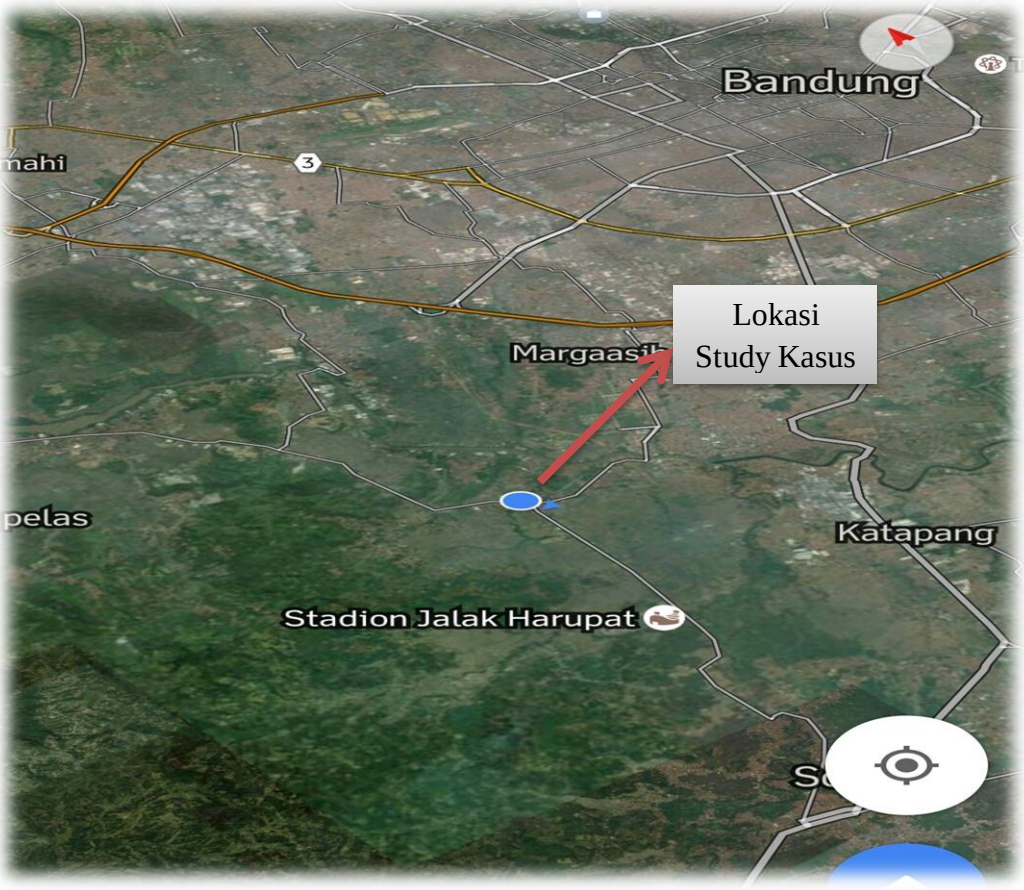
BAB IV

ANALISIS DAN DESAIN

4.1 Lokasi Studi Kasus

Lokasi studi kasus yang diambil untuk analisis terkait reaksi balok T eskterior akibat beban sandaran pada tugas akhir ini adalah di Jln. Terusan Soreang-Cipatik, Soreang Kabupaten Bandung, yang juga merupakan akses menuju Stadion Jalak Harupat Soreang Kabupaten Bandung. Pada lokasi ini terdapat sebuah jembatan gelagar beton bertulang bentang pendek.

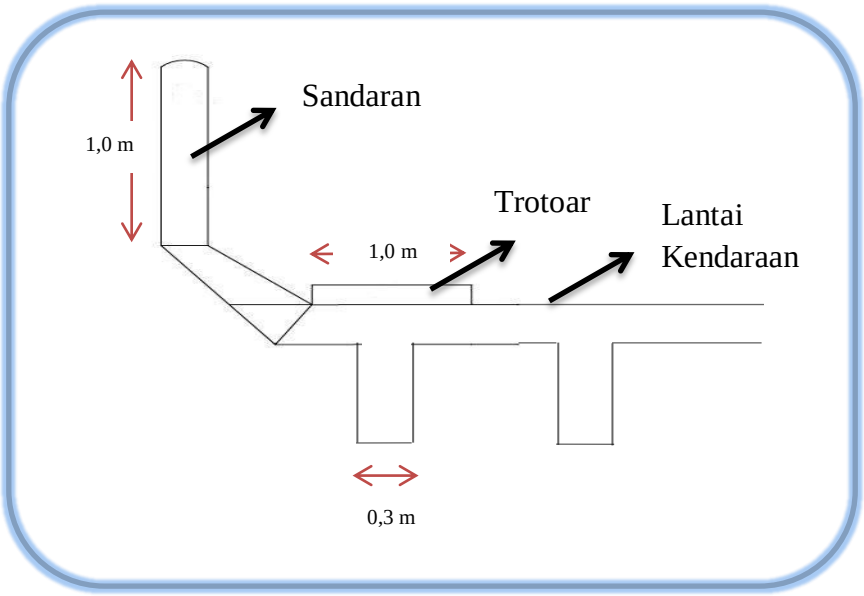


Gambar 4.1 Peta Satelit Lokasi Study Kasus



Gambar 4.2 Lokasi Studi Kasus

4.2 Data Struktur Atas



Gambar 4.3 Struktur Atas

Data struktur atas yang digunakan sebagai studi yang ditinjau adalah berdasarkan gambar standar jembatan beton T bentang 5 m sampai dengan 25 m Dirjen Bina Marga.

- ✓ Tinggi sandaran , (h) : 1,00 m
- ✓ Lebar trotoar, (B): 1,0 m
- ✓ Panjang bentang jembatan, (L) : 8,00 m
- ✓ Dimensi Balok Eksterior :
  - ✓ Lebar (l) : 0,30 m
  - ✓ Tinggi (h) : 0,65 m
  - ✓ Panjang (L): 8,00 m
- ✓ Tebal slab lantai jembatan, (ts): 0,20 m
- ✓ Tebal lapisan aspal, (ta): 0,05 m
- ✓ Tinggi genangan air hujan, (th) : 0,05 m
- ✓ Tinggi bidang samping, (ha) : 1,90 m

4.3 Bahan Struktur

Berikut adalah data bahan struktur yang digunakan dalam perencanaan jembatan gelagar beton bertulang mengacu pada Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Jembatan Direktorat Jendral Bina Marga No:009/BM.2008 dan RSNI-t-02-2005 tentang Standar Pembebanan untuk Jembatan.

4.3.1 Mutu Beton : K-250

- ✓ Kuat tekan beton, (fc') : 0,83 x K/10 = 20,75 MPa
- ✓ Modulus elastik, (Ec) : 4700 x √fc' = 21409,52 MPa
- ✓ Angka poisson, (υ) : 0,20
- ✓ Modulus geser, (G) : Ec / [2(1+ υ)] = 8921 MPa
- ✓ Koofisien muai panjang untuk beton, (α): 10×10^{-6}

4.3.2 Mutu Baja

- ✓ Untuk baja tulangan dengan Ø > 12 mm : U-39

  Tegangan leleh baja, (fy): 390 MPa
- ✓ Untuk baja tulangan dengan Ø ≤ 12 mm : U-24

  Tegangan leleh baja, (fy) : 240 MPa

4.3.3 Spesific gravity

- ✓ Berat beton bertulang, (wc) : 25,00 kN/m
- ✓ Berat beron tidak bertulang (beton rabat), (w'c) : 24,00 kN/m
- ✓ Berat aspal padat, (wa) : 22,00 kN/m
- ✓ Berat jenis air, (ww) : 9,80 kN/m

4.4 Analisis Beban

4.4.1 Beban Mati

1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri (Self Weight) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah elemen non struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap.

Tabel 4.1 Beban Berat Sendiri Pada Balok Eksterior

No	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m^3)	Beban (kN/m)
1	Plat lantai	0,20	0.20	25.00	1,00
2	Balok Eksterior	0.30	0,45	25.00	3,38
				Q_{MS} =	4,38

- ✓ Gaya geser pada balok eksterior akibat berat sendiri :

V_{MS} = ½ x Q_{MS} x L

= ½ x 4,38 x 8

= 17,52 kN

- ✓ Momen lentur pada balok eksterior akibat berat sendiri :

$$M_{QMS} \rightarrow Mx = \tfrac{1}{2}\, Q_{MS} \times L^2 \left\{ \frac{x}{L}\left(1-\frac{x}{L}\right)\right\}$$

- ✓ Momen pada potongan 1, x = 1,50 m ($M_{1,MS}$)

$$M_{1,MS} = \tfrac{1}{2}(4{,}38)(8^2)\left\{ \frac{1{,}50}{8}\left(1-\frac{1{,}50}{8}\right)\right\}$$

= 21,35 kNm

✓ Momen pada potongan 2, x = 3,00 m ($M_{2,MS}$)

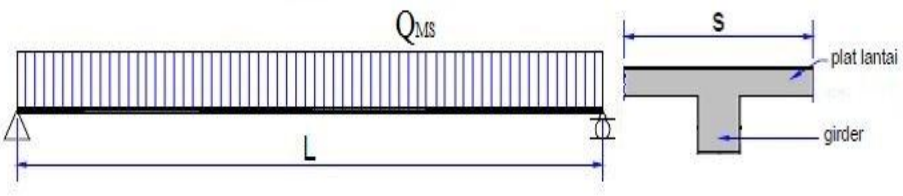
$$M_{2,MS} = ½ (4,38)(8^2) \left\{ \frac{3,00}{8} \left(1 - \frac{3,00}{8}\right)\right\}$$

$$= 32,85 \text{ kNm}$$

✓ Momen pada potongan 3, x = 4,00 m ($M_{3,MS}$)

$$M_{3,MS} = ½ (4,38)(8^2) \left\{ \frac{4,00}{8} \left(1 - \frac{4,00}{8}\right)\right\}$$

$$= 35,04 \text{ kNm}$$



Gambar 4.4 Distribusi Beban Akibat Berat Sendiri

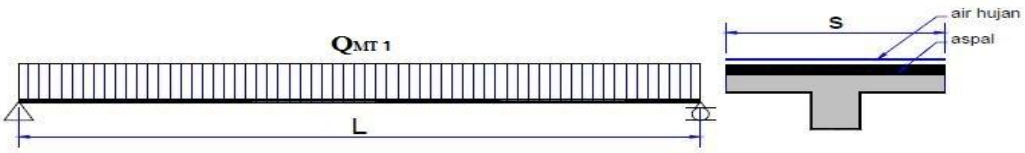
2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan (superimposed dead load), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Jembatan dianalisis harus mampu menahan beban mati tambahan seperti berikut :

1) Penambahan lapisan aspal (overlay) di kemudian hari,
2) Genangan air hujan ketika sistem drainase tidak berjalan dengan baik.
3) Beban trotoar
4) Beban sandaran

Tabel 4.2 Beban Mati Tambahan Pada Balok Eksterior (Q_{MA1})

No.	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m^3)	Beban (kN/m)
1	Lap.Aspal+overlay	0,20	0,05	22,00	0,22
2	Air hujan	0,20	0,05	9,80	0,10
3	Trotoar	1,00	0,20	25,00	5,00
Beban mati tambahan :				Q_{MA1} =	5,32



Gambar 4.5 Distribusi Beban Mati Tambahan

✓ Gaya geser pada balok eksterior akibat lapisan aspal+overlay, air hujan dan trotoar :

V_{MA1} = ½ x Q_{MA1} x L

= ½ x 5,32 x 8

= 21,28 kN

✓ Momen lentur pada balok eksterior akibat Gaya geser pada balok eksterior akibat lapisan aspal+overlay, air hujan dan trotoar :

$$M_{QMA1} \rightarrow Mx = \tfrac{1}{2}\, Q_{MA1} \times L^2 \left\{ \frac{x}{L} \left(1 - \frac{x}{L}\right) \right\}$$

✓ Momen pada potongan 1, x = 1,50 m ($M_{1,MA}$)

$$M_{1,MA1} = \tfrac{1}{2}\,(5{,}32)(8^2) \left\{ \frac{1{,}50}{8} \left(1 - \frac{1{,}50}{8}\right) \right\}$$

= 25,94 kNm

✓ Momen pada potongan 2, x = 3,00 m ($M_{2,MA}$)

$$M_{2,MA1} = ½ (5,32)(8^2) \left\{ \frac{3,00}{8} \left(1 - \frac{3,00}{8}\right)\right\}$$

$$= 39,90 \text{ kNm}$$

✓ Momen pada potongan 3, x = 4,00 m ($M_{3,MA}$)

$$M_{3,MA1} = ½ (5,32)(8^2) \left\{ \frac{4,00}{8} \left(1 - \frac{4,00}{8}\right)\right\}$$

$$= 42,56 \text{ kNm}$$

Dalam analisis ini, dinding sandaran yang digunakan merupakan dinding dari pasangan bata, pasangan batako, dan pasangan batu pecah. Dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI 1987, ditetapkan berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung sebagai berikut :

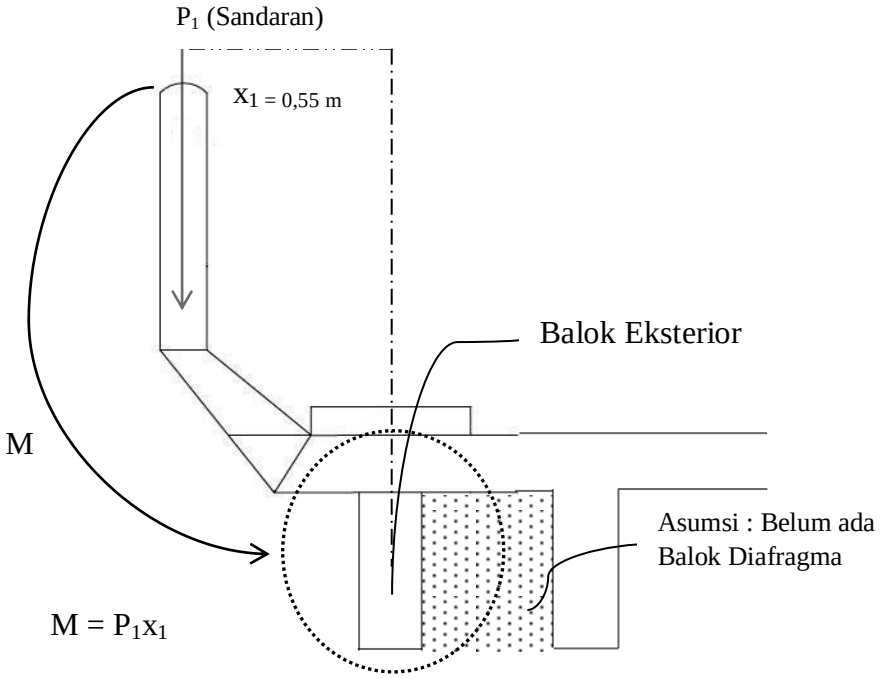
Tabel 4.3 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

	Berat
Bahan Bangunan	
- Batu belah	2200 Kg/m^3
- Pasangan bata merah	1700 Kg/m^3
Komponen Gedung	
- Dinding pasangan bata merah	250 Kg/m^2
- Dinding pasangan batako	
- Berlubang (tebal 10 cm)	120 Kg/m^2
- Tanpa lubang (tebal 10 cm)	200 Kg/m^2

(sumber: PPPURG 1987)

Didalam RSNI-T-02-2005, berat sendiri pasangan batu adalah 2400 kg/m^3.

Berdasarkan standar berat sendiri bahan bangunan diatas, beban maksimum yang mungkin terjadi dari bahan bangunan yang akan digunakan adalah ≤ 2400 Kg/m^3, sehingga beban untuk bahan sandaran digunakan 2400 Kg/m^3 dengan mengutamakan fungsi kekuatan balok T eksterior saat menerima beban tersebut.

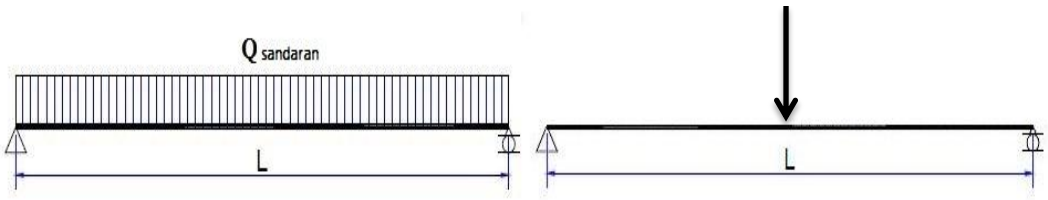


Gambar 4.6 Momen Yang Timbul Akibat Distribusi Beban Sandaran

Tabel 4.4 Beban Mati Tambahan Pada Balok Ekterior (Q_{MA2})

No	Jenis	Lebar (m)	Tinggi (m)	Berat (Kg/m^3)	Beban (kN/m^3)	Beban (kN/m)
1	Beban Sandaran	0,10	1,80	2400	23,50	4,23
Beban mati tambahan					Q_{MA2} =	4,23

$P = Q_{sandaran} \times L$
$= 4{,}23 \times 8{,}00$
$P = 33{,}84$ kN



Gambar 4.7 Distribusi Beban Akibat Sandaran Dan Beban Terpusat Akibat Sandaran

✓ Gaya geser pada balok eksterior akibat beban sandaran :

$V_{MA2} = ½ \times P_{sandaran}$

$= ½ \times 33{,}84$

$= 16{,}92$ kN

✓ Momen pada balok eksterior akibat beban sandaran :

$$M_{QMA2} \rightarrow Mx = P_{sandaran}\ (0{,}55) \left\{ \frac{x}{L} \left(1 - \frac{x}{L}\right) \right\}$$

✓ Momen pada potongan 1, x = 1,50 m ($M_{1,MA}$)

$$M_{1,MA2} = (33{,}84)(0{,}55) \left\{ \frac{1{,}50}{8} \left(1 - \frac{1{,}50}{8}\right) \right\}$$

$= 2{,}84$ kNm

✓ Momen pada potongan 2, x = 3,00 m ($M_{2,MA}$)

$$M_{2,MA2} = (33{,}84)(0{,}55) \left\{ \frac{3{,}00}{8} \left(1 - \frac{3{,}00}{8}\right) \right\}$$

$= 4{,}36$ kNm

✓ Momen pada potongan 3, x = 4,00 m ($M_{3,MA}$)

$$M_{3,MA2} = (33,84)(0,55)\left\{ \frac{4,00}{8}\left(1-\frac{4,00}{8}\right)\right\}$$

$$= 4,65 \text{ kNm}$$

Berikut adalah total gaya geser dan momen lentur akibat beban mati tambahan yang bekerja pada balok eksterior :

✓ Total gaya geser akibat beban mati tambahan :

$$V_{MA} = V_{MA1} + V_{MA2}$$

$$= 21,28 + 16,92$$

$$= 38,20 \text{ kN}$$

✓ Total momen lentur akibat beban mati tambahan :

✓ Momen pada potongan 1

$$M_{1MA} = M_{1,MA1} + M_{1,MA2}$$

$$= 25,94 + 2,84$$

$$= 28,78 \text{ kNm}$$

✓ Momen pada potongan 2

$$M_{2MA} = M_{2,MA1} + M_{2,MA2}$$

$$= 39,90 + 4,36$$

$$= 44,26 \text{ kNm}$$

✓ Momen pada potongan 3

$$M_{3MA} = M_{3,MA1} + M_{3,MA2}$$

$$= 42,56 + 4,65$$

$$= 47,21 \text{ kNm}$$

4.4.2 Beban Hidup

1. Beban Lalu Lintas

a. Beban Lajur “D” (TD)

Beban kendaraan yg berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata UDL (Uniformly Distributed Load) dan beban garis KEL (Knife Edge Load). UDL mempunyai intensitas q (kPa) yg besarnya tergantung pada panjang bentang (L) yg dibebani lalu-lintas atau dinyatakan oleh rumus berikut :

$L \leq 30$ m : $q = 9{,}0$ KPa .....(1)

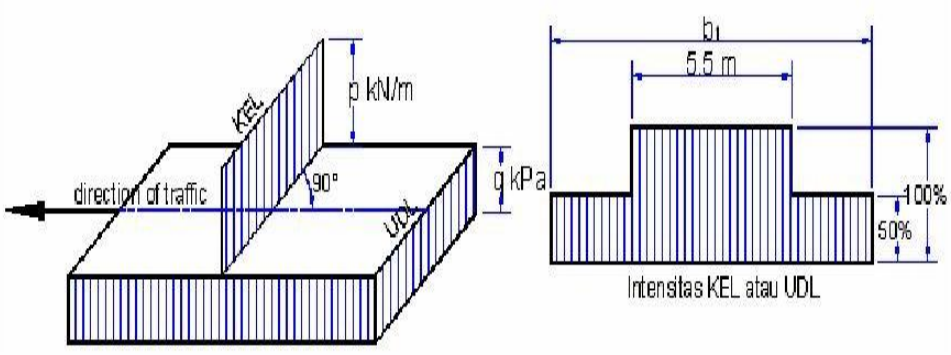
$L > 30$ m : $q = 9{,}0\ (0{,}5 + \frac{15}{L})$ KPa .....(2)

dengan pengertian :

q : intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Sementara untuk beban garis memiliki besar intensitas p = 49,0 kN/m, dan faktor beban dinamis (Dinamic Load Allowance) untuk KEL diambil 0,4.



Gambar 4.8 Beban Lajur “D”

Sehingga beban lajur pada balok eksterior adalah :

Q_{TD} = q x s

= 9,00 x 1,45

= 13,05 kN/m

P_{TD} = (1 + DLA) x p x s

= (1 + 0,4) x 49 x 1,45

= 99,47 kN

✓ Gaya geser pada balok eksterior akibat beban lajur :

V_{TD} = ½ {(Q_{TD} x L) + P_{TD}}

= ½ {(13,05 x 8,00) + 99,47}

= 101,94 kN

✓ Momen lentur pada balok eksterior akibat beban lajur :

$$M_{QTD} \rightarrow Mx = \left\{ {}^{1}/_{2} \ (Q_{TD} \times L^2) + (P_{TD} \times L) \right\} \left\{ \frac{x}{L} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right\}$$

✓ Momen pada potongan 1, x = 1,50 m ($M_{1,TD}$)

$$M_{1,TD} = \left\{ {}^{1}/_{2} \ (13,05 \times 8^2) + (99,47 \times 8) \right\} \left\{ \frac{1,50}{8} \left(1 - \frac{1,50}{8} \right) \right\}$$

= 184,85 kNm

✓ Momen pada potongan 2, x = 3,00 m ($M_{2,TD}$)

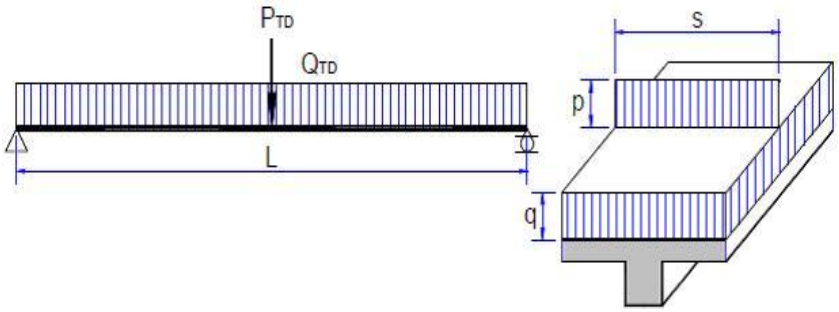
$$M_{2,TD} = \left\{ {}^{1}/_{2} \ (13,05 \times 8^2) + (99,47 \times 8) \right\} \left\{ \frac{3,00}{8} \left(1 - \frac{3,00}{8} \right) \right\}$$

= 284,38 kNm

✓ Momen pada potongan 3, x = 4,00 m ($M_{3,TD}$)

$$M_{3,TD} = \{ {}^{1}/_{2} \ (13{,}05 \times 8^2) + (99{,}47 \times 8) \} \{ \frac{4{,}00}{8} \left(1 - \frac{4{,}00}{8}\right) \}$$

$$= 303{,}34 \text{ kNm}$$



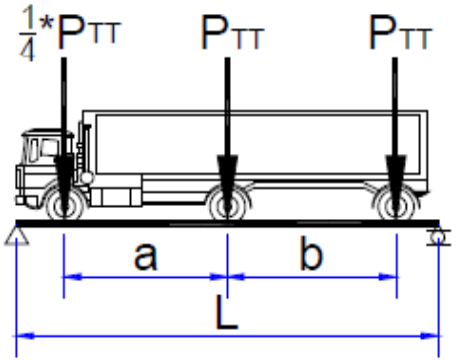
Gambar 4.9 Distribusi Beban Lajur

b. Beban Truk "T" (TT)

✓ Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh truk (beban T) yang besarnya, T = 112,5 kN

✓ Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk, DLA = 0,30

✓ Beban Truk "T", PTT = (1 + DLA) x T = 146,25 kN

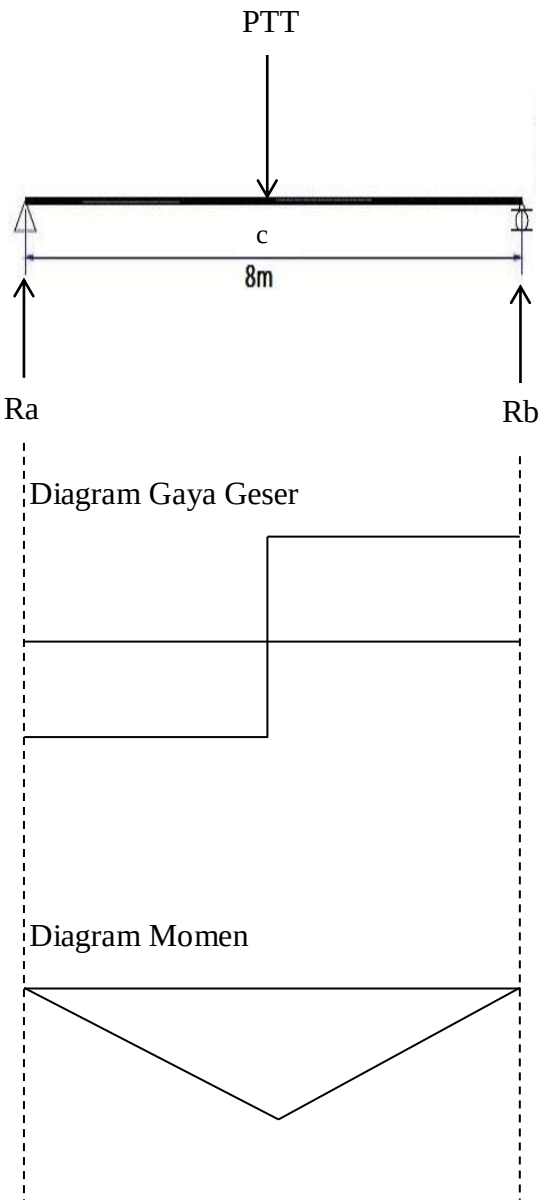


a = 5,00 m

b = 5,00 m

Panjang bentang girder, L = 8,00 m

Asumsi pertama, roda ganda truk berada ditengah bentang jembatan :



$\sum Mb = 0$

$Ra(8) - PTT(4) = 0$

$Ra = PTT(4)/8$

$= 146,25\ (4) / 8$

$= 73,13$ kN

$\sum Ma = 0$

$-Rb(8) + PTT(4) = 0$

$Rb = PTT(4)/8$

$= 146,25\ (4) / 8$

$= 73,13$ kN

Gaya geser :

$V_{TT} = Ra = 73,13$ kN

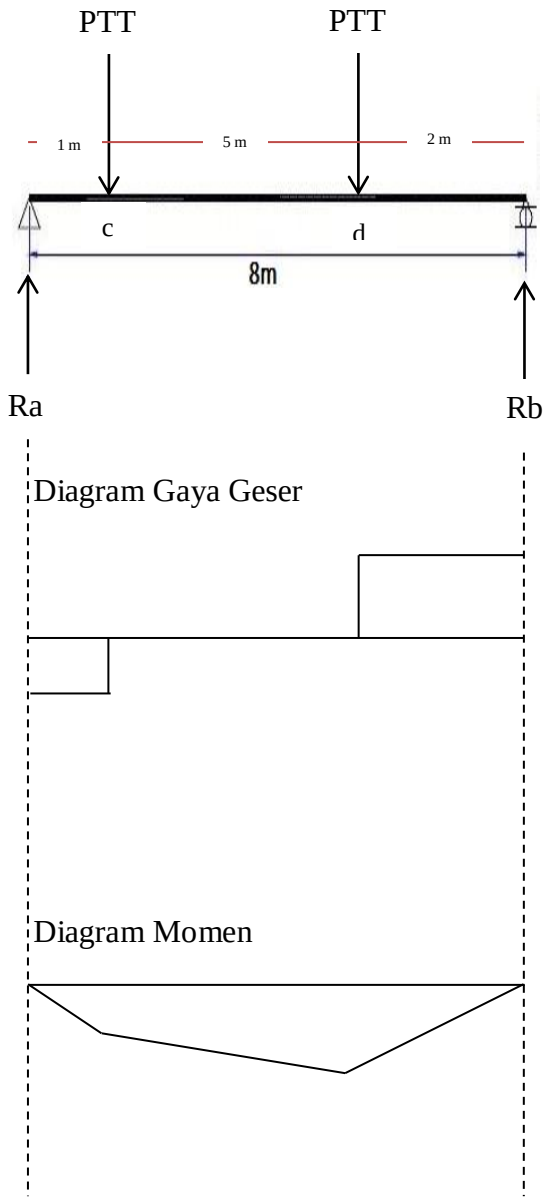
Momen Lentur :

$M_{TT} = Mc = Ra\ (3)$

$= 73,13\ (3)$

$= 219,39$ kNm

Asusmsi kedua, roda tengah dan roda belakang truk berada didalam bentang jembatan, dengan jarak roda belakang truk adalah 2 meter dari ujung jembatan, dan roda depan berjarak 1 meter dari ujung jembatan untuk mendapat momen yang besar untuk analisis pengaruh beban truk terhadap jembatan :



$\sum Mb = 0$

$Ra(8) - PTT(7) - PTT(2) = 0$

$Ra = (1023,75 + 292,5)/8$

$= 1316,25 / 8$

$= 164,53$ kN

$\sum Ma = 0$

$-Rb(8) + PTT(6) + PTT(1) = 0$

$Rb = (877,5 + 146,25)/8$

$= 1023,75 / 8$

$= 127,97$ kN

Gaya geser :

$V_{TT} = Ra = 164,53$ kN

Momen Lentur :

$M_{TT} = Md = Rb\ (2)$

$= 127,97\ (2)$

$= 255,94$ kNm

Dari dua asumsi diatas, yang diambil adalah yang memiliki pengaruh terbesar, sehingga gaya geser dan momen akibat beban truk yang diambil adalah :

$V_{TT} = 164,53$ kN $> V_{TD}$

$M_{TT} = 255,94$ kNm

- ✓ Momen pada potongan 1, x = 1,50 m ($M_{1,TT}$)

$$M_{1,TT} = \{255,94\}\{\frac{1,50}{8}(1-\frac{1,50}{8})\}$$

$$= 38,99 \text{ kNm} < M_{1,TD}$$

✓ Momen pada potongan 2, x = 3,00 m ($M_{2,TT}$)

$$M_{2,TT} = \{255,94\}\{\frac{3,00}{8}(1-\frac{3,00}{8})\}$$

$$= 59,99 \text{ kNm} < M_{2,TD}$$

✓ Momen pada potongan 3, x = 4,00 m ($M_{3,TT}$)

$$M_{3,TT} = \{255,94\}\{\frac{4,00}{8}(1-\frac{4,00}{8})\}$$

$$= 63,99 \text{ kNm} < M_{3,TD}$$

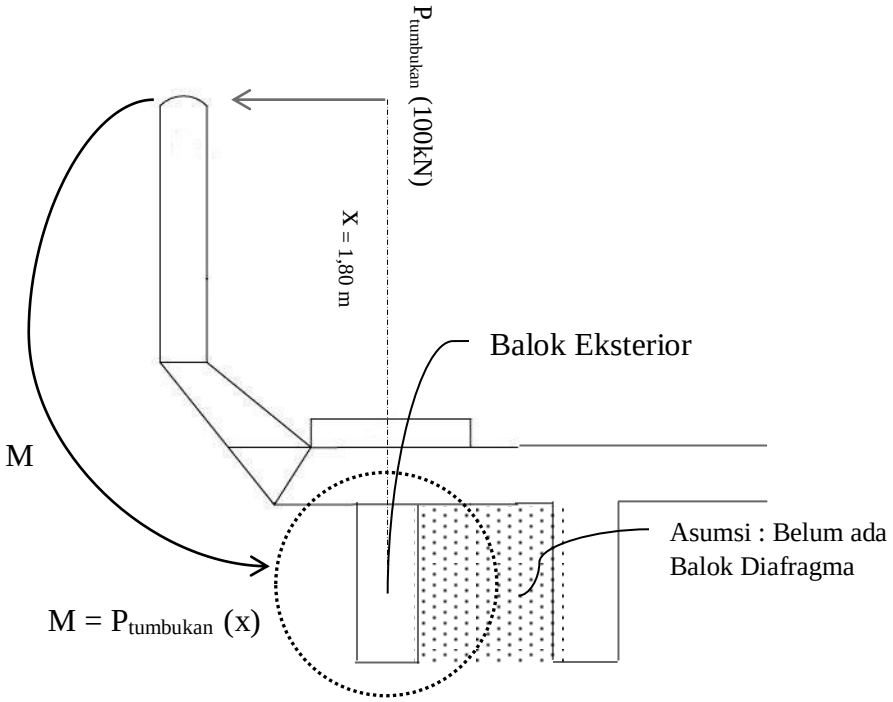
Gaya geser dan momen pada balok eksterior yang terjadi akibat pembebanan lalu lintas diambil yang memberikan pengaruh terbesar terhadap balok eksterior diantara beban "D" dan beban "T", sehingga

- ✓ Gaya geser maksimum akibat beban "T", V_{TT} = 164,53 kN
- ✓ Momen maksimum akibat beban "D", M_{TD} (pada potongan, 1,2,3)

3. Beban Tumbukan (TC)

Apabila pilar yang mendukung jembatan layang terletak dibelakang penghalang, maka pilar tersebut harus direncanakan untuk bisa menahan beban statis ekuivalen sebesar 100 kN yang bekerja membentuk sudut 10° dengan sumbu jalan yang terletak dibawah jembatan. Beban ini bekerja 1.8 m diatas permukaan jalan.

P_{TC} = 100 kN



Gambar 4.10 Momen Yang Timbul Akibat Beban Tumbukan

✓ Gaya geser pada balok eksterior akibat beban tumbukan :

$V_{BT} = P_{TC}$

$= 100$ kN

✓ Momen pada balok eksterior akibat beban tumbukan :

$$M_{QTC} \rightarrow Mx = P_{TC}(x)\left\{\frac{x}{L}\left(1-\frac{x}{L}\right)\right\}$$

✓ Momen pada potongan 1, x = 1,50 m ($M_{1,TC}$)

$$M_{1,TC} = 100 \times 1{,}80\left\{\frac{1{,}50}{8}\left(1-\frac{1{,}50}{8}\right)\right\}$$

$= 27{,}42$ kNm

✓ Momen pada potongan 2, x = 3,00 m ($M_{2,TC}$)

$$M_{2,TC} = 100 \times 1{,}80\left\{\frac{3{,}00}{8}\left(1-\frac{3{,}00}{8}\right)\right\}$$

$= 42{,}19$ kNm

✓ Momen pada potongan 3, x = 4,00 m ($M_{3,TC}$)

$$M_{3,TC} = 100 \times 1{,}80 \left\{ \frac{4{,}00}{8} \left(1 - \frac{4{,}00}{8}\right) \right\}$$

$$= 45{,}00 \text{ kNm}$$

Tabel 4.5 Gaya Geser Dan Momen Lentur

Pembebanan	Faktor Beban	V (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Berat sendiri (MS)	1.30	17,52	21,35	32,85	35,04
Beban mati tambahan (MA)	2.00	38,20	28,78	44,26	47,21
Beban lalu lintas ("TD" dan "TT")	1,80	164,53	184,85	284,38	303,34
Beban tumbukan (TC)	1,00	100,00	27,42	42,19	45,00

(sumber : Hasil Perhitungan, 2016)

Gaya geser ultimit dan momen ultimit didapat dari perkalian tiap gaya geser dan momen lentur dengan faktor beban ultimit,

Tabel 4.6 Gaya Geser Ultimit Dan Momen Lentur Ultimit

Pembebanan	V (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Berat sendiri (MS)	22,78	27,76	42,71	45,55
Beban mati tambahan (MA)	76,40	57,56	88.52	94.42
Beban lalu lintas ("TD" dan "TT")	296,15	332.73	511,88	546,01
Beban tumbukan (TC)	100,00	27,42	42,19	45,00
Total	*495,33*	*445,47*	*685,30*	*730,98*

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2016)

✓ Momen pada tumpuan :

$$Ms = \frac{1}{3} M_{max} = \frac{1}{3} \times 730{,}98$$

$$= 243{,}66 \text{ kNm}$$

4.5 Perencanaan tulangan balok eksterior

4.5.1 Pada tumpuan

Data analisis :

✓ Momen support = 243,66 kNm

- ✓ Mutu beton : K-250, (fc') = 20,75 Mpa
- ✓ Mutu baja tulangan : U-39, (fy) = 390 Mpa
- ✓ Tebal slab beton (ts) = 0,2 m = 200 mm
- ✓ Lebar badan balok eksterior (b) = 0,3 m = 300 mm
- ✓ Tinggi balok eksterior (h) = 0,65 m = 650 mm
- ✓ Lebar sayap balok eksterior (b_{eff}) = 1,45 m = 1450 mm
- ✓ Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton (d') = 150 mm
- ✓ Modulus elastisitas baja (Es) = 2 x 10^5 Mpa
- ✓ Faktor bentuk distribusi tegangan betob (β_1) = 0,85
- ✓ Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ) = 0,8
- ✓ Tinggi efektif balok eksterior (d) = h – d' = 500 mm

Analisis perhitungan :

- ✓ Rasio tulangan terhadap penampang yang memberikan kondisi regangan yang seimbang, $(\rho b) = \dfrac{\beta 1 \times 0{,}85 \times fc'}{fy \dfrac{600}{600+fy}} = 0{,}0232974 = 0{,}023$
- ✓ Faktor tahanan momen maksimum (R_{max}) :

$$R_{max} = 0{,}75 \times \rho b \times fy \left[1 - \frac{\frac{1}{2}(0{,}75 \times \rho b \times fy)}{0{,}85 \times fc'} \right]$$

$$= 5{,}49805333 = 5{,}50$$

- ✓ Momen nominal rencana (Mn) = Mu/ Φ = 304,58 kNm
- ✓ Faktor tahanan momen (Rn) = $\dfrac{Mn \times 10^6}{(b_{eef} \times d^2)}$ = 0,84

Rn < Rmax .....OK

- ✓ Rasio tulangan yang diperlukan (ρ_{perlu}) :

$$\rho_{perlu} = 0{,}85 \frac{fc'}{fy} [1-\sqrt{1-\frac{2Rn}{0{,}85fc}}] = \quad 0{,}00220829$$

- ✓ Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 1,4 / fy = 0,00358974

  $\rho_{min} > \rho_{perlu}$, *sehingga digunakan* ρ_{min} = 0,00358974

- ✓ Luas tulangan yang diperlukan (As) = ρ x b_{eff} x d = 2602,56 mm^2

- ✓ Diameter tulangan yang digunakan, D = 25 mm

  As_1 = ¼ x 3,14 x D^2 = 490,87 mm^2

- ✓ Jumlah tulangan yang dibutuhkan, n = As / As_1 = 5,30 ≈ 6

  Digunakan tulangan, 6 D 25

4.5.2 Pada Potongan 1

Data analisis :

- ✓ Momen support = 445,47 kNm
- ✓ Mutu beton : K-250, (fc') = 20,75 Mpa
- ✓ Mutu baja tulangan : U-39, (fy) = 390 Mpa
- ✓ Tebal slab beton (ts) = 0,2 m = 200 mm
- ✓ Lebar badan balok eksterior (b) = 0,3 m = 300 mm
- ✓ Tinggi balok eksterior (h) = 0,65 m = 650 mm
- ✓ Lebar sayap balok eksterior (b_{eff}) = 1,45 m = 1450 mm
- ✓ Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton (d') = 150 mm
- ✓ Modulus elastisitas baja (Es) = 2 x 10^5 Mpa
- ✓ Faktor bentuk distribusi tegangan betob (β_1) = 0,85
- ✓ Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ) = 0,8
- ✓ Tinggi efektif balok eksterior (d) = h – d' = 500 mm

Analisis perhitungan :

- ✓ Rasio tulangan terhadap penampang yang memberikan kondisi regangan yang seimbang, $(\rho b) = \dfrac{\beta 1 \times 0{,}85 \times fc'}{fy \dfrac{600}{600+fy}} = 0{,}0232974 = 0{,}023$

- ✓ Faktor tahanan momen maksimum (R_{max}) :

$$R_{max} = 0{,}75 \times \rho b \times fy \left[1 - \frac{\frac{1}{2}(0{,}75 \times \rho b \times fy)}{0{,}85 \times fc'} \right]$$

$$= 5{,}49805333 = 5{,}50$$

- ✓ Momen nominal rencana (Mn) = Mu/ Φ = 556,84 kNm

- ✓ Faktor tahanan momen (Rn) = $\dfrac{Mn \times 10^6}{(b_{eef} \times d^2)} = 1{,}54$

  Rn < Rmax .....OK

- ✓ Rasio tulangan yang diperlukan (ρ_{perlu}) :

$$\rho_{perlu} = 0{,}85 \frac{fc'}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0{,}85fc}}\right] = 0{,}00412704$$

- ✓ Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 1,4 / fy = 0,00358974

  $\rho_{min} < \rho_{perlu}$, *sehingga digunakan* ρ_{perlu} = 0,00412704

- ✓ Luas tulangan yang diperlukan (As) = $\rho \times b_{eff} \times d = 2992{,}10$ mm^2

- ✓ Diameter tulangan yang digunakan, D = 25 mm

  $As_1 = ¼ \times 3{,}14 \times D^2 = 490{,}87$ mm^2

- ✓ Jumlah tulangan yang dibutuhkan, $n = As / As_1 = 6{,}095 \approx 7$

  Digunakan tulangan, 7 D 25

- ✓ $As = As_1 \times n = 3436{,}12$ mm^2

- ✓ Tebal selimut beton, td = 40 mm
- ✓ Diameter sengkang yang digunakan, ds = 10 mm
- ✓ Jumlah tulangan tiap baris, nt = 5
- ✓ Jarak bersih antar tulangan, $Xs = \frac{b\text{-}nt.D\text{-}2td\text{-}2ds}{nt\text{-}1} = 204{,}17$ mm

  Xs > 1,5D (OK)

Untuk menjamin agar balok eksterior bersifat daktail, maka tulangan tekan diambil 30 % dari tulangan tarik sehingga :

$$As' = 30\% \times As = 1030{,}84\ m^2$$

Jumlah tulangan tekan yang diperlukan :

$$n = As' / As_1 = 2{,}1 \approx 2$$

Digunakan tulangan : 2 D 25

4.5.3 Pada Potongan 2

Data analisis :

- ✓ Momen support = 685,30 kNm
- ✓ Mutu beton : K-250, (fc') = 20,75 Mpa
- ✓ Mutu baja tulangan : U-39, (fy) = 390 Mpa
- ✓ Tebal slab beton (ts) = 0,2 m = 200 mm
- ✓ Lebar badan balok eksterior (b) = 0,3 m = 300 mm
- ✓ Tinggi balok eksterior (h) = 0,65 m = 650 mm
- ✓ Lebar sayap balok eksterior (b_{eff}) = 1,45 m = 1450 mm
- ✓ Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton (d') = 150 mm
- ✓ Modulus elastisitas baja (Es) = 2 x 10^5 Mpa
- ✓ Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1) = 0,85

- ✓ Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ) = 0,8
- ✓ Tinggi efektif balok eksterior (d) = h – d' = 500 mm

Analisis perhitungan :

- ✓ Rasio tulangan terhadap penampang yang memberikan kondisi regangan yang seimbang, $(\rho b) = \dfrac{\beta 1 \times 0{,}85 \times fc'}{fy \dfrac{600}{600+fy}} = 0{,}0232974 = 0{,}023$
- ✓ Faktor tahanan momen maksimum (R_{max}) :

$$R_{max} = 0{,}75 \times \rho b \times fy \left[1 - \frac{\frac{1}{2}(0{,}75 \times \rho b \times fy)}{0{,}85 \times fc'} \right]$$

$$= 5{,}49805333 = 5{,}50$$

- ✓ Momen nominal rencana (Mn) = Mu/ Φ = 856,63 kNm
- ✓ Faktor tahanan momen (Rn) = $\dfrac{Mn \times 10^6}{(b_{eef} \times d^2)} = 2{,}36$

Rn < Rmax .....OK

- ✓ Rasio tulangan yang diperlukan (ρ_{perlu}) :

$$\rho_{perlu} = 0{,}85 \frac{fc'}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0{,}85fc}}\right] = 0{,}00653079$$

- ✓ Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 1,4 / fy = 0,00358974

$\rho_{min} < \rho_{perlu}$, *sehingga digunakan* $\rho_{perlu} = 0{,}00653079$

- ✓ Luas tulangan yang diperlukan (As) = $\rho \times b_{eff} \times d$ = 4734,82 mm^2
- ✓ Diameter tulangan yang digunakan, D = 25 mm

As_1 = ¼ x 3,14 x D^2 = 490,87 mm^2

- ✓ Jumlah tulangan yang dibutuhkan, n = As / As_1 = 9,65 ≈ 10

  Digunakan tulangan, 10 D 25

- ✓ As = As_1 x n = 4908,74 mm^2
- ✓ Tebal selimut beton, td = 40 mm
- ✓ Diameter sengkang yang digunakan, ds = 10 mm
- ✓ Jumlah tulangan tiap baris, nt = 5
- ✓ Jarak bersih antar tulangan, $Xs = \frac{b\text{-}nt.D\text{-}2td\text{-}2ds}{nt\text{-}1} = 136{,}11$ mm

  Xs > 1,5D (OK)

Untuk menjamin agar balok eksterior bersifat daktail, maka tulangan tekan diambil 30 % dari tulangan tarik sehingga :

$$As' = 30\% \times As = 1472{,}62\ m^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$n = As' / As_1 = 3{,}0 \approx 3$$

Digunakan tulangan : 3 D 25

4.5.4 Pada Potongan 3

Data analisis :

- ✓ Momen support = 730,98 kNm
- ✓ Mutu beton : K-250, (fc') = 20,75 Mpa
- ✓ Mutu baja tulangan : U-39, (fy) = 390 Mpa
- ✓ Tebal slab beton (ts) = 0,2 m = 200 mm
- ✓ Lebar badan balok eksterior (b) = 0,3 m = 300 mm
- ✓ Tinggi balok eksterior (h) = 0,65 m = 650 mm
- ✓ Lebar sayap balok eksterior (b_{eff}) = 1,45 m = 1450 mm

- ✓ Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton (d') = 150 mm
- ✓ Modulus elastisitas baja (Es) = 2 x 10^5 Mpa
- ✓ Faktor bentuk distribusi tegangan betob (β_1) = 0,85
- ✓ Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ) = 0,8
- ✓ Tinggi efektif balok eksterior (d) = h – d' = 500 mm

Analisis perhitungan :

- ✓ Rasio tulangan terhadap penampang yang memberikan kondisi regangan yang seimbang, $(\rho b) = \dfrac{\beta 1 \times 0{,}85 \times fc'}{fy \dfrac{600}{600+fy}} = 0{,}0232974 = 0{,}023$
- ✓ Faktor tahanan momen maksimum (R_{max}) :

$$R_{max} = 0{,}75 \times \rho b \times fy \left[1 - \frac{\frac{1}{2}(0{,}75 \times \rho b \times fy)}{0{,}85 \times fc'} \right]$$

$$= 5{,}49805333 = 5{,}50$$

- ✓ Momen nominal rencana (Mn) = Mu/ Φ = 913,73 kNm
- ✓ Faktor tahanan momen (Rn) = $\dfrac{Mn \times 10^6}{(b_{eef} \times d^2)} = 2{,}52$

Rn < Rmax .....OK

- ✓ Rasio tulangan yang diperlukan (ρ_{perlu}) :

$$\rho_{perlu} = 0{,}85 \frac{fc'}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0{,}85fc}}\right] = 0{,}00700577$$

- ✓ Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) = 1,4 / fy = 0,00358974

$\rho_{min} < \rho_{perlu}$, *sehingga digunakan* ρ_{perlu} = 0,00700577

- ✓ Luas tulangan yang diperlukan (As) = $\rho \times b_{eff} \times d$ 5079,18 mm^2
- ✓ Diameter tulangan yang digunakan, D = 25 mm

$As_1 = ¼ \times 3{,}14 \times D^2 = 490{,}87\ mm^2$

- ✓ Jumlah tulangan yang dibutuhkan, $n = As / As_1 = 10{,}35 \approx 11$

  Digunakan tulangan, 11 D 25

- ✓ $As = As_1 \times n = 5399{,}61\ mm^2$
- ✓ Tebal selimut beton, td = 40 mm
- ✓ Diameter sengkang yang digunakan, ds = 10 mm
- ✓ Jumlah tulangan tiap baris, nt = 5
- ✓ Jarak bersih antar tulangan, $Xs = \frac{b\text{-}nt.D\text{-}2td\text{-}2ds}{nt\text{-}1} = 122{,}50$ mm

  Xs > 1,5D (OK)

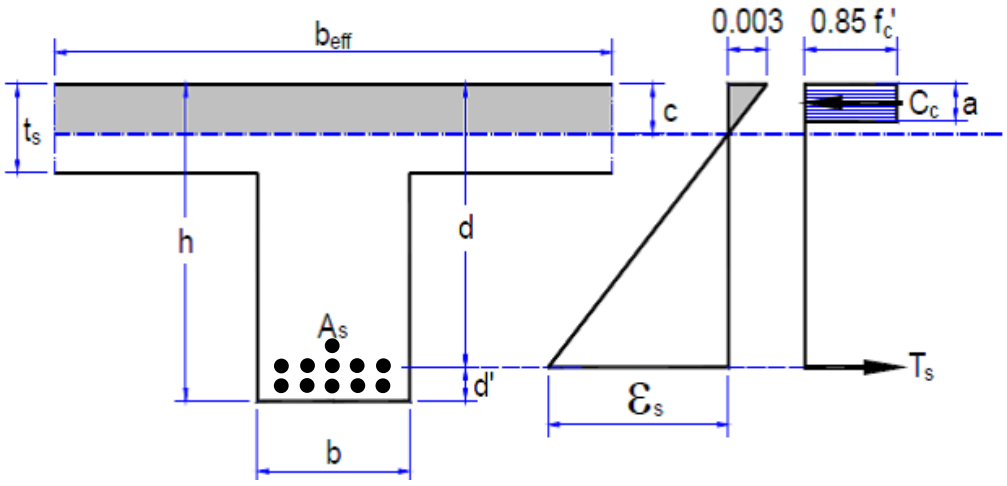
Untuk menjamin agar balok eksterior bersifat daktail, maka tulangan tekan diambil 30 % dari tulangan tarik sehingga :

$As' = 30\% \times As = 1619{,}88\ m^2$

Jumlah tulangan yang diperlukan : $n = As' / As_1 = 3{,}3 \approx 4$

Digunakan tulangan : 4 D 25

4.6 Kontrol kapasitas momen ultimit

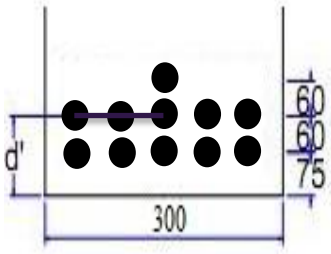


Gambar 4.11 Kontrol Kapasitas Momen Ultimit

- ✓ Tebal slab beton, (ts) = 200 mm
- ✓ Lebar efektif sayap, (b_{eff}) = 1450 mm
- ✓ Lebar badan Girder, (b) = 300 mm
- ✓ Tinggi Girder, (h) = 650 mm

Tabel 4.7 Detail Tulangan Pokok

Baris	Jumlah Tulangan (n)	y (mm)	ny
1	5	75	375
2	5	135	675
3	1	195	780
	11		1245



Gambar 4.12 Detail Tulangan Pokok

- ✓ Letak titik berat tulangan tarik terhadap sisi bawah balok eksterior,

$$d' = \sum(n.y)/\sum n$$

$$= 113{,}18 \text{ mm}$$

- ✓ Tinggi efektif balok eksterior, d = h - d' = 536,82 mm
- ✓ Luas tulangan, As = 5399,61 mm^2
- ✓ Kuat tekan beton, fc' = 20,75 Mpa
- ✓ Kuat leleh baja, fy = 390 MPa

Untuk garis netral berada di dalam sayap T-Girder, maka : Cc > Ts

- ✓ Gaya internal tekan beton pada sayap,

$$Cc = 0.85 \times fc' \times b_{eff} \times ts = 5114875 \text{ N}$$

- ✓ Gaya internal tarik baja tulangan,

$$Ts = As \times fy = 2105848{,}83 \text{ N}$$

Cc > Ts (Garis netral di dalam sayap)

$$a = \frac{As \times fy}{(0{,}85.fc'.b_{eff})} = 82{,}34 \text{ mm}$$

- ✓ Jarak garis netral terhadap sisi atas, $c = a / \beta = 96{,}87$ mm
- ✓ Regangan pada baja tulangan tarik, $\varepsilon s = 0{,}003 \frac{d-c}{c}$

$= 0.01362437 < 0{,}03$ (OK)

- ✓ Momen nominal, $Mn = As \times fy \times \left(d-\frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} = 1043{,}76$ kNm

$\phi Mn = 835{,}01$ kNm

$Mu = 730{,}98$ kNm

$\phi Mn > Mu$ (Aman, OK)

4.7 Perencanaan Tulangan Geser

Gaya geser ultimit rencana, $Vu = 495{,}33$ kN

- ✓ Mutu beton : K -250, Kuat tekan beton, fc' = 20,75 MPa
- ✓ Mutu baja tulangan: U -24, Kuat leleh baja, fy = 240 MPa
- ✓ Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0.75$
- ✓ Lebar badan Girder, b = 300 mm
- ✓ Tinggi efektif Girder, d = 536,82 mm
- ✓ Kuat geser nominal beton, $Vc = \frac{\sqrt{fc'}}{6 \times b \times d \times 10^{-3}} = 122{,}27$ kN

$\phi Vc = 91{,}70$ kN < $Vu = 495{,}33$ kN (Perlu tulangan geser)

$\phi Vs = Vu - \phi Vc = 403{,}63$ kN

- ✓ Gaya geser yang dipikul tulangan geser :

$Vs = 538{,}17$ kN

Kontrol dimensi balok eksterior terhadap kuat geser maksimum :

$$Vsmax = \frac{2}{3}\sqrt{fc'} \text{ x (bxd) x } 10^{-3} = 489{,}06 \text{ kN}$$

Vs < Vsmax (Dimensi balok eksterior tidak memenuhi persyaratan kuat geser)

- ✓ Coba digunakan sengkang berpenampang : 2 **ø** 12
- ✓ Luas tulangan sengkang, $Av = \frac{\pi}{4} x\ D^2 \text{ x n} = 226{,}19 \text{ mm}^2$
- ✓ Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan :

$$S = \frac{Av \text{ x } fy \text{ x } d}{Vs} = 54{,}15 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang, 2 D 12 - 20

- ✓ Pada badan girder dipasang tulangan susut minimal dengan rasio tulangan:

$\rho sh = 0.001$

- ✓ Luas tulangan susut : $Ash = \rho sh \text{ x bw x d} = 225{,}46 \text{ mm}^2$
- ✓ Diameter tulangan yang digunakan, D 12 mm
- ✓ Jumlah tulangan susut yang diperlukan, $n = \frac{Ash}{(\frac{\pi}{4} xD^2)} = 1{,}99 \approx 2$

Digunakan tulangan, 2 D 12

4.8 Lendutan balok

- ✓ Mutu beton : K -250,

  Kuat tekan beton, fc' = 20,75 MPa
- ✓ Mutu baja tulangan: U -24

  Kuat leleh baja, fy = 240 MPa

- ✓ Modulus elastis beton, Ec = 4700 x √ fc' = 21409,52 MPa
- ✓ Modulus elastis baja, Es = 200000 MPa
- ✓ Tinggi balok, h = 0,65 m
- ✓ Lebar balok, b = 0.30 m
- ✓ Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d' = 0.15 m
- ✓ Tinggi efektif balok, d = h - d' = 0,50 m
- ✓ Luas tulangan balok, As = 0.00539961 m^2
- ✓ Inersia bruto penampang balok, Ig = $^1/_{12}$ x b x h^3 = 0.00686563 m^4
- ✓ Modulus keruntuhan lentur beton, fr = 0.7 x √ fc' $x10^3$ = 3188,65 kPa
- ✓ Nilai perbandingan modulus elastis, n = Es / Ec = 9,34

  n x As = 0.05044123 m^2
- ✓ Jarak garis netral terhadap sisi atas beton, c = n x As / b = 0.16813743 m
- ✓ Inersia penampang retak yang di transformasikan ke beton dihitung sebagai berikut :

  $Icr = \frac{1}{3} x b x c^3 + n x As x (d-c)^2 = 0.00603056$

  Yt = h/2 = 0.33 m
- ✓ Momen retak, $Mcr = \frac{fr \times Ig}{Yt} = 67,36$ Nmm

Tabel 4.8 Momen Akibat Beban Mati Dan Beban Hidup (Md+l)

No	Jenis Beban	Momen (kNm)
1	Berat sendiri (MS)	45,55
2	Beban mati tambahan (MA)	94,42
3	Beban lajur (TD)	546,01
4	Beban tumbukan (TC)	45,00
	M(d+l) =	730,98

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2016)

✓ Inersia efektif untuk perhitungan lendutan :

$$Ie = \left(\frac{Mcr}{MD} + L\right)^3 \text{ x } Ig + \left[1 - \left(\frac{Mcr}{MD} + L\right)^3\right] \text{x } Icr = 0{,}006031213 \text{ m}^4$$

✓ Panjang bentang balok : L = 8,00 m

4.8.1 Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

✓ Beban akibat berat sendiri, Q_{MS} = 4,38 kN/m

✓ Lendutan akibat berat sendiri (MS) :

$$\delta_{MS} = \frac{5}{384} \text{x } Q_{BS} \text{ x } \frac{L^4}{Ec \text{ x } Ie}$$

$$= 0.001809094 \text{ m}$$

4.8.2 Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

✓ Beban akibat beban mati tambahan, Q_{MA} = 9,55 kN/m

✓ Lendutan akibat beban mati tambahan (MA) :

$$\delta_{MA} = \frac{5}{384} \text{x } Q_{MT} \text{ x } \frac{L^4}{Ec \text{ x } Ie}$$

$$= 0{,}003944487 \text{ m}$$

4.8.3 Lendutan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

✓ Beban lajur "D" : Beban terpusat, P_{TD} = 99,47 kN

Beban merata, Q_{TD} = 13,05 kN/m

✓ Lendutan akibat beban lajur "D" (TD) :

$$\delta_{TD} = \left(\frac{1}{48} \text{x } P_{TD} \text{ x } \frac{L^3}{Ec \text{ x } Ie}\right) + \left(\frac{5}{384} \text{x } Q_{TD} \text{ x } \frac{L^4}{Ec \text{ x } Ie}\right)$$

$$= 0.013607034 \text{ m}$$

4.8.4 Lendutan Akibat Tumbukan (TC)

- ✓ Beban akibat tumbukan, M_{TC} = 45,00 kN/m
- ✓ Lendutan akibat tumbukan (TC) :

$$\delta_{TC} = 0{,}0642 \times M_{TC} \times \frac{L^2}{Ec \times Ie}$$

$$= 0{,}001431911 \text{ m}$$

Lendutan Maksimum (δ_{max}) : L/240 = 8/240

= 0,033

Tabel 4.9 Kontrol lendutan maksimum

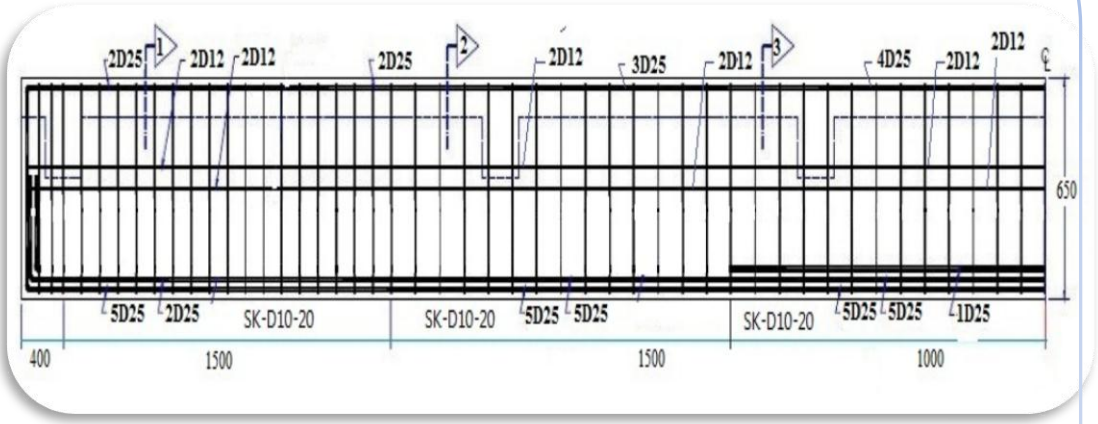
No	Jenis Beban	Komb-1
		δ (m)
1	Berat Sendiri (BS)	0.001809094
2	Beban mati tambahan (MT)	0,003944487
3	Beban lajur "D" (T)	0.013607034
4	Beban Tumbukan (BT)	0,001431911
	Total	0,020792525
		< L/240
		OK

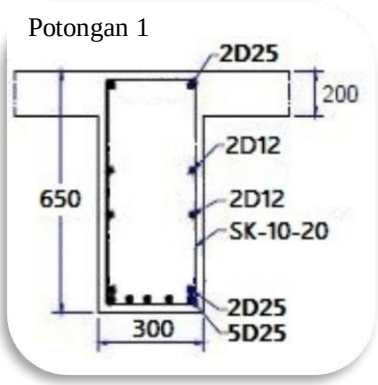
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2016)

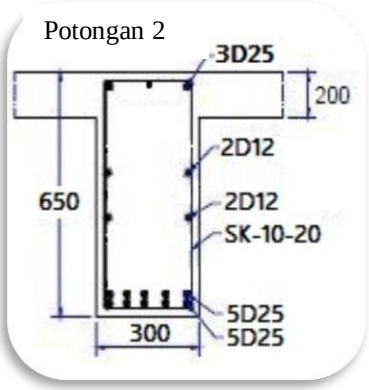
4.9 Detail Penulangan

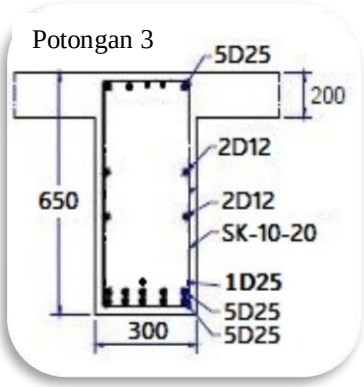
Pekerjaan pembesian yang dimaksudkan dalam hal ini adalah pekerjaan pada pembuatan struktur beton bertulang. Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan.

Berikut adalah detail penulangan pada balok eksterior berdasarkan hasil prhitungan untuk tulangan utama, tulangan geser dan tulangan torsi pada potongan 1,2 dan 3 sepanjang setengah bentang jembatan,





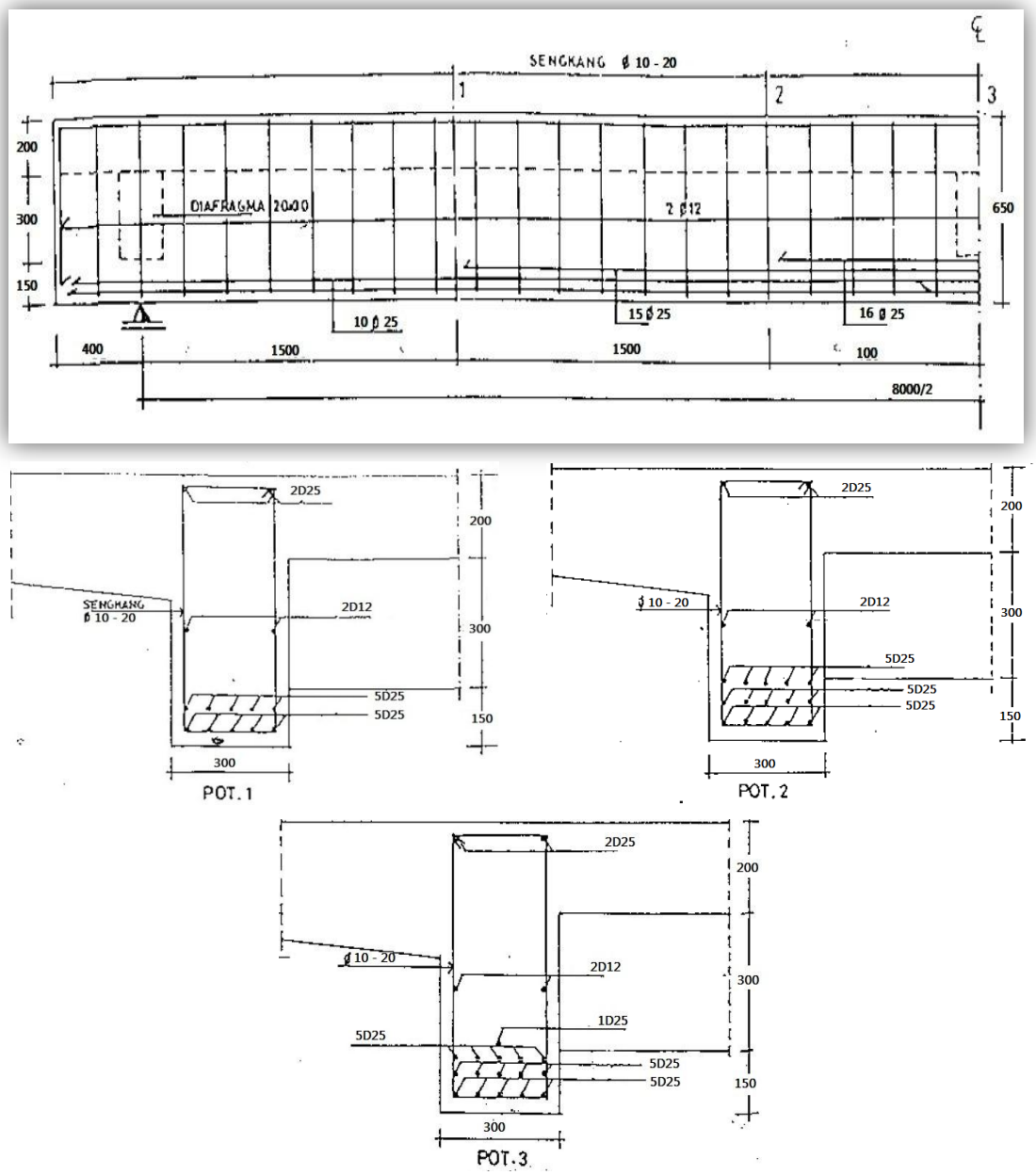




Gambar 4.13 Detail Penulangan Balok T Eksterior)
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2016)

4.10 Perbandingan Penulangan Hasil Perhitungan Dengan Gambar Standar Konstruksi Balok T bentang sampai dengan 25 meter.

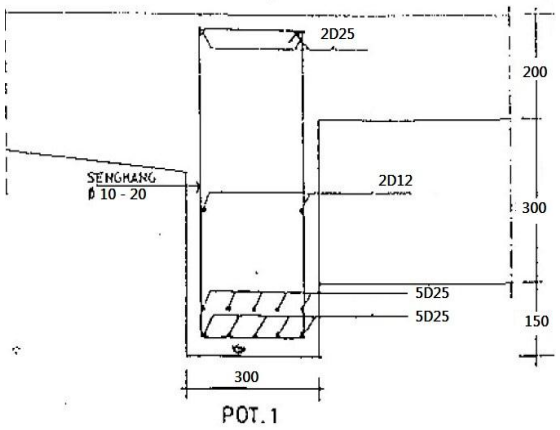
Berdasarkan hasil perhitungan terkait penulangan balok T eksterior pada jembatan beton betulang balok T, berikut adalah data gmbar standar yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan jembatan beton bertulang balok T bentang sampai dengan 25 meter di Indonesia.



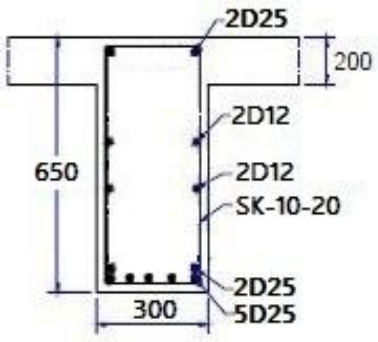
Gambar 4.14 Penulangan Gelagar Induk Bentang 8 Meter)
(sumber : Standar Binamarga untuk Jembatan Tipe Balok T bentang sampai 25 meter)

Dari gambar standar diatas, penulangan pada pada gelagar induk baik balok eksterior maupun balok interior adalah sama, dengan acuan lebar sayap balok adalah sesuai dengan lebar sayap balok interior. Berikut dalah perbandingan penulangan tiap-tiap potongan :

- ✓ Potongan 1



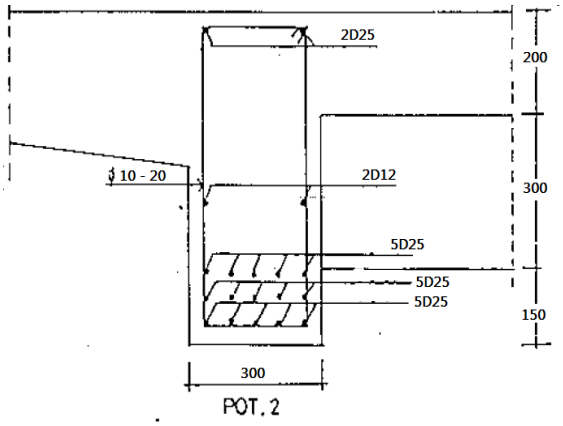
Gambar 4.15 Penulangan Balok Eksterior Bentang 8 meter)
(sumber : Standar Binamarga untuk Jembatan Tipe Balok T bentang sampai 25 meter)



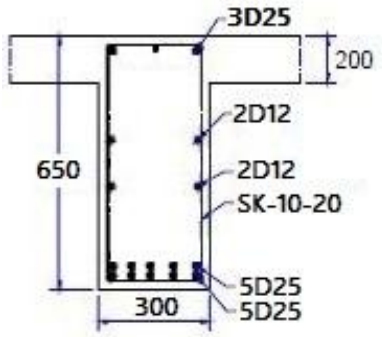
Gambar 4.16 Penulangan Balok Eksterior
(sumber : Hasil perhitungan, 2016)

Pada potongan pertama, untuk panjang bentang 1500 mm dari tumpuan jembatan, jumlah tulangan pada balok eksterior minimal berdasarkan hasil perhitungan adalah 7 tulangan pokok, 4 tulangan geser dan 2 tulangan torsi. Sementara standar binamarga, 10 tulangan pokok, 2 tulangan geser dan 2 tulangan torsi.

✓ Potongan 2



Gambar 4.17 Penulangan Balok Eksterior Bentang 8 meter)
(sumber : Standar Binamarga untuk Jembatan Tipe Balok T bentang sampai 25 meter)



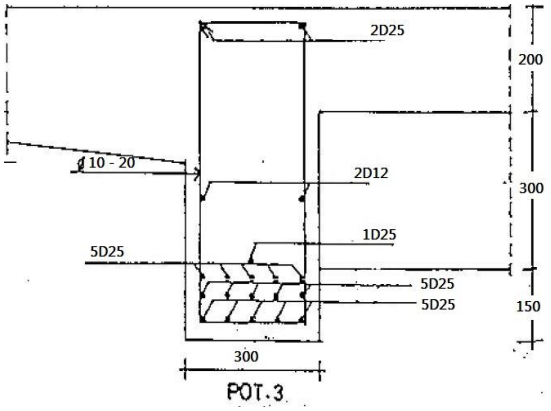
Gambar 4.18 Penulangan Balok Eksterior
(sumber : Hasil perhitungan, 2016)

Pada potongan kedua, untuk panjang bentang 1500 mm dari potongan pertama, jumlah tulangan pada balok eksterior minimal berdasarkan hasil perhitungan adalah 10 tulangan pokok, 4 tulangan geser dan 3 tulangan torsi. Sementara standar binamarga, 15 tulangan pokok, 2 tulangan geser dan 2 tulangan torsi.

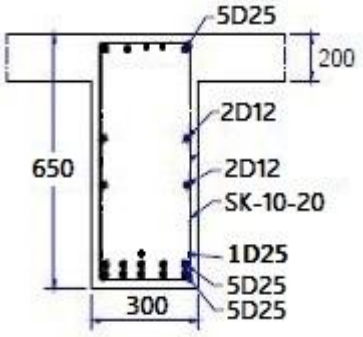
✓ Potongan 3

Pada potongan ketiga, untuk panjang bentang 1000 mm dari potongan kedua, jumlah tulangan pada balok eksterior minimal berdasarkan hasil perhitungan adalah 11 tulangan pokok, 4 tulangan geser dan 4 tulangan

torsi. Sementara standar binamarga, 16 tulangan pokok, 2 tulangan geser dan 2 tulangan torsi.



Gambar 4.19 Penulangan Balok Eksterior Bentang 8 meter)
(sumber : Standar Binamarga untuk Jembatan Tipe Balok T bentang sampai 25 meter)



Gambar 4.20 Penulangan Balok Eksterior
(sumber : Hasil perhitungan, 2016)