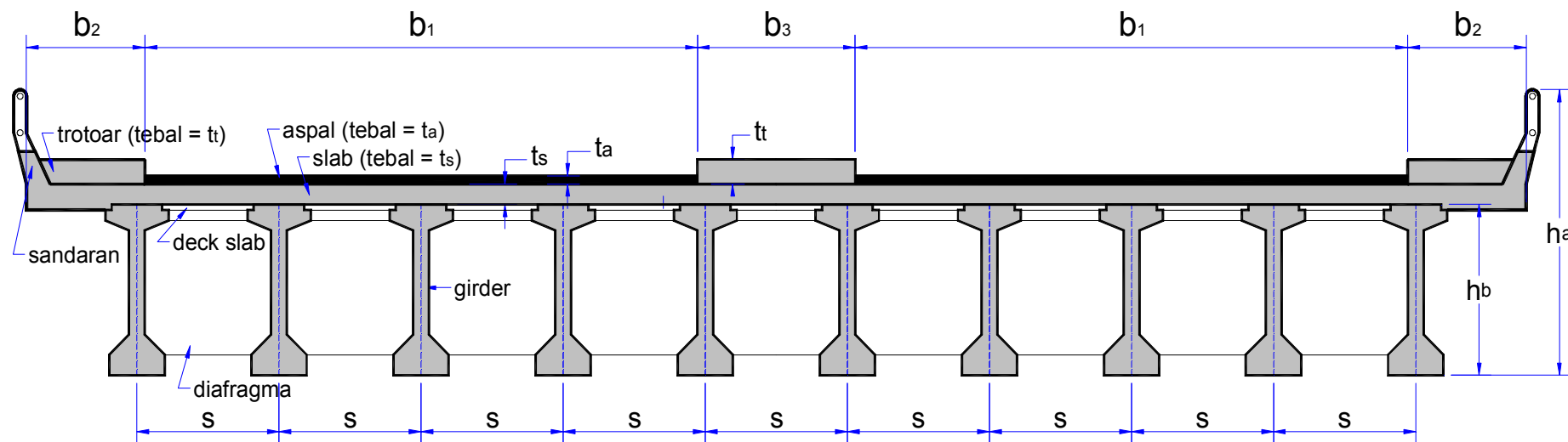


PERHITUNGAN BALOK PRATEGANG (PCI - GIRDER)

JEMBATAN SRANDAKAN KULON PROGO D.I. YOGYAKARTA

Oleh : Ir. M. Noer Ilham, MT.

[C]2008:MNI



DATA JEMBATAN

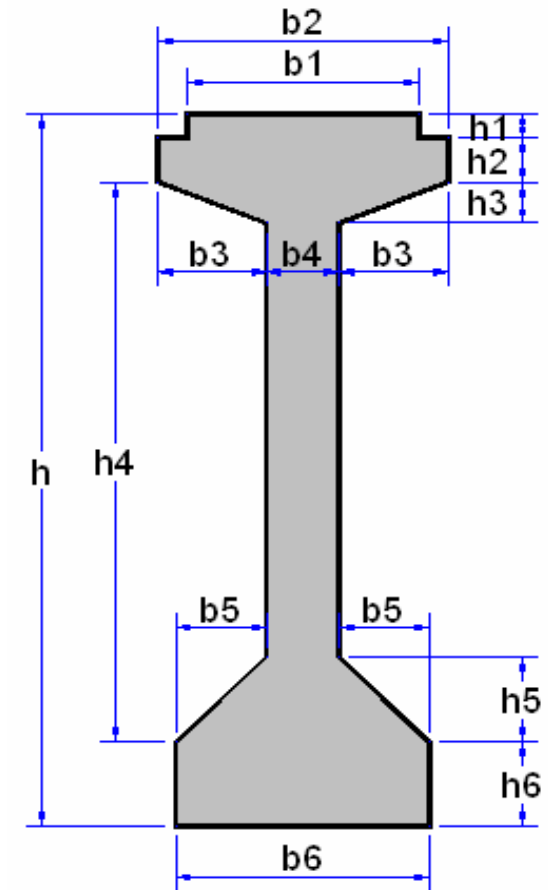
Uraian	Notasi	Dimensi
Panjang balok prategang	L	40.00 m
Jarak antara balok prategang	s	1.80 m
Tebal plat lantai jembatan	h_o	0.20 m
Tebal lapisan aspal + overlay	h_a	0.10 m
Tinggi genangan air hujan	t_h	0.05 m

SPEKIFIC GRAVITY

Jenis Bahan	Berat (kN/m ³)
Beton prategang	$w_c = 25.50$
Beton bertulang	$w_c' = 25.00$
Beton	$w_c'' = 24.00$
Aspal	$w_{aspal} = 22.00$
Air hujan	$w_{air} = 9.80$

DIMENSI BALOK PRESTRESS

Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)
b1	0.64	h1	0.07
b2	0.80	h2	0.13
b3	0.30	h3	0.12
b4	0.20	h4	1.65
b5	0.25	h5	0.25
b6	0.70	h6	0.25
		h	2.10



1. BETON

Mutu beton girder prestress :

Kuat tekan beton,

Modulus elastik beton,

Angka Poisson,

Modulus geser,

Koefisien muai panjang untuk beton,

Kuat tekan beton pada keadaan awal (saat transfer),

Tegangan ijin beton saat penarikan :

Tegangan ijin beton pada keadaan akhir :

K - 500	
$f'_c = 0.83 * K / 10 =$	41.5 MPa
$E_c = 4700 * \sqrt{f'_c} =$	30277.6 MPa
$\nu =$	0.15
$G = E_c / [2*(1 + \nu)] =$	13164.2 MPa
$\alpha =$	1.0E-05 / °C

Tegangan ijin tekan,

Tegangan ijin tarik,

Tegangan ijin tekan,

Tegangan ijin tarik,

$f_{ci}' = 0.80 * f'_c =$	33.20 MPa
$0.60 * f_{ci}' =$	19.92 MPa
$0.50 * \sqrt{f_{ci}'} =$	2.23 MPa
$0.45 * f'_c =$	18.68 MPa
$0.50 * \sqrt{f'_c} =$	3.22 MPa

Mutu beton plat lantai jembatan :

K - 300

Kuat tekan beton,

$$f_c' = 0.83 * K / 10 = 24.9 \text{ MPa}$$

Modulus elastik beton,

$$E_c = 4700 * \sqrt{f_c'} = 23452.953 \text{ MPa}$$

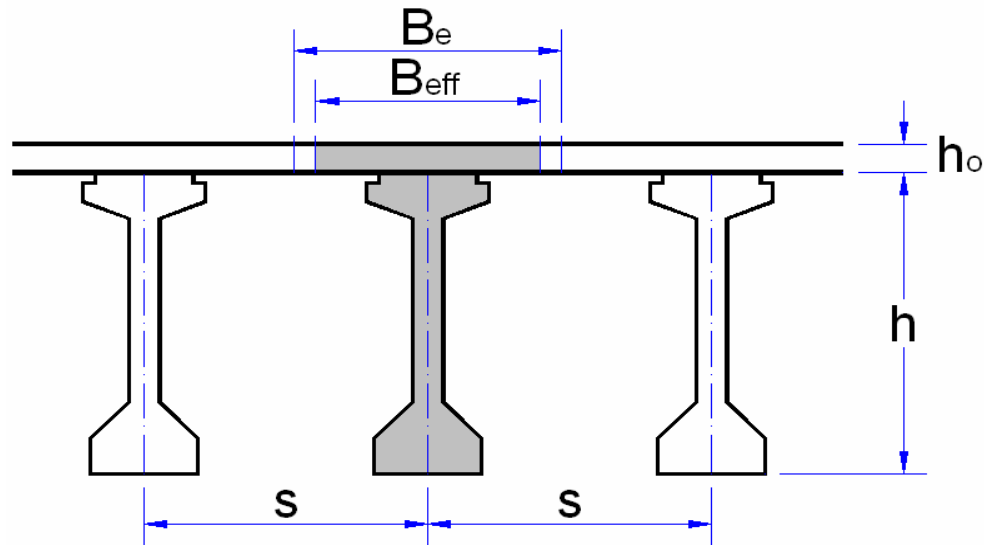
2. BAJA PRATEGANG

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL			
Jenis strands	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270		
Tegangan leleh strand	$f_{py} =$	1580	MPa
Kuat tarik strand	$f_{pu} =$	1860	MPa
Diameter nominal strands		12.7	mm (=1/2")
Luas tampang nominal satu strands	$A_{st} =$	98.7	mm ²
Beban putus minimal satu strands	$P_{bs} =$	187.32	kN (100% UTS)
Jumlah kawat untaian (strands cable)		19	kawat untaian / tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Luas tampang strands		1875.3	mm ²
Beban putus satu tendon	$P_{b1} =$	3559.1	kN (100% UTS)
Modulus elastis strands	$E_s =$	193000	MPa
Tipe dongkrak		VSL 19	

3. BAJA TULANGAN

Untuk baja tulangan deform $D > 12 \text{ mm}$	U - 32	Kuat leleh baja,	$f_y = U * 10 =$	320	MPa
Untuk baja tulangan polos $\emptyset \leq 12 \text{ mm}$	U - 24	Kuat leleh baja,	$f_y = U * 10 =$	240	MPa

1. PENENTUAN LEBAR EFEKTIF PLAT LANTAI



Lebar efektif plat (B_e) diambil nilai terkecil dari :

$L/4 =$	10.00	m
$s =$	1.80	m
$12 * h_o =$	2.40	m

Diambil lebar efektif plat lantai,

Kuat tekan beton plat,

Kuat tekan beton balok,

Modulus elastik plat beton,

Modulus elastik balok beton prategang,

Nilai perbandingan modulus elastik plat dan balok,

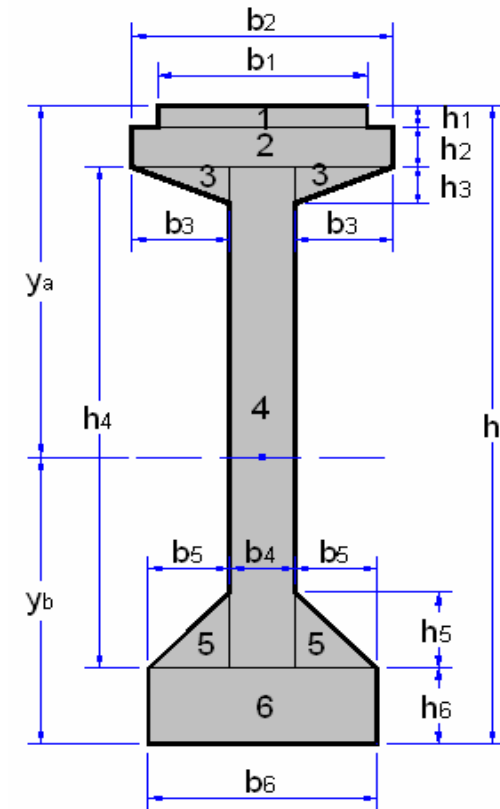
Jadi lebar pengganti beton plat lantai jembatan,

$B_e =$	1.80	m
$f'_c(\text{plat}) = 0.83 * K_{(\text{plat})} =$	24.90	MPa
$f'_c(\text{balok}) = 0.83 * K_{(\text{balok})} =$	41.50	MPa
$E_{\text{plat}} = 4700 \sqrt{f'_c(\text{plat})} =$	2.35E+04	MPa
$E_{\text{balok}} = 0.043 * (w_c)^{1.5} * \sqrt{f'_c(\text{balok})} =$	3.57E+04	MPa
$n = E_{\text{plat}} / E_{\text{balok}} =$	0.6574985	
$B_{\text{eff}} = n * B_e =$	1.18	m

Untuk menghindari hambatan dan kesulitan pada saat pengangkutan, maka balok prategang dibuat dalam bentuk segmental, dengan berat per-segmen maksimum 80 kN sehingga dapat diangkut dengan truck kapasitas 80 kN, kemudian segmen-segmen balok tersebut disambung di lokasi jembatan.

2. SECTION PROPERTIES BALOK PRATEGANG

NO	DIMENSI		Luas Tampang A (m ²)	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A * y (m ³)	Inersia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _o (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
1	0.64	0.07	0.04480	2.07	0.09251	0.19104	0.00002
2	0.80	0.13	0.10400	1.97	0.20436	0.40157	0.00015
3	0.30	0.12	0.03600	1.86	0.06696	0.12455	0.00003
4	0.20	1.65	0.33000	1.08	0.35475	0.38136	0.07487
5	0.25	0.25	0.06250	0.33	0.02083	0.00694	0.00022
6	0.70	0.25	0.17500	0.13	0.02188	0.00273	0.00091
Total :			0.75230		0.76129	1.10819	0.07619



Tinggi total balok prategang :	h =	2.10	m
Luas penampang balok prategang :	A =	0.75230	m ²
Letak titik berat :	$y_b = \Sigma A*y / \Sigma A =$	1.012	m

	h _o =	0.20	m
	B _{eff} =	1.18	m
	$y_a = h - y_b =$	1.088	m

Momen inersia terhadap alas balok :

Momen inersia terhadap titik berat balok :

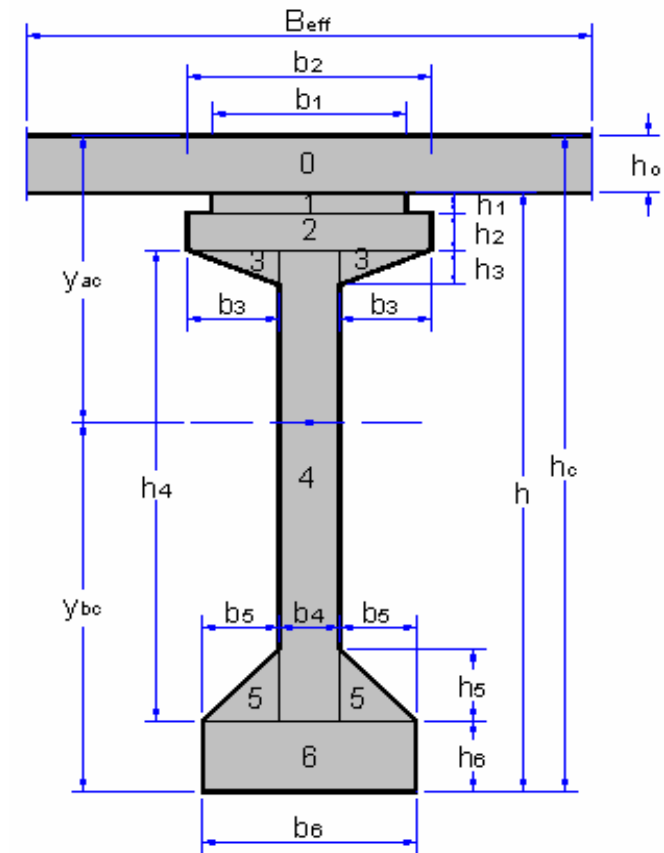
Tahanan momen sisi atas :

Tahanan momen sisi bawah :

$I_b = \Sigma A*y + \Sigma I_o =$	1.18438	m ⁴
$I_x = I_b - A * y_b^2 =$	0.41399	m ⁴
$W_a = I_x / y_a =$	0.38049	m ³
$W_b = I_x / y_b =$	0.40910	m ³

3. SECTION PROPERTIES BALOK KOMPOSIT (BALOK PRATEGANG + PLAT)

NO	DIMENSI		Luas Tampang A (m ²)	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A * y (m ³)	Inersia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _{co} (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
0	1.18	0.20	0.23670	2.20	0.52074	1.14563	0.00079
1	0.64	0.07	0.04480	2.07	0.09251	0.19104	0.00002
2	0.80	0.13	0.10400	1.97	0.20436	0.40157	0.00015
3	0.30	0.12	0.03600	1.86	0.06696	0.12455	0.00003
4	0.20	1.65	0.33000	1.08	0.35475	0.38136	0.07487
5	0.25	0.25	0.06250	0.33	0.02083	0.00694	0.00022
6	0.70	0.25	0.17500	0.13	0.02188	0.00273	0.00091
Total :			0.98900		1.28203	2.25381	0.07698



Tinggi total balok Komposit :	$h_c =$	2.30	m
Luas penampang balok komposit :	$A_c =$	0.98900	m ²
Letak titik berat :	$y_{bc} = \sum A_c * y / \sum A_c =$	1.296	m
	$y_{ac} = h_c - y_{bc} =$	1.004	m
Momen inersia terhadap alas balok :	$I_{bc} = \sum A_c * y^2 + \sum I_{co} =$	2.33079	m ⁴
Momen inesia terhadap titik berat balok komposit :	$I_{xc} = I_{bc} - A_c * y_{bc}^2 =$	0.66891	m ⁴
Tahanan momen sisi atas plat :	$W_{ac} = I_{xc} / y_{ac} =$	0.66644	m ³
Tahanan momen sisi atas balok :	$W'_{ac} = I_{xc} / (y_{ac} - h_o) =$	0.83228	m ³
Tahanan momen sisi bawah balok :	$W_{bc} = I_{xc} / y_{bc} =$	0.51602	m ³

4. PEMBEBANAN BALOK PRATEGANG

4.1. BERAT SENDIRI (MS)

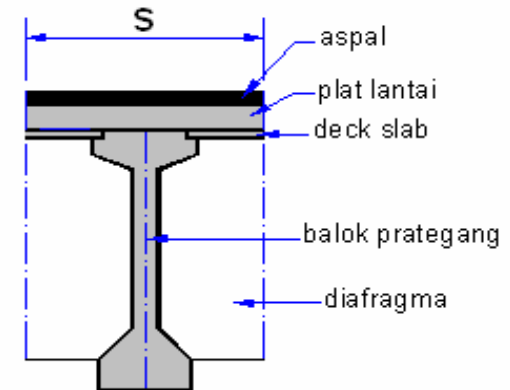
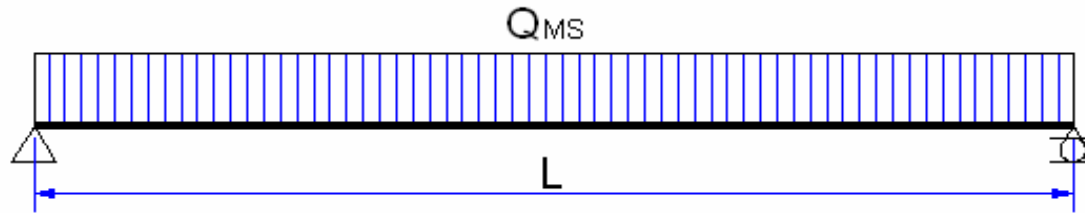
4.1.1. BERAT DIAFRAGMA

Ukuran diafragma :	Tebal =	0.20	m	Lebar =	1.60	m	Tinggi =	1.60	m
Berat 1 buah diafragma,	W =	12.8	kN						
Jumlah diafragma,	n =	9	bh	Berat diafragma,	$W_{\text{diafragma}}$ =	115.2	kN		
Panjang bentang,	L =	40.00	m						
Jarak diafragma :	x_4 =	20.00	m	(dari tengah bentang)					
	x_3 =	14.80	m	(dari tengah bentang)					
	x_2 =	9.80	m	(dari tengah bentang)					
	x_1 =	4.80	m	(dari tengah bentang)					
	x_0 =	0.00	m	(dari tengah bentang)					
Momen maks di tengah bentang L,	$M_{\text{max}} = (1/2 * n * x_4 - x_3 - x_2 - x_1) * W =$						775.680	kNm	
Berat diafragma ekuivalen,	$Q_{\text{diafragma}} = 8 * M_{\text{max}} / L^2 =$						3.878	kN/m	

4.1.2. BERAT BALOK PRATEGANG

Panjang balok prategang,	L =	40.00	m	Luas penampang,	A =	0.752	m ²
Berat balok prategang + 10 %, $Q_{\text{balok}} = W_{\text{balok}} / L =$	19.184	kN/m			$W_{\text{balok}} = A * L * w_c =$	767.3	kN

4.1.3. GAYA GESER DAN MOMEN AKIBAT BERAT SENDIRI (MS)



Beban, $Q_{MS} = A * w$ kN/m Panjang bentang, $L = 40.00$ m

Gaya geser, $V_{MS} = 1/2 * Q_{MS} * L$ kN

Momen, $M_{MS} = 1/8 * Q_{MS} * L^2$ kNm

No	Jenis beban berat sendiri	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m ²)	Berat sat w (kN/m ³)	Beban Q_{MS} (kN/m)	Geser V_{MS} (kN)	Momen M_{MS} (kNm)
1	Balok prategang					19.184	383.673	3836.730
2	Plat lantai	1.80	0.20	0.360	25.00	9.000	180.000	1800.000
3	Deck slab	1.16	0.07	0.081	25.00	2.030	40.600	406.000
4	Diafragma					3.878	77.568	775.680
Total :						34.092	681.841	6818.410

4.2. BEBAN MATI TAMBAHAN (MA)

Beban mati tambahan (*superimposed dead load*), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada balok (girder) jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

Girder jembatan direncanakan mampu memikul beban mati tambahan berupa :

- Aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari (*overlay*).
- Genangan air hujan setinggi 50 mm apabila saluran drainase tidak bekerja dengan baik

Beban, $Q_{MA} = A * w$ kN/m Panjang bentang, $L = 40.00$ m

Gaya geser, $V_{MA} = 1/2 * Q_{MA} * L$ kN

Momen, $M_{MA} = 1/8 * Q_{MA} * L^2$ kNm

No	Jenis beban mati tambahan	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m ²)	Berat sat w (kN/m ³)	Beban Q_{MA} (kN/m)	Geser V_{MA} (kN)	Momen M_{MA} (kNm)
1	Lapisan aspal + overlay	1.80	0.10	0.180	22.00	3.960	79.200	792.000
2	Air hujan	1.80	0.05	0.090	9.80	0.882	17.640	176.400
Total :						4.842	96.840	968.400

4.3. BEBAN LAJUR "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (*Uniformly Distributed Load*), UDL dan beban garis (*Knife Edge Load*), KEL seperti terlihat pd. gambar. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

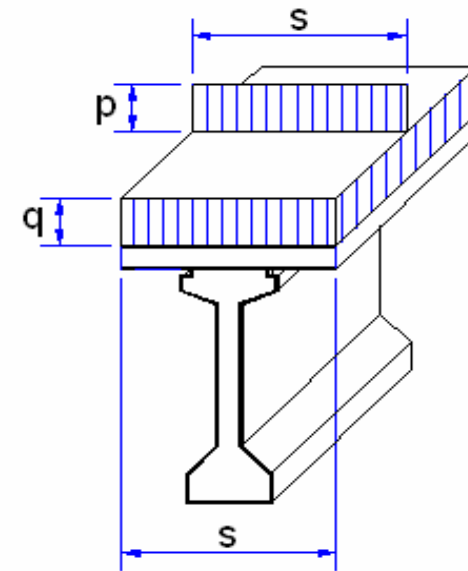
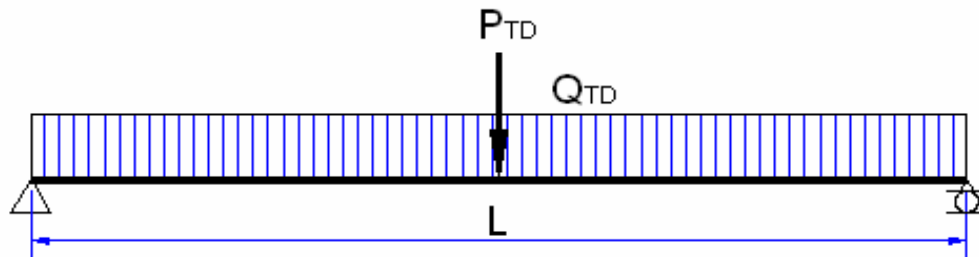
$$q = 8.0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 8.0 * (0.5 + 15 / L) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L > 30 \text{ m}$$

KEL mempunyai intensitas, $p = 44.0 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis (Dinamic Load Allowance) untuk KEL diambil sebagai berikut :

DLA = 0.4	untuk $L \leq 50$ m
DLA = $0.4 - 0.0025 \cdot (L - 50)$	untuk $50 < L < 90$ m
DLA = 0.3	untuk $L \geq 90$ m



Panjang balok :	L =	40.00	m
-----------------	-----	-------	---

Beban merata :

Beban merata pada balok :

Beban garis :

Faktor beban dinamis,

Beban terpusat pada balok :

Jarak antara balok prategang, s =	1.80	m
-----------------------------------	------	---

$$q = 8.0 * (0.5 + 15 / L) = 7.000 \text{ kPa}$$

$$Q_{TD} = q * s = 12.6 \text{ kN/m}$$

p =	44.0	kN/m
-----	------	------

DLA = 0.40

$$P_{TD} = (1 + DLA) * p * s = 110.88 \text{ kN}$$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur "D" :

$V_{TD} = 1/2 * Q_{TD} * L + 1/2 * P_{TD} =$	307.440	kN
$M_{TD} = 1/8 * Q_{TD} * L^2 + 1/4 * P_{TD} * L =$	3628.800	kNm

4.4. GAYA REM (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada jarak 1.80 m di atas permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (L_t) sebagai berikut :

Gaya rem, $H_{TB} = 250$ kN

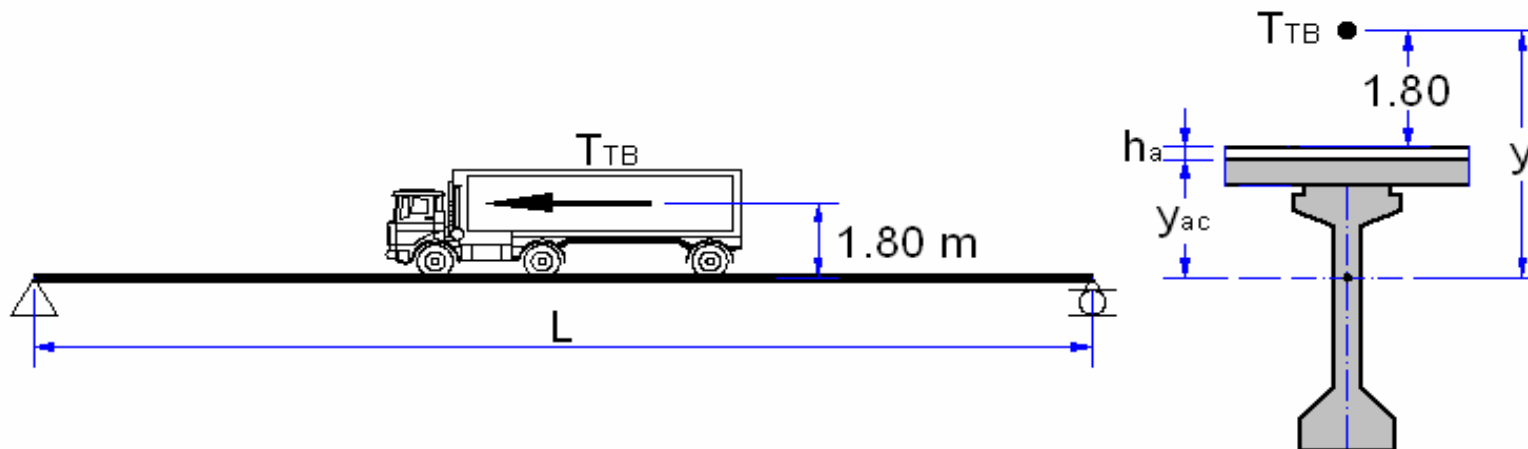
untuk $L_t \leq 80$ m

Gaya rem, $H_{TB} = 250 + 2.5 * (L_t - 80)$ kN

untuk $80 < L_t < 180$ m

Gaya rem, $H_{TB} = 500$ kN

untuk $L_t \geq 180$ m



Panjang balok : $L =$ m

Jumlah balok prategang untuk jalur selebar b_1 ,

Gaya rem, $H_{TB} =$ kN

Jarak antara balok prategang,

$n_{balok} =$
 $s =$ m

Gaya rem untuk $L_t \leq 80$ m :

$$T_{TB} = H_{TB} / n_{balok} = 50.00 \text{ kN}$$

Gaya rem, $T_{TB} = 5\%$ beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis,

$$Q_{TD} = q * s = 12.6 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = p * s = 79.2 \text{ kN}$$

$$T_{TB} = 0.05 * (Q_{TD} * L + P_{TD}) = 29.16 \text{ kN}$$

< TB = 50 kN

Diambil gaya rem, $T_{TB} = 50.00 \text{ kN}$

Lengan thd. Titik berat balok,

$$y = 1.80 + h_o + h_a + y_{ac} = 2.110 \text{ m}$$

Beban momen akibat gaya rem,

$$M = T_{TB} * y = 105.502 \text{ kNm}$$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat gaya rem :

$V_{TB} = M / L =$	2.638	kN
$M_{TD} = 1/2 * M =$	52.751	kNm

4.5. BEBAN ANGIN (EW)

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

$$T_{EW} = 0.0012 * C_w * (V_w)^2 \text{ kN/m dengan,}$$

C_w = koefisien seret

$$= 1.20$$

V_w = Kecepatan angin rencana

$$= 35 \text{ m/det (lihat Tabel 5)}$$

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

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

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2 m di atas lantai jembatan.

$$h = 2.00 \text{ m}$$

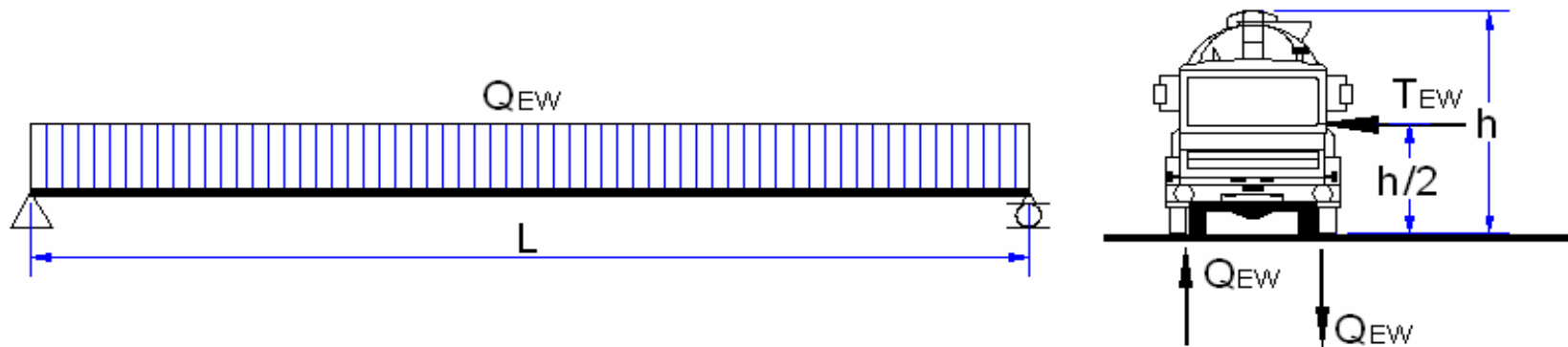
Jarak antara roda kendaraan, $x = 1.75 \text{ m}$

Transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$Q_{EW} = [1/2 * h / x * T_{EW}] = 1.008 \text{ kN/m}$$

Panjang balok,

$$L = 40.00 \text{ m}$$



Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin :

$V_{EW} = 1/2 * Q_{EW} * L =$	20.160	kN
$M_{EW} = 1/8 * Q_{EW} * L^2 =$	201.600	kNm

4.6. BEBAN GEMPA (EQ)

Gaya gempa vertikal pada balok prategang dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0.10 * g$ (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekuivalen.

Koefisien beban gempa horisontal :

$$K_h = C * S$$

K_h = Koefisien beban gempa horisontal,

C = Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar, dan kondisi tanah setempat,

S = Faktor tipe struktur yg berhubungan dengan kapasitas penyerapan energi gempa (daktilitas) dari struktur.

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus : $T = 2 * \pi * \sqrt{ [W_t / (g * K_p)] }$

W_t = Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan

K_p = kekakuan struktur yg merupakan gaya horisontal yg diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan.

g = percepatan gravitasi bumi = m/det²

Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan :

$$W_t = P_{MS} + P_{MA}$$

Berat sendiri, $Q_{MS} =$ kN/m Beban mati tambahan, $Q_{MS} =$ kN/m

Panjang bentang balok, $L =$ m

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

Momen inersia balok prategang,

$$I_{xc} =$$
 m⁴

Modulus elastik, $E_c =$ MPa

$$E_c =$$
 kPa

Kekakuan balok prategang,

$$K_p = 48 * E_c * I_{xc} / L^3 =$$
 kN/m

Waktu getar,

$$T = 2 * \pi * \sqrt{[W_t / (g * K_p)]} =$$
 detik

Untuk lokasi di wilayah gempa 3 di atas tanah sedang, dari kurva diperoleh koefisien geser dasar,

$$C =$$

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis beton prategang penuh,

$$S = 1.3 * F$$

dengan, $F = 1.25 - 0.025 * n$ dan F harus diambil ≥ 1

F = faktor perangkaan,

n = jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral.

Untuk, $n =$ maka :

$$F = 1.25 - 0.025 * n =$$

Faktor tipe struktur,

$$S = 1.3 * F =$$

Koefisien beban gempa horisontal,

$$K_h = C * S =$$

Koefisien beban gempa vertikal,

$$K_v = 50\% * K_h =$$
 < 0.10

Diambil,

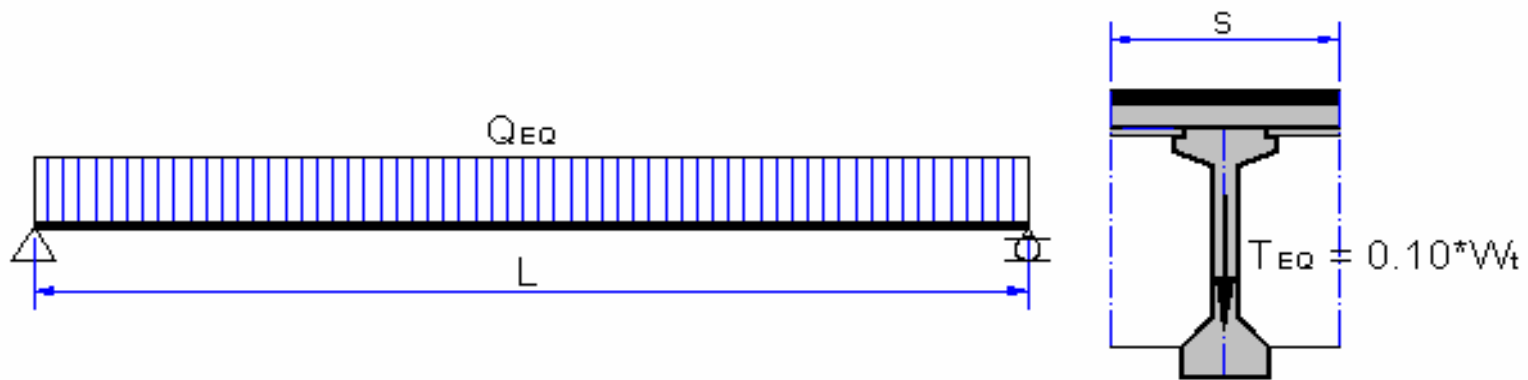
$$K_v =$$

Gaya gempa vertikal,

$$T_{EQ} = K_v * W_t =$$
 kN

Beban gempa vertikal,

$$Q_{EQ} = T_{EQ} / L =$$
 kN/m



Gaya geser dan momen maksimum akibat beban gempa vertikal :

$V_{EQ} = 1/2 * Q_{EQ} * L =$	77.868	kN
$M_{EQ} = 1/8 * Q_{EQ} * L^2 =$	778.681	kNm

4.5. RESUME MOMEN DAN GAYA GESER PADA BALOK

No	Jenis Beban	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat balok prategang	balok	19.184	-	-	Beban merata, Q_{balok}
2	Berat plat	plat	9.000	-	-	Beban merata, Q_{plat}
3	Berat sendiri	MS	34.092	-	-	Beban merata, Q_{MS}
4	Mati tambahan	MA	4.842	-	-	Beban merata, Q_{MA}
5	Lajur "D"	TD	12.600	110.880	-	Beban merata, Q_{MA} dan terpusat, P_{TD}
6	Gaya rem	TB	-	-	105.502	Beban momen, M_{TB}
7	Angin	EW	1.008	-	-	Beban merata, Q_{EW}
8	Gempa	EQ	3.893	-	-	Beban merata, Q_{EQ}

Panjang bentang balok, $L = 40.00 \text{ m}$

No	Jenis Beban	Persamaan Momen	Persamaan Gaya geser
1	Berat sendiri (MS)	$M_x = 1/2 * Q_{\text{MS}} * (L * X - X^2)$	$V_x = Q_{\text{MS}} * (L/2 - X)$
2	Mati tambahan (MA)	$M_x = 1/2 * Q_{\text{MA}} * (L * X - X^2)$	$V_x = Q_{\text{MA}} * (L/2 - X)$
3	Lajur "D" (TD)	$M_x = 1/2 * Q_{\text{TD}} * (L * X - X^2) + 1/2 * P_{\text{TD}} * X$	$V_x = Q_{\text{TD}} * (L/2 - X) + 1/2 * P_{\text{TD}}$
4	Gaya rem (TB)	$M_x = X / L * M_{\text{TB}}$	$V_x = M_{\text{TB}} / L$
5	Angin (EW)	$M_x = 1/2 * Q_{\text{EW}} * (L * X - X^2)$	$V_x = Q_{\text{EW}} * (L/2 - X)$
6	Gempa (EQ)	$M_x = 1/2 * Q_{\text{EQ}} * (L * X - X^2)$	$V_x = Q_{\text{EQ}} * (L/2 - X)$

Momen maksimum akibat berat balok, $M_{\text{balok}} = 1/8 * Q_{\text{balok}} * L^2 = 3836.73 \text{ kNm}$

Momen maksimum akibat berat plat, $M_{\text{plat}} = 1/8 * Q_{\text{plat}} * L^2 = 1800 \text{ kNm}$

4.5.1. MOMEN PADA BALOK PRATEGANG

Jarak X (m)	Momen pada balok prategang akibat beban							KOMB. I	KOMB. II	KOMB. III	KOMB. IV
	Berat balok	Berat sen MS	Mati tamb MA	Lajur "D" TD	Rem TB	Angin EW	Gempa EQ	MS+MA+ TD+TB	MS+MA+ TD+EW	MS+MA+ TD+TB+EW	MS+MA+ EQ
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	374.08	664.79	94.42	301.14	2.64	19.66	75.92	1062.99	1080.01	1082.65	835.14
2.0	728.98	1295.50	184.00	589.68	5.28	38.30	147.95	2074.45	2107.48	2112.75	1627.44
3.0	1064.69	1892.11	268.73	865.62	7.91	55.94	216.08	3034.37	3082.40	3090.32	2376.92
4.0	1381.22	2454.63	348.62	1128.96	10.55	72.58	280.33	3942.76	4004.79	4015.34	3083.58
5.0	1678.57	2983.05	423.68	1379.70	13.19	88.20	340.67	4799.62	4874.63	4887.82	3747.40
6.0	1956.73	3477.39	493.88	1617.84	15.83	102.82	397.13	5604.94	5691.93	5707.75	4368.40
7.0	2215.71	3937.63	559.25	1843.38	18.46	116.42	449.69	6358.73	6456.69	6475.15	4946.57
8.0	2455.51	4363.78	619.78	2056.32	21.10	129.02	498.36	7060.98	7168.90	7190.00	5481.91
9.0	2676.12	4755.84	675.46	2256.66	23.74	140.62	543.13	7711.70	7828.58	7852.31	5974.43
10.0	2877.55	5113.81	726.30	2444.40	26.38	151.20	584.01	8310.88	8435.71	8462.08	6424.12
11.0	3059.79	5437.68	772.30	2619.54	29.01	160.78	621.00	8858.53	8990.30	9019.31	6830.98
12.0	3222.85	5727.46	813.46	2782.08	31.65	169.34	654.09	9354.65	9492.34	9523.99	7195.01
13.0	3366.73	5983.15	849.77	2932.02	34.29	176.90	683.29	9799.23	9941.85	9976.14	7516.22
14.0	3491.42	6204.8	881.24	3069.36	36.93	183.46	708.60	10192.28	10338.81	10375.74	7794.60
15.0	3596.93	6392.3	907.88	3194.10	39.56	189.00	730.01	10533.80	10683.23	10722.80	8030.15
16.0	3683.26	6545.7	929.66	3306.24	42.20	193.54	747.53	10823.78	10975.11	11017.31	8222.87
17.0	3750.40	6665.0	946.61	3405.78	44.84	197.06	761.16	11062.23	11214.45	11259.29	8372.77
18.0	3798.36	6750.2	958.72	3492.72	47.48	199.58	770.89	11249.14	11401.25	11448.72	8479.84
19.0	3827.14	6801.4	965.98	3567.06	50.11	201.10	776.73	11384.52	11535.50	11585.61	8544.08
20.0	3836.73	6818.4	968.40	3628.80	52.75	201.60	778.68	11468.36	11617.21	11669.96	8565.49

4.5.1. GAYA GESER PADA BALOK PRATEGANG

Jarak X (m)	Momen pada balok prategang akibat beban							KOMB. I	KOMB. II	KOMB. III	KOMB. IV
	Berat balok	Berat sen MS	Mati tamb MA	Lajur "D" TD	Rem TB	Angin EW	Gempa EQ	MS+MA+ TD+TB	MS+MA+ TD+EW	MS+MA+ TD+TB+EW	MS+MA+ EQ
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	383.67	681.84	96.84	307.44	2.64	20.16	77.87	1088.76	1106.28	1108.92	856.55
1.0	364.49	647.75	92.00	294.84	2.64	19.15	73.97	1037.22	1053.74	1056.38	813.72
2.0	345.31	613.66	87.16	282.24	2.64	18.14	70.08	985.69	1001.20	1003.83	770.89
3.0	326.12	579.56	82.31	269.64	2.64	17.14	66.19	934.16	948.65	951.29	728.07
4.0	306.94	545.47	77.47	257.04	2.64	16.13	62.29	882.62	896.11	898.75	685.24
5.0	287.75	511.38	72.63	244.44	2.64	15.12	58.40	831.09	843.57	846.21	642.41
6.0	268.57	477.29	67.79	231.84	2.64	14.11	54.51	779.55	791.03	793.67	599.58
7.0	249.39	443.20	62.95	219.24	2.64	13.10	50.61	728.02	738.49	741.12	556.76
8.0	230.20	409.10	58.10	206.64	2.64	12.10	46.72	676.49	685.94	688.58	513.93
9.0	211.02	375.01	53.26	194.04	2.64	11.09	42.83	624.95	633.40	636.04	471.10
10.0	191.84	340.92	48.42	181.44	2.64	10.08	38.93	573.42	580.86	583.50	428.27
11.0	172.65	306.83	43.58	168.84	2.64	9.07	35.04	521.88	528.32	530.96	385.45
12.0	153.47	272.74	38.74	156.24	2.64	8.06	31.15	470.35	475.78	478.41	342.62
13.0	134.29	238.64	33.89	143.64	2.64	7.06	27.25	418.82	423.23	425.87	299.79
14.0	115.10	204.55	29.05	131.04	2.64	6.05	23.36	367.28	370.69	373.33	256.96
15.0	95.92	170.46	24.21	118.44	2.64	5.04	19.47	315.75	318.15	320.79	214.14
16.0	76.73	136.37	19.37	105.84	2.64	4.03	15.57	264.21	265.61	268.25	171.31
17.0	57.55	102.28	14.53	93.24	2.64	3.02	11.68	212.68	213.07	215.70	128.48
18.0	38.37	68.18	9.68	80.64	2.64	2.02	7.79	161.15	160.52	163.16	85.65
19.0	19.18	34.09	4.84	68.04	2.64	1.01	3.89	109.61	107.98	110.62	42.83
20.0	0.00	0.00	0.00	55.44	2.64	0.00	0.00	58.08	55.44	58.08	0.00

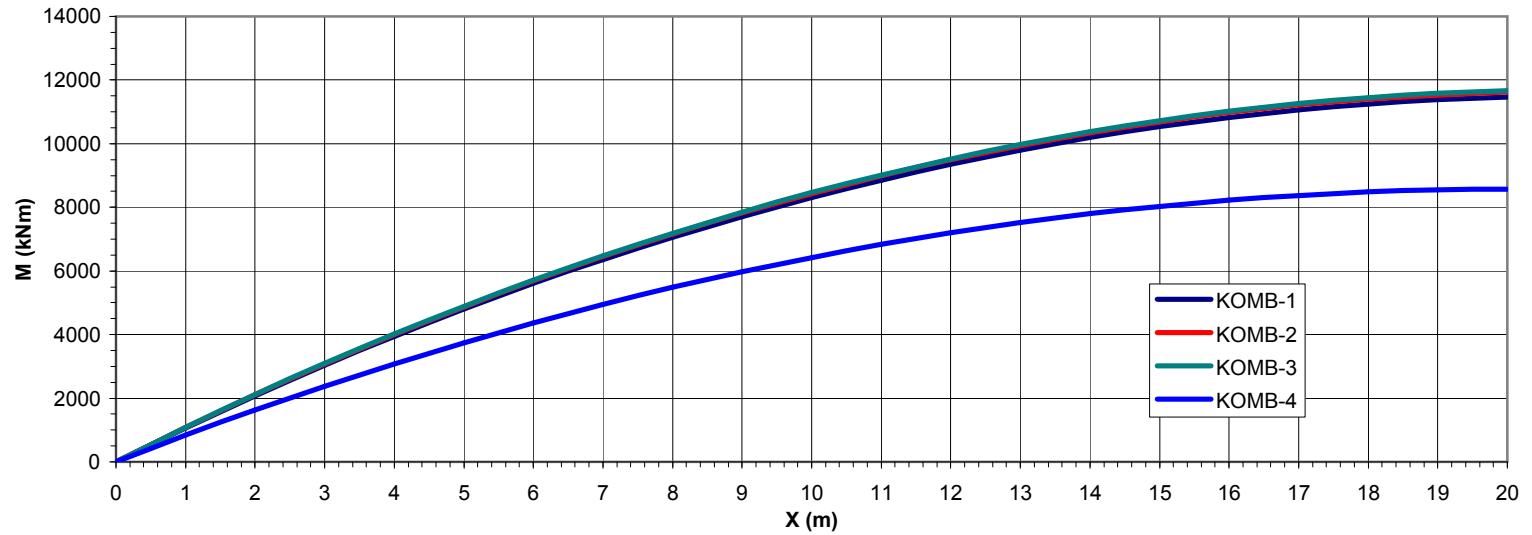


Diagram momen (bending moment diagram) balok prategang

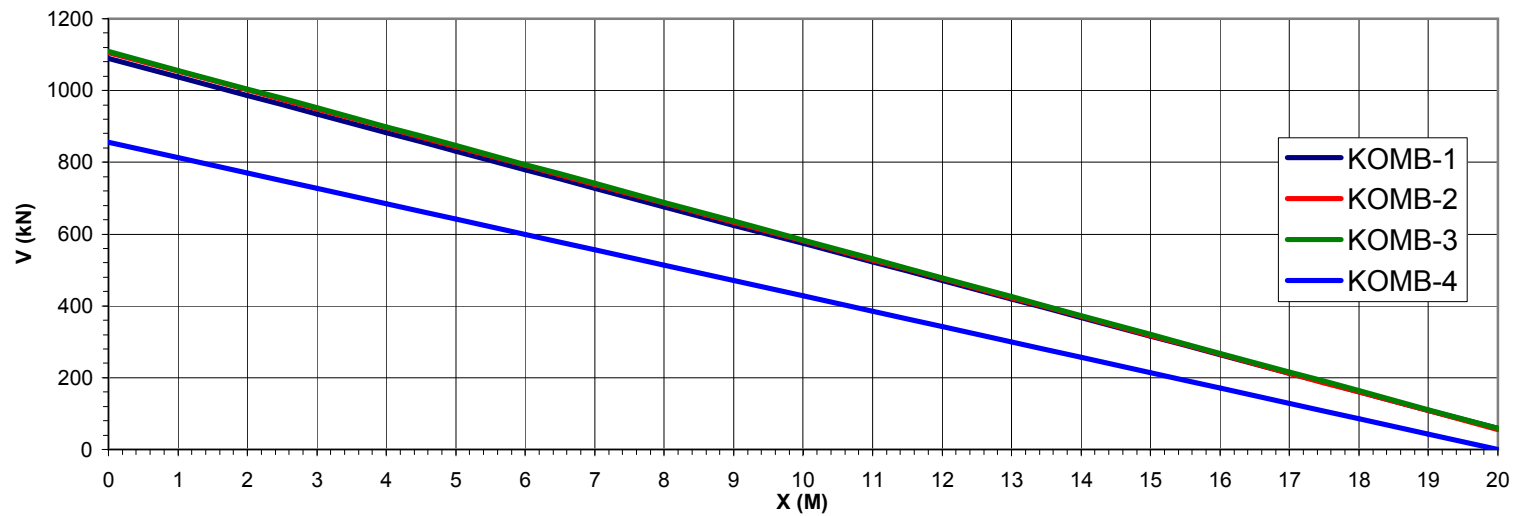


Diagram gaya geser (shearing force diagram) balok prategang

5. GAYA PRATEGANG, EKSENTRISITAS, DAN JUMLAH TENDON

5.1. KONDISI AWAL (SAAT TRANSFER)

Mutu beton, K - 500 Kuat tekan beton,

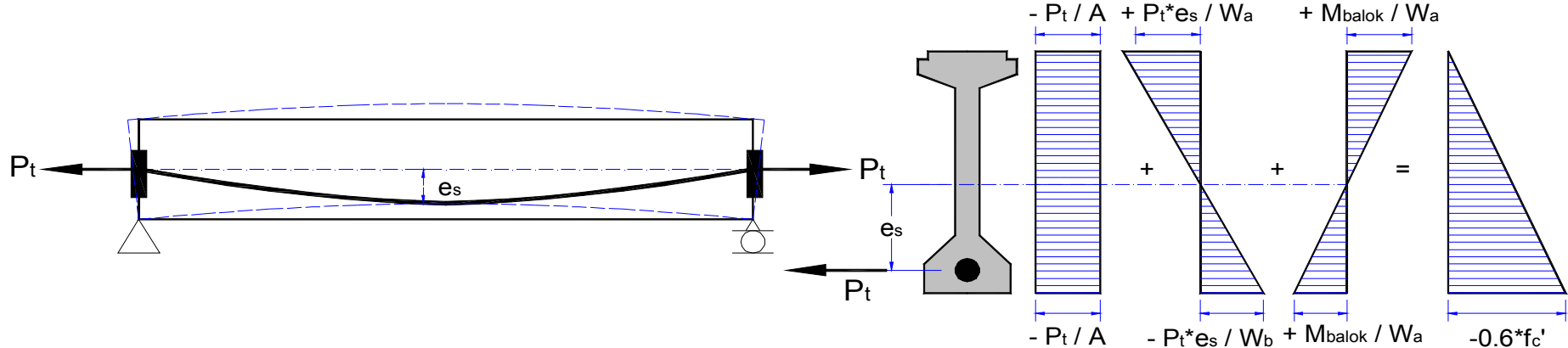
Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer),

Section properties, $W_a = 0.38049 \text{ m}^3$

$$f'_c = 0.83 * K * 100 = 41500 \text{ kPa}$$

$$f'_{ci} = 0.80 * f'_c = 33200 \text{ kPa}$$

$$W_b = 0.40910 \text{ m}^3 \quad A = 0.75230 \text{ m}^2$$



Ditetapkan jarak titik berat tendon terhadap alas balok,

Eksentrisitas tendon,

Momen akibat berat sendiri balok,

Tegangan di serat atas,

Tegangan di serat bawah,

Besarnya gaya prategang awal,

Dari persamaan (1) :

Dari persamaan (2) :

$$Z_0 = 0.1375 \text{ m}$$

$$e_s = y_b - Z_0 = 0.874 \text{ m}$$

$$M_{balok} = 3836.730 \text{ kNm}$$

$$0 = -P_t / A + P_t * e_s / W_a - M_{balok} / W_a \quad (\text{persamaan 1})$$

$$0.6 * f'_{ci} = -P_t / A - P_t * e_s / W_b + M_{balok} / W_b \quad (\text{persamaan 2})$$

$$P_t = M_{balok} / (e_s - W_a / A) = 10406.49$$

$$P_t = [0.60 * f'_{ci} * W_b + M_{balok}] / (W_b / A + e_s) = 8451.26$$

→ Diambil besarnya gaya prategang,

$$P_t = 8451.26 \text{ kN}$$

5.2. KONDISI AKHIR

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untai "Standards cable" standar VSL, dengan data sbb. :

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL			
Jenis strands	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270		
Tegangan leleh strand	$f_{py} =$	1580000	kPa
Kuat tarik strand	$f_{pu} =$	1860000	kPa
Diameter nominal strands		0.01270	m (1/2")
Luas tampang nominal satu strands	$A_{st} =$	0.00010	m ²
Beban putus minimal satu strands	$P_{bs} =$	187.32	kN (100% UTS atau 100% beban putus)
Jumlah kawat untai (strands cable)		19	kawat untai tiap tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Luas tampang strands		0.00188	m ²
Beban putus satu tendon	$P_{b1} =$	3559.08	kN (100% UTS atau 100% beban putus)
Modulus elastis strands	$E_s =$	1.9E+08	kPa
Tipe dongkrak		VSL 19	

Gaya prategang awal :

$$P_t = 8451.26 \text{ kN}$$

Beban putus satu tendon :

$$P_{b1} = 3559.08 \text{ kN}$$

Beban putus minimal satu strand :

$$P_{bs} = 187.32 \text{ kN}$$

Gaya prategang saat jacking :

$$P_j = P_{t1} / 0.85 \quad \text{persamaan (1)}$$

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

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh jumlah tendon yang diperlukan :

$$n_t = P_t / (0.85 * 0.80 * P_{b1}) = 3.492 \text{ Tendon}$$

Diambil jumlah tendon, $n_t = 4 \text{ Tendon}$

Jumlah kawat untai (strands cable) yang diperlukan,

$$n_s = P_t / (0.85 * 0.80 * P_{bs}) = 66.348 \text{ strands}$$

Diambil jumlah strands, $n_s = 69 \text{ strands}$

Posisi Baris Tendon :

$n_{s1} =$	3	Tendon	19	strands / tendon =	57	strands	dg. selubung tendon =	84	mm
$n_{s2} =$	1	Tendon	12	strands / tendon =	12	strands	dg. selubung tendon =	76	mm
$n_t =$	4	Tendon	Jumlah strands,	$n_s =$	69	strands			

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

$$p_o = P_t / (0.85 * n_s * P_{bs}) = 76.925\% < 80\% \text{ (OK)}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking* :

$$P_j = p_o * n_s * P_{bs} = 9942.66 \text{ kN}$$

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

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

$$P_{eff} = 70\% * P_j = 6959.86 \text{ kN}$$

5.3. PEMBESIAN BALOK PRATEGANG

Tulangan arah memanjang digunakan besi diameter

D 13 mm

$$A_s = \pi / 4 * D^2 = 0.00013 \text{ m}^2$$

Luas tampang bagian bawah :

$$A_{\text{bawah}} = 0.28750 \text{ m}^2$$

Luas tulangan bagian bawah : $A_{s \text{ bawah}} = 0.5\% * A_{\text{bawah}} = 0.00144 \text{ m}^2$

$$\text{Jumlah tulangan} = A_{s \text{ bawah}} / (\pi / 4 * D^2) = 10.83 \text{ buah}$$

Digunakan : **12 D 13**

Luas tampang bagian atas :

$$A_{\text{atas}} = 0.20880 \text{ m}^2$$

Luas tulangan bagian atas : $A_{s \text{ atas}} = 0.5\% * A_{\text{atas}} = 0.00104 \text{ m}^2$

$$\text{Jumlah tulangan} = A_{s \text{ atas}} / (\pi / 4 * D^2) = 7.87 \text{ buah}$$

Digunakan : **10 D 13**

Luas tampang bagian badan :

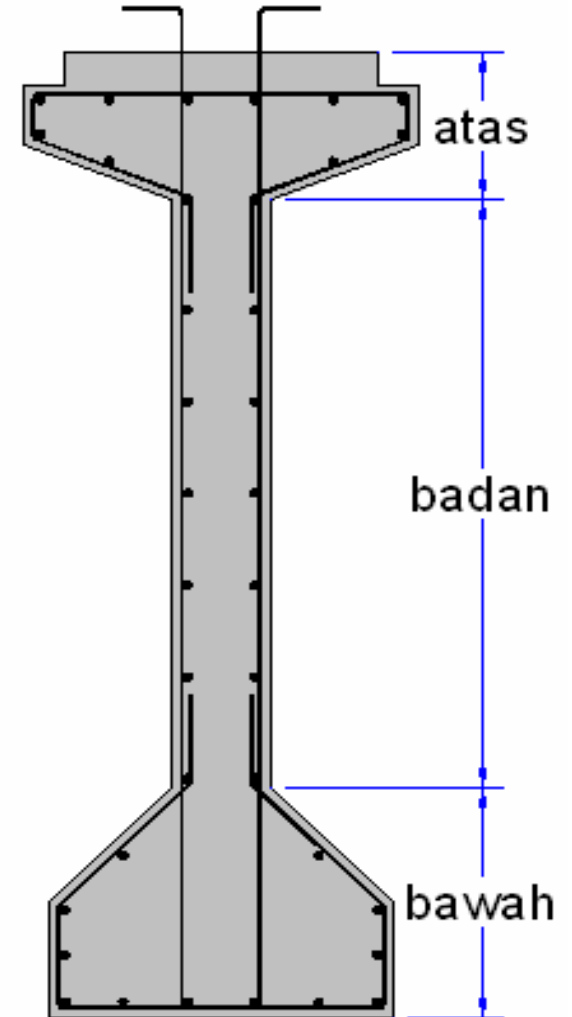
$$A_{\text{badan}} = 0.33000 \text{ m}^2$$

Luas tulangan susut memanjang bagian badan :

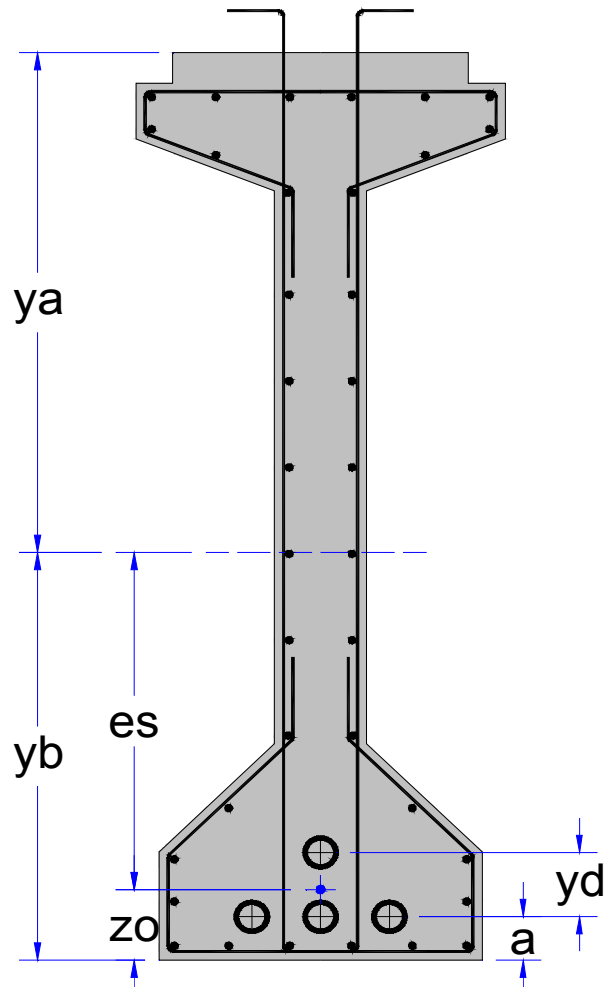
$$A_{s \text{ badan}} = 0.5\% * A_{\text{badan}} = 0.00165 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = A_{s \text{ badan}} / (\pi / 4 * D^2) = 12.43 \text{ buah}$$

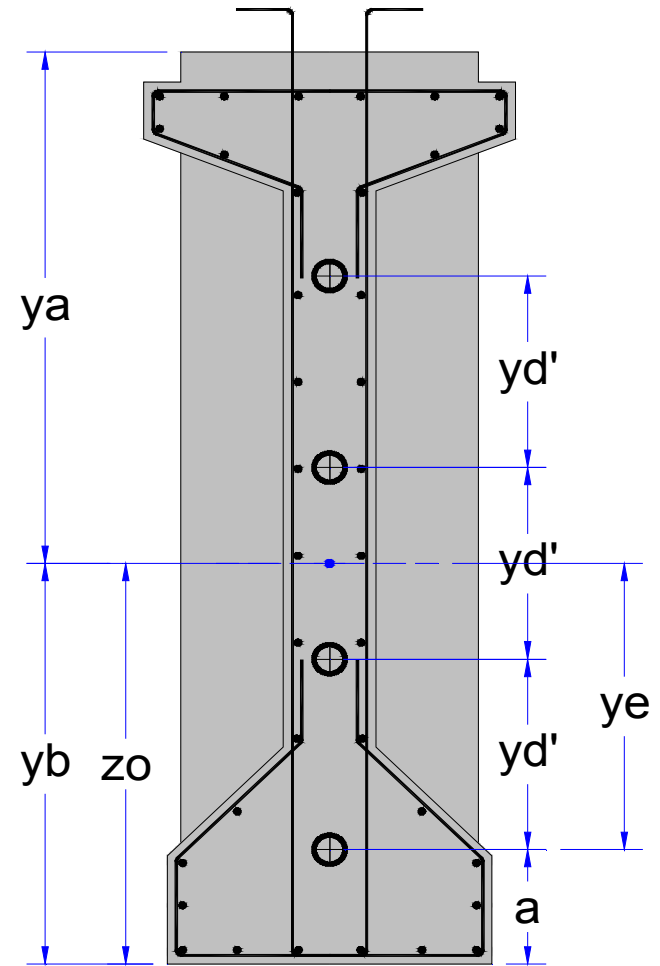
Digunakan : **14 D 13**



5.4. POSISI TENDON



Posisi Tendon di Tengah Bentang



Posisi Tendon di Tumpuan

5.4.1. POSISI TENDON DI TENGAH BENTANG

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1 :

$$a = 0.10 \text{ m}$$

Jumlah tendon baris ke-1 :	$n_{t1} =$	3	tendon	19	strands	=	57	strands
Jumlah tendon baris ke-2 :	$n_{t4} =$	1	tendon	12	strands	=	12	strands
	$n_t =$	4	tendon	Jumlah strands,		$n_s =$	69	strands
Eksentrisitas,	$e_s =$	0.874	m					
	$z_o = y_b - e_s =$	0.138	m					

y_d = jarak vertikal antara as ke as tendon.

Momen statis tendon terhadap alas :

$$n_s * z_o = n_1 * a + n_2 * (a + y_d)$$

$$y_d = n_s * (z_o - a) / n_2 = 0.216 \text{ m}$$

Diambil, $y_d = 0.150 \text{ m}$

Diameter selubung tendon,

$$d_t = 0.076 \text{ m}$$

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon,

$$y_d - d_t = 0.074 \text{ m}$$

> 25 mm (OK)

5.4.2. POSISI TENDON DI TUMPUAN

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-4 :

$$a' = 0.35 \text{ m}$$

Jumlah tendon baris ke-1 :	$n_1 = 1$	tendon	12	strands	=	12	strands
Jumlah tendon baris ke-2 :	$n_2 = 1$	tendon	19	strands	=	19	strands
Jumlah tendon baris ke-3 :	$n_3 = 1$	tendon	19	strands	=	19	strands
Jumlah tendon baris ke-4 :	$n_4 = 1$	tendon	19	strands	=	19	strands
Jumlah strands,						$n_s = 69$	strands

y_e = Letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah

Letak titik berat penampang balok terhadap alas, $y_b = 1.012 \text{ m}$

Momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah :

n_i	$y_{d'}$	$n_i * y_{d'}$
12	0	0
19	1	19
19	2	38
19	3	57
$\Sigma n_i * y_{d'} / y_{d'} =$		114

$$\Sigma n_i * y_{d'} = n_s * y_e$$

$$y_e / y_{d'} = [\Sigma n_i * y_{d'} / y_{d'}] / n_s = 1.652$$

$$y_e = y_b - a' = 0.662 \text{ m}$$

$$y_{d'} = y_e / [y_e / y_{d'}] = 0.401 \text{ m}$$

$$z_o = a' + y_e = y_b = 1.012 \text{ m}$$

5.4.3. EKSENTRISITAS MASING-MASING TENDON

Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan $x = 0.00 \text{ m}$	Z_i' (m)	Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang $x = 20.00$	z_i (m)	f_i $= Z_i' - z_i$ (m)
1	$Z_1' = a' + 3 * y_{d'}$	1.552	1	$Z_1 = a + y_d$	0.250	1.302
2	$Z_2' = a' + 2 * y_{d'}$	1.151	2	$Z_2 = a$	0.100	1.051
3	$Z_3' = a' + y_{d'}$	0.751	3	$Z_3 = a$	0.100	0.651
4	$Z_4' = a'$	0.350	4	$Z_4 = a$	0.100	0.250

5.5. LINTASAN INTI TENDON (CABLE)

Panjang balok,

$$L = 40.00 \text{ m}$$

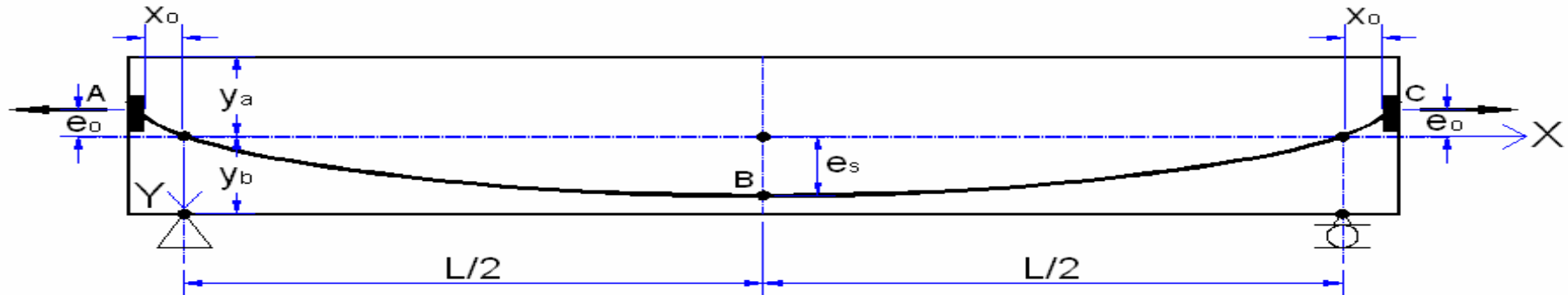
Eksentrisitas,

$$e_s = 0.8744505 \text{ m}$$

Persamaan lintasan tendon :

$$Y = 4 * f * X / L^2 * (L - X)$$

dengan, $f = e_s$



X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
-0.25	-0.022	8.00	0.560	17.00	0.855	26.00	0.796	35.00	0.383
0.00	0.000	9.00	0.610	18.00	0.866	27.00	0.767	36.00	0.315
1.00	0.085	10.00	0.656	19.00	0.872	28.00	0.735	37.00	0.243
2.00	0.166	11.00	0.697	20.00	0.874	29.00	0.697	38.00	0.166
3.00	0.243	12.00	0.735	21.00	0.872	30.00	0.656	39.00	0.085
4.00	0.315	13.00	0.767	22.00	0.866	31.00	0.610	40.00	0.000
5.00	0.383	14.00	0.796	23.00	0.855	32.00	0.560	0.25	0.022
6.00	0.446	15.00	0.820	24.00	0.839	33.00	0.505		
7.00	0.505	16.00	0.839	25.00	0.820	34.00	0.446		

$x_o =$	0.25	m
$e_o =$	0.022	m

$L/2 + x_o =$	20.25	m
$e_s + e_o =$	0.896	m

$\alpha_{AB} = 2*(e_s + e_o)/(L/2 + x_o) =$	0.089
$\alpha_{BC} = 2*(e_s + e_o)/(L/2 + x_o) =$	0.089

5.5.1. SUDUT ANGKUR

Persamaan lintasan tendon, $Y = 4 * f_i * X / L^2 * (L - X)$

$$dY/dX = 4 * f_i * (L - 2*X) / L^2$$

Untuk $X = 0$ (posisi angkur di tumpuan), maka

$$dY/dX = 4 * f_i / L$$

Persamaan sudut angkur,

$$\alpha = \text{ATAN}(dY/dX)$$

NO TENDON	JUMLAH STRAND	DIAMETER SELUBUNG	Eksentri- sitas	f_i (m)	dY/dX	SUDUT ANGKUR			
1	12	84	$f_1 =$	1.302	0.13020	$\alpha_1 =$	0.12947	rad	$= 7.418^\circ$
2	19	84	$f_2 =$	1.051	0.10513	$\alpha_2 =$	0.10475	rad	$= 6.002^\circ$
3	19	84	$f_3 =$	0.651	0.06507	$\alpha_3 =$	0.06497	rad	$= 3.723^\circ$
4	19	84	$f_4 =$	0.250	0.02500	$\alpha_4 =$	0.02499	rad	$= 1.432^\circ$

5.5.2. TATA LETAK DAN TRACE KABEL

$$L = 40.00 \text{ m}$$

$$f_o = e_s = 0.87445 \text{ m}$$

$$y_b = 1.012 \text{ m}$$

$$f_1 = 1.302 \text{ m}$$

$$f_2 = 1.051 \text{ m}$$

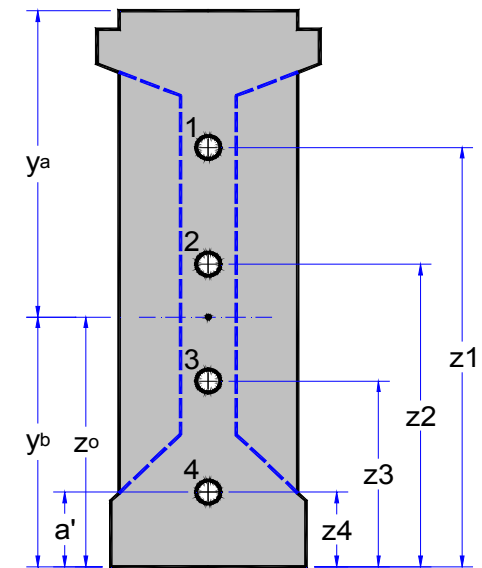
$$f_3 = 0.651 \text{ m}$$

$$f_4 = 0.250 \text{ m}$$

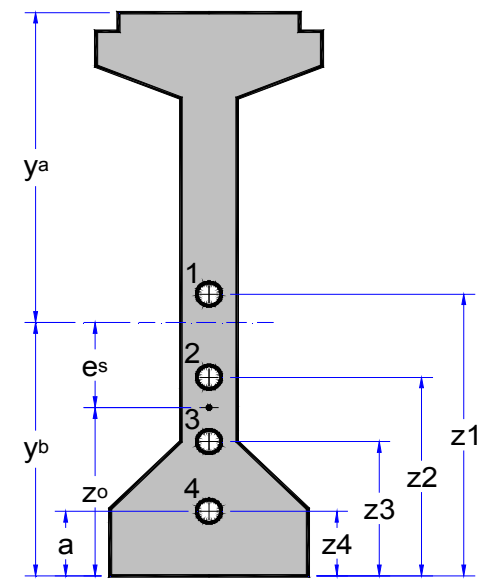
Posisi masing-masing cable :

$$z_i = z_i' - 4 * f_i * X / L^2 * (L - X)$$

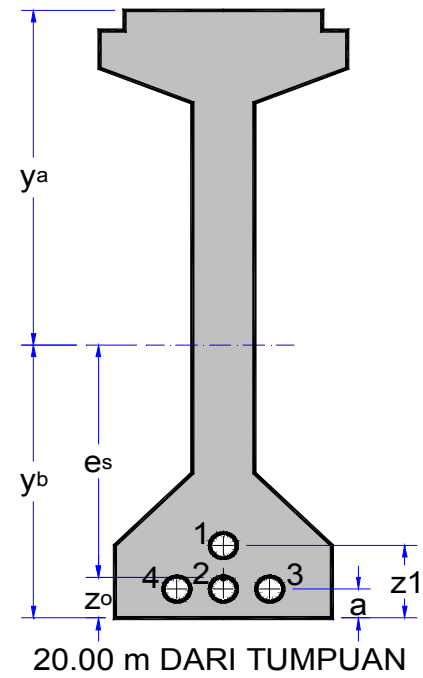
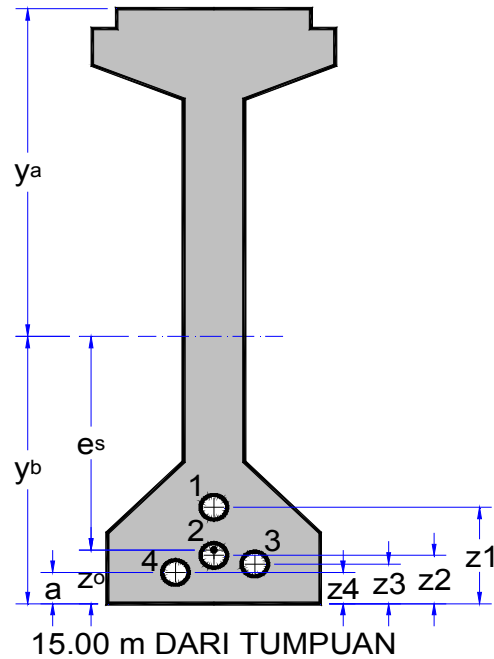
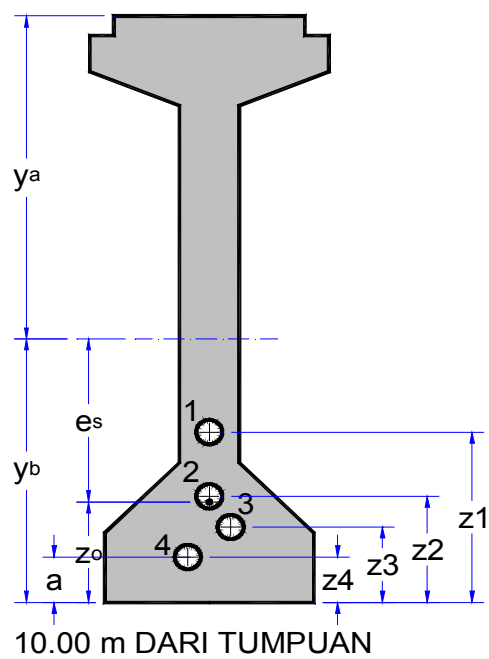
Jarak X (m)	Trace Z _o (m)	Posisi masing-masing cable			
		Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	Z ₃ (m)	Z ₄ (m)
0.00	1.0120	1.5520	1.1513	0.7507	0.3500
1.00	0.9267	1.4250	1.0488	0.6872	0.3256
2.00	0.8458	1.3046	0.9516	0.6270	0.3025
3.00	0.7693	1.1907	0.8596	0.5701	0.2806
4.00	0.6971	1.0833	0.7728	0.5164	0.2600
5.00	0.6294	0.9824	0.6914	0.4660	0.2406
6.00	0.5660	0.8880	0.6151	0.4188	0.2225
7.00	0.5070	0.8001	0.5442	0.3749	0.2056
8.00	0.4523	0.7187	0.4785	0.3342	0.1900
9.00	0.4020	0.6438	0.4180	0.2968	0.1756
10.00	0.3561	0.5755	0.3628	0.2627	0.1625
11.00	0.3146	0.5136	0.3129	0.2318	0.1506
12.00	0.2774	0.4583	0.2682	0.2041	0.1400
13.00	0.2446	0.4095	0.2288	0.1797	0.1306
14.00	0.2162	0.3672	0.1946	0.1586	0.1225
15.00	0.1922	0.3314	0.1657	0.1407	0.1156
16.00	0.1725	0.3021	0.1421	0.1260	0.1100
17.00	0.1572	0.2793	0.1237	0.1146	0.1056
18.00	0.1462	0.2630	0.1105	0.1065	0.1025
19.00	0.1397	0.2533	0.1026	0.1016	0.1006
20.00	0.1375	0.2500	0.1000	0.1000	0.1000



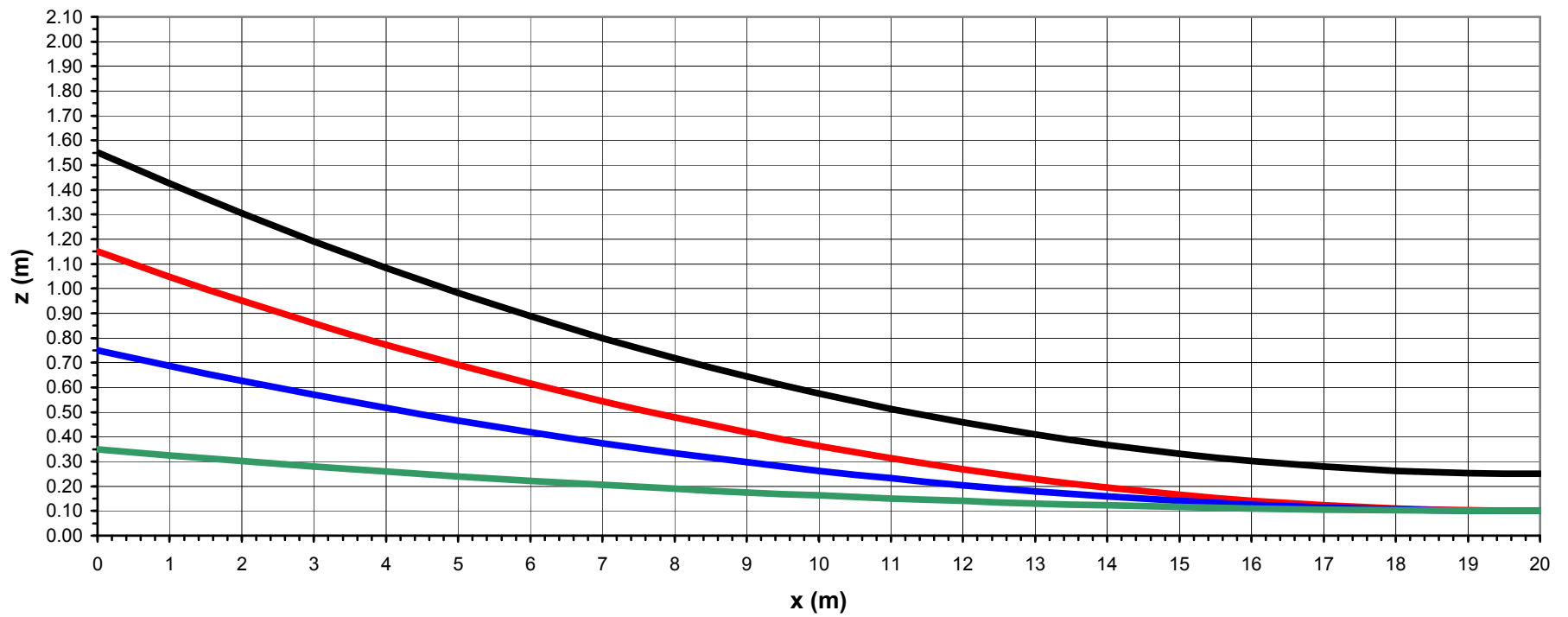
0.00 m DARI TUMPUAN



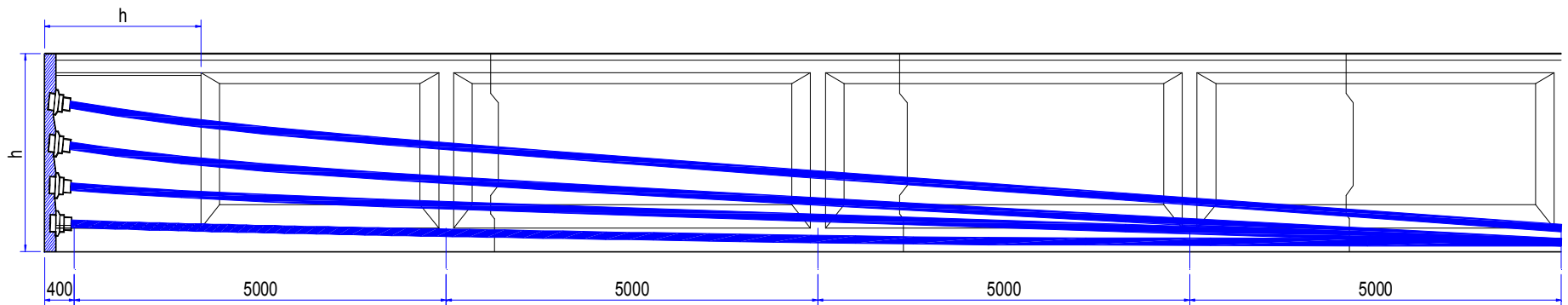
5.00 m DARI TUMPUAN



Jarak X (m)	Trace z_0 (m)	Posisi masing-masing cable			
		z_1 (m)	z_2 (m)	z_3 (m)	z_4 (m)
0.00	1.0120	1.5520	1.1513	0.7507	0.3500
5.00	0.6294	0.9824	0.6914	0.4660	0.2406
10.00	0.3561	0.5755	0.3628	0.2627	0.1625
15.00	0.1922	0.3314	0.1657	0.1407	0.1156
20.00	0.1375	0.2500	0.1000	0.1000	0.1000



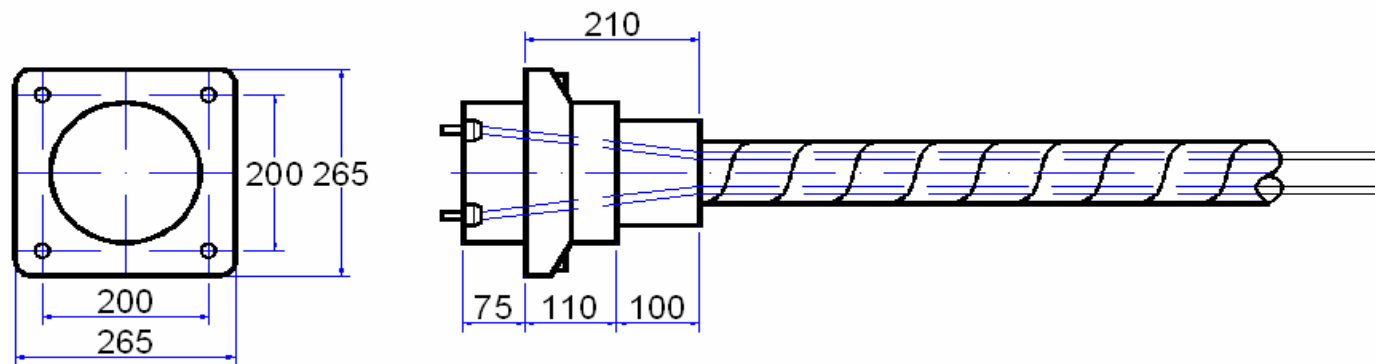
Trace Masing-masing Cable



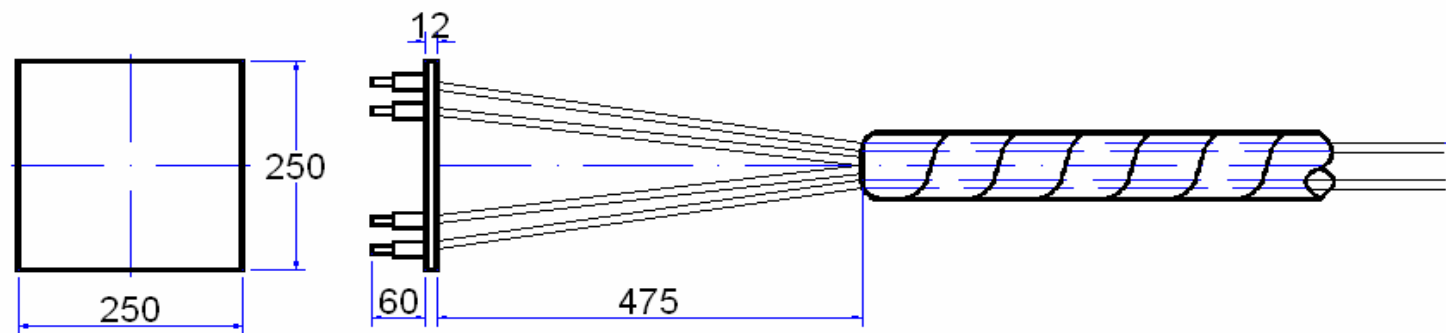
Lintasan Masing-masing Cable

5.5.3. PEMAKAIAN ANGKUR

ANGKUR HIDUP	VSL
TIPE	19 Sc



ANGKUR MATI	VSL
TIPE	19 P



5.6. KEHILANGAN TEGANGAN (LOSS OF PRESTRESS) PADA CABLE

5.6.1. KEHILANGAN TEGANGAN AKIBAT GESEKAN ANGKUR (ANCHORAGE FRICTION)

Gaya prategang akibat jacking (jacking force) :

$$P_j = 9942.66 \text{ kN}$$

Kehilangan gaya akibat gesekan ankur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat jacking.

$$P_o = 97\% * P_j = 9644.38 \text{ kN}$$

5.6.2. KEHILANGAN TEGANGAN AKIBAT GESEKAN CABLE (JACK FRICTION)

Sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah :

$$\alpha_{AB} = 0.089 \text{ rad} \quad \alpha_{BC} = 0.089 \text{ rad}$$

Perubahan sudut total lintasan tendon,

$$\alpha = \alpha_{AB} + \alpha_{BC} = 0.177 \text{ rad}$$

Dari Tabel 6.6 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh : Koefisien gesek,

$$\mu = 0.2$$

Dari Tabel 6.7 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh : Koefisien Wobble,

$$\beta = 0.012$$

Gaya prategang akibat jacking setelah memperhitungkan loss of prestress akibat gesekan ankur,

$$P_o = 9644.38 \text{ kN}$$

Loss of prestress akibat gesekan kabel :

$$P_x = P_o * e^{-\mu(\alpha + \beta * L_x)}$$

dengan, $e = 2.7183$ (bilangan natural)

$$\text{Untuk, } L_x = 20.40 \text{ m} \quad P_x = P_o * e^{-\mu(\alpha + \beta * L_x)} = 8864.11 \text{ kN}$$

$$\text{Untuk, } L_x = 40.80 \text{ m} \quad P_x = P_o * e^{-\mu(\alpha + \beta * L_x)} = 8440.57 \text{ kN}$$

5.6.3. KEHILANGAN TEGANGAN AKIBAT PEMENDEKAN ELASTIS (ELASTIC SHORTENING)

Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok

Momen inersia tampang balok beton

Luas tampang balok beton

Modulus elatis balok beton

Modulus elastis baja prategang (strand)

Jumlah total strands

Luas tampang nominal satu strands

Beban putus satu strands

Momen akibat berat sendiri balok

Luas tampang tendon baja prategang

Modulus ratio antara baja prategang dengan balok beton

Jari-jari inersia penampang balok beton

$e_s =$	0.87445046	m
$I_x =$	0.41398803	m ⁴
$A =$	0.7523	m ²
$E_{balok} =$	3.567E+07	kPa
$E_s =$	1.930E+08	kPa
$n_s =$	69	
$A_{st} =$	0.00010	m ²
$P_{bs} =$	187.32	kN
$M_{balok} =$	3836.73	kNm
$A_t = n_s * A_{st} =$	0.00681	m ²
$n = E_s / E_{balok} =$	5.411	
$i = \sqrt{I_x / A} =$	0.742	m
$K_e = A_t / A * (1 + e_s^2 / i^2) =$	0.02163172	

Tegangan baja prategang sebelum loss of prestresss (di tengah bentang) :

$$\sigma_{pi} = n_s * P_{bs} / A_t = 1897872 \text{ kPa}$$

Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri :

$$\Delta\sigma_{pe'} = \sigma_{pi} * n * K_e / (1 + n * K_e) = 198858 \text{ kPa}$$

Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang Pt :

$$\sigma_{bt} = \Delta\sigma_{pe'} / n - M_{balok} * e_s / I_x = 28648 \text{ kPa}$$

Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri :

$$\Delta\sigma_{pe} = 1/2 * n * \sigma_{bt} = 77504 \text{ kPa}$$

Loss of prestress akibat pemendekan elastis :

$$\Delta P_e = \Delta \sigma_{pe} * A_t = 527.83 \text{ kN}$$

5.6.4. KEHILANGAN TEGANGAN AKIBAT PENGANGKURAN (ANCHORING)

Panjang tarik masuk (berkisar antara 2 - 7 mm) diambil 2 mm :

Modulus elastis baja prategang :

Luas tampang tendon baja prategang :

Loss of prestress akibat gesekan angkur :

Loss of prestress akibat gesekan cable :

Jarak dari ujung sampai tengah bentang balok :

Kemiringan diagram gaya :

Jarak pengaruh kritis slip angkur dr ujung :

Loss of prestress akibat angkur :

$\Delta L =$	0.002	m
$E_s =$	1.930E+08	kPa
$A_t =$	0.00681	m ²
$P_o =$	9644.38	kN
$P_x =$	8864.11	kN
$L_x =$	20.40	m
$m = \tan \omega = (P_o - P_x) / L_x =$	38.249	kN/m
$L_{max} = \sqrt{(\Delta L * E_s * A_t / m)} =$	8.29	m
$\Delta P = 2 * L_{max} * \tan \omega =$	634.18	kN
$P'_{max} = P_o - \Delta P / 2 =$	9327	kN
$P_{max} = P'_{max} - \Delta P_e =$	8799	kN

5.6.5. KEHILANGAN TEGANGAN AKIBAT RELAXATION OF TENDON

a. Pengaruh Susut (*Shrinkage*)

$$\Delta \varepsilon_{su} = \varepsilon_b * k_b * k_e * k_p$$

ε_b = regangan dasar susut (basic shrinkage strain). Untuk kondisi kering udara dengan kelembaban < 50 %,

Dari Tabel 6.4 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh :

$$\varepsilon_b = 0.0006$$

k_b = koefisien yang tergantung pada pemakaian air semen (water cement ratio) untuk beton mutu tinggi dengan faktor

air semen, $w = 0.40$ Cement content = 4.5 kN/m³

Dari Kurva 6.1 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh :

$$k_b = 0.905$$

k_e = koefisien yang tergantung pada tebal teoritis (e_m)

Luas penampang balok,

$$A = 0.7523 \text{ m}^2$$

Keliling penampang balok yang berhubungan dengan udara luar,

$$K = 5.700 \text{ m}$$

$$e_m = 2 * A / K = 0.264 \text{ m}$$

Dari Kurva 6.2 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh :

$$k_e = 0.734$$

k_p = koefisien yang tergantung pada luas tulangan baja memanjang non prategang.

Presentase luas tulangan memanjang terhadap luas tampang balok : $p =$

$$0.50\%$$

$$k_p = 100 / (100 + 20 * p) = 0.999$$

$$\Delta \epsilon_{su} = \epsilon_b * k_b * k_e * k_p = 0.00039816$$

Modulus elastis baja prategang (strand),

$$E_s = 1.930E+08 \text{ kPa}$$

Tegangan susut :

$$\sigma_{sh} = \Delta \epsilon_{su} * E_s = 76845.62 \text{ kPa}$$

b. Pengaruh Rayapan (Creep)

P initial (keadaan saat transfer) di tengah bentang :

$$M_{balok} = 3836.73 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0.38049 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0.40910 \text{ m}^3$$

$$P_i = P_x - \Delta P_e = 8336 \text{ kN}$$

$$P_i / (n_s * P_{bs}) = 64.50\% \text{ UTS}$$

$$E_{balok} = 3.567E+07 \text{ kPa}$$

$$e_s = 0.87445046 \text{ m}$$

$$A = 0.7523 \text{ m}^2$$

Tegangan beton di serat atas,

$$f_a = - P_i / A + P_i * e_s / W_a - M_{balok} / W_a = -2006.01 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah,

$$f_b = - P_i / A - P_i * e_s / W_b + M_{balok} / W_b = -19521.39 \text{ kPa}$$

Regangan akibat creep, $\epsilon_{cr} = (f_c / E_{balok}) * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{tn}$

k_c = koefisien yang tergantung pada kelembaban udara, untuk perhitungan diambil kondisi kering dengan kelembaban udara < 50 %. Dari Tabel 6.5 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh : $k_c = 3$

k_d = koefisien yang tergantung pada derajat pengerasan beton saat dibebani dan pada suhu rata-rata di sekelilingnya selama pengerasan beton. Karena grafik pada gambar 6.4 didasarkan pada temperatur 20° C, sedang temperatur rata-rata di Indonesia umumnya lebih dari 20° C, maka perlu ada koreksi waktu pengerasan beton sebagai berikut :

Jumlah hari dimana pengerasan terjadi pada suhu rata-rata T, $t = 28$ hari

Temperatur udara rata-rata, $T = 27.5$ °C

Umur pengerasan beton terkoreksi saat dibebani : $t' = t * (T + 10) / 30 = 35$ hari

Dari Kurva 6.4 (NAASRA Bridge Design Specification) untuk semen normal tipe I diperoleh : $k_d = 0.938$

k_{tn} = koefisien yang tergantung pada waktu (t) dimana pengerasan terjadi dan tebal teoritis (e_m).

Untuk, $t = 28$ hari $e_m = 0.264$ m

Dari Kurva 6.4 (NAASRA Bridge Design Specification) untuk semen normal tipe I diperoleh : $k_{tn} = 0.2$

Tegangan akibat Creep :

			$f_c = f_b =$	19521.39	kPa
			$\epsilon_{cr} = (f_c / E_{balok}) * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{tn} =$	0.00020	
			$\sigma_{cr} = \epsilon_{cr} * E_s =$	39487.90	kPa
			$\Delta\sigma_{sc} = \sigma_{cr} + \sigma_{sh} =$	116333.52	kPa
			$\sigma_{pi} = P_i / A_t =$	1224069.39	kPa
			Besar tegangan terhadap UTS =	64.50%	UTS
X =	0	Jika :	$\sigma_{pi} <$	50% UTS	
X =	1	Jika :	$\sigma_{pi} =$	50% UTS	
X =	2	Jika :	$\sigma_{pi} =$	70% UTS	
			Nilai,	X =	1.725

Relaxasi setelah 1000 jam pada 70% beban putus (UTS) : $c = 2.50\%$ 64.50% UTS

$$\sigma_r = X * c * (\sigma_{pi} - \Delta\sigma_{sc}) = 47766.858 \text{ kPa}$$

$$\text{Loss of Prestress jangka panjang} = \Delta\sigma_{sc} + \sigma_r = 164100.381 \text{ kPa}$$

$$\Delta P = (\Delta\sigma_{sc} + \sigma_r) * A_t = 1117.57 \text{ kN}$$

$$P_{eff} = P_i - \Delta P = 7218.71 \text{ kN}$$

$$(1 - P_{eff} / P_j) * 100\% = 27.40\%$$

$$\approx 30\%$$

Cukup dekat dengan estimasi awal

(kehilangan gaya prategang akhir = 30%) OK !

Gaya efektif di tengah bentang balok :

Kehilangan gaya prategang total,

Kontrol tegangan pada tendon baja pasca tarik segera setelah penyaluran gaya prategang :

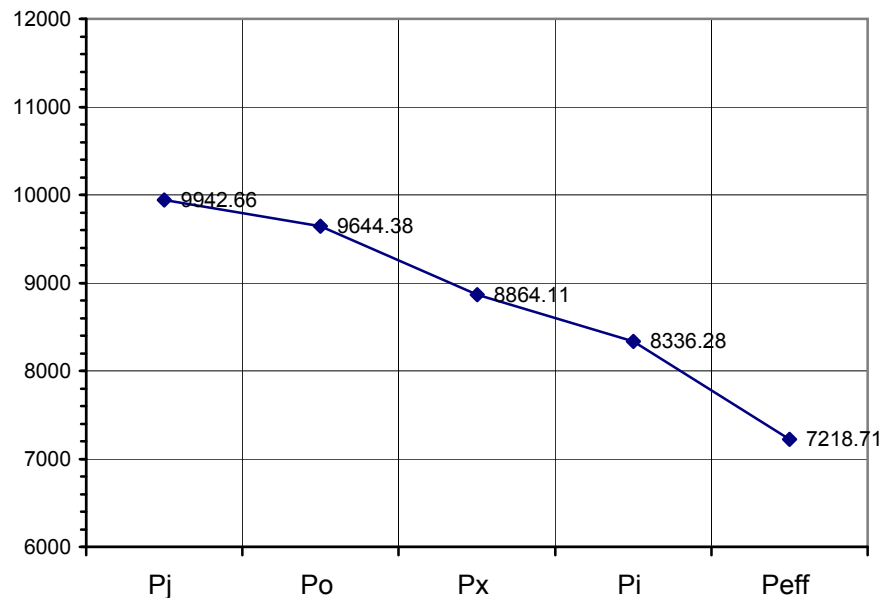
Tegangan ijin tendon baja pasca tarik :

$$0.70 * f_{pu} = 1302000 \text{ kPa}$$

Tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik :

$$f_p = P_{eff} / A_t = 1059969 \text{ kPa}$$

< 0.70*fpu (OK)



Gaya	(kN)	Loss of prestress	% UTS
P_j	9942.66	Anchorage friction	69.84%
P_o	9644.38	Jack friction	67.74%
P_x	8864.11	Elastic shortening	62.26%
P_i	8336.28	Relaxation of tendon	58.56%
P_{eff}	7218.71		50.71%

$$\text{Loss of prestress} = 27.40\%$$

6. TEGANGAN YANG TERJADI PADA PENAMPANG BALOK

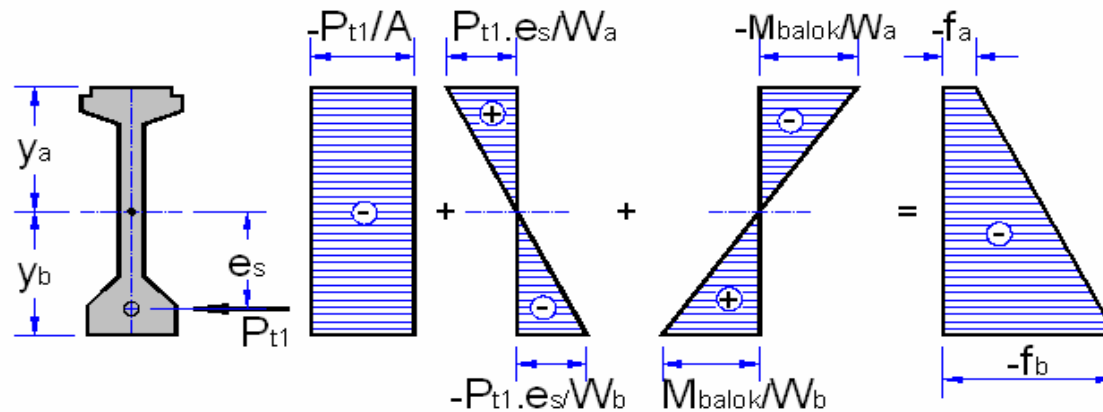
Menurut Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (*Bridge Design Code*), tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadi kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut :

- 1) Tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0.60 * f_{ci}'$ dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$
- 2) Tegangan serat tarik terluar harus $\leq 0.50 * \sqrt{f_{ci}'}$ dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$

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

- 1) Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati, dan beban hidup $\leq 0.45 * f_c'$
- 2) Tegangan serat tarik terluar yang pada awalnya mengalami tekan, $\leq 0.50 * \sqrt{f_c'}$

6.1. KEADAAN AWAL (SAAT TRANSFER)



Mutu beton balok prategang, K - 500

Kuat tekan beton,

$$f_c' = 0.83 * K * 100 = 41500 \text{ kPa}$$

Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer),

$$f_{ci}' = 0.80 * f_c' = 33200 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin tekan beton,

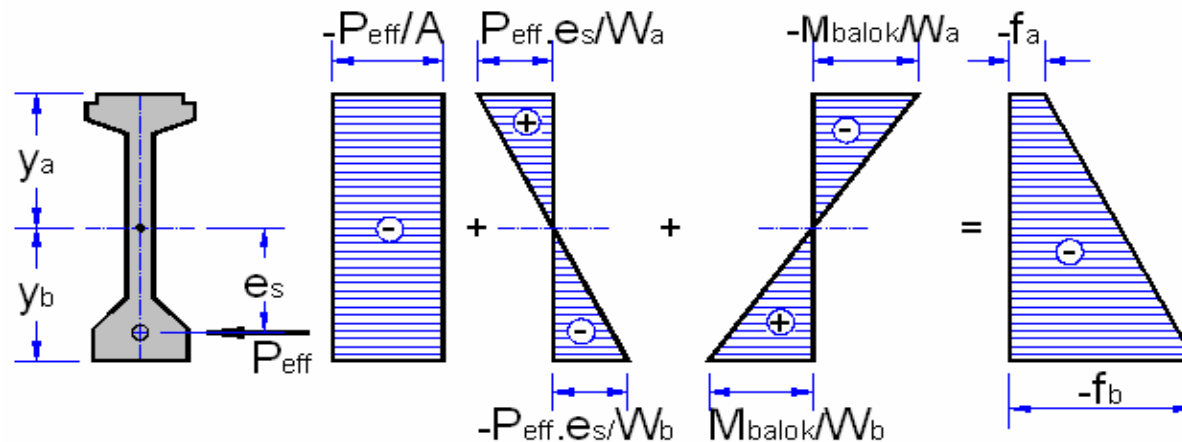
$$- 0.6 * f_{ci}' = -19920 \text{ kPa}$$

$P_t =$	8451.3	kN	$W_a =$	0.38049	m ³	$A =$	0.75230	m ²
$M_{balok} =$	3836.7	kNm	$W_b =$	0.40910	m ³	$e_s =$	0.87445	m
Tegangan di serat atas,		$f_{ca} = - P_t / A + P_t * e_s / W_a - M_{balok} / W_a =$					-1895	kPa
Tegangan di serat bawah,		$f_{cb} = - P_t / A - P_t * e_s / W_b + M_{balok} / W_b =$					-19920	kPa

< -0.6*f_{ci}' (Aman)

6.2. KEADAAN SETELAH LOSS OF PRESTRESS

Mutu beton balok prategang,	K - 500	Kuat tekan beton,	$f_c' = 0.83 * K * 100 =$	41500	kPa
		Tegangan ijin tekan beton,	$-0.45 * f_c' =$	-18675	kPa
$P_{eff} =$	7218.7	kN	$W_a =$	0.38049	m ³
$M_{balok} =$	3836.7	kNm	$W_b =$	0.40910	m ³
		$A =$	0.75230	m ²	
		$e_s =$	0.87445	m	



Tegangan di serat atas,		$f_a = - P_{eff} / A + P_{eff} * e_s / W_a - M_{balok} / W_a =$					-3089	kPa
Tegangan di serat bawah,		$f_b = - P_{eff} / A - P_{eff} * e_s / W_b + M_{balok} / W_b =$					-15647	kPa

< - 0.45*f_c' (Aman)

6.3. KEADAAN SETELAH PLAT LANTAI SELESAI DICOR (BETON MUDA)

Mutu beton balok prategang,

K - 500

Kuat tekan beton,

$$f'_c = 0.83 \cdot K \cdot 100 =$$

41500

kPa

Tegangan ijin tekan beton,

$$- 0.45 \cdot f'_c =$$

-18675

kPa

$$M_{\text{balok}} = 3836.73 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{plat}} = 1800 \text{ kNm}$$

$$P_{\text{eff}} = 7218.7 \text{ kN}$$

$$W_a = 0.38049 \text{ m}^3$$

$$A = 0.75230 \text{ m}^2$$

$$M_{\text{balok+plat}} = 5636.7 \text{ kNm}$$

$$W_b = 0.40910 \text{ m}^3$$

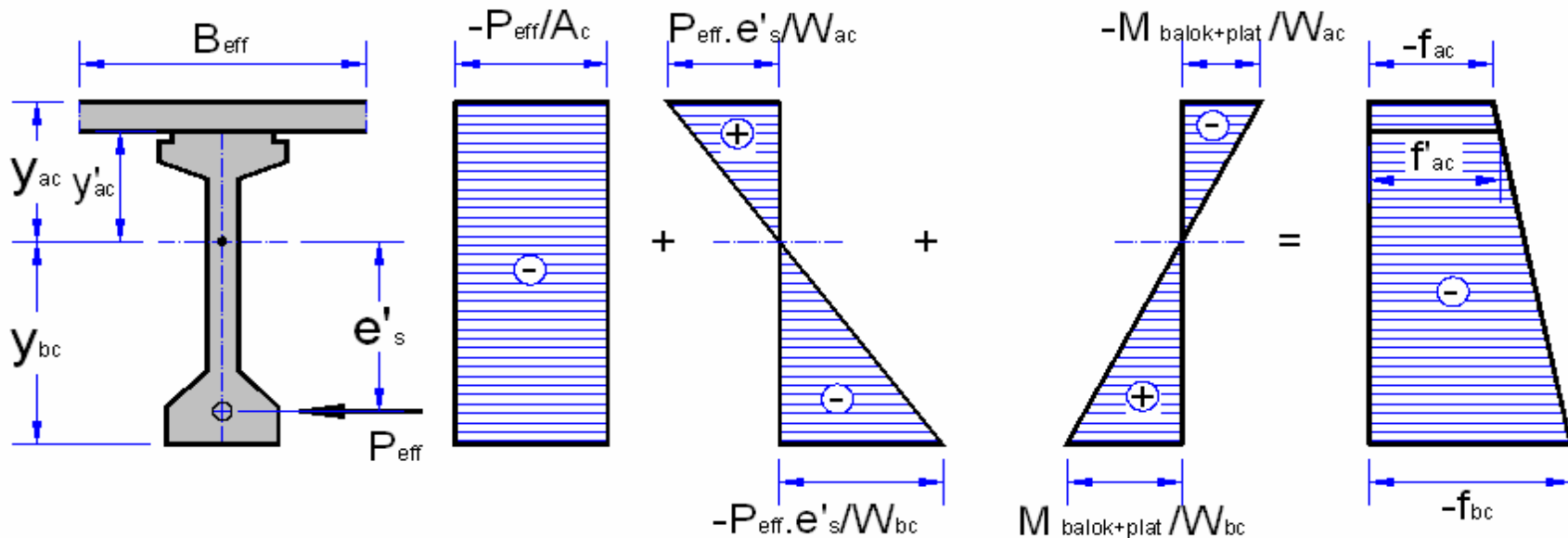
$$e_s = 0.87445 \text{ m}$$

$$\text{Tegangan di serat atas, } f_a = - P_{\text{eff}} / A + P_{\text{eff}} \cdot e_s / W_a - M_{\text{balok+plat}} / W_a = -7820 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan di serat bawah, } f_b = - P_{\text{eff}} / A - P_{\text{eff}} \cdot e_s / W_b + M_{\text{balok+plat}} / W_b = -11247 \text{ kPa}$$

< -0.45*f_c' (Aman)

6.4. KEADAAN SETELAH PLAT DAN BALOK MENJADI KOMPOSIT



Mutu beton balok prategang,

K - 500

Kuat tekan beton,

$$f'_c = 0.83 \cdot K \cdot 100 = 41500 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin tekan beton,

$$-0.45 \cdot f'_c = -18675 \text{ kPa}$$

$$M_{\text{balok}} = 3836.73 \text{ kNm}$$

$$A_c = 0.98900 \text{ m}^2$$

$$M_{\text{plat}} = 1800 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 0.66644 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{eff}} = 7219 \text{ kN}$$

$$W'_{ac} = 0.83228 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{balok+plat}} = 5636.73 \text{ kNm}$$

$$W_{bc} = 0.51602 \text{ m}^3$$

Eksentrisitas tendon untuk penampang komposit :

$$e'_s = e_s + (y_{bc} - y_b) = 1.159 \text{ m}$$

Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = -P_{\text{eff}} / A_c + P_{\text{eff}} \cdot e'_s / W_{ac} - M_{\text{balok+plat}} / W_{ac} =$	-3205	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = -P_{\text{eff}} / A_c + P_{\text{eff}} \cdot e'_s / W'_{ac} - M_{\text{balok+plat}} / W'_{ac} =$	-4021	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = -P_{\text{eff}} / A_c - P_{\text{eff}} \cdot e'_s / W_{bc} + M_{\text{balok+plat}} / W_{bc} =$	-12586	kPa

< -0.45*f_c' (Aman)

7. TEGANGAN YANG TERJADI PADA BALOK KOMPOSIT

7.2. TEGANGAN AKIBAT BERAT SENDIRI (MS)

Momen akibat berat sendiri,

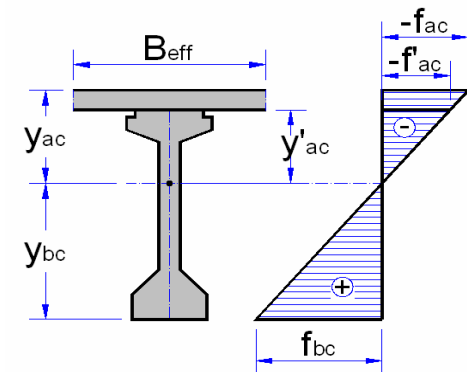
$$M_{MS} = 6818 \text{ kNm}$$

$$A_c = 0.98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0.66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0.83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0.51602 \text{ m}^3$$

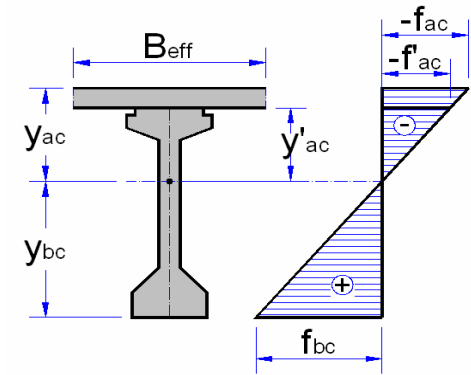


Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = -M_{MS} / W_{ac} =$	-10231	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = -M_{MS} / W'_{ac} =$	-8192	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = +M_{MS} / W_{bc} =$	13213	kPa

7.2. TEGANGAN AKIBAT BEBAN MATI TAMBAHAN (MA)

Momen akibat beban mati tambahan,

$M_{MA} =$	968	kNm
$A_c =$	0.98900	m ²
$W_{ac} =$	0.66644	m ³
$W'_{ac} =$	0.83228	m ³
$W_{bc} =$	0.51602	m ³



Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = - M_{MS} / W_{ac} =$	-1453	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = - M_{MS} / W'_{ac} =$	-1164	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = + M_{MS} / W_{bc} =$	1877	kPa

7.3. TEGANGAN AKIBAT SUSUT DAN RANGKAK (SR)

7.3.1. TEGANGAN AKIBAT SUSUT BETON (SHRINKAGE)

Gaya internal yang timbul akibat susut (menurut NAASRA Bridge Design Specification) dinyatakan dengan :

$$P_s = A_{plat} * E_{plat} * \Delta \varepsilon_{su} * n * [(1 - e^{-cf}) / cf]$$

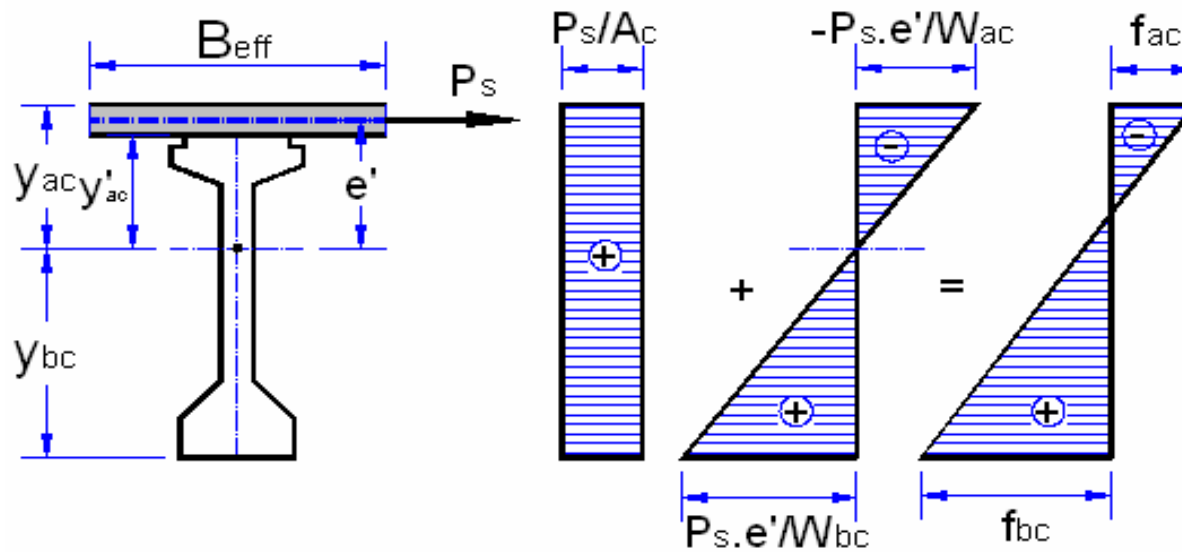
A_{plat} = luas penampang plat,

E_{plat} = modulus elastis balok,

e = bilangan natural,

$n = E_{plat} / E_{balok}$

$A_{plat} = B_{eff} * h_o =$	0.23670	m ²
$E_{plat} =$	2.345E+07	kPa
$e =$	2.7183	
$n =$	0.6575	

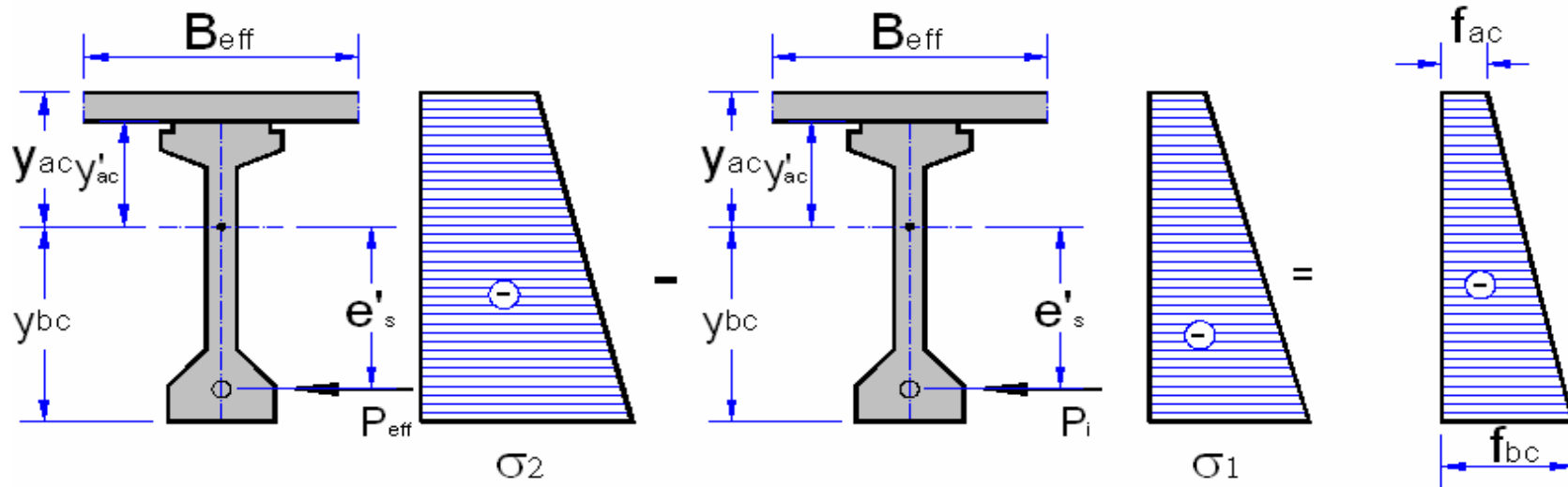


$k_b = 0.905$	$k_c = 3$	$k_d = 0.938$	$k_e = 0.734$	$k_{tn} = 0.2$
$A_c = 0.98900 \text{ m}^2$	Eksentrisitas tendon,			$e' = y_{ac} - h_o / 2 = 0.904 \text{ m}$
$W_{ac} = 0.66644 \text{ m}^3$	Gaya internal yang timbul akibat susut :			
$W'_{ac} = 0.83228 \text{ m}^3$	$\Delta \varepsilon_{su} = \varepsilon_b * k_b * k_e * k_p = 0.0003982$			
$W_{bc} = 0.51602 \text{ m}^3$	$c_f = k_b * k_c * k_d * k_e * (1 - k_{tn}) = 1.49540$			
	$P_s = A_{plat} * E_{plat} * \Delta \varepsilon_{su} * n * [(1 - e^{-c_f}) / c_f] = 753.99 \text{ kN}$			

Tegangan akibat susut yang terjadi :

Tegangan beton di serat atas plat.	$f_{ca} = P_s / A_c - P_s * e' / W_{ac} =$	-260	kPa
Tegangan beton di serat atas balok,	$f'_{ca} = P_s / A_c - P_s * e' / W'_{ac} =$	-56	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok,	$f_{cb} = P_s / A_c + P_s * e' / W_{bc} =$	2083	kPa

7.3.2. TEGANGAN AKIBAT RANGKAK BETON (CREEP)



Residual creep (menurut NAASRA Bridge Design Specification) dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma_{cr} = (1 - e^{-c_f}) * (\sigma_2 - \sigma_1)$$

σ_2 = tegangan pada balok komposit pada kondisi awal sebelum loss of prestress,

σ_1 = tegangan pada balok komposit pada kondisi akhir setelah loss of prestress.

c_f = the residual creep factor = $k_b * k_c * k_d * k_e * (1 - k_{tn})$ = 1.49540

e = bilangan natural = 2.7183 $(1 - e^{-c_f})$ = 0.77584

P_i = 7919.5 kN A_c = 0.98900 m²

P_{eff} = 7218.7 kN W_{ac} = 0.66644 m³

e'_s = 1.159 m W'_{ac} = 0.83228 m³

$M_{balok+plat}$ = 5636.73 kNm W_{bc} = 0.51602 m³

Tegangan pada balok sebelum loss of prestress,

Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = -P_i / A_c + P_i * e'_s / W_{ac} - M_{balok+plat} / W_{ac} =$	-2695	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = -P_i / A_c + P_i * e'_s / W'_{ac} - M_{balok+plat} / W'_{ac} =$	-3754	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = -P_i / A_c - P_i * e'_s / W_{bc} + M_{balok+plat} / W_{bc} =$	-14868	kPa

Tegangan pada balok setelah loss of prestress,

Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = -P_{eff} / A_c + P_{eff} * e'_s / W_{ac} - M_{balok+plat} / W_{ac} =$	-3205	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = -P_{eff} / A_c + P_{eff} * e'_s / W'_{ac} - M_{balok+plat} / W'_{ac} =$	-4021	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = -P_{eff} / A_c - P_{eff} * e'_s / W_{bc} + M_{balok+plat} / W_{bc} =$	-12586	kPa

		σ_2 (kPa)	σ_1 (kPa)	$\sigma_2 - \sigma_1$	$(1 - e^{-\sigma_1})$	σ_{cr} (kPa)
Tegangan beton di serat atas plat.	$f_{ca} =$	-3205	-2695	-510	0.77584	-396
Tegangan beton di serat atas balok,	$f'_{ca} =$	-4021	-3754	-267	0.77584	-207
Tegangan beton di serat bawah balok,	$f_{cb} =$	-12586	-14868	-2282	0.77584	-1771

7.3.3. SUPERPOSISI TEGANGAN SUSUT DAN RANGKAK

Tegangan pada beton akibat		Susut	Rangkak	Susut dan Rangkak
Tegangan beton di serat atas plat.	$f_{ca} =$	-260 kPa	-396 kPa	-656 kPa
Tegangan beton di serat bawah plat,	$f'_{ca} =$	-56 kPa	-207 kPa	-264 kPa
Tegangan beton di serat bawah balok,	$f_{cb} =$	2083 kPa	-1771 kPa	312 kPa

7.4. TEGANGAN AKIBAT PRATEGANG (PR)

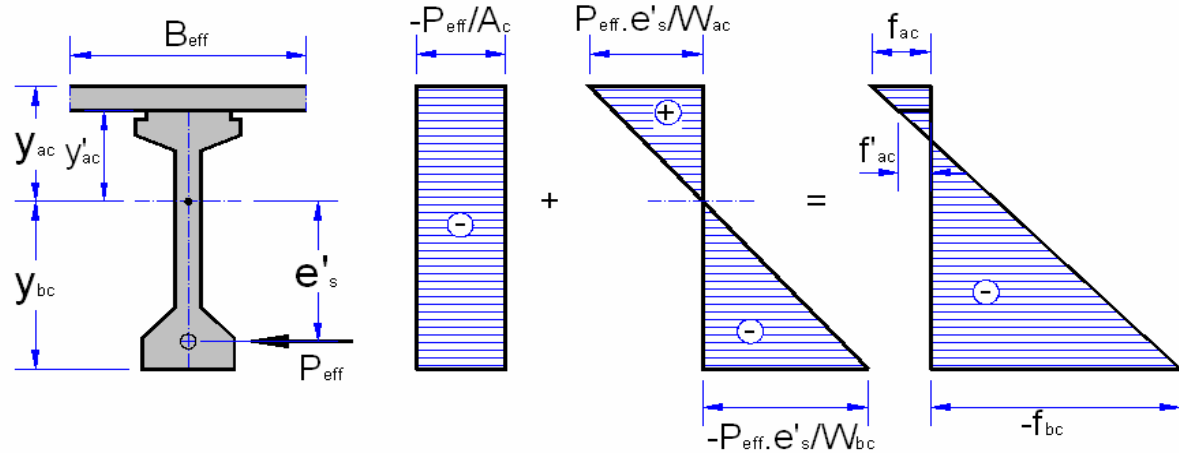
Gaya prategang efektif,

$$P_{\text{eff}} = 7218.71 \text{ kN}$$

Eksentrisitas,

$$e'_s = 1.159 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_c &= 0.98900 \text{ m}^2 \\ W_{ac} &= 0.66644 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 0.83228 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0.51602 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

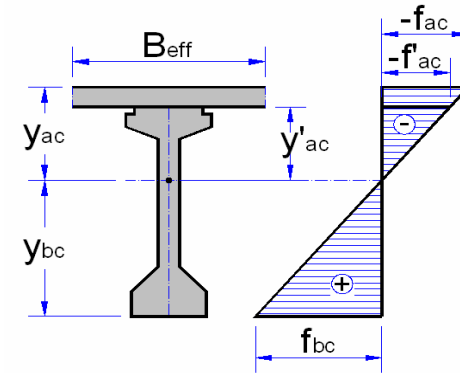


Tegangan beton di serat atas plat.	$f_{ac} = - P_{\text{eff}} / A_c + P_{\text{eff}} * e'_s / W_{ac} =$	5253	kPa
Tegangan beton di serat atas balok,	$f'_{ac} = - P_{\text{eff}} / A_c + P_{\text{eff}} * e'_s / W'_{ac} =$	2752	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok,	$f_{bc} = - P_{\text{eff}} / A_c - P_{\text{eff}} * e'_s / W_{bc} =$	-23510	kPa

7.5. TEGANGAN AKIBAT BEBAN LAJUR "D" (TD)

Momen balok akibat beban lajur "D",

$M_{TD} =$	3628.80	kNm
$W_{ac} =$	0.66644	m ³
$W'_{ac} =$	0.83228	m ³
$W_{bc} =$	0.51602	m ³

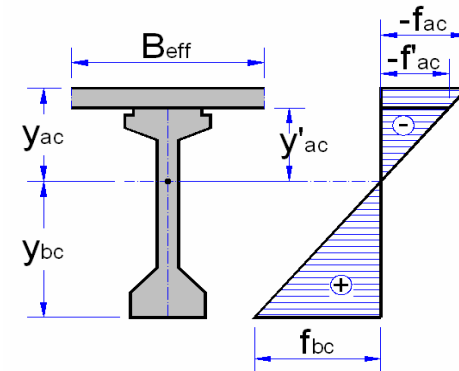


Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = - M_{TD} / W_{ac} =$	-5445	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = - M_{TD} / W'_{ac} =$	-4360	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = M_{TD} / W_{bc} =$	7032	kPa

7.6. TEGANGAN AKIBAT GAYA REM (TB)

Momen balok akibat gaya rem :

$M_{TB} =$	52.75	kNm
$W_{ac} =$	0.66644	m ³
$W'_{ac} =$	0.83228	m ³
$W_{bc} =$	0.51602	m ³

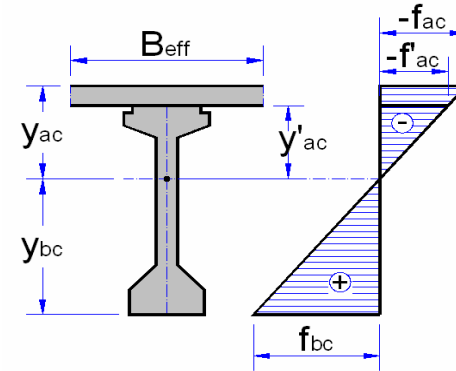


Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = - M_{TB} / W_{ac} =$	-79	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = - M_{TB} / W'_{ac} =$	-63	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = M_{TB} / W_{bc} =$	102	kPa

7.7. TEGANGAN AKIBAT BEBAN ANGIN (EW)

Momen balok akibat beban angin :

$M_{EW} =$	201.60	kNm
$W_{ac} =$	0.66644	m ³
$W'_{ac} =$	0.83228	m ³
$W_{bc} =$	0.51602	m ³

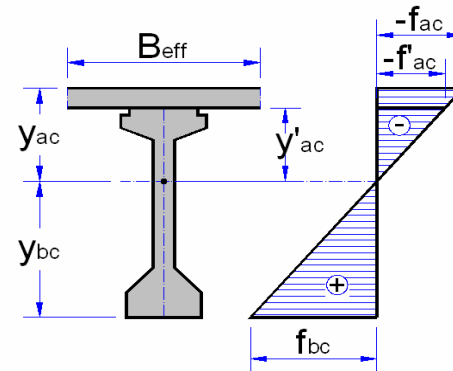


Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = - M_{EW} / W_{ac} =$	-303	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = - M_{EW} / W'_{ac} =$	-242	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = M_{EW} / W_{bc} =$	391	kPa

7.8. TEGANGAN AKIBAT BEBAN GEMPA (EQ)

Momen balok akibat beban gempa :

$M_{EQ} =$	778.68	kNm
$W_{ac} =$	0.66644	m ³
$W'_{ac} =$	0.83228	m ³
$W_{bc} =$	0.51602	m ³



Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ac} = - M_{EQ} / W_{ac} =$	-1168	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ac} = - M_{EQ} / W'_{ac} =$	-936	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{bc} = M_{EQ} / W_{bc} =$	1509	kPa

7.9. TEGANGAN AKIBAT PENGARUH TEMPERATUR (ET)

Gaya internal akibat perbedaan temperatur :

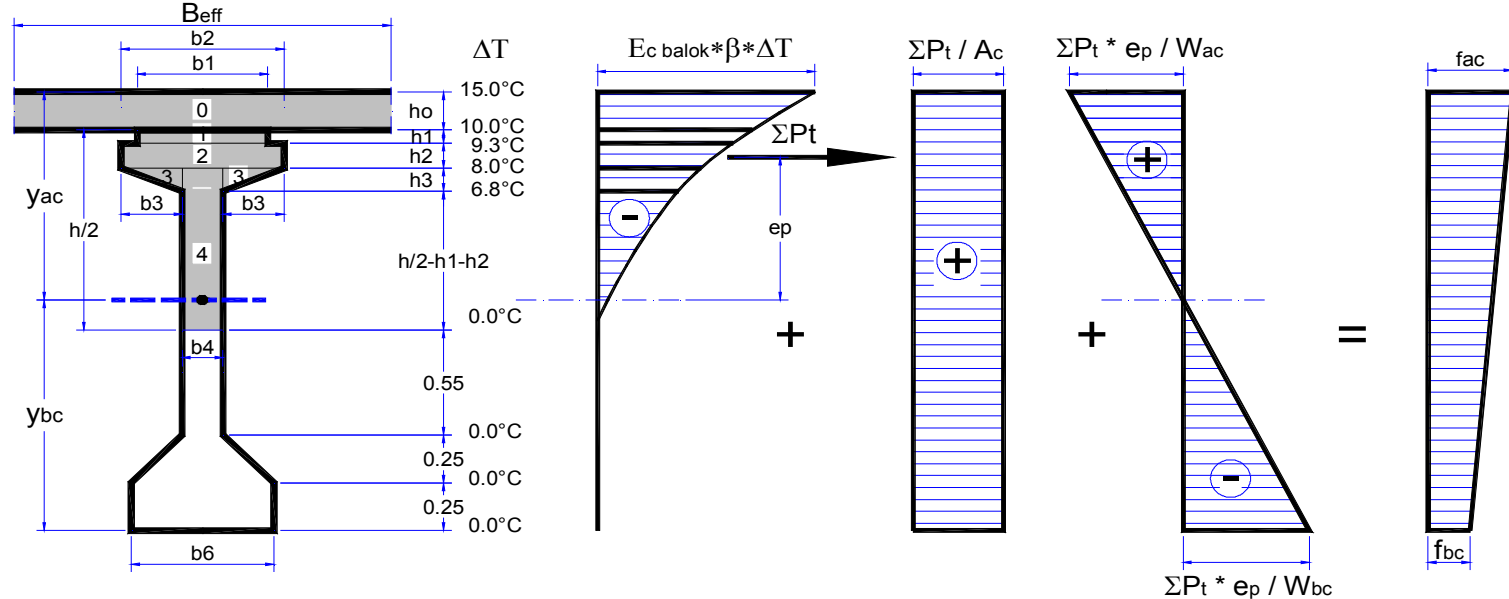
Perbedaan temperatur,	$\Delta T =$	15	°C
Modulus elastis balok,	$E_{\text{balok}} =$	2.3E+07	kPa
Koefisien muai,	$\beta =$	1.1E-05	/ °C

$$P_t = A_t * E_{\text{balok}} * \beta * (T_a + T_b) / 2$$

A_t = Luas tampang yang ditinjau

T_a = Perbedaan temperatur gradien bagian atas

T_b = Perbedaan temperatur gradien bagian bawah



$A_c =$	0.98900	m ²
$y_{ac} =$	1.004	m
$y_{bc} =$	1.296	m

$W_{ac} =$	0.66644	m ³
$W'_{ac} =$	0.83228	m ³
$W_{bc} =$	0.51602	m ³

$B_{\text{eff}} =$	1.183	m
$h =$	2.10	m
$h'_4 =$	0.85	m

MOMEN AKIBAT TEMPERATUR

No	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas At (m ²)	Temperatur		(T _a +T _b)/2 (°C)	Gaya P _t (kg)	Lengan terhadap titik berat penampang balok komposit	Z _i (m)	Momen M _{pt} (kg-cm)
				atas T _a (°C)	bawah T _b (°C)					
0	1.18	0.20	0.2367	15.0	10.0	12.50	763.30	z ₀ = y _{ac} -h _o /2	0.90	689.806
1	0.64	0.07	0.0448	10.0	9.3	9.65	111.53	z ₁ = y _{ac} -h _o -h ₁ /2	0.768711	85.735
2	0.80	0.13	0.1040	9.3	8.0	8.65	232.08	z ₂ = y _{ac} -h _o -h ₁ -h ₂ /2	0.67	155.195
3	0.30	0.12	0.0360	8.0	6.8	7.40	68.73	z ₃ = y _{ac} -h _o -h ₁ -h ₂ -h ₃ /3	0.56	38.742
4	0.20	0.85	0.1700	8.0	0.0	4.00	175.43	z ₄ = y _{ac} -h _o -h ₁ -h ₂ -h' ₄ /2	0.18	31.351
$\Sigma P_t =$							1351.07	kN	$\Sigma M_{pt} =$	1000.829

Eksentrisitas, $e_p = \Sigma M_{pt} / \Sigma P_t = 0.741$ m

Tegangan yang terjadi akibat perbedaan temperatur :

Tegangan beton di serat atas plat :	$f_{ca} = - E_{balok} * \beta * \Delta T + \Sigma P_t / A_c + \Sigma P_t * e_p / W_{ac} =$	-1002	kPa
Tegangan beton di serat atas balok :	$f'_{ca} = - E_{balok} * \beta * \Delta T + \Sigma P_t / A_c + \Sigma P_t * e_p / W'_{ac} =$	-1301	kPa
Tegangan beton di serat bawah balok :	$f_{cb} = \Sigma P_t / A_c - \Sigma P_t * e_p / W_{bc} =$	-573	kPa

8. KONTROL TEGANGAN TERHADAP KOMBINASI PEMBEBANAN

Mutu Beton : K - 500

Kuat tekan beton, $f'_c = 0.83 \cdot K \cdot 100 = 41500$ kPa

Tegangan ijin tekan beton : $F'_c = -0.45 \cdot f'_c = -18675$ kPa

Tegangan ijin tarik beton : $F_c = 0.50 \cdot \sqrt{f'_c} = 102$ kPa

KOMBINASI PEMBEBANAN UNTUK TEGANGAN IJIN

Aksi / Beban	Simbol	KOMBINASI PEMBEBANAN				
		1	2	3	4	5
A. Aksi Tetap						
Berat sendiri	MS	√	√	√	√	√
Beban Mati Tambahan	MA	√	√	√	√	√
Susut dan Rangkak	SR	√	√	√	√	√
Prategang	PR	√	√	√	√	√
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	TD	√	√	√	√	
Gaya Rem	TB	√	√	√	√	
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	ET		√		√	
Beban Angin	EW			√	√	
Beban Gempa	EQ					√

8.1. KONTROL TEGANGAN TERHADAP KOMBINASI - 1

Tegangan ijin beton untuk KOMBINASI - 1 Tegangan ijin tekan : $F_c' = -0.45 * f_c' = -18675$ kPa
 Tegangan ijin tarik : $F_c = 0.50 * \sqrt{f_c'} = 102$ kPa

Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban

Teg	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	TEGANGAN KOMB	Keterangan
f_{ac}	-10231	-1453	-656	5253	-5445	-79				-12611	< F_c' (AMAN)
f'_{ac}	-8192	-1164	-264	2752	-4360	-63				-11291	< F_c' (AMAN)
f_{bc}	13213	1877	312	-23510	7032	102				-973	< F_c (AMAN)

Tegangan beton di serat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental aman (OK)

8.2. KONTROL TEGANGAN TERHADAP KOMBINASI - 2

Tegangan ijin beton untuk KOMBINASI - 2 Tegangan ijin tekan : $F_c' = -0.45 * f_c' = -18675$ kPa
 Tegangan ijin tarik : $F_c = 0.50 * \sqrt{f_c'} = 102$ kPa

Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban

Teg	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	TEGANGAN KOMB	Keterangan
f_{ac}	-10231	-1453	-656	5253	-5445	-79	-1002			-13613	< F_c' (AMAN)
f'_{ac}	-8192	-1164	-264	2752	-4360	-63	-1301			-12593	< F_c' (AMAN)
f_{bc}	13213	1877	312	-23510	7032	102	-573			-1546	< F_c (AMAN)

Tegangan beton di serat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental aman (OK)

8.3. KONTROL TEGANGAN TERHADAP KOMBINASI - 3

Tegangan ijin beton untuk KOMBINASI - 3 Tegangan ijin tekan : $F_c' = -0.45 * f_c' = -18675$ kPa
 Tegangan ijin tarik : $F_c = 0.50 * \sqrt{f_c'} = 102$ kPa

Tegangan pada beton (kPa) yang terjadi akibat beban

Teg	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	TEGANGAN KOMB	Keterangan
f_{ac}	-10231	-1453	-656	5253	-5445	-79		-303		-12914	< F_c' (AMAN)
f'_{ac}	-8192	-1164	-264	2752	-4360	-63		-242		-11534	< F_c' (AMAN)
f_{bc}	13213	1877	312	-23510	7032	102		391		-582	< F_c' (AMAN)

Tegangan beton di serat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental aman (OK)

8.4. KONTROL TEGANGAN TERHADAP KOMBINASI - 4

Tegangan ijin beton untuk KOMBINASI - 4 Tegangan ijin tekan : $F_c' = -0.45 * f_c' = -18675$ kPa
 Tegangan ijin tarik : $F_c = 0.50 * \sqrt{f_c'} = 102$ kPa

Tegangan pada beton (kPa) yang terjadi akibat beban

Teg	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	TEGANGAN KOMB	Keterangan
f_{ac}	-10231	-1453	-656	5253	-5445	-79	-1002	-303		-13916	< F_c' (AMAN)
f'_{ac}	-8192	-1164	-264	2752	-4360	-63	-1301	-242		-12835	< F_c' (AMAN)
f_{bc}	13213	1877	312	-23510	7032	102	-573	391		-1155	< F_c' (AMAN)

Tegangan beton di serat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental aman (OK)

8.5. KONTROL TEGANGAN TERHADAP KOMBINASI - 5

Tegangan ijin beton untuk KOMBINASI - 5 Tegangan ijin tekan : $F_c' = - 0.45 * f_c' = -18675$ kPa
 Tegangan ijin tarik : $F_c = 0.50 * \sqrt{f_c'} = 102$ kPa

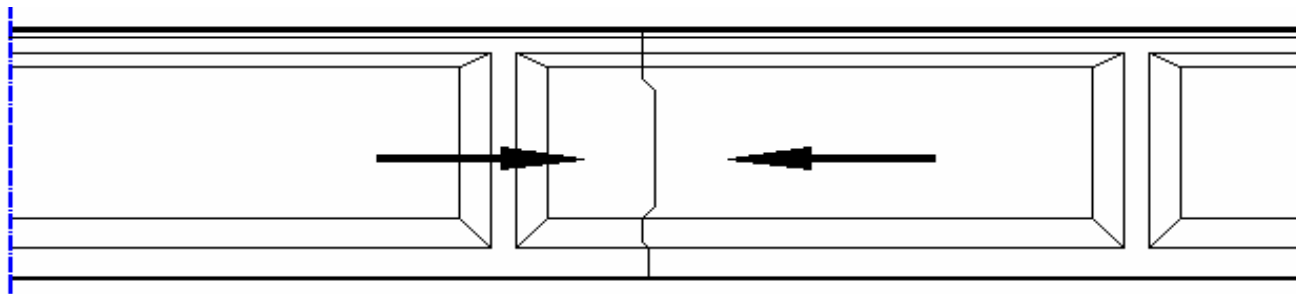
Tegangan pada beton (kPa) yang terjadi akibat beban

Teg	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	TEGANGAN KOMB	Keterangan
f_{ac}	-10231	-1453	-656	5253					-1168	-8256	< F_c' (AMAN)
f'_{ac}	-8192	-1164	-264	2752					-936	-7804	< F_c' (AMAN)
f_{bc}	13213	1877	312	-23510					1509	-6598	< F_c' (AMAN)

Tegangan beton di serat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental aman (OK)

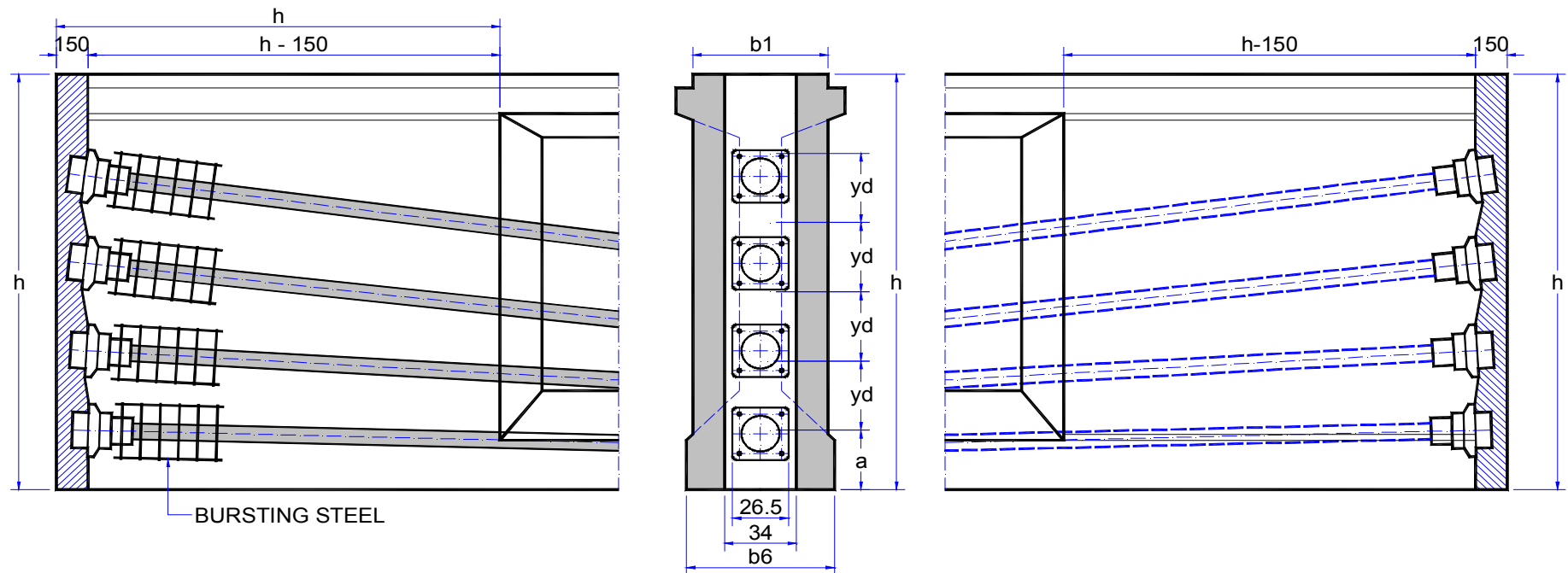
Kesimpulan :

Untuk berbagai kombinasi beban tidak terjadi tegangan tarik pada balok prategang, sehingga sistim sambungan segmental pada balok cukup menggunakan resin (*epoxy*) tanpa angkur.



Sambungan tekan pada segmental

9. PEMBESIAN END BLOCK



Gaya prategang akibat jacking pada masing-masing cable :

$$P_j = p_o * n_s * P_{bs}$$

NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		n_s (STRAND)	P_{bs} (kN)	p_o	P_j (kN)	Sudut (.. °)
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)					
1	19	265	19	250	17	187.32	76.925%	2449.64	7.418
2	19	265	19	250	18	187.32	76.925%	2593.74	6.002
3	19	265	19	250	19	187.32	76.925%	2737.83	3.723
4	19	265	19	250	19	187.32	76.925%	2737.83	1.432

MOMEN STATIS PENAMPANG BALOK

Letak titik berat : $y_a = 1.088 \text{ m}$

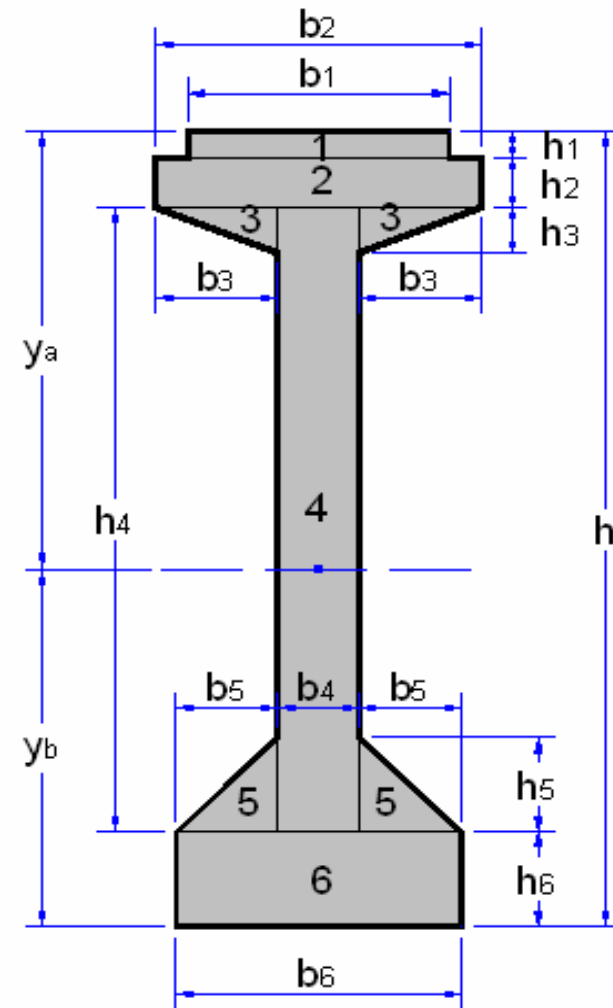
$y_b = 1.012 \text{ m}$

Momen Statis Luasan Bagian Atas (S_{xa})

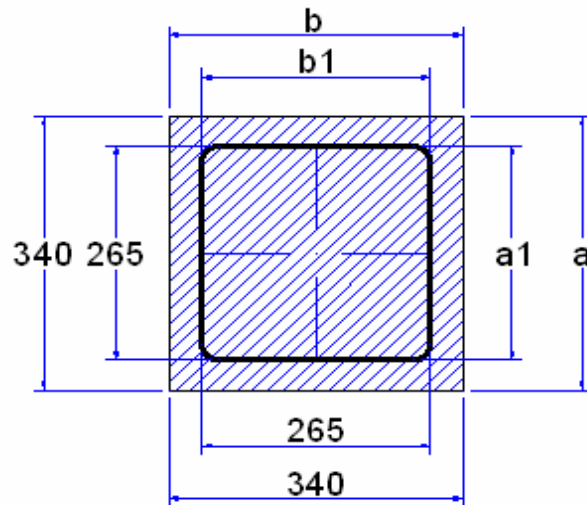
No	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Shape	Luas A (m ²)	Lengan y (m)	Momen A*y (m ³)
1	0.64	0.07	1	0.04480	1.053	0.04718
2	0.80	0.13	1	0.10400	0.953	0.09912
3	0.30	0.12	1	0.03600	0.848	0.03053
4	0.20	0.89	1	0.17761	0.444	0.07886
$S_{xa} =$						0.25569

Momen Statis Luasan Bagian Bawah (S_{xb})

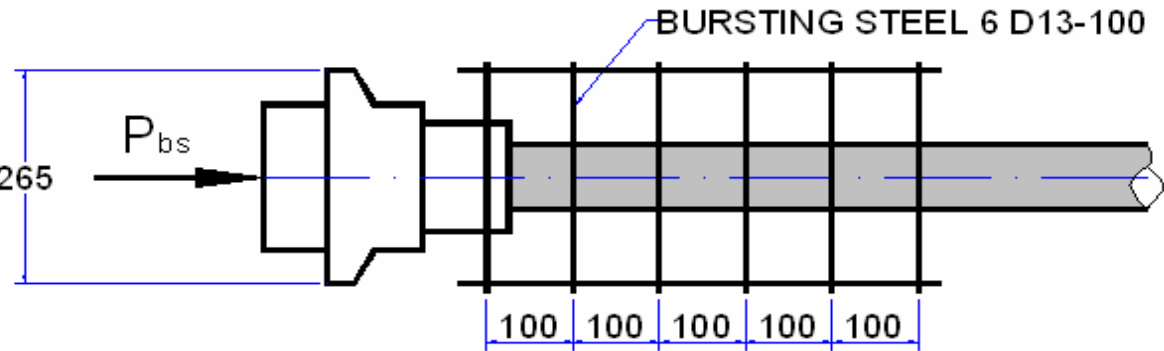
No	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Shape	Luas A (m ²)	Lengan y (m)	Momen A*y (m ³)
4	0.20	0.76	1	0.15239	0.381	0.05806
5	0.25	0.25	1	0.06250	0.679	0.04241
6	0.70	0.25	1	0.17500	0.887	0.15522
$S_{xb} =$						0.25569



9.1. PERHITUNGAN SENKANG UNTUK BURSTING FORCE



PLAT ANGKUR



SENKANG UNTUK BURSTING FORCE

Rasio perbandingan lebar plat ankur untuk sengkang arah vertikal :

Rasio perbandingan lebar plat ankur untuk sengkang arah horisontal :

Bursting force untuk sengkang arah vertikal :

Bursting force untuk sengkang arah horisontal :

Luas tulangan sengkang arah vertikal yang diperlukan :

Luas tulangan sengkang arah horisontal yang diperlukan :

f_s = tegangan ijin tarik baja sengkang

Tegangan leleh baja sengkang :

Tegangan ijin baja sengkang :

Digunakan sengkang tertutup berdiameter :

2 D 13 mm

$r_a = a_1 / a$
$r_b = b_1 / b$
$P_{bta} = 0.30 * (1 - r_a) * P_j$
$P_{btb} = 0.30 * (1 - r_b) * P_j$
$A_{ra} = P_{bta} / (0.85 * f_s)$
$A_{rb} = P_{btb} / (0.85 * f_s)$

Untuk mutu baja sengkang :

U - 32

$$f_y = \frac{320000}{\text{mm}^2} \text{ kPa}$$

$$f_s = 0.578 * f_y = \frac{184960}{\text{mm}^2} \text{ kPa}$$

Luas penampang sengkang : $A_s = 2 * \pi / 4 * D^2 = 265.465 \text{ mm}^2 = 0.0002655 \text{ m}^2$

Jumlah sengkang arah vertikal yang diperlukan :

$$n = A_{ra} / A_s$$

Jumlah sengkang arah horisontal yang diperlukan :

$$n = A_{rb} / A_s$$

PERHITUNGAN SENGKANG ARAH VERTIKAL

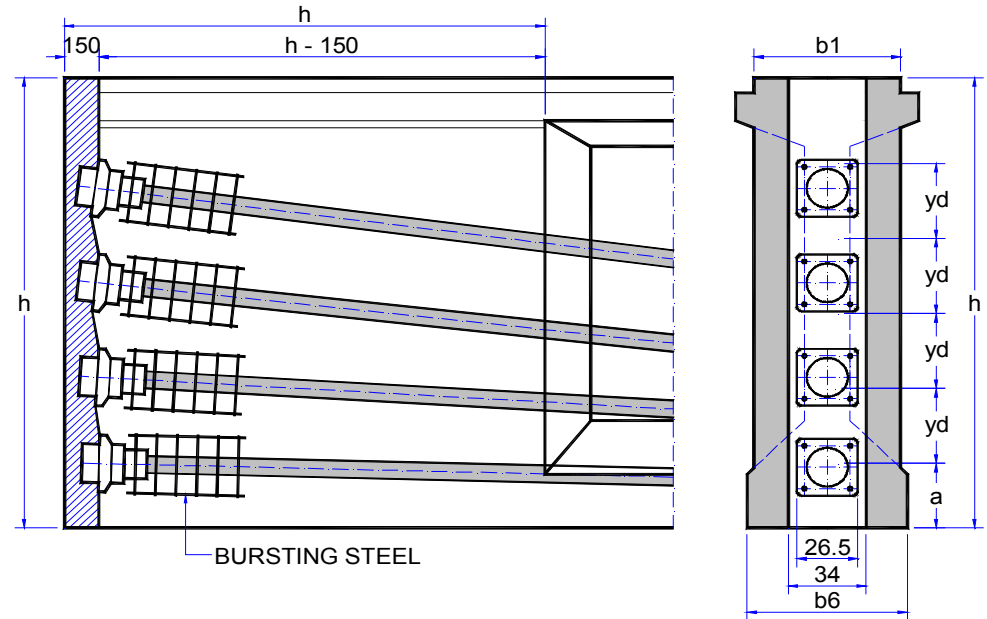
NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		P_j (kN)	a_1 (mm)	a (mm)	r_a	P_{bta} (kN)	A_{ra} (m ²)	Jumlah sengkang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	2449.64	250	340	0.735	213.98	0.001361	5.13
2	19	265	19	250	2593.74	250	340	0.735	226.57	0.001441	5.43
3	19	265	19	250	2737.83	250	340	0.735	239.16	0.001521	5.73
4	19	265	19	250	2737.83	250	340	0.735	239.16	0.001521	5.73

PERHITUNGAN SENGKANG ARAH HORIZONTAL

NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		P_j (kN)	b_1 (mm)	b (mm)	r_a	P_{bta} (kN)	A_{ra} (m ²)	Jumlah sengkang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	2449.64	250	340	0.735	213.98	0.001361	5.13
2	19	265	19	250	2593.74	250	340	0.735	226.57	0.001441	5.43
3	19	265	19	250	2737.83	250	340	0.735	239.16	0.001521	5.73
4	19	265	19	250	2737.83	250	340	0.735	239.16	0.001521	5.73

9.2. JUMLAH SENGKANG YANG DIGUNAKAN UNTUK BURSTING FORCE

NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Jumlah sengkang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)	
1	19	265	19	250	6
2	19	265	19	250	6
3	19	265	19	250	6
4	19	265	19	250	6
5	19	265	19	250	6



9.3. TINJAUAN TERHADAP GESER

V = gaya geser akibat beban

M = momen akibat beban

Eksentrisitas tendon :

$$e = Y = 4 * f * X / L^2 * (L - X)$$

Sudut kemiringan tendon :

$$\alpha = \text{ATAN} [4 * f * (L - 2 * X) / L^2]$$

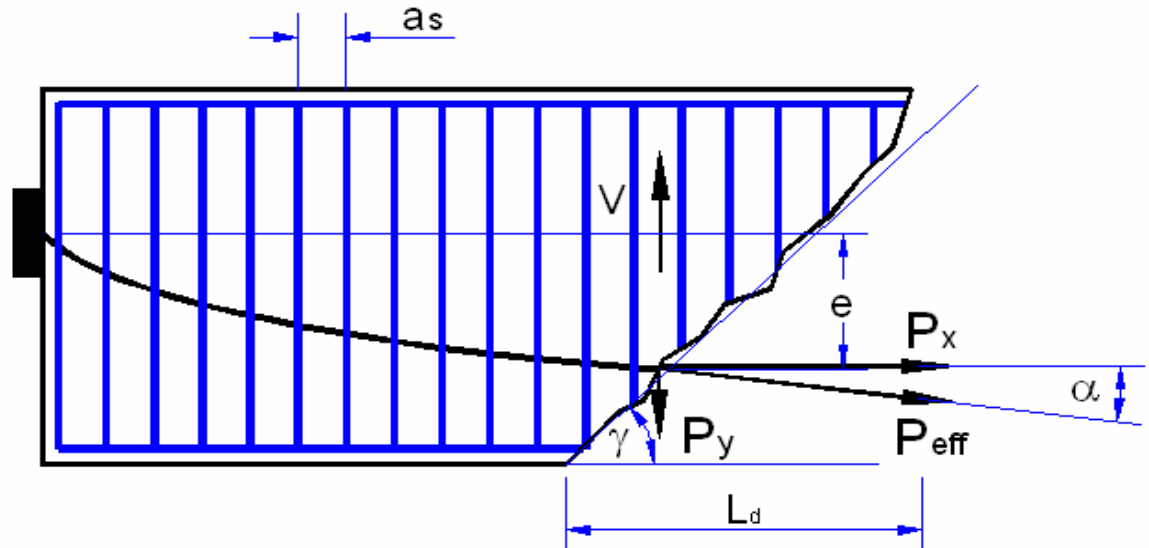
Komponen gaya arah x $P_x = P_{\text{eff}} * \cos \alpha$

Komponen gaya arah y $P_y = P_{\text{eff}} * \sin \alpha$

Resultan gaya geser, $V_r = V - P_y$

Tegangan geser yang terjadi :

$$f_v = V_r * S_x / (b * I_x)$$



Untuk tinjauan geser di atas garis netral :

Tegangan beton di serat atas :

Sudut bidang geser,

Jarak sengkang yang diperlukan,

Tegangan beton di serat bawah :

Sudut bidang geser,

Jarak sengkang yang diperlukan,

A_t = luas tulangan geser,

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berdiameter D

13

$$A_t = \pi / 4 * D^2 = 132.73229 \text{ mm}^2$$

RESUME PERSAMAAN UNTUK TINJAUAN GESER

Persamaan (1) :	$e = 4 * f * X / L^2 * (L - X)$
Persamaan (2) :	$\alpha = \text{ATAN} [4 * f * (L - 2 * X) / L^2]$
Persamaan (3) :	$P_x = P_{\text{eff}} * \cos \alpha$
Persamaan (4) :	$P_y = P_{\text{eff}} * \sin \alpha$
Persamaan (5) :	$V_r = V - P_y$
Persamaan (6) :	$f_v = V_r * S_x / (b * l_x)$
Persamaan (7) :	$f_a = - P_x / A + P_x * e / W_a - M / W_a$
Persamaan (8) :	$\gamma = 1/2 * [\text{ATAN} (2 * f_v / f_a)]$
Persamaan (9) :	$a_s = f_a * A_t / (f_v * b * \tan \gamma)$
atau	
Persamaan (7') :	$f_b = - P_x / A + P_x * e / W_b - M / W_b$
Persamaan (8') :	$\gamma = 1/2 * [\text{ATAN} (2 * f_v / f_b)]$
Persamaan (9') :	$a_s = f_b * A_t / (f_v * b * \tan \gamma)$

$A_t =$	0.000133	m ²
$f =$	0.8744505	m
$L =$	40	m
$P_{\text{eff}} =$	7218.71	kN
$b =$	0.30	m
$A =$	0.752300	m ²
$l_x =$	0.413988	m ⁴
$S_x =$	0.255687	m ³
$W_a =$	0.380486	m ³
$W_b =$	0.409099	m ³

9.3.1. TINJAUAN GESER DI ATAS GARIS NETRAL

X (m)	KOMBINASI - III		Pers.(1)	Pers.(2)	Pers.(3)	Pers.(4)	Pers.(5)	Pers.(6)	Pers.(7)	Pers.(8)	Pers.(9)
	Momen M (kNm)	Geser V (kN)	e (m)	α (rad)	P_x (kN)	P_y (kN)	V_r (kN)	f_v (kPa)	f_a (kPa)	γ (rad)	a_s (m)
0	0.0	1108.92	0.00000	0.08722	7191	629	480	988.35	-9559	-0.1020	0.0418
1	1082.6	1056.38	0.08526	0.08288	7194	598	459	944.46	-10796	-0.0866	0.0583
2	2112.8	1003.83	0.16615	0.07854	7196	566	437	900.63	-11976	-0.0746	0.0787
3	3090.3	951.29	0.24266	0.07419	7199	535	416	856.87	-13100	-0.0650	0.1039
4	4015.3	898.75	0.31480	0.06984	7201	504	395	813.18	-14167	-0.0571	0.1347
5	4887.8	846.21	0.38257	0.06549	7203	472	374	769.54	-15178	-0.0505	0.1726
6	5707.8	793.67	0.44597	0.06114	7205	441	353	725.96	-16134	-0.0449	0.2190
7	6475.1	741.12	0.50500	0.05678	7207	410	331	682.43	-17033	-0.0400	0.2761
8	7190.0	688.58	0.55965	0.05242	7209	378	310	638.94	-17876	-0.0357	0.3468
9	7852.3	636.04	0.60993	0.04806	7210	347	289	595.51	-18664	-0.0319	0.4350
10	8462.1	583.50	0.65584	0.04369	7212	315	268	552.11	-19396	-0.0284	0.5465
11	9019.3	530.96	0.69737	0.03933	7213	284	247	508.75	-20072	-0.0253	0.6892
12	9524.0	478.41	0.73454	0.03496	7214	252	226	465.42	-20693	-0.0225	0.8751
13	9976.1	425.87	0.76733	0.03060	7215	221	205	422.12	-21259	-0.0198	1.1226
14	10375.7	373.33	0.79575	0.02623	7216	189	184	378.85	-21770	-0.0174	1.4614
15	10722.8	320.79	0.81980	0.02186	7217	158	163	335.60	-22225	-0.0151	1.9409
16	11017.3	268.25	0.83947	0.01749	7218	126	142	292.37	-22626	-0.0129	2.6500
17	11259.3	215.70	0.85478	0.01312	7218	95	121	249.16	-22971	-0.0108	3.7610
18	11448.7	163.16	0.86571	0.00874	7218	63	100	205.96	-23261	-0.0089	5.6442
19	11585.6	110.62	0.87226	0.00437	7219	32	79	162.76	-23496	-0.0069	9.2211

20	11670.0	58.08	0.87445	0.00000	7219	0	58	119.57	-23676	-0.0050	17.3492
----	---------	-------	---------	---------	------	---	----	--------	--------	---------	---------

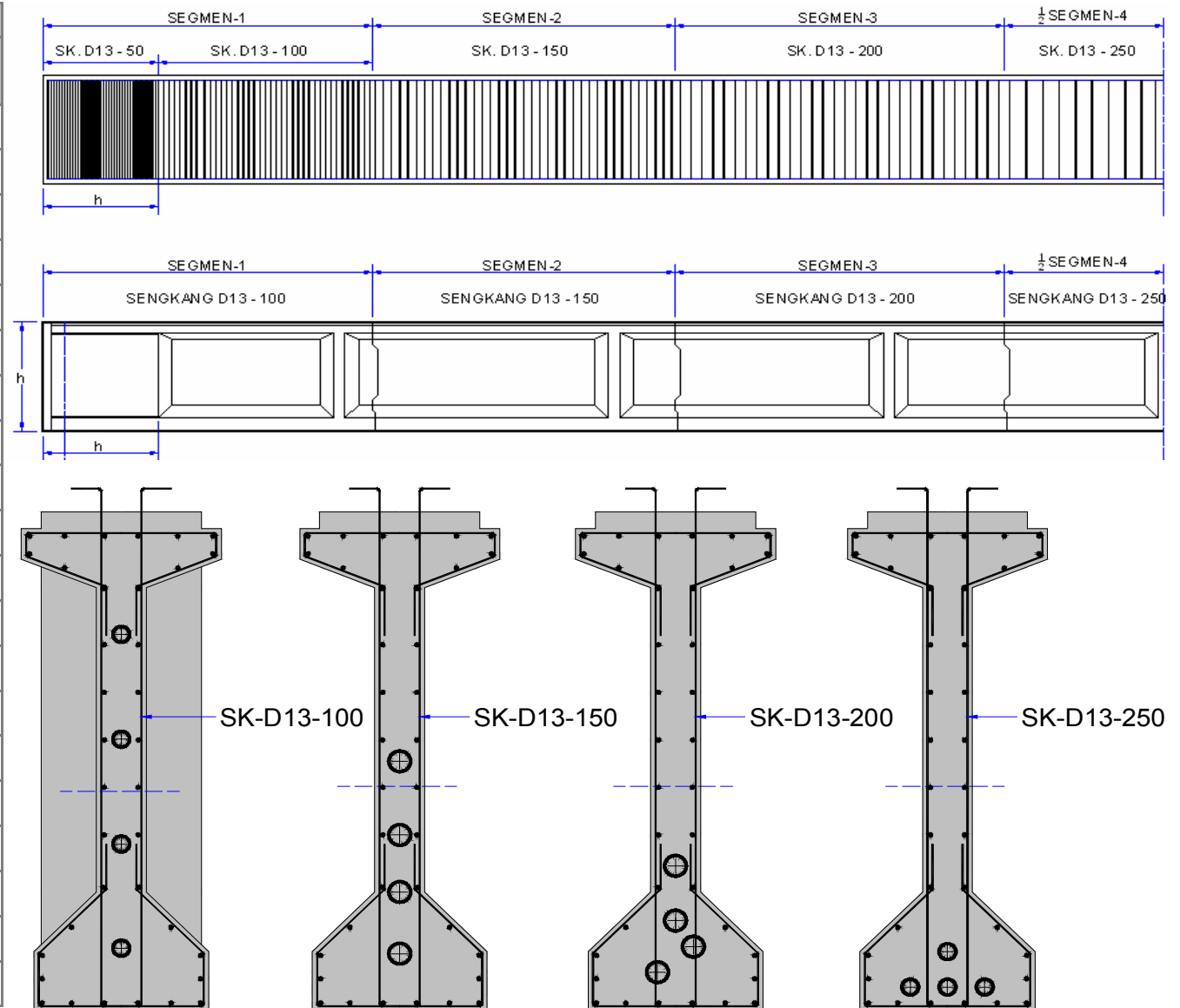
9.3.2. TINJAUAN GESER DI BAWAH GARIS NETRAL

X (m)	KOMBINASI - III		Pers.(1) e (m)	Pers.(2) α (rad)	Pers.(3) P_x (kN)	Pers.(4) P_y (kN)	Pers.(5) V_r (kN)	Pers.(6) t_v (kPa)	Pers.(7') t_b (kPa)	Pers.(8') γ (rad)	Pers.(9') a_s (m)
	Momen M (kNm)	Geser V (kN)									
0	0.0	1108.92	0.00000	0.08722	7191	629	480	988.35	-9559	-0.1020	0.0418
1	1082.6	1056.38	0.08526	0.08288	7194	598	459	944.46	-10710	-0.0873	0.0573
2	2112.8	1003.83	0.16615	0.07854	7196	566	437	900.63	-11808	-0.0757	0.0765
3	3090.3	951.29	0.24266	0.07419	7199	535	416	856.87	-12853	-0.0663	0.1000
4	4015.3	898.75	0.31480	0.06984	7201	504	395	813.18	-13846	-0.0585	0.1287
5	4887.8	846.21	0.38257	0.06549	7203	472	374	769.54	-14787	-0.0519	0.1638
6	5707.8	793.67	0.44597	0.06114	7205	441	353	725.96	-15675	-0.0462	0.2067
7	6475.1	741.12	0.50500	0.05678	7207	410	331	682.43	-16511	-0.0412	0.2594
8	7190.0	688.58	0.55965	0.05242	7209	378	310	638.94	-17296	-0.0369	0.3246
9	7852.3	636.04	0.60993	0.04806	7210	347	289	595.51	-18029	-0.0330	0.4060
10	8462.1	583.50	0.65584	0.04369	7212	315	268	552.11	-18710	-0.0295	0.5085
11	9019.3	530.96	0.69737	0.03933	7213	284	247	508.75	-19339	-0.0263	0.6398
12	9524.0	478.41	0.73454	0.03496	7214	252	226	465.42	-19917	-0.0234	0.8107
13	9976.1	425.87	0.76733	0.03060	7215	221	205	422.12	-20443	-0.0206	1.0381
14	10375.7	373.33	0.79575	0.02623	7216	189	184	378.85	-20918	-0.0181	1.3493
15	10722.8	320.79	0.81980	0.02186	7217	158	163	335.60	-21342	-0.0157	1.7897
16	11017.3	268.25	0.83947	0.01749	7218	126	142	292.37	-21714	-0.0135	2.4409
17	11259.3	215.70	0.85478	0.01312	7218	95	121	249.16	-22035	-0.0113	3.4609
18	11448.7	163.16	0.86571	0.00874	7218	63	100	205.96	-22305	-0.0092	5.1899
19	11585.6	110.62	0.87226	0.00437	7219	32	79	162.76	-22524	-0.0072	8.4738

20	11670.0	58.08	0.87445	0.00000	7219	0	58	119.57	-22692	-0.0053	15.9360
----	---------	-------	---------	---------	------	---	----	--------	--------	---------	---------

9.3.3. JARAK SENGKANG YANG DIGUNAKAN

X (m)	Jarak sengkang D13		
	Tinjauan geser-1	Tinjauan geser-2	Jarak yg diambil
0	42	42	50
1	58	57	50
2	79	76	50
3	104	100	100
4	135	129	100
5	173	164	150
6	219	207	150
7	276	259	150
8	347	325	150
9	435	406	150
10	546	509	200
11	689	640	200
12	875	811	200
13	1123	1038	200
14	1461	1349	200
15	1941	1790	250
16	2650	2441	350
17	3761	3461	250
18	5644	5190	250
19	9221	8474	250



10. PERHITUNGAN PENGHUBUNG GESER (SHEAR CONECTOR)

Tegangan geser horisontal akibat gaya lintang pada penampang yang ditinjau dihitung dengan rumus :

$$f_v = V_i * S_x / (b_v * I_{xc})$$

V_i = gaya lintang pada penampang yang ditinjau

S_x = momen statis luasan plat terhadap titik berat penampang komposit

$$S_x = b_{eff} * h_o * (y_{ac} - h_o / 2)$$

b_v = lebar bidang gesek (= lebar bidang kontak antara plat dan balok)

b_{eff} = lebar efektif plat

h_o = tebal plat

I_{xc} = Inersia penampang balok komposit

Luas total shear conector,

$$A_{st} = n_s * A_s$$

n_s = jumlah shear conector

A_s = luas satu shear conector

Jarak antara shear conector, dihitung dengan rumus :

$$a_s = f_s * A_{st} * k_t / (f_v * b_v)$$

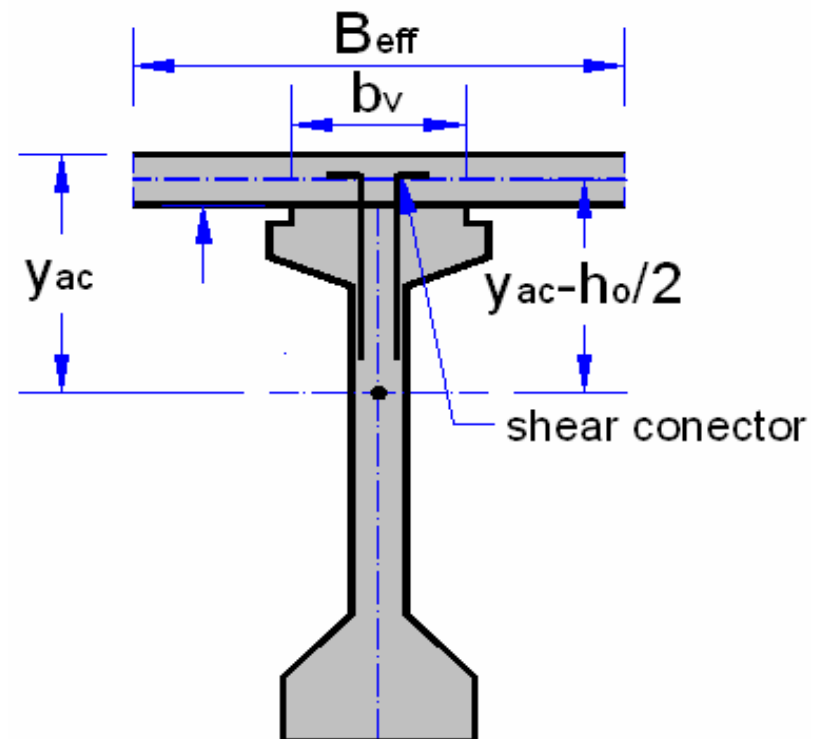
k_f = koefisien gesek pada bidang kontak (= 1 - 1.4)

f_s = tegangan ijin baja shear conector

$$f_s = 0.578 * f_y$$

f_{ci} = tegangan ijin beton balok komposit

Jika $f_v > 0.2 * f_{ci}$ maka penampang harus diperbesar



Dimension :

$$b_{\text{eff}} = 1.18 \text{ m}$$

$$h_o = 0.20 \text{ m}$$

$$b_v = 0.64 \text{ m}$$

Section properties :

$$y_{\text{ac}} = 1.004 \text{ m}$$

$$I_{\text{xc}} = 0.66891 \text{ m}^4$$

Mutu Beton : K - 500

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

$$\text{Tegangan ijin beton, } f_{ci} = 0.30 \cdot f'_c = 12450 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan ijin geser, } f_{vi} = 0.20 \cdot f'_c = 2490 \text{ kPa}$$

Mutu Baja : U - 32

$$\text{Tegangan leleh : } f_y = U \cdot 10^4 = 320000 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan ijin : } f_s = 0.578 \cdot f_y = 184960 \text{ kPa}$$

$$k_f = 1$$

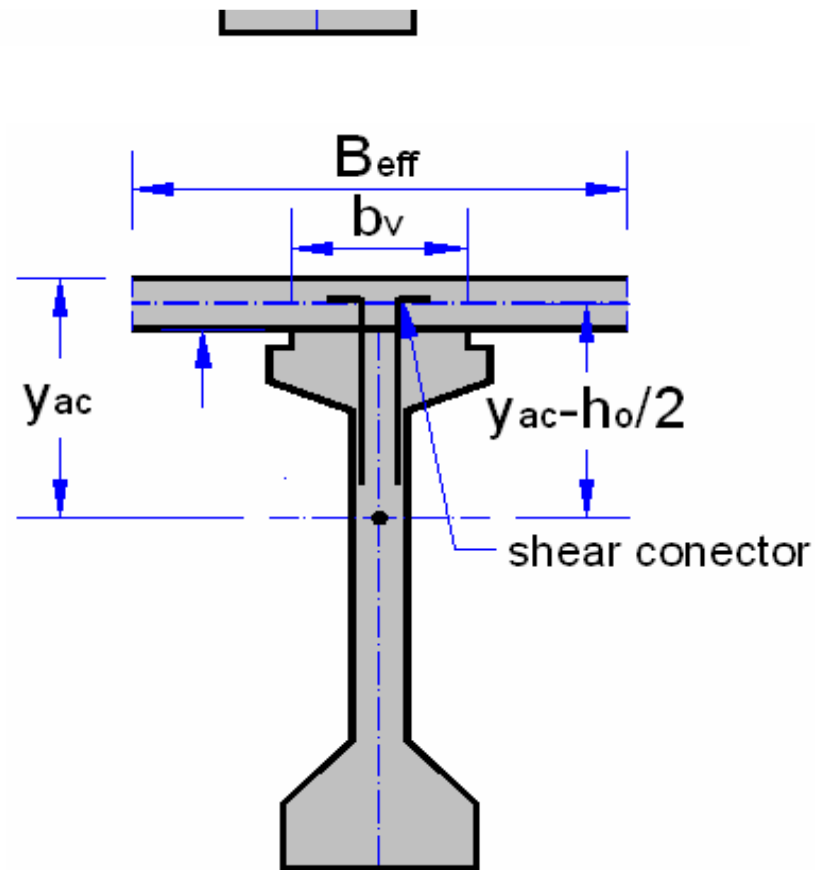
Untuk shear conector digunakan tulangan, D 13

Jumlah besi tulangan, $n_s = 2$

$$A_s = \pi / 4 \cdot D^2 = 0.00013 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = n_s \cdot A_s = 0.00027 \text{ m}^2$$

$$S_x = b_{\text{eff}} \cdot h_o \cdot (y_{\text{ac}} - h_o / 2) = 0.21391 \text{ m}^3$$



Perhitungan Jarak Shear Conector

X (cm)	KOMB-I V_i (kN)	KOMB-II V_i (kN)	KOMB-III V_i (kN)	KOMB-I f_v (kPa)	KOMB-II f_v (kPa)	KOMB-III f_v (kPa)	KONTROL $f_{vl} =$ 2490	KOMB-I a_s (m)	KOMB-II a_s (m)	KOMB-III a_s (m)	Diambil Jarak shear conect.(mm)
0	1088.76	1106.28	1108.92	544.01	552.77	554.09	< fvi (aman)	0.14	0.14	0.14	100
1	1037.22	1053.74	1056.38	518.26	526.52	527.83	< fvi (aman)	0.15	0.15	0.15	100
2	985.69	1001.20	1003.83	492.52	500.26	501.58	< fvi (aman)	0.16	0.15	0.15	100
3	934.16	948.65	951.29	466.77	474.01	475.33	< fvi (aman)	0.16	0.16	0.16	100
4	882.62	896.11	898.75	441.02	447.76	449.07	< fvi (aman)	0.17	0.17	0.17	100
5	831.09	843.57	846.21	415.27	421.50	422.82	< fvi (aman)	0.18	0.18	0.18	100
6	779.55	791.03	793.67	389.52	395.25	396.57	< fvi (aman)	0.20	0.19	0.19	150
7	728.02	738.49	741.12	363.77	369.00	370.31	< fvi (aman)	0.21	0.21	0.21	150
8	676.49	685.94	688.58	338.02	342.74	344.06	< fvi (aman)	0.23	0.22	0.22	150
9	624.95	633.40	636.04	312.27	316.49	317.81	< fvi (aman)	0.25	0.24	0.24	150
10	573.42	580.86	583.50	286.52	290.24	291.55	< fvi (aman)	0.27	0.26	0.26	150
11	521.88	528.32	530.96	260.77	263.98	265.30	< fvi (aman)	0.29	0.29	0.29	200
12	470.35	475.78	478.41	235.02	237.73	239.05	< fvi (aman)	0.33	0.32	0.32	200
13	418.82	423.23	425.87	209.27	211.48	212.79	< fvi (aman)	0.37	0.36	0.36	200
14	367.28	370.69	373.33	183.52	185.22	186.54	< fvi (aman)	0.42	0.41	0.41	200
15	315.75	318.15	320.79	157.77	158.97	160.29	< fvi (aman)	0.49	0.48	0.48	200
16	264.21	265.61	268.25	132.02	132.72	134.03	< fvi (aman)	0.58	0.58	0.57	250
17	212.68	213.07	215.70	106.27	106.46	107.78	< fvi (aman)	0.72	0.72	0.71	250
18	161.15	160.52	163.16	80.52	80.21	81.53	< fvi (aman)	0.95	0.96	0.94	250
19	109.61	107.98	110.62	54.77	53.95	55.27	< fvi (aman)	1.40	1.42	1.39	250
20	58.08	55.44	58.08	29.02	27.70	29.02	< fvi (aman)	2.64	2.77	2.64	250

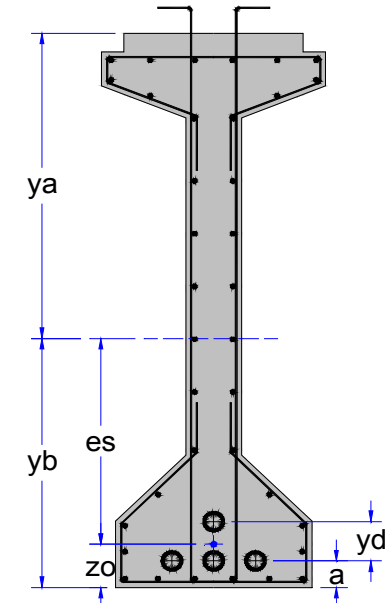
11. LENDUTAN BALOK

11.1. LENDUTAN PADA BALOK PRESTRESS (SEBELUM COMPOSIT)

$E_{\text{balok}} =$	3.6E+07	kPa
$I_x =$	0.413988	m ⁴
$L =$	40.00	m

11.1.1. LENDUTAN PADA KEADAAN AWAL (TRANSFER)

$P_{t1} =$	8451.3	kN	$e_s =$	0.87445	m
$M_{\text{balok}} =$	3837	kNm			
$Q_{pt1} = 8 * P_{t1} * e_s / L^2 =$		36.951	kN/m		
$Q_{\text{balok}} = 8 * M_{\text{balok}} / L^2 =$		19.184	kN/m		
$\delta = 5/384 * (-Q_{pt1} + Q_{\text{balok}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_x) =$					-0.040 m



ke atas < L/240 (OK)

11.1.2. LENDUTAN SETELAH LOSS OF PRESTRESS

$P_{\text{eff}} =$	7218.7	kN	$e_s =$	0.87445	m
$M_{\text{balok}} =$	3837	kNm			
$Q_{peff} = 8 * P_{\text{eff}} * e_s / L^2 =$		31.562	kN/m		
$Q_{\text{balok}} = 8 * M_{\text{balok}} / L^2 =$		19.184	kN/m		

$$\delta = 5/384 * (-Q_{peff} + Q_{balok}) * L^4 / (E_{balok} * I_x) = -0.028 \text{ m}$$

ke atas < L/240 (OK)

11.1.3. LENDUTAN SETELAH PLAT SELESAI DICOR (BETON MUDA)

$$P_{eff} = 7218.7 \text{ kN}$$

$$e_s = 0.87445 \text{ m}$$

$$M_{balok+plat} = 5636.73 \text{ kNm}$$

$$Q_{peff} = 8 * P_{eff} * e_s / L^2 = 31.562 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok+plat} = 8 * M_{balok+plat} / L^2 = 28.184 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 * (-Q_{peff} + Q_{balok+plat}) * L^4 / (E_{balok} * I_x) = -0.008 \text{ m}$$

ke atas < L/240 (OK)

11.1.4. LENDUTAN SETELAH PLAT DAN BALOK MENJADI KOMPOSIT

$$P_{eff} = 7218.7 \text{ kN}$$

$$e'_s = e_s + (y_{bc} - y_b) = 1.159 \text{ m}$$

$$M_{balok+plat} = 5636.73 \text{ kNm}$$

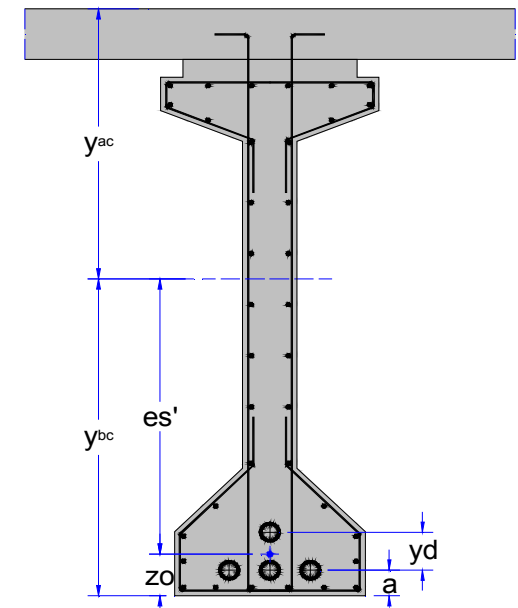
$$I_{xc} = 0.66891 \text{ m}^4$$

$$Q_{peff} = 8 * P_{eff} * e'_s / L^2 = 41.825 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok+plat} = 8 * M_{balok+plat} / L^2 = 28.184 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 * (-Q_{peff} + Q_{balok+plat}) * L^4 / (E_{balok} * I_{xc}) = -0.019 \text{ m}$$

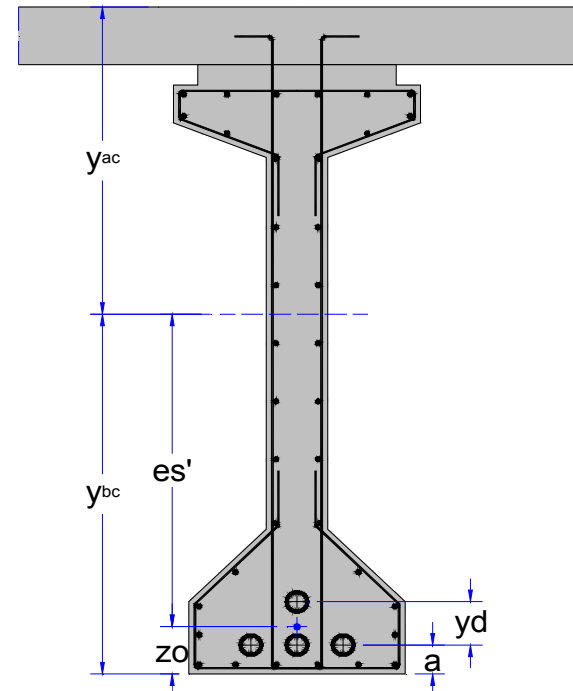
ke atas < L/240 (OK)



11.2. LENDUTAN PADA BALOK COMPOSIT

Section Properties :

$E_{\text{balok}} =$	3.6E+07	kPa
$I_{xc} =$	0.66891	m ⁴
$L =$	40.00	m
$P_{\text{eff}} =$	7218.7	kN
$e'_s =$	1.1588	m
$A_c =$	0.98900	m ²
$W_{ac} =$	0.66644	m ³
$W_{bc} =$	0.51602	m ³



11.2.1. LENDUTAN AKIBAT BERAT SENDIRI (MS)

$$Q_{TD} = 34.092 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 * Q_{TD} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{xc}) = 0.04763 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

11.2.2. LENDUTAN AKIBAT BEBAN MATI TAMBAHAN (MA)

$$Q_{MA} = 4.842 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 * Q_{MA} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{xc}) = 0.00676 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

11.2.3. LENDUTAN AKIBAT PRESTRESS (PR)

$$P_{\text{eff}} = 7218.7 \text{ kN}$$

$$e'_s = 0.87445 \text{ m}$$

$$Q_{\text{peff}} = 8 * P_{\text{eff}} * e_s / L^2 = 31.562 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 * (-Q_{\text{eff}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = -0.04409 \text{ m} \quad \text{ke atas}$$

11.2.4. LENDUTAN AKIBAT SUSUT DAN RANGKAK (SR)

a. Lendutan Akibat Susut (*Shrinkage*)

$$P_s = 753.99 \text{ kN} \quad e' = 0.904 \text{ m} \quad Q_{\text{ps}} = 8 * P_s * e' / L^2 = 3.407 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 * Q_{\text{ps}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00476 \text{ m}$$

b. Lendutan Akibat Rangkak (*Creep*)

Lendutan pada balok setelah plat lantai selesai dicor (beton muda),

$$\delta_1 = -0.00763 \text{ m}$$

Lendutan pada balok setelah plat lantai dan balok menjadi komposit,

$$\delta_2 = -0.01906 \text{ m}$$

Lendutan akibat rangkak,

$$\delta = \delta_2 - \delta_1 = -0.01143 \text{ m}$$

Lendutan (superposisi) akibat susut dan rangkak,

$$\delta = -0.00667 \text{ m} \quad \text{ke atas}$$

11.2.5. LENDUTAN AKIBAT BEBAN LAJUR "D" (TD)

$$Q_{\text{TD}} = 12.600 \text{ kN/m} \quad P_{\text{TD}} = 110.880 \text{ kN}$$

$$\delta = 1/48 * P_{\text{TD}} * L^3 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) + 5/384 * Q_{\text{TD}} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.02380 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

11.2.6. LENDUTAN AKIBAT BEBAN REM (TB)

$$M_{\text{TB}} = 105.502 \text{ kNm} \quad \delta = 0.0642 * M_{\text{TB}} * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 0.00045 \text{ m} \quad \text{ke bawah}$$

11.2.6. LENDUTAN AKIBAT PENGARUH TEMPERATUR (ET)

$$\Sigma P_t = 1351.07 \text{ kN}$$

$$e_p = 0.741 \text{ cm}$$

$$\delta = 0.0642 * \Sigma P_t * e_p * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{xc}) = 0.00431 \text{ m}$$

ke bawah

11.2.7. LENDUTAN AKIBAT BEBAN ANGIN (EW)

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

$$\delta = 5/384 * Q_{EW} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{xc}) = 0.00141 \text{ m}$$

ke bawah

11.2.8. LENDUTAN AKIBAT BEBAN GEMPA (EQ)

$$Q_{EQ} = 3.893 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 * Q_{EQ} * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_{xc}) = 0.00544 \text{ m}$$

ke bawah

12. KONTROL LENDUTAN BALOK TERHADAP KOMBINASI BEBAN

Lendutan maksimum yang diijinkan, $\delta = L / 300 = 0.13333 \text{ m}$

KOMBINASI - 1 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lend	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	LENDUTAN KOMB	Keterangan
δ	0.04763	0.00676	-0.0067	-0.04409	0.02380	0.00045				0.02788	< L/300 (OK)

KOMBINASI - 2 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lend	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	LENDUTAN KOMB	Keterangan
δ	0.04763	0.00676	-0.0067	-0.04409	0.02380	0.00045	0.00431			0.03219	< L/300 (OK)

KOMBINASI - 3 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lend	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	LENDUTAN KOMB	Keterangan
δ	0.04763	0.00676	-0.0067	-0.04409	0.02380	0.00045		0.00141		0.02929	< L/300 (OK)

KOMBINASI - 4 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lend	Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	LENDUTAN KOMB	Keterangan

δ	0.04763	0.00676	-0.0067	-0.04409	0.02380	0.00045	0.00431	0.00141		0.03360	< L/300 (OK)
----------	---------	---------	---------	----------	---------	---------	---------	---------	--	---------	--------------

KOMBINASI - 5 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lend	Berat sen	Mati tamb	Susut-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	LENDUTAN	Keterangan
	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ	KOMB	
δ	0.04763	0.00676	-0.0067	-0.04409					0.00544	0.00907	< L/300 (OK)

13. TINJAUAN ULTIMIT BALOK PRESTRESS

13.1. KAPASITAS MOMEN ULTIMIT BALOK

Modulus elastis baja prategang (strands) ASTM A-416 Grade 270 :

$$E_s = 193000 \text{ MPa}$$

Jumlah total strands

$$n_s = 69 \text{ buah}$$

Luas tampang nominal satu strands

$$A_{st} = 0.00010 \text{ m}^2$$

Tegangan leleh tendon baja prategang

$$f_{py} = 1580 \text{ MPa}$$

Luas tampang tendon baja prategang

$$A_{ps} = n_s * A_{st} = 0.00681 \text{ m}^2$$

Mutu beton : K - 500 Kuat tekan beton,

$$f'_c = 0.83 * K / 10 = 41.5 \text{ MPa}$$

Kuat leleh baja prestress (f_{ps}) pada keadaan ultimit, ditetapkan sebagai berikut :

Untuk nilai, $L / H \leq 35$: $f_{ps} = f_{eff} + 150 + f'_c / (100 * \rho_p) \text{ MPa}$

$$f_{ps} \text{ harus} \leq f_{eff} + 400 \text{ MPa}$$

$$\text{dan harus} \leq 0.8 * f_{py}$$

dengan, L = panjang bentang balok,

H = tinggi total balok.

Panjang bentang balok prategang,

$$L = 40.00 \text{ m}$$

Gaya prestress efektif (setelah *loss of prestress*),

$$P_{eff} = 7218.7 \text{ kN}$$

Tegangan efektif baja prestress,

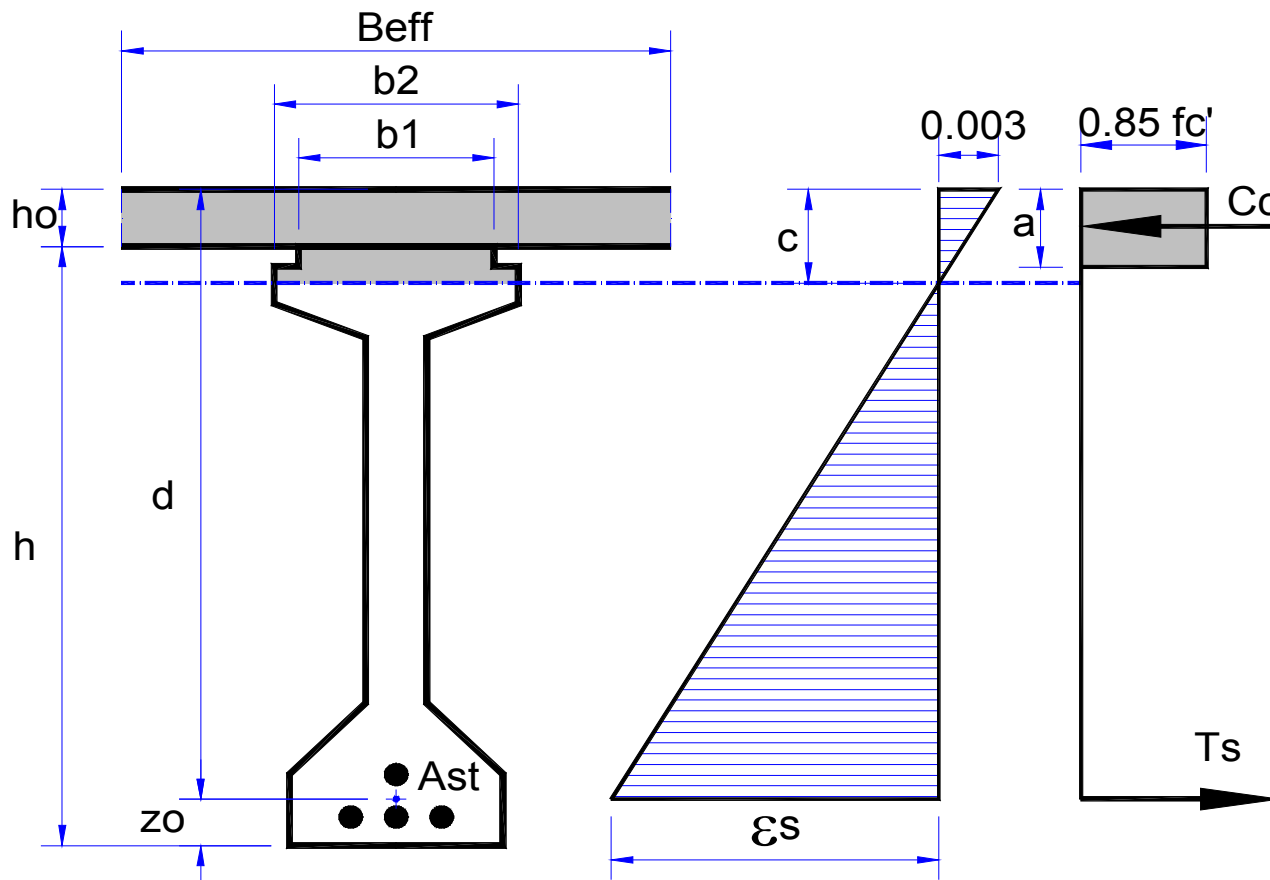
Luas penampang balok prategang komposit,

Rasio luas penampang baja prestress,

$$f_{\text{eff}} = P_{\text{eff}} / A_{\text{ps}} \cdot 10^{-3} = \begin{array}{|c|c|} \hline 1060.0 & \text{MPa} \\ \hline \end{array}$$

$$A_c = \begin{array}{|c|c|} \hline 0.989 & \text{m}^2 \\ \hline \end{array}$$

$$\rho_p = A_{\text{ps}} / A_c = \begin{array}{|c|c|} \hline 0.006886 & \\ \hline \end{array}$$



$b_1 =$	0.64	m
$b_2 =$	0.80	m
$b_3 =$	0.30	m
$b_4 =$	0.20	m

$b_5 =$	0.25	m
$b_6 =$	0.70	m
$B_{\text{eff}} =$	1.18	m

$h_1 =$	0.07	m
$h_2 =$	0.13	m
$h_3 =$	0.12	m
$h_4 =$	1.65	m

$h_5 =$	0.25	m
$h_6 =$	0.25	m
$h =$	2.10	m
$h_o =$	0.20	m

Tinggi total balok prategang,

$$H = h + h_0 = 2.30 \text{ m}$$

$$L / H = 17.3913043 < 35 \text{ (OK)}$$

$$f_{ps} = f_{eff} + 150 + f'_c / (100 * \rho_p) = 1270 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = f_{eff} + 400 = 1460 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = 0.8 * f_{py} = 1264 \text{ MPa}$$

Diambil kuat leleh baja prategang,

$$f_{ps} = 1264 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85$$

untuk $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7$$

untuk $f'_c > 30 \text{ MPa}$

$$\beta_1 \text{ harus } \geq 0.65$$

Untuk, $f'_c = 41.5 \text{ MPa}$ maka nilai,

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7 = 0.7678571$$

Letak titik berat tendon baja prategang terhadap alas balok,

$$z_o = 0.14 \text{ m}$$

Tinggi efektif balok,

$$d = h + h_0 - z_o = 2.16 \text{ m}$$

$$\text{Kuat tekan beton, } f'_c = 41500 \text{ kPa}$$

Kuat leleh baja prategang,

$$f_{ps} = 1264000 \text{ kPa}$$

Gaya tarik pada baja prestress,

$$T_s = A_{ps} * f_{ps} = 8608.22 \text{ kN}$$

$$\text{Diperkirakan, } a < (h_0 + h_1)$$

$$h_0 + h_1 = 0.27 \text{ m}$$

$$\text{Gaya tekan beton, } C_c = [B_{eff} * h_0 + b_1 * (a - h_0)] * 0.85 * f'_c$$

$$C_c = T_s$$

maka,

$$a = [T_s / (0.85 * f'_c) - B_{eff} * h_0] / b_1 + h_0 = 0.21146 \text{ m}$$

$$a < h_0 + h_1 \quad \text{perkiraan benar (OK)}$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas,

$$c = a / \beta_1 = 0.2753854 \text{ m}$$

Regangan baja prestress,

$$\epsilon_{ps} = 0.003 * (d - c) / c = 0.0205579$$

$$< 0.03 \text{ (OK)}$$

C_c = gaya internal tekan beton,

A_i = luas penampang tekan beton,

y_i = jarak pusat berat penampang tekan beton terhadap pusat berat baja prestress,

Gaya internal tekan beton,

$$C_c = \sum [A_i * 0.85 * f'_c]$$

Momen nominal,

$$M_n = \sum [A_i * 0.85 * f'_c * y_i]$$

GAYA TEKAN BETON DAN MOMEN NOMINAL

No	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m ²)	Gaya (kN)	Lengan thd. pusat baja prestress	y (m)	Momen (kNm)
1	1.18	0.2000	0.2367	8349.57	$y = d - h_0 / 2$	2.06250	17220.99
2	0.64	0.0115	0.0073	258.65	$y = d - h_0 - (a - h_0) / 2$	1.95677	506.11

$$C_c = T_s =$$

8608.22

kN

Momen nominal,

$$M_n =$$

17727.11

kNm

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi =$$

0.80

Kapasitas momen ultimit balok prestress,

$$\phi * M_n =$$

14181.68

kNm

13.2. MOMEN ULTIMIT BALOK

13.2.1. MOMEN AKIBAT SUSUT DAN RANGKAK

Gaya internal akibat susut :	$P_s = A_{\text{plat}} * E_{\text{plat}} * \Delta \varepsilon_{\text{su}} * [(1 - e^{-c_f}) / c_f] =$	753.99	kN
Eksentrisitas gaya susut terhadap pusat penampang,	$e' = y_{ac} - h_o / 2 =$	0.904	m
Momen akibat susut,	$M_S = - P_s * e' =$	-681.39	kNm
Momen akibat rangkai,	$M_R = (P_i - P_{\text{eff}}) * e'_s =$	812.03	kNm
Momen akibat susut dan rangkai,	$M_{SR} = M_S + M_R =$	130.64	kNm

13.2.1. MOMEN AKIBAT PENGARUH TEMPERATUR

Gaya internal akibat perbedaan temperatur :	$P_t = A_t * E_{c \text{ balok}} * \beta * (T_a + T_b) / 2 =$	1351.07	kN
Eksentrisitas gaya terhadap pusat penampang balok,	$e_p =$	0.741	m
Momen akibat pengaruh temperatur,	$M_{ET} = P_t * e_p =$	1000.83	kNm

13.2.1. MOMEN AKIBAT PRATEGANG

Gaya prategang efektif,	$P_{\text{eff}} =$	7218.7	kN
Eksentrisitas tendon,	$e'_s =$	0.8744505	m
Momen akibat gaya prategang,	$M_{PR} = - P_{\text{eff}} * e'_s =$	-6312.40	kNm

RESUME MOMEN BALOK

RESUME MOMEN BALOK			Daya Layan		Kondisi Ultimit	
Aksi / Beban	Faktor Beban Ultimit		Momen		Momen Ultimit	
			M	(kNm)	Mu	(kNm)
A. Aksi Tetap						
Berat sendiri	K _{MS}	1.3	M _{MS}	6818.4	K _{MS} *M _{MS}	8863.93
Beban Mati Tambahan	K _{MA}	2.0	M _{MA}	968.4	K _{MA} *M _{MA}	1936.80
Susut dan Rangkak	K _{SR}	1.0	M _{SR}	130.6	K _{SR} *M _{SR}	130.64
Prategang	K _{PR}	1.0	M _{PR}	-6312.4	K _{PR} *M _{PR}	-6312.40
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	K _{TD}	2.0	M _{TD}	3628.8	K _{TD} *M _{TD}	7257.60
Gaya Rem	K _{TB}	2.0	M _{TB}	52.8	K _{TB} *M _{TB}	105.50
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	K _{ET}	1.2	M _{ET}	1000.8	K _{ET} *M _{ET}	1201.00
Beban Angin	K _{EW}	1.2	M _{EW}	201.6	K _{EW} *M _{EW}	241.92
Beban Gempa	K _{EQ}	1.0	M _{EQ}	778.7	K _{EQ} *M _{EQ}	778.68

13.2. KONTROL KOMBINASI MOMEN ULTIMIT

Kapasitas momen balok,

$$M_u = \phi * M_n = 14181.6847 \text{ kNm}$$

KOMBINASI - 1 Momen ultimit pada balok komposit (kNm) akibat beban

Momen Ultimit	Berat sen	Mati tamb	Susut-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	MOMEN ULT KOMB	Keterangan
	$K_{MS} \cdot M_{MS}$	$K_{MA} \cdot M_{MA}$	$K_{SR} \cdot M_{SR}$	$K_{PR} \cdot M_{PR}$	$K_{TD} \cdot M_{TD}$	$K_{TB} \cdot M_{TB}$	$K_{ET} \cdot M_{ET}$	$K_{EW} \cdot M_{EW}$	$K_{EQ} \cdot M_{EQ}$		

M _{XX}	8863.9	1936.80	130.64	-6312.40	7257.60	105.50				11982.07	< Mu (aman)
-----------------	--------	---------	--------	----------	---------	--------	--	--	--	----------	-------------

KOMBINASI - 2 Momen ultimit pada balok komposit (kNm) akibat beban

Momen Ultimit	Berat sen	Mati tamb	Susut-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	MOMEN ULT KOMB	Keterangan
	$K_{MS} \cdot M_{MS}$	$K_{MA} \cdot M_{MA}$	$K_{SR} \cdot M_{SR}$	$K_{PR} \cdot M_{PR}$	$K_{TD} \cdot M_{TD}$	$K_{TB} \cdot M_{TB}$	$K_{ET} \cdot M_{ET}$	$K_{EW} \cdot M_{EW}$	$K_{EQ} \cdot M_{EQ}$		
M _{XX}	8863.9	1936.80	130.64	-6312.40	7257.60	105.50	1201.00			13183.07	< Mu (aman)

KOMBINASI - 3 Momen ultimit pada balok komposit (kNm) akibat beban

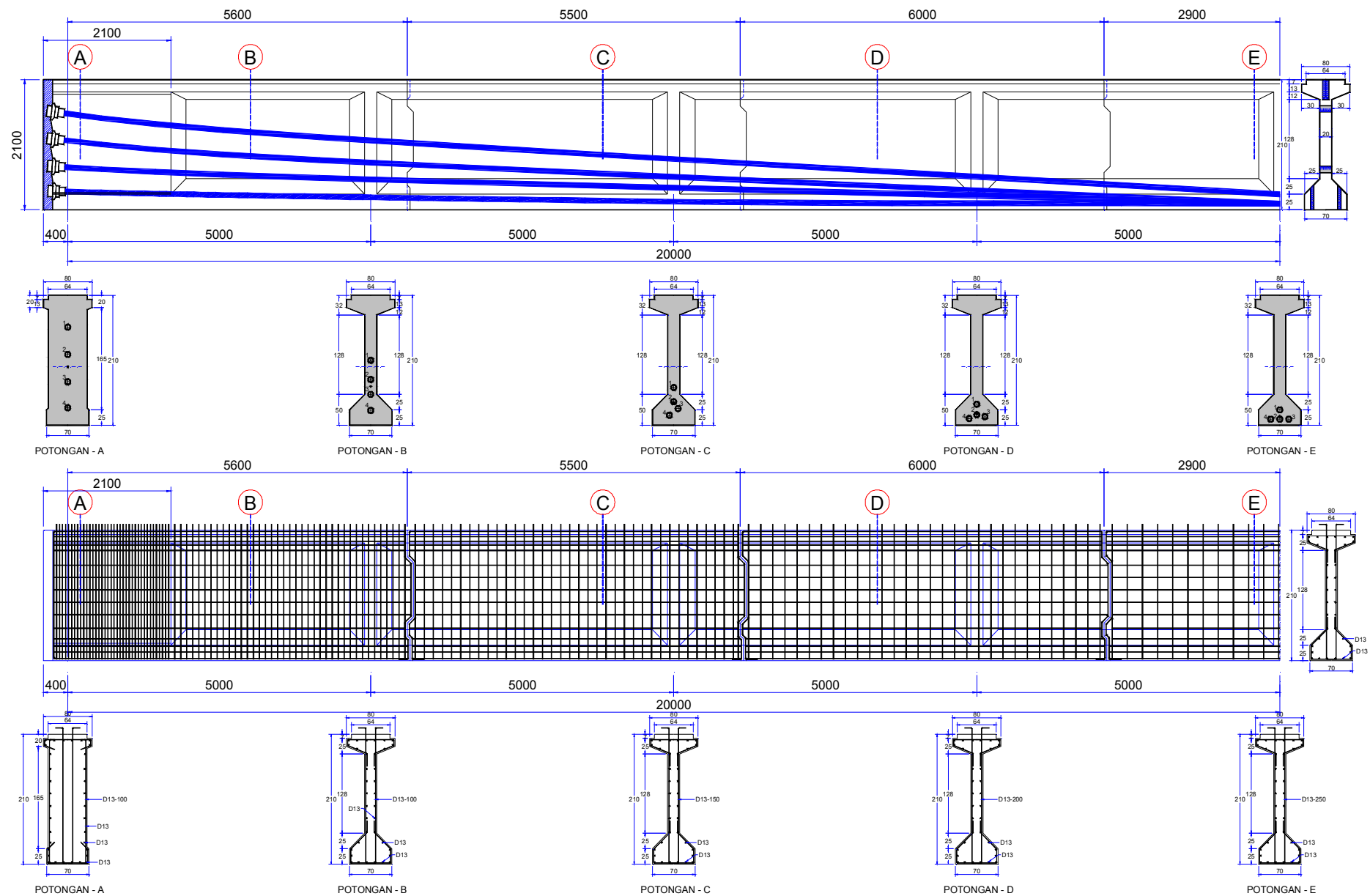
Momen Ultimit	Berat sen	Mati tamb	Susut-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	MOMEN ULT KOMB	Keterangan
	$K_{MS} \cdot M_{MS}$	$K_{MA} \cdot M_{MA}$	$K_{SR} \cdot M_{SR}$	$K_{PR} \cdot M_{PR}$	$K_{TD} \cdot M_{TD}$	$K_{TB} \cdot M_{TB}$	$K_{ET} \cdot M_{ET}$	$K_{EW} \cdot M_{EW}$	$K_{EQ} \cdot M_{EQ}$		
M _{XX}	8863.9	1936.80	130.64	-6312.40	7257.60	105.50		241.92		12223.99	< Mu (aman)

KOMBINASI - 4 Momen ultimit pada balok komposit (kNm) akibat beban

Momen Ultimit	Berat sen	Mati tamb	Susut-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	MOMEN ULT KOMB	Keterangan
	$K_{MS} \cdot M_{MS}$	$K_{MA} \cdot M_{MA}$	$K_{SR} \cdot M_{SR}$	$K_{PR} \cdot M_{PR}$	$K_{TD} \cdot M_{TD}$	$K_{TB} \cdot M_{TB}$	$K_{ET} \cdot M_{ET}$	$K_{EW} \cdot M_{EW}$	$K_{EQ} \cdot M_{EQ}$		
M _{XX}	8863.9	1936.80	130.64	-6312.40	7257.60		1201.00	241.92		13319.49	< Mu (aman)

KOMBINASI - 5 Momen ultimit pada balok komposit (kNm) akibat beban

Momen Ultimit	Berat sen	Mati tamb	Susut-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	MOMEN ULT KOMB	Keterangan
	$K_{MS} \cdot M_{MS}$	$K_{MA} \cdot M_{MA}$	$K_{SR} \cdot M_{SR}$	$K_{PR} \cdot M_{PR}$	$K_{TD} \cdot M_{TD}$	$K_{TB} \cdot M_{TB}$	$K_{ET} \cdot M_{ET}$	$K_{EW} \cdot M_{EW}$	$K_{EQ} \cdot M_{EQ}$		
M _{XX}	8863.9	1936.80	130.64	-6312.40					778.68	5397.65	< Mu (aman)



TATA LETAK TENDON DAN PEMBESIAN PCI-GIRDER