

PERENCANAAN GELAGAR PRATEGANG PADA JEMBATAN KRUENG TINGKEUM KABUPATEN BIREUEN

Meutuwah Ridhana¹, Syukri², Herri Mahyar³

- ¹) Mahasiswa, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jalan Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata, email: meutuwahridhana@gmail.com
- ²) Dosen, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jalan Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata, email: sukriskr@yahoo.com
- ³) Dosen, Program sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jalan Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata, email: heri.allawe@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan Krueng Tingkeum terletak di Kutablang, Bireuen, Aceh, Indonesia, yang memiliki panjang 120 m dan lebar 9 m. Jembatan ini dibangun dari konstruksi gabungan rangka baja dengan gelagar baja komposit. Tugas akhir ini bertujuan untuk mendesain jembatan Krueng Tingkeum dari jenis gelagar beton prategang, sebagai sebuah alternatif perencanaan, dengan panjang tiap bentang 40 m. Perencanaan ini meliputi pemilihan dimensi gelagar, perhitungan beban, perencanaan tendon, perhitungan tegangan, lendutan, dan penulangan gelagar. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tinggi gelagar jembatan sebesar 2,1 m dengan jumlah tendon 3 buah dan *strand* 47 buah. Tendon 1,2 dan 3 masing-masing mempunyai *strand* sebanyak 9, 19, dan 19 buah. Kehilangan gaya prategang yang timbul pada gelagar sebesar 29,8% dan lendutan terbesar yang timbul akibat pembebanan sebesar 0,01315 m.

Kata kunci: *gelagar, prategang, tendon, stramds*.

I. PENDAHULUAN

Jembatan Krueng Tingkeum merupakan jembatan yang terletak di Kecamatan Kutablang Kabupaten Bireuen, yang dibangun dari konstruksi gabungan gelagar komposit dengan rangka baja. Panjang jembatan adalah 120 meter, yang terbagi menjadi 3 bentang, yaitu 2 bentang samping sepanjang 30 meter dibangun menggunakan gelagar komposit, dan bentang tengah sepanjang 60 meter dibangun dari konstruksi rangka baja. Lebar keseluruhan jembatan adalah 9 meter (terdiri dari lebar lantai kendaraan 7 meter serta lebar masing-masing trotoar 1 meter). Dalam penulisan tugas akhir ini, jembatan Krueng Tingkeum didesain ulang menggunakan konstruksi gelagar beton prategang, yang terdiri dari 3 bentang gelagar dengan panjang masing-masing 40 meter. Tipe gelagar prategang yang digunakan adalah I girder yang dicetak di pabrik dengan pemberian gaya prategang dilakukan menggunakan sistem pascatarik (*posttension*).

Perencanaan ini memiliki tiga pokok permasalahan, yaitu dimensi gelagar yang aman terhadap beban yang bekerja, jumlah strands dan tendon yang dibutuhkan, serta control lendutan yang timbul terhadap lendutan yang diijinkan. Tugas akhir ini bertujuan untuk mendesain gelagar prategang yang mampu menahan beban-beban yang bekerja dengan memahami konsep-konsep perhitungan beton prategang.

Beton Prategang

Menurut T.Y. Lin (1996:11), “Beton Prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan didistribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal”.

Terdapat dua jenis sistem pemberian gaya prategang, yaitu sistem pratarik (*pretension*) dan pascatarik (*posttension*). Pada sistem pratarik, tendon ditarik sebelum beton dicor. Setelah beton cukup keras, tendon dipotong dan gaya prategang akan tersalur melalui lekatan. Sedangkan pada sistem pascatarik, tendon ditarik setelah beton dicor. Sebelum pengecoran dilakukan terlebih dahulu dipasang selongsong untuk alur tendon. Setelah beton mengeras, tendon dimasukkan ke dalam beton melalui selubung tendon yang sebelumnya telah dipasang. Setelah selesai, dilakukan grouting ke dalam selongsong tendon. Untuk memudahkan sistem transportasi dari pabrik, maka biasanya beton prategang dengan sistem posttension ini dilaksanakan secara segmental, kemudian pemberian gaya prategang dilaksanakan di lapangan, setelah balok-balo selesai dirangkai.

Tidak seperti beton konvensional, beton prategang mengalami beberapa tahap pembebanan. Menurut Soetoyo (2000:7), “Pada perencanaan beton prategang terdapat dua tahap pembebanan yang harus selalu dilakukan pengecekan atas kondisi serat tekan dan serat tarik dari setiap penampang. Pada tahap tersebut berlaku tegangan izin yang berbeda-beda sesuai kondisi beton dan tendon. Dua tahapan tersebut adalah tahap transfer dan tahap *service* (layan)”. Tahap transfer adalah tahap pada saat beton mulai mengering dan dilakukan penarikan kabel prategang. Pada tahapan ini beban yang bekerja hanya beban mati struktur, yaitu berat sendiri struktur ditambah beban pekerja dan alat, sedangkan beban hidup belum bekerja. Sedangkan tahap layan (*service*) adalah tahap pada saat kondisi beton sudah digunakan sebagai komponen struktur, dan sudah mulai bekerja beban luar seperti beban angin, beban gempa, dan lain-lain. Pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan di dalam analisa strukturnya seperti kekuatan, daya layan, lendutan terhadap lendutan ijin, dan nilai retak terhadap batas yang diijinkan.

II. METODOLOGI

A. Pendimensian Awal Penampang

Pemilihan dimensi awal penampang dapat dipilih sekecil mungkin setelah melakukan perhitungan menggunakan rumus pendekatan, yaitu

$$h = 1/17 \times L \text{ sampai } h = 1/25 \times L$$

B. Perhitungan Beban-Beban yang Bekerja

Beban-beban yang diperhitungkan bekerja pada jembatan yaitu beban tetap yang terdiri dari berat sendiri dan beban mati tambahan, beban lalu lintas yang terdiri dari beban truk “T” dan beban lajur “D”, gaya rem, beban angin, dan beban gempa. Selanjutnya melakukan Pengkombinasian gaya dan momen akibat pembebanan yang bekerja pada gelagar jembatan dilakukan untuk mengetahui besaran momen maksimum yang harus dipikul oleh gelagar. Sebelum dikombinasikan, masing-masing momen dikalikan terlebih dahulu dengan koefisien faktor beban masing-masing..

C. Posisi dan Jumlah Tendon

Perhitungan terhadap jumlah dan tata letak tendon sangat berpengaruh terhadap kekuatan struktur gelagar prategang. Gaya prategang harus terletak di dalam batas-batas yang ditetapkan. Kabel-kabel dilengkungkan mengikuti suatu bentuk parabola menuju ke penampang di atas tumpuan. Sebelum gaya prategang diperhitungkan, tata letak tendon yang aman harus didesain terlebih dahulu. Pada komponen pascatarik, lintasan tendon yang digunakan adalah lintasan parabola.

D. Kehilangan Gaya Prategang

Menurut Nawy (2001:73), “Kehilangan gaya prategang adalah suatu kenyataan yang jelas bahwa gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif selama waktu kurang lebih 5 tahun”. Kehilangan gaya prategang terdiri dari kehilangan akibat perpendekan elastis beton, relaksasi baja, susut dan rangkai, akibat friksi dan akibat pengankuran. Kehilangan gaya prategang total dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$\Delta f_{PT} = \Delta f_{PES} + \Delta f_{PR} + \Delta f_{PCR} + \Delta f_{PSH} + \Delta f_{PF} + \Delta f_{PA}$$

dimana:

- Δf_{PT} = kehilangan gaya prategang total (MPa)
- Δf_{PES} = kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (MPa)
- Δf_{PR} = kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (MPa)
- Δf_{PCR} = kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton (MPa)
- Δf_{PSH} = kehilangan gaya prategang akibat susut beton (MPa)
- Δf_{PF} = kehilangan gaya prategang akibat friksi (gesekan) (MPa)
- Δf_{PA} = kehilangan gaya prategang akibat dudukan ankur (MPa)

E. Kontrol Kapasitas Penampang dan Lendutan

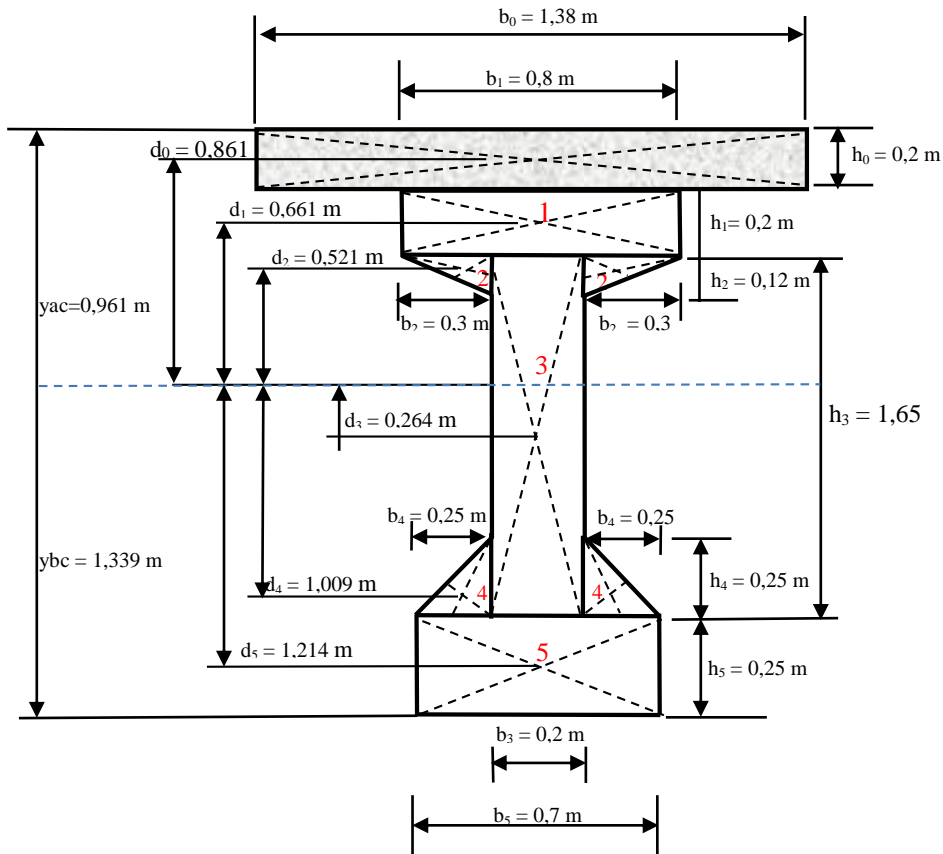
Kekuatan cadangan pada balok prategang sampai terjadinya kegagalan haruslah dilakukan evaluasi. Momen nominal harus lebih besar daripada momen ultimit rencana ($M_n \geq M_u$). Lendutan yang diperhitungkan adalah lendutan akibat beban mati, beban hidup dan akibat gaya prategang.

F. Pembesian Gelagar

Pembesian atau penulangan pada gelagar prategang yaitu dengan menghitung luas tulangan yang dibutuhkan, merencanakan dimensi tulangan dan jumlah tulangan, termasuk penulangan pada blok ujung (*endblock*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Section Properties Gelagar Prategang



Gambar 1. Penampang gelagar prategang komposit

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh letak titik berat serat atas penampang, $y_{ac} = 0,961$ m dan letak titik berat serat bawah, $y_{bc} = 1,339$ m. Momen inersia penampang gelagar prategang komposit ini sebesar $0,7068$ m⁴, dengan nilai momen tahanan pada serat atas plat, $z'_{ac} = 0,7357$ m, nilai momen tahanan serat atas balok $z'_{ac} = 0,929$ m, dan nilai momen tahanan serat bawah balok $z_{bc} = 0,528$ m.

B. Beban yang Bekerja

Perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan Krueng Tingkeum ini merujuk pada RSNI T-02-2005 tentang Peraturan Pembebanan pada Jembatan.

Tabel 1. Beban-beban yang bekerja pada gelagar

No.	Jenis Beban	Kode	Q	P	M	Keterangan
			kN/m	kN	kNm	
1	Berat sendiri	MS	27,49			Beban merata
	Diafragma	Wd		135,25		Beban terpusat
2	Beban Mati Tambahan	MA	4,71			Beban merata
3	Beban Lajur	TD	13,78	120,05		Beban merata dan beban terpusat
4	Gaya Rem	TB			71,52	Beban momen
5	Beban Angin	EW	0,904			Beban merata
6	Beban Gempa	EQ	3,558			Beban merata

C. Jumlah Tendon dan Strands

Diperoleh jumlah *strands* adalah 47 *strands*, yang dipasang ke dalam 3 buah tendon. Tendon 1 memiliki 9 *strands* dan tendon 2 dan 3 masing-masing memiliki 19 *strands*. Tendon yang digunakan adalah tendon VSL, dengan jenis *strands* yaitu *Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270*, diameter *strands* adalah 12,7 mm yang memiliki kuat tarik minimum $f_{pu} = 1860$ MPa.

D. Eksentrisitas Tendon

Dengan ditetapkan jarak dari alas balok ke as baris tendon di tengah bentang, $a = 0,1$ m, dan jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-3 di tumpuan, $a' = 0,3$ m, diperoleh eksentrisitas tendon seperti berikut

Tabel 2. Eksentrisitas masing-masing tendon

Nomor Tendon	Posisi tendon di tumpuan	z_i'	Posisi tendon di tengah bentang	z_i	$f_i = z_i' - z_i$
	$X = 0,00$ m	(m)	$X = 20$ m	(m)	(m)
1	$z_1' = a' + 2 yd'$	1,5	$z_1 = a$	0,10	1,4
2	$z_2' = a' + yd'$	0,9	$z_2 = a$	0,10	0,8
3	$z_3' = a'$	0,3	$z_3 = a$	0,10	0,2

E. Tata Letak (Trace) Masing-Masing Kabel

Dengan menggunakan persamaan posisi masing-masing kabel berikut;

$$z_0 = yb - \left(4 \times f_0 \times \frac{X}{L^2} \right) \times (L - X)$$

$$z_i = z_i' - \left(4 \times f_i \times \frac{X}{L^2} \right) \times (L - X)$$

diperoleh letak masing-masing kabel seperti pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Tata letak dan *trace* kabel

Jarak X	Trace z_0	Posisi Masing-Masing Kabel		
		z_1	z_2	z_3
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0,00	1,0271	1,4991	0,8996	0,3000
1,00	0,9404	1,3627	0,8216	0,2805
2,00	0,8581	1,2333	0,7476	0,2620
3,00	0,7803	1,1109	0,6777	0,2445
4,00	0,7069	0,9954	0,6117	0,2880
5,00	0,6379	0,8870	0,5498	0,2125
6,00	0,5734	0,7856	0,4918	0,1980
7,00	0,5134	0,6911	0,4378	0,1845
8,00	0,4578	0,6037	0,3878	0,1720
9,00	0,4066	0,5232	0,3419	0,1605
10,00	0,3599	0,4498	0,2999	0,1500
11,00	0,3176	0,3833	0,2619	0,1405
12,00	0,2798	0,3239	0,2279	0,1320
13,00	0,2465	0,2714	0,1979	0,1245
14,00	0,2176	0,2259	0,1720	0,1180
15,00	0,1931	0,1874	0,1500	0,1125
16,00	0,1731	0,1560	0,1320	0,1080
17,00	0,1575	0,1315	0,1180	0,1045
18,00	0,1464	0,1140	0,1080	0,1020
19,00	0,1397	0,1035	0,1020	0,1005
20,00	0,1375	0,1000	0,1000	0,1000

F. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang yang diperhitungkan pada gelagar pascatarik (*posttension*) terdiri dari dua jenis kehilangan, yaitu:

1. Kehilangan prategang jangka pendek (*Immediate Elastic Losses*), yang terdiri dari:
 - a. Kehilangan akibat perpendekan elastis
 - b. Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang kelengkungan tendon
 - c. Kehilangan akibat pengankuran
2. Kehilangan jangka panjang oleh pengaruh waktu (*Time Dependent Losses*), yang terdiri dari:
 - a. Kehilangan akibat rangkak (*creep*)
 - b. Kehilangan akibat susut beton
 - c. Kehilangan akibat relaksasi baja prategang

Besarnya masing-masing kehilangan tersebut kemudian dijumlahkan untuk memperoleh persentase kehilangan gaya prategang total. Berdasarkan hasil perhitungan kehilangan gaya prategang, diperoleh besarnya nilai kehilangan gaya prategang seperti pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Kehilangan gaya prategang

Jenis Kehilangan	Besar Kehilangan (MPa)
Akibat perpendekan elastis	134,354
Akibat relaksasi baja	94,33
Akibat rangkak	64,82
Akibat susut	26,86
Akibat friksi	60
Akibat pengangkuran	30,64
TOTAL	411,104

Dengan memperkirakan kehilangan awal sebesar 30%, setelah dilakukan perhitungan diperoleh kehilangan yang terjadi = 411,104 MPa
= 29,8% < 30%, maka gelagar aman.

G. Kontrol Tegangan dan Lendutan

Besarnya tegangan yang timbul pada gelagar harus dikontrol sedemikian rupa agar tidak melewati besaran tegangan yang diijinkan. Tegangan yang melebihi tegangan ijin menandakan penampang tersebut tidak aman digunakan. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh seluruh tegangan yang timbul tidak melebihi tegangan ijin, sehingga penampang aman.

Lendutan yang terjadi pada gelagar tidak boleh melewati lendutan yang diijinkan. Lendutan yang diperhitungkan dalam perencanaan ini terdiri dari lendutan sebelum dan setelah beban-beban bekerja. Besarnya lendutan akibat masing-masing beban dapat dilihat pada Tabel 5 berikut

Tabel 5. Lendutan yang timbul

Lendutan	Besar Lendutan (m)
Akibat berat sendiri	0,0436
Akibat beban mati tambahan	0,007
Akibat susut dan rangkak	-0,005
Akibat gaya prategang	-0,057
Akibat beban lajur D	0,0228
Akibat gaya rem	0,00035
Akibat beban angin	0,0014
Akibat beban gempa	0,0056

Besarnya lendutan yang timbul pada masing-masing kombinasi pembebanan, yaitu:

- a. Lendutan kombinasi I = 0,01175 m < lendutan ijin
- b. Lendutan kombinasi II = 0,01315 m < lendutan ijin
- c. Lendutan kombinasi III = -0,0058 m < lendutan ijin

Berdasarkan hasil perhitungan, lendutan terbesar yang timbul terdapat pada kombinasi II, yaitu 0,0132 m, lebih kecil dari lendutan yang diijinkan 0,11 m.

H. Pembesian Gelagar

Untuk menjadikan pelat lantai dan gelagar prategang sebagai suatu kesatuan yang bersama-sama memikul beban yang bekerja, perlu dipasang tulangan penghubung geser (*shear connector*). Dalam perencanaan ini digunakan tulangan D 10 mm. Sedangkan untuk tulangan utama menggunakan D 13 mm dengan jumlah total tulangan sebanyak 34 batang, dimana distribusi tulangan yaitu 10 D 13 pada bagian bawah, 8 D 13 pada bagian atas, dan 12 D 13 pada bagian badan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan gelagar beton prategang pada jembatan Krueng Tingkeum, diperoleh simpulan:

- a. Tinggi penampang gelagar beton prategang yang mampu menahan beban yang bekerja adalah 2,1 meter, dengan dimensi penampang memiliki lebar sayap bawah 0,7 m, lebar badan 0,2 m dan sayap atas 0,8 m.
- b. Tendon yang digunakan adalah jenis *VSL Multistrands* dengan diameter strands 12,7 mm. Dengan jumlah tendon yang dibutuhkan sebanyak 3 tendon dan 47 *strands*. Tendon 1 memiliki 9 *strands*, tendon 2 dan 3 masing-masing memiliki 19 *strands*.
- c. Lendutan maksimum yang timbul sebesar 0,01315 m, lebih kecil dari lendutan yang diijinkan sebesar 0,11 m, sehingga gelagar dinyatakan aman.

Seluruh perhitungan perencanaan gelagar prategang tipe I untuk bentang 40 meter di jembatan Krueng Tingkeum ini sudah dilakukan dengan mengikuti peraturan-peraturan yang berlaku. Dengan tinggi gelagar 2,1 m, jumlah tendon 3 buah dan 47 *strands*, gelagar dinyatakan aman terhadap kehilangan yang timbul, tegangan dan lendutan yang timbul.

DAFTAR PUSTAKA

- Annur, Dini Fitria dan Tarigan Johannes, 2016. “Perencanaan Precast I Girder pada Jembatan *Prestressed Post Tension* Dengan Bantuan Microsoft Office Excel”. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*.
- Badan Standardisasi Nasional, 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. RSNI T-12-2004. Departemen PU Dirjen Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional, 2005. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. RSNI T-02-2005. Departemen PU Dirjen Bina Marga.
- Hadipratomo, Winarni. 1985. *Struktur Beton Prategang*. Bandung, Nova.
- Ilham, Noer. 2012. *Perhitungan Balok Prategang (PCI-Girder)*. [Online] Tersedia <http://mnoerilham.blogspot.com/>. Diakses pada tanggal 12 April 2018.
- Lin, T.Y dan Burns, N.H. 1996. *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1*. Terjemahan Daniel Indrawan. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, Edward G. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid 1*. Terjemahan Bambang Suryoatmono.. Jakarta: Erlangga.
- Raju, N.K. 1988. *Beton Prategang*. Terjemahan Suryadi. Jakarta: Erlangga
- Soetoyo, 2000. *Konstruksi Beton Pratekan*. Jakarta: Erlangga
- Yusputri, Rafiqa Muhnita. 2016. “Perencanaan Gelagar Beton Prategang pada Jembatan Kereta Api Pante Gurah Kecamatan Gandapura Kabupaten Bireun”. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe*.