



Analisis Prategang pada *Box Girder Longspan Ciliwung LRT Jabodebek*

Roestaman¹, Sulwan Permana², Risna Merliana³

Jurnal Konstruksi
Sekolah Tinggi Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@sttgarut.ac.id

¹roestaman@sttgarut.ac.id

²sulwanpermana@sttgarut.ac.id

³risnamerliana03@gmail.com

Abstrak – *Light Rail Transit* atau LRT dibangun sebagai salah satu transportasi massal bermoda kereta, sesuai dengan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 98 Tahun 2015 dan perubahannya, lintas pelayanan LRT dapat mendukung aktifitas penduduk dengan meminimalisir volume lalu lintas Ibu kota. Struktur LRT *Longspan Ciliwung* direncanakan dengan struktur melayang dan menerapkan tipe konstruksi prategang *Box Girder*. Mutu beton pada *Box Girder* adalah 50 MPa serta menggunakan kabel prategang dengan diameter 15,24 mm. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan jumlah kebutuhan *strand* yang terpasang di lapangan dengan jumlah *strand* hasil perhitungan. Analisis prategang dilakukan pada segmen yang berada di tengah bentang utama dengan 2 tahapan analisis, tahap I yaitu menganalisis prategang berdasarkan data di lapangan. Sedangkan analisis tahap II yaitu analisis prategang dengan tidak diizinkan tegangan tarik dan yang diizinkan tegangan tarik, sehingga menghasilkan banyak *strand* perhitungan. Setelah dianalisis, jumlah *strand* yang diperlukan berdasarkan hasil analisis tahap II sebanyak 366 buah untuk kondisi tidak diizinkan terjadi tarik hampir sama jumlahnya (perbedaan 1,7 %) dengan *strand* terpasang di lapangan berdasarkan analisis tahap I sebanyak 372 buah sehingga bisa dipastikan bahwa pemasangan 372 *strand* di lapangan berdasarkan desain prategang yang tidak diizinkan terjadi tarik.

Kata Kunci – Prategang; *Box Girder*; *Longspan*; LRT; *Strand*.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar di Dunia yakni berdasarkan data BPS untuk jumlah penduduk yang dilakukan dalam sensus penduduk memproyeksikan pada tahun 2020 sebanyak 271.066.000 jiwa, dan di Pulau Jawa meningkat sebanyak 152.449.000 jiwa. Dilihat dari banyaknya jumlah penduduk di Indonesia, berdampak pada pergerakan orang di kawasan tersebut terutama DKI Jakarta yang melayani pergerakan harian 25,4 juta perjalanan. Hal tersebut berdampak pada perkembangan infrastruktur yang dapat melayaninya. Sebagai Ibukota Negara, Jakarta menjadi pusat pemerintahan, perekonomian, industri, bisnis, dan infrastruktur menjadikan Jakarta sebagai tujuan utama bagi sebagian masyarakat untuk mencari pekerjaan. Menurut Pemerintah Provinsi Jakarta, pada setiap minggunya 35.000 unit mobil dan motor memadati jalanan Jakarta, menjadikan Jakarta menduduki posisi ke-7 sebagai kota termacet di Dunia. Kemacetan lalu lintas di Jakarta dan sekitarnya berdampak pada kerugian ekonomi di Indonesia. Menurut Pemerintah provinsi DKI Jakarta, dalam 1 tahun kerugian akibat dari kemacetan mencapai 67 triliun rupiah. Selain itu, kepadatan penduduk di Jakarta berdampak pada kurangnya lahan yang disebabkan oleh banyaknya bangunan yang memenuhi ibukota seperti gedung perkantoran, gedung pemerintahan, gedung apartment, pusat perbelanjaan, bangunan-bangunan pabrik, dan lain sebagainya. Untuk mengatasi kerugian

tersebut, pemerintah mempertimbangkan pembangunan LRT JABODEBEK agar dapat memindahkan 200 orang dari 177 mobil pada 1 kereta LRT dan fasilitas yang terintegrasi dengan moda transportasi lain. LRT tipe *elevated* dipilih karena pembebasan lahan yang sulit jika dilaksanakan dengan tipe di atas tanah, jalurnya tidak sebidang dengan jalan lain, frekuensi perjalanan kereta bisa lebih maksimal dan mampu menghindari kecelakaan. Selain itu, penggunaan lahan lebih efisien karena strukturnya melayang. LRT menjadi solusi yang tepat untuk kepadatan ibukota. Sesuai dengan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 98 Tahun 2015 dan perubahannya, lintas pelayanan LRT dapat mendukung aktifitas penduduk dengan meminimalisir volume lalu lintas ibukota. LRT JABODEBEK dikonsepsikan terintegrasi dengan moda transportasi lain seperti KRL, stasiun MRT, halte Trans Jakarta. Maka akan dilakukan analisis prategang pada struktur jembatan LRT bagian atas (*Box Girder*) di jembatan bentang panjang *Longspan* Ciliwung pada lintas pelayanan Cawang – Kuningan - Dukuh Atas. *Box Girder* adalah salah satu komponen penting dari struktur jembatan yang segmental, serta bentuk dari *Box Girder* sangat berpengaruh terhadap kekuatan serta efisiensi jembatan [1]. Diharapkan dengan adanya analisis ini akan mengetahui sejauh mana tingkat efisiensi yang diterapkan di lapangan.

B. Rumusan Masalah

Berikut merupakan beberapa rumusan masalah dalam analisis ini, yaitu :

- 1) Bagaimana analisis prategang *Box Girder* dalam menahan beban dan momen yang terjadi pada jembatan bentang panjang (*Longspan*) Ciliwung LRT JABODEBEK?
- 2) Bagaimana menganalisis kehilangan prategang yang terjadi pada *Box Girder* jembatan bentang panjang (*Longspan*) Ciliwung LRT JABODEBEK?
- 3) Bagaimana menganalisis kebutuhan kabel *strand* apabila tegangan yang terjadi sampai batas tegangan izin?
- 4) Bagaimana perbandingan kebutuhan kabel *strand* hasil perhitungan analisis dan yang terpasang di lapangan?

C. Tujuan Penelitian

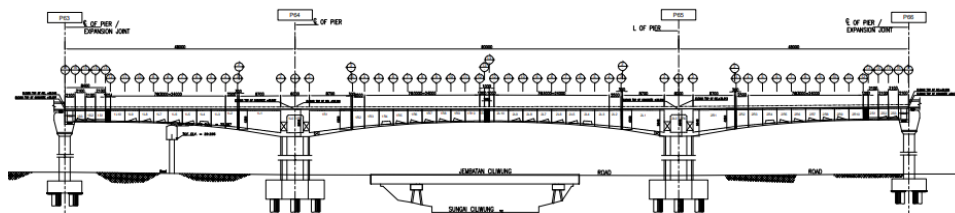
Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana penampang Prategang *Box Girder* pada Jembatan Bentang Panjang (*Longspan*) Ciliwung LRT JABODEBEK memenuhi kriteria kuat namun ekonomis sampai mencapai tegangan ijin melalui perhitungan – perhitungan analisis sebagaimana dalam rumusan masalah, yaitu:

- 1) Untuk mengetahui kekuatan *Box Girder* dalam menahan beban dan momen yang terjadi;
- 2) Untuk mengetahui kehilangan prategang yang terjadi pada *Box Girder*;
- 3) Untuk mengetahui kebutuhan kabel *strand* apabila tegangan yang terjadi mencapai tegangan izin;
- 4) Untuk mengetahui perbandingan kebutuhan kabel *strand* berdasarkan perhitungan dengan yang terpasang di lapangan.

II. METODE PENELITIAN

Jembatan merupakan suatu konstruksi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan untuk kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain. Jembatan merupakan suatu struktur penting dalam infrastruktur jalan yang berfungsi menghubungkan sesuatu ruas yang susah dilewati karena suau rintangan [2].

LRT (*Light Rail Transit*) sendiri merupakan moda transportasi masal dengan cakupan wilayah yang kecil. Jalur LRT JABODEBEK yang memiliki 3 ruas utama, *Longspan* Ciliwung ini didesain dengan kebutuhan yang tidak bisa dibuat bentang normal LRT (<30 meter, menggunakan *U-Shaped*) akan tetapi menggunakan *Box Girder* yang segmental dengan panjang masing-masing Span adalah 48-80-48 meter.



Gambar 1: Jembatan LRT *Longspan* Ciliwung

A. Standar Pembebanan Jembatan pada LRT

Pembebanan yang akan dianalisis adalah sebagai berikut:

- 1) Beban mati merupakan beban yang berasal dari berat gelagar jembatan LRT. Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Pada *Longspan* Ciliwung beban mati diperoleh dari berat jembatan itu sendiri yang berupa gelagar berbentuk *Box Girder* yang segmental;
- 2) Beban mati tambahan, beban nonstruktural yang berasal dari utilitas kereta api seperti yang berasal dari *concrete plinths, rail, hand rail, kabel*, dan lain sebagainya [3];
- 3) Beban hidup kendaraan, beban hidup kendaraan yang diperhitungkan pada analisis ini adalah mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan RI No PM 175 tahun 2015 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan Penggerak Sendiri. Beban hidup LRT merupakan beban gandar dengan berat maksimum 12 ton;
- 4) Beban kejut, beban yang diperhitungkan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Faktor beban kejut yang bekerja untuk bantalan sesuai yang direncanakan adalah sebagai berikut $i = 0.3 + 25/(50+L)$ [4];
- 5) Beban angin, beban yang diperhitungkan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Beban angin yang bekerja tegak lurus rel secara horizontal pada area kereta dan jembatan adalah 1.5 kN/m^2 [4];
- 6) Pengaruh temperatur, momen pada gelagar akibat pengaruh temperatur diperhitungkan terhadap gaya yang timbul akibat pergerakan temperatur. Perhitungan pengaruh temperature mengacu pada Standar Nasional Indonesia 175:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan, nilai temperature maksimal adalah 40°C , sedangkan temperature minimal adalah 15°C [4];
- 7) Beban gempa, untuk struktur jembatan dengan dimensi penampang yang berbeda setiap potongannya harus mempertimbangkan analisis berdasarkan beban gempa dimana beban gempa yang bekerja pada arah x dan y kemudian dijadikan gempa vertikal dengan menggunakan persamaan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0,10 \times g$ (percepatan gravitasi) kemudian dengan pengalihan koefisien gempa terhadap berat total gelagar, maka Koefisien beban gempa vertikal adalah $K_v = 0,10 \times 9,81 = 0,981$.

B. Beton Prategang

Beton pratekan merupakan suatu kombinasi antara beton dengan mutu tinggi yang digabung dengan baja bermutu tinggi kemudian diberikan tegangan tekan terlebih dahulu untuk mengurangi atau mengantisipasi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja. Sedangkan gaya prategang adalah gaya yang menyebabkan beton berada dalam keadaan tekan akibat tendon yang menyatu dengan beton ditarik dengan besaran tertentu.

Untuk metode prategang, pada dasarnya, ada 2 macam metode pemberian gaya yaitu sebagai berikut :

- 1) Pratarik (*Pre-Tension Method*) yaitu baja diberikan gaya prategang terlebih dahulu sebelum beton dicor;
- 2) Pascatarik (*Post-Tenson Method*) yaitu beton dicetak terlebih dahulu dengan sebelumnya sudah diletakkan saluran untuk kabel baja dimasukkan ke dalam beton.

C. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang merupakan berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon terhadap tahap-tahap pembebanan. Kehilangan gaya prategang dapat digolongkan menjadi 2, yaitu kehilangan langsung dan kehilangan yang bergantung pada waktu. Sedangkan menurut dalam struktur beton prategang nilai kehilangan gaya prategang akan selalu ada yang diakibatkan oleh waktu maupun tegangan seketika [4]. Berikut merupakan penyebab terjadinya kehilangan gaya prategang pada balok *Pre Tension* maupun *Post Tension*. Untuk Penggunaan metode pasca tarik seperti jembatan *Longspan Ciliwung* dapat mengakibatkan kehilangan prategang sebagai berikut:

- 1) Perpendekan elastis beton.

Kehilangan gaya prategang pada *methode post tension* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$ES = 0,5 \frac{ES}{Ec} fc$$

- 2) Geseran sepanjang tendon (*friction*)

Kemudian kehilangan prategang akibat kelengkungan dapat menggunakan persamaan berikut,

$$\frac{P1-P2}{P1} = -K L - \mu \alpha$$

- 3) Slip dan pengankuran (*Ahnchorage Slip*)

Cara mudah untuk mengatasi hal ini adalah dengan pemberian kelebihan tegangan. Kehilangan tegangan akibat dudukan angker dapat dihitung dengan :

$$\Delta L = \frac{fc}{ES} L$$

$$ANC = \frac{S \text{ rata-rata}}{\Delta L} 100$$

- 4) Rangkak (*creep*)

Kehilangan gaya prategang akibat rangkakan untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut:

$$\Delta f_{pCR} = \frac{ES}{Ec} (f_{ci} - f_{cd})$$

$K_{cr} = 2,0$ untuk komponen struktur pratarik dan $1,6$ untuk komponen struktur pasca tarik.

f_{ci} = tegangan beton pada posisi/level baja prategang sesaat setelah transfer gaya prategang.

- 5) Penyusutan beton (*shrinkage*)

Kehilangan tegangan akibat penyusutan beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$SH = \epsilon_{sh} \times E_s$$

ϵ_{sh} = regangan susut sisa total beton

Untuk pratarik, $\epsilon_{sh} = 300 \times 10^{-6}$

Untuk pasca tarik, $\epsilon_{sh} = \frac{200 \times 10^{-6}}{\log 10 (t+2)}$

Dengan t adalah usia beton pada waktu transfer gaya.

- 6) Relaksasi baja (*steel relaxation*)

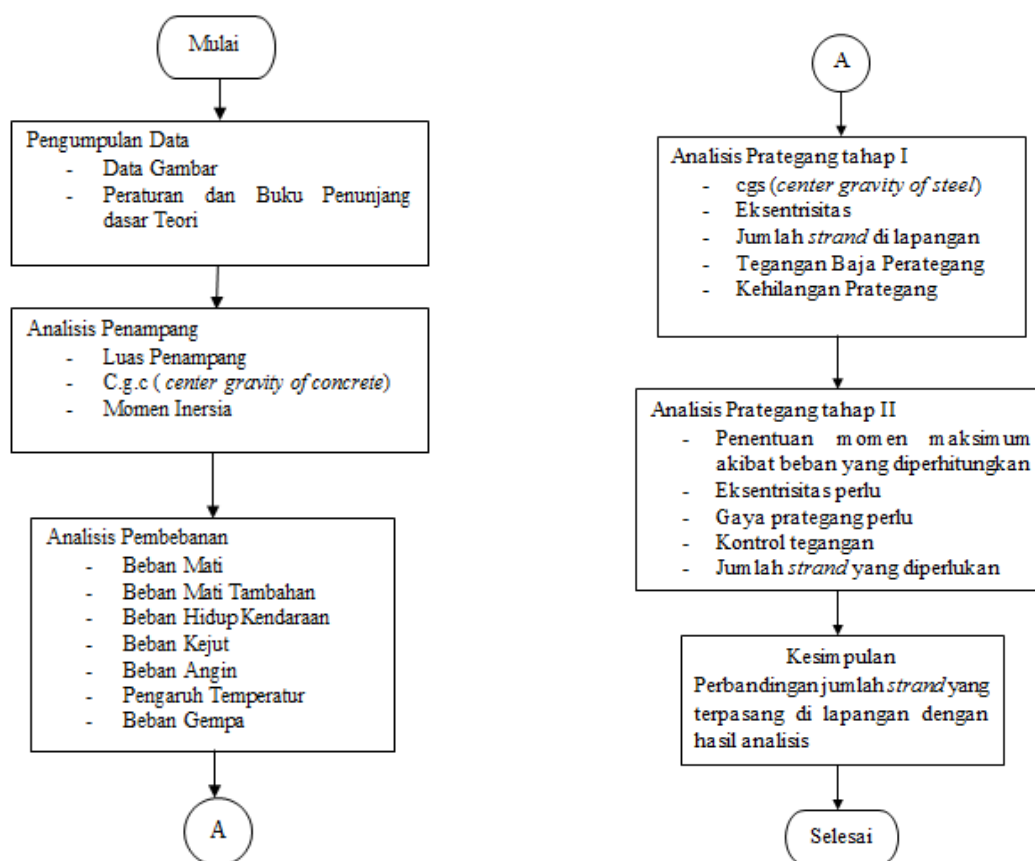
Relaksasi baja prategang terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama satu periode yang mengalami gaya pengurangan prategang. Besarnya kehilangan pada baja prategang akibat relaksasi baja prategang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$RE = [K_{re} - J(SH + C R + ES)] C$$

D. Metodologi

- 1) Tahapan Penelitian

Berikut merupakan uraian tahapan penelitian secara umum dalam bentuk *flowchart* tentang tahapan-tahapan penelitian tentang analisis prategang pada *Longspan Ciliwung*.



Gambar 2: Tahapan Penelitian

2) Tahapan Analisis

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan pada penyusunan Skripsi ini yaitu dimulai dari:

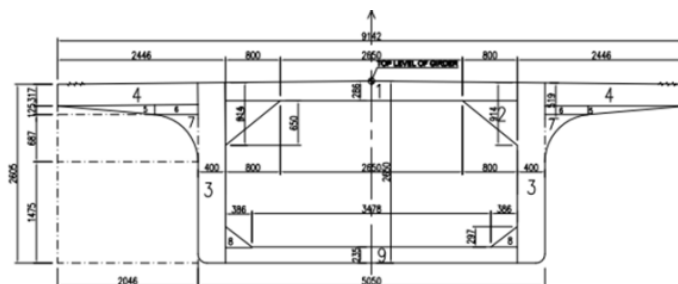
- Pengumpulan data, pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yaitu data design *Box Girder Longspan* Ciliwung serta data lokasi yang didapatkan dari kontraktor PT.Adhi Karya (Persero) Tbk;
- Analisis penampang, jembatan LRT *Longspan* Ciliwung adalah jembatan dengan bentuk konstruksi *Box Girder* tipe lengkung yang diperuntukan untuk LRT. Artinya jembatan ini mempunyai penampang yang berbeda-beda tiap segmennya. Oleh karena itu pada tahap ini, semua penampang yang berbeda-beda dianalisis sampai menghasilkan nilai luas penampang, c.g.c (*center gravity of concrete*), dan momen inersia;
- Analisis pembebanan, dalam analisis pembebanan, penulis menghitung dan menganalisa pembebanan pada *Longspan* Ciliwung dengan mengacu pada peraturan yang berlaku;
- Analisis prategang tahap I, adalah analisis prategang dengan menggunakan data yang didapat di lapangan berupa gambar penampang, posisi tendon, dan jumlah *strand* yang digunakan. Dari analisis ini dihasilkan nilai tegangan yang terjadi kemudian nilai kehilangan prategang selanjutnya nilai tegangan yang terjadi setelah terjadinya kehilangan prategang. Analisis ini dilakukan pada segmen yang memuat momen maksimum pada *Longspan* Ciliwung;
- Analisis prategang tahap II, adalah analisis prategang untuk penampang sesuai dengan yang ada di lapangan terhadap beban-beban yang diperhitungkan sampai batas tegangan ijin. Dan pada analisis tahap II ini akan menghasilkan berapa jumlah *strand* berdasarkan perhitungan. Analisis ini dilakukan pada segmen yang memuat momen maksimum pada *Longspan* Ciliwung;
- Kesimpulan, merupakan analisis banding hasil analisis I dan II terhadap jumlah *strand*.

III. HASIL DAN DISKUSI

Dengan diperolehnya data-data dari PT.Adhi Karya (Persero) Tbk. berupa gambar desain tiap penampang untuk *Longspan* Ciliwung LRT JABODEBEK, kemudian dilakukan analisis sesuai tahapan analisis dan bagan alir.

A. Analisis Penampang

Analisis penampang diambil contoh untuk segmen 11 yaitu segmen yang berada pada tungan bentang utama *Longspan* Ciliwung.



Gambar 3: Dimensi Potongan Penampang Segmen 11

Tabel 1: Perhitungan Luas Potongan Penampang Segmen 11

No	Lebar b (mm)	Tinggi h (mm)	Pengali	Jumlah	Luas A (mm ²)	Jarak ke Tepi Bawah Yi (mm)	Statis momem (mm ³)
1	4250	286	1	1	1215500	2462	2992561000
2	800	650	0,5	2	520000	2102,333333	1093213333
3	400	2605	1	2	2084000	1302,5	2714410000
4	2046	317	1	2	1297164	2446,5	3173511726
5	1417	125	0,5	2	177125	2246,333333	397881791,7
6	629	125	1	2	157250	2225,5	349959875
7	100430,4172			2	200860,8344	1629,0921	327220798,5
8	386	297	0,5	2	114642	334	38290428
9	4250	228	1	1	969000	114	110466000
10	2060	300	1	1	618000	2169	1340442000
11	2720	300	1	1	816000	378	308448000
Jumlah					8169541,834		12846404953

$$Y_a = \frac{12846404953}{8169541,834} = 1572,47557 \text{ mm}$$

$$Y_b = 2650 - 1572,47557 = 1032,52443 \text{ mm}$$

Tabel 2: Perhitungan Momen Inersia Segmen 11

No	Io (mm ⁴)	di (mm)	di ²	A x di ² (mm)
1	8285253166,67	1429,47557	2043400,405	2483753192482,37
2	12205555555,56	1069,808903	1144491,09	595135366595,98
3	1178506341666,67	269,97557	72886,80839	151896108676,05
4	10862559433,00	1413,97557	1999326,912	2593454895125,08
5	153754340,28	1213,808903	1473332,054	260963940022,56
6	204752604,17	1192,97557	1423190,711	223796739236,85
7	1344991762,37	976,38347	953324,6804	191485590769,19
8	561803121,00	705,52443	497764,7214	57064743185,65
9	4197708000,00	918,52443	843687,1285	817532827559,40
10	4635000000,00	1136,47557	1291576,721	798194413677,18
11	6120000000,00	654,52443	428402,2295	349576219266,70
Jumlah	1227077719649,70			8522854036597,00

$$\text{Momen Inersia} = 1227077719649,70 + 8522854036597,00 = 9749931756246,70 \text{ mm}^4$$

B. Analisis Pembebanan dan Momen

Analisis pembebanan pada Jembatan *Longspan* Ciliwung meliputi berat mati sendiri, beban mati tambahan, beban hidup kereta LRT, beban kejut, beban angin, pengaruh temperatur, dan beban gempa. Untuk menghitung besarnya momen maksimum pada bentang Jembatan *Longspan* Ciliwung digunakan bantuan program analisis struktur versi *Student Edition* sehingga menghasilkan momen dengan kombinasi seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3: Kombinasi Momen

No	Jenis Beban	Momen (Nmm)	Komb-1 (Nmm)	Komb-2 (Nmm)	Komb-3 (Nmm)
1	Beban Mati	72445306100	72445306100	72445306100	72445306100
2	Beban Mati Tambahan	14591963650	14591963650	14591963650	14591963650
3	Beban Hidup LRT	23708970000	23708970000	23708970000	23708970000
4	Beban Kejut	7112691200	7112691200	7112691200	7112691200
5	Beban Angin	872252700	872252700		
6	Pengaruh Temperatur	390750000		390750000	
7	beban Gempa	85275114500			85275114500
Jumlah			118731183650	118249680950	203134045450

C. Analisis Prategang Tahap I

Untuk analisis tahap I dilakukan pada segmen yang memuat momen maksimum yaitu pada segmen 11 dengan terletak di tengah bentang utama (80 m). Analisis ini menggunakan data yang terdapat di lapangan seperti jumlah menggunakan *strand* serta tata letak tendon berdasarkan gambar desain, maka diperoleh nilai eksentrisitas tahap I adalah berikut :

$$\begin{aligned}
 C_{gs} &= (\sum P \times y_t) / \sum P & e &= Y_b - C_{gs} \\
 &= 38847120 / 96720 & &= 1032,52443 - 4016451613 \\
 &= 401,6451613 \text{ mm} & &= 630,8792687 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung untuk kehilangan prategang pada jembatan *Longspan* Ciliwung yang nantinya digunakan untuk analisis prategang tahap II. Untuk besar kehilangan prategang yang telah dianalisis maka didapatkan nilai besar kehilangan seperti pada Tabel 4 berikut.

Table 4 Nilai dan Jumlah Kehilangan Prategang Tahap I

No	Kehilangan Gaya Prategang	Besar Kehilangan Prategang (N/mm)	Besar Kehilangan Prategang (%)
1	Perpendekan Elastis Beton (ES)	28,49874358	2,042920686
2	Gesekan Tendon	-0,030666667	3,066666667
3	Slip Pengangkuran (ANC)	558	0,448028674
4	Rangkak Tendon (CR)	18,23919589	1,307469239
5	Penyusutan Beton (SH)	41,91806549	3,004879246
6	Relaksasi Baja (RE)	124,7015993	8,939182742
Jumlah			18,80914726

Nilai kehilangan prategang setelah semua dijumlahkan adalah 18,80914726 %. Sedangkan untuk batas maksimum kehilangan prategang pada beton dengan sistem pasca tarik (*Post-Tension*) adalah 20%. Maka nilai kehilangan prategang pada segmen ini memenuhi syarat maksimum kehilangan gaya prategang.

D. Analisis Prategang Tahap II

Sama halnya dengan analisis tahap I, analisis tahap II ini dilakukan pada penampang yang memuat momen maksimum yaitu pada segmen 11 yang terletak pada tengah bentang utama dengan perhitungannya meliputi perhitungan sebagai berikut:

1) Eksentrisitas perlu

Berdasarkan desain pendahuluan, didapatkan nilai Jika M_G/M_T dianggap besar,

$$F = \frac{M_G}{(0,65 h)}$$

$$= \frac{72445306100}{0,65 \times 2605}$$

$$= 42784766,63 \text{ N}$$

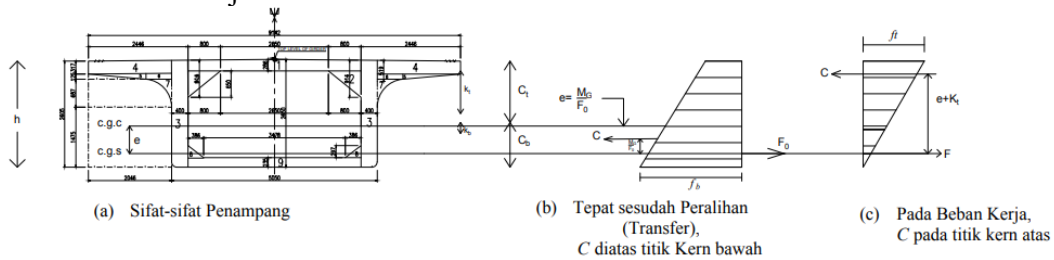
$$F_0 = \frac{42784766,63}{1 - 0,188091473}$$

$$= 52696535,61 \text{ N}$$

$$K_b = \frac{(9749931756246,70 / 8169541,834)}{1572,47557}$$

$$= 758,961888 \text{ mm}$$

a. Jika tidak diizinkan terjadi tarik

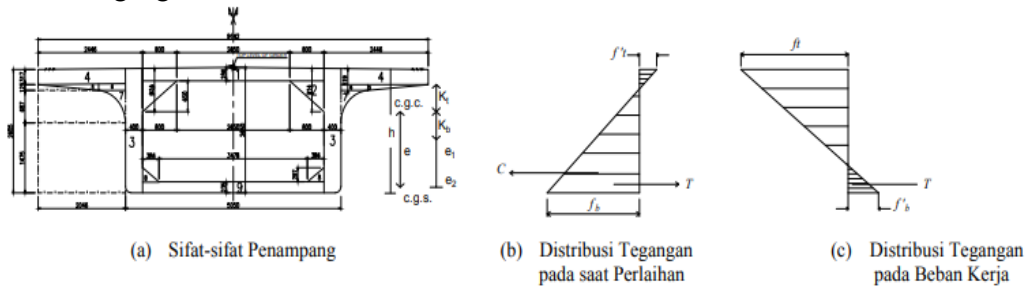


Sumber : Pribadi 2020

Gambar 4.2 Diagram Tegangan Jika Tidak Diizinkan Terjadi Tarik

$$e = 2133,725114 \text{ mm}$$

b. Jika diizinkan tegangan tarik



Sumber : Pribadi 2020

Gambar 4.3 Diagram Tegangan Jika Diizinkan Terjadi Tarik

$$e = 2319,631696 \text{ mm}$$

2) Menghitung nilai Fo perlu

a. Jika tidak diizinkan terjadi tarik

$$F = - \frac{F \text{ perlu}}{A} - \frac{F \text{ perlu} \times e \times y_b}{I} + \frac{M \times y_b}{I}$$

$$0 = - \frac{F \text{ perlu}}{8169541,834} - \frac{F \text{ perlu} \times 2133,725114 \times 1032,52443}{9749931756246,70} + \frac{203134045450,00 \times 103,52443}{9749931756246,70}$$

$$F \text{ perlu} = 61750742,76 \text{ N}$$

$$F_0 \text{ perlu} = \frac{F \text{ perlu}}{1 - \text{kehilangan prategang total}}$$

$$= \frac{61750742,76}{1 - 0,1880914726}$$

$$= 76056280,57 \text{ N}$$

Berikut merupakan kontrol tegangan pada saat transfer untuk nilai Fo perlu jika nilai eksentrisitasnya didapat dari desain yang tidak diizinkan tegangan tarik.

$$F = - \frac{F_0 \text{ perlu}}{A} - \frac{F_0 \text{ perlu} \times e \times y_b}{I} + \frac{M \times y_b}{I}$$

$$F = - \frac{76056280,57}{8169541,834} - \frac{76056280,57 \times 2133,725114 \times 1032,52443}{9749931756246,70} + \frac{72445306100 \times 103,52443}{9749931756246,70}$$

$$F = -18,82363022 \text{ MPa}$$

Nilai dari kontrol tegangan adalah -18,82363022 MPa hal ini menunjukkan bahwa tegangan yang

terjadi adalah tekan. Nilai tegangan tekan izin saat transfer adalah 24 MPa. 18,82363022 MPa < 24 MPa, tegangan yang terjadi aman.

b. Jika diizinkan tegangan tarik

$$F = - \frac{F \text{ perlu}}{A} - \frac{F_{\text{perlu}} \times e \times y_b}{I} + \frac{M \times y_b}{I}$$

$$3,53 = - \frac{F \text{ perlu}}{8169541,834} - \frac{F \text{ perlu} \times 2319,631696 \times 1032,52443}{9749931756246,70} + \frac{203134045450,00 \times 1032,52443}{9749931756246,70}$$

$$F \text{ perlu} = 48856726,59 \text{ N}$$

$$F_o \text{ perlu} = \frac{F \text{ perlu}}{1 - \text{kehilangan prategang total}}$$

$$= \frac{48856726,59}{1 - 0,1880914726}$$

$$= 60175161,29 \text{ N}$$

3) Menghitung nilai *strand* perlu

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Strand saat jacking force} &= P_i = 80\% P_u \\ &= 0,8 \times 260000 \\ &= 208000 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Jika tidak diizinkan tegangan tarik

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{F_{\text{operlu}}}{P_i} \\ &= \frac{76056280,57}{208000} \\ &= 366 \text{ strand} \end{aligned}$$

b. Jika diizinkan tegangan tarik

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{F_{\text{operlu}}}{P_i} \\ &= \frac{60175161,29}{208000} \\ &= 290 \text{ strand} \end{aligned}$$

4) Analisis banding jumlah *strand*

Berikut merupakan rekapitulasi dari perbandingan jumlah Strand dari yang terdapat di lapangan (Tahap I), dan berdasarkan hasil perhitungan analisis (Tahap II) dimana pada tahap II ini dilakukan dengan 2 perhitungan, yaitu persamaan tegangan tarik = 0, dan persamaan tegangan tarik = nilai tegangan yang diizinkan.

Tabel 5: Perbandingan Analisis Tahap I dan Tahap II

Nilai dan Jumlah	Tahap I		Tahap II
	Terpasang di Lapangan	Tegangan Tarik = 0	Tegangan Tarik = Izin Tarik
Eksentrisitas (mm)	630,8792687	2133,725114	2319,631696
<i>Strand</i>	372	366	290

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil analisis, pada jembatan bentang panjang (*Longspan*) Ciliwung LRT JABODEBEK didapat hasil dengan kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Beban dan gaya-gaya yang diperhitungkan adalah dari kombinasi 3 yaitu dari berat mati sendiri, beban mati tambahan, beban hidup LRT, beban kejut, dan beban gempa;
- 2) Berdasarkan kombinasi pembebanan diperoleh momen maksimum yang menentukan sebesar 203134045450 Nmm;
- 3) Nilai dari kontrol tegangan adalah -18,82363022 MPa hal ini menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi adalah tekan. Nilai tegangan tekan izin saat transfer adalah 24 MPa. 18,82363022 MPa < 24 MPa, tegangan yang terjadi aman;
- 4) Hasil analisis pada kehilangan prategang tahap I adalah 18,80914726 % yang kemudian digunakan dalam perhitungan prategang Tahap II;

- 5) Jumlah *strand* yang diperlukan berdasarkan hasil analisis tahap II adalah 366 buah untuk kondisi tidak diizinkan tarik, dan 290 buah untuk kondisi diizinkan terjadi tarik;
- 6) Jumlah *strand* yang diperlukan berdasarkan hasil analisis tahap II sebanyak 366 buah untuk kondisi tidak diizinkan terjadi tarik hampir sama jumlahnya (perbedaan 1,7%) dengan *strand* terpasang di lapangan berdasarkan analisis tahap I sebanyak 372 buah sehingga bisa dipastikan bahwa pemasangan 372 *strand* di lapangan berdasarkan desain prategang yang tidak diizinkan terjadi tarik;
- 7) Adanya perbedaan 1,7% antara hasil analisis tahap II dengan hasil analisis tahap I dimungkinkan oleh pengambilan faktor keamanan atau nilai parameter desain lainnya yang berbeda atau mungkin juga karena perbedaan ketelitian dalam perhitungan.

B. Saran

Dalam laporan ini tentunya masih terdapat kekurangan dalam pengerjaan, oleh sebab itu penulis menyarankan beberapa hal agar didapatkan hasil yang lebih baik antara lain:

1. Pentingnya dalam memahami standar ataupun peraturan-peraturan yang berkaitan dengan jembatan prategang serta jembatan kereta api.
2. Perlu dilakukan analisis prategang yang lebih teliti karena pada jembatan *Longspan* Ciliwung mempunyai penampang yang ukurannya bervariasi dan pemasangan tendon yang bervariasi pula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Ongkosurya and F. Supartono, "Analisis Struktur Jembatan Gantung Self-Anchored," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 255–264, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i1.3422.
- [2] N. Hadi and E. Leo, "Analisis Perbandingan Perkuatan Jembatan Rangka Baja Dengan Metode Prategang Eksternal Ditinjau Dari Bentuk Trase Kabel Prategang," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 230–239, 2018, doi: 10.24912/jmts.v1i1.2261.
- [3] H. J. W. Herawati, "Desain Struktur Dan Metode Pelaksanaan Light Rail Transit (LRT) Jakarta Dengan Prestress U-Shape Girder," Sumatera Utara, 2017.
- [4] Indonesia, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No : PM 108 Tahun 2017," *jdih.dephub.go.id*, 2017. <https://jdih.dephub.go.id> (accessed Aug. 14, 2019).
- [5] M. Ridwan, "Analisa Struktur Box Girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu," Medan, 2017. doi: 10.31289/jcebt.v1i2.1660.