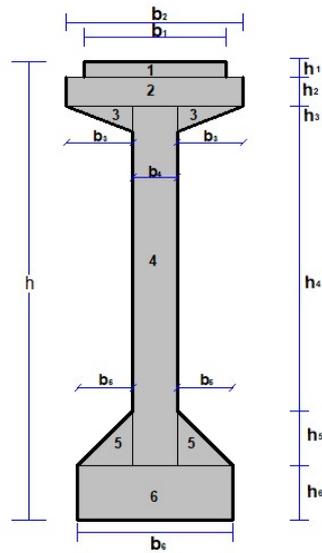


BAB IV

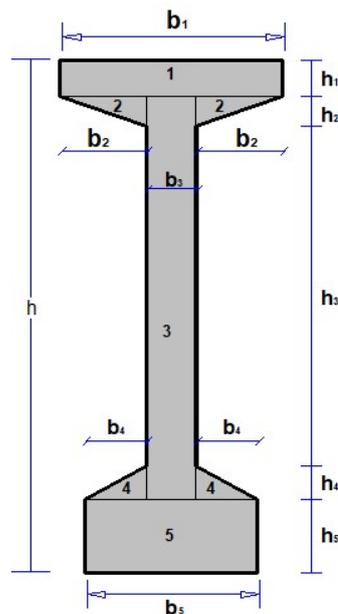
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. *Section Properties*

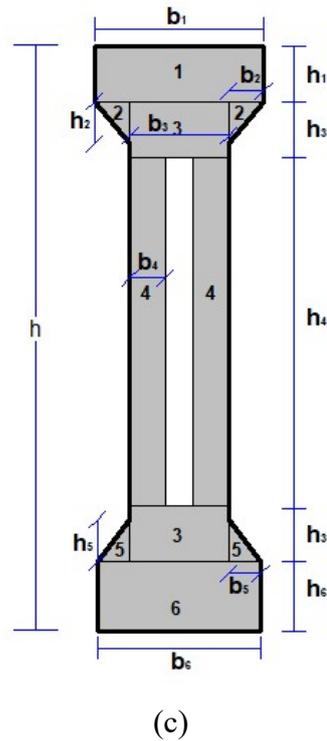
Data penampang *Prestress Concrete I Girder* tipe 1, tipe 2, dan tipe 3 berturut-turut yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 4.1, dan Tabel 4.1,



(a)



(b)

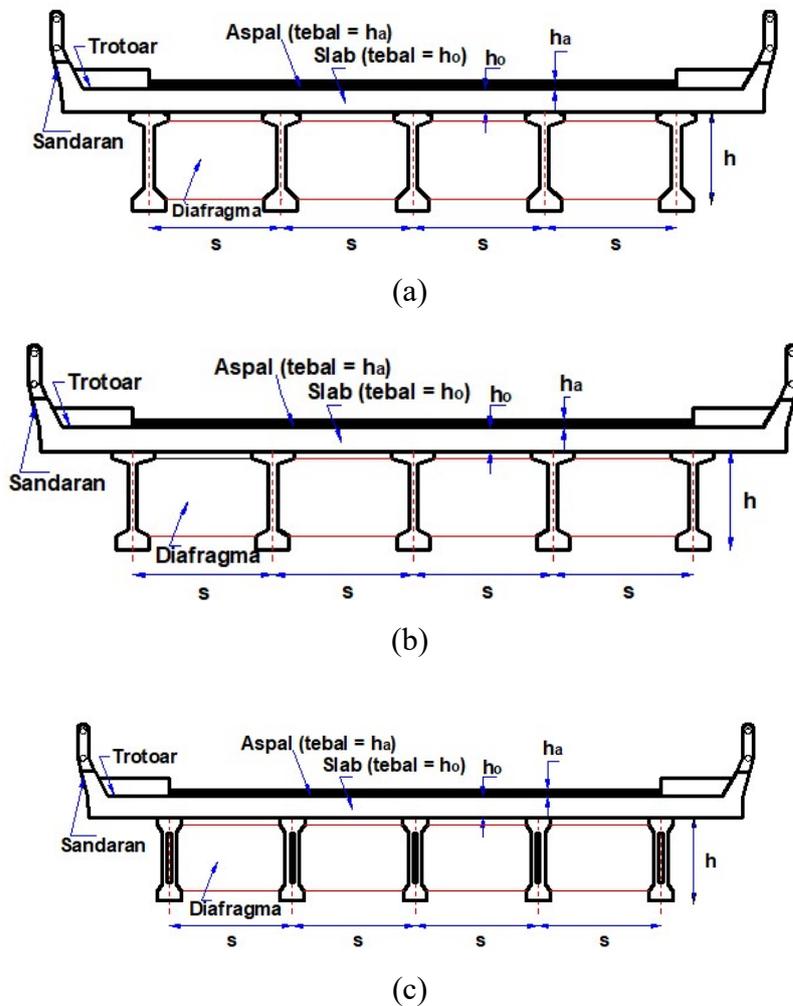


Gambar 4.1 Bentuk penampang *PCI girder* (a) penampang tipe 1, (b) penampang tipe 2, (b) penampang tipe 3 (c)

Tabel 4.1 Data spesifikasi *PCI Girder*

No.	Symbol	Type 1 (m)	Type 2 (m)	Type 3 (m)
1.	b_1	0,64	0,90	0,60
2.	b_2	0,80	0,35	0,15
3.	b_3	0,30	0,20	0,35
4.	b_4	0,20	0,25	0,125
5.	b_5	0,25	0,70	0,115
6.	b_6	0,70	-	0,58
7.	h_1	0,07	0,15	0,20
8.	h_2	0,13	0,12	0,14
9.	h_3	0,12	1,65	0,20
10.	h_4	1,65	0,14	1,25
11.	h_5	0,25	0,30	0,15
12.	h_6	0,25	-	0,25

Dalam analisis ini, data-data jembatan yang digunakan baik itu data umum, beton dan baja prategang adalah data jembatan yang diasumsikan dari data jembatan prategang pada umumnya. Data jembatan dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2 sedangkan data *specific gravity* pada Tabel 4.3.



Gambar 4.2 Gambar jembatan dan penampang tipe 1 (a) penampang tipe 2 (b) penampang tipe 3 (c)

Tabel 4.2 Data Jembatan

Uraian	Notasi	Dimensi (m)
Panjang bentang	L	40,00
Jarak antara balok prategang	S	1,80
Tebal plat lantai jembatan	h_0	0,20
Tebal lapisan aspal + <i>overlay</i>	h_a	0,10
Tinggi genangan air hujan	t_h	0,05

Tabel 4.3 *Spesific gravity*

Uraian	Notasi	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

Data beton dan baja prategang yang digunakan dalam pembuatan jembatan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. baja prategang yang digunakan dalam analisis ini adalah baja dari standar *VSL*.

Tabel 4.4 Data beton

Uraian	Notasi	Satuan
Mutu beton balok	K-500	
Kuat tekan balok, f'_c	41,50	MPa
Modulus elastisitas, E_c	30277,63	MPa
Angka <i>poisson</i> , ν	0,15	
Modulus geser, G	13164,19	MPa
Koefisien muai panjang, α	0,00001	/°C
Mutu plat	K-300	
Kuat tekan plat, f'_c	24,90	MPa
Modulus elastisitas plat	23452,95	MPa

Tabel 4.5 Data *strands cable* (ASTM, 2017)

Jenis <i>strands</i>	<i>Uncoated 7 wire super strands</i> <i>ASTM A - 416 grade 270</i>	
Tegangan leleh <i>strands</i>	f_{py}	1580 MPa
Kuat tarik <i>strands</i>	f_{pu}	1860 MPa
Diameter nominal <i>strands</i>		12,70 mm (1/2")
Luas tampang nominal satu <i>strands</i>	A_{st}	98,70 mm ²
Beban putus minimal satu <i>strands</i>	P_{bs}	183,32 kN (100% UTS)
Jumlah kawat untai (<i>strands cable</i>)		19 kawat untai/tendon
Diameter selubung ideal		84,00 mm
Luas tampang <i>strands</i>		1875,30 mm ²
Beban putus satu tendon	P_{bl}	3559,10 kN (100% UTS)
Modulus elastis <i>strands</i>	E_s	193000 MPa
Tipe dongkrak		VSL19

4.2. Analisis penampang

Analisis penampang *PCI Girder* dibagi menjadi 2 yaitu beton prategang itu sendiri dan beton prategang yang sudah menjadi komposit (ditambah dengan plat lantai). Analisis penampang terdiri dari luasan penampang (A), Momen inersia (I_o), momen inersia terhadap titik berat balok (I_x), tahanan momen sisi atas (W_a), tahanan momen sisi bawah (W_b). Hasil analisis penampang dapat dilihat dalam Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Hasil analisis penampang balok prategang

No.	Analisis <i>PCI Girder</i>	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
1.	A	0,752 m ²	0,752 m ²	0,752 m ²
2.	I_o	0,076 m ⁴	0,077 m ⁴	0,042 m ⁴
3.	I_x	0,407 m ⁴	0,423 m ⁴	0,344 m ⁴
4.	W_a	0,377 m ³	0,3292 m ³	0,3736 m ³
5.	W_b	0,400 m ³	0,413 m ³	0,292 m ³

Tabel 4.7 Hasil analisis penampang balok prategang + plat

No.	Analisis <i>PCI Girder</i>	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
1.	A_c	0,989 m ²	0,989 m ²	0,989 m ²
2.	I_{oc}	0,077 m ⁴	0,078 m ⁴	0,043 m ⁴
3.	I_{xc}	0,407 m ⁴	0,627 m ⁴	0,533 m ⁴
4.	W_{ac}	0,666 m ³	0,676 m ³	0,608 m ³
4.	W'_{ac}	0,832 m ³	0,846 m ³	0,787 m ³
5.	W_{bc}	0,515 m ³	0,515 m ³	0,375 m ³

Dari hasil analisis penampang diketahui bahwa penampang balok prategang tipe 3 memiliki nilai momen inersia yang lebih kecil dengan nilai 0,0424 m⁴ dan 0,04314 m⁴ untuk komposit, dibandingkan dengan penampang tipe 1 dan tipe 2.

4.3. Pembebanan Balok Prategang

Pembebanan jembatan dengan menggunakan struktur atas *Prestress Concrete I Girder* ini mengacu pada (BSN, 2016) tentang pembebanan pada jembatan SNI 1725-2016, dan (Direktorat Bina Marga, 2005) tentang standar

pembebanan pada jembatan RSNI T-02-2005 untuk rumus acuan pembebanan pada jembatan. Hasil pembebanan penampang dapat dilihat pada Tabel 4.8 sampai Tabel 4.10.

Tabel 4.8 Hasil pembebanan penampang *PCI Girder* Tipe 1

No.	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)
1	BS	19,20	-	-
2	MS	34,73	-	-
3	MA	4,84	-	-
4	TD	14,18	88,20	-
5	TP	3,75	-	-
6	TB	-	-	362,90
7	EW _s	0,22	-	-
8	EW _L	0,75	-	-
9	ET	-	-	290,85
10	EQ	44,52	-	-

Tabel 4.9 Hasil pembebanan penampang *PCI Girder* Tipe 2

No	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)
1	BS	19,20	-	-
2	MS	35,93	-	-
3	MA	4,84	-	-
4	TD	14,18	88,20	-
5	TP	3,75	-	-
6	TB	-	-	361,80
7	EW _s	0,22	-	-
8	EW _L	0,75	-	-
9	ET	-	-	292,57
10	EQ	45.87	-	-

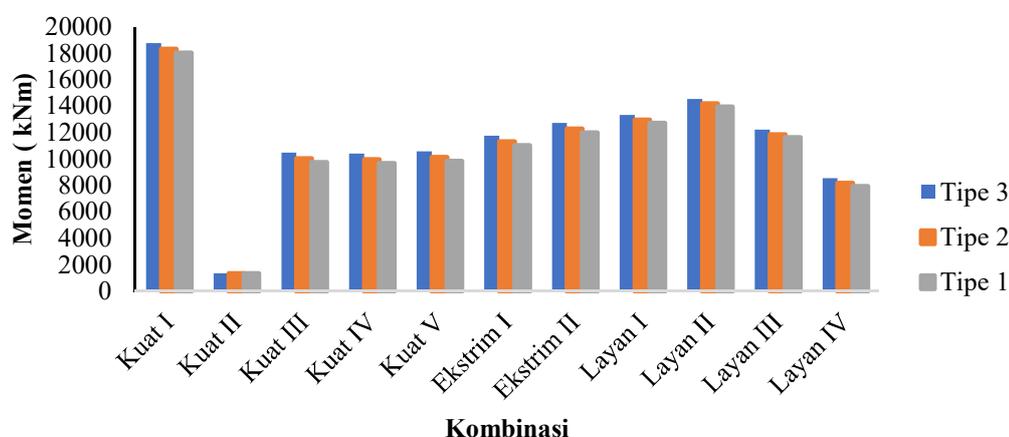
Tabel 4.10 Hasil pembebanan penampang *PCI Girder* Tipe 3

No.	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)
1	BS	19,20	-	-
2	MS	37,77	-	-
3	MA	4,84	-	-
4	TD	14,18	88,20	-
5	TP	3.75	-	-
6	TB	-	-	347,18
7	EW _s	0.22	-	-
8	EW _L	0,75	-	-
9	ET	-	-	343.36
10	EQ	47,93	-	-

Nilai beban yang sudah diperoleh lalu di masukan kedalam 11 kombinasi yang harus di cari sesuai dengan peraturan menurut (BSN, 2016) tentang pembebanan pada jembatan.

4.3.1. Kombinasi Momen Akibat Pembebanan

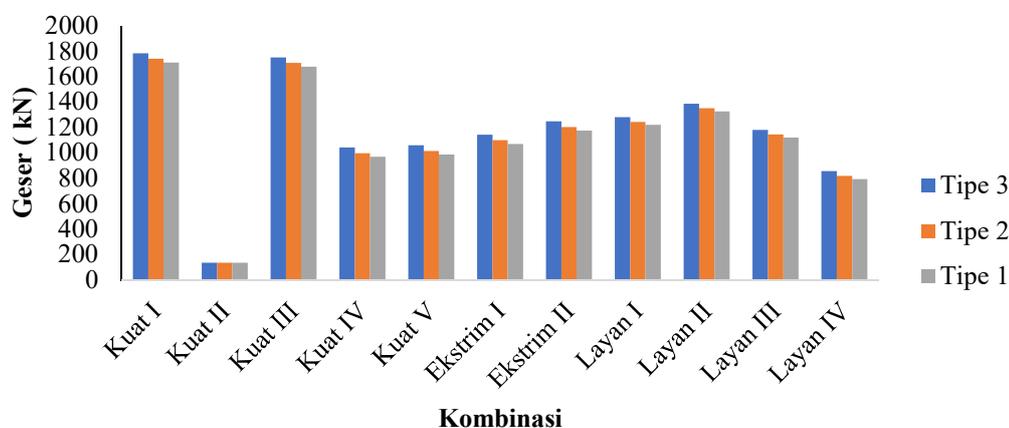
Hasil kombinasi momen akibat pembebanan dari ketiga penampang dapat dilihat pada Gambar 4.1 yang nilai di ambil pada tengah bentang atau pada jarak 20 m dari tumpuan. Dari hasil kombinasi momen dapat diketahui bahwa ketiga penampang memiliki nilai momen yang hampir sama disetiap kombinasi.



Gambar 4.3 Kombinasi momen pada *PCI Girder*

4.3.2. Kombinasi Geser Akibat Pembebanan

Hasil kombinasi geser akibat pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.2 nilai di ambil pada tumpuan beton prategang atau pada ujung bentang beton prategang. Dari hasil kombinasi geser dapat diketahui bahwa ketiga penampang memiliki nilai geser yang hampir sama disetiap kombinasi.



Gambar 4.4 Kombinasi geser pada penampang *PCI Girder*

4.4. Gaya Prategang Awal

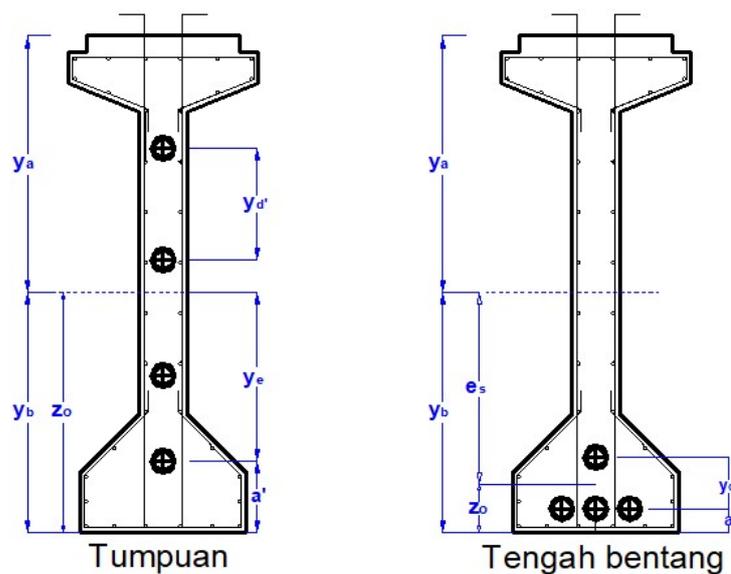
Gaya prategang awal (P_t) yg terjadi pada penampang beton prategang tipe satu sebesar 62517,148 kN, tipe dua sebesar 63294,964 kN dan tipe ketiga sebesar 66048,147 kN.

4.5. Posisi Tendon

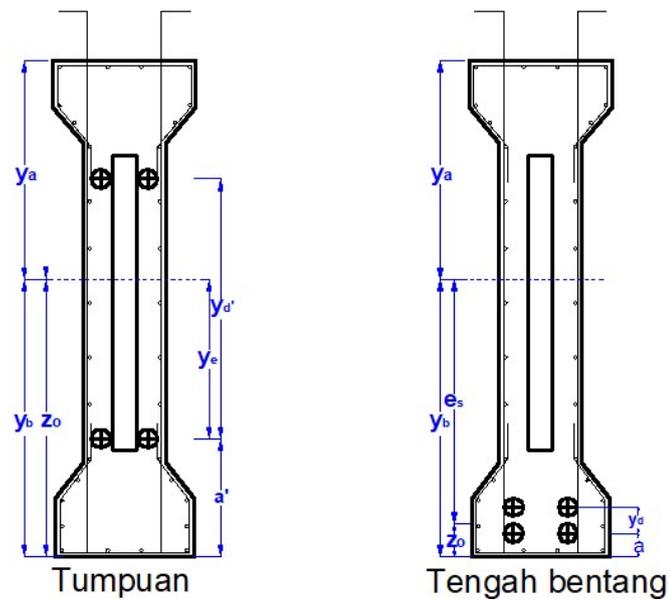
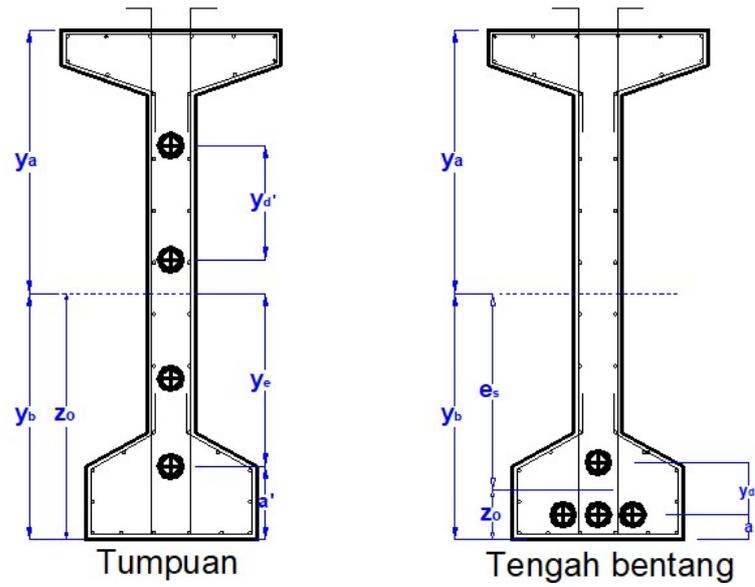
Tendon yang digunakan pada setiap penampang disajikan dalam Tabel 4.4. Posisi tendon dan arah lintasan tendon disetiap penampang dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.11 Banyak tendon yang digunakan

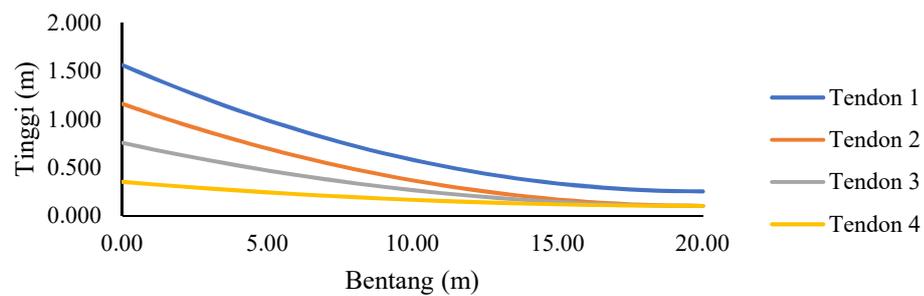
Penampang	Tendon/baris	Strands/ Tendon	Selubung Tendon
Tipe 1	1	19	84 mm
	1	19	84 mm
	1	19	84 mm
	1	12	76 mm
Tipe 2	1	19	84 mm
	1	19	84 mm
	1	19	84 mm
	1	12	76 mm
Tipe 3	2	19	84 mm
	2	17	84 mm

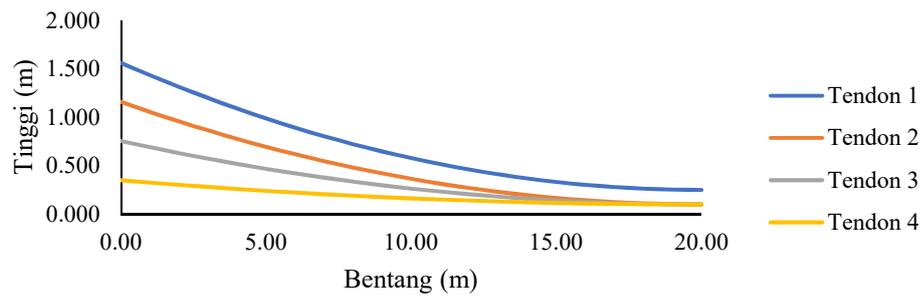


(a)

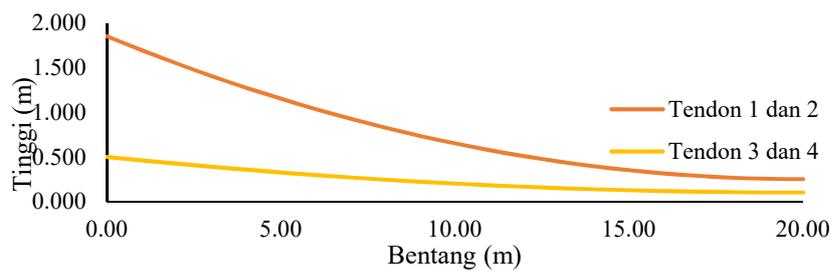


Gambar 4.5 Posisi tendon penampang tipe 1 (a), penampang tipe 2 (b), dan penampang tipe 3 (c)





(b)

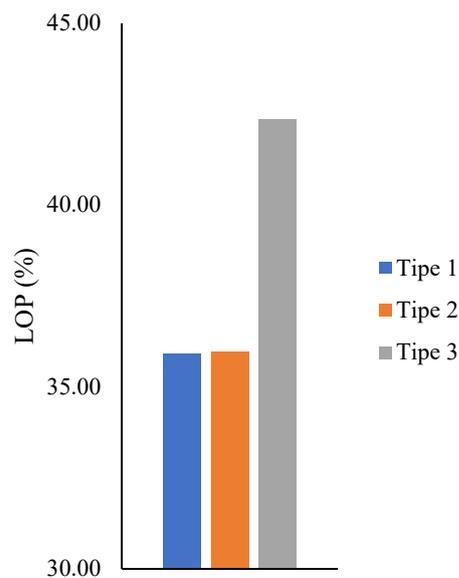


(c)

Gambar 4.6 Arah lintas tendon penampang tipe 1 (a), penampang tipe 2 (b), dan penampang tipe 3 (c)

4.6. Kehilangan Gaya Prategang (*Loss of Prestress*)

Total kehilangan gaya prategang pada ketiga penampang balok prategang disajikan dalam Tabel 4.4 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.7 Total *loss of prestress*

Tabel 4.12 Nilai kehilangan gaya prategang

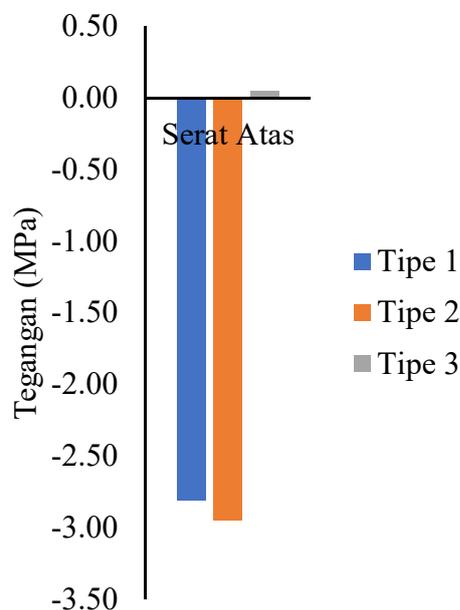
No	Penampang	LOP (%)	f_{eff} (MPa)	P_{eff} (kN)	f_p (MPa)	Teg izin tendon $0,7 * f_{PU}$ (MPa)	Kontrol $f_p < 0.7 * f_{pu}$
1.	Tipe 1	34,95%	1204,50	9035,21	1204	1302	OK
2.	Tipe 2	35,03%	1203,27	9025,96	1203	1302	OK
3.	Tipe 3	42,36%	1054,12	7907,19	1054	1302	OK

Dari hasil total kehilangan gaya prategang diketahui bahwa penampang tipe 3 mempunyai nilai tertinggi sebesar 42,46 % sedangkan untuk penampang tipe 1 dan 2 sebesar 35,91% dan 35,96%. Ketiga penampang masih memenuhi tegangan izin yang diberikan atau masih dalam kondisi aman.

4.7. Tegangan yang Terjadi Pada Penampang

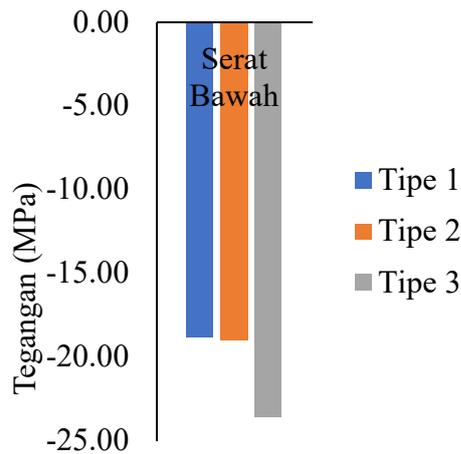
4.7.1. Keadaan Awal (Saat *Transfer*)

Nilai tegangan beton saat keadaan awal pada serat atas dan tegangan yang terjadi di serat bawah pada ketiga penampang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Tegangan serat atas keadaan awal

Dari analisis tegangan pada keadaan awal penampang tipe 1, penampang tipe 2, dan penampang tipe 3 memiliki nilai tegangan sebesar -2,81 MPa, -2,95 MPa dan 0,05 MPa.

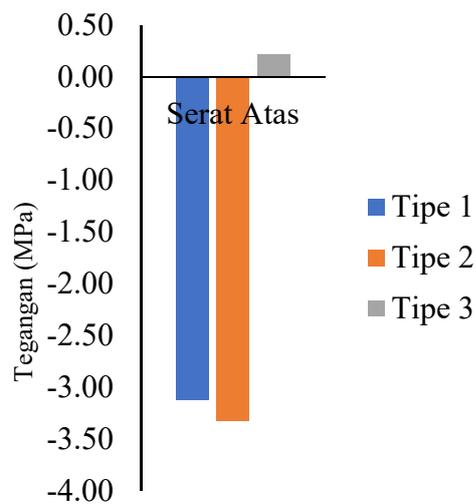


Gambar 4.9 Tegangan serat bawah keadaan awal

Dari hasil analisis, penampang tipe 3 memiliki nilai tegangan serat bawah terbesar dengan nilai -23,65 MPa sedangkan penampang tipe 1 dan penampang tipe 2 memiliki nilai tegangan sebesar -18,80 MPa dan -19,01 MPa. Nilai tegangan yang terjadi pada serat atas dan bawah balok prategang dari ketiga penampang tersebut masih dalam kondisi aman dengan tegangan kurang dari tegangan ijin sebesar 33,20 MPa.

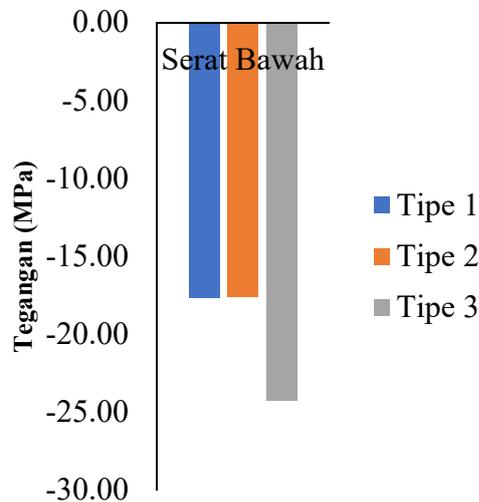
4.7.2. Keadaan Setelah *Loss of Prestress*

Nilai tegangan setelah kehilangan prategang pada serat atas dan tegangan pada serat bawah pada ketiga penampang dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Tegangan serat atas setelah kehilangan prategang

Nilai tegangan serat atas setelah kehilangan prategang pada penampang tipe 1 sebesar -3,13 MPa, penampang tipe 2 memiliki tegangan sebesar -3,33 MPa, dan penampang tipe 3 sebesar 0,22 MPa.

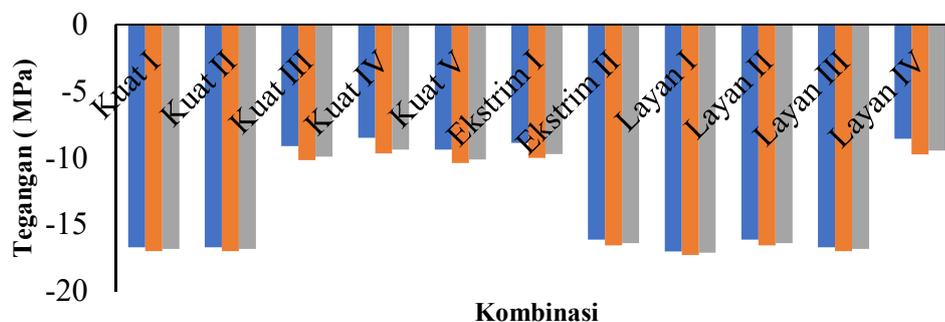


Gambar 4.11 Tegangan serat atas setelah kehilangan prategang

Nilai tegangan serat bawah setelah kehilangan prategang pada penampang tipe 1 sebesar -17,70 MPa, penampang tipe 2 memiliki tegangan sebesar -17,57 MPa, dalam kategori aman dan penampang tipe 3 sebesar -24,22 MPa dalam kategori tidak aman, karena tegangan yang terjadi pada serat bawah penampang tipe 3 melewati batas tegangan ijin tekan yang sudah ada sebesar -18,68 MPa.

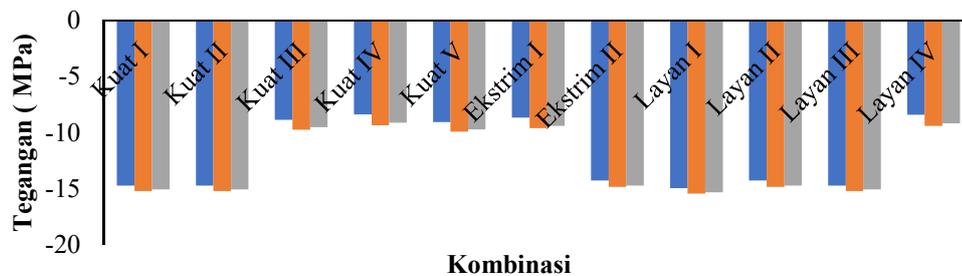
4.8. Tegangan Akibat Beban

Nilai kombinasi tegangan setelah beton prategang menjadi komposit dapat dilihat pada Gambar 4.12 untuk tegangan yang terjadi di plat lantai beton, Gambar 4.13 untuk tegangan pada beton serat atas, dan Gambar 4.14 untuk tegangan yang terjadi pada serat bawah beton.



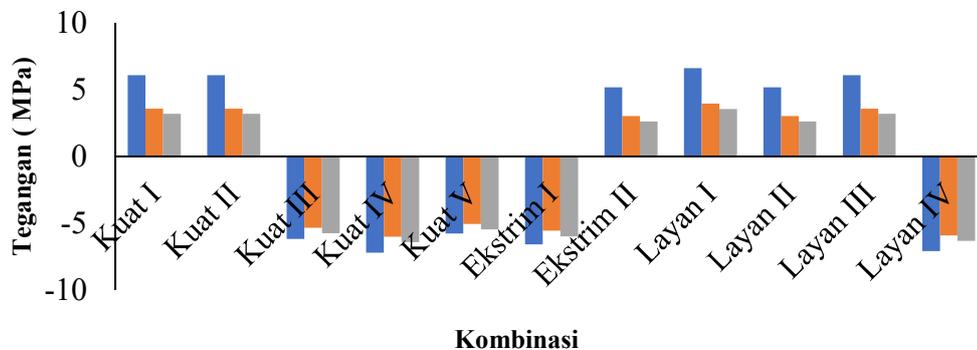
Gambar 4.12 Kombinasi tegangan pada plat beton

Dari hasil kombinasi tegangan pada plat beton, penampang tipe 2 memiliki tegangan maksimum pada kombinasi Layan 1 dengan nilai -17,26 MPa lebih besar dari penampang tipe 1 dan penampang tipe 3. Tegangan yang terjadi pada ketiga penampang masih dalam kondisi aman, dengan tegangan ijin tekan (f_c') sebesar -18,68 MPa.



Gambar 4.13 Kombinasi tegangan pada serat atas beton prategang

Dari hasil kombinasi tegangan pada serat atas balok prategang, penampang tipe 2 memiliki tegangan maksimum pada kombinasi Layan 1 dengan nilai -15,41 MPa lebih besar dari memiliki tegangan sedikit lebih besar dari penampang tipe 1 dan penampang tipe 3. Tegangan yang terjadi pada ketiga penampang masih dalam kondisi aman, dengan tegangan ijin tekan (f_c') sebesar -18,68 MPa.



Gambar 4.14 Kombinasi tegangan pada serat bawah beton prategang

Dari hasil kombinasi tegangan pada serat bawah balok prategang, penampang tipe 3 memiliki tegangan maksimum pada kombinasi Kuat IV dengan nilai -0,72 MPa lebih besar dari memiliki tegangan sedikit lebih besar dari penampang tipe 1 dan penampang tipe 3. Nilai kombinasi tegangan pada serat bawah balok prategang di ketiga penampang pada kondisi tarik dan tekan masih aman karena belum melewati batas tegangan ijin tarik sebesar 11,18 MPa dan tegangan ijin tekan sebesar -18,68 MPa.

4.9. Lendutan Pada Balok Prategang

Nilai lendutan yang terjadi pada balok prategang sebelum menjadi komposit dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan lendutan setelah kehilangan prategang dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.13 Lendutan balok prategang keadaan awal (*transfer*)

No.	Penampang	Lendutan (mm)	Arah lendutan
1.	Tipe 1	-36	Ke atas
2.	Tipe 2	-36	Ke atas
3.	Tipe 3	-53	Ke atas

Dari hasil lendutan yang didapat. Penampang tipe 3 memiliki nilai lendutan yang lebih besar dari pada penampang tipe 1 dan tipe 2 dengan nilai sebesar -53 mm. sedangkan penampang tipe 1 dan 2 memiliki nilai yang sama sebesar -36 mm.

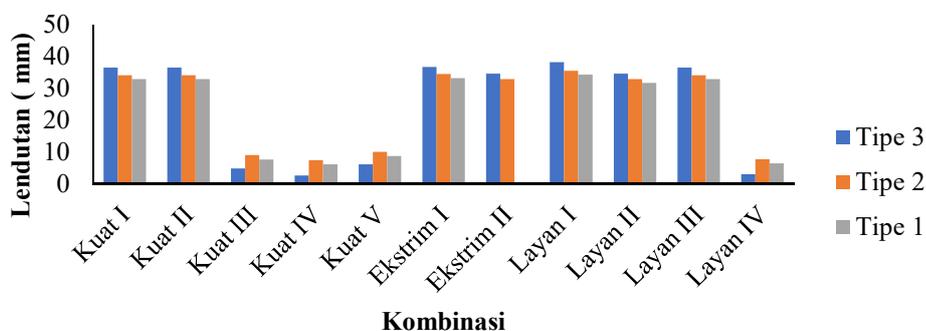
Tabel 4.14 Lendutan balok prategang setelah kehilangan gaya prategang

No.	Penampang	Lendutan (mm)	Arah lendutan
1.	Tipe 1	-32	Ke atas
2.	Tipe 2	-32	Ke atas
3.	Tipe 3	-54	Ke atas

Dari hasil lendutan setelah kehilangan prategang, penampang tipe 3 memiliki nilai lendutan yang lebih besar dari pada penampang tipe 1 dan tipe 2 dengan nilai sebesar -54 mm. sedangkan penampang tipe 1 dan 2 memiliki nilai yang sama sebesar -32 mm.

4.10. Lendutan Balok Prategang Akibat Beban

Kombinasi lendutan setelah balok prategang menjadi komposit dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Kombinasi lendutan akibat beban

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa penampang tipe 3 memiliki nilai lendutan maksimum pada kombinasi Layan 1 dengan nilai sebesar 38,1 mm lebih besar dari penampang tipe 1 dan penampang tipe 2. Nilai lendutan pada setiap kombinasi di ketiga penampang masih memenuhi nilai lendutan ijin pada balok prategang sebesar $L < 240$.