

Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan di Desa Hargorojo dengan Menggunakan PCI Girder

Agung Nusantoro^{1,*}, Eksi Widyananto², Nurmansyah Alami³, Pratiwi Dian Islami Prabuningrat⁴

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo¹²³⁴

agungnusantoro@umpwr.ac.id*

Abstrak. Jembatan di Desa Hargorojo, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo ini merupakan akses utama desa dalam melakukan aktivitas baik itu kendaraan ataupun pejalan kaki untuk keluar masuk desa sehingga rusaknya jembatan mengakibatkan gangguan pada jalannya aktivitas tersebut. Maka dari itu diperlukan adanya pembangunan jembatan kembali untuk menghubungkan dua akses jalan di Desa Hargorojo secara efisien. Pada penelitian ini jembatan akan direncanakan dengan panjang bentang 16 meter dan lebar 7 meter dengan beton prategang pascatarik (*post-tension*) jenis PCI girder. Tahap-tahap perencanaan pada penelitian ini meliputi pendimensian girder, pembebanan dengan aturan Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725-2016, tata letak tendon, perhitungan kehilangan gaya prategang, perhitungan tegangan yang terjadi, kontrol lendutan, pembesian PCI girder dan penggambaran. Hasil penelitian didapatkan girder yang digunakan memiliki mutu beton K-500 ($f_c' = 41,5$ MPa), tinggi 0,9 meter dengan 2 buah tendon. Pada tendon pertama terdiri dari 7 strand dan tendon kedua terdiri dari 12 strand dengan diameter strand 12,7 mm spesifikasi VSL. Gaya prategang awal yang didapat sebesar 2080,651 kN, dengan gaya prategang efektif sebesar 1759,921 kN dengan total kehilangan prategang sebesar 28,10%. Nilai tegangan beton saat keadaan awal pada serat atas adalah 0,447 MPa yang mengalami tegangan tarik yang tidak melebihi tegangan izin tarik 1,44 MPa dan serat bawah sebesar -13,847 MPa yang mengalami tegangan tekan yang tidak melebihi tegangan izin tekan -19,92 MPa sehingga tidak terjadi retak. Nilai tegangan beton saat keadaan akhir pada serat atas pelat adalah -0,107 Mpa, serat atas balok -1,623 MPa dan serat bawah balok sebesar -8,447 MPa yang mengalami tegangan tekan yang tidak melebihi tegangan izin tekan -18,68 MPa sehingga tidak terjadi retak. Momen ultimit akibat kombinasi pembebanan (M_u) terbesar yaitu 2140,380 kNm aman terhadap momen ultimit balok prategang ($\emptyset M_n$) sebesar 2268,381 kNm. Lendutan total yang terjadi pada girder sebesar 0,0191 meter (*deflection*) lebih kecil dari lendutan izin sebesar 0,0533 m sehingga aman terhadap lendutan.

Kata Kunci : beton prategang, PCI girder, jembatan

Abstrack. The bridge in Hargorojo, Bagelen District, Purworejo Regency is the main access for the village in carrying out activities, both vehicles and pedestrians to enter and leave the village so that the damage to the bridge disrupts the course of these activities. Therefore, it is necessary to build a bridge again to connect the two access roads in Hargorojo efficiently. In this study, the bridge will be planned with a span length of 16 meters and a width of 7 meters with PCI girder type of post-tensioned prestressed concrete. The planning stages in this study include

girder dimensioning, loading with the Loading rules for SNI 1725-2016 Bridge, tendon layout, calculation of prestressing loss, calculation of stress that occurs, deflection control, PCI girder reinforcement and drawing. The results showed that the girder used had a concrete quality of K-500 ($f_c' = 41.5$ MPa), 0.9 meters high with 2 tendons. The first tendon consists of 7 strands and the second tendon consists of 12 strands with a strand diameter of 12.7 mm VSL specifications. The initial prestressing force obtained is 2080,651 kN, with an effective prestressing force of 1759,921 kN with a total prestress loss of 28,10%. The value of the concrete stress at the initial state in the upper fiber is 0.447 MPa which experiences tensile stress that does not exceed the allowable tensile stress of 1.44 MPa and the lower fiber is -13.847 MPa which experiences compressive stress that does not exceed the compressive allowable stress of -19.92 MPa so that it does not crack occurs. The value of concrete stress at the final state in the top fiber of the slab is -0,107 MPa, the top fiber of the beam is -1,623 MPa and the bottom fiber of the beam is -8,447 MPa which experiences compressive stress that does not exceed the allowable compressive stress of -18.68 MPa so that no cracks occur. The ultimate moment due to the largest combination of loading (M_u) is 2140,380 kNm which is safe against the ultimate moment of prestressing beam (ΦM_n) of 2268,381 kNm. The total deflection that occurs on the girder is 0.0191 meters (deflection) is smaller than the allowable deflection of 0.0533 m so it is safe against deflection.

Keyword : prestressed concrete, PCI girder, bridge.

1. Pendahuluan

Jembatan yang terletak di Desa Hargorojo, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo ini merupakan akses utama desa dalam melakukan aktivitas baik itu kendaraan ataupun pejalan kaki untuk keluar masuk desa. Saat ini, jembatan tersebut mengalami kerusakan akibat usia jembatan yang cukup tua. Rusaknya jembatan tersebut mengakibatkan gangguan pada jalannya aktivitas yang berjalan sebelumnya. Maka dari itu diperlukan adanya pembangunan jembatan kembali untuk menghubungkan dua akses jalan di Desa Hargorojo.

Dalam pengerjaan jembatan beton biasa, yang pengerjaan betonnya cukup sulit karena harus menunggu umur beton yang cukup sehingga waktu pengerjaan menjadi lebih lama, maka pada pengerjaan Jembatan di Desa Hargorojo beton prategang dapat digunakan untuk mengatasi hal tersebut karena pengerjaan beton prategang dapat dikerjakan di pabrik (*precast*) sehingga waktu pengerjaan di lapangan dapat lebih singkat dan jembatan dapat segera digunakan sebagai akses utama desa.

Jenis balok girder yang akan digunakan dalam perencanaan ini adalah PCI girder. PCI girder (*Prestressed Concrete I Girder*) merupakan girder yang didesain ramping dengan bentuk balok I yang dibuat dari material beton yang diberi penekanan terlebih dahulu sebelum dibebani. Girder dengan profil I ini memiliki kelebihan pada pengerjaannya yang relatif cepat. Kelebihan lainnya dari menggunakan struktur beton prategang seperti jenis PCI girder, yaitu pada beban dan bentang yang sama dapat digunakan profil girder yang lebih kecil, dapat mengurangi atau mencegah berkembangnya retak lentur pada saat pembebanan dan penghematan jangka panjang karena dibutuhkan perawatan yang lebih sedikit yang berarti daya guna jembatan lebih lama sebab material betonnya bermutu tinggi.

2. Metode Penelitian

Penulisan tugas akhir ini menggunakan metode studi literatur dengan mengolah data-data yang sudah ada untuk memecahkan suatu persoalan. Data-data yang dihasilkan didapat dari konsultan pengawas proyek, referensi peneliti terdahulu dan jurnal-jurnal yang diperoleh dari internet.

Berdasarkan data yang telah diperoleh, maka akan dilakukan perencanaan dengan tahap-tahap sebagai berikut.

1. Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan dihitung berdasarkan SNI 1725-2016 yang terdiri dari:

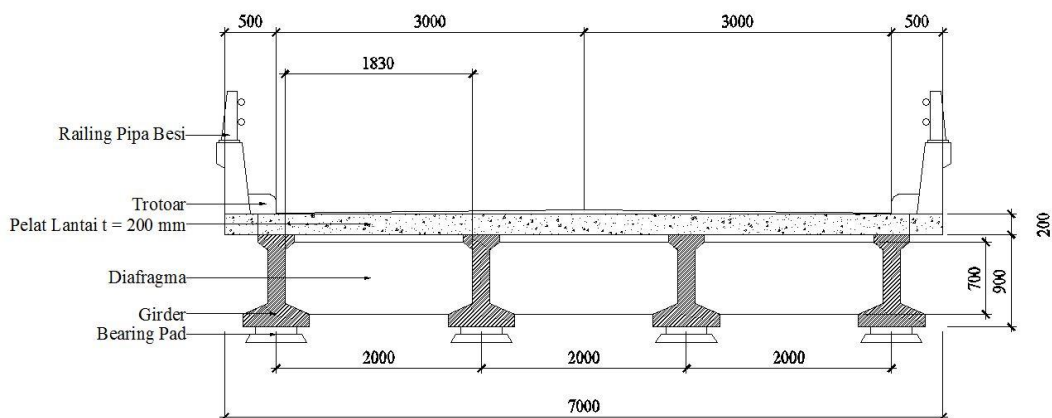
- a. beban permanen
 - b. beban transien
 - c. kombinasi pembebanan.
2. Proses Perencanaan
- Adapun tahapan-tahapan dalam proses perencanaan PCI *girder* untuk jembatan di Desa Hargorojo yaitu sebagai berikut.
- a. Perencanaan dimensi penampang.
 - b. Penentuan tata letak tendon.
 - c. Perhitungan kehilangan gaya prategang.
 - d. Perhitungan tegangan yang terjadi pada penampang *girder*.
 - e. Perhitungan lendutan pada PCI *girder*.
 - f. Pembesian PCI *girder*.
3. Penggambaran Hasil Perencanaan
- Tahap ini berisi gambar detail atau gambar hasil perencanaan PCI *girder* untuk jembatan di Desa Hargorojo.
4. Analisis Hasil dan Pembahasan
- Hasil yang didapatkan dari analisis ini adalah nilai momen, gaya geser, tegangan dan lendutan di mana dengan nilai tersebut dapat diketahui penampang yang efisien dan dapat diaplikasikan di lapangan.

3. Hasil Penelitian

3.1 Data Jembatan

Jembatan di Desa Hargorojo akan direncanakan menggunakan struktur balok prategang pascatarik dengan penampang I *girder*. Adapun data jembatan dapat dilihat dibawah ini:

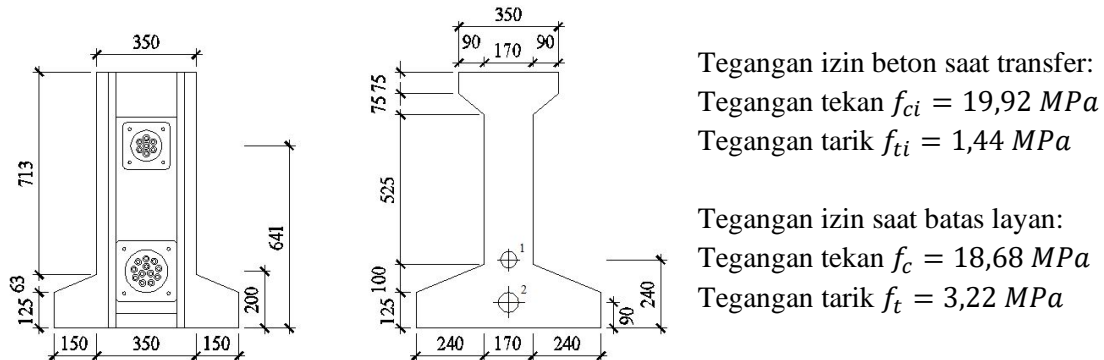
1. Panjang rencana jembatan $L = 16$ m
2. Tebal slab lantai jembatan $h_6 = 0,20$ m
3. Tebal lapisan aspal $h_a = 0,05$ m
4. Lebar total jembatan $b = 7$ m
5. Lebar jalur lalu lintas $b_1 = 6$ m
6. Lebar trotoar $b_2 = 0,5$ m
7. Mutu beton PCI K-500 $f_c' = 41,5$ MPa
8. Mutu beton pelat lantai $f_c' = 30$ MPa



Gambar 1. Gambar Rencana Jembatan

3.2 Dimensi Balok PCI Girder

Detail ukuran balok PCI girder dengan mutu beton K-500 dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Detail Balok PCI Girder

3.3 Pembebanan Balok PCI Girder

Hasil pembebanan penampang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Pembebanan Balok Prategang

No.	Jenis Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)
1	Berat balok prategang	5,894		
2	Berat sendiri (MS)	15,399		
3	Beban mati tambahan (MA)	3,18		
4	Lajur "D" (TD)	18	137,2	
5	Gaya rem (TB)			136,379
6	Angin kendaraan (EW _L)	0,834		
7	Beban gempa (EQ)	2,663		

Sumber : data primer

3.4 Kombinasi Momen Akibat Pembebanan

Hasil kombinasi momen akibat pembebanan pada PCI girder yang diambil pada tengah bentang dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 didapatkan kombinasi pembebanan terbesar terjadi pada kombinasi "Kuat I". Momen terbesar terjadi di daerah lapangan (tengah bentang) sebesar 2942,219 kNm dan tidak terjadi momen pada tumpuan.

3.5 Kombinasi Geser Akibat Pembebanan

Hasil kombinasi gaya geser akibat pembebanan pada PCI girder yang diambil pada ujung bentang dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 didapatkan kombinasi pembebanan terbesar terjadi pada kombinasi "Kuat I". Gaya geser terbesar terjadi di daerah tumpuan sebesar 596,732 kN dan 123,480 kN di tengah bentang.

3.6 Gaya Prategang Awal dan Posisi Tendon

Gaya prategang awal (P_t) yang terjadi pada penampang beton prategang sebesar 2080,651 kN. Maka diperoleh jumlah tendon sebanyak 2 buah dengan tendon pertama terdiri dari 7 strand dan tendon kedua 12 strand Tendon yang digunakan pada penampang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Momen Akibat Kombinasi Pembebanan

Jarak x (m)	Kuat I (kNm)	Kuat II (kNm)	Kuat III (kNm)	Kuat IV (kNm)	Kuat V (kNm)	Ekstrim I (kNm)	Ekstrim II (kNm)	Daya	Daya	Daya	Daya
								Layan I (kNm)	Layan II (kNm)	Layan III (kNm)	Layan IV (kNm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	568,113	483,263	186,290	186,290	192,547	269,899	292,352	357,723	415,103	309,041	139,342
2	1078,987	916,488	347,742	347,742	359,422	506,896	550,866	678,032	788,226	585,103	260,105
3	1532,622	1299,674	484,355	484,355	500,623	710,991	775,540	960,928	1119,371	828,186	362,289
4	1929,019	1632,821	596,129	596,129	616,152	882,185	966,376	1206,412	1408,537	1038,290	445,894
5	2268,177	1915,930	683,064	683,064	706,007	1020,477	1123,373	1414,481	1655,724	1215,415	510,920
6	2550,097	2149,000	745,161	745,161	770,190	1125,868	1246,532	1585,138	1860,932	1359,561	557,368
7	2774,777	2332,031	782,419	782,419	808,699	1198,358	1335,852	1718,382	2024,161	1470,728	585,236
8	2942,219	2465,023	794,838	794,838	821,536	1237,946	1391,333	1814,212	2145,412	1548,917	594,525

Sumber : data primer

Tabel 3. Gaya Geser Akibat Kombinasi Pembebanan

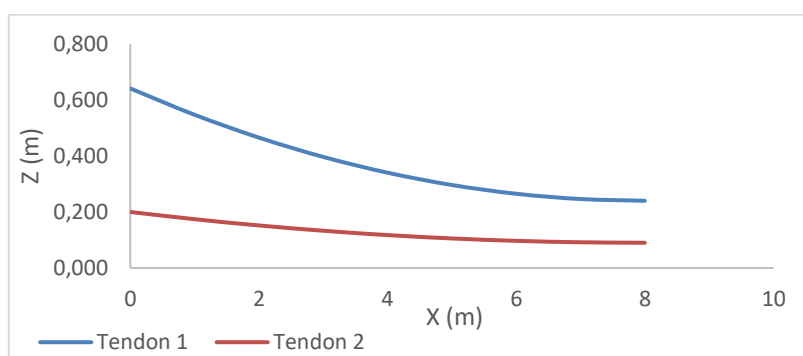
Jarak x (m)	Kuat I (kN)	Kuat II (kN)	Kuat III (kN)	Kuat IV (kN)	Kuat V (kN)	Ekstrim I (kN)	Ekstrim II (kN)	Daya	Daya	Daya	Daya
								Layan I (kN)	Layan II (kN)	Layan III (kN)	Layan IV (kN)
0	596,732	508,283	198,710	198,710	205,384	286,349	309,271	376,429	436,092	325,530	148,631
1	539,494	458,244	173,871	173,871	179,711	253,448	275,433	339,016	394,113	292,551	130,052
2	482,255	408,205	149,032	149,032	154,038	220,546	241,594	301,603	352,134	259,572	111,474
3	425,016	358,167	124,194	124,194	128,365	187,645	207,755	264,190	310,155	226,594	92,895
4	367,777	308,128	99,355	99,355	102,692	154,743	173,917	226,776	268,176	193,615	74,316
5	310,539	258,089	74,516	74,516	77,019	121,842	140,078	189,363	226,198	160,636	55,737
6	253,300	208,051	49,677	49,677	51,346	88,940	106,239	151,950	184,219	127,657	37,158
7	196,061	158,012	24,839	24,839	25,673	56,039	72,401	114,537	142,240	94,678	18,579
8	123,480	107,973	0	0	0	23,137	38,562	77,124	100,261	61,699	0

Sumber : data primer

Tabel 4. Lintasan Masing-Masing Tendon

Jarak	Inti Tendon	Lintasan Masing-Masing Tendon	
		Tendon 1	Tendon 2
X (m)	Z (m)	Z1 (m)	Z2 (m)
0	0,363	0,641	0,200
1	0,301	0,547	0,174
2	0,248	0,466	0,152
3	0,203	0,397	0,133
4	0,166	0,340	0,118
5	0,137	0,296	0,105
6	0,116	0,265	0,097
7	0,104	0,246	0,092
8	0,100	0,240	0,090

Sumber : data primer



Gambar 3. Grafik Lintasan Tendon Setengah Bentang

3.7 Kehilangan Gaya Prategang (*Loss of Prestress*)

Hasil perhitungan kehilangan gaya prategang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rekapitulasi Kehilangan Gaya Prategang

No.	Level Tegangan	Tegangan Baja (MPa)	Persentase (%)
	Setelah Penegangan	1305,298	100%
	Kehilangan Prategang		
1	Pergeseran ankur (<i>anchorage friction</i>)	36,563	2,80%
2	Gesekan kabel (<i>jack friction</i>)	57,803	4,43%
3	Perpendekan elastis beton (<i>elastic shortening</i>)	62,904	4,82%
	<i>fps =</i>	1148,028	87,95%
4	Rangkak beton (<i>creep</i>)	119,001	9,12%
5	Susut beton (<i>shrinkage</i>)	71,067	5,44%
6	Relaksasi tendon (<i>relaxation of tendon</i>)	19,486	1,49%
	Tegangan Akhir (<i>fpe</i>)	938,474	71,90%
	Kehilangan Tegangan Total (<i>loss of prestress</i>)	366,832	28,10%

Sumber : data primer

Dari Tabel 5 diperoleh total kehilangan gaya prategang pada balok prategang sebesar 28,10% sehingga diperoleh gaya prategang efektif (P_{eff}) 1759,921 kN.

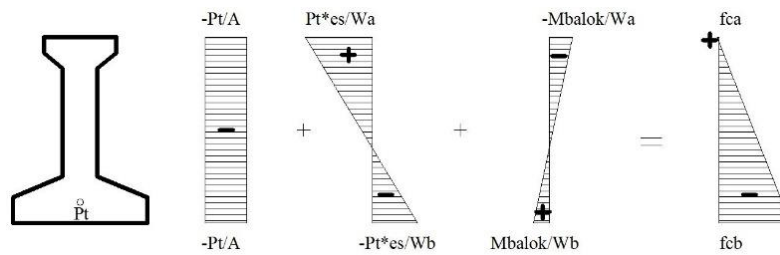
3.8 Tegangan yang Terjadi pada Penampang

a. Keadaan Awal

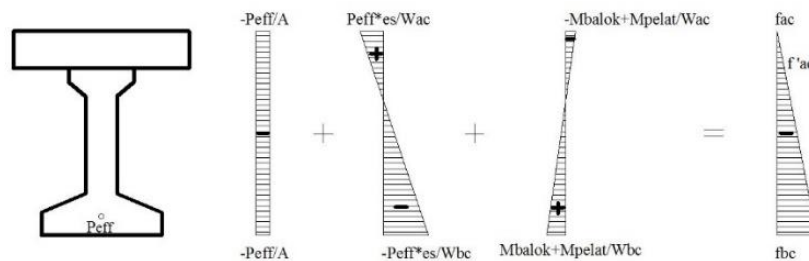
Nilai tegangan beton saat keadaan awal pada serat atas adalah 0,447 MPa yang mengalami tegangan tarik yang tidak melebihi tegangan izin tarik 1,44 MPa dan serat bawah sebesar -13,847 MPa yang mengalami tegangan tekan yang tidak melebihi tegangan izin tekan -19,92 MPa sehingga tidak terjadi retak.

b. Keadaan Akhir

Nilai tegangan beton saat keadaan akhir pada serat atas pelat adalah -0,107 MPa, serat atas balok -1,623 MPa dan serat bawah balok sebesar -8,447 MPa yang mengalami tegangan tekan yang tidak melebihi tegangan izin tekan -18,68 MPa sehingga tidak terjadi retak.



Gambar 4. Diagram Tegangan pada saat Transfer



Gambar 5. Diagram Tegangan saat Balok dan Pelat menjadi Komposit

3.9 Kekuatan Batas Lentur (*Ultimate Flexuaral Capacity*)

Dari perhitungan didapat nilai momen ultimit balok prategang ϕM_n sebesar 2268,381 kNm. Momen ultimit akibat kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Momen Ultimit Akibat Kombinasi Pembebanan

Kedadaan Batas	Berat sendiri MS	Mati tambahan MA	Prategang PR	Susut Rangkak SH	Lajur "D" TD	Rem TB	Angin Kendaraan EW	Gempa EQ	Momen Ultimit Mu	Keterangan
Kuat I	591,318	203,520	-1100,82	298,978	2024,640	122,741			2140,38	AMAN
Kuat II	591,318	203,520	-1100,82	298,978	1574,720	95,465			1663,18	AMAN
Kuat III	591,318	203,520	-1100,82	298,978					-7,00	AMAN
Kuat IV	591,318	203,520	-1100,82	298,978					-7,00	AMAN
Kuat V	591,318	203,520	-1100,82	298,978			26,697		19,70	AMAN
Ekstream I	591,318	203,520	-1100,82	298,978	337,440	20,457		85,210	436,11	AMAN
Ekstream II	591,318	203,520	-1100,82	298,978	562,400	34,095			589,49	AMAN
Layan I	492,765	101,760	-1100,82	597,956	1124,800	68,189		85,210	1369,86	AMAN
Layan II	492,765	101,760	-1100,82	597,956	1462,240	88,646			1642,55	AMAN
Layan III	492,765	101,760	-1100,82	597,956	899,840	54,551			1046,06	AMAN
Layan IV	492,765	101,760	-1100,82	597,956					91,66	AMAN

Sumber : data primer

Dari Tabel 6, desain memiliki momen ultimit balok (ϕM_n) yaitu 2268,381 kNm yang lebih besar dari pada Mu pada kombinasi pembebanan. Maka desain balok prategang aman terhadap momen ultimit.

3.10 Lentutan pada Balok Prategang

Nilai lentutan yang terjadi pada balok prategang adalah sebesar $\delta = 0,019121 \text{ m}$. Lentutan maksimum yang diizinkan adalah $\delta = \frac{L}{300} = 0,0533 \text{ m} > \text{lentutan total } \delta = 0,019121 \text{ m}$.

4. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Dari hasil desain dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut.

- 1) Langkah merencanakan struktur atas jembatan menggunakan PCI *Girder* yaitu pendimensian awal penampang *girder*, analisis pembebanan, menghitung gaya prategang, eksentrisitas, tata letak tendon, kehilangan gaya prategang, tegangan, kapasitas momen, lendutan dan pembesian *girder*.
- 2) Dibutuhkan jumlah tendon sebanyak 2 buah dengan tendon pertama terdiri dari 7 *strand* dan tendon kedua 12 *strand* dengan diameter *strand* 12,7 mm. Letak tendon 1 yaitu pada ujung bentang 0,641 m, seperempat bentang 0,340 m dan setengah bentang 0,240 m, untuk tendon 2 yaitu pada ujung bentang 0,200 m, seperempat bentang 0,118 m dan setengah bentang 0,090 m terhadap alas *girder*. Kehilangan gaya prategang yang terjadi sebesar 28,10% dan memiliki gaya prategang efektif sebesar 1759,921 kN. Lendutan total yang terjadi pada *girder* yaitu sebesar 0,0191 m.

b. Saran

Hasil penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga untuk penelitian selanjutnya diharapkan agar pokok bahasan lebih luas serta meninjau analisa perhitungan bangunan bawah dan analisa perhitungan biaya agar penulisan ini dapat diketahui nilai keekonomisannya dan dapat diaplikasikan langsung di lapangan.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan (SNI 2833-2008)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725-2016)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Nawy, E.G. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar*. (Terjemahan Bambang Suryoatmono).
- Nusantoro, A dan Alami, N. 1996. *Tugas Struktur Beton III*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Prasetyo, H. 2018. *Optimalisasi Disain Jembatan Buntung Di Sleman Yogyakarta Menggunakan PCI Girder Dengan Variasi Mutu Beton Dan Tinggi Girder*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Wicaksono, A. 2018. *Perbandingan Desain Struktur Beton Prategang antara Balok Sederhana dengan Balok Menerus pada Struktur Atas Jembatan Sambiroto Menggunakan PCI Girder*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.