

Analisis Struktur Atas Jembatan Kereta Api Jalur Tunggal PC I Girder Bentang 35 Meter Way Pengubuan

Muhammad Tri Wahyuddin¹⁾

Bayzoni²⁾

Amril Ma'ruf Siregar³⁾

Abstract

Prestressed concrete is a type of concrete with reinforcement steel being drawn and produces a system of equilibrium in the tensile stress on steel and the compression on the concrete which can increase the ability of the concrete to withstand external loads. There are various forms of prestressed concrete girder profiles, including box girders, U profiles, and I profiles. In this analysis an I profile girder or also known as PC I girder is used. The purpose of this research is to analyze the structure of the bridge with a PC I girder, calculate and control the safety of the deflection, shear, stress and ultimate moment.

Based on the upper structure analysis obtained dimensions of PC I girder with height 2,17 m, a width of the lower 0,75 m, a width of the top 0,5 m, and a width of the body 0,25 m. In the prestress force calculation, the initial prestress force is 13513,98 kN, the prestress force during jacking is 15898,8 kN, and the total loss of the prestress force is 4291,811 kN or 27 %, so that the effective prestress force is 11606,99 kN. And in the ultimate moment calculation it is declared safe because the ultimate moment capacity in the prestress beam is 21047,65905 kNm, whose value is greater than the greatest ultimate moment from the combination, which is 13764,95 kNm.

Key Words : Bridge Upper Structure, PC I girder, Prestress Concrete

Abstrak

Beton prategang merupakan jenis beton dengan tulangan baja ditarik dan menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam tarik pada baja dan tekan pada beton yang dapat meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Terdapat beragam bentuk profil gelagar beton prategang antara lain box girder, profil U, dan profil I. Pada analisis struktur atas jembatan ini digunakan gelagar profil I atau disebut juga PC I girder. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis struktur atas jembatan dengan gelagar profil I, menghitung dan melakukan kontrol keamanan terhadap besar lendutan, geser, tegangan serta momen ultimit.

Berdasarkan analisis struktur atas jembatan diperoleh dimensi PC I girder dengan tinggi 2,17 m, lebar bidang bawah 0,75 m, lebar bidang atas 0,5 m, dan lebar bidang badan 0,25 m. Pada perhitungan gaya prategang didapatkan gaya prategang awal sebesar 13513,98 kN, gaya prategang saat jacking sebesar 15898,8 kN, dan total kehilangan gaya prategang sebesar 4291,811 kN atau sebesar 27%, sehingga diperoleh nilai gaya prategang efektif sebesar 11606,99 kN. Dan pada perhitungan momen ultimit dinyatakan aman karena diperoleh kapasitas momen ultimit pada balok prategang sebesar 21047,65905 kNm yang nilainya lebih besar dari momen ultimit terbesar dari hasil kombinasi yaitu sebesar 13764,95 kNm.

Kata Kunci : Struktur Atas Jembatan, PC I Girder, Beton Prategang

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
surel:MTriwah11@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Moda transportasi merupakan alat angkut yang di gunakan untuk perpindahan tempat dari tempat asal ke tempat yang dituju. Moda transportasi dapat di klasifikasi berdasarkan rute yang di lewati, baik transportasi melalui darat, transportasi melalui udara, dan transportasi melalui jalur air. Ada banyak moda transportasi yang sering kita gunakan dalam sehari, seperti sepeda motor, mobil, bus, dan kereta api. Namun seiring perkembangan zaman, tingkat volume lalu lintas kendaraan pun semakin meningkat, sehingga mengharuskan kita untuk menggunakan moda transportasi umum.

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi umum yang banyak digunakan, baik dalam mengangkut penumpang maupun barang. Kereta api pada umumnya terdiri dari lokomotif dan rangkaian kereta atau gerbong dengan ukuran yang relatif luas sehingga mampu memuat penumpang maupun barang dengan skala besar. Dalam rute perjalanannya, kereta api sering digunakan dalam jarak yang dekat maupun jarak yang jauh, dengan tingkat medan yang berbeda dan dengan rute yang berbeda, oleh sebab itu tidak menutup kemungkinan track kereta api dapat melewati lembah maupun sungai, dalam hal ini, track kereta api ditopang menggunakan struktur jembatan yang berfungsi sebagai infrastruktur transportasi darat. Oleh sebab itu jembatan berperan penting dalam kelancaran moda transportasi darat terutama pada kereta api.

Jembatan adalah struktur prasarana transportasi yang berfungsi menghubungkan jalan atau dua lokasi menjadi satu yang terpisah karena lembah, laut atau sungai. (Supriadi dan Muntohar, 2007). Pada awal mulanya, teknik jembatan sudah ada pada zaman romawi kuno dimulai dari tahun 300 SM dan berlangsung kurang lebih selama 600 tahun. Teknologi pembangunan jembatan telah mengalami perkembangan yang pesat dari tahun ke tahun mulai dari peraturan perencanaan, teknologi bahan (beton, baja, kabel), teknologi perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan sampai teknologi rehabilitasi. Sehingga penguasaan teknologi jembatan tersebut mutlak dibutuhkan untuk pembangunan jembatan, baik jembatan standar atau sederhana maupun jembatan dengan teknologi khusus, demikian juga untuk pembangunan jembatan di daerah perkotaan dengan kondisi lahan yang terbatas dan lalu-lintas yang harus tetap operasional (Bina Marga). Pada zama terbaru ini, tidak menutup kemungkinan bila jembatan di fungsikan sebagai prasarana transportasi untuk kereta api.

Dalam perencanaan struktur atas jembatan kereta api dapat menggunakan berbagai macam jenis konstruksi, dapat berupa rangka baja maupun beton. Pada perencanaan ini digunakan struktur atas berupa PC I girder (Prestressed Concrete I) atau beton prategang dengan penampang berbentuk huruf I. Beton prategang adalah jenis beton dimana tulangan baja ditarik atau ditegangkan, penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam tarik pada baja dan tekan pada beton yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. (Muntohar, 2007). Dalam perencanaan, struktur atas harus mampu memikul beban dan gaya-gaya yang bekerja pada bentang jembatan, dan pada struktur bawah harus mampu memikul dan meneruskan beban atau gaya-gaya yang bekerja pada struktur atas ke lapisan tanah dasar. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis struktur pada PCI girder atau gelagar PCI guna mengetahui kekuatan atau kemampuan gelagar PCI girder.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Struktur Jembatan Kereta api

Dalam melakukan analisis jembatan kereta api, struktur jembatan kereta api terdiri dari struktur jalan rel dan struktur atas jembatan.

2.1.1. Struktur Jalan Rel

1. Rel
2. Bantalan
3. Penambat
4. Balast

2.1.2. Struktur Atas Jembatan

1. Railing atau Tiang Sandaran
2. Sidewalk atau Trotoar
3. Slab atau Pelat
4. Deck Slab
5. Balok *PC I Girder*

2.2. Perencanaan Balok Prategang

2.2.1. Pembebanan

2.2.1.1. Beban Sendiri (MS)

Beban sendiri adalah beban pada struktur yang bersifat tetap dengan besaran volume dan berat jenisnya. Beban sendiri terdiri dari.

- 1) Berat diafragma
- 2) Berat balok prategang
- 3) Berat deck slab
- 4) Berat pelat lantai

2.2.1.2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada balok jembatan yang merupakan elemen non struktural dan besarnya berubah selama umur jembatan. Dalam perencanaan jembatan kereta api, beban mati tambahan terdiri dari batu ballast, bantalan beton, rel kereta api, tiang railing, dinding railing, side wall, side walk, dan genangan air hujan.

2.2.1.3. Beban Hidup Pada Jalur Kereta Api (TL)

Berdasarkan PM 60 Tahun 2012, beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sasaran perkretaapian atau skema dari rencana muatan.

2.2.1.4. Beban Kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan factor I terhadap beban kereta. (PM 60 Tahun 2012). Dengan persamaan sebagai berikut :

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50 + L} \quad (1)$$

2.2.1.5. Beban Sntrifugal

Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horizontal.

$$\alpha = \frac{V^2}{127 \times R} \quad (2)$$

2.2.1.1. Beban Lateral Kereta

Beban lateral kereta adalah beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horizontal, dengan besaran adalah 15% atau 20 % dari beban gandar untuk masing masing lokomotif atau kereta listrik atau disel.

2.2.1.2. Beban Pengereman dan Traksi

Beban pengereman dan traksi masing masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

2.2.1.3. Rel Panjang Longitudinal

Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m, maksimum 2 kN.

2.2.1.4. Beban Angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horizontal, tipikal nilainya adalah :

1. 3 kN pada areal proyeksi vertical jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2 kN/m², pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
2. 1,5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1,2 kN/m² untuk jembatan selain gelagar dek atau jembatan komposit, sedangkan 0,8 kN/m² untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

2.2.1.5. Beban Gempa

Gaya gempa vertikal pada balok prategang dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar 0,1 x percepatan gravitasi atau diambil 50% koefisien gempa horizontal static ekuivalen.

1. Koefisien beban gempa horizontal

$$kh = C \times S \quad (3)$$

2. Waktu getar struktur

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{W_t}{g \times kp}} \quad (4)$$

3. Kekakuan struktur

$$Kp = \frac{48 \times Ec \times Ixc}{L^2} \quad (5)$$

2.2.1.1. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan di hitung dengan menggunakan kombinasi pembebanan bridge manajemen system (BMS) tahun 1992. dengan menggunakan kombinasi pembebanan batas ultimate.

2.2.1.2. Tabel 1. Kombinasi Pembebanan

Aksi	Kombinasi Pembebanan					
	1	2	3	4	5	6
Berat Sendiri	x	x	x	x	x	x
Berat Mati Tambahan	x	x	x	x	x	x
Beban Hidup Kereta Api	x	o	o	o		
Gaya Rem	x	o	o	o		
Beban Pejalan Kaki		x				
Gesekan dan Perlekatan	o	o	o	o		o
Beban Angin	o		o	x		o
Beban Gempa					x	

2.2.2. Gaya Prategang

2.2.2.1. Gaya Prategang Awal

Pemberian gaya prategang pada beton prategang akan memberikan tegangan tekan pada penampang, tegangan ini memberikan perlawanan terhadap beban luar yang bekerja. Gaya prategang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_t = \frac{M_{balok}}{e_s - \frac{W_a}{A}} \quad (6)$$

2.2.1.1. Gaya Prategang Jacking

Gaya prategang saat *jacking* dapat dihitung menggunakan persamaan

$$P_j = \frac{P_t}{0,85} \quad (7)$$

2.2.1.1. Gaya Prategang Efektif

Gaya prategang efektif adalah gaya prategang akhir yang di gunakan dalam perhitungan perencanaan selanjutnya. Dalam perhitungan ini di asumsikan sudah mengalami kehilangan gaya prategang, dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_{eff} = (100 - \text{Asumsi Loss Of Prestress} \times P_j) \quad (8)$$

2.2.1. Kehilangan Prategang

Dalam memberikan gaya prategang pada beton prategang, proses transfer gaya yang berkerja dapat mendapatkan dampak kehilangan kekuatan atau dapat di sebut dengan kehilangan gaya prategang, kehilangan gaya prategang terdiri dari :

1. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur
2. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable
3. Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis
4. Kehilangan Tegangan Akibat Pengakuran
5. Kehilangan tegangan akibat relaxation of tendon

2.2.2. Tegangan

Berdasarkan peraturan perencanaan teknik jembatan (Bridge design code), tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang atau sebelum terjadi kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu, tidak boleh melampaui nilai berikut.

1. Tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0,60 \times f'_{ci}$ dengan $f'_{ci} = 0,80f'_c$
2. Tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0,5 \times \sqrt{f'_{ci}}$, dengan $f'_{ci} = 0,80f'_c$

Tegangan pada beton saat kondisi beban layan atau setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut.

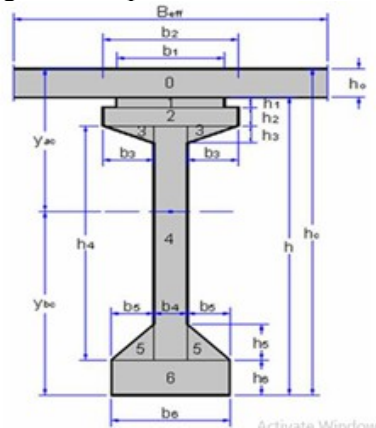
Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup harus tidak lebih dari $\leq 0,45 \times f'_c$

Tegangan serat tarik terluar pada saat mengalami tekanan harus memenuhi $\leq 0,5 \times \sqrt{f'_c}$

3. METODELOGI PENELITIAN

3.1. Section Properties Balok Prategang Non Komposit

Dalam menghitung section properties balok prategang non komposit, balok prategang dibagi menjadi beberapa bidang untuk mempermudah proses perhitungan. Pembagian beberapa bidang ini bertujuan untuk menghitung letak titik berat penampang balok prategang dan selanjutnya digunakan untuk menghitung momen inersia dan tahanan momen pada balok prategang non komposit.



Gambar 1. Section Propertis Balok Prategang Komposit

3.2. Kombinasi Pembebanan Beban Kereta Api

Perhitungan beban hidup kereta api (TL) dihitung menggunakan program SAP2000, dan perhitungan lainnya menggunakan program excel. Perhitungan beban hidup kereta api (TL), dihitung dengan melakukan kombinasi beban hidup kereta api, dengan kombinasi sebagai berikut.

1. Kombinasi satu yaitu L-C-L-C-W-W.
2. Kombinasi dua yaitu L-C-C-L-W-W.
3. Kombinasi tiga yaitu C-L-L-C-W-W.
4. Kombinasi empat yaitu C-L-C-L-W-W.
5. Kombinasi lima yaitu L-C-C-L-W-W.

Dengan :

L = Lokomotif

C = Carrier/Tender

W = Wagon

4. HASL DAN PEMBAHASAN

4.1. Section Propertis

Dalam menghitung section properties balok prategang, penampang dibagi menjadi beberapa bagian untuk mempermudah dalam proses perhitungan luas dan titik berat penampang.

Tabel 2. *Section Propertis*

No	Uraian	Dimensi	Satuan
1	Momen Inersia	0.893	m ⁴
2	Jarak titik berat bagian atas	1,4177	m
3	Jarak titik berat bagian bawah	1.0023	m
4	Tahanan momen sisi atas pelat	0.8916	m
5	Tahanan momen sisi atas balok	1.1879	m
6	Tahanan momen sisi bawah balok	0.6304	m

4.2. Pembebanan

Setelah melakukan *section propertis* selanjutnya dilakukan perhitungan pembebanan dengan beban yang akan bekerja atau yang sudah direncanakan dan dihitung menggunakan program excel dan SAP2000.

4.2.1. Resume Beban

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh hasil beban yang bekerja sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Pembebanan

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)
1	Berat sendiri	Ms	33,9580		
2	Berat mati tambahan	Ma	20,0521		
3	Beban hidup kereta api	Tl	25,3689		
4	Beban kejut	Ti	9,2521		
5	Beban sentrifugal	Tc	0		
6	Beban lateral	Lr	4,6932		
7	Beban rem dan traksi	Tb			376,7811
8	Beban panjang rel longitudinal	Lf			148,5208
9	Beban hidup pejalan kaki	Pl	4,175		
10	Beban angin	Ew	2,0869		
11	Beban gempa	Eq	7,5614		

4.2.2. Kombinasi Pembebanan

Pada perhitungan kombinasi pembebanan, digunakan kombinasi beban umum untuk keadaan batas ultimit. Dengan perhitungan kombiasi gaya momen sebagai berikut.

Tabel 4. Kombinasi Pembebanan Momen

No	Jarak	Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 4
		$M_s + M_a + T_l + T_i + T_c/T_b + T_b/L_f + P_l$	$M_s + M_a + T_l + T_i + L_r/E_w$	$M_s + M_a + T_l + T_i + T_c/T_b/L_f + L_r/E_w$	$M_s + M_a + E_q$
		Momen (kNm)	Momen (kNm)	Momen (kNm)	Momen (kNm)
1	0	0	0	0	0
2	1	1588,4732	1586,5182	1597,2834	1046,7187
3	2	3084,1400	3079,7118	3101,2422	2031,8658
4	3	4487,0005	4479,5808	4511,8764	2955,4411
5	4	5797,0546	5786,1252	5829,1859	3817,4448
6	5	7014,3023	6999,3451	7053,1709	4617,8768
7	6	8138,7437	8119,2403	8183,8313	5356,7370
8	7	9170,3788	9145,8109	9221,1671	6034,0256
9	8	10109,2075	10079,0569	10165,1783	6649,7425
10	9	10955,2298	10918,9783	11015,8649	7203,8877
11	10	11708,4458	11665,5751	11773,2268	7696,4613
12	11	12368,8555	12318,8473	12437,2642	8127,4631
13	12	12936,4588	12878,7949	13007,9770	8496,8932
14	13	13411,2557	13345,4179	13485,3652	8804,7517
15	14	13793,2463	13718,7163	13869,4288	9051,0384
16	15	14082,4305	13998,6901	14160,1677	9235,7535
17	16	14278,8084	14185,3393	14357,5821	9358,8969
18	17	14382,3799	14278,6639	14461,6719	9420,4686
19	17,5	14399,3633	14290,3295	14478,7200	9428,1650

4.3. Gaya Prategang

Gaya prategang adalah tegangan yang di berikan tendon kepada beton, gaya prategang dihitung berdasarkan tiga kondisi yaitu kondisi saat awal, kondisi saat penarikan, dan gaya prategang pada kondisi akhir (effektif).

Tabel 5. Gaya Prategang

Uraian	Dimensi	Satuan
Gaya Prategang (Pt)	13513.98	kN
Gaya Prategang <i>Jacking</i> (Pj)	15898.8	kN
Gaya Prategang Efektif (Peff)	11924.1	kN

4.4. Kehilangan Prategang

Kehilangan gaya prategang ditinjau pada keadaan awal sampai keadaan akhir, mulai dari keadaan *installing* dan keadaan *servis*. Pada penelitian ini diperoleh kehilangan gaya prategang sebagai berikut.

Tabel 6. Kehilangan Gaya Prategang

No	Uraian	Dimensi	Satuan	UTS (%)
1	Anchorage friction (Pj)	15898.9	KN	
2	Jack friction (Po)	15421.84	KN	3
3	Elastic Shortening (Px)	14297.83	KN	10
4	Relaxation of tendon	12242.89	KN	22.9948
5	Gaya prategang efektif	11606.99	KN	26.9945

4.5. Tegangan

Pada penelitian ini nilai tegangan yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan kombinasi tegangan sesuai dengan kombinasi BMS, 1992. Dari hasil tegangan yang terjadi dapat dinyatakan aman dengan kombinasi tegangan kurang dari tegangan izin. Dengan hasil perhitungan tegangan sebagai berikut

Tabel 7. Tegangan Kombinasi

Tegangan Kombinasi	Tegangan		
	f_{ac} (Mpa)	f'_{ac} (Mpa)	f_{bc} (MPa)
Tegangan Kombinasi I	-12,5519	-11,7556	-4,8438
Tegangan Kombinasi II	-14,4272	-13,9473	-4,2668
Tegangan Kombinasi III	-13,4994	-12,4827	-3,6579
Tegangan Kombinasi IV	-14,5318	-14,0276	-4,1358
Tegangan Kombinasi V	-5,4838	-6,3316	-13,6907
Tegangan Izin	-18,6750	-18,6750	3,2210
Tegangan Kombinasi < Tegangan Izin	Aman	Aman	Aman

4.6. Lendutan

Setelah menghitung lendutan selanjutnya dilakukan kontrol terhadap lendutan kombinasi

Tabel 8. Lendutan

Aksi/Beban	Notasi	Lendutan				
		KOM I	KOM II	KOM III	KOM IV	KOM V
Berat sendiri	Ms	0,0269	0,0269	0,0269	0,0269	0,0269
Berat mati tambahan	Ma	0,0159	0,0159	0,0159	0,0159	0,0159
Susut dan Rangkak	Sr	0,0070	0,0070	0,0070	0,0070	0,0070
Prategang	Pr	-0,0639	-0,0639	-0,0639	-0,0639	-0,0639
Beban hidup kereta api	Tl	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201

Tabel 8. Lendutan (Lanjutan)

Aksi/Beban	Notasi	Lendutan				
		KOM I	KOM II	KOM III	KOM IV	KOM V
Beban kejut	Ti	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073	
Beban sentrifugal	Tc	0	0	0	0	
Beban rem dan traksi	Tb					
Beban panjang rel longitudinal	Lf	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	
Beban hidup pejalan kaki	Pl		0,0033			
Beban Lateral	Lr			0,0037	0,0037	
Beban angin	Ew					
Beban Temperatur	Et		0,0035		0,0035	
Beban gempa	Eq					0,0060
Total Lendutan Kombinasi		0,0144	0,0212	0,0181	0,0217	0,0119
Lendutan Izin		0,0745	0,0745	0,0745	0,0745	0,0745
Kontrol Lendutan		Aman	Aman	Aman	Aman	Aman

4.7. Momen Ultimate

Dilakukan perhitungan momen ultimate dan kontrol terhadap momen ultimate dengan kombinasi pembebanan batas ultimate sesuai dengan BMS, 1992.

Tabel 9. Kombinasi Momen Ultimate

No	Jenis Beban	Kombinasi Ultimate			
		KOM I	KOM II	KOM III	KOM IV
1	Berat sendiri	6239,797	6239,797	6239,797	6239,797
2	Berat mati tambahan	6140,979	6140,979	6140,979	6140,979
3	Susut dan Rangkak	-596,79	-596,79	-596,79	-596,79
4	Prategang	-12364,2	-12364,2	-12364,2	-12364,2
5	Beban hidup kereta api	7769,228	7769,228	7769,228	7769,228
6	Beban kejut	2833,483	2833,483	2833,483	
7	Beban sentrifugal	0	0	0	
8	Beban rem dan traksi	376,7811	376,7811	376,7811	
9	Beban panjang rel longitudinal	81,6865	81,6865	81,6865	
10	Beban hidup pejalan kaki		1278,594		
11	Beban Lateral	718,6536		718,6536	
12	Beban angin	372,645		372,645	

Tabel 9. Kombinasi Momen Ultimate (Lanjutan)

No	Jenis Beban	Kombinasi Ultimate			
		KOM I	KOM II	KOM III	KOM IV
13	Beban Temperatur	2005,396	2005,396	2005,396	
14	Beban gempa				1157,845
15	Total Mu	13577,65	13764,95	13577,65	7189,005
16	ΦM_n	21047,6590	21047,6590	21047,6590	21047,6590
17	$\Phi M_n > Mu$	Aman	Aman	Aman	Aman

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis struktur bangunan atas jembatan kereta api Way Pengubuan dengan bentang 35 meter diperoleh kesimpulan :

1. Dimensi PC I girder yang digunakan yaitu tinggi total balok 2,17 meter, lebar bidang bawah 0,75 meter, lebar bidang atas 0,5 meter, dan lebar bidang badan 0,25 meter, dengan tebal pelat lantai jembatan yang digunakan sebesar 0,25 meter.
2. Dalam perhitungan kombinasi gaya momen dan gaya geser diperoleh gaya momen terbesar pada kombinasi tiga sebesar 14478.72 kNm, dan diperoleh gaya geser terbesar pada kombinasi tiga sebesar 1643,9457 kN
3. Berdasarkan hasil perhitungan gaya prategang diperoleh gaya prategang awal sebesar (Pt) 13513,98 kN, gaya prategang saat jacking (Pj) 15898,8 kN dan total kehilangan gaya prategang sebesar 4291,811 kN atau sebesar 27%, dimana lebih besar 2% dari kehilangan gaya prategang rencana yaitu sebesar 25%, sehingga diperoleh gaya prategang efektif sebesar (Peff) 11606,99 kN.
4. Dari hasil perhitungan tendon diperoleh jumlah total strands yang digunakan sebanyak 120 strands dengan jumlah tendon yang digunakan sebanyak 6 tendon.
5. Dalam perhitungan tegangan diperoleh nilai kombinasi tegangan terbesar pada kombinasi empat sebesar $f_{ac} = -14,5318$ Mpa, $f'_{ac} = -14,0276$ Mpa, $f_{bc} = -4,1358$ Mpa, dan dinyatakan aman dengan syarat besar kombinasi tegangan kurang dari tegangan izin yaitu untuk tegangan izin tekan beton sebesar $f_c = -18,675$ MPa dan $f_c = 3,2210$ Mpa.
6. Berdasarkan hasil perhitungan lendutan diperoleh nilai lendutan terbesar pada kombinasi lendutan empat sebesar $\delta = 0,0217$ m, dan dinyatakan aman dengan syarat kombinasi lendutan kurang dari lendutan izin yaitu sebesar $\delta = 0,0745$ m.
7. Pada perhitungan momen ultimit diperoleh kapasitas momen ultimit pada balok prategang sebesar $\Phi M_n = 21047.6591$ kNm dan dinyatakan aman karena $\Phi M_n > Mu$ dengan hasil kombinasi momen ultimit pada kombinasi satu $Mu = 13577,65$ kNm, momen ultimit pada kombinasi dua $Mu = 13764,95$ kNm, momen ultimit kombinasi tiga $Mu = 13577,65$ kNm, dan kombinasi empat $Mu = 7189,005$ kNm.

DAFTAR PUSTAKA

- Utomo, Suryo Hapsoro Tri. 2009. JALAN REL. Beta Offset: Yogyakarta.
- Supriyad, Bambang., Muntohar, Agus Setyo. 2007. JEMBATAN. Beta Offset. Yogyakarta.
- Nawy, Rachel E. 2001. Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar. Erlangga. Jakarta.
- Direktur Jendral Bina Marga. 2011. Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan. Jakarta.
- Budiadi, Andri. 2008. Desain Praktis Beton Prategang. CV Andi Offset. Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No 32 Tahun 2011 Tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian Dengan Rahmat Tuhan Yang Maha Esa.