

PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN *INTERCHANGE* JALAN TOL TEBING TINGGI-KISARAN (TAHAP I) TEBING TINGGI-INDRAPURA

Mia Aprisiana
mia.aprisiana@yahoo.com

ABSTRAK Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kebutuhan minimum tulangan slab lantai jembatan, desain balok prategang dan kebutuhan tendon, jumlah kebutuhan perletakan elastomer, dan desain struktur atas jembatan. Hasil perencanaan struktur atas jembatan *interchange* proyek pembangunan jalan tol Tebing Tinggi-Kisaran (tahap 1) Tebing Tinggi-Indrapura dengan panjang bentang 40,8 m dan lebar 16,6 m adalah *concrete barrier* dan *median concrete barrier* pada jembatan direncanakan menggunakan tulangan 10D-16 mm. Lantai jembatan direncanakan dengan ketebalan 0,2 m. Untuk pembesian lantai jembatan (tulangan lentur positif dan tulangan lentur negatif) dibutuhkan tulangan pokok D 16–100 mm dan tulangan bagi D 13–100 mm. *Deck slab* direncanakan memiliki ukuran (1,4 x 1 x 0,7) m dengan jumlah tulang yang dibutuhkan 4D-13 mm. Balok prategang yang digunakan adalah PCI Girder dengan mutu beton K-500 dan mutu baja U-40. Kemudian untuk baja prategang digunakan *Uncoated Seven-Wire Super Strands ASTM A-416 grade 270* dengan menggunakan 4 buah tendon dan jumlah *strands* sebanyak 69 buah. Diafragma yang direncanakan adalah diafragma lapangan dan diafragma tumpuan. Diafragma lapangan memiliki ukuran (1,85 x 0,2 x 1,65) m. Dan diafragma tumpuan memiliki ukuran (1,41 x 0,2 x 1,65) m. Untuk pembesian diafragma lapangan dan tumpuan dibutuhkan tulangan lentur 5D-16 mm, dibutuhkan tulangan bagi 4 D-13 mm, dan tulangan geser \emptyset 12–150 mm. Perletakan jembatan yang digunakan adalah *elastomer laminated*. Jenis karet elastomer yang digunakan adalah karet sintesis standar ASTM D. 412 yang memiliki modulus geser minimum sebesar 0,55 MPa dan kuat tarik minimum sebesar 15,5 MPa. Dan elastomer yang dibutuhkan sebanyak 16 buah dengan dimensi (500 x 600 x 64) mm.

KATA KUNCI Jembatan, Plat lantai jembatan, PCI Girder.

PENDAHULUAN Latar Belakang

Perencanaan pembangunan jembatan harus diperhatikan seefektif dan seefisien mungkin, sehingga pembangunan jembatan dapat memenuhi keamanan dan kenyamanan bagi para pengguna jembatan. Beban primer, beban sekunder, dan beban khusus harus diperhitungkan dalam perancangan jembatan agar memiliki ketahanan dalam menopang beban-beban tersebut.

Penulis adalah mahasiswa program studi TPJJ, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan

Pada jalan tol Tebing Tinggi-Kisaran akan dibangun jembatan *interchange* (struktur atas) yang berfungsi sebagai akses tol penghubung Tebing Tinggi-Kisaran. Jembatan ini nantinya berfungsi sebagai jalur perlintasan kendaraan roda empat atau lebih dengan 2 lajur 2 arah. Lebar jembatan *interchange* yang direncanakan 16,6 m dengan bentang jembatan sepanjang 40,8 m. Pembangunan jembatan *interchange* (*Overpass*) pada proyek pembangunan jalan tol Tebing Tinggi-Kisaran di kota Tebing Tinggi menggunakan struktur beton prategang.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merencanakan struktur atas jembatan prategang?
2. Bagaimana menggambarkan hasil dari desain struktur atas jembatan?

Batasan Masalah

Sesuai dengan permasalahan di atas, maka batasan masalah yang diambil oleh penulis yaitu:

1. Merencanakan struktur atas jembatan *interchange* jalan tol Tebing Tinggi-Kisaran menggunakan beberapa metode sebagai berikut:
 - a. Perencanaan Struktur Beton berdasarkan RSNI T-12-2004,
 - b. Pembebanan Jembatan berdasarkan SNI 1725-2016;
 - c. Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa berdasarkan SNI 2833-2016;
 - d. Spesifikasi Bantalan Elastomer Tipe Polos dan Tipe Berlapis Untuk Perletakan Jembatan SNI 3967:2008;
 - e. 10/SM/2015 Pedoman Perancangan Bantalan Elastomer Untuk Perletakan Jembatan.
2. Analisis perhitungan pada bentang terpanjang (bentang tengah) jembatan *interchange* jalan tol Tebing Tinggi-Kisaran
3. Penggambaran menggunakan program bantu Auto Cad.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh hasil perhitungan kebutuhan minimum tulangan slab lantai jembatan;
2. Untuk memperoleh desain struktur atas jembatan;
3. Untuk memperoleh desain balok prategang dan kebutuhan tendon;
4. Untuk memperoleh jumlah kebutuhan perletakan elastomer pada jembatan;
5. Untuk memperoleh desain gambar struktur atas jembatan yang baik.

TINJAUAN PUSTAKA Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai, saluran air, lembah atau menyilang jalan lainnya yang tidak sama tingginya permukaannya (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Pembebanan Pada Jembatan

- a. Beban akibat aksi tetap
- b. Beban sendiri (MS)
- c. Beban mati tambahan (MA)
- d. Beban akibat pengaruh susut dan rangkai (SH)
- e. Beban akibat pengaruh prategang (PR)
- f. Beban akibat aksi transient
- g. Beban lajur (D)
- h. Beban truk (T)
- i. Faktor beban dinamis
- j. Gaya rem
- k. Beban angin
- l. Beban akibat gempa

Pelat Lantai Kendaraan

Berikut ini tahapan perencanaan penulangan pelat lantai kendaraan:

1. Menghitung rasio penulangan

$$\rho_{\min} = 1,0/f_y \dots\dots\dots(1)$$

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots(3)$$

2. Menghitung momen nominal

$$M_n = M_u/\phi \dots\dots\dots(4)$$

3. Menghitung tahanan momen nominal

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(5)$$

4. Menghitung tahanan momen maksimum

$$R_{\max} = \rho_{\max} \cdot f_y \left(1 - \frac{1/2 \rho_{\max} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \dots\dots\dots(6)$$

5. Kontrol $R_n < R_{\max}$

6. Menghitung rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \dots\dots\dots(7)$$

7. Menentukan rasio tulangan yang digunakan

Jika $\rho < \rho_{\min}$, maka digunakan ρ_{\min} .

Jika $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka digunakan ρ .

Jika $\rho > \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max} .

8. Menghitung luas tulangan yang diperlukan

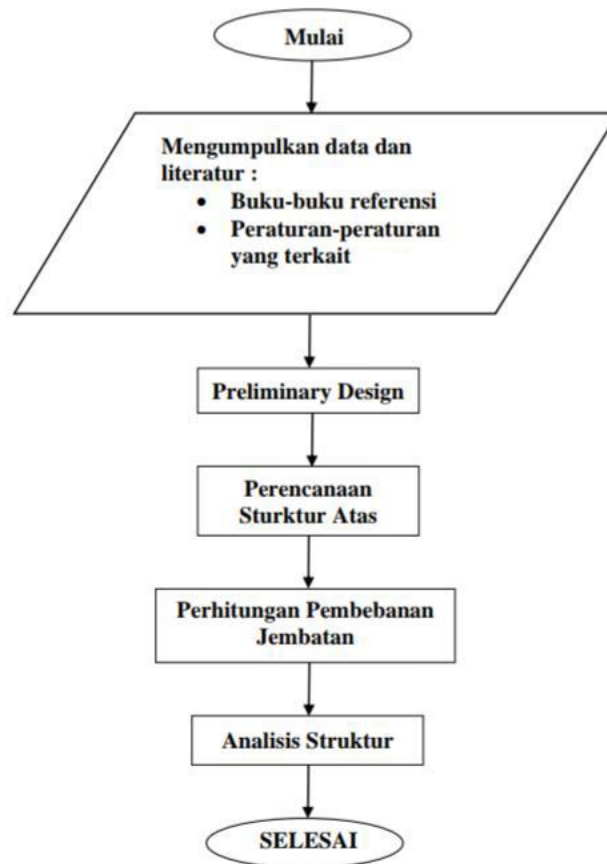
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(8)$$

9. Menentukan jarak antar tulangan

$$s = \frac{1/4 \cdot \pi \cdot d_f^2 \cdot b}{A_s} \dots\dots\dots(9)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu penelitian ilmiah yang sistematis terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan-hubungannya.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Plat Lantai Jembatan

Berikut rekap nilai beban dari hasil analisis beban slab lantai jembatan.

- Akibat berat sendiri, $QMS = 5,00 \text{ kN/m}$
- Akibat beban mati tambahan, $QMA = 2,73 \text{ kN/m}$
- Akibat beban truk, $PTT = 146,25 \text{ kN}$
- Akibat beban angin, $PEW = 1,501714 \text{ kN}$
- Akibat pengaruh temperat, $\Delta T = 12,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Tabel 1. Rekap momen slab, faktor beban ultimit, dan daya layan

No.	Jenis Beban	Faktor beban	daya layan	keadaan ultimit	M tumpuan (kNm)	M lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	KMS	1,0	1,3	1,750	0,876
2	Beban mati tambahan	KMA	1,0	2,0	1,195	0,598
3	Beban truk "T"	KTT	1,0	1,8	46,846	42,161
4	Beban angin	KEW	1,0	1,2	0,481	0,433
5	Pengaruh temperatur	KET	1,0	1,2	0,016	0,078

Tabel 2. Total momen ultimit kombinasi kuat-1

No.	Jenis Beban	Faktor beban	M tumpuan (kNm)	M lapangan (kNm)	Mu tumpuan (kNm)	Mu lapangan (kNm)
		a	b	c	a x b	a x c
1	Berat sendiri	1,30	1,750	0,876	2,275	1,139
2	Beban mati tambahan	2,00	1,195	0,598	2,391	1,195
3	Beban truk "T"	1,80	46,846	42,161	84,322	75,890
4	Beban angin	-	0,481	0,433	-	-
5	Pengaruh temperatur	0	0,016	0,078	0	0
Total Momen Ultimit Slab, Mu =					88,99	78,22

B. Pembesian Slab Lantai

1. Tulang Lentur Negatif

- Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1)

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ MPa.}$$

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{24,90}{390} \cdot \frac{600}{600+390} = 0,028$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \left[1 - \frac{0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{1,70 \cdot f_c'} \right] = 6,605 \text{ kN/m}^2$$

- Momen nominal rencana, $M_n = \frac{M_u}{\phi} = 111,24 \text{ kNm}$
- Faktor tahanan momen, $R_n = \frac{M_n \times 10^{-6}}{b \times d^2} = 4,086 \text{ kN/m}^2$
- $R_n < R_{max} = 4,086 \text{ kN/m}^2 < 6,605 \text{ kN/m}^2$ (OK)
- Rasio pengulangan yang diperlukan

$$\rho = 0,85 \cdot f_c' / f_y \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right] = 0,85 \cdot \frac{24,9}{390} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{4,086}{0,85 \cdot 24,90}} \right] = 0,0117$$

- Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = 25\% \cdot \left(\frac{1,4}{f_y} \right) = 0,0008974$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,028 = 0,021$$

- Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0117 \cdot 1000 \cdot 265 = 1938,4 \text{ mm}^2$$

- Diameter tulangan yang digunakan D16

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{A_s} = \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{1938,4} = 103,67 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D16 – 100 mm,

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{s} = \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{100} = 2010,6 \text{ mm}^2$$

- Tulangan bagi/susut arah memanjang diambil 50% tulangan pokok.

$$A_s' = 50\% \times A_s = 50\% \times 1938,4 \text{ mm}^2 = 969,22 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan D13

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{A_s} = \frac{\pi}{4} \cdot 13^2 \cdot \frac{1000}{969,22} = 136,88 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D13 – 100 mm,

$$A_s' = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{s} = \frac{\pi}{4} \cdot 13^2 \cdot \frac{1000}{100} = 1327,32 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$= A_s / (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) = 1327,32 / 132,73 = 10 \text{ buah}$$

2. Tulang Lentur Positif

- Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1)

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ MPa.}$$

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{24,90}{390} \cdot \frac{600}{600 + 390} = 0,028$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \left[1 - \frac{0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{1,70 \cdot f_c} \right] = 6,605 \text{ kN/m}^2$$

- Momen nominal rencana $M_n = \frac{M_u}{\phi} = 97,78 \text{ kNm}$
- Faktor tahanan momen $R_n = \frac{M_n \times 10^{-6}}{b \times d^2} = 3,591 \text{ kN/m}^2$
- $R_n < R_{max} = 3,591 \text{ kN/m}^2 < 6,605 \text{ kN/m}^2$ (OK)
- Rasio penulangan yang diperlukan:

$$\rho = 0,85 \cdot f_c' / f_y \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right] = 0,85 \cdot \frac{24,9}{390} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{3,591}{0,85 \cdot 24,90}} \right] = 0,0102$$

- Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{min} = 25\% \cdot \left(\frac{1,4}{f_y} \right) = 0,000897$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,028 = 0,021$$

- Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0037 \cdot 1000 \cdot 265 = 1676,4 \text{ mm}^2$$

- Diameter tulangan yang digunakan D16

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{A_s} = \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{1676,4} = 119,87 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D16 – 100 mm,

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{s} = \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{100} = 2010,6 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$= A_s / (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) = 2010,6 / 201,1 = 10 \text{ buah}$$

- Tulangan bagi/susut arah memanjang diambil 50% tulangan pokok.

$$A_s' = 50\% \times A_s = 50\% \times 1676,4 \text{ mm}^2 = 838,21 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan D13

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{A_s} = \frac{\pi}{4} \cdot 13^2 \cdot \frac{1000}{838,21} = 158,27 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D13 – 100 mm,

$$A_s' = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{s} = \frac{\pi}{4} \cdot 13^2 \cdot \frac{1000}{100} = 1327,32 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$= A_s' / (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) = 1327,32 / 132,73 = 10 \text{ buah}$$

C. Pembebanan Balok Prategang

Berikut adalah rekapitulasi momen dan gaya geser pada balok yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi momen dan gaya geser pada balok

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kN/m)	Keterangan
1	Berat balok prategang	balok	19,184			Beban merata, Qbalok
2	Berat plat	plat	10,500			Beban merata, Qplat
3	Berat sendiri	MS	34,092			Beban merata, QMS
4	Mati tambahan	MA	5,597			Beban merata, QMA
5	Lajur "D"	TD	16,008	49,000		Beban merata, QMA dan terpusat, PTD
6	Gaya rem	TB			120,124	Beban momen, MTB
7	Angin	EW	1,502			Beban merata, QEW
8	Gempa	EQ	16,696			Beban merata, QEQ

Momen maksimum akibat berat balok,

$$M_{\text{balok}} = 1/8 \cdot Q_{\text{balok}} \cdot L^2 = 3991,734 \text{ kNm}$$

Momen maksimum akibat berat plat,

$$M_{\text{plat}} = 1/8 \cdot Q_{\text{plat}} \cdot L^2 = 2184,84 \text{ kNm}$$

D. Perletakan Jembatan

Perletakan yang direncanakan menggunakan perletakan elastomer laminasi, dengan menggunakan karet sintetis (*Neoprene*) standar ASTM D. 412 yang memiliki modulus geser minimum sebesar 0,55 MPa dan kuat tarik minimum sebesar 15,5 MPa.

a. Data Perencanaan

Bentang jembatan	L	= 40,8 m
Lebar lantai kendaraan	B	= 16,6 m
Tebal pelat lantai kendaraan	ts	= 0,20 m
Tebal lapisan aspal	ta	= 0,10 m
Jarak antar gelagar	s	= 2,05 m
Kuat tekan beton	fc'	= 24,9 MPa
Modulus elastis beton	Ec	= 23453 MPa
Suhu max	Tmax	= 40 °C
Suhu min	Tmin	= 25 °C
Rotasi	θ	= 0,0018 rad
Batas tegangan delaminasi		= 7 Mpa

b. Perhitungan Beban

- Beban mati

1. Pelat lantai = $\frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton}}$
 $= \frac{1}{2} \cdot 2,05 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 40,8 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 209,1 \text{ kN}$
2. Aspal + *overlay* = $\frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot L \cdot \gamma_{\text{aspal}}$
 $= \frac{1}{2} \cdot 2,05 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 40,8 \text{ m} \cdot 22,4 \text{ kN/m}^3 = 93,6768 \text{ kN}$
3. Air hujan = $\frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot L \cdot \gamma_{\text{air}}$
 $= \frac{1}{2} \cdot 2,05 \text{ m} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 40,8 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ kN/m}^3 = 20,4918 \text{ kN}$
4. *Barrier* = $\frac{1}{2} \cdot A \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton}}$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,38375 \text{ m}^2 \cdot 40,8 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 197,625 \text{ kN}$$

$$5. \text{ Median c. barrier} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,3725 \text{ m}^2 \cdot 40,8 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 189,97 \text{ kN}$$

$$6. \text{ Gelagar} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton prategang}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,752 \text{ m}^2 \cdot 40,8 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 383,52 \text{ kN}$$

$$7. \text{ Diafragma} = W/2 = 106,8/2 \text{ kN} = 53,4 \text{ kN}$$

- Beban hidup

$$1. \text{ Beban BTR} = \frac{1}{2} \cdot q_{\text{BTR}} \cdot b \cdot L$$

$$= 7,808824 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,05 \text{ m} \cdot 40,8 \text{ m} = 326,5 \text{ kN}$$

$$2. \text{ Beban BGT} = P_{\text{BGT}} \cdot L$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 49 \text{ kN/m} \cdot 2,05 \text{ m} = 50,225 \text{ kN}$$

c. Perhitungan Tebal Elastomer

1. Luas Area Elastomer Perlu

Syarat, $A_{\text{perlu}} > P_{\text{total}} / \text{batas tegangan delaminasi}$

$$A_{\text{perlu}} > (1155,6198 + 376,72) 10^3 \text{ N} / 7 \text{ MPa}$$

$$A_{\text{perlu}} > 218905,69 \text{ mm}^2$$

2. Preliminary Design

Lebar elastomer	W	= 600 mm
Panjang elastomer	L	= 500 mm
Luas area elastomer	A	= 300000 mm ²
Tebal lapisan	hr _{internal}	= 11 mm
Tebal lapisan penutup	hr _{cover}	= 7,5 mm
Jumlah lapisan	n	= 4 buah
Mutu pelat baja	fy	= 260 MPa
Koefisien susut defleksi umur 25 thn	Cd	= 0,25

3. Faktor Bentuk

$$hr_{\text{cover}} \leq 0,7 hr_{\text{internal}}$$

$$7,5 \text{ mm} \leq 0,7 (11 \text{ mm})$$

$$7,5 \text{ mm} \leq 7,7 \text{ mm (OK)}$$

Untuk tumpuan persegi tanpa baut, faktor bentuk untuk setiap lapis:

$$S_{\text{cover}} = \frac{A}{2 \cdot (L + W) \cdot \text{hr}_{\text{cover}}} = \frac{300000 \text{ mm}^2}{2 \cdot (500 + 600) \text{ mm} \cdot 7,5 \text{ mm}} = 18,182$$

$$S_{\text{internal}} = \frac{A}{2 \cdot (L + W) \cdot \text{hr}_{\text{internal}}} = \frac{300000 \text{ mm}^2}{2 \cdot (500 + 600) \text{ mm} \cdot 11 \text{ mm}} = 12,397$$

4. Kontrol Tegangan Tekan

$$\sigma_s = \frac{P_{\text{total}}}{A} = \frac{1532339,8 \text{ N}}{300000 \text{ mm}^2} = 5,108 \text{ MPa}$$

Tegangan tekan yang terjadi pada elastomer harus memenuhi syarat

$$\sigma_s \leq 1 \text{ ksi} (= 6,89 \text{ MPa}) \text{ dan,}$$

$$\sigma_s \leq G \cdot S_{\text{internal}}$$

$$\begin{aligned} \sigma_s &\leq 0,55 \text{ MPa} \cdot 12,397 \\ &\leq 6,82 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Cek:

$$\sigma_s = 5,108 \text{ MPa} \leq 6,82 \text{ MPa} \text{ (OK)}$$

5. Kontrol Defleksi Tekan

$$\varepsilon_{\text{int}} = \frac{\sigma_s}{6 \cdot G \cdot S_{\text{internal}}^2} = \frac{5,108 \text{ MPa}}{6 \cdot 0,55 \text{ MPa} \cdot 12,397^2} = 0,010$$

Maka defleksi kejut adalah:

$$\delta_{\text{int}} = 2 \cdot \varepsilon_{\text{int}} \cdot \text{hr}_{\text{cover}} + (N_{\text{stlayer}} - 1) \cdot \varepsilon_{\text{int}} \cdot \text{hr}_{\text{internal}} = 0,48 \text{ mm}$$

Defleksi akibat susut:

$$\delta_{\text{susut}} = C_d \cdot \delta_{\text{int}} = 0,25 \cdot 0,48 \text{ mm} = 0,12 \text{ mm}$$

Defleksi total:

$$\delta_{\text{total}} = \delta_{\text{susut}} + \delta_{\text{int}} = (0,12 + 0,48) \text{ mm} = 0,6 \text{ mm}$$

Kontrol defleksi tiap lapisan elastomer tidak boleh melebihi 0,07 hri, maka:

$$\delta_{\text{lapisan}} = \varepsilon_{\text{int}} \cdot \text{hri} = 0,010 \cdot 11 = 0,11 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lapisan}} < 0,07 \text{ hri}$$

$$0,11 \text{ mm} < 0,07 \cdot 11 \text{ mm}$$

$$0,11 \text{ mm} < 0,77 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

6. Kontrol Deformasi Geser

- Deformasi akibat rangkai (*creep*)

$$\Delta_{cr} = \frac{t^{0.6}}{10 \cdot t^{0.6}} \cdot C_u \cdot \epsilon_c \cdot L = \frac{365000^{0.6}}{10 \cdot 365000^{0.6}} \cdot 2,5 \cdot 0,000149 \cdot 40800 \text{ mm} \\ = 15,128 \text{ mm}$$

- Deformasi akibat susut (*shrinkage*)

$$\Delta_{sh} = \frac{t}{35 + t} \cdot \epsilon_{csu} \cdot L = \frac{20}{35 + 20} \cdot 0,00017 \cdot 40800 \text{ mm} = 2,52 \text{ mm}$$

- Deformasi akibat perbedaan suhu

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T = 40800 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C} \cdot \frac{1}{2} (40 - 25) ^\circ\text{C} = 3,06 \text{ mm}$$

- Total deformasi

$$\Delta_{total} = \frac{1}{2} (\Delta_{Cr} + \Delta_{Sh} + \Delta L) = \frac{1}{2} (15,128 + 2,52 + 3,06) = 10,354 \text{ mm}$$

$$\text{Maka deformasi geser rencana } \Delta_s = 10,354 \text{ mm}$$

$$\text{Deformasi ijin } \Delta_{ijin} = 2 \cdot 10,354 = 20,708 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal total elastomer } h_{rt} = 2 \cdot h_{rcover} + (N_{stlayer} - 1) \cdot h_{rinternal} \\ = 2 \cdot 7,5 \text{ mm} + (4 - 1) \cdot 11 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat, } h_{rt} \geq \Delta_{ijin} = 48 \text{ mm} \geq 20,708 \text{ mm (OK)}$$

7. Kontrol Rotasi

$$\text{Syarat, } \sigma_s \geq \frac{1}{2} \cdot G \cdot S_{internal} \cdot \left(\frac{L}{h_{ri}} \right)^2 \cdot \frac{\theta}{N_{stlayer}}$$

$$5,108 \text{ MPa} \geq \frac{1}{2} \cdot 0,55 \text{ MPa} \cdot 12,397 \cdot \left(\frac{500 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} \right)^2 \cdot \frac{0,0018 \text{ rad}}{4}$$

$$5,108 \text{ MPa} \geq 3,170 \text{ MPa (OK)}$$

8. Tebal Pelat Baja

- Kondisi layan,

$$\text{Syarat, } h_s \geq 3 \cdot h_{rinternal} \cdot \sigma_s / f_y$$

$$h_s \geq 3 \cdot 11 \text{ mm} \cdot 5,108 \text{ MPa} / 260 \text{ MPa}$$

$$h_s \geq 0,65 \text{ mm}$$

- Kondisi fatik,

$$\sigma_L = \frac{PLL}{A} = \frac{376720 \text{ N}}{300000 \text{ mm}^2} = 1,256 \text{ MPa}$$

$$\text{Syarat, } h_s \geq 2 \cdot h_{rinternal} \cdot \sigma_L / \Delta F_{TH}$$

$$h_s \geq 2 \cdot 11 \text{ mm} \cdot 1,256 \text{ MPa} / 165 \text{ MPa}$$

$$h_s \geq 0,167 \text{ mm}$$

Maka direncanakan tebal pelat baja, $h_{st} = 4 \text{ mm}$

9. Kontrol Stabilitas

Tebal total elastomer,

$$h_{total} = 2 \cdot h_{rcover} + (N_{stlayer} - 1) \cdot h_{rinternal} + N_{stlayer} \cdot h_{st}$$

$$= 2 \cdot 7,5 \text{ mm} + (4 - 1) \cdot 11 \text{ mm} + 4 \cdot 4 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$$

$$\text{syarat, } h_{total} \leq L/3 = 64 \text{ mm} \leq 166,7 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{syarat, } h_{total} \leq W/3 = 64 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm (OK)}$$

SIMPULAN Hasil perencanaan struktur atas jembatan *interchange* proyek pembangunan jalan tol Tebing Tinggi-Kisaran (tahap 1) Tebing Tinggi-Indrapura dengan panjang bentang 40,8 m dan lebar 16,6 m adalah *concrete barrier* dan *median concrete barrier* pada jembatan direncanakan menggunakan tulangan 10D-16 mm. Lantai jembatan direncanakan dengan ketebalan 0,2 m. Untuk pembesian lantai jembatan (tulangan lentur positif dan tulangan lentur negatif) dibutuhkan tulangan pokok D 16–100 mm dan tulangan bagi D 13–100 mm. *Deck slab* direncanakan memiliki ukuran (1,4 x 1 x 0,7) m dengan jumlah tulang yang dibutuhkan 4D-13 mm. Balok prategang yang digunakan adalah PCI Girder dengan mutu beton K-500 dan mutu baja U-40. Kemudian untuk baja prategang digunakan *Uncoated Seven-Wire Super Strands ASTM A-416 grade 270* dengan menggunakan 4 buah tendon dan jumlah *strands* sebanyak 69 buah. Diafragma yang direncanakan adalah diafragma lapangan dan diafragma tumpuan. Diafragma lapangan memiliki ukuran (1,85 x 0,2 x 1,65) m. Dan diafragma tumpuan memiliki ukuran (1,41 x 0,2 x 1,65) m. Untuk pembesian diafragma lapangan dan tumpuan dibutuhkan tulangan lentur 5D-16 mm, dibutuhkan tulangan bagi 4 D-13 mm, dan tulangan geser \emptyset 12–150 mm. Perletakan jembatan yang digunakan adalah *elastomer laminated*. Jenis karet elastomer yang digunakan adalah karet sintesis standar ASTM D. 412 yang memiliki modulus geser minimum sebesar 0,55 MPa dan kuat tarik minimum sebesar 15,5 MPa. Dan elastomer yang dibutuhkan sebanyak 16 buah dengan dimensi (500 x 600 x 64) mm.

Sarannya adalah bagi rekan mahasiswa yang akan mendalami topik tugas akhir ini, hendaknya melakukan perhitungan struktur atas, struktur bawah, tiang

pancang dan estimasi biayanya secara lebih lengkap. Dimensi penampang girder profil I *prestressed* yang diperoleh dari perencanaan ini tidak mengizinkan adanya tegangan tarik. Untuk itu diharapkan kepada perencana selanjutnya untuk merencanakan dimensi girder profil I *prestressed* dengan mengizinkan tegangan tekan pada saat transfer maupun saat masa layan.

- RUJUKAN** Departemen Pekerjaan Umum. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan*. 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
- 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 Institue. (2010). *PCI Design Handbook-Precast and Prestressed Concrete*. Chicago: Prestressed Concrete Institue.
- Ilham, M.N. (2008). *Perhitungan Balok Prategang (PC-I Girder)*. Yogyakarta. SNI 2833:2016 *Perencanaan Jembatan Terhadap Gempa*.
- Pratama, Aldio W. 2016. *Analisis Respons Struktur Atas Jembatan Prestressed Kuranji Akibat Gempa Horizontal* [skripsi]. Padang (ID): Universitas Andalas.
- Lin, T.Y. dan Burns, N.H. 2000. *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta: Erlangga.
- Perhitungan Jembatan Srandakan Kulon Progo D.I Yogyakarta.