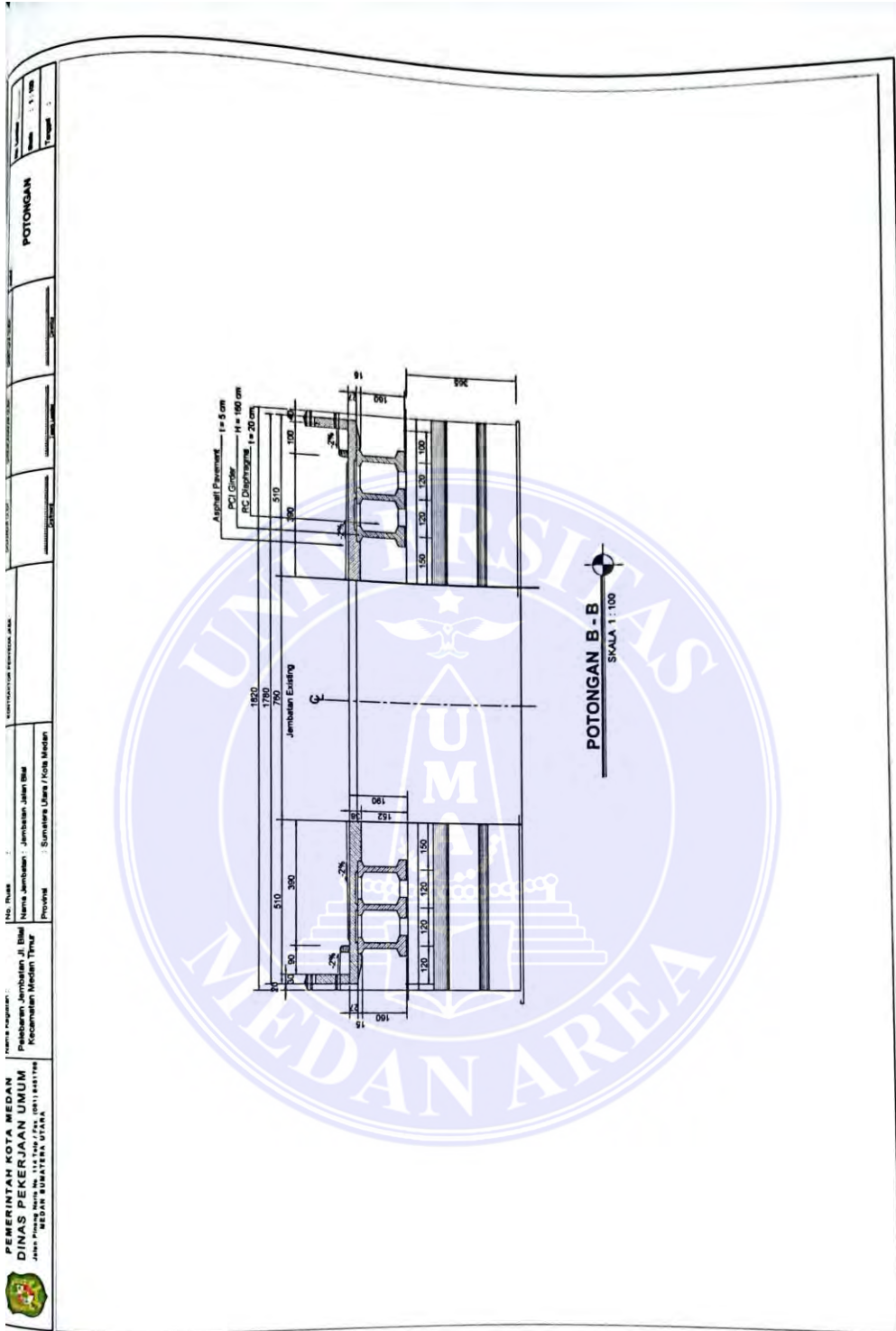
Gambar 4. Balok Prategang setelah dipasang dan di *stressing*  
Sumber : Data Lapangan

Lampiran 2. Gambar Bestek









 <b>PEMERINTAH KOTA MEDAN</b> <b>DINAS PEKERJAAN UMUM</b> <small>Area Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat</small> <b>KEP. KAWASAN PERKOTAAN</b> <b>KEB. MANJALINGA</b> <b>KAB. MANJALINGA</b> <b>KOTA MEDAN</b>	Nama Pekerjaan: Perencanaan dan Konstruksi Jilid Rekonstruksi Medan Timur	Nama Pemilik: Nama Jembatan: Jembatan Jalan Bala Provinsi: Sumatera Utara / Kota Medan	No. Dokumen: 1. 1. 100	Tanggal: 2023
	No. Revisi: 1	No. Gambar: 1	No. Lembar: 1	No. Halaman: 1

