

ANALISIS NILAI KAPASITAS STRUKTUR ATAS JEMBATAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RATING FACTOR*

Andika Arief Saputra¹, Hrc. Priyosulistyo², Muslikh³

^{1, 2, 3}Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM
Email: andika.saputra18@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan merupakan infrastruktur transportasi yang vital. Jika suatu jembatan mengalami kegagalan maka lumpuhlah sistem tersebut. Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitas sisa jembatan eksisting sehingga dapat dinilai bahwa jembatan tersebut masih layak digunakan atau tidak. Kajian ini dilakukan pada segmen P1-P5 (arah Dawuan) jembatan Cinapel yang terletak di Kabupaten Sumedang. Jembatan ini merupakan jembatan beton prategang. Metode kajian yang digunakan adalah metode *load rating factor*. Dilakukan dengan menghitung kapasitas dukung gelagar dan plat lantai kendaraan. Standar perhitungan dengan mengacu pada Peraturan Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting dari Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (03/SE/M/2016). Dari hasil perhitungan didapatkan hasil bahwa nilai *RF* gelagar bentang tepi, bentang tengah, dan plat lantai kendaraan memiliki nilai >1 yang artinya bahwa struktur jembatan Cinapel bentang P1-P5 arah Dawuan aman dalam melayani lalu lintas yang melintasi jembatan.

Kata kunci: jembatan beton prategang, *load rating factor*, struktur atas

ABSTRACT

*Bridges are vital transportation infrastructure. If a bridge fails then the system is chaos. Therefore, this study aims to determine the remaining capacity of the existing bridge where the bridge is still suitable for use or not. This research was conducted on the P1-P5 segment (Dawuan direction) Cinapel bridge located in Sumedang Regency. This bridge is a prestressed concrete bridge. The research method used is the load rating factor method. It was carried out by calculating the carrying capacity of the girder and slab of the bridge. Calculation refer to the Determination for Existing Bridges using Load Rating Factor of the Minister of Public Works and Public Housing (03/SE/M/2016). The results of calculation obtained that the *RF* of the outer span girder, middle span, and slab are greater than 1 ($RF > 1$) which means that the structure of the Cinapel bridge span P1-P5 is safe.*

Keywords: prestressed concrete bridge, *load rating factor*, upper structure

PENDAHULUAN

Jembatan adalah bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung dua ujung jalan yang terputus oleh sungai, saluran, lembah, dan selat atau laut, jalan raya, dan jalan kereta api (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2003) Sehingga akses transportasi satu daerah dengan daerah lainnya akan lebih mudah. Jika suatu jembatan runtuh atau tidak berfungsi dengan baik (mengalami kegagalan fungsi) maka akan mengganggu fungsi sistem transportasi secara keseluruhan.

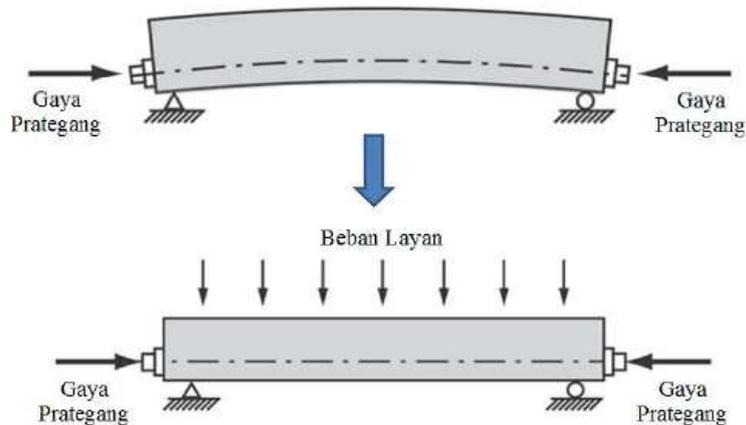
Kegagalan fungsi jembatan akibat kegagalan jembatan dalam melayani beban lalu lintas yang melewatinya dapat dihindari

dengan melakukan evaluasi komponen jembatan terhadap pembebanan-pembebanan tertentu secara berkala. Pada ajian ini evaluasi jembatan menggunakan metode *Rating Factor* untuk menghitung kapasitas dukung dengan mengacu pada peraturan Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting dari Menteri Pekerjaan Umum (03/SE/M/2016). Sedangkan analisis tampang jembatan mengacu pada Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004).

Kajian ini mengambil studi kasus Jembatan Cinapel yang terletak pada ruas jalan tol Cisumdawu di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan dalam (internal) yang

besar dan distribusi tegangan sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban luar (eksternal) sampai dengan batas tertentu. Tegangan internal tersebut dapat mengurangi pengaruh tegangan tarik beton akibat beban eksternal sehingga dapat mengurangi retak-retak rambut yang terjadi

pada beton. Dengan kata lain, gaya pratekan akan memberikan tegangan awal yang berlawanan dengan gaya tarik yang ditimbulkan oleh beban eksternal sehingga tegangan tarik total akan berkurang atau hilang sama sekali (Triwiyono, 2010). Konsep ini dapat dijelaskan dengan Gambar 1 berikut ini.

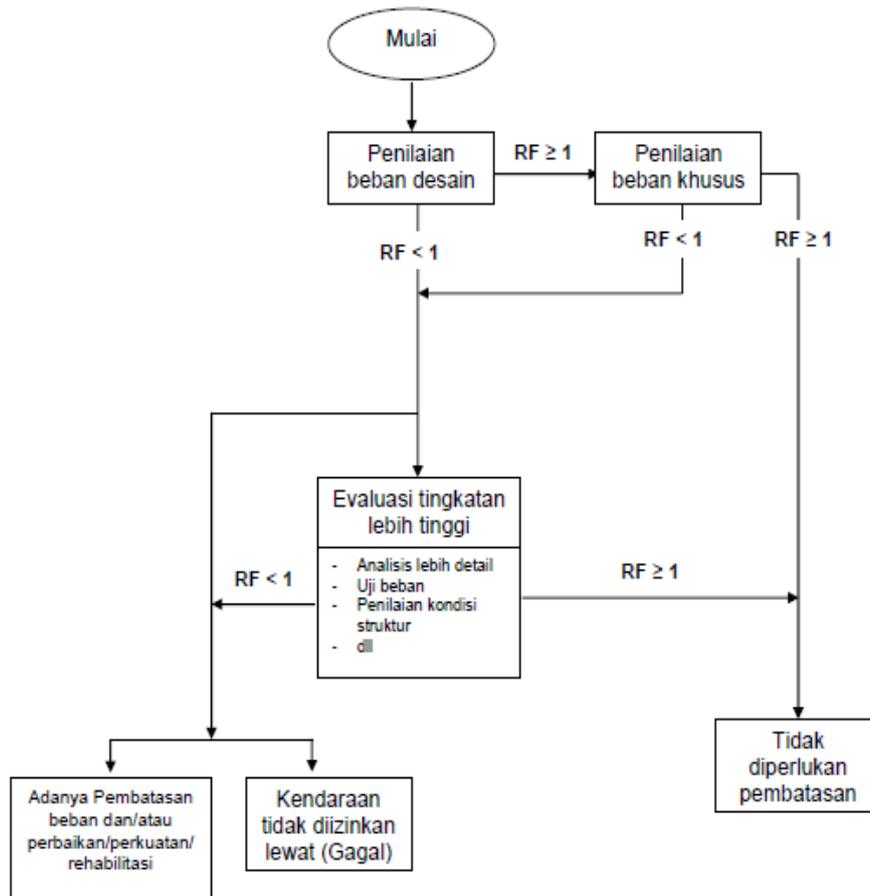


Gambar 1 Konsep Beton Prategang

METODE

Metode evaluasi jembatan yang digunakan dalam analisis ini adalah perhitungan *load rating* yang akan menghasilkan output nilai *rating factor (RF)*. *RF* merupakan perbandingan antara nilai sisa kapasitas tampang jembatan setelah melayani beban

mati dengan beban lalu lintas. Di Indonesia mengacu pada peraturan Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting dari Menteri Pekerjaan Umum (03/SE/M/2016). Pedoman ini memuat dua prosedur dalam perhitungan *load rating* antara lain penilaian beban desain dan penilaian beban khusus.



Gambar 2 Tahapan untuk penilaian beban (SE Menteri PUPR, 2016)

Dalam analisis juga harus diperhitungkan kehilangan tegangan yang terjadi, yaitu:

- a. Kehilangan tegangan akibat dudukan anker, A dapat dihitung dengan:

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} E_{ps} \dots \dots \dots (1)$$

dengan Δ_A adalah besar gelincir tendon, dan L adalah panjang tendon.

- b. Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton, ES dapat dihitung dengan

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\Delta f_{pES})_j \dots \dots \dots (2)$$

dengan n adalah banyaknya tendon yang ditarik secara sekuensial, $(\Delta f_{pES})_j$ adalah kehilangan tegangan maksimal.

- c. Kehilangan tegangan akibat rangkai, CR dapat dihitung dengan

$$\Delta f_{pCR} = K_{CR} \frac{E_s}{E_{balok}} (f_{CS} - f_{csd}) \dots (3)$$

dengan K_{CR} : 2,0 untuk komponen struktur pratarik, 1,6 untuk komponen struktur pasca tarik.

- d. Kehilangan tegangan akibat susut, SH dapat dihitung dengan persamaan yang diambil dari *Prestressed Concrete Institute*

$$\Delta f_{pSH} = 8,2 \cdot 10^{-6} K_{SH} E_p \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH) (4)$$

dengan K_{SH} adalah koefisien yang dipengaruhi oleh jeda waktu antara akhir perawatan beton sampai pemberian tegangan, E_p adalah modulus elastisitas baja tendon, RH adalah skala kelembaban relatif untuk wilayah Indonesia adalah 70%.

e. Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja tendon, R dihitung dengan

$$\Delta f_{pR} = [K_{RE} - J * (\Delta P_{ES} + \Delta P_{CR} + \Delta P_{SH})] C \quad (5)$$

dengan nilai K_{RE} dan J dapat diperoleh pada Tabel 2 dan nilai C pada Tabel 3.

f. Kehilangan tegangan akibat friksi/gesekan, F dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta f_{pF} = f_i (\mu \alpha + K L) \quad (6)$$

dengan nilai koefisien kelengkungan (μ) dan koefisien wobble (K) dapat diperoleh pada Tabel 4.

Tabel 1. Nilai K_{SH} untuk komponen struktur pasca tarik (E.G. Nawy, 2001)

Jeda waktu antara perawatan basah beton sampai pemberian tegangan (hari)	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,85	0,8	0,77	0,73	0,61	0,58	0,45

Tabel 2. Nilai K_{RE} dan J (T.Y. Lin, 1998)

Tipe tendon	K_{RE} (MPa)	J
Strand atau kawat stress relieved derajat 1860 MPa	138	0,15
Strand atau kawat stress relieved derajat 1720 MPa	128	0,14
Kawat stress relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	121	0,13
Strand relaksasi rendah derajat 1860 MPa	35	0,040
Strand relaksasi rendah derajat 1720 MPa	32	0,037
Strand relaksasi rendah derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	30	0,035
Batang stress relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa	41	0,05

Tabel 3. Nilai C (E.G Nawy, 2001)

f_p/f_{pu}	Strand atau kawat stress relieved	Batang stress relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0,80	-	1,28
0,79	-	1,22
0,78	-	1,16
0,77	-	1,11
0,76	-	1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

Tabel 4 Nilai μ dan k (E.G Nawy, 2001)

Jenis tendon	Koefisien wobble (K)	Koefisien kelengkungan (μ)
Tendon diselubungi metal fleksibel		
Tendon kawat	0,0010 – 0,0015	0,15 – 0,25
Strand 7 kawat	0,0005 – 0,0020	0,15 – 0,25
Batang mutu tinggi	0,0001 – 0,0006	0,08 – 0,30
Tendon di saluran metal yang rigid		
Strand 7 kawat	0,0002	0,15 – 0,25
Tendon yang dilapisi mastic		

Jenis tendon	Koefisien wobble (K)	Koefisien kelengkungan (μ)
Tendon kawat dan strand 7 kawat	0,0010 – 0,0020	0,05 – 0,15
Tendon yang dilumasi dahulu		
Tendon kawat dan strand 7 kawat	0,0003 – 0,0020	0,05 – 0,15

Perhitungan kapasitas tampang elemen jembatan dengan mengacu pada peraturan RSNI T-12-2004. Kapasitas tampang adalah menghitung besar kekuatan nominal tampang (R_n) pada struktur terhadap momen lentur maupun gaya geser.

a. Kapasitas momen lentur plat

Pada plat dengan tebal efektif d , maka besar momen lentur nominal yang dapat ditahan oleh tampang plat adalah

$$A_s = \frac{1}{4s} \pi D^2 b \dots\dots\dots (7)$$

$$M_n = 0,85 f_c' ab \left(d - \frac{1}{2} a \right) \dots\dots\dots (8)$$

dengan s adalah jarak tulangan, a adalah kedalaman blok tekan, b adalah lebar plat, dan d adalah tinggi efektif tulangan tarik.

b. Kapasitas geser plat

Untuk kapasitas geser plat tanpa tulangan geser arah panjang dan lebar sesuai peraturan RSNI T-02-2004 sebagai berikut

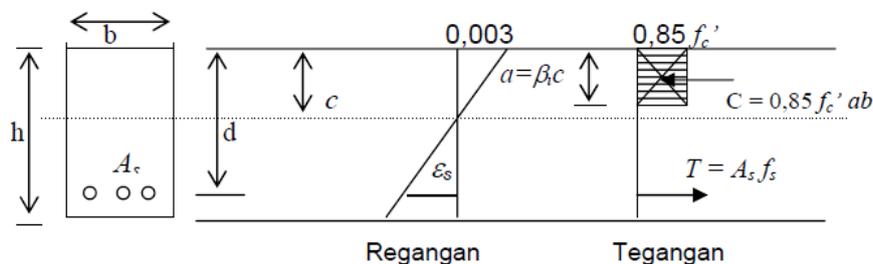
$$V_n = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} db \dots\dots\dots (9)$$

c. Kapasitas momen lentur balok

Kekuatan batas nominal penampang beton prategang terhadap lentur (M_n) dihitung berdasarkan cara kekuatan batas, dengan asumsi-asumsi yang sama dengan perhitungan beton bertulang, yaitu dengan mengganti besaran tegangan leleh (f_y) menjadi tegangan analitis batas baja prategang (f_{ps}).

Penampang beton bertulang mencapai keadaan seimbang jika regangan beton pada serat tepi tertekan sebesar, $\epsilon_c = 0,003$ dan regangan baja tarik tepat mencapai luluh. Ketentuan mengenai distribusi tegangan tekan berbentuk segi empat dianggap terpenuhi dengan asumsi tegangan tekan merata sebesar $0,85 f_c'$ bekerja pada luas bidang yang dibatasi oleh:

- a. Tepi dari penampang
- b. Garis sejajar sumbu netral pada kondisi batas akibat beban yang diperhitungkan, yang terletak pada jarak $a = \beta_1 c$ dari serat tekan terluar, dimana β_1 ditetapkan sebagai berikut:
 - $\beta_1 = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30$ MPa
 - $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30)$ dengan $\beta_1 > 0,65$ untuk $f_c' \geq 30$ MPa



Gambar 3 Blok regangan dan tegangan tekan beton (RSNI T-12-2004)

Tegangan analitis batas baja prategang, f_{ps} ditentukan dengan persamaan berikut:

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right)$$

(10)

Momen nominal,

$$M_n = A_i 0,85 f'_c y_i \dots\dots\dots (11)$$

dengan A_i adalah luas beton efektif, y_i adalah jarak titik berat tendon terhadap pusat plat, $d = 0$ mm karena tulangan non prategang diabaikan, ρ_p adalah rasio luas penampang baja tendon terhadap luas beton.

d. Kapasitas geser balok

Persamaan untuk menghitung kuat geser nominal yang mampu ditahan balok jembatan adalah

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (12)$$

Kuat geser nominal oleh beton dihitung dengan persamaan

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}} \dots\dots (13)$$

Dengan b_w adalah lebar badan balok, V_d adalah gaya geser akibat beban mati, V_i adalah gaya geser akibat beban luar, M_{cr} adalah momen retak yang terjadi

Kuat geser nominal oleh tulangan geser dihitung dengan persamaan

$$V_s = \frac{A_v f_y d_p}{s} \dots\dots\dots (14)$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser, d_p adalah jarak serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang, s adalah jarak tulangan.

Persamaan umum untuk menentukan nilai *load rating (rating factor)* pada setiap komponen struktur jembatan yang terkait dengan salah satu gaya dalam tertentu menurut 03/SE/M/2016 adalah

$$RF = \frac{C - (\gamma_{DC})(DC) - (\gamma_{DW})(DW) \pm (\gamma_P)(P)}{(\gamma_{LL})(LL + IM)} \dots\dots (15)$$

dengan C adalah kapasitas tampang jembatan, DC adalah pengaruh beban mati akibat komponen struktur dan pelengkap, DW adalah pengaruh beban mati akibat komponen tambahan, LL adalah pengaruh beban hidup.

Untuk kondisi batas kekuatan (*strength limit states*) dengan persamaan berikut.

$$C = \phi_c \phi_s \phi R_n \dots\dots\dots (16)$$

Kondisi batas

a. Faktor beban

Faktor beban untuk jembatan dengan struktur beton bertulang ditunjukkan pada Tabel 5

b. Faktor kondisi

adalah faktor reduksi kapasitas tampang struktur akibat adanya kerusakan pada struktur atau kerusakan yang diperkirakan terjadi pada struktur yang ditinjau. Nilainya ditunjukkan dalam Tabel 6.

c. Faktor sistem

Merupakan faktor pengali pada tahanan nominal struktur yang merepresentasikan tingkat redundansi sistem struktur jembatan. Nilai dari faktor sistem ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 5. Faktor beban (SE Menteri PUPR, 2016)

Beban	Notasi Faktor Beban	Nilai
Beban mati dari komponen struktural dan pelengkap jembatan	γ_{DC}	1,25
Beban mati dari lapisan permukaan dan utilitas jembatan	γ_{DW}	1,50
Beban hidup	γ_{LL}	Beban desain (inventory) = 1,80 Beban khusus (operatory) = 1,50

Tabel 6. Faktor kondisi, φ_c (SE Menteri PUPR, 2016)

Nilai kondisi bangunan atas	Deskripsi kondisi	φ_c	
		Bangunan atas	Lantai
0	Jembatan dalam keadaan baru tanpa kerusakan cukup jelas. Elemen jembatan berada dalam kondisi baik.	1,00	1,00
1	Kerusakan sangat sedikit (dapat diperbaiki dengan pemeliharaan rutin tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan)	1,00	1,00
2	Kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan di masa yang akan datang, memberikan tanda-tanda diperlukan penggantian	0,90	1,00
3	Kerusakan yang membutuhkan perhatian (kemungkinan akan menjadi serius dalam 1 bulan)	0,70	0,70
4	Kondisi kritis, kerusakan yang membutuhkan tindakan segera	0,30	0,30
5	Runtuh atau tidak berfungsi lagi	0	0

Tabel 7 Faktor sistem, φ_s (SE Menteri PUPR, 2016)

Elemen	φ_s
Lentur	0,80
Geser dan torsi	0,70
Aksial tekan dengan tulangan spiral	0,70
Aksial tekan dengan sengkang biasa	0,65
Tumpuan beton	0,70

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis penampang balok

a. *Section properties* balok prategang

Luas total balok prategang, $A = 0,78236\text{m}^2$

Letak titik berat dari bawah, $y_b = 1,0092\text{m}$

Letak titik berat dari atas, $y_a = 1,908\text{m}$

Momen inersia terhadap titik berat,

$$I_x = 0,416\text{ m}^4$$

b. *Section properties* balok komposit

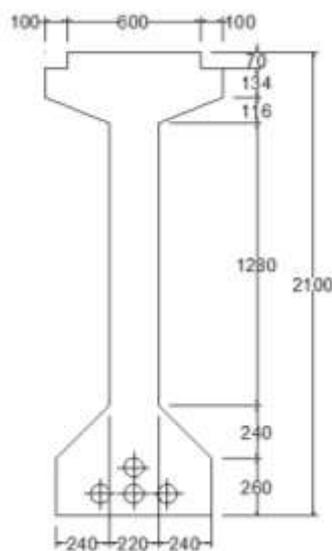
Tinggi total balok komposit, $h_c = 2,35\text{ m}$

Luas total balok komposit, $A_c = 1,1288\text{ m}^2$

Letak titik berat dari bawah, $y_{bc} = 1,382\text{ m}$

Letak titik berat dari atas, $y_{ac} = 0,967\text{ m}$

Momen inersia terhadap titik berat, $I_{xc} = 0,773\text{ m}^4$



Gambar 4 Dimensi girder

Pembebanan balok

a. Beban sendiri (DC)

Balok prategang

Berat balok, $W_{balok} = 809,9 \text{ kN}$

Beban balok, $Q_{balok} = 19,95 \text{ kN/m}$

Plat lantai

Beban plat, $Q_{plat} = 12,5 \text{ kN/m}$

Parepet

Beban parepet, $Q_{parepet} = 8,525 \text{ kN/m}$

b. Beban permukaan (DW)

Aspal+overlay

Beban aspal, $Q_{aspal} = 1,1 \text{ kN/m}$

Genangan

Beban genangan, $Q_{genangan} = 0,5 \text{ kN/m}$

c. Beban lajur (TD)

Beban merata, $Q_{TD} = 15,65 \text{ kN/m}$

Beban terpusat $P_{TD} = 137,2 \text{ kN}$

d. Gaya rem (TB)

Gaya rem, $T_{TB} = 63,28 \text{ kN}$

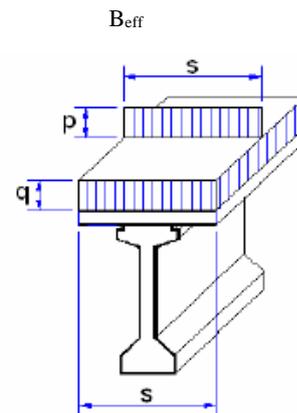
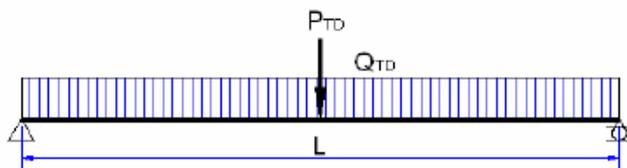
Lengan beban dari titik tangkap gaya ke titik berat gelagar, $y = 2,82 \text{ m}$

e. Beban lalu lintas (TB)

Beban hidup kendaraan yang diaplikasikan pada model struktur jembatan adalah sebagai berikut:

a. Beban standar AASHTO (*design truck, design tandem, dan design lane*);

b. Beban standar SNI



Gambar 5. Beban lajur

Hasil perhitungan pembebanan yang diaplikasikan pada model SAP2000 ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Hitungan SAP pada struktur frame akibat beban kendaraan standar AASHTO

Load Case	Momen Lentur (kNm)	Gaya Geser (kN)
DC	8.571,202	185,911
DW	666,927	14,163
AP 1	910,7678	117,855
AP 2	649,5077	107,563
AP 3	538,6347	107,088
AP 4	495,114	107,036
AP 5	495,114	107,036
AP 6	538,6347	107,088
AP 7	649,5077	107,563

AP 8	910,7678	117,855
------	----------	---------

Momen lentur maksimal = 910,76 kNm

Gaya geser maksimal = 117,85 kN.

Tabel 9. Hitungan SAP pada struktur plat akibat beban kendaraan standar AASHTO

Load Case	Momen Lentur (kNm)	Gaya Geser (kN)
DC	113,7629	145,56
DW	8,7246	13,07
AP 1	16,0088	18,39
AP 2	8,0148	4,83
AP 3	7,0581	4,67
AP 4	6,9898	4,63
AP 5	6,9898	6,1
AP 6	7,0581	6,1

AP 7	8,0148	8,45
AP 8	16,0088	18,39

Momen lentur maksimal = 16,00 kNm

Gaya geser maksimal = 18,39 kN

Gaya prategang

a. Kondisi awal (saat transfer)

Diambil gaya prategang awal dari lapangan, $P_t = 10.302,385$ kN untuk bentang tepi, dan $P_t = 9.730,03$ kN untuk bentang tengah.

Tabel 10. Hitungan SAP pada struktur *frame* akibat beban kendaraan standar SNI

Load Case	Momen Lentur (kNm)	Gaya Geser (kN)
DC	8.571,202	185,911
DW	666,927	14,163
Kombinasi 1	2.082,379	36,368
Kombinasi 2	1.064,363	26,565
Kombinasi 3	1.969,571	81,331
Kombinasi 4	2.262,378	98,249
Kombinasi 5	1.762,069	155,129

Momen lentur maksimal = 2.262,37 kNm

Gaya geser maksimal = 155,12 kN

Tabel 11 Hitungan SAP pada struktur plat akibat beban kendaraan standar SNI

Load Case	Momen Lentur (kNm)	Gaya Geser (kN)
DC	113,7629	145,56
DW	8,7246	13,07
Kombinasi 1	20,2456	16,76
Kombinasi 2	13,407	10,99
Kombinasi 3	15,6587	13,34
Kombinasi 4	25,9722	20,65
Kombinasi 5	23,6623	18,3

Momen lentur maksimal = 25,97 kNm

Gaya geser maksimal = 20,65 kN

b. Keadaan akhir

Prosentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *jacking force*), $P_o = 89,86$ %.

Gaya prategang akibat *jacking* (P_j) = 12.120,45 kN untuk bentang tepi, dan 11.447,09 kN untuk bentang tengah.

Kehilangan gaya prategang (*loss of prestress/LoP*) ditunjukkan pada tabel 12.

Tabel 12 Besar *LoP* pada setiap obyek

Loss of prestress		%	
		Bentang tepi	Bentang tengah
LoP akibat angkur	A	1,81	1,81
LoP akibat perpendekan elastis beton	ES	6,73	6,28
LoP akibat rangkai	CR	20,85	19,41
LoP akibat susut	SH	1,94	1,94
LoP akibat relaksasi baja	R	0,52	0,58
LoP akibat gesekan	F	6,44	6,44
Total		38,32	36,49

Perhitungan kapasitas nominal

a. Kapasitas momen nominal plat

$$M_n = 0,85 f'_c ab \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$M_n = 330,829 \text{ kNm}$$

b. Kapasitas geser nominal plat

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d$$

$$V_n = V_c = 387,057 \text{ kN}$$

c. Kapasitas momen nominal balok

$$M_n = 0,85 (B_{eff} a) f'_c y$$

$M_n = 26.860$ kNm untuk bentang tepi, dan 25.842 kNm untuk bentang tengah

d. Kapasitas geser nominal balok

Kuat geser oleh beton

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}}$$

$V_{ci} = 209,93$ kN untuk bentang tepi, dan $210,22$ kN untuk bentang tengah
Kuat geser oleh tulangan geser

$$V_s = \frac{A_v f_y d_p}{s}$$

$V_s = 2.113,95$ kN

Sehingga $V_n = 2.323,88$ kN untuk bentang tepi dan $V_n = 2.324,7$ kN untuk bentang tengah.

Nilai rating factor

Faktor beban

$\gamma_{DC} = 1,25$; $\gamma_{DW} = 1,50$; $\gamma_{LLi} = 1,75$ untuk inventory, dan $\gamma_{LLo} = 1,35$ untuk operator

Kapasitas tampang komponen jembatan (C)

Faktor kondisi, $\phi_c = 1,00$ (kondisi baik)

Faktor sistem, $\phi_s = 0,80$ untuk lentur dan $0,7$ untuk geser

Faktor tahanan LRFD, $\phi = 1,0$

Hasil hitungan *RF* ditunjukkan pada tabel 13, 14, 15, 16, 17, dan 18.

Tabel 13. Hitungan *RF* pada bentang tepi akibat beban kendaraan standar AASHTO

Respon struktur	Kapasitas tahanan	Besar respon struktur				Rating factor	
		M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	Inventory	Operating	
Momen lentur	M_n (kNm)	M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	5,962	7,154	
	26.859,66	8.571,20	666,93	910,76			
Gaya geser	V_n (kN)	V_{DC} (kNm)	V_{DW} (kNm)	V_{LL_IM} (kNm)	6,473	7,767	
	2.323,88	185,91	14,163	117,85			

Tabel 14. Hitungan *RF* pada bentang tengah akibat beban kendaraan standar AASHTO

Respon struktur	Kapasitas tahanan	Besar respon struktur				Rating factor	
		M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	Inventory	Operating	
Momen lentur	M_n (kNm)	M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	5,465	6,558	
	25.841,51	8.571,20	666,93	910,76			
Gaya geser	V_n (kN)	V_{DC} (kNm)	V_{DW} (kNm)	V_{LL_IM} (kNm)	6,474	7,768	
	2.324,16	185,91	14,163	117,85			

Tabel 15. Hitungan *RF* pada plat akibat beban kendaraan standar AASHTO

Respon struktur	Kapasitas tahanan	Besar respon struktur				Rating factor	
		M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	Inventory	Operating	
Momen lentur	M_n (kNm)	M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	3,796	4,555	
	330,83	113,762	8,725	16,008			
Gaya geser	V_n (kN)	V_{DC} (kNm)	V_{DW} (kNm)	V_{LL_IM} (kNm)	2,096	2,515	
	387,06	145,56	13,07	18,39			

Tabel 16. Hitungan *RF* pada bentang tepi akibat beban kendaraan standar SNI

Respon struktur	Kapasitas tahanan	Besar respon struktur				Rating factor	
		M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	Inventory	Operating	
Momen lentur	M_n (kNm)	M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	2,400	2,880	
	26.859,66	8.571,20	666,93	2.262,38			
Gaya geser	V_n (kN)	V_{DC} (kNm)	V_{DW} (kNm)	V_{LL_IM} (kNm)	4,917	5,901	
	2.323,88	185,91	14,163	155,13			

Tabel 17. Hitungan *RF* pada bentang tengah akibat beban kendaraan standar SNI

Respon struktur	Kapasitas tahanan	Besar respon struktur				Rating factor	
		M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	Inventory	Operating	
Momen lentur	M_n (kNm)	M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	2,200	2,640	
	25.841,51	8.571,20	666,93	2.262,38			
Gaya geser	V_n (kN)	V_{DC} (kNm)	V_{DW} (kNm)	V_{LL_IM} (kNm)	4,918	5,902	
	2.324,16	185,91	14,163	155,13			

Tabel 18. Hitungan *RF* pada plat akibat beban kendaraan standar SNI

Respon struktur	Kapasitas tahanan	Besar respon struktur				Rating factor	
		M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	Inventory	Operating	
Momen lentur	M_n (kNm)	M_{DC} (kNm)	M_{DW} (kNm)	M_{LL_IM} (kNm)	2,340	2,807	
	330,83	113,762	8,725	25,972			

Gaya geser	V_n (kN)	V_{DC} (kNm)	V_{DW} (kNm)	$V_{LL,IM}$ (kNm)	1,867	2,240
	387,06	145,56	13,07	20,65		

SIMPULAN

Balok gelagar bentang tepi jembatan Cinapel segmen P1-P5 jalur arah Dawuan memiliki kapasitas $M_n = 26.859,663$ kNm dan $V_n = 2.321,532$ kN yang lebih besar daripada momen lentur dan gaya geser yang terjadi akibat pembebanan yaitu sebesar 8.571,20 kNm dan 185,91 kN; Balok gelagar bentang tengah jembatan Cinapel segmen P1-P5 jalur arah Dawuan memiliki kapasitas $M_n = 25.841,73$ kNm dan $V_n = 2.321,924$ kN yang lebih besar daripada momen lentur dan gaya geser yang terjadi akibat pembebanan yaitu sebesar 8.571,20 kNm dan 185,91 kN; Plat lantai jembatan Cinapel segmen P1-P5 jalur arah Dawuan memiliki kapasitas sebagai berikut: $M_n = 330,829$ kNm dan $V_n = 387,057$ kN yang lebih besar daripada momen lentur dan gaya geser yang terjadi akibat pembebanan yaitu sebesar 330,829 kNm dan 387,057 kN; Nilai RF yang dihitung dengan menggunakan beban kendaraan standar AASHTO lebih besar nilainya dibandingkan jika dihitung menggunakan beban kendaraan standar SNI, hal ini karena beban kendaraan standar AASHTO lebih kecil dibandingkan dengan beban kendaraan standar SNI; Berdasarkan hitungan RF pada elemen gelagar dan plat yang ditinjau, diperoleh nilai RF untuk momen lentur adalah bervariasi dari 1,92 s/d 6,65. Sedangkan RF untuk gaya geser adalah bervariasi dari 2,48 s/d 8,63. Artinya adalah struktur jembatan Cinapel bentang P1-P5 arah Dawuan layak dan mampu dalam melayani lalu lintas yang melewati jembatan.

DAFTAR RUJUKAN

- AASHTO, 2012. *AASHTO LRFD Bridge Design Specification. 6th ed.* Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aldo, A., & Pratama, G. N. I. (2019). EVALUASI KETAHANAN GEMPA RUMAH SEDERHANA DI KELURAHAN RUM, KOTA TIDORE KEPULAUAN. *INformasi dan Ekspose hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 15(2), 1-9.
- Andreas Triwiyono, 2010, *Bahan Kuliah Struktur Beton Prategang*, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, *RSNI T-12-2004: Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*, ICS BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1729-2002: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*, ICS BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1725:2016: Pembebanan untuk Jembatan*, ICS BSN.
- Dion Alkilla Asmaraman, 2017, *Analisis Ulang Struktur Atas Jembatan Gelagar I Beton Prategang berdasarkan Standar Peraturan Terbaru (Studi Kasus Jembatan Srandakan 2, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta)*, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Henricus Priyosulistyo, 2011, *Struktur Beton Bertulang I*, Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.
- Iman Satyarno, *Analisis Struktur Jembatan*, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016, *Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting*, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung.

Muhammad Fauzi Darmawan, 2017, *Evaluasi Kelayakan Struktur Atas Jembatan Tipe Concrete Slab dengan Metode Load Rating Factor mengacu The AASHTO's Manual for Bridge Evaluation (MBE) 2nd Edition 2013 (Studi kasus: Jembatan Kali Pepe Segmen 3, Ruas Jalan Bebas Hambatan Solo-Kertosono, Jalur Arah Sragen)*, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Nawy, E. G., 2001, *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.

Rooseno, 1950, *Pemberian Bentuk dan Penggunaan Material yang Minimum dalam Beton Bertulang*, Pidato Pengukuhan Guru Besar Universitas Indonesia. Jakarta.