



Analisis Nilai Kapasitas Beton Prategang Tipe-I Jembatan Cimanuk Maktal

Nurhayati Iqbaliah¹, Roestaman², Eko Walujodjati³

Jurnal Konstruksi
Sekolah Tinggi Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@sttgarut.ac.id

¹1511029@sttgarut.ac.id

²roestaman@sttgarut.ac.id

³eko.walujodjati@sttgarut.ac.id

Abstrak – Jembatan Cimanuk Maktal merupakan salah satu prasana untuk dilewati orang dan transportasi yang melewati sungai Cimanuk. Jembatan ini merupakan konstruksi baru sehingga perlu pengecekan terhadap nilai kapasitas yang dimiliki jembatan tersebut. Jembatan Cimanuk Maktal merupakan jembatan balok prategang tipe-I. Peneliti melakukan analisa perhitungan pada eksisting jembatan menggunakan metode *rating factor (RF)* pada saat *inventory dan operating*. Untuk perhitungan *rating factor* mengacu pada Pedoman Penentuan Nilai Kapasitas Jembatan dari Dirjen Bina Marga, dan untuk perhitungan analisa penampang dipandu dari Perencanaan Struktur Beton Jembatan dari RSNI-12-2004. Dari penelitian tersebut didapat bahwa jembatan tersebut dapat dikatakan aman dan sudah layak digunakan, karena nilai kapasitas yang didapat dari analisa perhitungan melebihi dari nilai kapasitas ijin. Dimana, nilai RF berdasarkan *Inventory* akibat momen $1,7 > 1$ dan akibat gaya geser $1,3 > 1$. Juga nilai RF berdasarkan *Operating* akibat momen $2,02 > 1$ dan akibat gaya geser $1,9 > 1$.

Kata Kunci – Balok Prategang Tipe-I; Jembatan; Nilai Kapasitas Jembatan; *Rating Factor*.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu sarana transportasi penghubung jalan yang melewati lembah, sungai bahkan lautan untuk dilalui kendaraan dan manusia. Perancangan jembatan harus dilakukan dengan maksimal agar memiliki kekuatan yang aman dan memiliki kenyamanan sesuai dengan fungsinya. Jembatan juga merupakan suatu sistem transportasi pengontrol kapasitas berat dan volume lalu lintas yang dapat dilayani oleh sistem transportasi [1]. Kerusakan pada jembatan bisa terjadi karena dua faktor, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal yaitu berupa faktor fisik jembatan diantaranya kondisi fisik jembatan dan beban yang melebihi kapasitas jembatan. Sedangkan faktor eksternal berupa faktor lingkungan seperti korosi, gerusan air, longsor, banjir, dan gempa. Tentunya faktor-faktor itu yang harus ditopang oleh jembatan.

B. Rumusan Masalah

- 1) Berapa kapasitas momen nominal dan geser nominal struktur atas Jembatan Cimanuk Maktal dari data eksisting berdasarkan RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Jembatan Beton?
- 2) Berapa nilai *Loss Of Prestress (LOP)* yang terjadi pada Jembatan Cimanuk Maktal?
- 3) Berapa nilai lendutan yang terjadi pada struktur atas Jembatan Cimanuk Maktal?
- 4) Berapa nilai kapasitas struktur atas Jembatan Cimanuk Maktal dengan Metode *Rating Factor*?

C. Tujuan Penelitian

- 1) Mengetahui kapasitas momen nominal dan geser nominal struktur atas Jembatan Cimanuk Maktal dari data eksisting berdasarkan RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Jembatan Beton;
- 2) Mengetahui nilai Loss of Prestress (LOP) yang terjadi pada jembatan.;
- 3) Mengetahui nilai lendutan yang terjadi pada struktur atas Jembatan Cimanuk Maktal.
- 4) Menganalisa nilai kapasitas struktur atas Jembatan Cimanuk Maktal dengan metode *rating factor*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Jembatan

Bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung kedua ujung jalan yang terputus oleh, saluran, sungai, selat atau laut, jalan raya, lembah dan jalan kereta api serinng disebut sebagai jembatan [2] Jembatan terdiri dari 2 bagian utama struktur, yaitu struktur atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*).

B. Beton Prategang

Struktur beton pratekan atau prategang didefinisikan sebagai struktur beton khusus dengan cara memberikan tegangan awal tertentu pada komponen sebelum digunakan untuk mendukung beban luar sesuai dengan yang diinginkan [3]. Tujuan memberikan tegangan awal atau prategangan, adalah untuk menimbulkan tegangan awal Baja prategang digunakan sebagai pengimbang karena tingginya kehilangan rangkai dan susut. Oleh karena itu, dibutuhkan baja dengan mutu tinggi.

Tabel 1: Syarat Kekuatan Leleh

Nomor Desain Strand	Diameter Strand nominal, mm [in]	Beban Awal kN [lbf]	Beban minimum pada perpanjangan 1 % kN [lbf]	
			Relaksasi Rendah	Relaksasi Normal
Mutu 1725 [250]				
6	6.4 [0.250]	4.0 [900]	36.0 [8 100]	34.0 [7 650]
8	7.9 [0.313]	6.5 [1 450]	58.1 [13 050]	54.7 [12 300]
9	9.5 [0.375]	8.9 [2 000]	80.1 [18 000]	75.6 [17 000]
11	11.1 [0.438]	12.0 [2 700]	108.1 [24 300]	102.3 [23 000]
13	12.7 [0.500]	16.0 [3 600]	144.1 [32 400]	136.2 [30 600]
15	15.2 [0.600]	24.0 [5 400]	216.2 [48 600]	204.2 [45 900]
Mutu 1860 [270]				
9	9.53 [0.375]	10.2 [2 300]	92.1 [20 700]	87.0 [19 550]
11	11.11 [0.438]	13.8 [3 100]	124.1 [27 900]	117.2 [26 350]
13	12.70 [0.500]	18.4 [4 130]	165.3 [37 170]	156.1 [35 100]
13a	13.20 [0.520]	20.0 [4 500]	180.1 [40 500]	170.1 [38 250]
14	14.29 [0.563]	23.0 [5 170]	207.0 [46 530]	195.5 [43 950]
15	15.24 [0.600]	26.1 [5 860]	234.6 [52 740]	221.5 [49 800]
18	17.78 [0.700]	35.3 [7 940]	318.0 [71 500]	300.2 [67 500]

C. Jembatan Beton Prategang

Jembatan beton prategang adalah jembatan dengan konstruksi beton yang memanfaatkan pemakaian bahan dengan kekuatan yang lebih tinggi dan penggunaan mutu baja tinggi untuk mengantisipasi serat tegangan tarik

yang terjadi pada gelagar jembatan. Perbedaan utama dari jembatan beton prategang dengan jembatan beton bertulang adalah pada penggunaan baja bermutu tinggi untuk mereduksi gaya tarik yang tinggi.

D. Prinsip Beton Prategang

Balok prategang diasumsikan bersifat homogen dan elastis. Ketidakmampuan beton untuk menahan tegangan tarik, digantikan oleh tegangan tekan yang diakibatkan oleh tendon prategang. Berikut konsep-konsep dasar pemberian prategang [4]. Tinjauan balok persegi panjang yang ditumpu sederhana mengalami gaya prategang P kosentris. Tegangan tekan seragam dan mempunyai intensitas:

$$f = -\frac{P}{Ac} \quad \dots(1)$$

Dimana:

Ac = b.h

P = Gaya tekan

E. Pembebanan Jembatan

Perhitungan pembebanan berpedoman pada SNI 1725:2016. Pembebanan yang akan diperhitungkan dalam perhitungan kapasitas jembatan.

F. Lendutan

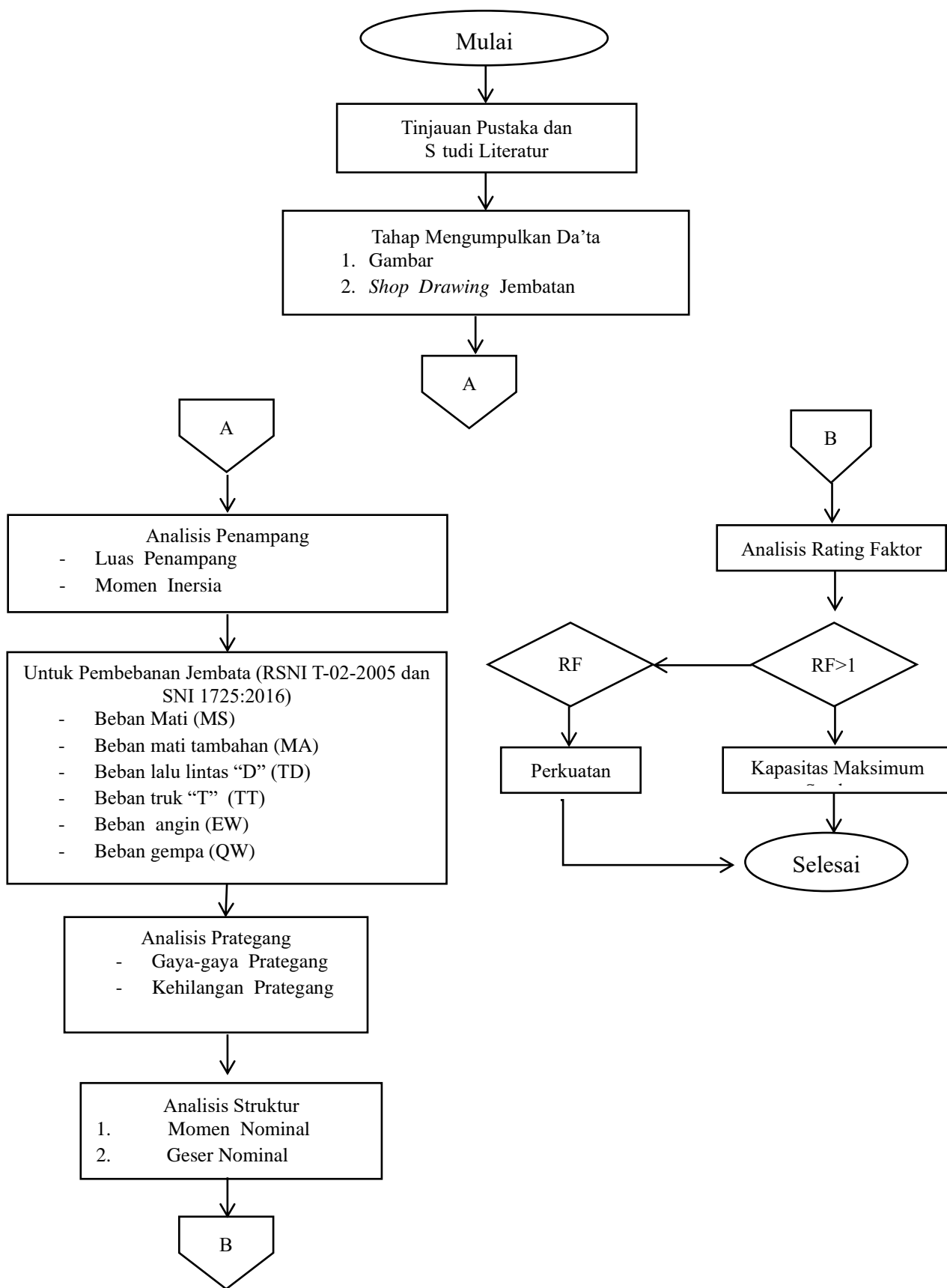
Lendutan pada balok prategang tergantung dari kombinasi gaya prategang, beban luar, dan lama pembebanan. Gaya prategang akan menimbulkan lendutan ke atas (*chamber*), sedangkan beban luar akan menimbulkan lendutan ke bawah. Kontrol lendutan dilakukan pada saat transfer dan pada saat servis. Pada perhitungan lendutan akibat beban transversal dan lawan lendut berlaku prinsip superposisi.

G. Nilai Kapasitas Jembatan

Nilai kapasitas Jembatan ialah nilai kelebihan beban yang masih dapat ditahan oleh jembatan baik pada saat kondisi harian atau *inventory* dan pada saat kondisi khusus atau disebut *Operating*, yang didapat dari metode analitik (*posting load*) atau uji beban lapangan (*load testing*) (Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta). Untuk menentukan nilai kapasitas jembatan penulis menggunakan analisis Rating Factor (RF). Yaitu nilai kapasitas tersedia yang mampu menahan beban hidup dibandingkan dengan beban hidup tertentu (*rating vehicle*) membebani jembatan. Jika $RF > 1,0$ maka struktur jembatan dapat dikatakan aman dan mampu menahan beban hidup dan beban lalu lintas yang melewati jembatan tersebut, dan jika $RF < 1,0$ maka perlu ada pengecekan ulang dan perkuatan pada jembatan tersebut.

H. Metode Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian terdapat tahapan-tahapan untuk menyelesaikannya. Tahapan-tahapan tersebut agar memudahkan penulis untuk mengerjakannya di sajikan dalam *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

I. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan terhadap Jembatan Cimanuk Maktal Kecamatan Tarogong Kidul Kabupaten Garut Jawa Barat dapat dilihat pada Gambar 2.



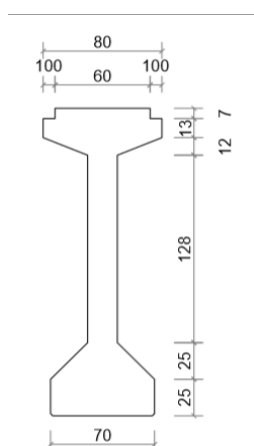
Gambar 2: Lokasi Proyek

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Penampang Balok

Tabel 2: Dimensi Balok *Prestress* [5]

Code	Lebar (m)	Code	Tebal (m)
H	2,1	tfl-1	0,013
A	0,8	tfl-2	0,012
B	0,7	tfl-3	0,25
Tweb	0,2	tfl-4	0,25



Gambar 3: Notasi dimensi Balok *Prestress* [5]

Jadi lebar pengganti beton plat lantai
 $= B_e / n$
 $= 1,85 / 0,93$
 $= 1,99 \text{ m}$

- 1) *Section* Propertis Balok Prategang
 - Luas penampang total balok prategang (A) = 0,7495 m²
 - Letak titik berat dari bawah penampang (yb) = 1,01 m
 - Letak titik berat dari atas penampang (ya) = 1,09 m
 - Momen inersia terhadap alas balok (Ib) = 1,1717 m⁴
 - Momen inersia terhadap titik berat (Ix) = 0,407 m⁴
- 2) *Section* Propertis Balok Komposit
 - Tinggi total balok komposit (hc) = 2,35 m
 - Luas penampang balok komposit (Ac) = 1,17975 m²
 - Letak titik berat dari bawah (ybc) = 1,45 m
 - Letak titik berat dari atas penampang (yac) = 0,9 m
 - Momen inersia terhadap alas balok (Ibc) = 3,034 m⁴
 - Momen inersia terhadap titik berat (Ixc) = 0,554 m⁴

B. Pembebanan Balok Prategang

- 1) Berat Sendiri (MS)

Tabel 3: Gaya geser dan momen dari berat mati sendiri (MS)

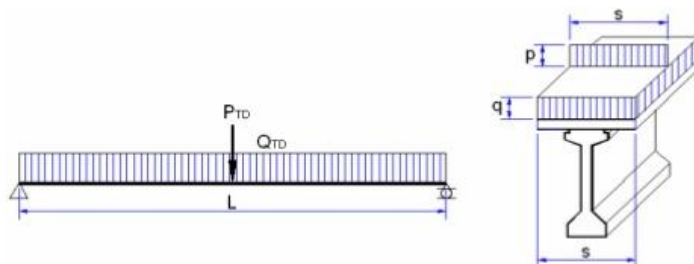
No	Jenis Beban Berat Sendiri	lebar b	Tebal h	Luas A	berat S atau Yc'	Beban QMS	Geser VMS	Momen Mms
	Satuan	m	m	m ²	kN/m ³	kN/m	kN	kNm
1	Balok Prategang					19,11	389,844	39876,41
2	Plat Lantai	1,85	0,2	0,37	25	9,25	188,7	1924,74
3	Deck Slab	1,16	0,081	0,094	25	2,349	47,92	488,78
4	Diafragma					0,95	19,38	197,676
	Total					31,659	645,844	42487,606

- 2) Beban Mati Tambahan (MA)

Tabel 4: Gaya Geser dan Gaya Momen Dari Beban Mati Tabahan (MS)

No	Jenis Beban Berat Sendiri	Lebar (b)	Tebal (h)	Luas (A)	Berat (S/W)	Beban QMA (kN/m)	Geser VMA (kN)	Momen Mms (kNm)
1	Lapisan aspal	1,85	0,1	0,185	22	4,07	83,028	846,886
2	Air Hujan	1,16	0,05	0,0925	10	0,925	18,87	192,474
	Total					4,995	101,898	1039,36

a. Beban Lajur “D” (TD)



Gambar 4: Pembebanan BTR dan BGT

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser (VTD)} &= \frac{1}{2} \times QTD \times L + \frac{1}{2} \times PTD \\ &= 357,83 \text{ kN} \\ \text{Momen (MTD)} &= \frac{1}{8} \times QTD \times L^2 + \frac{1}{4} \times L \\ &= 4297,08 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Bebas Truuk “T” (TT)

$$\begin{aligned} VTT &= (9/8 \times L - 1/4 \times a + b) / L \times PTT \\ &= 207,10 \text{ kN} \\ MTT &= VTT \times L/2 - PTT \times b \\ &= 2807,438 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c. Gaya Rem (TB)

$$\begin{aligned} \text{Gaya Rem (VTB)} &= M / L \\ &= 147,5 / 40,8 \\ &= 3,62 \text{ kN} \\ \text{Momen (MTB)} &= \frac{1}{2} \times M \\ &= \frac{1}{2} \times 147,5 \\ &= 73,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Beban Angin (EW)

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser (VEW)} &= \frac{1}{2} \times QEW \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 0,643 \times 40,8 \\ &= 13,114 \text{ Kn} \\ \text{Momen (MEW)} &= \frac{1}{8} \times QEW \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,643 \times 40,8^2 \\ &= 133,766 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Beban Gempa (EQ)

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser (VEQ)} &= \frac{1}{2} \times QEQ \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 5,251 \times 40,8 \\ &= 107,116 \text{ kN} \\ \text{Momen (MEQ)} &= \frac{1}{8} \times QEQ \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 5,251 \times 40,8^2 \\ &= 1092,583 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan didapat momen ultimit rencana girder sebesar (Mu) 13311,46 kNm. Dan gaya geser ultimit rencana girder sebesar (Vu) 1234,36 kN.

C. Gaya Prategang

1) Kondisi awal (Transfer)

Diambil besaran gaya prategang = 7290 kN

2) Kondisi layan/(akhir (service)

Presentasi tegangan leleh yang timbul pada baja (% jacking force),

$$\begin{aligned} P_o &= P_t / (0,85 \times n_s \times P_{bs}) \\ &= (7290) / (0,85 \times 71 \times 185,863) \times 100\% \\ &= 64,99 \% < 70\% \text{ OK} \end{aligned}$$

Gaya prategang (aktual) yang terjadi akibat jacking

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs}$$

$$= 64,99\% \times 71 \times 185,863$$

$$= 8576,4 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (*loss of prestress*) = 30 %

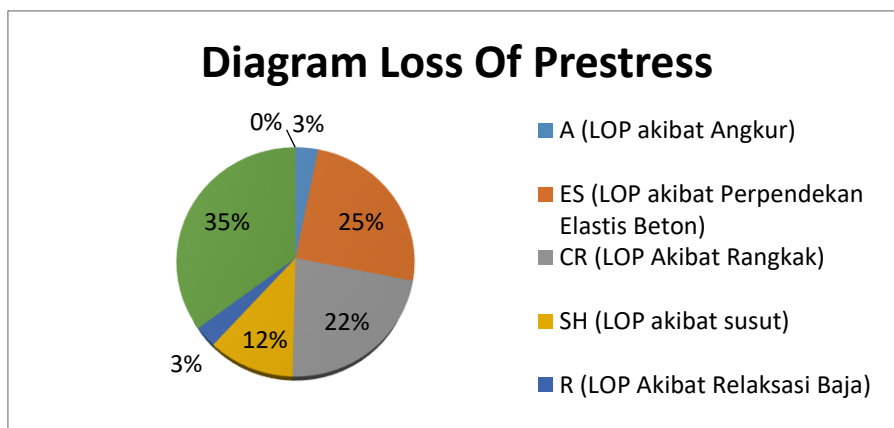
Gaya prategang akhir setelah perkiraan kehilangann tegangan (*loss of prestress*),

$$P_{eff} = (100\% - 30\%) \times P_j$$

$$= 70\% \times 8576,4$$

$$= 6005,4 \text{ kN}$$

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



Gambar 5: Diagram *Loss of Prestressed*

Total *Loss of Prestress*

$$(\text{fpt}) = 9,8 + 78 + 69,3 + 35,5 + 9,13 + 109,86$$

$$= 311,59 \text{ MPa}$$

Total % *Loss of Prestress*

$$(\% \text{fpt}) = 0,5 \% + 4,1 \% + 3,73 \% + 1,91 \% + 0,49 \% + 5,9 \%$$

$$= 16,63 \%$$

E. Kapasitas Momen Ultimit

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= A_i \times 0,85 \times f_c' \times y \\ &= 0,396 \times 0,85 \times 50000 \times 1,98 \end{aligned}$$

$$= 32323,4 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen ultimit } (\phi M_n) = 0,8 \times 32818, = 26658,72 \text{ kN}$$

F. Kapasitas Geser Ultimit

Untuk kapasitas geser ultimit diambil $V_s = 1824,48 \text{ kN}$

Maka kekuatan geser batas nominal

$$\begin{aligned} (V_n) &= V_c + V_s \\ &= 748,57 + 1824,48 \\ &= 2573,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dengan reduksi kekuatan

$$\begin{aligned} (\phi V_n) &= 0,75 \times V_n \\ &= 0,75 \times 2573,05 \\ &= 1929,79 \text{ kN} \end{aligned}$$

G. Lendutan Balok Prategang

Tabel 5: Rekapitulasi Perhitungan Lendutan pada Balok I-Girder

No	Jenis Bahan	Komb-1 kNm	Komb-2 kNm	Komb-3 kNm
1	Barat Sendiri (MS)	0,0622	0,0622	0,0622
2	Beban mati tamba han (MA)	0,0098	0,0098	0,0098
3	Beban lajur "D" (T D/TT)	0,0425	0,0425	0,0425
4	Gaya rem (TB)	0,0004	0,0004	
5	Beban angin (EW)	0,0013		
6	Beban Gempa (EQ)			0,0103
		0,1162	0,1149	0,1248

Total lendutan yang terjadi adalah $\delta T = 0,1161$ m ke bawah dan $< 0,17 (L/240)$ dapat dinyatakan aman.

H. Nilai Rating Factor

Kapasitas momen nominal (ϕM_n) = 33323,4 kNm

Kapasitas geser nominal (ϕV_n) = 1929,79 kN

1) Momen Ultimit dan Gaya Geser Ultimit Akibat Beban Mati

Tabel 6: Momen Ultimit Akibat Beban Mati

Aksi / Beban	Momen	
	Notasi	Nilai (kNm)
Berat Sendiri	M _{ms}	6587,6
Beban Mati Tambahan	M _{ma}	1039,3
Total (M _{dl})		7626,9

Tabel 7: Gaya geser ultimit akibat beban mati

Aksi / Beban	Gaya Geser	
	Notasi	Nilai (kNm)
Berat Sendiri	V _{ms}	645,84
Beban Mati Tambahan	V _{ma}	101,89
Total (V _{dl})		747,73

2) Momen Ultimit dan Gaya Geser Ultimit Akibat Beban Hidup

Tabel 8: Momen Geser Ultimit Akibat Beban Hidup

Aksi / Beban	Gaya Momen	
	Notasi	Nilai (kNm)
Berat Lalu Lintas TD	MTD	4297,03
Beban akibat Gaya Rem	MTB	73,75
Total (M _{pl})		4370,78

Tabel 9: Gaya Geser Ultimit Akibat Beban Hidup

Aksi / Beban	Gaya Geser	
	Notasi	Nilai (kNm)
Berat Lalu Lintas TD	VTD	357,83
Beban akibat Gaya Rem	VTB	3,61
Total (Vpl)		361,44

a. *Inventory Rating Factor*

a. RF pada kapasitas momen

$$RF = \frac{\phi R_n - \sum(\gamma DDL)}{\gamma_{LL}(1+I)}$$

$$RF = \frac{33323,4 - \sum(1,3 \times 7626,96)}{1,6 \times 6587,6 (1+0,302)}$$

$$= 1,7 > 1$$

b. RF pada kapasitas geser

$$RF = \frac{\phi R_n - \sum(\gamma DDL)}{\gamma_{LL}(1+I)}$$

$$RF = \frac{1929,79 - \sum(1,3 \times 747,74)}{1,6 \times 357,83 (1+0,302)}$$

$$= 1,3 > 1$$

b. *Operating Rating Factor*

a. RF pada kapasitas momen

$$RF = \frac{\phi R_n - \sum(\gamma DDL)}{\gamma_{LL}(1+I)}$$

$$RF = \frac{25724,57 - (7626,96)}{1,6 \times 4297,03 (1 + 0,302)}$$

$$= 2,02 > 1$$

b. RF pada kapasitas geser

$$RF = \frac{\phi R_n - \sum(\gamma DDL)}{\gamma_{LL}(1+I)}$$

$$RF = \frac{1929,79 - (747,74)}{1,3 \times 361,44 (1+0,302)}$$

$$= 1,9 > 1$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun simpulan dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Jembatan Cimanuk Maktal mempunyai nilai kapasitas momen (ϕM_n) sebesar 33323,4 kNm dan nilai kapasitas geser (ϕV_n) sebesar 1929,79 kN. Sedangkan nilai momen ultimit akibat pembebanan (M_u) sebesar 13311,46 kNm dan gaya geser ultimit (V_u) = 1234,36 kNm. Kapasitas momen (ϕM_n) > Momen ultimit (M_u) dan kapasitas geser (ϕV_n) > Gaya geser ultimit (V_u). Sehingga dapat disimpulkan, struktur balok jembatan mampu menopang beban rencana.
- 2) Kehilangan prategang (Loss of Prestress) pada Jembatan Cimauk Maktal sebesar 16,63 % atau sebesar 311,59 MPa.
- 3) Lendutan yang terjadi pada balok prategang sebesar 0,1161 m.
- 4) Nilai kapasitas Metode *Rating Factor* mempunyai dua aspek, yaitu :
 - a) RF berdasarkan *inventory* RF akibat momen = 1,7 > 1 (aman)
RF akibat gaya geser = 0,13 > 1 (tidak aman)
 - b) RF berdasarkan *operating rating factor* akibat momen = 2,02 > 1 (aman)
RF akibat gaya geser = 1,9 > 1 (aman)

B. Saran

Pada penelitian ini mempunyai beberapa hal yang patut dikembangkan sebagai penelitian lanjutan.

- 1) Pada penelitian ini aspek yang ditinjau adalah nilai kapasitas pada balok prategang. Pada bagian struktur atas lainnya seperti plat lantai, diafragma dan lapisan permukaan aus (aspal) belum diteliti. Sehingga pada bagian-bagian tersebut dapat dilakukan penelitian lanjutan guna mendapatkan hasil yang maksimal;
- 2) Pada penelitian ini, nilai RF dari kondisi *Operating* hanya menggunakan pembebanan truk secara analitik (Diagnostic Load Test). Di dalam draft penilaian kapasitas jembatan dapat dilakukan dengan menggunakan truk secara langsung di lapangan (Proof Load Test) dengan dicatat tiap deformasi yang terjadi pada tiap-tiap bagian struktur atas.

- 3) Untuk penelitian selanjutnya, dapat menggunakan SNI yang terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Supriyadi and A. S. Muntohar, *Jembatan*. Yogyakarta: Andi Offset, 2007.
- [2] E. Ambarwati, “Penilaian Kondisi Struktur Atas Jembatan Gelagar Baja Komposit Pascabanjir (studi kasus : Jembatan Keduang, Kabupaten Wonogiri),” Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2008.
- [3] I. Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1999.
- [4] Nawy, *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid I*, 1st ed. Jakarta: Erlangga, 2001.
- [5] CV. Suriadipraja, “Shop Drawing Jembatan Cimanuk Maktal Garut.” CV. Suriadipraja, Garut, 2018.