

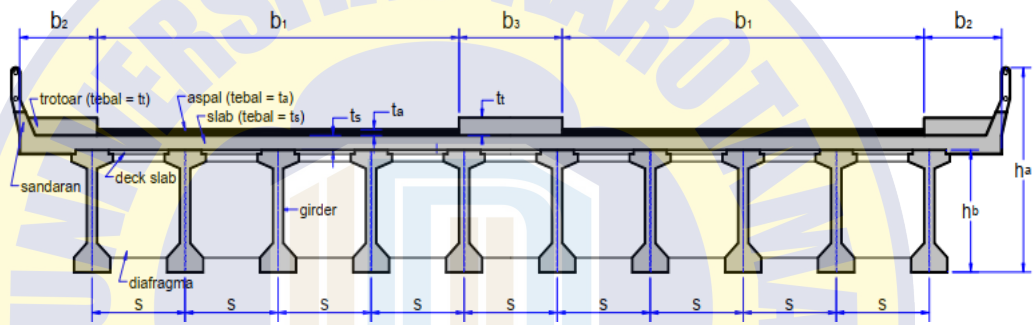
BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Struktur Bangunan Atas jembatan Prategang

4.1.1 Data Jembatan

Jembatan beton prategang dapat diasumsikan dari data jembatan prategang yang pada umumnya. Data jembatan prategang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan Tabel 4.1 sedangkan data specific gravity pada table 4.2



Gambar 4.1 Gambar jembatan dan penampang

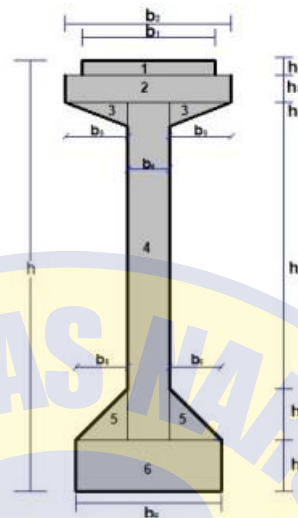
Tabel 4.1 Data jembatan

Uraian	Notasi	Dimensi	Satuan
Panjang balok prategang	L	80,00	m
Jarak antara balok prategang	s	1,20	m
Tebal plat lantai jembatan	h _o	0,25	m
Tebal lapisan aspal + overlay	h _a	0,09	m
Tinggi genangan air hujan	t _h	0,05	m

Tabel 4.2 Spesific gravity

Jenis Bahan	Notasi	Berat (kN/m ³)
Beton prategang	wc	25,50
Beton bertulang	wc'	25,00
Beton	wc''	24,00
Aspal	waspal	22,00
Air hujan	wair	9,80

Model penampang Prestress concrete I seperti gambar 4.2, dan Data spesifikasi PCI Girder jembatan yang di gunakan beton prtegang dapat dilihat pada table 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.2 Bentuk penampang PCI girder

Tabel 4.3 Data spesifikasi PCI Girder

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

4.1.2 Data Bahan

Data bahan mutu beton yang digunakan pada perencanaan jembatan kali warkapi (Manokwari – Papua Barat) sebagai berikut:

1. Beton

Data pembuatan jembatan beton prtegang dan mutu beton plat lantai jembatan dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Table 4.4 Data jembatan

Uraian	Notasi	Satuan
mutu beton prategang	K-600	
Kuat tekan beton, f_c'	49,8 - 50	Mpa
Modulus elasatis, E_c	33167,5	Mpa
Angka posisson, σ	0,15	
Modulus Geser, G	14420,6	Mpa
Koefisien Muai Panjang Beton, α	0,00001	/ °C
Mutu beton plat lantai jembatan	K-350	
Kuat Tekan beton, F_c'	29,05 - 30	Mpa
Modulus elastis beton, E_c	25332,084	Mpa

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, A. beton

2. Baja Prategang

Data baja prategang standar VSL dalam analisa ini bisa dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Data strands cable

Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270			
Tegangan leleh strand	f_{py}	1580	MPa
Kuat tarik strand	f_{py}	1860	MPa
Diameter nominal strands		12,7	mm
Luas tampang nominal satu strands	A_{st}	98,7	mm ²
Beban putus minimal satu strands	P_{bs}	187,32	kN
Jumlah kawat untai (strands cable)		19	kawat untai / tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Luas tampang strands		1875,3	mm ²
Beban putus satu tendon	P_{b1}	3559,1	kN
Modulus elastis strands	E_s	193000	MPa
Tipe dongkrak		VSL 19	

Pada tabel ini dapat dilihat selengkapnya di lamprin B. baja prategang

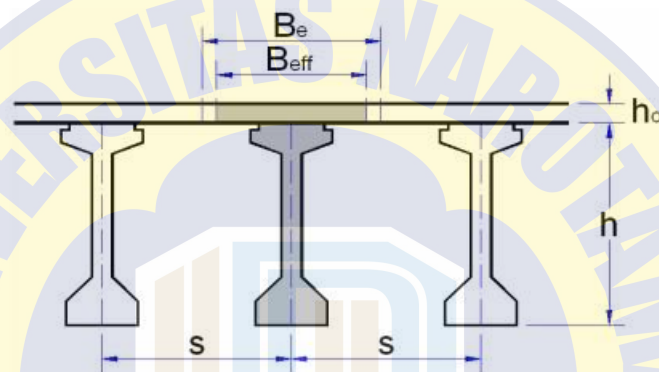
3. Baja Tulangan

Berikut ini adalah mutu baja tulangan yang digunakan analisa jembatan kali warrkapi (Manokwari – Papua Barat).

- Untuk baja tulangan deform $D > 12$ mm, menggunakan U-36, dengan kuat leleh baja menggunakan $f_y = 320$ Mpa.
- Untuk baja tulangan polos $\emptyset \leq 12$ mm, menggunakan U-24, dengan kuat leleh baja $f_y = 240$ Mpa.

Pada perhitungan mutu baja ini dapat dilihat pada lampiran, C. baja tulangan.

4.2 Perhitungan Lebar Efektif Plat Lantai



Gambar 4.3 Lebar efektif plat lantai

Lebar efektif plat (B_e) diambil nilai terkecil dari:

- Bentang = 20,00 m
- Jarak as ke as balok = 1,20 m
- $t_{\text{plat}}(h_o) = 3,00$ m

Diambil lebar efektif plat lantai terkecil yaitu: 1,5 m

Kuat tekan beton plat, $f_c'(\text{plat}) = 24,11$ Mpa

Kuat tekan beton balok, $f_c'(\text{balok}) = 41,33$ Mpa

Modulus elastis plat beton, $E_{\text{plat}} = 2,31E+04$ Mpa

Modulus elastis balok beton prategang, $E_{\text{balok}} = 3,02E+04$ Mpa

Niali perbandingan modulus elastik plat dan balok, $n = 0,76376262$

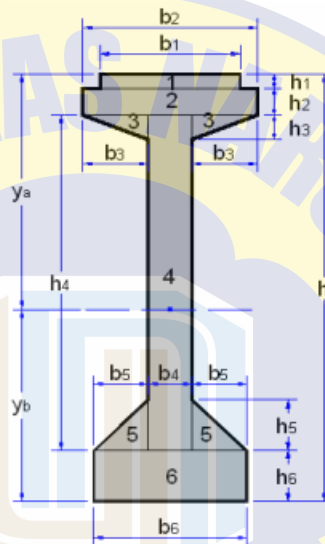
Jadi lebar pengganti beton plat lantai jembatan , $B_{\text{eff}} = 0,92$ m

Untuk menghindari hambatan dan kesulitan pada saat pengangkutan, maka balok prategang dibuat dalam bentuk segmental, dengan berat per-segmen maksimum

80kN sehingga dapat diangkat dengan truck kapasitas 80 kN kemudian segmen-segmen balok tersebut sambung di lokasi jembatan. Untuk melihat perhitungan selengkapnya diatas dapat dilihat pada lampiran, D. perhitungan lebar efektif plat lantai

4.3 Section Properties Balok Prategang

Perhitungan section properties balok prategang dan gambar dimensi balok prategang dapat dilihat pada tabel 4.6, dan gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Section properties balok prategang

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan 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)					
0	0,64	0,07	0,04480	2,07	0,09251	0,19104	0,00002
1	0,80	0,13	0,10400	1,97	0,20436	0,40157	0,00015
2	0,30	0,12	0,03600	1,86	0,06696	0,12455	0,00004
3	0,20	1,65	0,33000	1,08	0,35475	0,38136	0,07487
4	0,25	0,25	0,06250	0,33	0,02083	0,00694	0,00033
5	0,70	0,25	0,17500	0,13	0,02188	0,00273	0,00091
Total:			0,75230			1,10819	0,07631

Tinggi total balok composit, h = 2,10 m

Luas penampang balok composit, A = 0,75230 m²

Letak titik berat, $y_b = 1,012 \text{ m}$, $y_a = 1,088 \text{ m}$

Momen inersia terhadap alas balok, $I_b = 1,184499 \text{ m}^4$

Momen inersia terhadap titik berat balok, $I_{xc} = 0,414036 \text{ m}^4$

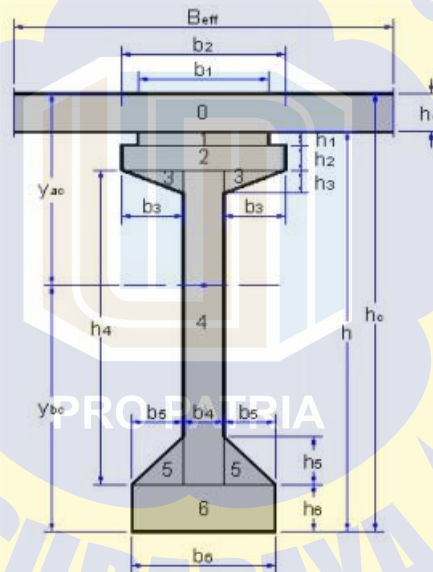
Tahapan momen sisi atas plat, $W_a = 0,380547 \text{ m}^3$

Tahapan momen sisi bawah balok, $W_b = 0,409126 \text{ m}^3$

Untuk perhitungan selangkapnya ini dapat dilihat pada lampiran, E. section properties balok prategang

4.4 Section Properties Balok Komposit (Balok Prategang + Plat)

Perhitungan section properties balok komposit dan gambar balok komposit dapat dilihat pada tabel 4.7, dan gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Section properties balok komposit

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Section Properties Balok Komposit

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	0,92	0,25	0,22913	2,23	0,50981	1,13433	0,00119
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	0,00004

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	0,00033
6	0,70	0,25	0,17500	0,13	0,02188	0,00273	0,00091
Total:			0,98143			2,24252	0,07751

Tinggi total balok komposit, $h = 2,30 \text{ m}$

Luas penampang balok komposit, $A_c = 0,98143 \text{ m}^2$

Letak titik berat, $y_{bc} = 1,295 \text{ m}$, $y_{ac} = 1,0048 \text{ m}$

Momen inersia terhadap alas balok, $I_{bc} = 2,3200 \text{ m}^4$

Momen inersia terhadap titik berat balok, $I_{xc} = 0,6737 \text{ m}^4$

Tahapan momen sisi atas plat, $W_{ac} = 0,6705 \text{ m}^3$

Tahapan momen sisi atas balok, $W'_{ac} = 0,8926 \text{ m}^3$

Tahapan momen sisi bawah balok, $W'_{bc} = 0,5202 \text{ m}^3$

Untuk melihat perhitungan selengkap nya dapat di lihat pada lampiran, F. section properties balok komposit (Balok Prategang + Plat)

4.5 Pembebanan Balok Prategang

Pembebanan jembatan ini mengarah pada standar pembebanan untuk jembatan SNI-1725-2016).

4.5.1 Berat Sendiri (MS)

Mengacu pada SNI 1725-2016, Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang di bebannya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tepat.

4.5.1.1 Berat Diafragma

Dimensi diafragma jembatan kali warkapi (Manokwari - Papua Barat) adalah sebagai berikut:

Momen maks di tengah bentang L, $M_{\max} = 1927,680 \text{ kNm}$

Berat diafragma ekivalen, $Q_{\text{diafragma}} = 2,410 \text{ kN/m}$.

Pada dimensi diafragma perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran,
a. berat diafragma

4.5.1.2 Berat Balok Prategang

Berat balok prategang di dapat dengan cara menghasilkan luas penampang balok prategang.

Berat balok prategang + 10%

$$W_{\text{balok}} = 1534,7 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{balok}} = 19,184 \text{ kN/m}$$

Untuk keseluruhan perhitungan diatas dapat dilihat pada lampiran b. berat balok prategang

4.5.1.3 Gaya Geser Dan Momen Akibat Berat Sendiri (MS)

Perhitungan gaya geser dan momen adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada struktur, sedangkan momen gaya yang dapat memutar suatu struktur untuk mengetahui besarnya dengan mengji jarak dan gaya vertical yang ada seperti tabel 4.8 di bawah ini:

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan gaya geser dan momen akibat berat sendiri

NO	Jenis beban berat sendiri	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m ²)	Berat sat w (kN/m ³)	Beban Q _{ms} (m)	Geser V _{ms} (kN)	Momen M _{ms} (knm)
1	Balok prategang					19,184	767,35	15346,92
2	Plat lantai	1,20	0,25	0,30	25,00	7,500	300	6000,00
3	Deck slab	1,16	0,07	0,08	25,00	2,030	81,2	1624,00
4	Diafragma					2,410	19,427	1927,68
Total:						31,123	1167,97	24898,60

Pada perhitungan tabel diatas dapat dilihat keseluruhannya di lampiran, c. gaya geser dan momen akibat berat sendiri (MS)

4.5.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan berdasarkan SNI-1725-2016, yang membebani secara permanen dan dianggap satu kesatuan yang utuh dalam jembatan sebagai berikut:

a. Lapisan aspal + overlay

- b. Genangan Air hujan jika saluran drainase tidak bekerja dengan baik.
perhitungan beban mati tambahan (MA) dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan pembebanan akibat beban mati tambahan

NO	Jenis beban berat sendiri	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m ²)	Berat sat w (kN/m ³)	Beban Q _{ms} (m)	Geser V _{MA} (kN)	Momen M _{MA} (knm)
1	Lapisan aspal + overlay	1,20	0,09	0,108	22,00	2,376	95,04	1900,80
2	Air hujan	1,22	0,5	0,610	9,80	5,978	239,12	4782,40
Total:						8,354	334,16	6683,20

Untuk melihat keseluruhan perhitungan pada tabel pembebanan akibat beban mati tambahan dapat di lihat pada lampiran, 2. beban mati tambahan (MA)

4.5.3 Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” merupakan beban yang bekerja pada seluru lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah pembebanan beban lajur “D” sebagai berikut.

Beban terbagi rata (BTR), $q = 5,85 \text{ kPa}$

Beban merata pada balok, $Q_{TD} = 7,02 \text{ kN/m}$

Beban terpusat pada balok, $P_{TD} = 73,92 \text{ kNm}$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur “D”. dapat dilihat jumlah dibawah ini.

$$V_{TD} = 3,17,76 \text{ kN}$$

$$M_{TD} = 7094,4 \text{ kNm}$$

Pada keseluruhan perhitungan ini dapat dilihat di lampiran, 3. beban lajur "D" (TD).

4.5.4 Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil pada yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana di tambah beban lajur terbagi rata (BTR), Mengacu pada SNI-1725-2016 berikut ini adalah jumlah dari beban rem.

- Gaya rem 25% berat gandar truk desain = 250 kN
- Gaya rem 5% dari berat truk rencana + BTR = 23,352 kN

Maka gaya akibat rem yang digunakan sebesar 250 kN,

- Gaya rem, $T_{TD} = 27,78 \text{ kN}$
- Jarak terhadap titik berat balok, $Y = 3,145 \text{ m}$
- Beban momen akibat gaya rem, $M = 157,2423 \text{ kNm}$
- Beban momon akibat gaya rem, $M = 87,35682 \text{ kNm}$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat gaya rem terbagi menjadi dua bagian yaitu terfaktor dan tidak terfaktor sebagai berikut:

Gaya geser dan momen gaya rem terfaktor,

$$V_{TB} = 1,966 \text{ kN}$$

$$M_{TD} = 78,621 \text{ kNm}$$

Gaya geser dan momen gaya rem yang tidak terfaktor,

$$V_{TB} = 1,092 \text{ kN}$$

$$M_{TD} = 43,678 \text{ kNm}$$

Untuk melihat perhitungan selengkapanya dap di lihat pada lampiran, 4. Gaya Rem (TB)

4.5.5 Beban Angin (EW)

Jembatan atau bagian-bagian jembatan dengan elavasi lebih tingi dari 1000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{DZ} , jumlah dari Persamaan berikut.

Dimana:

$$V_{DZ} = 175,857 \text{ km/jam}$$

a. Tekanan angin rencana

Dimana tekanan angin rencana horizontal (E_{ws}) terfaktor beban pada kombinasi kuat III =1,4 pada struktur,

$$P_D = 0,7097 \text{ Mpa} = 709,7 \text{ kN/m}^2$$

Tekanan angin rencana horizontal (EWS) tidak terfaktor,

$$P_D = 0,5069 \text{ Mpa} = 506,9 \text{ kN/m}^2$$

b. Tekanan angin vertikal

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang mepresntasikan gaya angin keatas sebesar $9,6 * 10^{-4} \text{ Mpa} = 0,96 \text{ kN/m}^2$ dikalikan denagan lebar jembatan total. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk

keadaan batas kuat III dan layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal.

Beban angin terfaktor,

$$T_{EW} = 131,200 \text{ kN/m}$$

Beban angin tidak terfaktor,

$$T_{EW} = 82,00 \text{ kN/m}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin terfaktor:

$$V_{EW} = 5248,00 \text{ kN}$$

$$M_{EW} = 104860 \text{ kNm}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin tidak terfaktor.

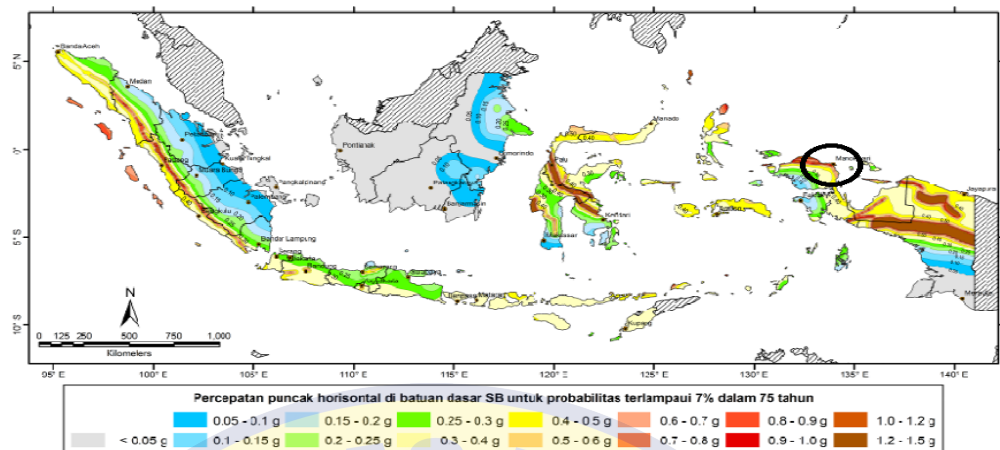
$$V_{EW} = 3280,00 \text{ kN}$$

$$M_{EW} = 65600 \text{ kNm}$$

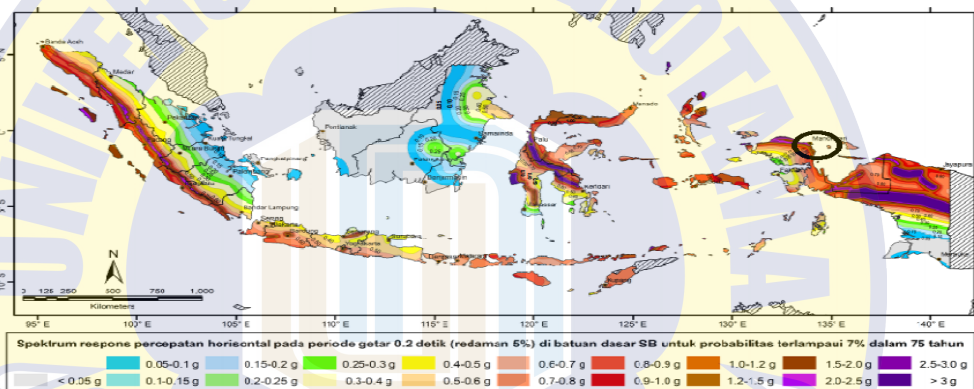
Untuk melihat keseluruhan perhitungan tekanan angin rencana dan tekanan angin vertikal dapat dilihat pada lampiran, 5. beban angin (EW)

4.5.6 Beban Gempa (EQ)

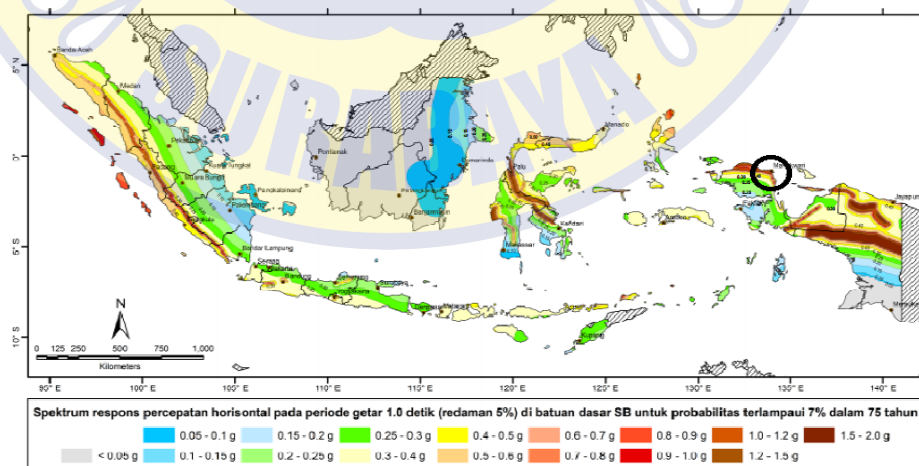
Perhitungan beban gempa menggunakan rumus berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 2833;2016, Gambar peta percepatan puncacak di bantu dasar (PGA), Peta respon spectra percepatan 0,2 detik, dan peta respon spectra 1 detik dapat dilihat pada Gambar 4.6 ,4.7, dan 4.8 di bawah ini



Gambar 4.6 Peta percepatan puncak di bantu dasar (PGA)
sumber: SNI 2833:2016 perencanaan jembatan terhadap beban gempa



Gambar 4.7 Peta respon spectra percepan 0,2 detik
sumber: SNI 2833:2016 perencanaan jembatan terhadap beban gempa



Gambar 4.8 Peta respon spectra percepan 1 detik
sumber: SNI 2833:2016 perencanaan jembatan terhadap beban gempa

Lokasi = Kali warkapi, Tanah rubuh (Manokwari-Papua Barat)

Jenis tanah = Tanah sedang (SD)

a. Parameter percepatan gempa,

$PGA = 0,9$ (Sumber: SNI 2833;1016, Gambar 1)

$S_s = 2,6$ (Sumber: SNI 2833;1016, Gambar 2)

$S_1 = 0,7$ (Sumber: SNI 2833;1016, Gambar 3)

b. Faktor situs,

$F_{PGA} = 1$ (Sumber: SNI 2833;1016, Tabel 3)

$F_a = 1$ (Sumber: SNI 2833;1016, Tabel 3)

$F_v = 1,5$ (Sumber: SNI 2833;1016, Tabel 4)

c. Gempa statik ekuivalen,

$A_s = 0,947 \text{ g}$

$S_{DS} = 2,592 \text{ g}$

$S_{D1} = 1,07 \text{ g}$

Waktu getar smengalami struktur (T),

$T_s = 0,413 \text{ s}$

$T_0 = 0,083 \text{ s}$

$T = 0,083 \text{ s}$

Koefisien respon gempa elastic (Csm),

$C_{sm} = 2,592 \text{ s}$

Berat struktur (Wt),

$W_t = 3158,18$

Factor modifikasi respon (R),

$R = 1,0$

Gaya Gempa Statik ekuivalen pada struktur (E_Q),

$E_Q = 8185,713 \text{ kN}$

Beban gempa vertikal,

$Q_{EQ} = 102,32 \text{ kN/m}$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban gempa vertikal,

$V_{EQ} = 4092 \text{ kN}$

$M_{EQ} = 81857,13 \text{ kN/m}$

Pada perhitungan parameter percepatan gempa, factor situs, dan gempa statik ekuivalen dapat dilihat di lampiran, 6. beban gempa (EQ)

4.5.7 Resume Momen Dan Gaya Geser Pada Balok

Hasil perhitungan resum momen dan gaya geser pada balok pembebanan jembatan dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan resum momen dan gaya geser pada balok

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kn/m)
1	Berat balok prategang	balok	19,184	-	-
2	Berat plat	plat	7,500	-	-
3	Berat sendiri	MS	31,123	-	-
4	Mati tambahan	MA	8,354	-	-
5	Lajur "D"	TD	7,020	73,92	-
6	Gaya Rem	TB	-	-	157,242
7	Angin	EW	82,000	-	-
8	Gempa	EQ	102,321	-	-

Momen maksimum akibat berat balok,

$$M_{\text{balok}} = 15346,92 \text{ kNm}$$

Momen maksimum akibat berat plat,

$$M_{\text{plat}} = 6000 \text{ kNm}$$

Pada perhitungan keseluruhan diatas dapat dilihat pada lampiran, 7. Resume momen dan gaya geser pada balok.

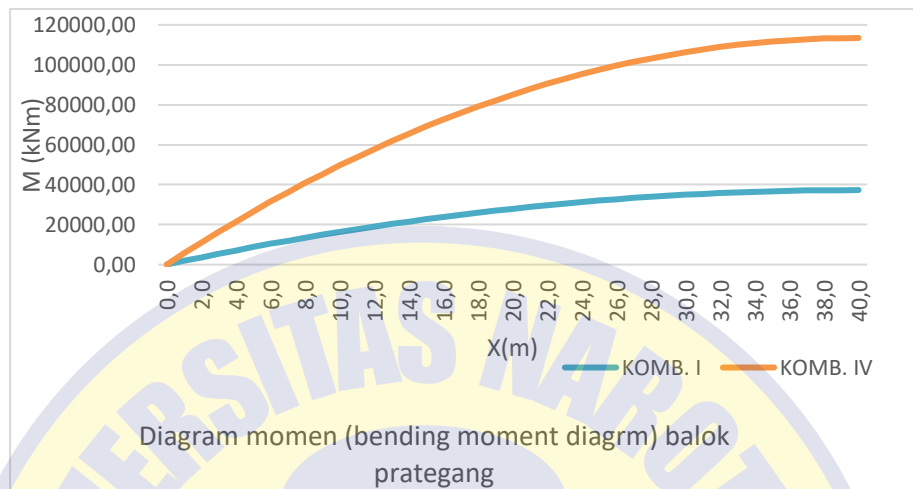
4.5.7.1 Momen Pada Balok Prategang

Tabel 4.11 Hasil perhitungan momen pada balok

Jarak X (m)	Momen pada balok prategang akibat beban							KOMB. I	KOMB. II	KOMB. III	KOMB. IV
	Berat balok	Berat sen	Mati temb	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa	MS+MA+ TD+TB	MS+MA+ TD+EW	MS+MA+ TD+TB+EW	MS+MA+ EQ
		MS	MA	TD	TB	EW	EQ				
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0,0	0,00	0,00	0,00	55,44	0,00	0,00	0,00	55,44	55,44	55,44	0,00
1,0	757,75	1229,37	329,98	314,25	1,97	277,29	4041,70	1875,57	2150,89	2152,86	5601,05
2,0	1496,32	2427,61	651,61	584,52	3,93	547,56	7981,07	3667,68	4211,31	4215,24	11060,30
3,0	2215,71	3594,74	964,89	847,77	5,90	810,81	11818,12	5413,29	6218,20	6224,10	16377,75
4,0	2915,91	4730,73	1269,81	1104,00	7,86	1067,04	15552,85	7112,40	8171,58	8179,44	21553,40
5,0	3596,93	5835,61	1566,38	1353,21	9,83	1316,25	19185,26	8765,02	10071,44	10081,27	26587,25
6,0	4258,77	6909,36	1854,59	1595,40	11,79	1558,44	22715,35	10371,14	11917,79	11929,58	31479,30
7,0	4901,42	7951,99	2134,45	1830,57	13,76	1793,61	26143,12	11930,77	13710,62	13724,38	36229,56
8,0	5524,89	8963,50	2405,95	2058,72	15,72	2021,76	29468,57	13443,89	15449,93	15465,65	40838,01
9,0	6129,18	9943,88	2669,10	2279,85	17,69	2242,89	32691,69	14910,52	17135,72	17153,41	45304,67
10,0	6714,28	10893,14	2923,90	2493,96	19,66	2457,00	35812,49	16330,65	18768,00	18787,65	49629,53
11,0	7280,20	11811,27	3170,34	2701,05	21,62	2664,09	38830,97	17704,29	20346,76	20368,38	53812,59
12,0	7826,93	12698,29	3408,43	2901,12	23,59	2864,16	41747,13	19031,42	21872,00	21895,58	57853,85
13,0	8354,48	13554,18	3638,17	3094,17	25,55	3057,21	44560,97	20312,06	23343,72	23369,27	61753,32
14,0	8862,85	14378,94	3859,55	3280,20	27,52	3243,24	47272,49	21546,21	24761,93	24789,45	65510,98
15,0	9352,03	15172,58	4072,58	3459,21	29,48	3422,25	49881,69	22733,85	26126,62	26156,10	69126,85

16,0	9822,03	15935,10	4277,25	3631,20	31,45	3594,24	52388,56	23875,00	27437,79	27469,24	72600,91
17,0	10272,84	16666,50	4473,57	3796,17	33,41	3759,21	54793,11	24969,65	28695,45	28728,86	75933,18
18,0	10704,48	17366,77	4661,53	3954,12	35,38	3917,16	57095,35	26017,81	29899,59	29934,97	79123,65
19,0	11116,93	18035,92	4841,14	4105,05	37,35	4068,09	59295,26	27019,46	31050,21	31087,55	82172,32
20,0	11510,19	18673,95	5012,40	4248,96	39,31	4212,00	61392,85	27974,62	32147,31	32186,62	85079,20
21,0	11884,27	19280,85	5175,30	4385,85	41,28	4348,89	63388,11	28883,28	33190,90	33232,17	87844,27
22,0	12239,17	19856,63	5329,85	4515,72	43,24	4478,76	65281,06	29745,45	34180,97	34224,21	90467,54
23,0	12574,88	20401,29	5476,05	4638,57	45,21	4601,61	67071,68	30561,11	35117,52	35162,72	92949,02
24,0	12891,41	20914,82	5613,89	4754,40	47,17	4717,44	68759,99	31330,28	36000,55	36047,72	95288,70
25,0	13188,76	21397,23	5743,38	4863,21	49,14	4826,25	70345,97	32052,96	36830,07	36879,21	97486,58
26,0	13466,92	21848,52	5864,51	4965,00	51,10	4928,04	71829,63	32729,13	37606,07	37657,17	99542,66
27,0	13725,90	22268,69	5977,29	5059,77	53,07	5022,81	73210,97	33358,81	38328,55	38381,62	101456,94
28,0	13965,70	22657,73	6081,71	5147,52	55,03	5110,56	74489,99	33941,99	38997,52	39052,55	103229,42
29,0	14186,31	23015,64	6177,78	5228,25	57,00	5191,29	75666,68	34478,68	39612,97	39669,97	104860,11
30,0	14387,74	23342,44	6265,50	5301,96	58,97	5265,00	76741,06	34968,86	40174,90	40233,86	106348,99
31,0	14569,98	23638,11	6344,86	5368,65	60,93	5331,69	77713,11	35412,55	40683,31	40744,24	107696,08
32,0	14733,04	23902,66	6415,87	5428,32	62,90	5391,36	78582,84	35809,74	41138,21	41201,10	108901,37
33,0	14876,92	24136,08	6478,53	5480,97	64,86	5444,01	79350,25	36160,44	41539,59	41604,45	109964,86
34,0	15001,61	24338,38	6532,83	5526,60	66,83	5489,64	80015,34	36464,64	41887,45	41954,28	110886,55
35,0	15107,12	24509,56	6578,78	5565,21	68,79	5528,25	80578,11	36722,34	42181,79	42250,59	111666,44
36,0	15193,45	24649,61	6616,37	5596,80	70,76	5559,84	81038,56	36933,54	42422,62	42493,38	112304,54
37,0	15260,59	24758,55	6645,61	5621,37	72,72	5584,41	81396,68	37098,25	42609,93	42682,66	112800,83
38,0	15308,55	24836,35	6666,49	5638,92	74,69	5601,96	81652,48	37216,46	42743,73	42818,42	113155,33
39,0	15337,33	24883,04	6679,02	5649,45	76,66	5612,49	81805,97	37288,17	42824,00	42900,66	113368,03
40,0	15346,92	24898,60	6683,20	5652,96	78,62	5616,00	81857,13	37313,38	42850,76	42929,38	113438,93

Kombinasi momen pada balok prategang akibat pembebanan dapat diambil pada jarak 80m dari tumpuan, hasil dari kombinasi momen dapat diketahui grafik momen seperti Gambar 4.9 di bawah ini



Gambar 4.9 Garfik kombinasi momen pada balok prategan

Untuk melihat perhitungan kombinasi momen diatas dapat dilihat pada lampiran,
a. Momen pada balok prategang.

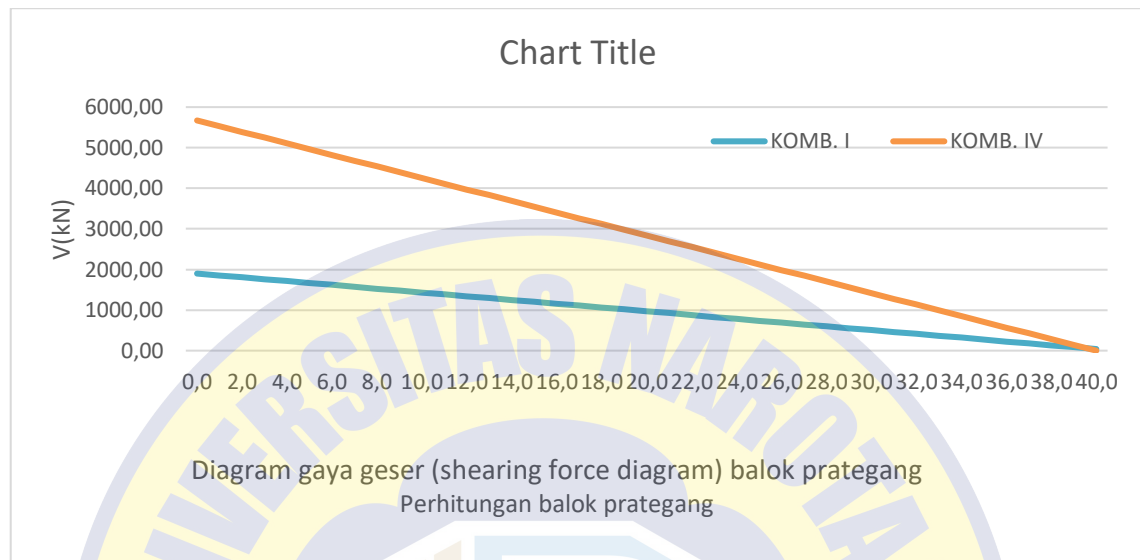
4.5.7.2 Gaya Geser Pada Balok Prategang

Tabel 4.12 Hasil perhitungan 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	Mati temb	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa	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	767,35	1244,93	334,16	317,76	1,97	3280,00	4092,86	1898,82	5176,85	5178,82	5671,95
1,0	748,16	1213,81	325,81	310,74	1,97	3198,00	3990,53	1852,32	5048,35	5050,32	5530,15
2,0	728,98	1182,68	317,45	303,72	1,97	3116,00	3888,21	1805,82	4919,86	4921,82	5388,35
3,0	709,80	1151,56	309,10	296,70	1,97	3034,00	3785,89	1759,32	4791,36	4793,32	5246,55
4,0	690,61	1120,44	300,74	289,68	1,97	2952,00	3683,57	1712,83	4662,86	4664,83	5104,75
5,0	671,43	1089,31	292,39	282,66	1,97	2870,00	3581,25	1666,33	4534,36	4536,33	4962,95
6,0	652,24	1058,19	284,04	275,64	1,97	2788,00	3478,93	1619,83	4405,87	4407,83	4821,15
7,0	633,06	1027,07	275,68	268,62	1,97	2706,00	3376,61	1573,33	4277,37	4279,33	4679,36
8,0	613,88	995,94	267,33	261,60	1,97	2624,00	3274,29	1526,84	4148,87	4150,84	4537,56
9,0	594,69	964,82	258,97	254,58	1,97	2542,00	3171,96	1480,34	4020,37	4022,34	4395,76
10,0	575,51	933,70	250,62	247,56	1,97	2460,00	3069,64	1433,84	3891,88	3893,84	4253,96
11,0	556,33	902,57	242,27	240,54	1,97	2378,00	2967,32	1387,35	3763,38	3765,35	4112,16
12,0	537,14	871,45	233,91	233,52	1,97	2296,00	2865,00	1340,85	3634,88	3636,85	3970,36
13,0	517,96	840,33	225,56	226,50	1,97	2214,00	2762,68	1294,35	3506,39	3508,35	3828,56
14,0	498,77	809,20	217,20	219,48	1,97	2132,00	2660,36	1247,85	3377,89	3379,85	3686,77
15,0	479,59	778,08	208,85	212,46	1,97	2050,00	2558,04	1201,36	3249,39	3251,36	3544,97

16,0	460,41	746,96	200,50	205,44	1,97	1968,00	2455,71	1154,86	3120,89	3122,86	3403,17
17,0	441,22	715,83	192,14	198,42	1,97	1886,00	2353,39	1108,36	2992,40	2994,36	3261,37
18,0	422,04	684,71	183,79	191,40	1,97	1804,00	2251,07	1061,87	2863,90	2865,87	3119,57
19,0	402,86	653,59	175,43	184,38	1,97	1722,00	2148,75	1015,37	2735,40	2737,37	2977,77
20,0	383,67	622,47	167,08	177,36	1,97	1640,00	2046,43	968,87	2606,91	2608,87	2835,97
21,0	364,49	591,34	158,73	170,34	1,97	1558,00	1944,11	922,37	2478,41	2480,37	2694,17
22,0	345,31	560,22	150,37	163,32	1,97	1476,00	1841,79	875,88	2349,91	2351,88	2552,38
23,0	326,12	529,10	142,02	156,30	1,97	1394,00	1739,46	829,38	2221,41	2223,38	2410,58
24,0	306,94	497,97	133,66	149,28	1,97	1312,00	1637,14	782,88	2092,92	2094,88	2268,78
25,0	287,75	466,85	125,31	142,26	1,97	1230,00	1534,82	736,38	1964,42	1966,38	2126,98
26,0	268,57	435,73	116,96	135,24	1,97	1148,00	1432,50	689,89	1835,92	1837,89	1985,18
27,0	249,39	404,60	108,60	128,22	1,97	1066,00	1330,18	643,39	1707,42	1709,39	1843,38
28,0	230,20	373,48	100,25	121,20	1,97	984,00	1227,86	596,89	1578,93	1580,89	1701,58
29,0	211,02	342,36	91,89	114,18	1,97	902,00	1125,54	550,40	1450,43	1452,40	1559,79
30,0	191,84	311,23	83,54	107,16	1,97	820,00	1023,21	503,90	1321,93	1323,90	1417,99
31,0	172,65	280,11	75,19	100,14	1,97	738,00	920,89	457,40	1193,44	1195,40	1276,19
32,0	153,47	248,99	66,83	93,12	1,97	656,00	818,57	410,90	1064,94	1066,90	1134,39
33,0	134,29	217,86	58,48	86,10	1,97	574,00	716,25	364,41	936,44	938,41	992,59
34,0	115,10	186,74	50,12	79,08	1,97	492,00	613,93	317,91	807,94	809,91	850,79
35,0	95,92	155,62	41,77	72,06	1,97	410,00	511,61	271,41	679,45	681,41	708,99
36,0	76,73	124,49	33,42	65,04	1,97	328,00	409,29	224,91	550,95	552,91	567,19
37,0	57,55	93,37	25,06	58,02	1,97	246,00	306,96	178,42	422,45	424,42	425,40
38,0	38,37	62,25	16,71	51,00	1,97	164,00	204,64	131,92	293,95	295,92	283,60
39,0	19,18	31,12	8,35	43,98	1,97	82,00	102,32	85,42	165,46	167,42	141,80
40,0	0,00	0,00	0,00	36,96	1,97	0,00	0,00	38,93	36,96	38,93	0,00

Kombinasi geser akibat momen pembebanan dapat diambil pada tumpuan beton prategang, hasil dari kombinasi geser dapat diketahui grafik penampang seperti Gambar 4.10 dibawah in.



Gambar 4.10 Garfik kombinasi momen

Untuk melihat melihat kombinasi geser diatas dapat dilihat pada lampiran, b. Gaya geser balok prategang

4.6 Gaya Prategang Eksentrisitas Dan Jumlah Tendon

4.6.1 Kondisi Awal Saat Transfer

Jumlah pada kondisi awal saat transfer tersebut,

Kuat tekan beton, $f_c' = 49800$ kPa

Kuat tekan beton pada kondisi awal saat transfer, $f_{ci}' = 39840$ kPa

Ditetapkan jarak titik berat tendon terhadap jarak alas balok, $Z_0 = 0,1375$ m

Eksentrisitas tendon, $e_s = 0,875$ m

Momen akibat berat sendiri, $M_{balok} = 15346,92$ kNm

Tegangan di serat atas dan tegangan diserat bawah, berdasarkan gaya prategang awal.

Dari persamaan (1), $P_t = 41629,51$

Dari persamaan (2), $P_t = 17715,63$

Diambil besarnya gaya prategang, $P_t = 17715,63$ kN

Pada perhitungan keseluruhan di atas dapat di lihat pada lampiran, 1.
Kondisi awal (Saat Transfer)

4.6.2 Kondisi Akhir

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untai “Strands cable” standar VSL, dengan data sebagai berikut,

Tabel 4.13 Strands cable – Standar VSL

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL			
Jenis strands			
Tegangan leleh strand	$f_{py} =$	1580000	kPa
Kuat tarik strand	$f_{pu} =$	1860000	kPa
Diameter nominal strands		0,0127	m
Luas tampang nominal satu strans	$A_{st} =$	9,87E-05	m ²
Beban putus minimal satu strands	$P_{bs} =$	187,32	kN
Jumlah kawat untai (strands cable)		19	kawat untai tiap tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Luas tampang strands		0,018753	m ²
Beban putus satu tendon	$P_{b1} =$	3559,1	kN
Modulus elastis strands	$E_s =$	1,93E+08	kPa
Tipe dongkrak		VSL 19	

Data yang diperukan dalam perhitungan jumlah tendon, dari persamaan 1 dan 2 diperoleh jumlah tendon yang di perlukan sebagai berikut

$$n_t = 7,320 \text{ Tendon}$$

$$\text{Diambil jumlah tendon, } n_t = 8 \text{ Tendon}$$

$$n_s = 139,080 \text{ Strands}$$

$$\text{Diambil jumlah strands } n_s = 140 \text{ strands}$$

Presentase tegangan leleh yang timbul pada baja % Jacking Force,

$$P_0 = 79,474 < 80\% \text{ (OK)}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking,

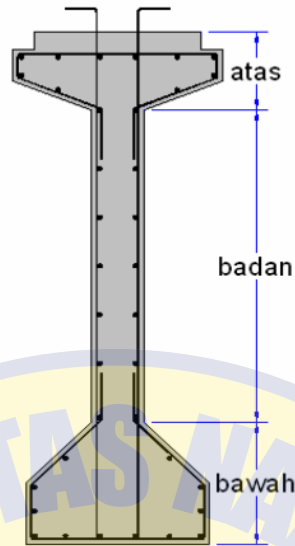
$$P_j = 2084,91 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (loss of prestress) = 30%

$$P_{eff} = 14589,33 \text{ kN}$$

Untuk melihat keseluruhan perhitungan diatas dapat dilihat pada lampiran, 2.
Kondisi akhir.

4.6.3 Pembesian Balok Prategang



Gambar 4.11 Pembesian balok prategang

Tulangan memanjang digunakan besi diameter, $D = 13 \text{ mm}$

$$A_s = 0,00013 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas tampang bagian bawah, } A_{\text{bawah}} = 0,28750 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas tulangan bagaian bawah, } A_{s \text{ bawah}} = 0,00144 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } A_{s \text{ bawah}} = 10,84 \text{ buah}$$

Digunakan bawah 12 D 13

$$\text{Luas tampang bagian bawah, } A_{\text{atas}} = 0,20880 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas tulangan bagaian bawah, } A_{s \text{ atas}} = 0,00104 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } A_{s \text{ atas}} = 7,87 \text{ buah}$$

Digunakan atas 10 D 13

$$\text{Luas tulangan bagaian badan, } A_{\text{badan}} = 0,3300 \text{ m}^2$$

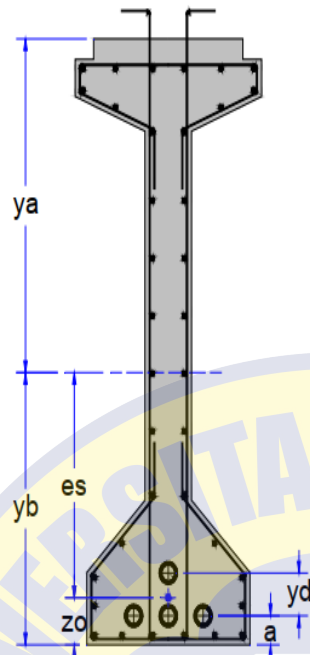
$$\text{Luas tulangan susut memanjang bagian badan, } A_{s \text{ badan}} = 0,00165 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } A_{s \text{ badan}} = 12,44$$

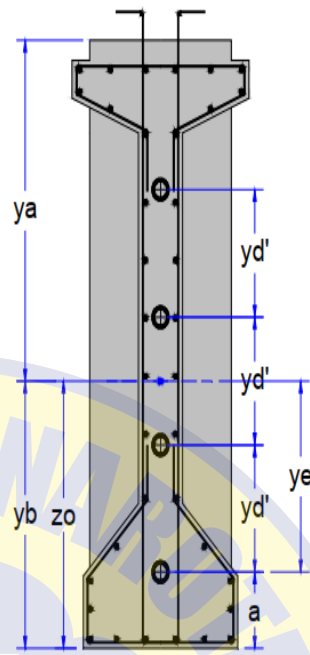
Digunakan badan 14 D 13

Pada perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 3. Pembesian balok prategang

4.6.4 Posisi Tendon



Gambar 4.12 Posisi tendon di tengah bentang



Gambar 4.13 Posisi tendon di tengah bentang

4.6.4.1 Posisi Tendon Ditengah bentang

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1, $a = 0,10$ m

$n_t = 8$ tendon, jumlah strands = 140 strands

Eksentrisitas, $e_s = 0,875$ m

$Z_0 = 0,138$ m

y_d = jarak vertikal antara as ke as tendon,

Momen statis tendon terhadap alas:

$y_d = 0,250$ m,

Diambil,

$y_d = 0,150$ m

$d_t = 0,076$ m

$y_d - d_t = 0,074$ m > 25 mm OK

Untuk selengkapnya perhitungan diatas dapat dilihat pada lampiran, a. Posisi tendon ditengah bentang.

4.6.4.2 Posisi Tendon Ditumpuan

Diambil Jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-4, $a' = 0,35$

Jumlah strands, $n_s = 140$ strands

y_e = Letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah

Letak titik berat penampang balok terhadap alas, $y_b = 1,012$ m

Momen statis tendon pusat terhadap pusat tendon terbawah, $\sum n_i * y_d' / y_d' = 476$

$y_d' / y_d' = 3,400$

$y_e = 0,662$ m

$y_d' = 0,195$ m

$Z_0 = 1,012$ m

Untuk selengkapnya perhitungan dapat dilihat pada lampiran, b, Posisi tendon di tumpuan.

4.6.4.3 Eksentrisitas Masing-Masing Tendon

Jumlah dari Eksentrisitas masing-masing tendon dapat dilihat pada Tabel 4.14 dibawah ini,

Tabel 4.14 Perhitungan masing-masing tendon.

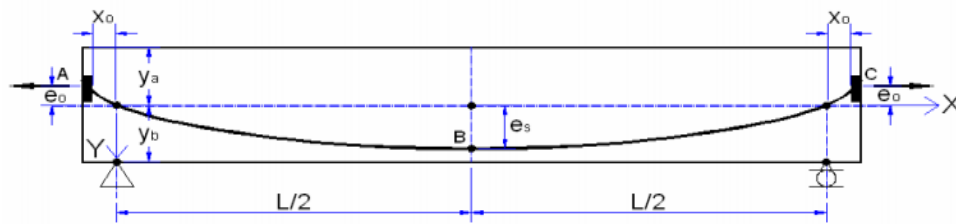
Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan $x = 0,00$	z_i (m)	Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang $x = 20,00$	z_i (m)	f_i $= z_i' - z_i$ (m)
1	$z_{1'} = a' + 7 * y_{d'}$	1,713	1	$z_1 = a + y_d$	0,350	1,363
2	$z_{2'} = a' + 6 * y_{d'}$	1,518	2	$z_2 = a$	0,100	1,418
3	$z_{3'} = a' + 5 * y_{d'}$	1,324	3	$z_3 = a$	0,100	1,224
4	$z_{4'} = a' + 4 * y_{d'}$	1,129	4	$z_4 = a$	0,100	1,029
5	$z_{5'} = a' + 3 * y_{d'}$	0,934	5	$z_5 = a$	0,100	0,834
6	$z_{6'} = a' + 2 * y_{d'}$	0,739	6	$z_6 = a$	0,100	0,639
7	$z_{7'} = a' + y_{d'}$	0,545	7	$z_7 = a$	0,100	0,445
8	$z_{8'} = a'$	0,350	8	$z_8 = a$	0,100	0,250

Untuk perhitungan tabel diatas dapat dilihat pada lampiran, c. Eksentrisitas masing-masing tendon.

4.6.5 Lintasan Inti Tendon (Cable)

Eksentrisitas, $e_s = 0,875 \text{ m}$

Persamaan lintas tendon, dengan $f=e_s$



Gambar 4.14 Lintas inti tendon

$$X_0 = 0,25 \text{ m}$$

$$e_0 = 0,011 \text{ m}$$

$$L/2 = 40,25 \text{ m}$$

$$e_s + e_0 = 0,885 \text{ m}$$

$$\alpha_{AB} = 0,044$$

$$\alpha_{BC} = 0,044$$

pada perhitungan ini selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 5. Lintasan inti tendon (Cable)

4.6.5.1 Sudut Angkur

Persamaan lintas tendon.

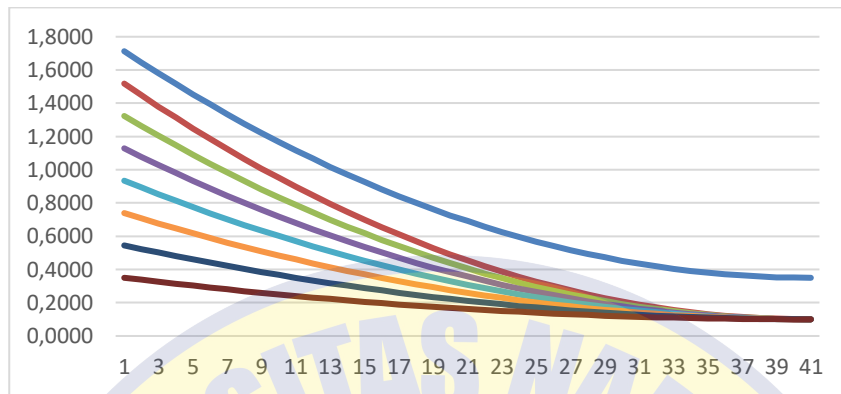
Tabel 4.15 Perhitungan Sudut Angkur

NO TENDON	JUMLAH STRAND	DIAMETER SELUBUNG	Eksentrisitas	F_i (m)	dY/dX	SUDUT ANGKUR		
1	21	84	$f_1 =$	1,363	0,06815	$\alpha_1 =$	0,068042	rad = 3,899 °
2	17	84	$f_2 =$	1,418	0,07091	$\alpha_2 =$	0,070793	rad = 4,056 °
3	17	84	$f_3 =$	1,224	0,06118	$\alpha_3 =$	0,0611	rad = 3,501 °
4	17	84	$f_4 =$	1,029	0,05144	$\alpha_4 =$	0,051396	rad = 2,945 °
5	17	84	$f_5 =$	0,834	0,04171	$\alpha_5 =$	0,041682	rad = 2,388 °
6	17	84	$f_6 =$	0,639	0,03197	$\alpha_6 =$	0,03196	rad = 1,831 °
7	17	84	$f_7 =$	0,445	0,02224	$\alpha_7 =$	0,022232	rad = 1,274 °
8	17	84	$f_8 =$	0,250	0,01250	$\alpha_8 =$	0,012499	rad = 0,716 °

Untuk melihat perhitungan lintas tendon selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, a. Sudut Angkur

4.6.5.2 Tata Letak Dan Tracel Kabel

Pada tata letak dan tracel kabel dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Grafik Lintasan tendon

Untuk melihat perhitungan selengkapnya pada lintas tendon dapat lihat pada lampiran, b. Tata letak dan tracel kabel

4.6.5.3 Pemakean Angkur

Pada Pemakean angkur ini ada 2 angkur, yaitu angkur hidup dan mati.

Angkur hidup = VSL

Tipe = 19 Sc

Angkur mati = VSL

Tipe = 19 P

4.6.6 Kehilangan Tegangan (Loss of Prestress) Pada Cable

4.6.6.1 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur (Anchorage Friction)

Gaya prategang akibat jacking force, $P_j = 20841,91$ kN

kehilangan gaya akibat gesekan angkur di perhitungan sebesar 3% dari gaya prategang akibat jacking $P_0 = 20216,66$ kN, Pada perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, a. Kehilangan tegangan akibat gesekan angkur (Anchorage Friction)

4.6.6.2 kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Kabel (Jack Friction)

Sudut lintas tendon dari ujung ke tengah,

$$\alpha_{AB} = 0,044 \text{ rad}$$

$$\alpha_{BC} = 0,044 \text{ rad}$$

Perubahan sudut total lintasan tendon, $\alpha = 0,088 \text{ rad}$

Dari tabel 6.6 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh,

Koefisien gesek, $\mu = 0,2$

Koefisien wobble, $\beta = 0,012$

Gaya [rategang akibat jacking setelah memperhitungkan loss of prestress akibat gesekan angkur,

$$P_0 = 20216,66 \text{ kN}$$

Loss of prestress akibat gesekan kabel,

Untuk, $L = 40,4 \text{ m}$

$$P_x = 18028,40 \text{ kN}$$

$$P_x = 16362,42 \text{ kN}$$

Untuk melihat keseluruhan perhitungan ini dapat dilihat pada lampiran, b. Kehilangan tegangan akibat gesekan cable (Jack Friction)

4.6.6.3 Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastik (Elastic Shortening)

Luas tampang tendon baja prategang, $A_t = 0,013818 \text{ m}^2$

Modulus ratio antara baja prategang dengan balok beton, $n = 6,387$

Jari-jari inersia penampang balok beton $I = 0,042$

$$K_e = 0,043890$$

Tegangan baja prategang sebelum loss of prestress (di tengah bentang),

$$\sigma_{pi} = 1897872 \text{ kPa}$$

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

$$\Delta\sigma_{per} = 415546 \text{ kPa}$$

Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang P_t ,

$$\sigma_{bt} = 32645 \text{ kPa}$$

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

$$\Delta\sigma_{pe} = 104254 \text{ kPa}$$

Loss of prestress akibat pemendekan elastis,

$$\Delta P_e = 1440,59 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan selengkapnya diatas dapat dilihat pada lampiran, c. Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis (Elastic Shortening).

4.6.6.4 Kehilangan Tegangan Pengankuran (Anchoring)

Kemiringan diagram gaya, $m = 54,165$

Jarak pengaruh kritis slip ankur dari ujung, $L_{\max} = 15,69 \text{ kN/m}$

Jarak pengaruh kritis slip ankur dari ujung, $\Delta P = 1699,71 \text{ kN}$

$$P'_{\max} = 19367 \text{ kN}$$

$$P_{\max} = 17926 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan selengkapnya diatas dapat dilihat pada lampiran, d. Kehilangan Tegangan Pengankuran (Anchoring).

4.6.6.5 Kehilangan Tegangan Akibat Relaxation Tendon

a. Pengaruh Susut (Shrinkage)

ϵ_b = renggangan dasar susut (basic shrinkage strain), Untuk kondisi kering udara dengan kelembaban $< 50 \%$,

Dari tabel 6.4 (Naasra Bridge Design Specification) diperoleh, $\epsilon_b = 0,0006$

k_b = Koefisien yang tergantung pada pemakaian air semen (water cement ration) untuk beton mutu tinggi dengan factor,

Air semen, $w = 0,4$, Cement content = $4,5 \text{ kN/m}^3$

Dari kurva 6.1 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh, $k_b = 0,905$

Luas penampang balok, $A = 0,752 \text{ m}^2$

keliling penampang balok yang berhubungan dengan udara luar, $K = 5,700 \text{ m}$

$$\epsilon_m = 0,264$$

Dari kurva 6.1 (NAASRA Bridge Design Specification) diperoleh, $k_e = 0,734$

k_p = koefisien yang tergantung pada luas tulangan baja memanjang non prategang, $P = 0,50\%$

$$K_p = 0,999$$

$$\Delta\epsilon_{su} = 0,00039816$$

Modulus elastis baja prategang (strand), $E_s = 1,930E+08$ kPa

Tegangan susut, $\sigma_{sh} = 76845,62$ kPa

b. Pengaruh Rayapan (Creep)

P initial (keadaan saat transfer) di tengah bentang, $P_i = 16588$ kN

$P_i = 63,25$ UTS

$M_{balok} = 15346,92$ kNm

$W_a = 0,380547$ m³

$W_b = 0,409126$ m³

$E_{balok} = 3,02E+07$ kPa

$e_s = 0,87450000$ m

$A = 0,7523$ m³

Tegangan beton di seret atas, $f_a = -24259,12$ kPa

Tegangan beton di seret bawah, $f_b = -37460,35$ kPa

K_c = koefisien yang tergantung pada kelembapan udara, untuk perhitungan diambil kondisi kering dengan kelembapan 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 temperature 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, $t' = 35$ hari

Dari kurva 6.4 (NAASRA Bridge Design Specification) Untuk semen normal tipe I diperoleh, $k_d = 0,938$

k_m = 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, $k_m = 0,2$

$f_c = f_b = 37460,35$ kPa

$$\varepsilon_{cr} = 0,00046$$

$$\sigma_{cr} = 89449,17 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_{sc} = 166294,79 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{pi} = 1200449,528 \text{ kPa}$$

Besar tegangan terhadap UTS = 63,25 UTS

X = 0 jika $\sigma_{pi} < 50\%$ UTS

X = 1 jika $\sigma_{pi} = 50\%$ UTS

X = 2 jika $\sigma_{pi} = 70\%$ UTS, X = 1,725

Relaxasi setelah 1000 jam pada 70% beban putus (UTS),

c = 2,50%, 63,25 % UTS.

$$\sigma_r = 44597,923 \text{ kPa}$$

Loss of prestress jangka panjang = 210892,718 kPa

$$\Delta P = 2914,12 \text{ kN}$$

Gaya efektif di tengah bentang balok, $P_{eff} = 13673,70 \text{ kN}$

Kehilangan gaya prategang total, $(1 - P_{eff} / P_j) * 100\% = 34,39$

= 35% cukup dekat estimasi awal,

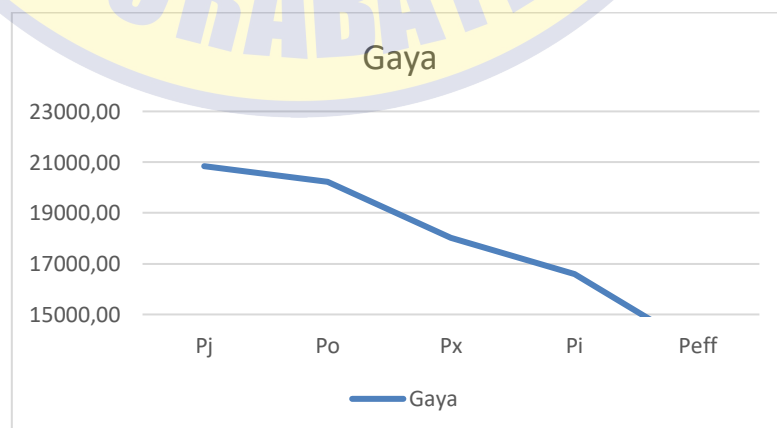
(Kehilangan gaya prategang akhir = 35%) Ok

Kontrol tegangan pada tendon baja pasca tertarik segera setelah penyaluran gaya preategang,

Tegangan ijin tendon baja pasca tarik, $0,70 * f_{pu} = 1302000 \text{ kPa}$

tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik, $f_p = 989557 \text{ kPa} < 1302000 \text{ kPa}$ Ok

Loss of prestress = 34,39



Gambar 4.16 Grafik loss of prestress

Pada keseluruhan perhitungan pengaruh susut (Shrinkage) dan pengaruh rayapan (Creep) dapat dilihat di lampiran, e. Kehilangan Tegangan akibat relaxation of tendon.

4.7 Tegangan Yang Terjadi Pada Penampang Balok

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

- a. tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0,60 * f_{ci}'$ dengan $f_{ci}' = 0,80 f_c'$
- b. 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,

- a. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati, dan beban hidup $\leq 0,45 * f_c'$
- b. Tegangan serat tarik terluar yang pada awalnya mengalami tekan $\leq 0,50 * \sqrt{f_{ci}'}$

4.7.1 Keadaan Awal (Saat Transfer)

Nilai tegangan beton saat keadaan awal pada serat atas dan tegangan yang terjadi di serat bawah. dari analisis tegangan pada keadaan awal penampang memiliki nilai tegangan di serat atas sebesar -23167 kPa, Pada nilai tegangan serat bawah sebesar -23904 kPa, Dengan nilai tegangan ijin tekan beton sebesar -23904 kPa. untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 1. Keadaan awal (Saat Transfer)

4.7.2 Keadaan Setelah Loss of Prestress

Nilai tegangan setelah kehilangan prategang pada serat atas dan tegangan pada serat bawah. Nilai tegangan serat atas setelah kehilangan prategang pada penampang sebesar -27082 kPa, Pada nilai tegangan serat bawah setelah kehilangan prategang pada penampang sebesar -84915 kPa dalam kategori tidak aman, karena tegangan yang terjadi pada serat atas dan bawah penampang melewati batas tegangan ijin tekan yang sudah ada sebesar -22410 kPa. untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 2. Keadaan Setelah Loss of Prestress

4.7.3 Keadaan Setelah Plat Lantai Selesai Dicor (Beton Mudah)

Nilai tegangan setelah plat lantai dan balok menjadi komposit pada serat atas plat, serat atas balok dan serat bawah balok. Dari Nilai tegangan serat atas plat sebesar -22161 kPa, Pada nilai serat atas balok -20114 kPa, dan pada nilai serat bawah balok sebesar -3326 kPa. Nilai pada serat atas plat, serat atas balok, dan serat bawah balok pada kondisi tekan masih aman karena belum melewati batas tegangan ijin tekan sebesar -22410 kPa. untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 3. Keadaan setelah plat lantai selesai dicor (Beton Muda).

4.7.4 Keadaan Setelah Plat Lantai Dan balok Menjadi Komposit

Nilai tegangan setelah plat lantai dan balok menjadi komposit pada serat atas plat, serat atas balok dan serat bawah balok. Dari Nilai tegangan serat atas plat sebesar -22161 kPa, Pada nilai serat atas balok -20114 kPa, dan pada nilai serat bawah balok sebesar -3326 kPa. Nilai pada serat atas plat, serat atas balok, dan serat bawah balok pada kondisi tekan masih aman karena belum melewati batas tegangan ijin tekan sebesar -22410 kPa. untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 4. Keadaan Setelah Plat Dan Balok Menjadi Komposit.

4.8 Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Komposit

4.8.1 Tegangan Akibat Berat Sendiri (MS)

Momen akibat berat sendiri, $M_{MS} = 24899 \text{ kNm}$

Tegangan beton di serat atas plat,

$$f_{ac} = -37134 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat atas balok,

$$f'_{ac} = -27896 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$$f_{bc} = -47863 \text{ kPa}$$

Pada perhitungan selengkapnya dapat dilihat di lampiran, 1. Tegangan akibat berat sendiri (MS)

4.8.2 Tegangan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

Momen akibat beban mati tambahan, $M_{MA} = 6683 \text{ kNm}$

Tegangan beton diserat atas plat,

$$f_{ac} = -9967 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat atas balok,

$$f'_{ac} = -7488 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$$f_{bc} = 12847 \text{ kPa}$$

Pada perhitungan selengkapnya dapat dilihat di lampiran, 2. Tegangan akibat beban mati tambahan (MA).

4.8.3 Tegangan Akibat Susut Dan Rangkak (SR)

4.8.3.1 Tegangan Akibat Susut Beton (Shrinkage)

Gaya internal yang timbul akibat susut (Menurut NAASRA Bridge Design Specification).

Luas penampang plat, $A_{plat} = 0,2291 \text{ m}^2$

Gaya internal yang terjadi akibat susut,

$$\Delta \epsilon_{su} = 0,0003982$$

$$C_f = 1,49540$$

$$P_s = 1367,04 \text{ kN}$$

Tegangan akibat susut yang terjadi,

tegangan beton di serat plat,

$$f_{ac} = -401 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat atas balok,

$$f'_{ca} = 45,35 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$$f_{cb} = 1395 \text{ kPa}$$

Pada perhitungan selengkapnya dapat dilihat di lampiran, a. Tegangan Akibat Susut Beton (Shrinkage).

4.8.3.2 Tegangan Akibat Rangkak Beton (Creep)

Risudal creep (Menurut NAASRA Bridge Design Specification).

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

σ_1 = tegangan akibat berat sendiri dengan gaya prategang awal

σ_2 = tegangan akibat berat sendiri dengan gaya prategang efektif

cf = residual creep factor

$$cf = k_b * k_c * k_d * k_e (1 - k_{tn})$$

$$= 1,49540$$

e = bilangan natural,

$$= 2,7183$$

$$(1 - e^{-cf}) = 0,77584$$

$$P_1 = 16587,8 \text{ kN}$$

$$P_{eff} = 13673,70 \text{ kN}$$

Hasil dari perhitungan tegangan akibat rangkakan beton dapat di pada table 4.11 di bawah ini.

Tabel 4.16 Tegangan akibat rangkakan beton

Letak	σ_2 (kPa)	σ_1 (kPa)	$\sigma_2 - \sigma_1$	$(1 - e^{-CT})$	σ_{cr} (kPa)
$f_{ca} =$	-22161	-20099	-2062,1	0,7758	-1599,9
$f'_{ca} =$	-20114	-19304	-810,3	0,7758	-628,7
$f_{cb} =$	-3326	-12780	-9454,2	0,7758	-7335,0

Pada perhitungan dan perhitungan tabel selengkapnya dapat dilihat di lampiran,

b. Tegangan akibat rangka beton (Creep)

4.8.3.3 Superposisi Tegangan

Hasil perhitungan superposisi tegangan dapat di lihat pada table 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.17 Superposisi Tegangan

Letak	Susut	Rangkak	Susut dan Rangkak
$f_{ca} =$	-401 kPa	-1599,879 kPa	-2001 kPa
$f'_{ca} =$	45 kPa	-628,694 kPa	-583 kPa
$f_{cb} =$	1395 kPa	-7335,017 kPa	-5940 kPa

Pada perhitungan tabel selengkapnya dapat dilihat di lampiran, c. Superposisi Tegangan Susut Dan Rangkak

4.8.4 Tegangan Akibat Prategang (PR)

Gaya prategang efektif, $P_{eff} = 13673,70 \text{ kN}$

$A_c = 0,98143 \text{ m}^2$

Eksentrisitas tendon,

$e'_s = 1,158 \text{ m}$

Tegangan beton di serat atas plat,

$f_{ac} = 9676 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok,

$f'_{ac} = 3802 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$f_{bc} = -44361 \text{ kPa}$

Untuk melihat perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 4.
Tegangan akibat prategang (PR)

4.8.5 Tegangan Akibat Beban lajur "D" (TD)

Momen balok akibat beban lajur "D", $M_{TD} = 7094,40 \text{ kNm}$

Tegangan beton di serat atas plat,

$f_{ac} = -10581 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok,

$f'_{ac} = -7948 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$f_{bc} = 13638 \text{ kPa}$.

Untuk melihat perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 5.
Tegangan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

4.8.6 Tegangan Akibat Gaya Rem (TB)

Momen balok akibat gaya rem, $M_{TB} = 43,678 \text{ kNm}$

Tegangan beton di serat atas plat,

$f_{ac} = -65 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok,

$$f_{ac} = -49 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$$f_{bc} = 84 \text{ kPa.}$$

Untuk melihat perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 6.

Tegangan Akibat Gaya Rem (TB)

4.8.7 Tegangan Akibat Beban Angin (EW)

Momen balok akibat beban angin, $M_{EW} = 81857,13 \text{ kNm}$

Tegangan beton di serat atas plat,

$$f_{ac} = -97837 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat atas balok,

$$f_{ac} = -73496 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$$f_{bc} = 126103 \text{ kPa.}$$

Untuk melihat perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 7.

Tegangan Akibat Beban Angin (EW)

4.8.8 Tegangan Akibat Beban Gempa (EQ)

Momen balok akibat beban gempa, $M_{EQ} = 81857,13 \text{ kNm}$

Tegangan beton di serat atas plat,

$$f_{ac} = -122084 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat atas balok,

$$f_{ac} = -91710 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$$f_{bc} = 157355 \text{ kPa.}$$

Untuk melihat perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 8.

Tegangan Akibat Beban Gempa (EQ)

4.8.9 Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya internal akibat pembesaran temperature,

Perbedaan temperature, $\Delta T = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Modulus elastis balok, $E_{\text{balok}} = 2,31\text{E}+07$ kPa

koefisien muai, $\beta = 1,1\text{E}-05 / ^\circ\text{C}$

A_t = Luas tampang yang ditinjau

T_a = Perbedaan temperatur gradien bagian atas

T_b = Perbedaan temperatur gradien bagian bawah

$A_c = 0,98143 \text{ m}^2$

Eksentrisitas, $e_p = 0,703 \text{ m}$

Tegangan yang terjadi akibat perbedaan temperature,

Tegangan beton di serat atas plat,

$f_{ac} = -4242 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat atas balok,

$f'_{ac} = -3901 \text{ kPa}$

Tegangan beton di serat bawah balok,

$f_{bc} = -3094 \text{ kPa}$.

Untuk melihat perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 9.

Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

4.9 Kontrol Tagangan Terhadap Kombinasi Pembebanan

Mutu beton, K-600

Kuat tekan beton, $f_c' = 49800 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tekan beton, $f_c' = -22410 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tarik beton, $f_c' = 112 \text{ kPa}$

Tabel 4.18 Kombinasi pembebanan SNI 1725:2016

Aksi / Beban	Simbol	KOMBINASI PEMBEBANAN				
		1	2	3	4	5
A. Aksi Tetap						
Berat sendiri	MS	√	√	√	√	√
Beban mati tambahan	MA	√	√	√	√	√
Susut dan rangkai	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					√

Untuk melihat keseluruhan perhitungan ke lima kombinasi dibawah ini selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, K. Kontrol tegangan terhadap kombinasi pembebanan.

4.9.1 Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi -1

Tegangan ijin beton untuk, KOMBINASI-1

Tegangan Ijin tekan, $f_c' = -22410$ kPa

Tegangan Ijin Tarik, $f_c = 112$ kPa

Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban,

Tegangan kobinasi, $f_{ac} = -50073 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f'_{ac} = -40161 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f'_{bc} = -71596 < -22410$ (Aman)

4.9.2 Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi -2

Tegangan ijin beton untuk, KOMBINASI-2

Tegangan Ijin tekan, $f_c' = -22410$ kPa

Tegangan Ijin Tarik, $f_c = 112$ kPa

Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban,

Tegangan kobinasi, $f_{ac} = -4324 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f'_{ac} = -44062 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f'_{bc} = -74690 < -22410$ (Aman)

4.9.3 Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi -3

Tegangan ijin beton untuk, KOMBINASI-3

Tegangan Ijin tekan, $f_c' = -22410$ kPa

Tegangan Ijin Tarik, $f_c = 112$ kPa

Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban,

Tegangan kobinasi, $f_{ac} = -147910 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f'_{ac} = -113657 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f'_{bc} = 54508 < -22410$ (Tidak aman)

4.9.4 Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi -4

Tegangan ijin beton untuk, KOMBINASI-4

Tegangan Ijin tekan, $f_c' = -22410$ kPa

Tegangan Ijin Tarik, $f_c = 112$ kPa

Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban,

Tegangan kobinasi, $f_{ac} = -152151 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f_{ac}' = -117558 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f_{bc}' = 51414 < -22410$ (Tidak aman)

4.9.5 Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi -5

Tegangan ijin beton untuk, KOMBINASI-3

Tegangan Ijin tekan, $f_c' = -22410$ kPa

Tegangan Ijin Tarik, $f_c = 112$ kPa

Tegangan pada beton yang terjadi akibat beban,

Tegangan kobinasi, $f_{ac} = -161510 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f_{ac}' = -123674 < -22410$ (Aman)

Tegangan kobinasi, $f_{bc}' = 72037 < -22410$ (Tidak aman)

4.10 Pembesian End Block

Gaya prategang jacking pada masing - masing cable,

Tabel 4.19 Gaya prategang jacking

No CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur nati VSL		n_s (STRAND)	P_{bs} (kN)	P_o (kN)	P_j (kN)	Sudut ($^\circ$)
	Sc(Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)					
1	19	265	19	250	21	187,32	79,474	3126,29	3,899
2	19	265	19	250	17	187,32	79,474	2530,80	4,056
3	19	265	19	250	17	187,32	79,474	2530,80	3,501
4	19	265	19	250	17	187,32	79,474	2530,80	2,945
5	19	265	19	250	17	187,32	79,474	2530,80	2,388
6	19	265	19	250	17	187,32	79,474	2530,80	1,831
7	19	265	19	250	17	187,32	79,474	2530,80	1,274
8	19	265	19	250	17	187,32	79,474	2530,80	0,716

Jumlah dari momen statis penmpang balok,

letak titik berat, $y_a = 1,088 \text{ m}$

$y_b = 1,012 \text{ m}$

Momen statis luas bagian atas, $S_{xa} = 0,254949$

Momen statis luas bagian bawah, $S_{xb} = 0,253102$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, L. pembesian end block.

4.10.1 Perhitungan Senggang Untuk Bursting Force

f_s = tegangan ijin tarik baja Senggang

Untuk mutu baja Senggang, U-32

Tegangan leleh baja Senggang, $f_y = 320000 \text{ kPa}$

Tegangan ijin baja Senggang, $f_s = 184960 \text{ kPa}$

Digunakan senggang tertutup berdiameter, $2 D = 13 \text{ mm}$

Luas penampang Senggang, $A_s = 265,350 \text{ mm}^2, = 0,00026533 \text{ m}^2$

Jumlah senggang arah vertikal yang diperlukan, $n = A_{ra} / A_s$

Jumlah senggang arah horisontal yang diperlukan, $n = A_{rb} / A_s$

Pada perhitungan selengkapnya dan tabel dibawah ini dapat dilihat di lampiran, 1. Perhitungan senggang untuk bursting force

Tabel 4.20 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)	Sc (ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	3126,3	250	340	0,735	248,26	0,001579	5,95
2	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
3	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
4	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
5	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
6	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
7	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
8	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82

Tabel 4.21 perhitungan sengkang arah horisontal

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)	Sc (ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	3126,3	250	340	0,735	248,26	0,001579	5,95
2	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
3	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
4	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
5	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
6	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
7	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82
8	19	265	19	250	2530,8	250	340	0,735	200,98	0,001278	4,82

4.10.2 Jumlah Sengkang Yang Digunakan Untuk Bursting Force.

Tabel 4.22 Jumlah sengkang

NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Jumlah sengkang
	Sc (ton)	Dim (mm)	Sc (ton)	Dim (mm)	
1	19	265	19	250	5
2	19	265	19	250	5
3	19	265	19	250	5
4	19	265	19	250	5
5	19	265	19	250	5
6	19	265	19	250	5
7	19	265	19	250	5
8	19	265	19	250	5

Pada perhitungan tabel diatas selengkapnya dapat dilihat di lampiran, 2. Jumlah sengkang yang digunakan untuk bursting force.

4.10.3 Tinjauan terhadap Geser

Untuk tulngan geser digunakan sengkang berdiameter, D 13

$$A_t = 132,6650$$

$$A_t = 0,000133 \text{ m}^2$$

$$f = 0,875 \text{ m}$$

$$L = 80,00 \text{ m}$$

$$p_{eff} = 13673,70 \text{ kN}$$

$$b = 0,30 \text{ m}$$

$$A = 0,75230 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,414035521 \text{ m}^4$$

$$S_x = 0,254949 \text{ m}^3$$

$$W_a = 0,380547 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,409126 \text{ m}^3$$

Pada perhitungan diatas dan perhitungan keseluruhan tabel di bawah ini dapat dilihat di lampiran, 3. Tinjauan terhadap geser

4.10.3.1 Persamaan Geser Diatas Garis Netral

Tabel 4.23 Perhitungan garis netral atas

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	55,4	5178,82	0,00000	0,04370	13661	597	4582	9403,77	-18304	-0,3995	0,0020
1	2152,9	5050,32	0,04318	0,04261	13661	582	4468	9170,62	-22267	-0,3445	0,0030
2	4215,2	4921,82	0,08526	0,04151	13662	567	4354	8937,47	-26176	-0,2996	0,0042
3	6224,1	4793,32	0,12626	0,04042	13663	553	4241	8704,33	-29984	-0,2630	0,0057
4	8179,4	4664,83	0,16616	0,03933	13663	538	4127	8471,19	-33690	-0,2330	0,0074
5	10081,3	4536,33	0,20496	0,03824	13664	523	4014	8238,05	-37295	-0,2080	0,0095
6	11929,6	4407,83	0,24267	0,03715	13664	508	3900	8004,92	-40798	-0,1870	0,0119
7	13724,4	4279,33	0,27929	0,03606	13665	493	3786	7771,79	-44200	-0,1691	0,0147
8	15465,7	4150,84	0,31482	0,03497	13665	478	3673	7538,66	-47500	-0,1537	0,0180
9	17153,4	4022,34	0,34925	0,03387	13666	463	3559	7305,54	-50699	-0,1403	0,0217
10	18787,7	3893,84	0,38259	0,03278	13666	448	3446	7072,42	-53796	-0,1286	0,0260
11	20368,4	3765,35	0,41484	0,03169	13667	433	3332	6839,31	-56792	-0,1182	0,0309
12	21895,6	3636,85	0,44600	0,03060	13667	418	3219	6606,19	-59687	-0,1089	0,0365
13	23369,3	3508,35	0,47606	0,02951	13668	403	3105	6373,08	-62480	-0,1006	0,0429
14	24789,4	3379,85	0,50502	0,02841	13668	388	2991	6139,98	-65171	-0,0931	0,0503
15	26156,1	3251,36	0,53290	0,02732	13669	374	2878	5906,87	-67761	-0,0863	0,0586
16	27469,2	3122,86	0,55968	0,02623	13669	359	2764	5673,77	-70250	-0,0801	0,0682

17	28728,9	2994,36	0,58537	0,02514	13669	344	2651	5440,68	-72637	-0,0743	0,0793
18	29935,0	2865,87	0,60996	0,02404	13670	329	2537	5207,58	-74923	-0,0691	0,0920
19	31087,6	2737,37	0,63347	0,02295	13670	314	2424	4974,49	-77107	-0,0642	0,1067
20	32186,6	2608,87	0,65588	0,02186	13670	299	2310	4741,40	-79190	-0,0596	0,1238
21	33232,2	2480,37	0,67719	0,02077	13671	284	2196	4508,31	-81172	-0,0553	0,1438
22	34224,2	2351,88	0,69741	0,01967	13671	269	2083	4275,22	-83052	-0,0513	0,1673
23	35162,7	2223,38	0,71654	0,01858	13671	254	1969	4042,14	-84831	-0,0475	0,1952
24	36047,7	2094,88	0,73458	0,01749	13672	239	1856	3809,05	-86508	-0,0439	0,2285
25	36879,2	1966,38	0,75152	0,01640	13672	224	1742	3575,97	-88085	-0,0405	0,2688
26	37657,2	1837,89	0,76737	0,01530	13672	209	1629	3342,89	-89559	-0,0373	0,3178
27	38381,6	1709,39	0,78213	0,01421	13672	194	1515	3109,82	-90933	-0,0341	0,3785
28	39052,6	1580,89	0,79580	0,01312	13673	179	1402	2876,74	-92205	-0,0312	0,4547
29	39670,0	1452,40	0,80837	0,01202	13673	164	1288	2643,67	-93375	-0,0283	0,5521
30	40233,9	1323,90	0,81984	0,01093	13673	149	1174	2410,59	-94444	-0,0255	0,6792
31	40744,2	1195,40	0,83023	0,00984	13673	135	1061	2177,52	-95412	-0,0228	0,8495
32	41201,1	1066,90	0,83952	0,00874	13673	120	947	1944,45	-96279	-0,0202	1,0846
33	41604,4	938,41	0,84772	0,00765	13673	105	834	1711,38	-97044	-0,0176	1,4224
34	41954,3	809,91	0,85482	0,00656	13673	90	720	1478,31	-97708	-0,0151	1,9323
35	42250,6	681,41	0,86084	0,00547	13673	75	607	1245,24	-98271	-0,0127	2,7545
36	42493,4	552,91	0,86576	0,00437	13674	60	493	1012,17	-98732	-0,0103	4,2081
37	42682,7	424,42	0,86958	0,00328	13674	45	380	779,10	-99092	-0,0079	7,1540
38	42818,4	295,92	0,87231	0,00219	13674	30	266	546,03	-99350	-0,0055	14,6403
39	42900,7	167,42	0,87395	0,00109	13674	15	152	312,96	-99507	-0,0031	44,7054
40	42929,4	38,93	0,87450	0,00000	13674	0	39	79,90	-99563	-0,0008	686,7137

4.10.3.2 Tinjauan Geser Dibawah Garis Netral

Tabel 4.24 Perhitungan garis netral bawah

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	55,4	5178,82	0,00000	0,04370	13661	597	4582	9403,77	-18294	-0,3996	0,0020
1	2152,9	5050,32	0,04318	0,04261	13661	582	4468	9170,62	-21980	-0,3477	0,0029
2	4215,2	4921,82	0,08526	0,04151	13662	567	4354	8937,47	-25616	-0,3046	0,0040
3	6224,1	4793,32	0,12626	0,04042	13663	553	4241	8704,33	-29158	-0,2691	0,0054
4	8179,4	4664,83	0,16616	0,03933	13663	538	4127	8471,19	-32605	-0,2396	0,0070
5	10081,3	4536,33	0,20496	0,03824	13664	523	4014	8238,05	-35958	-0,2148	0,0088
6	11929,6	4407,83	0,24267	0,03715	13664	508	3900	8004,92	-39217	-0,1938	0,0110
7	13724,4	4279,33	0,27929	0,03606	13665	493	3786	7771,79	-42381	-0,1758	0,0136
8	15465,7	4150,84	0,31482	0,03497	13665	478	3673	7538,66	-45451	-0,1602	0,0165
9	17153,4	4022,34	0,34925	0,03387	13666	463	3559	7305,54	-48426	-0,1465	0,0199
10	18787,7	3893,84	0,38259	0,03278	13666	448	3446	7072,42	-51307	-0,1345	0,0237
11	20368,4	3765,35	0,41484	0,03169	13667	433	3332	6839,31	-54094	-0,1238	0,0281
12	21895,6	3636,85	0,44600	0,03060	13667	418	3219	6606,19	-56786	-0,1143	0,0331
13	23369,3	3508,35	0,47606	0,02951	13668	403	3105	6373,08	-59384	-0,1057	0,0388
14	24789,4	3379,85	0,50502	0,02841	13668	388	2991	6139,98	-61888	-0,0979	0,0454
15	26156,1	3251,36	0,53290	0,02732	13669	374	2878	5906,87	-64297	-0,0909	0,0528
16	27469,2	3122,86	0,55968	0,02623	13669	359	2764	5673,77	-66612	-0,0844	0,0614

17	28728,9	2994,36	0,58537	0,02514	13669	344	2651	5440,68	-68832	-0,0784	0,0712
18	29935,0	2865,87	0,60996	0,02404	13670	329	2537	5207,58	-70959	-0,0729	0,0825
19	31087,6	2737,37	0,63347	0,02295	13670	314	2424	4974,49	-72990	-0,0677	0,0956
20	32186,6	2608,87	0,65588	0,02186	13670	299	2310	4741,40	-74928	-0,0629	0,1109
21	33232,2	2480,37	0,67719	0,02077	13671	284	2196	4508,31	-76771	-0,0585	0,1287
22	34224,2	2351,88	0,69741	0,01967	13671	269	2083	4275,22	-78520	-0,0542	0,1496
23	35162,7	2223,38	0,71654	0,01858	13671	254	1969	4042,14	-80175	-0,0502	0,1744
24	36047,7	2094,88	0,73458	0,01749	13672	239	1856	3809,05	-81735	-0,0465	0,2041
25	36879,2	1966,38	0,75152	0,01640	13672	224	1742	3575,97	-83201	-0,0429	0,2398
26	37657,2	1837,89	0,76737	0,01530	13672	209	1629	3342,89	-84573	-0,0394	0,2835
27	38381,6	1709,39	0,78213	0,01421	13672	194	1515	3109,82	-85850	-0,0362	0,3375
28	39052,6	1580,89	0,79580	0,01312	13673	179	1402	2876,74	-87033	-0,0330	0,4052
29	39670,0	1452,40	0,80837	0,01202	13673	164	1288	2643,67	-88122	-0,0300	0,4918
30	40233,9	1323,90	0,81984	0,01093	13673	149	1174	2410,59	-89117	-0,0270	0,6048
31	40744,2	1195,40	0,83023	0,00984	13673	135	1061	2177,52	-90017	-0,0242	0,7562
32	41201,1	1066,90	0,83952	0,00874	13673	120	947	1944,45	-90823	-0,0214	0,9652
33	41604,4	938,41	0,84772	0,00765	13673	105	834	1711,38	-91535	-0,0187	1,2655
34	41954,3	809,91	0,85482	0,00656	13673	90	720	1478,31	-92153	-0,0160	1,7188
35	42250,6	681,41	0,86084	0,00547	13673	75	607	1245,24	-92676	-0,0134	2,4499
36	42493,4	552,91	0,86576	0,00437	13674	60	493	1012,17	-93105	-0,0109	3,7422
37	42682,7	424,42	0,86958	0,00328	13674	45	380	779,10	-93439	-0,0083	6,3612
38	42818,4	295,92	0,87231	0,00219	13674	30	266	546,03	-93680	-0,0058	13,0169
39	42900,7	167,42	0,87395	0,00109	13674	15	152	312,96	-93826	-0,0033	39,7464
40	42929,4	38,93	0,87450	0,00000	13674	0	39	79,90	-93878	-0,0009	610,5289

4.10.3.3 Jarak Senggang Yang Digunakan

Tabel 4.25 Perhitungan Jarak sanggang

X (m)	Jarak sanggang D13		
	Tinjauan geser-1	Tinjauan geser-2	Jarak yg diambil
0	2	2	90
1	3	3	90
2	4	4	100
3	6	5	100
4	7	7	100
5	9	9	150
6	12	11	150
7	15	14	150
8	18	17	150
9	22	20	150
10	26	24	150
11	31	28	150
12	37	33	150
13	43	39	150
14	50	45	150
15	59	53	150
16	68	61	150
17	79	71	150
18	92	83	200
19	107	96	200
20	124	111	200
21	144	129	200
22	167	150	200
23	195	174	200
24	229	204	200
25	269	240	200
26	318	283	200
27	379	337	250
28	455	405	250
29	552	492	250
30	679	605	250
31	849	756	250
32	1085	965	250
33	1422	1266	250
34	1932	1719	250
35	2755	2450	250
36	4208	3742	250
37	7154	6361	300
38	14640	13017	300
39	44705	39746	300
40	686714	610529	300

4.11 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, $a_s = f_s * A_{st} * k_f / (f_v * b_v)$

k_f = Koefisien gesek pada bidang kontak (=1 -14)

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, $b_{eff} = 0,92 \text{ m}$

$h_o = 0,25 \text{ m}$

$b_v = 0,64 \text{ m}$

Section propertis, $y_{ac} = 1,005 \text{ m}$

$I_{xc} = 0,673775 \text{ m}^4$

Mutu beton, k-600

Kuat tekan beton, $f_c' = 49800 \text{ kPa}$

Tegangan ijin beton, $f_c = 14940 \text{ kPa}$

Tegangan ijin geser, $f_{vi} = 9960 \text{ kPa}$

Mutu baja, U-32

Tegangan leleh, $f_y = 320000 \text{ kPa}$

Tegangan ijin, $f_s = 184960 \text{ kPa}$

$K_f = 1$

Untuk shear conector digunakan tulangan, D 13

jumlah digunakan, $n_s = 2$

$$A_s = 0,00013 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 0,00027 \text{ m}^2$$

$$S_x = 0,20160 \text{ m}^3$$

Untuk keseluruhan perhitungan dan perhitungan tabel dibawah ini selengkapnya dapat dilihat pada lampiran M. Perhitungan Penghubung Geser (Shear Conector).



Tabel 4.26 Perhitungan Jarak shear Conector

	KOMB-I	KOMB-II	KOMB-III	KOMB-I	KOMB-II	KOMB-III	KONTROL	KOMB-I	KOMB-II	KOMB-III	Diambil
X	V_i	V_i	V_i	f_v	f_v	f_v	$f_{vi} =$	a_s	a_s	a_s	Jarak shear conector (mm)
(cm)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN)	
0	1898,82	5176,85	5178,82	887,75	2420,32	2421,24	<fvi(aman)	0,09	0,03	0,03	100
1	1852,32	5048,35	5050,32	866,01	2360,25	2361,16	<fvi(aman)	0,09	0,03	0,03	100
2	1805,82	4919,86	4921,82	844,27	2300,17	2301,09	<fvi(aman)	0,09	0,03	0,03	100
3	1759,32	4791,36	4793,32	822,53	2240,09	2241,01	<fvi(aman)	0,09	0,03	0,03	100
4	1712,83	4662,86	4664,83	800,79	2180,02	2180,94	<fvi(aman)	0,10	0,04	0,04	100
5	1666,33	4534,36	4536,33	779,06	2119,94	2120,86	<fvi(aman)	0,10	0,04	0,04	100
6	1619,83	4405,87	4407,83	757,32	2059,87	2060,78	<fvi(aman)	0,10	0,04	0,04	100
7	1573,33	4277,37	4279,33	735,58	1999,79	2000,71	<fvi(aman)	0,10	0,04	0,04	100
8	1526,84	4148,87	4150,84	713,84	1939,71	1940,63	<fvi(aman)	0,11	0,04	0,04	100
9	1480,34	4020,37	4022,34	692,10	1879,64	1880,56	<fvi(aman)	0,11	0,04	0,04	100
10	1433,84	3891,88	3893,84	670,36	1819,56	1820,48	<fvi(aman)	0,11	0,04	0,04	100
11	1387,35	3763,38	3765,35	648,62	1759,48	1760,40	<fvi(aman)	0,12	0,04	0,04	100
12	1340,85	3634,88	3636,85	626,88	1699,41	1700,33	<fvi(aman)	0,12	0,05	0,05	100
13	1294,35	3506,39	3508,35	605,15	1639,33	1640,25	<fvi(aman)	0,13	0,05	0,05	100
14	1247,85	3377,89	3379,85	583,41	1579,26	1580,18	<fvi(aman)	0,13	0,05	0,05	100
15	1201,36	3249,39	3251,36	561,67	1519,18	1520,10	<fvi(aman)	0,14	0,05	0,05	100

16	1154,86	3120,89	3122,86	539,93	1459,10	1460,02	<fvi(aman)	0,14	0,05	0,05	100
17	1108,36	2992,40	2994,36	518,19	1399,03	1399,95	<fvi(aman)	0,15	0,05	0,05	100
18	1061,87	2863,90	2865,87	496,45	1338,95	1339,87	<fvi(aman)	0,15	0,06	0,06	100
19	1015,37	2735,40	2737,37	474,71	1278,88	1279,80	<fvi(aman)	0,16	0,06	0,06	100
20	968,87	2606,91	2608,87	452,97	1218,80	1219,72	<fvi(aman)	0,17	0,06	0,06	100
21	922,37	2478,41	2480,37	431,24	1158,72	1159,64	<fvi(aman)	0,18	0,07	0,07	100
22	875,88	2349,91	2351,88	409,50	1098,65	1099,57	<fvi(aman)	0,19	0,07	0,07	100
23	829,38	2221,41	2223,38	387,76	1038,57	1039,49	<fvi(aman)	0,20	0,07	0,07	100
24	782,88	2092,92	2094,88	366,02	978,50	979,42	<fvi(aman)	0,21	0,08	0,08	150
25	736,38	1964,42	1966,38	344,28	918,42	919,34	<fvi(aman)	0,22	0,08	0,08	150
26	689,89	1835,92	1837,89	322,54	858,34	859,26	<fvi(aman)	0,24	0,09	0,09	150
27	643,39	1707,42	1709,39	300,80	798,27	799,19	<fvi(aman)	0,25	0,10	0,10	150
28	596,89	1578,93	1580,89	279,06	738,19	739,11	<fvi(aman)	0,27	0,10	0,10	150
29	550,40	1450,43	1452,40	257,33	678,12	679,04	<fvi(aman)	0,30	0,11	0,11	200
30	503,90	1321,93	1323,90	235,59	618,04	618,96	<fvi(aman)	0,33	0,12	0,12	200
31	457,40	1193,44	1195,40	213,85	557,96	558,88	<fvi(aman)	0,36	0,14	0,14	200
32	410,90	1064,94	1066,90	192,11	497,89	498,81	<fvi(aman)	0,40	0,15	0,15	200
33	364,41	936,44	938,41	170,37	437,81	438,73	<fvi(aman)	0,45	0,18	0,17	200
34	317,91	807,94	809,91	148,63	377,74	378,65	<fvi(aman)	0,52	0,20	0,20	200
35	271,41	679,45	681,41	126,89	317,66	318,58	<fvi(aman)	0,60	0,24	0,24	250
36	224,91	550,95	552,91	105,15	257,58	258,50	<fvi(aman)	0,73	0,30	0,30	250
37	178,42	422,45	424,42	83,42	197,51	198,43	<fvi(aman)	0,92	0,39	0,39	250
38	131,92	293,95	295,92	61,68	137,43	138,35	<fvi(aman)	1,24	0,56	0,55	250
39	85,42	165,46	167,42	39,94	77,36	78,27	<fvi(aman)	1,92	0,99	0,98	250
40	38,93	36,96	38,93	18,20	17,28	18,20	<fvi(aman)	4,21	4,44	4,21	250

4.12 Lendutan Balok

4.12.1 Endutan Pada Balok Prestress (Sebelum Composit)

$$E_{\text{balok}} = 3,02\text{E}+07 \text{ kPa}$$

$$I_x = 0,414036 \text{ m}^4$$

$$L = 80,00 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, a. Lendutan pada keadaan awal (Transfer).

4.12.1.1 Lendutan Pada Keadaab Awal (Transfer)

$$P_{t1} = 17715,63 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 15346,92 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,87450000 \text{ m}$$

$$Q_{pt1} = 19,565 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok}} = 19,184 \text{ k/m}$$

$$\delta = -0,008 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, b. Lendutan setelah loss of prestress

4.12.1.2 Lendutan Setelah Loss of Prestress

$$P_{t1} = 17715,63 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 15346,92 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,87450000 \text{ m}$$

$$Q_{pt1} = 14,947 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok}} = 19,18 \text{ k/m}$$

$$\delta = -0,181 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, c. Lendutan setelah plat selesai dicor (Beton Muda)

4.12.1.3 Lendutan Setelah Plat Selesai Dicor (Beton Muda)

$$P_{t1} = 17715,63 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 15346,92 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,87450000 \text{ m}$$

$$Q_{pt1} = 14,947 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok} = 26,683 \text{ k/m}$$

$$\delta = -0,50 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, c. Lendutan setelah plat selesai dicor (Beton Muda)

4.12.1.4 Lendutan Setelah Plat Dan Balok Menjadi Komposit

$$P_{t1} = 17715,63 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 15346,92 \text{ kNm}$$

$$e'_s = 1,158 \text{ m}$$

$$I_{xc} = 0,67375 \text{ m}^4$$

$$Q_{pt1} = 19,787 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok} = 26,684 \text{ k/m}$$

$$\delta = -0,181 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, d. Lendutan setelah plat dan balok menjadi komposit.

4.12.2 Lendutan Pada Balok Prestress (Sebelum Composit)

Section Properties,

$$E_{balok} = 3,02E+07 \text{ kPa}$$

$$I_{xc} = 0,67375 \text{ m}^4$$

$$L = 80,00 \text{ m}$$

$$P_{eff} = 13673,70 \text{ kn}$$

$$e'_s = 1,158 \text{ m}$$

$$A_C = 0,981429 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,67050 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,52021 \text{ m}^3$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 2. Lendutan pada balok prestress (Sebelum Composit)

4.12.2.1 Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

$$Q_{TD} = 31,123 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 0,81533 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, a. Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

4.12.2.2 Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

$$Q_{MA} = 8,35 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 0,21885 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, b. Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

4.12.2.3 Lendutan Akibat Prestress (PR)

$$P_{eff} = 13673,70 \text{ kN}$$

$$e'_s = 0,87450 \text{ m}$$

$$Q_{peff} = 14,947 \text{ kN/m}$$

$$\delta = -0,39157 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, c. Lendutan Akibat Prestress (PR)

4.12.2.4 Lendutan Akibat Susut Dan Rangkak (SR)

➤ Lendutan Akibat Susut (Shrinkage)

$$P_s = 1367,04 \text{ kN}$$

$$e'_s = 0,088 \text{ m}$$

$$Q_{ps} = 15,0384 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 0,39396 \text{ m}$$

➤ Lendutan Akibat Rangkak (Creep)

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

$$\delta_1 = -0,050032 \text{ m}$$

Lendutan pada balok setelah plat lantai dan balok menjadi komposit,

$$\delta_2 = -0,18068 \text{ m}$$

Lendutan akibat rangkai, $\delta = \delta_1 - \delta_2 = -0,31965 \text{ m}$

Lendutan (superposisi) akibat susut dan rangkai, $\delta = -0,001032 \text{ m}$

Untuk perhitungan Lendutan Akibat Susut (Shrinkage) dan Lendutan Akibat Rangkai (Creep) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, d. Lendutan akibat susut dan rangkai (SR).

4.12.2.5 Lendutan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

$$Q_{TD} = 7,02 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = 73,92 \text{ kN}$$

$$\delta = 0,22263 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, e. Lendutan akibat beban lajur "D" (TD).

4.12.2.6 Lendutan Akibat Beban Rem (TB)

$$M_{TB} = 157,247 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 0,008317 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, f. Lendutan akibat beban rem (TB).

4.12.2.7 Lendutan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

$$\Sigma P_t = 1305,48 \text{ kN}$$

$$e_p = 0,703 \text{ cm}$$

$$\delta = 0,01852 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, g. Lendutan Akibat Pengaruh Temperatur (ET).

4.12.2.8 Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

$$Q_{EW} = 3,241 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 0,09370 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, h. Lendutan akibat beban angin (EW)

4.12.2.9 Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)

$$Q_{EQ} = 3,947725 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 0,11412 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, i. Lendutan akibat baban gempa (EQ).

4.13 Kontrol Lendutan Balok Terhadap Kombinasi Beban

Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lendutan maksimum yang diijinkan, $\delta = 0,26667 \text{ m}$

Kombinasi-1, $\delta = 0,85810 < 0,26667 \text{ m}$ (Tidak ok)

Kombinasi-2, $\delta = 0,87661 < 0,26667 \text{ m}$ (Tidak ok)

Kombinasi-3, $\delta = 0,95179 < 0,26667 \text{ m}$ (Tidak ok)

Kombinasi-4, $\delta = 0,97031 < 0,26667 \text{ m}$ (Tidak ok)

Kombinasi-5, $\delta = 0,75641 < 0,26667 \text{ m}$ (Tidak ok)

Pada keseluruhan perhitungan kombinasi diatas dapat dilihat di lampiran, O. kontrol lendutan balok terhadap kombinasi beban.

4.14 Tinjauan Ultimit Balok Prestress

4.14.1.1 Kapasitas Momen Ultimit Balok

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

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

Jumlah total strands, $n_s = 140$ buah

Luas tampang nominal satu strands, $A_{st} = 0,0001 \text{ m}^2$

Tegangan leleh beton baja prategang, $f_{py} = 1580 \text{ Mpa}$

Luas tampang tendon baja prategang, $A_{ps} = 0,013818 \text{ m}^2$

Mutu beton, K-600

Kuat tekan beton, $f_c' = 48,8 \text{ Mpa}$

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} harus $\leq f_{eff} + 400 \text{ Mpa}$

dan harus $\leq 0,8 * f_{py}$

Dengan panjang bentang balok, dan tinggi total balok,

Panjang bentang balok prategang, $L = 80.00 \text{ m}$

Gaya prestress efektif (setelah loss of prestress), $P_{\text{eff}} = 13673,70 \text{ kN}$

tegangan efektif baja prestress, $f_{\text{eff}} = 989,6 \text{ Mpa}$

Luas penampang balok prategang komposit, $A_c = 0,98143 \text{ m}^2$

Rasio luas penampang baja prestress, $P_p = 0,014079$

$b_1 = 0,64 \text{ m}$, $b_5 = 0,25 \text{ m}$ $h_1 = 0,07 \text{ m}$ $h_5 = 0,25 \text{ m}$

$b_2 = 0,80 \text{ m}$ $b_6 = 0,70 \text{ m}$ $h_2 = 0,13 \text{ m}$ $h_6 = 0,25 \text{ m}$

$b_3 = 0,30 \text{ m}$ $B_{\text{eff}} = 0,92 \text{ m}$ $h_3 = 0,12 \text{ m}$ $h = 2,10 \text{ m}$

$b_4 = 0,20 \text{ m}$ $h_4 = 1,65 \text{ m}$ $h_0 = 0,25 \text{ m}$

tinggi total balok prategang, $H = 2,35 \text{ m}$

$L/H = 34,04125319$

$f_{ps} = 1175$

$f_{ps} = 1389,6$

Diambil kuat leleh baja prategang, $f_{ps} = 1264$

$\beta = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30 \text{ Mpa}$

$\beta = 0,85 - 0,05 * (f_c' - 30)/7$ untuk $f_c' > 30 \text{ Mpa}$

β harus $\geq 0,65$ untuk, $f_c' \geq 49,8 \text{ Mpa}$

Maka nilai, $\beta_1 = 0,700857143$

Letak titik berat tendon baja prategang terhadap alas balok, $Z_0 = 0,14 \text{ m}$

Tinggi efektif balok, $d = 2,21 \text{ m}$

Kuat tekan beton, $f_c' = 49800 \text{ kPa}$, Kuat leleh baja prategang, $f_{ps} = 126400 \text{ kPa}$

Gaya tarik pada baja prestress, $T_s = 17465,95 \text{ kN}$

Maka, $a = 0,5366957 \text{ m} < 0,32$ perkiraan salah (tidak ok)

Jarak garis netral terhadap sisi atas, $c = 0,757433447 \text{ m}$

Regangan baja prestress, $\epsilon_{ps} = 0,005763146$

Gaya tekan beton, $C_c = T_s = 11595,41 \text{ kN}$

Momen nominal, $M_n = 1622297,49 \text{ kNm}$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,80$

Kapasitas momen ultimit balok prestress, $\phi * M_n = 129837,99 \text{ kNm}$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran, 1. Kapasitas momen ultimit balok.

4.14.2 Momen Ultimit Balok

4.14.2.1 Momen Akibat Susut Dan Rangkak

Gaya internal akibat susut, $P_s = 315,60 \text{ kN}$

Eksentrisitas gaya susut terhadap pusat penampang, $e' = 0,880 \text{ m}$

Momen akibat susut, $M_s = -277,68 \text{ kNm}$

Momen akibat rangkak, $M_R = 3373,54 \text{ kNm}$

Momen akibat susut dan rangkak, $M_{SR} = 3095,86 \text{ kNm}$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran, a. Momen Akibat Susut Dan Rangkak.

4.14.2.2 Momen Akibat Pengaruh Temperatur

Gaya internal akibat perbedaan temperature, $P_t = 1305,48 \text{ kN}$

Eksentrisitas gaya terhadap pusat penampang balok, $e_p = 0,703 \text{ m}$

Momen akibat pengaruh temperatur, $M_{ET} = 917,53 \text{ kNm}$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran, b. Momen Akibat Pengaruh Temperatur

4.14.2.3 Momen Akibat Prategang

Gaya prategang efektif, $P_{eff} = 13673,70 \text{ kN}$

Eksentrisitas tendon, $e'_s = 1,158 \text{ m}$

Momen akibat gaya prategang, $M_{PR} = -15829,42 \text{ kNm}$

Tabel 4.27 Resum momen balok

Aksi / Beban	Faktor Beton		Momen		Momen Ultimit	
	Ultimit		M	(kNm)	MU	(kNm)
A. Aksi tetap						
Berat sendiri	K _{MS}	1,3	M _{MS}	24898,6	K _{MS} * M _{MS}	32368,18
Beban Mati Tambahan	K _{MA}	2,0	M _{MA}	6683,2	K _{MA} * M _{MA}	13366,40
Susut dan Rangkak	K _{SR}	1,0	M _{SR}	3095,9	K _{SR} * M _{SR}	3095,86
Prategang	K _{PR}	1,0	M _{PR}	-15829,4	K _{PR} * M _{PR}	-15829,42
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	K _{TD}	2,0	M _{TD}	7094,4	K _{TD} * M _{TD}	14188,80
Gaya Rem	K _{TB}	2,0	M _{TB}	43,7	K _{TB} * M _{TB}	87,36
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh temperatur	K _{ET}	1,2	M _{ET}	917,5	K _{ET} * M _{ET}	1101,03

Beban Angin	K_{EW}	1,2	M_{EW}	65600,0	$K_{EW} * M_{EW}$	78720,00
Beban Gempa	K_{EQ}	1,0	M_{EQ}	81857,1	$K_{EQ} * M_{EQ}$	81857,13

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran, c. Momen Akibat Prategang.

4.14.2.4 Kontrol Kombinasi Momen Ultimit

Momen ultimi pada balok komposit (kNm) akibat beban

kapasitas momen balok, $M_u = 129837,99$

Kombinasi-1, $M_{XX} = 47277,18 < 129837,99$ (Aman)

Kombinasi-2, $M_{XX} = 48378,21 < 129837,99$ (Aman)

Kombinasi-3, $M_{XX} = 125997,18 < 129837,99$ (Aman)

Kombinasi-4, $M_{XX} = 127010,86 < 129837,99$ (Aman)

Kombinasi-5, $M_{XX} = 114858,15 < 129837,99$ (Aman)

Untuk perhitungan ke lima kombinasi momen ultimit diatas selengkapnya dapat dilihat pada lampiran, 3. Kontrol kombinasi momen ultimit