

Desain PCI-Girder Untuk Bentang 42 m Berdasarkan Pembebanan SNI 1725:2016 (Studi Kasus : Jalan Soebrantas, Desa Sei. Injab)

Zev Al Jauhari¹, Mutiara Pertiwi²

Program Studi D-IV Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan
Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis

zevaljauhari@polbeng.ac.id¹, mutiaraprtwi06@gmail.com²

Abstract

Pengalir River bridge with a length of 40 m and a width of 6.5 m is a bridge built using the RSNI-T-02-2005 loading with reinforced concrete construction whose existing conditions are still suitable for vehicles to pass.

The design of this bridge refers to SNI 1725:2016 regarding loading for bridges, designed using PCI-Girder by the planned bridge span. With the hope that it will get effective dimensions, and obtain loading results.

The results of the calculation of the PCI Girder profile design with a height of 170 cm, the number of girders 8 pieces, and the quality of prestressed concrete f'c 500 Mpa. The number of tendons is 4 by 49 strands. From the calculation results, the initial stress force is 5885.88 kN, the jacking force is 6924,559 kN and the final prestressing force is estimated at 25.23%, the loss of prestressing force is 4847,192 kN. The deflection of the beam that occurs. The nominal moment of the prestressed beam is 16108.481 kNm, the ultimate moment capacity of the prestressed beam is 14497.633 kNm.

Keywords : prestressed concrete, PCI Girder, SNI 1725:2016

1. PENDAHULUAN

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi : Aspek lalu lintas, Aspek teknis, Aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Beton prategang merupakan struktur komposit dari material beton dan baja dengan mutu tinggi. Baja yang digunakan disebut tendon, yaitu beberapa baja yang dikelompokkan dan membentuk kabel. Prinsip kerja dari beton prategang yaitu tendon ditegangkan diawal dengan cara ditarik untuk memberikan tegangan tekan pada penampang beton sebelum adanya beban yang bekerja pada struktur. Besarnya gaya tarik yang diberikan pada tendon untuk mendapatkan gaya prategang yang cukup harus disesuaikan dengan beban batas sedemikian rupa sehingga penampang beton tidak mengalami tegangan tarik saat beban bekerja. Penegangan kabel dan faktor lainnya menimbulkan kehilangan gaya prategang pada beton prategang. Gaya prategang yang tersisa disebut gaya prategang efektif (Yolanda D, 2017).

Pemerintah Kabupaten Bengkalis dalam melakukan pembangunan jalan dan jembatan secara merata disetiap kecamatan maupun desa yang ada di wilayah Kabupaten Bengkalis. Salah satu yang dibangun oleh pemerintah Bengkalis adalah jembatan Sungai Pengalir.

Jembatan Sungai Pengalir dibangun pada tahun 2013 menggunakan standar pembebanan jembatan RSNI T-02-2005. Kondisi eksisting jembatan tersebut masih bagus dan layak untuk dilewati oleh kendaraan.



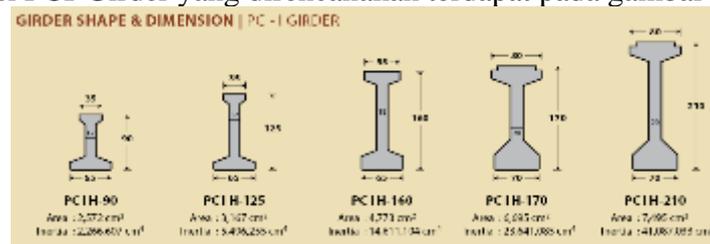
Gambar 1. Kondisi jembatan sungai pengalir

Seiring berkembangnya waktu, RSNI T-02-2005 telah diperbarui menjadi SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan, sehingga dicoba merencanakan girder menggunakan pembebanan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan dengan jenis PCI-Girder. Pada pemilihan dimensi sesuai panjang bentang jembatan yang direncanakan dengan type yang tersedia di PT.Wika Beton yaitu PCI-Girder 170 cm untuk panjang jembatan 42 m dibagi menjadi 2 bentang masing-masing bentang sepanjang 21 m serta lebar jembatan 7,5 m dengan harapan akan mendapatkan dimensi yang efektif, dan memperoleh hasil pembebanan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. PCI-Girder

Adapun dimensi PCI-Girder yang direncanakan terdapat pada gambar 2.



Gambar 2. PCI – Girder PT Wijaya Wika Beton

(Sumber : PT. Wika Beton, 2018)

b. Kajian terdahulu

Adapun kajian terdahulu tentang perencanaan jembatan menggunakan PCI-Girder dapat diuraikan sebagai berikut:

- (Noer. I, 2008, MT) perhitungan jembatan prategang (PCI Girder) serandakan kulon Progo D.I.Yogyakarta. Hasil dari perhitungan yang didapat, gaya prategang awal yang terjadi akibat jacking 9524,10 kN, dan gara prategang akhir diperkirakan kehilangan tegangan (*loss of prestress*) 30%, yaitu 666,87 kN. Pada keadaan transfer, balok mengalami lendutan sebesar 0,04642 m, setelah *loss of prestress* sebesar 0,03391 m, setelah menjadi komposit, balok akan longitudinal pada bagian atas 6 D 12, pada bagian badan 10 D 12, dan pada bagian bawah 10 D 12. Tulangan geser yang digunakan D 13 dengan variasi jarak didaerah tumpuan sampai tengah bentang : 100 mm, 150 mm, 200 mm.
- Al Ikhsan, (2019) dengan judul “Perencanaan ulang struktur jembatan meskom dengan beton prategang”, jembatan sungai Meskom yang berada di Kecamatan Bengkalis, Desa Meskom, jembatan ini merupakan sarana urat nadi utama transportasi tidak hanya bagi masyarakat desa Meskom tetapi juga bagi Desa lain seperti Prapat Tunggal, Simpang Ayam, Sebauk, dan lainnya sebagai sarana transportaasi untuk melakukan kegiatan ekonomi sosial.

- c. Pembebanan yang digunakan yaitu SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan,

3. METODE PENELITIAN

a. Lokasi Penelitian

Lokasi terletak di Jalan Soebrantas, Desa sungai Injab Kecamatan Rupert, Kabupaten Bengkalis.



Gambar 3. Lokasi jembatan sungai pengalir

b. Metode Perencanaan

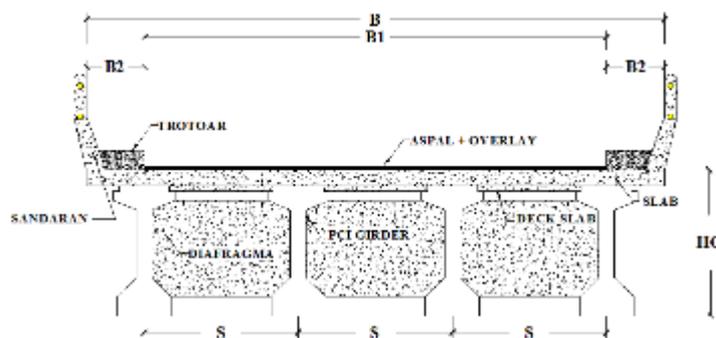
Adapun metode desain yang direncanakan adalah PCI-Girder sebagai berikut.

1. Pemelihan type girder
2. Penentuan beban menggunakan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan, beban nya yaitu berat sendiri (M_S), berat mati tambahan (M_A), beban lajur (P_{TD}), gaya rem (T_B), beban angin (E_w),
3. Kombinasi pembebanan
4. Penentuan kapasitas, momen dan geser, serta lendutan balok prategang
5. Menghitung diafragma
6. Gambar PCI-Girder yang direncanakan

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Adapun data awal perencanaan jembatan Sungai Pengalir adalah sebagai berikut:

- | | | | |
|------------------------------|-------|--------|-------|
| a. Total panjang jembatan | L | = 42 | meter |
| b. Lebar jalan (jalur lalin) | b_1 | = 6 | meter |
| c. Tebal slab jembatan | | = 0,20 | meter |
| d. Jumlah girder | n | = 4 | buah |
| e. Jarak antar girder | s | = 2 | meter |



Gambar 4. Profil melintang jembatan

Perencanaan Diafragma

a. Perencanaan pembebanan

Hasil perhitungan didapat beberapa berat yang ditumpu oleh diafragma yaitu berat sendiri diafragma (Q_{MS}) sebesar 6,250 kN/m, geser akibat berat sendiri (V_{MS}) sebesar 4,063 kN. Untuk nilai geser ultimit diafragma (V_u) sebesar 4,875 kN dan momen ultimit diafragma (M_u) sebesar 1,584 kNm.

b. Pembesian diafragma

Dalam perhitungan pembesian diafragma, tulangan di desain berdasarkan M_u dan V_u yang diperoleh dari hasil pembebanan sebelumnya. Tulangan yang dihitung terbagi menjadi 2 bagian yaitu sebagai berikut.

- Tulangan pokok

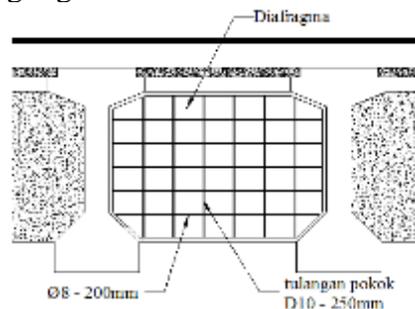
Diafragma jembatan direncanakan dengan tebal 200 mm dengan mutu beton yang digunakan K -250 menggunakan selimut beton setebal 35 mm. Momen ultimit yang digunakan sebesar 1,996 kNm. Di peroleh nilai $A_s = 272,222 \text{ mm}^2$. Tulangan pokok menggunakan tulangan D10 mm. Jarak tulangan yang digunakan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \frac{b}{A_s} = 288,514 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan diambil jarak tulangan 250 mm. Sehingga digunakan tulangan D10-250 mm.

- Tulangan geser

Nilai kuat geser nominal beton (V_c) sebesar 183,727 kN, kuat geser nominal baja (V_s) sebesar -172,477 kN, dan nilai untuk V_{smax} sebesar 734,908 kN karna nilai V_s kecil dari V_{smax} maka tulangan geser dinyatakan aman. Luas tulangan geser (A_v) yang digunakan sebesar 50,27 mm^2 , tulangan geser yang digunakan $\text{Ø}8$ -200 mm.



Gambar 5. Pembesian diafragma

Perencanaan Balok Prategang (*PCI-Girder*)

a. Penentuan lebar efektif plat lantai

Direncanakan balok prategang dengan mutu beton yang digunakan K – 602,41 atau f'_c 50 Mpa. Adapun data-data yang ada sebagai bahan analisa perencanaan perhitungan yaitu sebagai berikut:

$$B_e = 2 \text{ m}$$

$$E_{slab} = 21409,52 \text{ Mpa}$$

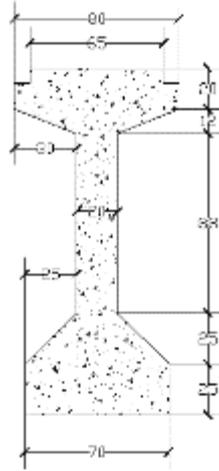
$$= 21409518,91 \text{ Kpa}$$

$$E_{girder} = 39152,89 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_{slab}}{E_{girder}} = 0,547 \quad (2)$$

$$B_{eff} = n \times B_e = 1,1 \text{ m} \quad (3)$$

Dimensi girder prategang diambil dari tabel PT.Wika Beton berdasarkan panjang bentang.



Gambar 6. *Section properties*

Dalam menentukan *section properties*, dimensi gelagar dibagi menjadi beberapa bagian dan ditentukan luasan, serta titik beratnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. *Section properties* balok prategang

No	Dimensi		luas tampang A (m ²)	jarak terhadap alas y (m)	statis momen A*y (m ³)	inersia momen A*y ² (m ³)	inersia momen I _o (m ⁴)
	lebar b (m)	tinggi h (m)					
1	0.8	0.075	0.0600	2.0325	0.1220	0.2479	2.81E-05
2	0.65	0.125	0.0813	1.9325	0.1570	0.3034	1.06E-04
3	0.03	0.120	0.0036	1.8100	0.0065	0.0118	4.32E-06
4	0.2	0.880	0.1760	1.1900	0.2094	0.2492	1.14E-02
5	0.25	0.250	0.0625	0.6250	0.0391	0.0244	3.26E-04
6	0.7	0.250	0.1750	0.1250	0.0219	0.0027	9.11E-04
			0.6245		0.5854	0.8585	0.01306

Dalam hal ini perencanaan dalam menentukan setiap perhitungan hingga mencari inersia momen pada *section properties* terhadap balok prategang sebelum dicor dengan *slab* jembatan serta setelah dicor dengan *slab* jembatan (balok komposit). Nilai luas penampang total balok prategang komposit (A) sebesar 0,843 m², total keseluruhan inersia momen (I_o) sebesar 0,0138 m⁴.

b. Analisa beban beton prategang

Analisa pembebanan pada balok girder mengacu pada SNI 1725:2016, analisa beban pada jembatan ini terdiri dari beberapa jenis pembebanan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi beban beton prategang

No	Jenis Beban	Beban (kN/m)	Momen (kNm)	Geser (kN)
1	Berat sendiri (MS)	27,52	6067,239	577,832
2	Beban mati tambahan (MA)	5,38	1186,511	113,001
3	Beban truk "T" (TD)	137,20	4842,60	392,60
4	Gaya rem (TB)	28,125	154,156	7,341
5	Beban angin (EW)	1,47	324,135	30,87

c. Kombinasi pembebanan balok prategang

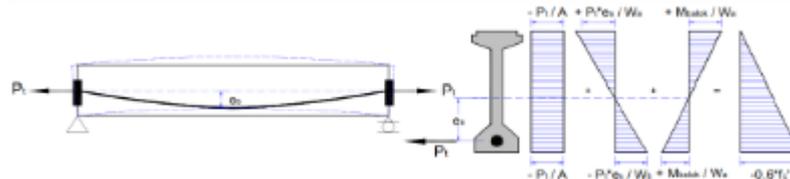
Kombinasi pembebanan dilakukan untuk mendapatkan gaya geser ultimit dan momen ultimit pada balok girder. Pada perhitungan kombinasi pembebanan terdapat Kuat I sampai

Layan IV, diambil nilai terbesar pada Kuat I momen ultimit (M_u) sebesar 1086,71 kNm terdapat di dan untuk geser ultimit (V_u) sebesar 1618,81 kN.

Gaya prategang, eksentrisitas dan tendon

a. Kondisi awal pt (saat transfer)

Pada perhitungan kondisi awal mutu beton yang digunakan K-602,41 atau $f'_c = 50000$ Kpa, untuk momen akibat berat sendiri balok (M_{balok}) sebesar 3862,239 kNm.



Gambar 7. Gaya prategang pada balok

Sehingga perhitungan dimasukkan ke dalam persamaan:

$$\text{Pers. 1 } P_t = \frac{M_{balok}}{(e_s - W_a / A)} = 5654,09 \text{ kN} \quad (4)$$

$$\text{Pers. 2 } P_t = \frac{[0.6 \times f_{ci} \times W_b + M_{balok}]}{(W_b / A + e_s)} = 5885,88 \text{ kN} \quad (5)$$

Diambil nilai yang terkecil, maka P_t sebesar 5654,09 kN.

b. Kondisi akhir

Jumlah tendon yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus:

$$n_t = P_t / (0,8 \times 0,85 \times P_{b1}) = 2,336 \text{ tendon} = 4 \text{ tendon} \quad (6)$$

Jumlah kawat untai (stand cable) yang diperlukan

$$N_s = P_t / (0,85 \times 0,8 \times P_{bs}) = 44,388 \text{ strand} = 49 \text{ strand} \quad (7)$$

Persen tegangan leleh pada baja (% jacking force)

$$P_o = P_t / (0,85 \times n_s \times P_{bs}) = 0,7247 = 72,47\% \quad (8)$$

P_o lebih kecil dari yang diisyaratkan yaitu sebesar 80%, sehingga aman untuk dilanjutkan ke perhitungan selanjutnya.

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking :

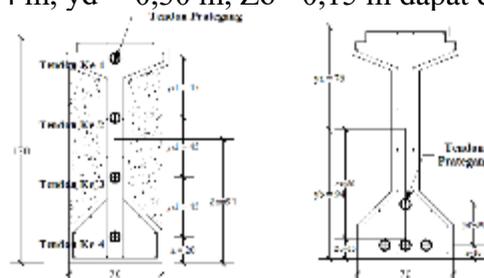
$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs} = 6651,866 \text{ kN} \quad (9)$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (*loss of prestress*) Kehilangan prategang diprediksi sebesar 30%, sehingga aman untuk dilanjutkan ke perhitungan selanjutnya.

Gaya Prategang akhir + loss,

$$P_{eff} = 70\% \times P_j = 4656,306 \text{ kN} \quad (10)$$

Pada perencanaan posisi tendon pada tumpuan terdapat beberapa data untuk perhitungan seperti $a = 0,20$ m, $y_b = 0,94$ m, $y_{d'} = 0,450$ m, $Z_o = 0,940$ m. Dan untuk perencanaan posisi tendon pada tengah bentang terdapat beberapa data untuk perhitungan seperti $a = 0,10$ m, $y_b = 0,94$ m, $y_{d'} = 0,30$ m, $Z_o = 0,15$ m dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Posisi tendon ditumpuan dan ditengah bentang

c. Kehilangan prategang

Dari hasil perhitungan diperoleh kehilangan gaya prategang yang terjadi akibat berbagai faktor adalah sebesar 30,24% dari gaya prategang yang terjadi akibat *jacking*. Berikut adalah tabel kehilangan gaya prategang.

d. Kontrol tegangan terhadap kombinasi

Kontrol tegangan terhadap kombinasi pembebanan yang terjadi pada girder diperhitungkan berdasarkan tegangan-tegangan yang bekerja pada girder seperti dikalikan dengan faktor beban yang telah ditentukan didalam peraturan pembebanan jembatan pada SNI 1725:2016.

Hasil yang didapat dari tegangan yang terjadi terhadap kombinasi pembebanan pada Kuat I sampai Layan V, tegangan yang terjadi masih dikatakan aman terhadap tegangan ijin yang diberikan, sehingga proses sambungan segmental terhadap balok prategang cukup menggunakan resin epoxy tanpa ankur tambahan.

e. Lentutan yang terjadi pada balok

Lentutan balok prategang dibagi menjadi 2 bagian lentutan, yaitu lentutan balok sebelum komposit dengan plat dan lentutan balok setelah menjadi komposit dengan plat lantai dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 3 Lentutan prestress girder + slab (komposit) terhadap kombinasi pembebanan

Nama	MS	MA	PR	TD	TB	ET	EW	Lentutan Komb	Ket
KUAT 1 lentutan (δ)	0,0041	0,0006	-0,0169	0,0037	0,0004			-0,0081	<L/240 (OK)
KUAT 2 lentutan (δ)	0,0041	0,0006	-0,0169	0,0037	0,0004	0,0003		-0,0078	<L/240 (OK)
KUAT 3 lentutan (δ)	0,0041	0,0006	-0,0169	0,0037	0,0004		0,000001	-0,0081	<L/240 (OK)
KUAT 4 lentutan (δ)	0,0041	0,0006	-0,0169	0,0037	0,0004	0,0003	0,000001	-0,0078	<L/240 (OK)
KUAT 5 lentutan (δ)	0,0041	0,0006	-0,0169					-0,0122	<L/240 (OK)

Lentutan pada balok sebelum komposit dengan plat lantai terbilang aman dikarenakan memiliki angka lentutan lebih kecil dari lentutan yang diisyaratkan yaitu L/240. Pada lentutan balok setelah komposit dengan plat ditinjau kembali pada kombinasi pembebanan yang bekerja.

Setelah dilakukan kontrol lentutan yang terjadi setelah *prestress girder* komposit terhadap kombinasi pembebanan, didapat hasil lentutan yang terjadi lebih kecil dari lentutan yang diisyaratkan yaitu L/240, maka balok tersebut aman digunakan.

f. Tinjauan ultimit balok prategang

- Kapasitas momen
Section properties:

$$B_{eff} = 1,09 \text{ m}, H = 1,7 \text{ m}, h_o = 0,2 \text{ m}, H_c = 1,9 \text{ m}$$

Diambil kuat leleh baja prategang

$$f_{ps} = f_{py} + \phi = 1422 \text{ Mpa} = 1422000 \text{ Kpa} \quad (11)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 30) / 7 = 0,707 \quad (12)$$

$$\text{Tinggi efektif balok, } d = h + h_o - z_o = 1,75 \text{ m} \quad (13)$$

Gaya tarik pada baja prategang, $T_s = 26046,854$

$$a = 0,434 \text{ m}, c = 0,614 \text{ m}, \epsilon_{ps} = 0,006$$

Tabel 4. Gaya tekan beton dan momen nominal

No	Lebar (m)	tinggi (m)	luas (m ²)	Gaya Cc (Kn)	Lengan thd. Pusat baja prestress	y (m)	momen (kNm)
1	1,09	0,2	0,2187	9295,917	$y = d - h_o / 2$	1,65	15338,263
2	0,65	0,0401	0,0261	1107,763	$y = d - h_o - (a - h_o) / 2$	0,70	770,218
				10403,680	Momen Nominal	$M_n =$	16108,481

Untuk nilai $C_c = T_s$ yaitu 10403,680 kN dengan Momen nominal 16108,481 kNm, dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan lentur untuk beton prategang sebesar 0,9 maka kapasitas momen ultimit balok *prestress* sebesar 14497,633 kNm.

- Kontrol kombinasi momen ultimit

Pada momen ultimit dihitung menggunakan faktor beban dikalikan momen beban yang bekerja dan dikombinasikan terhadap pembebanan sesuai SNI 1725:2016.

Tabel 5. Kontrol kombinasi momen ultimit

Nama	MS	MA	SR	PR	TD	TB	EW	Mu KOMB	Ket
Kuat I									
M _{xx}	43,82	6,46	1530,64	352,80	39,34	554,96		2528,02	< Mu (OKE)
Kuat II									
M _{xx}	43,82	6,46	1530,64	352,80	30,60	431,64		2395,95	< Mu (OKE)
Kuat III									
M _{xx}	43,82	6,46	1530,64	352,80			431,64	2365,35	< Mu (OKE)
Kuat IV									
M _{xx}	43,82	6,46	1530,64	352,80				1933,71	< Mu (OKE)
Kuat V									
M _{xx}	43,82	6,46	1530,64	352,80			1,72	1935,44	< Mu (OKE)
Ekstrim I									
M _{xx}	43,82	6,46	1530,64	352,80	6,56	92,49		2032,76	< Mu (OKE)
Ekstrim II									
M _{xx}	43,82	6,46	1530,64	352,80	10,93	154,16		2098,80	< Mu (OKE)
Layan I									
M _{xx}	36,52	5,38	1275,53	294,00	21,86	308,31	1,29	1942,89	< Mu (OKE)
Layan II									
M _{xx}	36,52	5,38	1275,53	294,00	28,41	400,81		2040,65	< Mu (OKE)
Layan III									
M _{xx}	36,52	5,38	1275,53	294,00	17,49	246,65		1875,56	< Mu (OKE)
Layan IV									
M _{xx}	36,52	5,38	1275,53	294,00			3,01	1614,44	< Mu (OKE)

Dari hasil perhitungan pada tabel diperoleh kombinasi momen ultimit yang terjadi lebih kecil dari kapasitas momen nominal, maka aman terhadap momen ultimit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun dari hasil pembahasan yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Untuk jembatan bentang 42 m dibutuhkan girder prategang yang ideal dengan tinggi 170 cm.
- b. Berdasarkan SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan, PCI-Girder bentang 42 m dibutuhkan jumlah tendon sebanyak 4 buah tiap tendon terdiri dari 12 *strand* dengan diameter 12,7 mm.
- c. Digunakan 4 buah girder dengan jarak antar girder 2 m dengan momen ultimit (M_u) dan geser ultimit (V_u) secara berturut-turut sebesar 1086,71 kNm dan 1618,81 kN.
- d. Kehilangan prategang yang digunakan pada asumsi awal desain sebesar 25,23% pada balok girder.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Al Ikhsan. dkk, 2019. Desain Jembatan Sungai Meskom Menggunakan Girder Prategang, Jurnal Teknik Sipil dan Aplikasi (Tekla), Vol.1 No.1 , 38-45.
- Ilham Noer, 2008, Jembatan prategang (PCI), serandakan kulon progo D.I. Yogyakarta,2004.
- Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, Badan Standarisasi Nasional, SNI T-12-2004.
- SNI 1725:2016, Pembebanan Untuk Jembatan, BSN, Jakarta, 2016.
- Supriyadi dan Muntohar, 2007. JEMBATAN (Edisi Ke-IV), Beta Offset, Yogyakarta.