

PERENCANAAN ULANG JEMBATAN RANGKA BAJA PADA STRUKTUR ATAS JEMBATAN BENTANG 48 M (EVALUASI STRUKTUR KOMPOSIT)

Adelia Septiani Putri¹, Yogie Risdianto²
S1 Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya
E-mail: [*adeliaseptiani.22014@mhs.unesa.ac.id](mailto:adeliaseptiani.22014@mhs.unesa.ac.id)¹

ABSTRAK

Jembatan di Lamongan dengan kondisi eksisting menggunakan beton prategang, sehingga struktur lebih berat dan rentan terhadap retakan pada beton. Jembatan rangka baja banyak digunakan sebagai alternatif jembatan di Indonesia, karena jembatan memiliki struktur dengan kekuatan tinggi serta kemudahan fabrikasi. Pada penelitian ini bertujuan mengevaluasi sistem komposit antara pelat lantai kendaraan dan gelagar melintang pada jembatan rangka baja sebagai alternatif jembatan bentang 48 m di Lamongan. Hasil penelitiannya yaitu digunakan pelat lantai kendaraan dengan tebal 250 mm sistem bondek dengan tulangan utama D16-250 mm dan tulangan bagi D13-350 mm. Gelagar melintang menggunakan profil WF 900x466x30x54, serta penghubung geser dipasang dengan diameter 25 mm 126 buah untuk 1 bentang jarak 167 mm. Seluruh elemen dinyatakan aman dan memenuhi persyaratan yang berlaku.

Kata kunci

Komposit, Jembatan Rangka Baja, Pelat Lantai Kendaraan, Gelagar Melintang, Penghubung Geser

ABSTRACT

The bridge in Lamongan with existing conditions uses pre-stressed concrete, so that the structure is heavier and prone to cracks in concrete. Steel frame bridges are widely used as an alternative bridge in Indonesia, because the bridge has a structure with high strength and ease of fabrication. This study aims to evaluate a composite system between vehicle floor plates and transverse girders on steel frame bridges as an alternative to 48 m span bridges in Lamongan. The results of the research are the use of vehicle floor plates with a thickness of 250 mm bondek system with a main reinforcement of D16-350 mm and reinforcement for D13-250 mm. The transverse girder uses a WF 900x466x30x54 profile, and a sliding connector is installed with a diameter of 25 mm 126 pieces for 1 span of 167 mm spacing. All elements are declared safe and meet applicable requirements.

Keywords

Composite, Steel Frame Bridge, Vehicle Floor Plate, Cross Beam, Shear Connector

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan dapat mendukung perkembangan sistem transportasi pada suatu wilayah. Ketersediaan infrastruktur yang baik dan berkualitas dapat meningkatkan secara langsung kelancaran mobilitas barang dan jasa serta mendorong perekonomian daerah. Jembatan merupakan suatu konstruksi yang memungkinkan menggabungkan rute transportasi yang melintasi aliran sungai, perlintasan kereta api dan lain sebagainya. Dengan adanya jembatan, wilayah yang terpisah secara geografis dapat memiliki akses yang lebih mudah dan cepat serta meningkatkan konektivitas antar lokasi (Masgode *et al.*, 2024). Jembatan berfungsi sebagai jalur transportasi untuk kendaraan bermotor, pejalan kaki maupun kereta api. Terdapat beberapa tipe jembatan seperti jembatan beton, jembatan beton prategang, hingga jembatan baja.

Jembatan rangka baja sering menjadi pilihan karena material baja yang dikenal karena kekuatan, ketahanan hingga fleksibilitasnya. Jembatan rangka memiliki beberapa

kelebihan seperti memiliki mutu bahan yang seragam karena buatan pabrik sehingga kekuatan yang dihasilkan juga seragam. Jembatan rangka juga memiliki kuat tarik dan kuat tekan yang tinggi, serta pemasangan jembatan yang relatif cepat sehingga dapat memperpendek waktu konstruksi dan menghemat tenaga kerja karena material baja dibuat melalui fabrikasi lalu di lapangan hanya membutuhkan pekerjaan pemasangan (Rochman, 2024).

Jembatan dengan bentang eksisting 45,8 meter menggunakan struktur beton prategang, dimana dengan menggunakan struktur tersebut rentan terhadap retak pada beton akibat tegangan tarik yang timbul pada kondisi pembebanan ekstrem. Sehingga dilakukan studi alternatif menggunakan jembatan baja dengan bentang 48 m yang memiliki keunggulan dalam hal kekuatan material, kemudahan fabrikasi, dan kecepatan konstruksi (Adryana and Suprpto, 2019). Dalam perencanaan struktur atas jembatan rangka baja, elemen struktur sekunder yang terdiri dari pelat lantai kendaraan, gelagar memanjang, dan gelagar melintang memegang peranan penting dalam mendistribusikan beban lalu lintas ke rangka utama secara efektif dan efisien (Hermawan and Purwanto, 2022).

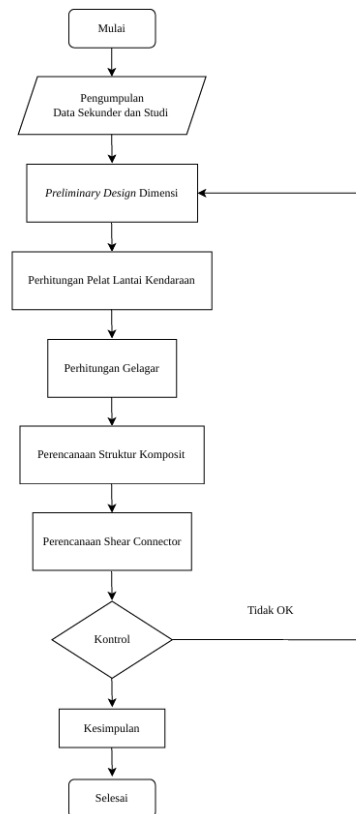
Pada penelitian ini berfokus pada evaluasi struktur komposit antara pelat beton dengan profil baja. Sistem komposit terbukti dapat meningkatkan kapasitas struktur secara signifikan dengan cara memanfaatkan kekuatan tekan beton dan kekuatan tarik baja secara bersamaan dalam satu penampang terintegrasi. Berdasarkan hasil riset yang telah dilakukan sebelumnya, belum dilakukan penelitian yang mengkaji tentang struktur komposit pada lokasi tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem komposit sebagai dasar perencanaan struktur atas jembatan rangka baja alternatif di Lamongan. Dengan adanya penelitian ini bertujuan mengetahui perencanaan struktur komposit pada pelat lantai kendaraan dan gelagar melintang sesuai dan memenuhi persyaratan yang berlaku, serta menambah pemahaman terkait sistem komposit yang bekerja antara pelat lantai kendaraan dengan profil baja.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini diawali dengan studi literatur yang berguna untuk mengumpulkan literatur pada penelitian-penelitian terdahulu sebelum menentukan gap penelitian. Pemetaan gap penelitian menjadi dasar dalam menentukan metodologi yang tepat serta merumuskan arah pengembangan riset terbaru. Dimana pada penelitian ini yaitu merencanakan ulang jembatan beton menggunakan jembatan baja yang berfokus pada sistem komposit antara pelat lantai beton dengan profil baja.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Metode kuantitatif menekankan analisisnya pada data-data numerik (angka). Data numerik digunakan pada seluruh tahapan penelitian, mulai dari pengumpulan data, analisis data, hingga penyajian hasil penelitian. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data sekunder, data sekunder merupakan data yang didapatkan melalui media perantara atau secara tidak langsung. Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini yaitu data gambar desain awal jembatan.

Dalam perencanaan ulang jembatan diawali dengan pengambilan data dari data sekunder berupa gambar desain jembatan, untuk mengetahui dimensi mulai dari panjang bentang dan lebar jembatan yang akan menjadi acuan pada perencanaan ulang jembatan. Kemudian dari data yang didapatkan tersebut dilakukan tahapan analisis yang meliputi perhitungan pembebanan, penentuan dimensi serta penulangan pelat lantai kendaraan, penentuan dimensi gelagar hingga analisis kebutuhan *shear connector*.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.1 Struktur Komposit

Struktur baja komposit merupakan suatu struktur yang terdiri dari dua atau lebih material yang memiliki sifat berbeda kemudian membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Komposit material baja dan beton didasarkan pada sifat beton yang menguntungkan saat menerima beban tekan, namun sifat merugikan ketika menerima beban tarik. Sedangkan sifat baja yang menguntungkan ketika menerima beban tarik maupun tekan, namun sifat merugikan risiko tekuk ketika menerima beban (Giatmajaya dkk, 2021). Pada struktur jembatan rangka baja material beton digunakan pada pelat lantai kendaraan dengan menggunakan bondek (*steel deck*) sebagai struktur sekunder, sedangkan material baja digunakan pada struktur atas jembatan.

Gabungan dari kedua struktur tersebut dapat saling menahan beban secara bersama-sama dengan bantuan alat penghubung geser (*shear connector*). Alat penghubung geser berfungsi untuk menghasilkan interaksi yang diperlukan serta mengurangi slip antara balok baja dan pelat beton.

2.2 Kuat Lentur

Kuat lentur positif merupakan dalam daerah momen positif, penampang beton adalah tekan. Menurut SNI 1729-2020 pasal I3 kondisi tersebut harus mencapai keseimbangan komposit jika kondisi distribusi tegangan plastis memenuhi syarat yaitu sebagai berikut:

$$C_c = 0,85 f'_c B_e a \quad (1)$$

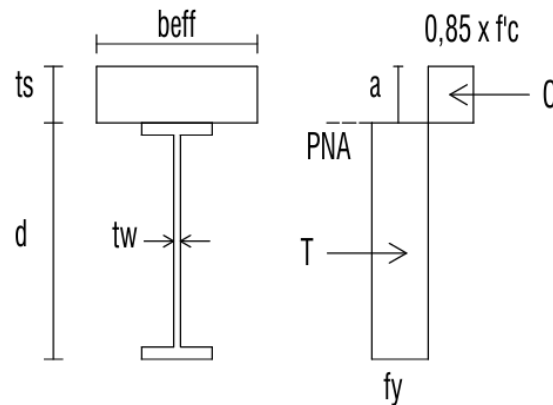
$$C_s = T_{\text{total}} = A_s f_y \quad (2)$$

$$C_q = \sum Q_n \quad (3)$$

Keterangan:

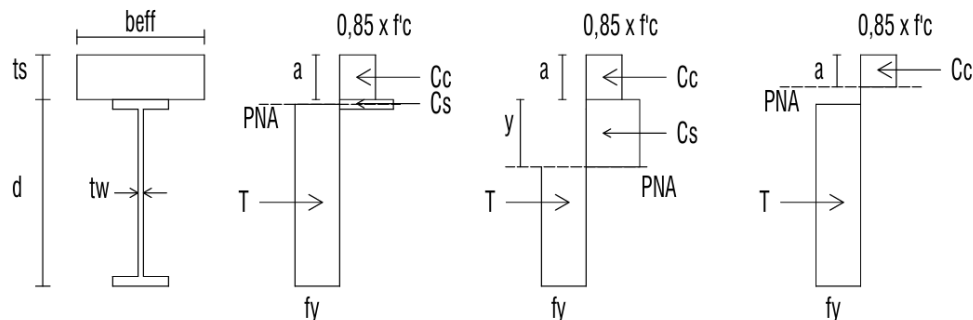
- C adalah gaya tekan total
- T adalah gaya tarik total
- f'_c adalah mutu beton
- $a = t$ adalah tinggi tegangan pelat beton
- A_s adalah luas penampang balok
- f_y adalah tegangan leleh baja
- B_e adalah lebar efektif
- C_q adalah kapasitas penghubung geser
- Q_n adalah kekuatan nominal penghubung geser

Pada struktur komposit diharapkan memenuhi kondisi $C = T$ yaitu mencapai kesetimbangan antara gaya tekan sama dengan gaya tarik sehingga struktur komposit dapat bekerja secara maksimal untuk menerima beban. Dikarenakan *Plastic Neutral Axis* (PNA - sumbu netral plastis) terletak di serat atas dari sayap atas balok. Pada kondisi komposit penuh, beton memikul seluruh gaya tekan dan baja memikul seluruh gaya tarik, sehingga pada masing-masing material bekerja sepenuhnya sesuai dengan keunggulannya.



Gambar 2. Letak PNA di serat atas dari sayap atas baja profil

Namun terdapat 3 kemungkinan ditinjau dari kondisi letak sumbu netral plastisnya. Plastic Neutral Axis (PNA - sumbu netral plastis) berada pada pelat beton, pada sayap baja maupun badan baja. Jika kondisi PNA berada pada sayap baja dan badan baja maka akan terjadi nilai $C_c < C_s$ yaitu semua gaya yang terdapat pada beton merupakan gaya tekan (C_c), tetapi gaya tersebut tidak mencapai keseimbangan gaya tarik total (T) yang dapat ditahan C , sehingga gaya tekan turun hingga ke sayap profil baja. Sedangkan jika PNA berada pada pelat beton, maka akan terjadi nilai yaitu beton yang berada di bawah PNA (sumbu netral plastis) tidak berfungsi karena bekerja sebagai gaya tarik.



Gambar 3. Distribusi tegangan plastis pada penampang komposit

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Perencanaan

Panjang jembatan = 48 m

Lebar jembatan	= 21 m
Tebal aspal + overlay	= 0,1 m
Tebal pelat beton	= 0,25 m
Jarak antar antar gelagar melintang	= 4 m
Jarak gelagar memanjang	= 1,4 m
Mutu tulangan	= BJTS 420
Tegangan leleh (fy)	= 420 MPa
Mutu baja	= BJ 55
Tegangan leleh baja (fy)	= 410 MPa
Tegangan putus baja (fu)	= 550 MPa
Berat jenis (SNI 1725-2016)	
Berat beton (Wc)	= 22 + (0,022 x 35)
	= 22,77 kN/m ³
Berat aspal (Wa)	= 22 kN/m ³
Berat air (Ww)	= 9,8 kN/m ³

3.2 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Berdasarkan hasil l_y/l_x didapatkan nilai $2,857 > 2$ sehingga pelat yang digunakan merupakan pelat 1 arah. Pelat lantai berfungsi sebagai lantai kendaraan yang memiliki tebal minimum (ts) dengan ketentuan berdasarkan RSNI T-12-2004 Pasal 5.5.2. Sehingga direncanakan tebal pelat lantai kendaraan yaitu sebesar 250 mm dengan tebal aspal 50 mm berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 7.3.1.

Tabel 1. Rekapitulasi Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

	Pembebanan	Q (kN/m)	Faktor beban ultimit	Q _u (kN/m)
MS	Pelat lantai	5,69	1,3	7,4
	Trotoar	11,39	1,3	14,8
MA	Aspal	2,2	2	4,4
	Air hujan	0,49	2	0,98
TP	Pejalan kaki	12,5	1,4	17,5
Total				45,08
	Pembebanan	P (kN)	Faktor beban ultimit	P _u (kN)
TT	Truk	251,06	2	502,13

Penulangan pelat

Tulangan utama

$$\begin{aligned} M_u &= M \text{ beban mati} + M \text{ beban hidup} \\ &= 8,836 + 102,415 \\ &= 111,251 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $p_{min} < p_{perlu} < p_{maks}$ yaitu $0,003 < 0,0004 < 0,025$ maka digunakan p_{min} , kemudian dicari luas tulangan perlu yaitu $A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,003 \times 21000 \times 199 = 13930 \text{ mm}^2$, dengan persyaratan $A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pasang}$ maka didapatkan hasil seperti tabel berikut.

Parameter	Tulangan Utama	Tulangan Bagi	Satuan
Diameter	D16	D13	mm
Jarak	250	350	mm
As perlu	13930	6965	mm ²
As pasang	16880,64	7959,9	mm ²

Kontrol	Memenuhi	Memenuhi	
---------	----------	----------	--

3.3 Perencanaan Gelagar Melintang

Detail profil untuk gelagar melintang didapatkan dari brosur Continental Steel. Pembebanan pada gelagar melintang dengan Q berdasarkan SNI 1725-2016 yaitu sebagai berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi beban mati sebelum komposit

	Pembebanan	Q (kN/m)	Faktor beban ultimit	Q _u (kN/m)
MS	Gelagar melintang	4,66	1,1	5,13
	Gelagar memanjang	2,52	1,1	2,77
	Pelat lantai	22,77	1,3	29,6
Total				37,5

$$MQ1 = 1/8 \times QDL \times B2 = 1/8 \times 37,5 \times 212 = 2067,132 \text{ kN.m}$$

Tabel 3. Rekapitulasi beban mati setelah komposit

	Pembebanan	Q (kN/m)	Faktor beban ultimit	Q _u (kN/m)
MS	Beban aspal	8,8	2	17,6
	Beban trotoar	18,22	1,3	23,68
Total				41,28

$$\begin{aligned} MQ2 &= VA \times 10,5 - (q_{\text{trotoar}} \times l_{\text{trotoar}}) \times 9,25 - (q_{\text{aspal}} \times l_{\text{aspal}}) \times 8 \times 5 \\ &= 200,002 \times 10,5 - (23,681 \times 2,5) \times 9,25 - (17,6 \times 16) \times 8 \times 5 \\ &= 700,398 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Tabel 4. Rekapitulasi beban hidup BTR & BGT

	Pembebanan	P (kN/m)	Faktor beban ultimit	P _u (kN/m)
LL	BTR	29,25	2	58,5
	BGT	68,6	2	137,2
Total				195,7

$$\begin{aligned} M_{\text{maks}} &= (VA \times 10,5) - Tu \times (7,245 + 0,755) \\ &= (2008,5 \times 10,5) - 502,13 \times (7,245 + 0,755) \\ &= 17072,25 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MU &= MQ1 + MQ2 + M_{\text{maks}} \\ &= 2067,132 + 700,398 + 17072,25 \\ &= 19839,78 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol penampang

Kontrol penampang berdasarkan SNI 1729-2020 dengan penjabaran yaitu sebagai berikut.

- Tekuk lokal sayap
 $\lambda < \lambda_p$
 $2,889 < 8,396$ (termasuk penampang kompak)
- Tekuk lokal badan
 $\lambda < \lambda_p$
 $27,667 < 83,045$ (termasuk penampang kompak)
- Kontrol momen terhadap tekuk lokal
 $M_n = M_p = f_y \cdot Z_x$
 $= 410000 \times 0,0204$
 $= 83640 \text{ kN.m}$
 $\phi M_n > M_u$
 $0,9 \times 83640 > 2067,132$

- 75276 kN.m > 2067,132 kN.m (OK)
- Kontrol tekuk lateral (*lateral buckling*)
 $LP < LB < LR$
 $2,647 \text{ m} < 21 \text{ m} < 61,213 \text{ m}$ (termasuk bentang menengah)
 $M_n = 192917,703 \text{ kN.m}$
 didapatkan $M_n \geq M_P$ sehingga digunakan nilai $M_n = M_P = 83640 \text{ kN.m}$ dengan kontrol momen sebagai berikut.
 $\phi M_n > M_u$
 $0,9 \cdot 83640 > 2067,132$
 $75276 \text{ kN.m} > 19839,78 \text{ kN.m}$
 - Kontrol pengaruh geser
 $V_u = V_D \text{ maks} + V_L = 392,74 + 1565,6 = 1959,34 \text{ kN}$
 Berdasarkan LRFD
 $V_n = 0,6 \times f_y \times A_w$
 $= 0,6 \times 410000 \times (0,938 \times 0,03)$
 $= 6922,44 \text{ kN}$
 Kontrol
 $\phi V_n > V_u$
 $0,9 \times 6922,44 > 1959,34$
 $6230,2 \text{ kN} > 1959,34 \text{ kN}$ (OK)
 - Kontrol lendutan
 Syarat lendutan maksimal balok berdasarkan RSNI T-03-2005 yaitu $L/800 = 2100/800 = 2,625 \text{ cm}$.
 Lendutan akibat beban lajur

$$\Delta = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{LL} \times L^4}{E \times I_x}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{(29,25+68,6) \times 2100^4}{20000000 \times 815000}$$

$$= 1,52 \text{ cm}$$
 Lendutan akibat beban truk

$$\Delta = \frac{T \times L^3}{48 \times E \times I_x}$$

$$= \frac{25106,25 \times 2100^3}{48 \times 20000000 \times 815000}$$

$$= 0,297 \text{ cm}$$
 Diambil nilai terbesar yaitu 1,52 cm sehingga $2,625 \text{ cm} > 1,52 \text{ cm}$. Maka profil gelagar melintang dikatakan kuat menahan pengaruh lendutan.

3.4 Perencanaan Struktur Komposit

Lebar efektif pelat beton diambil nilai terkecil antara $\frac{1}{4}$ panjang balok sebesar 5,25 dan jarak antar gelagar melintang sebesar 4 m, digunakan lebar efektif (B_e) sebesar 4 m. Kemudian dilakukan perhitungan garis netral berdasarkan persamaan berikut.

$$T = A_s \times f_y = 59400 \times 410 = 24354000 \text{ N}$$

$$C_s = A_s \times f_y = 59400 \times 410 = 24354000 \text{ N}$$

$$A_c = B_e \times t_s = 4 \times 0,25 = 1 \text{ m}^2$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c = 0,85 \cdot 35 \cdot 1000000 = 29750000 \text{ N}$$

Maka digunakan nilai C terkecil yaitu 24354000 N

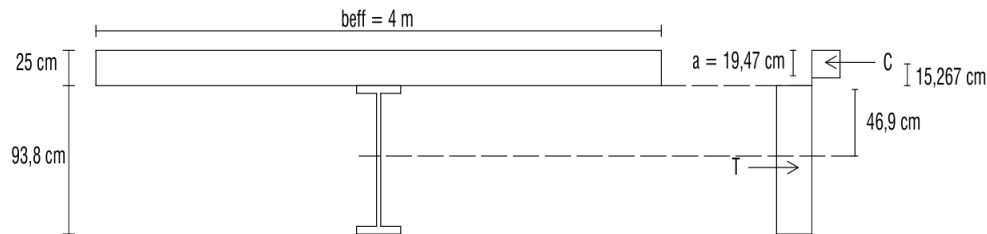
$$a = \frac{C}{0,85 \times f_c \times B_e}$$

$$= \frac{24354000}{0,85 \times 35 \times 4000}$$

$$= 194,655 \text{ mm} < 199 \text{ mm}$$

Karena $a < t_c$ maka sumbu netral plastis jatuh pada pelat beton

Kapasitas momen



Gambar 4. Distribusi gaya pada penampang

$$M_n = C \times (d_1 + d_2) + T \times (d_3 + d_2)$$

$$= 24354000 \times (15,267 + 0) + 24354000 \times (46,9 + 0)$$

$$= 1514020644 \text{ kg.cm} = 151401,064 \text{ kN.m}$$

Kontrol

$$\phi M_n > M_u$$

$$0,9 \times 151401,064 > 19839,78$$

$$136261,858 \text{ kN.m} > 19839,78 \text{ kN.m (OK)}$$

Kontrol terhadap geser

$$\phi V_n = 0,9 \times 0,6 \times f_y \times h \times t_w$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 410 \times 770 \times 30$$

$$= 5114340 \text{ N} = 5114,34 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$5114,34 \text{ kN} > 1959,34 \text{ kN (OK)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas penampang telah memenuhi kekuatan lentur dan geser yang terjadi sesudah penampang komposit.

3.5 Perencanaan Shear Connector

Data perencanaan

$$\text{Diameter stud} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi (L)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar kepala stud (A)} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang kepala stud (H)} = 41 \text{ mm}$$

Perhitungan aksi komposit penuh sebagai berikut

$$C = V_h$$

$$= 0,85 \times f'_c \times a \times B_e$$

$$= A_s \times f_y$$

$$= 59400 \times 410$$

$$= 24354000 \text{ N}$$

$$A_{sc} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 490,625 \text{ mm}^2 \text{ (satu buah tiap penampang)}$$

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 28519,029 \text{ MPa}$$

Kekuatan geser satu buah stud

$$Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times \sqrt{f'_c} \times E_c$$

$$= 0,5 \times 490,625 \times \sqrt{35} \times 28519,029$$

$$= 245087,449 \text{ N}$$

$$A_{sc} \times f_u = 490,625 \times 550 = 269843,75 \text{ N}$$

Kontrol

$$A_{sc} \times f_u > Q_n$$

$$269843,75 \text{ N} > 245087,449 \text{ N (OK)}$$

Jumlah stud yang dibutuhkan

$$N = V_h / Q_n \\ = 24354000 / 245087,449 = 99,369 = 100 \text{ buah}$$

Maka dibutuhkan 200 buah pada bentang agar menghasilkan aksi komposit penuh. Jika dipasang dengan jarak setiap gelombang yaitu 167 mm maka dipasang sebanyak 126 buah atau 63 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang.

$$\text{Jarak shear connector} = L / 2N = 21000 / 2 (63) = 166,667 \text{ mm} \approx 167 \text{ mm}$$

Keseimbangan gaya yang terjadi

$$\begin{aligned} \sum Q_n &= 63 \times 245087,449 \\ &= 15440509,28 \text{ N} < 24354000 \text{ N} \end{aligned}$$

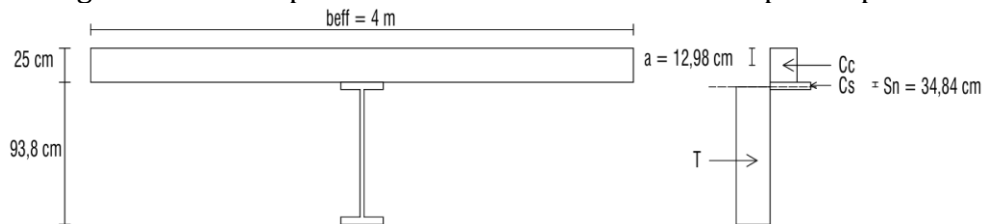
(terdapat bagian profil baja yang tertekan)

$$\begin{aligned} \sum Q_n + C_f &= T_{\text{maks}} - C_f \\ 15440509,28 + C_f &= 24354000 - C_f \\ 2 \times C_f &= 24354000 - 15440509,28 \\ C_f &= 4456745,359 \text{ N} \end{aligned}$$

Letak sumbu netral plastis dihitung dari sebelah atas flens tekan

$$\begin{aligned} S_n &= C_f / (b_f \times f_y) \\ &= 4456745,359 / (312 \times 410) = 34,84 \text{ mm} < t_f = 54 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa sumbu netral plastis pada flens tekan.



Gambar 5. Distribusi gaya pada penampang penghubung geser

Letak garis kerja (Ts) diukur dari tepi bawah flens baja

Tabel 5. Letak garis kerja (Ts)

Keterangan	Luas, A (cm ²)	Lengan, y (cm)	A x y (cm ³)
Profil WF	594	46,9	27858,6
Flens	-108,701	92,842	-10092,03
Total	485,299		17766,571

Momen internal terhadap garis kerja Ts

$$M_n = 14315374780,793 \text{ Nmm}$$

Kontrol

$$\phi M_n > M_u$$

$$0,85 \times 14315374780,793 > 19839779,875$$

$$12168068564 \text{ Nmm} > 19839779,875 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol lendutan

Sebelum beton mengeras

$$\begin{aligned} \text{Beban mati (QDL)} &= L \times (\text{QDL} + W \text{ profil}) \\ &= 4 \times (78,78 + 466) \\ &= 2179,119 \text{ kg/m} = 21,377 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= \frac{5 \times Q_{DL} \times L^4}{384 \times E \times I_x} \\ &= \frac{5 \times 21,377 \times 21000^4}{384 \times 200000 \times 8150000000} \\ &= 33,211 \text{ mm}\end{aligned}$$

Beban hidup (QLL) = $4 \times 0 = 0 \text{ kg/m} = 0 \text{ N/mm}$

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \frac{5 \times Q_{DL} \times L^4}{384 \times E \times I_x} \\ &= \frac{5 \times 0 \times 21000^4}{384 \times 200000 \times 8150000000}\end{aligned}$$

= 0 mm

Setelah beton mengeras aksi komposit mulai bekerja dengan momen inersia penampang komposit.

Lendutan akibat beban hidup

$$\begin{aligned}q &= 4 \times QL \\ &= 4 \times 502,125 \\ &= 2008,5 \text{ kg/m} = 19,703 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \frac{5 \times Q_L \times L^4}{384 \times E \times I_x} \\ &= \frac{5 \times 19,703 \times 21000^4}{384 \times 200000 \times 4092892,912^4} \\ &= 6,095 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{total}} &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \\ &= 33,211 + 0 + 6,095 = 39,306 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}\text{Lendutan maksimal} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{21000}{240} \\ &= 87,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan total < lendutan maksimal

39,306 mm < 87,5 mm (OK)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, berikut merupakan kesimpulan yang didapatkan:

1. Perencanaan pelat lantai kendaraan tebal 250 mm dengan sistem bondek, tulangan utama D16-250 mm dan tulangan bagi D13-350 mm.
2. Perencanaan gelagar melintang menggunakan profil WF 900x466x30x54. Struktur komposit menghasilkan momen $\phi M_n > M_u$ sebesar $136261,858 \text{ kN.m} > 19839,78 \text{ kN.m}$ maka memenuhi. Sedangkan untuk penghubung geser (shear connector) menggunakan diameter 25 mm jarak 167 mm menghasilkan aksi komposit parsial dengan $\sum Q_n$ 15440509,28 N, serta lendutan total < lendutan maksimal $39,306 \text{ mm} < 87,55 \text{ mm}$ dapat dikatakan memenuhi. Sehingga sistem komposit yang direncanakan layak diterapkan sebagai alternatif struktur atas jembatan rangka baja di lokasi tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

Adryana, V.N. and Suprpto, B. (2019) "Studi perencanaan struktur jembatan rangka baja

- pada jembatan ake toduku halmahera barat,” pp. 208–215.
- Hermawan, T. and Purwanto, S. (2022) “Perencanaan Struktur Atas Jembatan Tipe Warren Panjang 100 Meter Di Grand Wisata Kabupaten Bekasi Dengan Metode Load and Resistance Factor Design Menggunakan Pendekatan Software Sap2000 V.21,” *Structure Teknik Sipil*, 5(2), pp. 100–109.
- Masgode, M.B. *et al.* (2024) *Rekayasa Jembatan*. Edited by M. Ninoy La Ola. Tohar Media.
- Puluhulawa, I., Aspaliza, N., & Armada, A. (2018). Perencanaan Struktur Atas Jembatan Komposit Sungai Nipah Desa Darul Aman Kecamatan Rupert. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 2(2), 1-9.
- Rochman, A. (2024) *Desain Jembatan 2*. Muhammadiyah University Press.
- Wulandari, W., & Sasongko, J. (2023). Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Komposit pada Struktur Atas Jembatan Mojosongo Kab. Boyolali. *Indo Green Journal*, 1(3), 105-112.