

# PERENCANAAN GELAGAR BETON PRATEGANG PADA JEMBATAN KERETA API PANTE GURAH KECAMATAN GANDAPURA KABUPATEN BIREUN

**Rafiqa Muhnita<sup>1</sup>, Sulaiman YH<sup>2</sup>, Aiyub<sup>3</sup>**

- <sup>1)</sup> Mahasiswa, Diploma 4 Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Buketrata, email: [fikayusputri@gmail.com](mailto:fikayusputri@gmail.com)
- <sup>2)</sup> Dosen, Diploma 4 Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Buketrata, email: [sulaimanyh1955@gmail.com](mailto:sulaimanyh1955@gmail.com)
- <sup>3)</sup> Dosen, Diploma 4 Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Buketrata, email: [aiyubts9@gmail.com](mailto:aiyubts9@gmail.com)

## ABSTRAK

Jembatan kereta api Pante Gurah adalah jembatan yang terletak di Kecamatan Gandapura Kabupaten Bireun. Berdasarkan karakteristik sungai, jembatan ini direncanakan dengan panjang bentang 40 meter dan lebar 6 meter. Gelagar arah memanjang yang direncanakan untuk jembatan tersebut adalah gelagar tipe beton prategang pasca tarik (*post tension*). Ruang lingkup perencanaan gelagar meliputi pendimensian gelagar, pembebanan dengan aturan Standar Pembebanan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Persyaratan Teknis Jalur kereta Api, gaya prategang, eksentrisitas, jumlah tendon, tegangan yang timbul, kehilangan prategang pascatarik, kapasitas penampang, kontrol lendutan, dan penggambaran. Mutu beton yang digunakan adalah  $f_c = 40$  Mpa, tendon yang digunakan adalah seven wire strand diameter  $\frac{1}{2}$  inchi dengan selongsong tendon diameter 51 mm. Tegangan tendon  $f_{pu} = 1860$  Mpa, mutu tulangan baja ulir adalah  $f_y = 320$  Mpa, dan mutu tulangan baja polos  $f_y = 240$  Mpa. Momen yang terjadi pada gelagar sebesar 806,355 kNm pada perhitungan kombinasi pertama. Jumlah tendon didapat dari perhitungan adalah 4 buah dengan 19 buah strand dan jumlah total sebanyak 69 strand. Kehilangan gaya prategang total didapatkan sebesar 545,58 Mpa atau 29,33%. Tulangan pokok digunakan D 13 mm, tulangan geser digunakan  $\emptyset$  10-600 mm pada daerah lapangan. Lendutan terbesar adalah 0,0049 m akibat beban kombinasi kedua. Kapasitas momen ultimate balok prategang adalah sebesar 4448,018 kNm dari perhitungan kombinasi kedua. Dari hasil ini dapat diidentifikasi bahwa tinggi gelagar 1,6 m pada jembatan kereta api mampu menahan beban yang ada.

**Kata kunci:** jembatan, gelagar, pascatarik, tendon, tulangan

## I. PENDAHULUAN

Pembangunan jembatan kereta api di Blang Keude, Pante Gurah antara Krueng Mane-Kutablang Kecamatan Gandapura Kabupaten Bireun Provinsi Aceh yang bertujuan menghubungkan ruas jalan yang terhalang oleh sungai. Lebar sungai 5 meter dan tinggi muka air normal 2 meter.

Panjang jembatan kereta api yang akan direncanakan adalah 120 meter, terdiri dari 3 bentang yang masing-masing bentang 40 m, dengan lebar 6 m. Direncanakan jumlah gelagar 4 buah dengan jarak antara gelagar 1,35 meter. Gelagar jembatan direncanakan dari beton prategang yang dicetak di pabrik sebanyak 10 segmen dengan panjang 4 meter per segmen. Gelagar prategang tersebut menggunakan sistem pasca tarik (*post-tension*)

Mutu beton ( $f_c'$ ) yang direncanakan adalah 40 MPa, kabel prategang yang digunakan adalah seven wire strands berdiameter 12,7 mm dengan tegangan tarik  $f_{pu} = 1860$  MPa. Untuk tulangan yang direncanakan dengan baja ulir mutu baja  $f_y = 400$  MPa dan sengkang yang digunakan adalah baja polos dengan mutu baja  $f_y = 240$  MPa.

## II. METODOLOGI

### A. Penentuan Penampang

Menurut Hadipratomo (1985:71), penentuan ukuran penampang dipilih sekecil mungkin dan dapat menahan beban-beban yang bekerja. Untuk asumsi awal desain dimensi dapat juga dilakukan dengan persamaan rumus pendekatan  $h = 1/17 \times L$  sampai dengan  $h = 1/25 \times L$

### B. Perhitungan Penampang Komposit

#### 1. Penentuan lebar efektif plat lantai

Berdasarkan RSNI T-12-2004 (2004:38) pasal 5.5.2, pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum memenuhi kedua ketentuan berikut :  $t \geq 200$  mm,  $t \geq (100+40 L)$  mm.

Menurut SNI 03-2847-2002, besarnya lebar efektif dari suatu komponen struktur pelat lantai untuk balok tengah adalah  $B_E \leq 1/4 L$ ,  $B_E \leq B_o$ ,  $B_E \leq 8 t_f$  sedangkan untuk balok tepi  $B_E \leq 1/12 L$ ,  $B_E \leq 1/2 B_o+b$ ,  $B_E \leq 6 t_f$ .

#### 2. Letak titik berat dan momen tahanan

Perhitungan letak titik berat dan momen tahanan dibagi menjadi 2 yaitu letak titik berat gelagar prategang dan letak titik berat gelagar komposit (gelagar+plat lantai).

##### a. Menurut Lin dan Burn (1997)

- Untuk letak titik berat penampang terhadap balok prategang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Letak titik berat bawah: } y_b = \frac{\sum A \times y}{\sum A} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Letak titik berat atas: } y_a = h - y_b \dots\dots\dots (2)$$

- Untuk letak titik berat balok komposit (balok prategang + plat ) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Letak titik berat bawah: } y_{bc} = \frac{\sum A_c \times y}{\sum A_c} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Letak titik berat atas: } y_{ac} = h - y_{bc} \dots\dots\dots (4)$$

##### b. Menurut Raju (1988)

- Tahanan momen dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Tahanan momen sisi atas: } Z_{ac} = \frac{I x_c}{y_{ac}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Tahanan momen sisi bawah: } Z_{bc} = \frac{I x_c}{y_{bc}} \dots\dots\dots (6)$$

- Untuk letak titik berat balok komposit (balok prategang + plat) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Tahanan momen sisi atas: } Z_{ac} = \frac{I x_c}{y_{ac}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Tahanan momen sisi atas: } Z'_{ac} = \frac{I x_c}{y_{ac}-h_o} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Tahanan momen sisi bawah: } Zbc = \frac{Ixc}{ybc} \dots\dots\dots (9)$$

### C. Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM.. 60 Tahun 2012.

#### 1. Beban mati

Beban mati yang bekerja berasal dari berat sendiri bagian bangunan, berat mati tambahan seperti beban bantalan beton, beban rel dan beban balas.

#### 2. Beban hidup

beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan.

#### 3. Beban kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor  $i$  terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor  $i$  adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50+L} \dots\dots\dots (10)$$

#### 4. Beban horizontal

Beban horizontal digolongkan kepada dua yaitu beban lateral kereta dan beban pengereman dan traksi. Beban lateral kereta adalah beban yang bekerja tegak lurus terhadap rel dan besarnya 15-20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif. Sedangkan beban pengereman dan traksi bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel secara longitudinal dengan beban masing-masing adalah 25% dari beban kereta.

#### 5. Beban angin

Tekanan angin dipandang sebagai muatan terbagi rata, tidak dengan kejut. Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horizontal, tipikal nilainya adalah  $1,5 \text{ kN/m}^2$  pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya.

#### 6. Kombinasi pembebanan

Perhitungan konstruksi jembatan dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar. Kombinasi pembebanan akan diatur lebih lanjut dengan Peraturan Direktur Jendral.

Tabel 1. Kombinasi pembebanan jembatan jalan rel

Kombinasi	Pembebanan
I	$1,2 \text{ BM} + 1,6 \text{ BH}_k + B_{\text{kejut}}$
II	$0,9 \text{ BM} + 1,2 \text{ BH}_k + B_{\text{kejut}} + \text{Traksi} + \text{Tumbukan} + \text{BA}$
III	$0,9 \text{ BM} + 1,2 \text{ BH}_k + B_{\text{kejut}} + \text{Rem} + \text{Tumbukan} + \text{BA}$
IV	$1,2 \text{ BM} + 1,2$ (pengaruh rangkai/susuk)

### D. Pembesian Gelagar Prategang

Dalam perencanaan pembesian yang harus diperhitungkan pada gelagar ada dua yaitu tulangan utama dan tulangan geser.

#### 1. Tulangan utama

Kekuatan lentur dari balok bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit (RSNI T-12-2004). Untuk perhitungan luas tulangan dapat digunakan persamaan berikut:

- Luas tulangan arah memanjang,  $A_s = \frac{\pi}{4} \times D^2$  ..... (11)

- Luas tulangan,  $A_{s \text{ min}} = 5\% \times A_s$  ..... (12)

## 2. Tulangan geser

Perhitungan luas tulangan geser dapat dilakukan dengan mengaplikasikan rumus luas tulangan utama arah memanjang seperti pada persamaan (11).

### E. Kontrol Lendutan

Lendutan ke bawah akibat berat sendiri dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta_b = \frac{5 \times (g+q) \times L^4}{384 \times EI} \dots\dots\dots (13)$$

Lendutan akibat prategang dihitung dengan persamaan:

$$\Delta_p = \frac{5 \times p_e \times L^2}{48 \times EI} \dots\dots\dots (14)$$

Lendutan jangka pendek dihitung dengan persamaan:

$$\Delta_n = \Delta_b - \Delta_p \dots\dots\dots (15)$$

### F. Tinjauan Ultimit Balok Prestress

Untuk menghitung momen nominal terhadap penampang tersebut maka digunakan persamaan:

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y (d - d_p) + 0,85 f_c' (b - b_w) \times h_f \left( d_p - \frac{h_f}{2} \right) \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{dimana, } a = \frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y - 0,85 \times f_c' (b - b_w) h_f}{0,85 \times f_c' \times c \times b_w} \dots\dots\dots (17)$$

Menurut Manual Bina Marga 021/BM/2011, kuat geser nominal dihitung dengan persamaan:  $V_n = V_c + V_s$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (18)$$

Metodologi perencanaan gelagar jembatan kereta api Pante Gurah Kecamatan Gandapura Kabupaten Bireun adalah dimulai dari pengumpulan data studi literatur untuk mendapatkan data-data yang lengkap untuk memulai perencanaan gelagar jembatan kereta api, setelah itu menentukan panjang dan lebar jembatan berdasarkan lebar sungai dan tinggi muka air normal. Selanjutnya dipilih sekecil mungkin dan dapat menahan beban-beban yang bekerja. Beban yang bekerja dihitung mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM. 60 tahun 2012, terdiri dari beban tetap dan beban tidak tetap. Setelah itu tata letak kabel atau tendon, gaya prategang harus terletak dalam batas-batas yang ditetapkan.

Kabel-kabel dilengkungkan mengikuti suatu bentuk parabola menuju ke penampang diatas tumpuan.

Sebelum gaya prategang diperhitungkan, tata letak tendon yang aman terlebih dahulu di desain. Setelah itu menghitung kehilangan gaya prategang. 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 lima tahun. Tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadi kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) dikontrol atau tidak boleh melampaui batas ijin. Dalam perencanaan pembesian yang harus diperhitungkan pada gelagar ada dua yaitu tulangan utama dan tulangan geser.

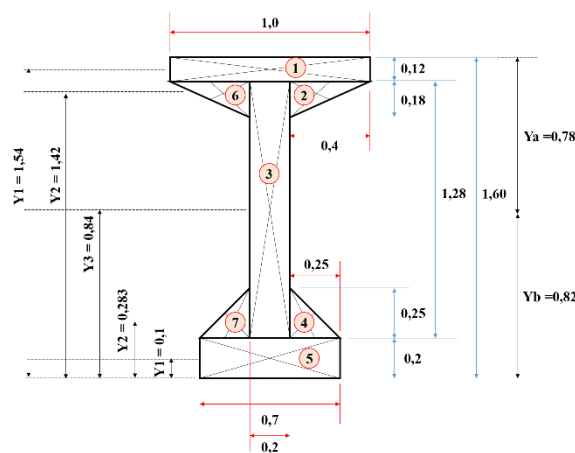
Kontrol kapasitas penampang dan kontrol lendutan, jika memenuhi dilanjutkan dengan detail gambar dan kesimpulan, yang artinya asumsi awal untuk dimensi sebuah gelagar 1,6 m pada jembatan kereta Api Pante Gurah Kecamatan Gandapura Kabupaten Bireun mampu menahan beban yang ada atau aman digunakan dalam perencanaan tersebut. Apabila pada saat kontrol kapasitas penampang dan kontrol lendutan melampaui batas ijin, maka dikaji ulang pada penentuan ukuran penampang gelagar beton prategang agar dapat menahan beban-beban yang bekerja

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Sifat Penampang

##### 1. Penampang gelagar prategang

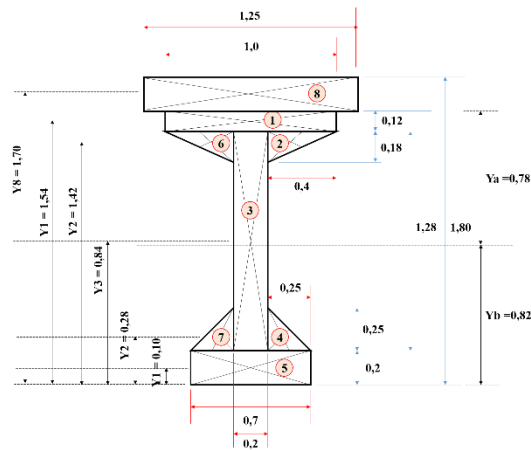
Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh letak titik berat penampang serat atas nilai  $y_a = 0,78$  m, letak titik berat penampang serat bawah diperoleh nilai  $y_b = 0,82$  m. Besarnya momen inersia penampang adalah  $0,215 \text{ m}^4$ , nilai momen tahanan serat atas ( $z_a$ ) adalah  $0,275 \text{ m}^3$  dan serat bawah  $z_b = 0,262 \text{ m}^3$ .



Gambar 1. Penampang gelagar prategang

##### 2. Penampang gelagar prategang komposit

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh letak titik berat penampang serat atas nilai  $y_{ac} = 0,735$  m, letak titik berat penampang serat bawah diperoleh nilai  $y_{bc} = 1,065$  m. Besarnya momen inersia penampang adalah  $0,355 \text{ m}^4$ , nilai momen tahanan serat atas ( $z_{ac}$ ) adalah  $0,664 \text{ m}^3$  dan serat bawah  $z_{bc} = 0,334 \text{ m}^3$ .



Tabel 2. Penampang gelagar komposit

### B. Pembebanan dan Kombinasi Momen

Pembebanan yang diperhitungkan untuk perencanaan jembatan ini berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api tahun 2012, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan pembebanan

No.	Jenis Beban	Kode	q (kN/m)	P (kN)	Keterangan
1	Berat balok prategang	Balok	16,275	-	Beban terbagi rata
2	Berat plat	Plat	6,000	-	Beban terbagi rata
3	Berat sendiri	MS	22,275	-	Beban terbagi rata
4	Berat mati tambahan	MA	7,738	-	Beban terbagi rata
5	Beban hidup	BH	-	112,500	Beban terpusat
6	Beban kejut	B <sub>kejut</sub>	-	39,375	Beban terpusat
7	Beban horizontal				
	• lateral kereta	LR	-	22,500	Beban terpusat
	• rem dan traksi	TB	-	28,125	Beban terpusat
8	Angin	EW	-	2.61	Beban terpusat

Berdasarkan hasil pembahasan tabel, maka diperoleh momen yang ditimbulkan oleh masing-masing beban tersebut. Berdasarkan hasil kombinasi momen maksimum yaitu untuk kombinasi I dengan nilai momen maksimum adalah 806,35 kNm

Gelagar memanjang beton prategang pada jembatan kereta api Pante Gurah kecamatan Gandapura, Kabupaten Bireun dengan panjang bentang 40 meter dan lebar jembatan 6 meter, direncanakan dengan mutu beton  $f_c' = 40$  MPa dan menggunakan tendon VSL *multistrand system* sebagai pemberi gaya prategang diameter *strands* yang digunakan adalah 0,5 inci (12,7 mm) dengan tegangan leleh sebesar  $f_{pu} = 1860$  MPa serta modulus elastis *strands*  $E_s$  sebesar 193.000 MPa. Jumlah tendon yang didapatkan adalah 4 buah dengan total *strands* sebanyak 69 buah.

Hasil perhitungan gelagar memanjang jembatan kereta api Pante Gurah yang didapatkan sudah memenuhi standar-standar keamanan perencanaan suatu struktur beton pratekan. Adapun nilai yang dinyatakan tersebut antara lain, tata letak tendon pada zona aman, kehilangan prategang, kontrol tegangan, kemaanan lendutan yang terjadi, serta ketahanan struktur pembebanan. Posisi aman tendon ditengah bentang dimana posisi tendon 1 terletak di 0,3 m < daerah aman atas sebesar 0,7 m; posisi tendon 2 terletak di 0,10 m < daerah aman atas sebesar 0,4 m dan posisi tendon 3 terletak di 0,10 m < daerah aman atas sebesar 0,4 m.

Kehilangan gaya prategang total sebesar 545,58 MPa (29,33%) masih lebih kecil jika dibandingkan terhadap kehilangan gaya prategang efektif sebesar 40%.

Kontrol lendutan terhadap kombinasi pembebanan menunjukkan kondisi yang aman dimana bagi kombinasi 1 (0,00082 m), kombinasi 2 (0,0049 m) dan kombinasi 3 (0,002 m) masih lebih kecil jika dibandingkan terhadap  $L/360$  sebesar 0,111 m.

Ketahanan struktur terhadap pembebanan juga menunjukkan kondisi yang aman dengan nilai  $M_n$  sebesar 12.926,16 kNm masih lebih besar dibandingkan  $M_{max}$  yaitu 4.448,18 kNm. Selain itu, momen ultimit bagi kombinasi 1 (2.557,58 kNm); momen ultimit kombinasi 2 (4.448,018 kNm) dan momen ultimit bagi kombinasi 3 (428,11 kNm) masih lebih kecil jika dibandingkan terhadap  $M_u$  sebesar 10.369,73 kNm.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu tinggi penampang yang efisien adalah 1,6 meter. Kombinasi momen terbesar didapatkan pada perhitungan momen kombinasi I adalah sebesar 806,35 kNm. Jumlah tendon yang digunakan adalah 4 buah. Masing-masing tendon terdiri dari 19 *strands* VSL *Multistrands System* dengan diameter *strands* 0,5 inci.

Gelagar prategang tersebut aman dari tegangan akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup karena tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan ijin tekan beton  $f_c$  sebesar -18.000 kPa dan tegangan ijin tarik beton  $f_t$  sebesar 37.947,332 kPa.

Kehilangan gaya prategang total didapatkan sebesar 545,58 MPa. Tulangan pokok yang direncanakan adalah  $\emptyset$  13 mm, untuk tulangan geser  $\emptyset$  10 mm, lendutan terbesar akibat beban kombinasi II adalah 0,0049 m dan hasil dari perhitungan momen pada kombinasi II untuk momen ultimit balok prategang adalah sebesar 4448,018 kNm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. RSNI T-12-2004. Departemen PU Dirjen Bina Marga
- Bridge Management System. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. BMS 1992. Departemen PU Dirjen Bina Marga
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2011. *Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan untuk Jembatan*. 021/BM/2011. Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga
- Hadipratomo, Winarni. 1985. *Struktur beton Prategang*. Bnadung : Nova
- Lin, T.Y dan Burns, N.H. 1997. *Desain Struktur Beton Prategang Jilid I*. Terjemahan Daniel Indrawan. Jakarta : Erlangga
- Nawy, Edward G. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Dasar*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Jakarta : Erlangga.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2012. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*
- Raju, N.K. 1988. *Beton Prategang*. Terjemahan Suryadi. Jakarta : Erlangga
- Soetoyo. 2000. *Kontruksi Beton Pratekan*. Jakarta : Erlangga
- Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar. 2009. *Jembatan*. Yogyakarta : Beta Offset
- Syahir. 2013. *Tugas Akhir Perencanaan Balok Prategang Pada Jembatan Desa Geulanggang Baro-Desa Tanjon Dama Kecamatan Lapang Kabupaten Aceh Utara*. Lhokseumawe : Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.