

Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI)

Samsuardi BATUBARA¹ · Larno SIMATUPANG²

Abstract

Bridge is used to connect divided road sections, which are separated by obstacles such as deep valley, river, lake, irrigation canals, railway, and also grade separated roadway. The construction of a bridge must comply with several requirements namely stiffness, deflection, and load bearing requirement. This research is a structural analysis and design of prestressed concrete girder beam with 24m length and 6.5m width. Working loads are dead load (MS), additional dead load (MA), vehicle load (TD), braking load (TB), pedestrian load (TP), and wind load (EW). Internal forces are obtained using Finite Element Method in SAP2000 nonlinear. Design of the bridge structure follows the national standar SNI 1725:2016 and RSNI T-12-2004. Result of structural design and analysis of the prestressed concrete girder beam uses 4 prestressed beam (160cm height, 1.83m distance between beam), 20cm bridge slab, and diaphragm with the dimension of 20x165x125cm . The number of tendon used in the design is 3, and each tendon comprises of 12 strand. The amount of prestressed force caused by jacking is $P_j=5351.30$ kN with loss prestress 24.52%. Deflection caused on the prestressed beam is $d_{maks} = 12.6$ mm ($<d_{ijin} = 80$ mm), and occurring stress is 8696 kPa ($<$ allowed stress 18675 kPa).

Kata kunci: Jembatan, Beton Prategang, Tendon

1. Pendahuluan

Jembatan secara umum berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh suatu rintangan – rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api dan jalan yang melintang tidak sebidang dan lain – lain. Kehadiran jembatan sangat dibutuhkan guna mempelancar kegiatan sehari-hari. Oleh karena itu, jembatan yang dibangun harus memenuhi syarat kekakuan, lendutan, dan ketahanan terhadap beban yang bekerja. Beragam material menjadi pertimbangan dalam pembuatan jembatan. Material yang umum digunakan dalam pembuatan jembatan bentang panjang biasanya adalah baja dan beton. Namun dalam pemilihan material ada beberapa aspek yang perlu ditinjau yaitu keamanan, harga, waktu pelaksanaan, dan fleksibilitas desain.

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik. Kuat tarik beton bervariasi mulai dari 9% – 15% dari kuat tekannya. Akibat rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retakan lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Oleh karena itu dibutuhkan beton yang dapat menahan gaya tarik yang lebih besar dan dari dimensi penampang lebih kecil sehingga pembuatannya tidak membutuhkan material yang banyak. Salah satu beton yang digunakan dalam pembuatan jembatan adalah beton prategang. Beton prategang adalah beton bertulang yang diberikan gaya pada arah longitudinal elemen struktural. Gaya prategang dapat mencegah berkembangnya retak dengan cara sangat

¹ Staf Pengajar Teknik Sipil Universitas Katolik Santo Thomas
e-mail: samsuardi_btbr@yahoo.com

² Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Santo Thomas

mengurangi tegangan tarik di bagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser, dan torsional penampang tersebut. Oleh karena itu penulis melakukan analisis dan merencanakan sebuah jembatan. Jembatan yang direncanakan adalah jembatan beton prategang dengan bentang 24 meter dan lebar 6.5 meter.

2. Tinjauan Pustaka

Beban Yang Bekerja Pada Jembatan

Dalam merencanakan jembatan harus berdasarkan standar yang ditetapkan, dalam hal ini standar yang digunakan adalah *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*. Dalam standar ditetapkan persyaratan minimum untuk pembebanan beserta batasan penggunaan setiap beban, faktor beban dan kombinasi pembebanan yang digunakan untuk perencanaan jembatan jalan raya, termasuk jembatan pejalan kaki serta bangunan sekunder terkait dengan jembatan tersebut.

Beban yang bekerja pada jembatan sangat beragam, seperti berat sendiri jembatan, beban mati tambahan, beban lalu lintas dan beban akibat lingkungan. 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 non-struktural yang dianggap tetap sedangkan Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Tabel 1 Berat isi untuk beban mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
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 (<i>ringan</i>)	7.8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11.0	1125

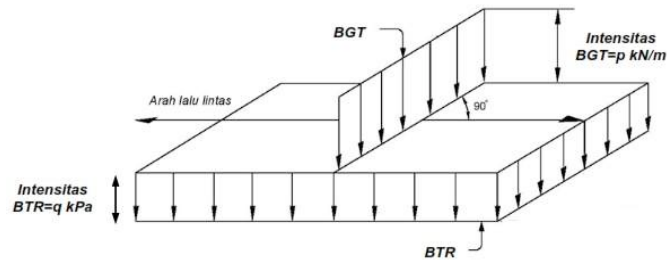
(Sumber : *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*)

Selain beban mati beban lalu lintas yang melewati jembatan harus diperhitungkan juga. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas 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 lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 1.

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut :

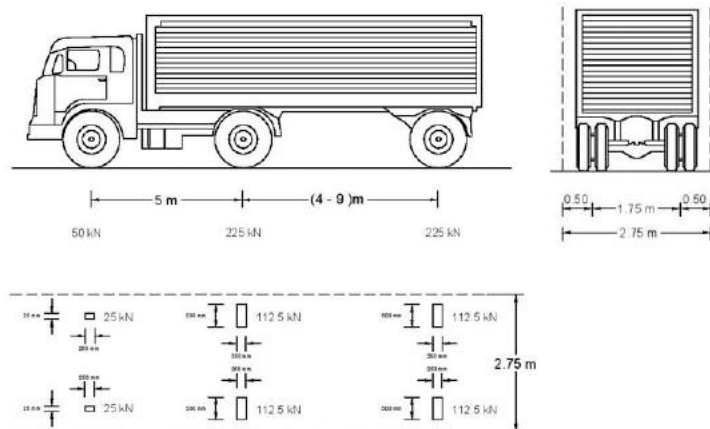
Jika $L \leq 30$ m : $q = 9.0$ kPa

Jika $L > 30$ m : $q = 9.0 \left(0.5 + \frac{15}{L} \right)$ kPa



Gambar 1 Beban lajur “D”

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah **49.0 kN/m**. 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.



Gambar 2 Pembebanan truk “T” (500 kN)

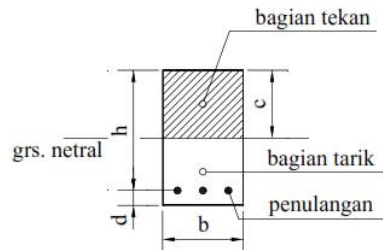
Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4.0 m sampai dengan 9.0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Beton Prategang

Beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat beban kerja. (SNI 03-2847-2002). Beton prategang juga dapat didefinisikan sebagai beton dimana tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dihilangkan atau dikurangi sampai batas aman dengan

pemberian gaya tekan permanen, dan baja prategang yang digunakan untuk keperluan ini ditarik sebelum beton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pascatarik).

Seperti yang telah diketahui bahwa beton adalah suatu material yang tahan terhadap tekanan, akan tetapi tidak tahan terhadap tarikan. Sedangkan baja adalah suatu material yang sangat tahan terhadap tarikan. Dengan mengkombinasikan antara beton dan baja dimana beton yang menahan tekanan sedangkan tarikan ditahan oleh baja akan menjadi material yang tahan terhadap tekanan dan tarikan yang dikenal sebagai beton bertulang (*reinforced concrete*). Jadi pada beton bertulang, beton hanya memikul tegangan tekan, sedangkan tegangan tarik dipikul oleh baja sebagai penulangan (*rebar*). Sehingga pada beton bertulang, penampang beton tidak dapat efektif 100 % digunakan, karena bagian yang tertarik tidak diperhitungkan sebagai pemikul tegangan. Hal ini dapat dilihat pada sketsa gambar dibawah ini. Suatu penampang beton bertulang dimana penampang beton yang diperhitungkan untuk memikul tegangan tekan adalah bagian diatas garis netral (bagian yang diarsir), sedangkan bagian dibawah garis netral adalah bagian tarik yang tidak diperhitungkan untuk memikul gaya tarik karena beton tidak tahan terhadap tegangan tarik.

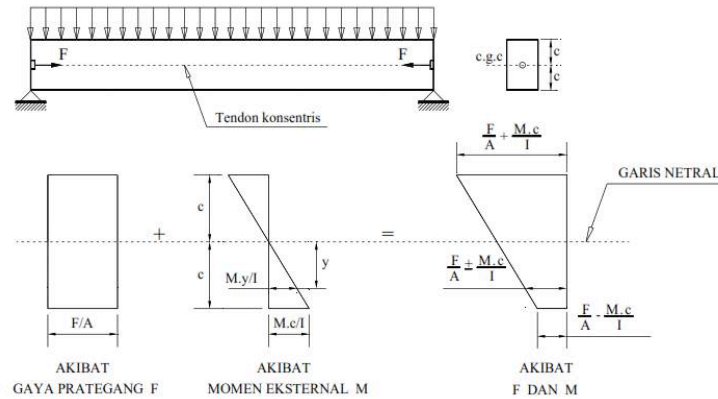


Gambar 3 Distribusi tegangan pada beton

Gaya tarik pada beton bertulang dipikul oleh besi penulangan (*rebar*). Kelemahan lain dari konstruksi beton bertulang adalah berat sendiri (*self weights*) yang besar, yaitu 2400 kg/m^3 , dapat dibayangkan berapa berat penampang yang tidak diperhitungkan untuk memikul tegangan (bagian tarik). Untuk mengatasi ini pada beton diberi tekanan awal sebelum beban-beban bekerja, sehingga seluruh penampang beton dalam keadaan tertekan seluruhnya, inilah yang kemudian disebut beton pratekan atau beton prategang (*prestressed concrete*).

Dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (pratekan) pada bahan beton yang pada dasarnya getas akan menjadi bahan yang elastis. Dengan memberikan tekanan (dengan menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, akibat adanya tekanan internal ini dapat memikul tegangan tarik akibat beban eksternal. Hal ini dapat dijelaskan dengan gambar 4.

Akibat diberi gaya tekan (gaya prategang) F yang bekerja pada pusat berat penampang beton akan memberikan tegangan tekan yang merata diseluruh penampang beton sebesar F/A , dimana A adalah luas penampang beton tersebut. Akibat beban merata (termasuk berat sendiri beton) akan memberikan tegangan tarik dibawah garis netral dan tegangan tekan diatas garis netral yang besarnya pada serat terluar penampang adalah :



Gambar 4 Konsep prategang menurut Eugene Freyssinet

$$f = \frac{M.c}{I}$$

Tegangan lentur :

Dimana :

- M : momen lentur pada penampang yang ditinjau
- c : jarak garis netral ke serat terluar penampang
- I : momen inersia penampang.

Kalau kedua tegangan akibat gaya prategang dan tegangan akibat momen lentur ini dijumlahkan, maka tegangan maksimum pada serat terluar penampang adalah :

a. Diatas garis netral :

$$f_{total} = \frac{F}{A} + \frac{M.c}{I} \rightarrow \text{tidak boleh melampaui tegangan hancur beton.}$$

b. Dibawah garis netral :

$$f_{total} = \frac{F}{A} - \frac{M.c}{I} \geq 0 \rightarrow \text{tidak boleh lebih kecil dari nol.}$$

Jadi dengan adanya gaya internal tekan ini, maka beton akan dapat memikul beban tarik.

3. Metodologi

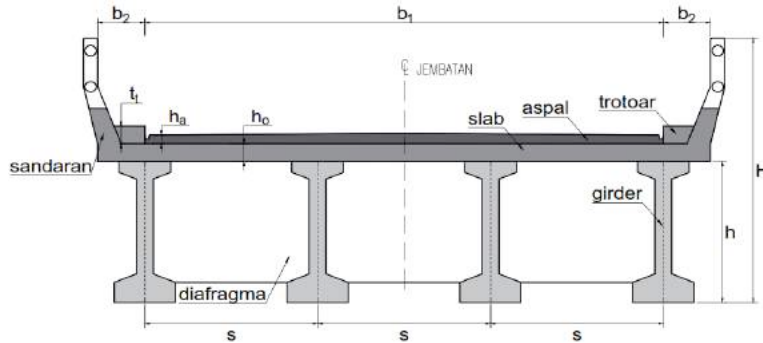
Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan berbagai tahapan, yakni dimulai dari pengumpulan data sekunder, studi literatur, analisis pembebanan, analisis kapasitas struktur yang dilakukan dengan bantuan program Microsoft Excel. Perencanaan struktur dilakukan dengan mendesain gelagar jembatan beton prategang dengan acuan pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan, kombinasi pembebanan terbesar akan digunakan untuk mendesain tulangan lentur dan geser pada jembatan prategang. Perhitungan numerik dilakukan dengan menggunakan bantuan program agar perhitungan dapat terkontrol.

4. Analisis dan Pembahasan

Data Jembatan

Pembahasan berikut ini akan merencanakan gelagar memanjang (*girder*) pada jembatan 24 meter berdasarkan beban dari SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. Adapun data jembatan dapat dilihat dibawah ini :

Panjang bentang jembatan	L	= 24m
Tebal slab lantai jembatan	h_o	= 20cm
Tebal lapisan aspal + overlay	h_a	= 10 cm
Tebal genangan air hujan	t_h	= 5cm
Jarak antara balok prategang	s	= 183.30 cm
Lebar jalur lalu-lintas	b_1	= 550cm
Lebar trotoar	b_2	= 50 cm
Lebar total jembatan	b	= 650 cm

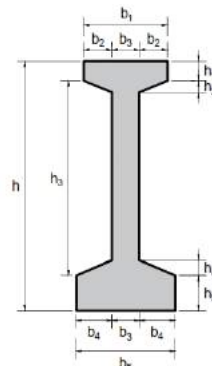


Gambar 5 Penampang melintang jembatan

Balok prategang yang digunakan adalah produk dari PT.Wijaya Karya dengan dimensi yang sudah ada dengan tinggi balok 160 cm. Adapun untuk spesifikasi dimensi yang sudah ada adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Dimensi balok prategang

Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)
b1	0.550	h1	0.125
b2	0.185	h2	0.075
b3	0.180	h3	1.250
b4	0.235	h4	0.100
b5	0.650	h5	0.225
		h	1.600



Gambar 6 Dimensi balok prategang

Mutu Beton

Mutu beton girder prestress : K-500
 Kuat tekan beton, $f'_c = 0.83 \cdot K / 10 = 41.50 \text{ Mpa}$
 Modulus elastik beton, $E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 30277.6 \text{ Mpa}$
 Angka Poisson, $u = 0.15$
 Modulus geser, $G = E_c / [2 \cdot (1+u)] = 13164.2 \text{ Mpa}$
 Koefisien muai panjang untuk beton, $\alpha = 10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Baja Prategang

Ada 4 (empat) buah benda uji yakni benda uji tanpa lubang, benda uji dengan lubang

Tabel 3 Data Strands Cable - Standar VSL

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL		
Jenis strands : <i>Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270</i>		
Tegangan leleh strand f_{pv} =	1580	Mpa
Kuat tarik strand f_{pu} =	1860	Mpa
Diameter nominal strands	12.7	mm
Luas tampang nominal satu strands A_{st} =	98.7	mm ²
Beban putus minimal satu strands P_{bs} =	187.32	kN (100% UTS)
Jumlah kawat untaian (strands cable)	12	kawat untaian / tendon
Diameter selubung ideal	84	mm
Luas tampang strands	1184.4	mm ²
Beban putus satu tendon P_{bl} =	2247.8	kN (100% UTS)
Modulus elastis strands E_s =	193000	Mpa
Tipe dongkrak	VSL19	

Section Properties

Diambil lebar efektif plat lantai, $B_e = 1.83$ m

Kuat tekan beton plat, $f'_c(\text{plat}) = 0.83 * K_{(\text{plat})} = 24.90$ Mpa

Kuat tekan beton balok, $f'_c(\text{balok}) = 0.83 * K_{(\text{balok})} = 41.50$ Mpa

Modulus elastik plat beton, $E_{\text{plat}} = 4700 * \sqrt{f'_c(\text{plat})} = 23452.95$ Mpa

Modulus elastik balok beton prategang, $E_{\text{balok}} = 0.043 * (W_c)^{1.5} * \sqrt{f'_c(\text{balok})} = 35669.972$ Mpa

Nilai perbandingan modulus elastik plat dan balok, $n = E_{\text{plat}} / E_{\text{balok}} = 0.657$

Jadi lebar pengganti beton plat lantai jembatan, $B_{\text{eff}} = n * B_e = 1.205$ m

Untuk section properties balok prategang dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 4 Section Properties Balok Prategang

No.	Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak terhadap Alas y (m)	Statis Momen A*y (m ³)	Inersia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _o (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
1	0.550	0.125	0.0688	1.538	0.10570	0.16252	0.000090
2	0.185	0.075	0.0139	1.425	0.01977	0.02817	0.000004
3	0.180	1.250	0.2250	0.850	0.19125	0.16256	0.029297
4	0.235	0.100	0.0235	0.258	0.00607	0.00157	0.000013
5	0.650	0.225	0.1463	0.113	0.01645	0.00185	0.000617
Total :			0.4774		0.33925	0.35668	0.030021

Tinggi total balok prategang : $h = 1.60$ m

Luas penampang balok prategang : $A = 0.477$ m²

Letak titik berat : $y_b = \Sigma A * y / \Sigma A = 0.7107$ m

$h_o = 0.20$ m

$y_a = h - y_b = 0.889$ m

Momen inersia terhadap alas balok : $I_b = \Sigma A * y^2 + \Sigma I_o = 0.3867$ m⁴

Momen inersia terhadap titik berat balok : $I_x = I_b - A * y_b^2 = 0.145607$ m⁴

Tahanan momen sisi atas : $W_a = I_x / y_a = 0.163724$ m³

Tahanan momen sisi bawah : $W_b = I_x / y_b = 0.204891$ m³

Tabel 5 Section Properties Balok Komposit

No.	Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak terhadap Alas y (m)	Statis Momen A*y (m ³)	Inersia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _o (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
0	1.205	0.200	0.2410	1.700	0.40977	0.69660	0.000803
1	0.550	0.125	0.0688	1.538	0.10570	0.16252	0.000090
2	0.185	0.075	0.0139	1.425	0.01977	0.02817	0.000004
3	0.180	1.250	0.2250	0.850	0.19125	0.16256	0.029297
4	0.235	0.100	0.0235	0.258	0.00607	0.00157	0.000013
5	0.650	0.225	0.1463	0.113	0.01645	0.00185	0.000627
Total :			0.7184		0.74902	1.05328	0.030824

Tinggi total balok komposit : $h_c = 1.80 \text{ m}$

Luas penampang balok komposit : $A_c = 0.7184 \text{ m}^2$

Letak titik berat : $y_{bc} = \sum A_c * y / \sum A_c = 1.0426 \text{ m}$

$y_{ac} = h_c - y_{bc} = 0.7574 \text{ m}$

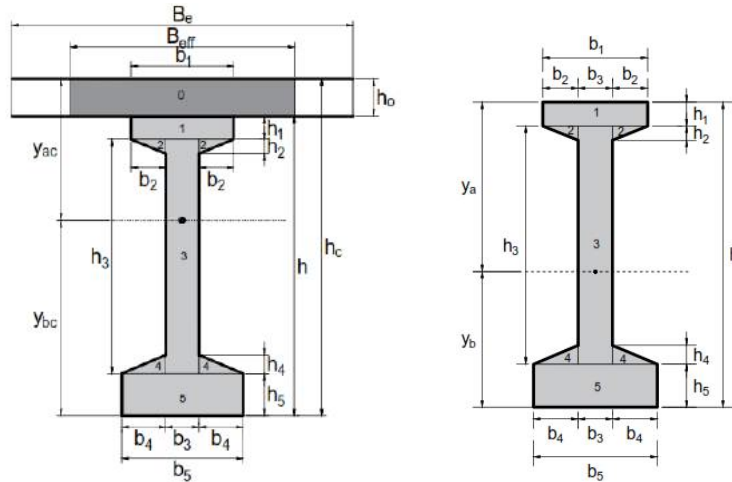
Momen inersia terhadap alas balok : $I_{bc} = \sum A_c * y^2 + \sum I_{co} = 1.084 \text{ m}^4$

Momen inersia terhadap titik berat balok komposit : $I_{xc} = I_{bc} - A_c * y_{bc}^2 = 0.303 \text{ m}^4$

Tahanan momen sisi atas plat : $W_{ac} = I_{xc} / y_{ac} = 0.400 \text{ m}^3$

Tahanan momen sisi atas balok : $W'_{ac} = I_{xc} / (y_{ac} - h_o) = 0.544 \text{ m}^3$

Tahanan momen sisi bawah balok : $W_{bc} = I_{xc} / y_{bc} = 0.291 \text{ m}^3$



Gambar 7 Section properties balok prategang dan balok komposit

Pembebanan Balok Prategang

Pembahasan berikut ini akan merencanakan geagar memanjang (girder) pada jembatan 24 meter berdasarkan beban dari SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. Adapun data jembatan dapat dilihat dibawah ini :

❖ Berat Sendiri (MS)

Berat Diafragma (dimensi diafragma 0.20x1.65x1.25 m)

Berat 1 buah diafragma, $W = 10.33 \text{ kN}$

Jumlah diafragma, $n = 7 \text{ buah}$

Berat diafragma, $W_{\text{diafragma}} = 72.319 \text{ kN}$

Momen maks di tengah bentang L, $M_{max} = (1/2 * n * x_3 - x_2 - x_1) * W = 309.93 \text{ kN/m}$
 Berat diafragma ekuivalen, $Q_{diafragma} = 8 * M_{max} / L^2 = 4.305 \text{ kN/m}$
 Berat Balok Prategang, $W_{balok} = A * L * w_c = 292.2 \text{ kN}$ Berat balok prategang + 10 %
 $Q_{balok} = W_{balok} / L = 12.173 \text{ kN/m}$

Tabel 6 Gaya Dalam Akibat Berat Sendiri

No.	Jenis beban berat sendiri	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m ²)	Berat sat w (kN/m ³)	Beban Q _{MS} (kN/m)	Geser V _{MS} (kN)	Momen M _{MS} (kNm)
1	Balok Prategang					12.173	146.077	876.461
2	Plat lantai	1.833	0.20	0.367	25.00	9.165	109.980	659.880
3	Diafragma					4.305	51.656	309.938
Total :						25.643	307.713	1846.278

❖ Beban Mati Tambahan (MA)

Tabel 7 Gaya dalam akibat beban mati tambahan

No.	Jenis beban mati tambahan	Lebar B (m)	Tebal h (m)	Luas A (m ²)	Berat sat w (kN/m ³)	Beban Q _{MA} (kN/m)	Geser V _{MA} (kN)	Momen M _{MA} (kNm)
1	Lapisan aspal + overlay	1.83	0.10	0.183	22.00	4.033	48.3912	290.3472
2	Air hujan	1.83	0.05	0.092	9.80	0.898	10.77804	64.66824
Total :						4.931	59.169	355.015

❖ Beban Lajur "D" (TD)

Jarak antara balok prategang, $s = 1.83 \text{ m}$
 Beban merata : $q = 0.8 * (0.5 + 15 / L) = 9.00 \text{ kPa}$
 Beban merata pada balok : $Q_{TD} = q * s = 16.50 \text{ kN/m}$
 Beban garis : $p = 49.00 \text{ kN/m}$
 Faktor beban dinamis , $DLA = 0.40$
 Beban terpusat pada balok : $P_{TD} = (1 + DLA) * p * s = 125.7438 \text{ kN}$
 Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur "D" :
 $V_{TD} = 1/2 * Q_{TD} * L + 1/2 * P_{TD} = 260.836 \text{ kN}$
 $M_{TD} = 1/8 * Q_{TD} * L^2 + 1/4 * P_{TD} * L = 1942.247 \text{ kNm}$

❖ Gaya Rem (TB)

Gaya rem, $H_{TB} = 250.00 \text{ kN}$ untuk $L \leq 80 \text{ m}$
 Jumlah balok prategang untuk jalur selebar , $n_{balok} = 4$
 Jarak antara balok prategang, $s = 1.833 \text{ m}$
 Gaya rem untuk $L \leq 80 \text{ m}$: $T_{TB} = H_{TB} / n_{balok} = 62.50 \text{ kN}$
 Gaya rem, $T_{TB} = 5\%$ beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis,
 $Q_{TD} = q * s = 16.497 \text{ kN/m}$
 $P_{TD} = p * s = 89.82 \text{ kN}$
 $T_{TB} = 0.05 * (Q_{TD} * L + P_{TD}) = 24.29 \text{ kN} < T_{TB} = 62.50 \text{ kN}$
 Diambil gaya rem, $T_{TB} = 62.50 \text{ kN}$
 Lengan terhadap Titik berat balok, $y = 1.80 + h_a + y_{ac} = 2.66 \text{ m}$
 Beban momen akibat gaya rem, $M = T_{TB} * y = 166.09 \text{ kNm}$

❖ **Beban Angin (EW)**

Beban garis merata tambahan arah horisontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan diatas lantai jembatan dihitung dengan rumus:

$$T_{EW} = 0.0012 * C_w * (V_w)^2$$

$$= 1.764 \text{ kN/m}$$

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2 m di atas lantai jembatan. $h = 2 \text{ m}$

Jarak antara roda kendaraan, $x = 1.75 \text{ m}$

Transfer beban angin ke lantai jembatan, $Q_{EW} = [1/2 * h / x * T_{EW}] = 1.008 \text{ kN/m}$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin :

$$V_{EW} = 1/2 * Q^{EW} * L = 12.096 \text{ kN}$$

$$M_{EW} = 1/8 * Q^{EW} * L^2 = 72.576 \text{ kNm}$$

❖ **Beban Gempa (EQ)**

Berat sendiri, $Q_{MS} = 25.643 \text{ kN/m}$

Beban mati tambahan, $Q_{MA} = 4.931 \text{ kN/m}$

$$W_t = (Q_{MS} + Q_{MA}) * L = 733.764 \text{ kN}$$

Koefisien beban gempa horisontal $K_h = C * S = 0.2229$

Koefisien beban gempa vertikal, $K_v = 50\% * K_h = 0.1114 > 0.10$

Diambil, $K_v = 0.11$

Gaya gempa vertikal, $T_{EQ} = K_v * W_t = 81.79639541 \text{ kN}$

Beban gempa vertikal, $Q_{EQ} = T_{EQ} / L = 3.4082 \text{ kN/m}$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban gempa vertikal :

$$V_{EQ} = 1/2 * Q_{EQ} * L = 40.898 \text{ kN}$$

$$M_{EQ} = 1/8 * Q_{EQ} * L^2 = 245.389 \text{ kNm}$$

Berdasarkan perhitungan beban yang bekerja pada jembatan adalah sebagai berikut:

Tabel 8 Resume momen dan gaya geser pada balok

No.	Jenis Beban	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	Q (kNm)	Keterangan
1	Berat balok prategang	balok	12.173	-	-	Beban merata, Q_{balok}
2	Berat plat	plat	9.165	-	-	Beban merata, Q_{plat}
3	Berat sendiri	MS	25.643	-	-	Beban merata, Q_{MS}
4	Mati Tambahan	MA	4.931	-	-	Beban merata, Q_{MA}
5	Lajur "D"	TD	16.497	125.744	-	Beban merata, Q_{MA} & terpusat, P_{TD}
6	Gaya rem	TB	-	-	166.088	Beban momen M_{TB}
7	Angin	EW	1.008	-	-	Beban merata Q_{EW}
8	Gempa	EQ	3.408	-	-	Beban merata Q_{EQ}

Momen Pada Balok Prategang

Analisis momen yang terjadi pada balok prategang dapat dilihat pada tabel yang disajikan berikut ini.

Tabel 9 Momen Pada Balok Prategang

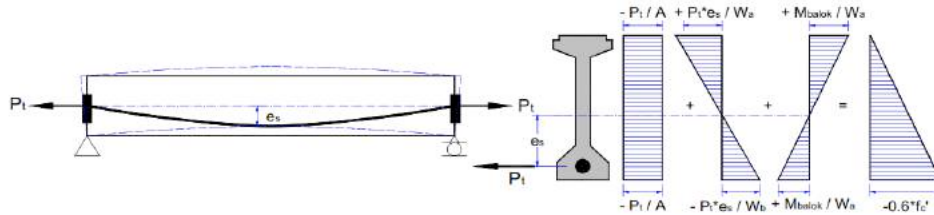
Jarak X (m)	Momen pada balok prategang akibat beban							KOMB I	KOMB II	KOMB III	KOMB IV
	Berat balok (kNm)	Berat sen (kNm)	Mati tamb (kNm)	Lajur "D" (kNm)	Rem (kNm)	Angin (kNm)	Gempa (kNm)	MS+ MA+	MS+ MA+	MS+MA+TD	MS+MA+ EQ
								TD+TB	TD+EW	+TB+ EW	
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	139.99	294.89	56.70	252.59	6.92	11.59	39.19	611.10	615.77	622.70	390.79
2.0	267.81	564.14	108.48	488.68	13.84	22.18	74.98	1175.14	1183.47	1197.31	747.60
3.0	383.45	807.75	155.32	708.27	20.76	31.75	107.36	1692.10	1703.09	1723.85	1070.42
4.0	486.92	1025.71	197.23	911.37	27.68	40.32	136.33	2161.99	2174.63	2202.31	1359.27
5.0	578.22	1218.03	234.21	1097.97	34.60	47.88	161.89	2584.81	2598.09	2632.69	1614.13
6.0	657.35	1384.71	266.26	1268.07	41.52	54.43	184.04	2960.56	2973.47	3014.99	1835.01
7.0	724.30	1525.74	293.38	1421.67	48.44	59.98	202.79	3289.24	3300.78	3349.22	2021.91
8.0	779.08	1641.14	315.57	1558.78	55.36	64.51	218.12	3570.85	3580.00	3635.36	2174.83
9.0	821.68	1730.89	332.83	1679.39	62.28	68.04	230.05	3805.39	3811.15	3873.43	2293.76
10.0	852.11	1794.99	345.15	1783.51	69.20	70.56	238.57	3992.86	3994.22	4063.42	2378.72
11.0	870.37	1833.46	352.55	1871.13	76.12	72.07	243.69	4133.26	4129.21	4205.33	2429.69
12.0	876.46	1846.28	355.02	1942.25	83.04	72.58	245.39	4226.58	4216.12	4299.16	2446.68

Gaya Prategang, Eksentrisitas, dan Jumlah Tendon

Mutu beton girder prestress : K-500

Kuat tekan beton, $f'_c = 0.83 * K * 100 = 41500 \text{ kPa}$

Kuat tekan beton pada keadaan awal (saat transfer), $f'_{ci} = 0.80 * f'_c = 33200 \text{ kPa}$



Gambar 8 Gaya prategang pada balok

Ditetapkan jarak titik berat tendon terhadap alas balok, $z_0 = 0.175 \text{ m}$

Eksentrisitas tendon, $e_s = y_b - z_0 = 0.536 \text{ m}$

Momen akibat berat sendiri balok, $M_{balok} = 876.46 \text{ kN/m}$

Tegangan di serat atas,

$$0 = - P_t / A + P_t * e_s / W_a - M_{balok} / W_a \dots \dots \dots (2)$$

Tegangan di serat bawah,

$$0.6 * f'_{ci} = - P_t / A - P_t * e_s / W_b + M_{balok} / W_b \dots \dots \dots (3)$$

Besarnya gaya prategang awal,

Dari persamaan (2) : $P_t = M_{balok} / (e_s - W_a / A) = 4548.6 \text{ kN}$

Dari persamaan (3) : $P_t = [0.60 * f'_{ci} * W_b + M_{balok}] / (W_b / A + e_s) = 5138.465 \text{ kN}$

Diambil besarnya gaya prategang, $P_t = 4548.6 \text{ kN}$

Beban putus satu tendon, $P_{b1} = 2247.88 \text{ kN}$

Beban putus minimal satu strand, $P_{bs} = 187.32 \text{ kN}$

Gaya prategang saat jacking : $P_j = P_{t1} / 0.85$ persamaan (1)

$$P_j = 0.80 * P_{b1} * n_t \quad \text{persamaan (2)}$$

Dari persamaan (2) dan (3) diperoleh jumlah tendon yang diperlukan :

$n_t = P_t / (0.85 * 0.80 * P_{b1}) = 2.975 \text{ Tendon}$ → Jumlah tendon, $n_t = 3 \text{ Tendon}$

Jumlah kawat untai (strands cable) yang diperlukan,

$n_s = P_t / (0.85 * 0.80 * P_{bs}) = 35.709 \text{ Strands}$ → Digunakan $n_s = 36 \text{ Strands}$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% Jacking Force) :

$p_o = P_t / (0.85 * n_s * P_{bs}) * 100\% = 79.35\% < 80\% \text{ (OK)}$

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking :

$$P_j = p_o * n_s * P_{bs} = 5351.295 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (*loss of prestress*) = 30%

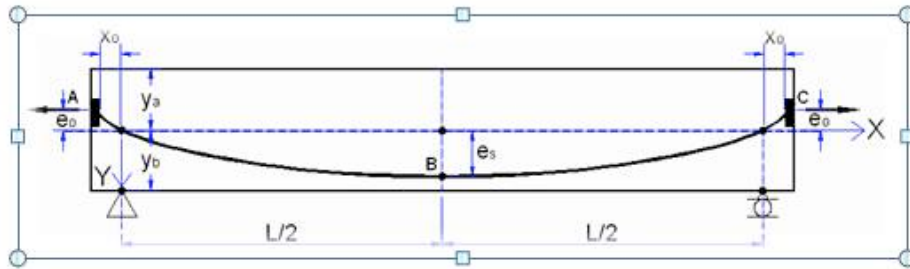
Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan (*loss of prestress*) sebesar 30%:

$$P_{eff} = 70\% * P_j = 3745.906 \text{ kN}$$

Lintasan Inti Tendon (Cable)

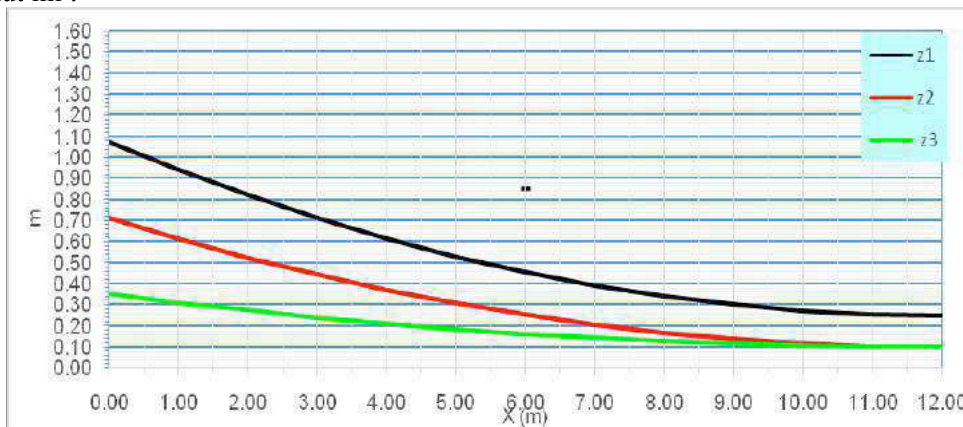
Eksentrisitas, $e_s = 0.536 \text{ m}$

Persamaan lintasan tendon : $Y = 4 * f * X / L^2 * (L - X)$ dengan, $f = e_s$



Gambar 9 Persamaan Lintasan tendon

Berdasarkan persamaan lintasan tendon di atas diperoleh lintasan tendon seperti pada grafik berikut ini :



Gambar 10 Lintasan tendon

Kehilangan Gaya Prategang

Dari hasil perhitungan diperoleh kehilangan gaya prategang yang terjadi akibat berbagai faktor adalah sebesar 25.52 % dari Gaya prategang yang terjadi akibat jacking, berikut adalah tabel kehilangan gaya prategang.

Tabel 10 Kehilangan gaya prategang

Gaya	(kN)	Loss of prestress	% UTS
P_i	5351.30	<i>Anchorage friction</i>	79.35%
P_o	5190.76	<i>Jack friction</i>	76.97%
P_x	4858.33	<i>Elastic shortening</i>	72.04%
P_i	4644.90	<i>Relaxation of tendon</i>	68.88%
P_{eff}	4039.06	Prategang Efektif	59.90%

Tegangan Yang Terjadi

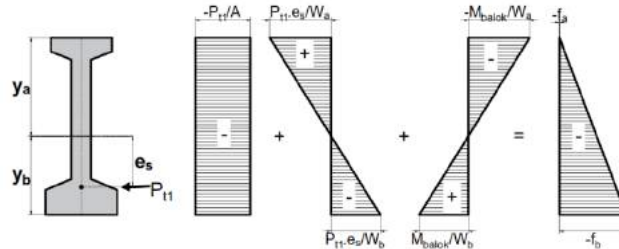
Tegangan pada saat transfer

Mutu beton balok prategang = K-500

Kuat tekan beton, $f_c' = 0.83 * K * 100 = 41500 \text{ kPa}$

Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer), $f_{ci}' = 0.80 * f_c' = 33200 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tekan beton, $-0.6 * f_{ci}' = -19920 \text{ kPa}$



Gambar 11 Tegangan pada balok keadaan saat transfer

Tegangan di serat atas, $f_{ca} = - P_t / A + P_t * e_s / W_a - M_{balok} / W_a = 0.000 \text{ kPa}$

Tegangan di serat bawah, $f_{cb} = - P_t / A - P_t * e_s / W_b + M_{balok} / W_b$

$= -17142 \text{ kPa} < -0.6 * f_{ci}'$ (Aman)

Tegangan beton pada kondisi beban layan (setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan) tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut :

Tegangan ijin tekan beton, $F_c' = -0.45 * f_c' = -18675 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tarik beton, $F_c = -0.50 * \sqrt{f_c'} = 102 \text{ kPa}$

Tegangan akibat berat sendiri (MS)

Tegangan beton di serat atas plat, $f_{ac} = - M_{MS} / W_{ac} = -4612.34 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok, $f'_{ac} = - M_{MS} / W'_{ac} = -3394.41 \text{ kPa}$

Tegangan di serat bawah balok, $f_{bc} = M_{MS} / W_{bc} = 6349.058 \text{ kPa}$

Tegangan akibat beban mati tambahan (MA)

Tegangan beton di serat atas plat, $f_{ac} = - M_{MS} / W_{ac} = -886.893 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok, $f'_{ac} = - M_{MS} / W'_{ac} = -652.701 \text{ kPa}$

Tegangan di serat bawah balok, $f_{bc} = M_{MS} / W_{bc} = 1220.842 \text{ kPa}$

Tegangan akibat prategang (PR)

Tegangan beton di serat atas plat, $f_{ac} = - P_{eff} / A_c + P_{eff} * e'_s / W_{ac} = 3132 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok, $f'_{ac} = - P_{eff} / A_c + P_{eff} * e'_s / W'_{ac} = 820 \text{ kPa}$

Tegangan di serat bawah bawah, $f_{bc} = - P_{eff} / A_c - P_{eff} * e'_s / W_{bc} = -17673 \text{ kPa}$

Tegangan akibat beban lajur "D" (TD)

Tegangan beton di serat atas plat, $f_{ac} = f_{ac} = - M_{TD} / W_{ac} = -4852 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok, $f'_{ac} = f'_{ac} = - M_{TD} / W'_{ac} = -3571 \text{ kPa}$

Tegangan di serat bawah bawah, $f_{bc} = f_{bc} = M_{TD} / W_{bc} = 6679 \text{ kPa}$

Tabel 11. Tegangan maksimum terjadi pada kombinasi 4

Tegangan	Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban									Tegangan KOMB	Keterangan
	Berat Sen MS	Mati Tamb MA	Susut-Rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ		
f_{ac}	-4612	-887	-557	3132	-4852	207	-531	-181		-8696	$< F_c'$ (Aman)
f'_{ac}	-3394	-653	45	820	-3571	-153	-981	-133		-8020	$< F_c'$ (Aman)
f_{bc}	6349	1221	748	-17673	6679	286	-711	250		-2851	$< F_c'$ (Aman)

Lendutan Yang Terjadi Pada Balok

Lendutan Pada Balok Prestress (Sebelum Composit)

$$\begin{aligned} E_{\text{balok}} &= 3.57.E+07 \text{ kPa} \\ I_x &= 0.1456\text{m}^4 \\ L &= 24.00 \text{ m} \end{aligned}$$

Lendutan pada keadaan awal (transfer)

$$d = 5/384 * (-Q_{\text{pt1}} + Q_{\text{balok}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_x) = -0.018 \text{ m} \quad \text{ke atas } < L/240 \text{ (OK)}$$

Lendutan setelah loss of prestress

$$d = 5/384 * (-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_x) = -0.015 \text{ m} \quad \text{ke atas } < L/240 \text{ (OK)}$$

Lendutan Setelah Plat Dan Balok Menjadi Komposit

$$d = 5/384 * (-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok+plat}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = -0.011 \text{ m} \quad \text{ke atas } < L/240 \text{ (OK)}$$

Lendutan Pada Balok Composit

$$\begin{aligned} E_{\text{balok}} &= 3.57.E+07 \text{ kPa} & L &= 24.00 \text{ m} \\ I_{\text{xc}} &= 0.303 \text{ m}^4 & P_{\text{eff}} &= 4039.06 \text{ kN} \\ e_s &= 0.53566 \text{ m} & e'_s &= 0.867596 \text{ m} \end{aligned}$$

Lendutan maksimum yang diijinkan $d = L / 300 = 0.0800 \text{ m}$

Lendutan akibat berat sendiri (MS)

$$d = 5/384 * Q_{\text{MS}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.01024\text{m} \quad \text{ke bawah}$$

Lendutan akibat beban mati tambahan (MA)

$$d = 5/384 * Q_{\text{MA}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00197 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

Lendutan akibat prestress (PR)

$$d = 5/384 * -Q_{\text{eff}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = -0.01200 \text{ m} \quad \text{ke atas}$$

Lendutan akibat beban lajur "D" (TD)

$$d = 1/48 * P_{\text{TD}} * L^3 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) + 5/384 * Q_{\text{TD}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00994 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

Lendutan akibat beban rem (TB)

$$d = 0.0642 * Q_{\text{TB}} * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00057 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

Lendutan akibat pengaruh temperatur (ET)

$$d = 0.0642 * S_{\text{pt}} * e_p * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00233 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

Lendutan akibat beban angin (EW)

$$Q_{\text{EW}} = 1.008 \text{ kN/m}$$

$$d = 5/384 * Q_{\text{EW}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00040 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

Lendutan akibat beban gempa (EQ)

$$d = 5/384 * Q_{\text{EQ}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00136 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

Lendutan maksimum yang diijinkan $d = L / 300 = 0.0800 \text{ m}$

Tabel 12. Lendutan Yang Terjadi Akibat Kombinasi Pembebanan

d	Lendutan (m) pada balok komposit beban										Keterangan
	Berat Sen	Mati Tamb	Sust-Rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	Lendutan	
	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ	KOMB	
KOMBINASI - 1											
d (m)	0.01140	0.00219	-0.00272	-0.00955	0.011	0.00063				0.00984	< L/300
KOMBINASI - 2											
d (m)	0.01140	0.00219	-0.00272	-0.00955	0.011	0.00063	0.00233			0.01218	< L/300
KOMBINASI - 3											
d (m)	0.01140	0.00219	-0.00272	-0.00955	0.011	0.00063		0.00040		0.01025	< L/300
KOMBINASI - 4											
d (m)	0.01140	0.00219	-0.00272	-0.00955	0.011	0.00063	0.00233	0.00040		0.01258	< L/300
KOMBINASI - 5											
d (m)	0.01140	0.00219	-0.00272	-0.00955					0.0013	0.00070	< L/300

Lendutan maksimum pada balok komposit akibat kombinasi pembebanan terjadi pada kombinasi 4 yakni sebesar 0.01258 m < **L/300 (OK)**

Tinjauan Ultimit Balok Prategang

Gaya prestress efektif (*setelah loss of prestress*), $P_{eff} = 4039.06 \text{ Kn}$
 Tegangan efektif baja prestress, $f_{eff} = P_{eff} / A_{ps} * 10^{-3} = 1136.7 \text{ MPa}$
 Rasio luas penampang baja prestress, $r_p = A_{ps} / A_c = 0.004946$
 Section Properties : $B_{eff} = 1.21 \text{ m}$ $h = 1.60 \text{ m}$ $h_o = 0.20 \text{ m}$
 Tinggi total balok prategang, $H = h + h_o = 1.80 \text{ m}$
 $L/H = 13.333 \text{ m} < 35 \text{ (OK)}$

$f_{ps} = f_{eff} + 150 + f'_c / (100 * \rho_p) = 1370.6 \text{ MPa}$
 $f_{ps} = f_{eff} + 400 = 1536.7 \text{ MPa}$
 $f_{ps} = 0.8 * f_{py} = 1264 \text{ MPa}$
 Diambil kuat leleh baja prategang, $f_{ps} = 1264.0 \text{ MPa}$
 Untuk, $f'_c = 41.5 \text{ MPa}$

$$b_1 = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7 = 0.768$$

Letak titik berat tendon baja prategang terhadap alas balok, $z_o = 0.175 \text{ m}$

Tinggi efektif balok, $d = h + h_o - z_o = 1.63 \text{ m}$

Kuat leleh baja prategang, $f_{ps} = 1264000 \text{ kPa}$

Gaya tarik pada baja prestress, $T_s = A_{ps} * f_{ps} = 4491.24 \text{ kPa}$

Diperkirakan, $a < (h_o + h_1)$ $h_o + h_1 = 0.325 \text{ m}$

Gaya tekan beton, $C_c = [B_{eff} * h_o + b_1 * (a - h_o)] * 0.85 * f'_c$
 $C_c = T_s$

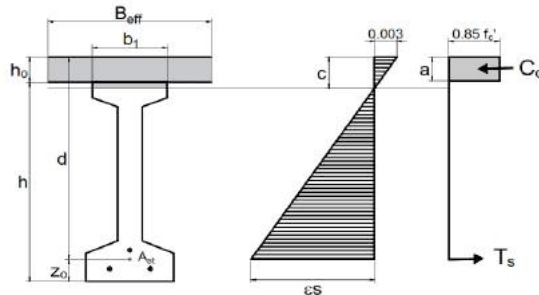
maka, $a = [T_s / (0.85 * f'_c) - B_{eff} * h_o] / b_1 + h_o = 0.2315 \text{ m}$

$a < h_o + h_1$ perkiraan benar (OK)

Jarak garis netral terhadap sisi atas, $c = a / b_1 = 0.301 \text{ m}$

Regangan baja prestress, $\epsilon_{ps} = 0.003 * (d - c) / c$
 $= 0.0132 < 0.03 \text{ (OK!)}$

Gaya internal tekan beton, $C_c = S [A_i * 0.85 * f'_c]$
 Momen nominal, $M_n = S [A_i * 0.85 * f'_c * y_i]$



Gambar 12 Kapasitas momen ultimit balok

Tabel 13. Gaya tekan beton dan momen nominal

Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m ²)	Gaya kN	Lengan terhadap pusat baja prestress	y	Momen (kNm)
1.21	0.2000	0.2410	8502.65	$y = d - h_o / 2$	1.525	12966.54
0.55	0.0315	0.0173	610.99	$y = d - h_o / 2 - (a - h_o) / 2$	1.409	861.05
$C_c = T_s =$			9113.64	Momen Nominal	$M_n =$	13827.59

Faktor reduksi kekuatan lentur, $f = 0.80$
 Kapasitas momen ultimit balok prestress, $f * M_n = 11062.07 \text{ kNm}$

Momen ultimit balok dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 14. Resume momen balok

Aksi / Beban	Faktor Beban Ultimit		Daya Layan		Kondisi Ultimit	
			Momen		Momen Ultimit	
			M	(kNm)	Mu	(kNm)
A. Aksi Tetap						
Berat sendiri	K_{MS}	1.3	M_{MS}	1846.28	$K_{MS} * M_{MS}$	2400.16
Beban Mati Tambahan	K_{MA}	2.0	M_{MA}	355.015	$K_{MA} * M_{MA}$	710.03
Susut dan Rangkak	K_{SR}	1.0	M_{SR}	20.857	$K_{SR} * M_{SR}$	20.857
Prategang	K_{PR}	1.0	M_{PR}	-2163.5	$K_{PR} * M_{PR}$	-2163.5
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	K_{TD}	2.0	M_{TD}	1942.25	$K_{TD} * M_{TD}$	3884.49
Gaya Rem	K_{TB}	2.0	M_{TB}	83.0439	$K_{TB} * M_{TB}$	166.09
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	K_{ET}	1.2	M_{ET}	681.986	$K_{ET} * M_{ET}$	818.38
Beban Angin	K_{EW}	1.2	M_{EW}	72.576	$K_{EW} * M_{EW}$	87.09
Beban Gempa	K_{EQ}	1.0	M_{EQ}	245.389	$K_{EQ} * M_{EQ}$	245.39

Kapasitas momen balok, $M_u = f * M_n = 11062.07 \text{ kNm}$

Tabel 15. Kombinasi momen ultimit

Momen Ultimit	Berat Sen $K_{MS} * M_{MS}$	Mati Tamb $K_{MA} * M_{MA}$	Sust-Rang $K_{SR} * M_{SR}$	Prategang $K_{PR} * M_{PR}$	Lajur "D" $K_{TD} * M_{TD}$	Rem $K_{TB} * M_{TB}$	Temperatur $K_{ET} * M_{ET}$	Angin $K_{EW} * M_{EW}$	Gempa $K_{EQ} * M_{EQ}$	Lendutan KOMB	Keterangan
KOMBINASI - 1											
M_u	2400.16	710.03	-20.86	-2163.54	3884.49	166.09				5018.09	$< M_n$
KOMBINASI - 2											
M_u	2400.16	710.03	-20.86	-2163.54	3884.49	166.09	818.38			5836.47	$< M_n$
KOMBINASI - 3											
M_u	2400.16	710.03	-20.86	-2163.54	3884.49	166.09		87.09		5105.18	$< M_n$
KOMBINASI - 4											
M_u	2400.16	710.03	-20.86	-2163.54	3884.49		818.38	87.09		5757.47	$< M_n$
KOMBINASI - 5											
M_u	2400.16	710.03	-20.86	-2163.54					245.39	1212.89	$< M_n$

Kombinasi momen ultimit maksimum pada balok komposit akibat kombinasi pembebanan terjadi pada kombinasi 4 yakni sebesar 5836.47 kNm $<$ kapasitas momen balok sebesar 11062.07 kNm.

5. Kesimpulan

Dari hasil desain dan analitis yang telah dilakukan pada tulisan ini didapat beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

- Untuk jembatan bentang 24 m dibutuhkan girder prategang yang ideal dengan tinggi 160 cm.
- Berdasarkan SNI 1725 2016 pembebanan untuk jembatan prategang bentang 24 m dibutuhkan jumlah tendon sebanyak 3 buah dengan tiap tendon terdiri dari 12 strand dengan diameter 12.7 mm.
- Kehilangan prategang yang digunakan pada asumsi awal desain sebesar 30% dan setelah perhitungan mendapatkan kehilangan prategang sebesar 24.52% pada balok girder.

6. Daftar Pustaka

- Departemen Pekerjaan Umum. (2016). Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

-
- Hadipratomo, W. (2008). Analisis dan Desain Struktur Beton Prategang. Bandung: PT. Danamartha Sejahtera Utama.
- Budiadi, A. (2008). Desain Praktis Beton Prategang. Yogyakarta: CV. Andi offset.
- Supriyadi, B., & Muntohar, S.A. (2007). Jembatan. Yogyakarta: Beta offset.
- Kusuma, G., & Vis, W.C. (1997). Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, E. G. (2001). Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar. Jakarta: Erlangga.
- Prestressed Concrete Institute. (2010). PCI Design Handbook – Precast and Prestressed Concrete. Chicago: Prestressed Concrete Institute.
- Ilham, M. N. (2008). Perhitungan Balok Prategang (PC-I Girder). Yogyakarta.