

RESEARCH ARTICLE

Redesign of The Overpass Bridge Structure at Km 839+450 Toll Road Pasuruan-Probolinggo Using Parker Type Truss Bridge

(Perencanaan Ulang Struktur Jembatan Overpass Km 839+450 Jalan Tol Pasuruan - Probolinggo Menggunakan Rangka Baja Tipe Parker)

Achmad Zakaria Ma'arif¹, Ketut Aswatama Wiswamitra^{2*}, Erno Widayanto²

¹Program Studi Sarjana Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember 68121, Indonesia

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember 68121, Indonesia

ABSTRACT

The Overpass Bridge Km 839+450 Pasuruan - Probolinggo Toll Road which is located in Leces District, Probolinggo Regency, East Java has a total span length of 144 meters with a Girder I bridge type. This bridge has 5 spans with 4 pillars. The writer want to redesign the bridge into 2 spans to increase the free space under the bridge overpass. The Parker truss bridge type was chosen because it has the lightest self-weight compared to other types of steel truss bridges. This parker type steel truss bridge is planned with a length of 72 m, a width of 12 m, and a height of 13 m. The bridge is designed for 1 lane which has 2 main lanes and 1 emergency lane. From the analysis carried out, the thickness of the vehicle floor plate is 20 cm with concrete f_c 30 MPa and reinforcement F_y 410 MPa. The steel structure uses BJ 41 steel quality with profile dimensions on longitudinal girders WF 300.300.10.15, transverse girder profile dimensions using WF 700.300.13.24, main frame girder dimensions using WF 552.500.50.50 & WF 552.475.25.30, transverse wind ties using WF 294.200.8.12, as well as cross wind ties using the L 250.250.35. For the connection, high-strength bolts of type A325 with F_y 820 MPa are used with a diameter of 24 mm and a connection plate which is L 100.100.10, L 120.120.12, and a 25 mm thick plate. on the main frame connection. The placement of the bridge uses the placement of Typer Elastomeric Bearings coated with steel plates with dimensions of 600x600x150 mm. Steel truss bridge parker type has the advantage that the upperstructure's own weight is lighter than the existing bridge, the difference in weight reaches 33,07 %.

Jembatan Overpass Km 839+450 Jalan Tol Pasuruan - Probolinggo yang terletak di Kecamatan Leces, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur ini memiliki total panjang bentang 144 meter dengan tipe jembatan Girder I. Jembatan ini memiliki 5 bentang dengan 4 tiang penyangga. Penulis ingin mendesain ulang jembatan menjadi 2 bentang untuk menambah ruang kosong di bawah jembatan layang. Jenis jembatan rangka baja Parker dipilih karena memiliki bobot sendiri yang paling ringan dibandingkan jenis jembatan rangka baja lainnya. Jembatan rangka baja tipe parker ini direncanakan dengan panjang 72 m, lebar 12 m, dan tinggi 13 m. Jembatan ini dirancang untuk 1 jalur yang memiliki 2 jalur utama dan 1 jalur darurat. Dari analisa yang dilakukan, tebal pelat lantai kendaraan adalah 20 cm dengan beton f_c 30 MPa dan tulangan F_y 410 MPa. Struktur baja menggunakan baja BJ 41 mutu dengan dimensi profil pada gelagar memanjang WF 300.300.10.15, dimensi profil gelagar melintang menggunakan WF 700.300.13.24, dimensi gelagar rangka utama menggunakan WF 552.500.50.50 & WF 552.475.25.30, pengikat angin melintang menggunakan WF 294.200 .8.12, serta ikatan cross wind menggunakan L 250.250.35. Untuk sambungan digunakan baut mutu tinggi tipe A325 dengan F_y 820 MPa dengan diameter 24 mm dan pelat sambungan yaitu L 100.100.10, L 120.120.12, dan tebal pelat 25 mm. pada sambungan rangka utama. Penempatan jembatan menggunakan perletakan Typer Elastomer Bearing yang dilapisi plat baja dengan dimensi 600x600x150 mm. Jembatan rangka baja tipe parker memiliki keunggulan bobot sendiri *upper structure* lebih ringan dibandingkan jembatan eksisting, selisih bobot mencapai 33,07 %.

Keywords: Truss Bridge, Parker Truss, Redesign.

*Corresponding author:
Ketut Aswatama Wiswamitra
E-mail: ketut.teknik@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo merupakan salah satu pekerjaan subproyek pembangunan Jalan Tol

Trans-Jawa yang terletak di Provinsi Jawa Timur yang membentang sepanjang 45 km. Rute Jalan Tol Pasuruan- Probolinggo dibangun melewati berbagai macam topografi, seperti yang berada di Kecamatan Leces, Probolinggo, jalan Tol Pasuruan - Probolinggo

wajib dibangun melewati lalu lintas yang ada, yakni jalur kendaraan lintas nasional serta jalan kereta api, sehingga salah satu pekerjaan proyek yang dilakukan merupakan pembangunan jembatan overpass. Jembatan KM 839+450 Jalan Tol Pasuruan - Probolinggo merupakan jembatan yang dibangun dengan Balok Girder I dan memiliki 5 bentang dengan panjang total 144 meter.

Telah ada penelitian sebelumnya yang membahas perencanaan jembatan [1,2]. Dalam penelitian ini penulis bertujuan untuk membuat alternatif desain jembatan yang mulanya terbagi menjadi 5 bentang menjadi hanya 2 bentang yang nantinya bisa digunakan untuk pelebaran jalan nasional dan jalur ganda kereta api. Jembatan Rangka Baja digunakan karena jembatan tipe ini merupakan jembatan yang mampu digunakan untuk bentang yang panjang dan desain yang cukup sederhana [3]. Selain itu jembatan rangka baja dipilih karena material baja mempunyai kekuatan yang tinggi, tahan terhadap cuaca dan pelaksanaan yang lebih cepat [4]. Sedangkan pemilihan jembatan rangka baja tipe Parker dikarenakan memiliki berat sendiri struktur yang paling ringan jika dibandingkan dengan jembatan tipe rangka baja yang lain [5,6,7], dan kuat tekan dan tarik pada jembatan rangka baja tipe Parker memiliki nilai faktor keamanan yang lebih besar [8,9].

METODE PENELITIAN

Lokasi Jembatan

Lokasi jembatan yang akan direncanakan ulang terletak di Desa Clarak, Kecamatan Leces, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. Jembatan tersebut merupakan jembatan overpass yang dibawahnya ada jalan lintas nasional dan jalur rel kereta api.

Data Jembatan

Berikut ini merupakan data dari jembatan existing Jembatan Overpass Km 839+450 Jalan Tol Pasuruan - Probolinggo :

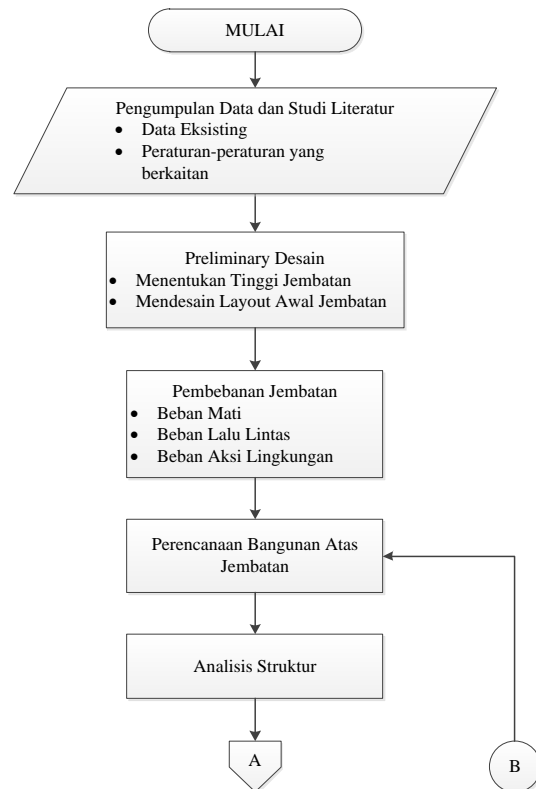
- Bentang utama : 144 meter dibagi menjadi 5 bentang
- Lebar jembatan : 25,1 meter
- Lebar lajur : 3,6 meter pada 4 lajur utama, 3,45 meter pada 2 lajur darurat, dan 3,8 meter pada barrier tengah
- Fungsi jembatan : Jembatan jalan tol
- Struktur jembatan : Jembatan Beton Balok Girder
- Lantai kendaraan : Beton bertulang lapis aspal

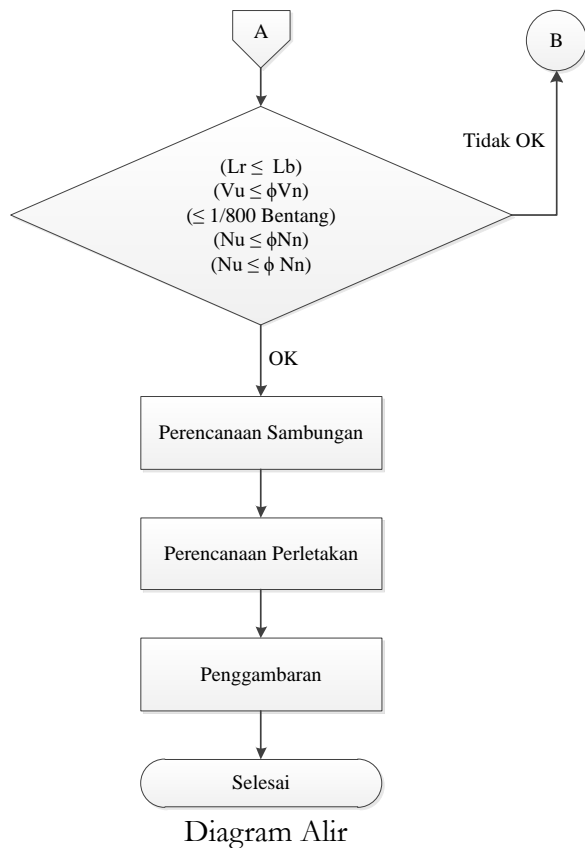
Dalam penelitian ini jembatan didesain ulang menggunakan rangka baja tipe parker dengan data perencanaan baru sebagai berikut :

- Bentang utama : 144 meter dibagi menjadi 2 bentang
- Panjang jembatan : 72 meter
- Lebar jembatan : 12 meter
- Lebar lajur : 3,6 meter pada 2 lajur utama, 3,45 meter pada 1 lajur darurat, dan 1,35 meter pada barrier tengah
- Fungsi jembatan : Jembatan jalan tol
- Struktur Jembatan : Jembatan rangka baja tipe Parker
- Lantai kendaraan : Beton bertulang lapis aspal

Metodologi

Perencanaan ulang diawali dengan pengambilan data pada jembatan yang akan di rencanakan ulang. Pengambilan data ini dilakukan dengan mengkaji gambar jembatan yang sudah ada. Data yang dibutuhkan antara lain panjang bentang jembatan, lebar jembatan, dan fungsi jembatan. Langkah selanjutnya dilihat pada diagram alir berikut:

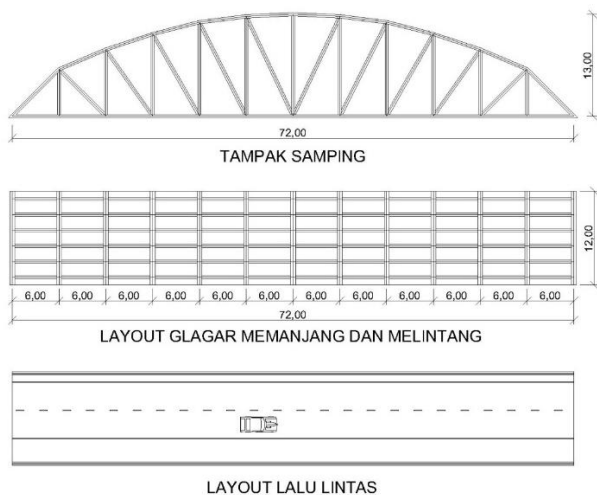




HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Layout Jembatan Rencana

Gambar 1. layout direncanakan jarak antar gelagar memanjang yaitu 2 meter dan jarak galgar memanjang ke tepi 1 meter, sedangkan untuk jarak antar gelagar melintang yaitu 6 meter. Total panjang 1 buah jembatan yaitu 7 meter dan lebar jembatan 12 meter.



Gambar 1. Tampak samping dan Layout jembatan

Perencanaan Bangunan Atas

Perencanaan bangunan atas terdiri dari pelat lantai kendaraan, gelagar melintang, gelagar memanjang, rangka utama, ikatan angin, dan rencana perletakan. Ukuran rencana profil tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana ikiran profil

Lokasi	Rencana profil
Pelat lantai kendaraan	Beton bertulang tebal 200 mm ($f_c' = 30$ MPa) Aspal 50 mm
Gelagar memanjang	WF 300.300.10.15 (BJ 41)
Gelagar melintang	WF 700.300.13.24 (BJ 41)
Rangka utama	WF 552.500.50.50 (pada batang lengkung, BJ 41) WF 552.475.25.30 (pada batang horizontal dan vertical, BJ 41)
Ikatan angin	WF 294.200.8.12 (pada batang melintang, BJ 41) L 250.250.35 (pada batang menyilang, BJ 41)
Perletakan	Bantalan elastomer 600 x 600 x 150 mm

Pembebanan Jembatan

Perhitungan pembebanan jembatan semuanya mengacu pada SNI 1725-2016 [10] seperti beban mati, beban hidup, beban aksi lingkungan, dan kombinasi pembebanan. Pada beban mati terdapat 2 jenis beban, yaitu berat sendiri dan beban mati tambahan.

Perhitungan pembebanan untuk pembebanan pelat lantai kendaraan diasumsikan per meter panjang. Perhitungan beban merata diuraikan sebagai berikut :

Beban Mati :

- Berat sendiri pelat = $t_s \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot 1 \text{ m} \cdot K_u^{\text{MS}}$
= 6,24 kN/ m
- Berat aspal = $t \cdot \gamma_{\text{aspal}} \cdot 1 \text{ m} = 1,1 \text{ kN/ m}$
- q mati = berat sendiri pelat + berat aspal = 7,34 kN/ m

Beban Hidup :

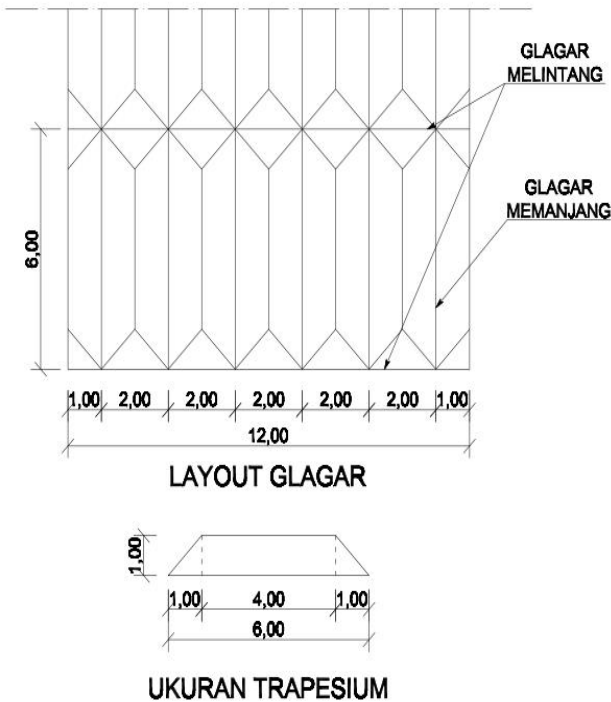
- air hujan = $t \cdot 1 \text{ m} \cdot \gamma_{\text{air hujan}} = 1 \text{ kN/ m}$

Sedangkan perhitungan beban gandar truk menyertakan faktor beban dinamis sesuai SNI 1725-2016, dengan bentang 72 m didapatkan FDB sebesar 35%, maka beban gandar truk sebagai berikut :

- beban Truk = beban roda . FDB . K_u^{TT}
= 112,5 . (1+0,35) . 2 = 292,5 kN

Pada gelagar memanjang dan melintang beban terdistribusi menggunakan metode amplot seperti pada Gambar 2. Karena beban menjadi berbentuk

trapesium dan segitiga, maka koefisien pengali untuk beban trapesium dan segitiga sebagai berikut:



Gambar 2. Distribusi beban metode amplop

Tabel 2. Perhitungan pebagian pembebanan metode amplop

Trapesium	Segitiga
$q_{ek} = 9,0 (0,5 + 15/L)$ $= 9,0 (0,5 + 15/72)$ $= 6,375 \text{ kPa}$	$q_{ek} = 0,7$

Beban mati pada gelagar terdiri dari berat sendiri plat, berat aspal, dan berat profil. Rumus dari beban mati sebagai berikut :

- Berat sendiri pelat = $t_s \cdot b \cdot \gamma_{beton} \cdot \gamma^{MS} \cdot q_{ek}$
- Berat aspal = $t \cdot b \cdot \gamma_{aspal} \cdot q_{ek}$
- Berat Profil = $A \cdot \gamma_{Baja}$

Maka beban mati pada gelagar melintang dan memanjang sebagai berikut:

Tabel 3. Beban mati pada gelagar melintang dan gelagar memanjang

Jenis berat	Gelagar memanjang	Gelagar melintang
Berat sendiri plat	6,0084 kN/ m	4,368 kN/ m
Berat aspal	1,0591 kN/ m	0,77 kN/ m
Berat profil	0,9404 kN/ m	1,6916 kN/ m
Berat parapet (Pp)		9,1728 kN

Beban hidup atau beban lalu lintas terdapat beban lajur (BTR) dengan intensitas q kPa dengan besaran $L \geq 30 \text{ m}$: $q = 9,0 (0,5 + 15/L)$ kPa maka beban hidup untuk gelagar yaitu :

$$q = 9,0 (0,5 + 15/L) = 6,375 \text{ kPa}$$

Maka beban lajur D untuk gelagar melintang yaitu :

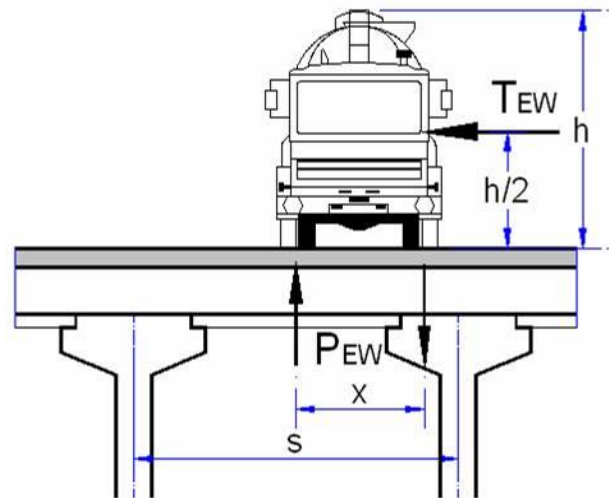
- Beban lajur D = $b \cdot q \cdot q_{ek} \cdot \gamma^{TD}$
 $= 1\text{m} \cdot 6,375 \cdot 0,9629 \cdot 2$
 $= 12,2778 \text{ kN/ m}$

Untuk gelagar memanjang yaitu :

- Beban lajur D = $b \cdot q \cdot q_{ek} \cdot \gamma^{TD}$
 $= 1\text{m} \cdot 6,375 \cdot 0,7 \cdot 2$
 $= 8,925 \text{ kN/ m}$

Pembebanan pada gelagar utama terdiri dari beban mati dan beban hidup, sedangkan untuk beban aksi lingkungan terdiri dari beban angin dan pengaruh gempa. Pada beban hidup terdapat 2 beban, yaitu beban lajur "D" dan beban garis terpusat (BGT). Beban garis terpusat terletak di tengah – tengah bentang jembatan dan memiliki nilai 49 kN/m. Beban angin yang terjadi yaitu :

- Beban angin terhadap rangka = 100 km/jam
- Beban angin terhadap kendaraan
 $= T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2$
 $= 0,0012 \cdot 1,2 \cdot 25^2 = 0,9 \text{ kN}$



Gambar 3. Distribusi beban angin terhadap kendaraan

$$P_{EW} = \frac{1}{2} \cdot h / x \cdot T_{EW}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 4 / 1,75 \cdot 0,9 = 1,02 \text{ kN}$$

Pada pembebanan untuk gelagar rangka utama dilakukan pada program bantu analisis struktur dengan kombinasi pembebanan menggunakan

Keadaan batas yaitu Kuat 1 = 1,3 MS + 1,8 TD dan Keadaan Servis yaitu Daya Layan 1 = 1,0 MS + 1,0 TD + 0,3 EWs d.

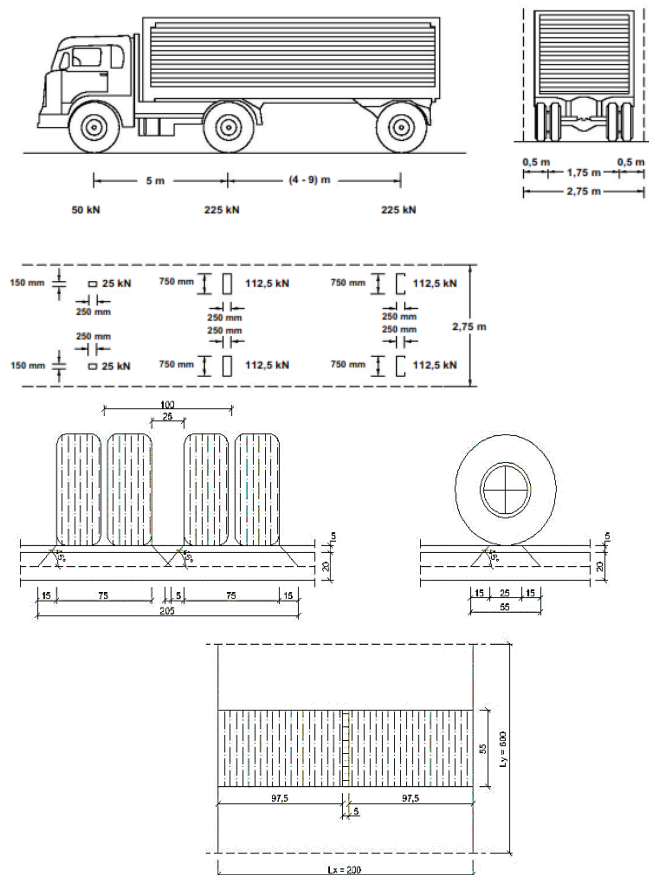
Analisis Struktur

Analisis struktur pada pelat lantai kendaraan yaitu menghitung momen pada pelat dengan menggabungkan beban merata dengan beban gandar truk.

Perhitungan momen akibat beban mati + beban hujan :

$$\begin{aligned} Mu &= 1/10 \times q \times L^2 \\ &= 1/10 \times 8,34 \times 2^2 = 3,336 \text{ kNm} \end{aligned}$$

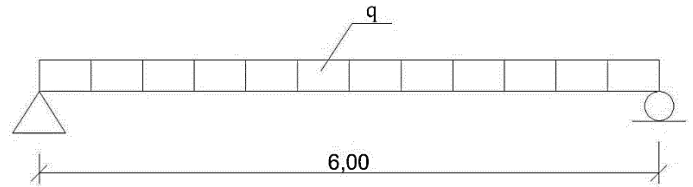
Perhitungan beban hidup truk pada plat lantai menggunakan distribusi penyebaran beban seperti pada Gambar 4. Pada kondisi saat dua roda berdekatan, perhitungannya menggunakan tabel bittner, maka didapatkan momen sebesar $Mu = 54,5921 \text{ kNm}$. Maka total momen pada plat lantai kendaraan yaitu $Mu = 57,9281 \text{ kNm}$.



Gambar 4. Penyebaran beban Truk

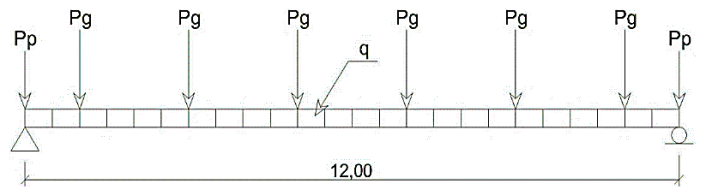
Perhitungan momen pada gelagar memanjang dengan pembebanan seperti pada Gambar 5 dengan $q = 2$ (beban mati + beban hidup) + berat profil, maka didapatkan momen sebesar :

$$\begin{aligned} Mu &= 1/8 \times q \times L^2 \\ &= 1/8 \times 39,63 \times 6^2 \\ &= 178,3452 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Gambar 5. Pembebanan gelagar memanjang

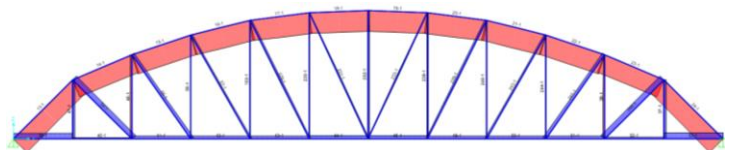
Perhitungan momen pada gelagar melintang menggunakan program bantu analisis struktur, dengan pembebanan seperti pada Gambar 6 dengan $q = 2$ (beban mati + beban hidup) + berat profil, Pp = Beban parapet = 9,1728 kN, Pg = Beban Gelagar memanjang = 118,89 kN, maka didapatkan momen sebesar 1612,67 kNm.



Gambar 6. Pembebanan Gelagar Melintang

Perhitungan gaya dalam pada rangka utama digunakan program bantu analisis struktur dengan gaya geser sebagai berikut :

- a. Akibat Kombinasi Pembebanan Keadaan Batas Kuat 1

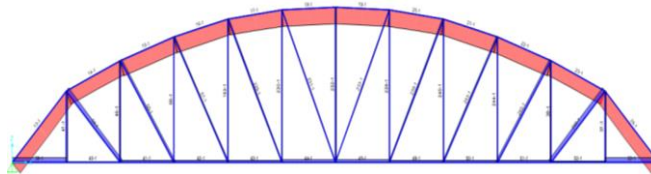


Gambar 7. Gaya Aksial Akibat Kombinasi Pembebanan Kuat 1

Tabel 4. Gaya Aksial Disetiap Batang Akibat Kombinasi Pembebanan Kuat 1

Frame	P	Frame	P	Frame	P	Frame	P
Text	KN	Text	KN	Text	KN	Text	KN
13	-8813,25	37	895,32	50	2135,78	232	762,58
14	-8757,76	38	-848,40	51	2096,59	233	437,51
15	-9389,79	39	3345,79	52	1418,02	238	354,70
16	-9607,98	40	1270,56	53	3517,66	239	840,49
17	-9763,25	41	2093,77	54	2568,04	240	295,23
18	-9867,44	42	2134,79	55	1406,76	243	848,69
19	-9867,45	43	2228,76	56	-212,85	244	-212,80
20	-9763,29	44	2331,22	57	848,65	245	1406,49
21	-9608,02	45	2331,91	153	295,23	246	2570,86
22	-9389,85	46	-847,93	229	840,52		
23	-8757,86	47	897,29	230	354,69	MAX	3517,66
24	-8811,53	49	2226,72	231	437,49	MIN	-9867,45

b. Akibat Kombinasi Pembebanan Keadaan Service
 Daya Layan 1



Gambar 8. Gaya Aksial Akibat Kombinasi Pembebanan Daya Layan 1

Tabel 5. Akibat Kombinasi Pembebanan Keadaan Service Daya Layan 1

Frame	P	Frame	P	Frame	P	Frame	P
Text	KN	Text	KN	Text	KN	Text	KN
13	-6010,98	37	602,94	50	1459,34	232	512,09
14	-5973,41	38	-587,80	51	1432,92	233	281,45
15	-6401,35	39	2296,87	52	967,80	238	250,45
16	-6544,74	40	873,64	53	2399,94	239	558,21
17	-6641,76	41	1435,70	54	1751,79	240	210,14
18	-6703,78	42	1461,98	55	954,94	243	572,59
19	-6705,11	43	1523,84	56	-145,92	244	-149,11
20	-6644,5	44	1589,83	57	568,33	245	958,54
21	-6548,79	45	1588,92	153	214,02	246	1757,25
22	-6406,57	46	-584,86	229	553,48		
23	-5979,43	47	604,18	230	254,85	MAX	2399,94
24	-6017,17	49	1520,18	231	276,71	MIN	-6705,11

Dari semua pembebanan, gaya Aksial terbesar berada di Kombinasi Pembebanan Kuat 1 dengan gaya tarik maksimal berada di Frame 53 (3517,66 kN) dan gaya tekan maksimal berada di Frame 18 & 19 (- 9867,45 kN).

Kontrol Kekuatan

Kontrol kekuatan untuk pelat lantai kendaraan ini mangacu pada RSNI T 12 2004 [11] yaitu kontrol geser dengan rumus $\phi V_c > V_u$, Kontrol geser disesuaikan dengan ukuran roda truk dengan kemiringan sudut geser sebesar 45°, $V_u = 292,5$ kN.

Nilai minimum kekuatan pelat lantai terhadap geser pada pelat beton bertulang tanpa tulangan geser :

Perhitungan kontrol kekuatan gelagar memanjang

Tabel 6. Perhitungan kontrol kekuatan gelagar memanjang

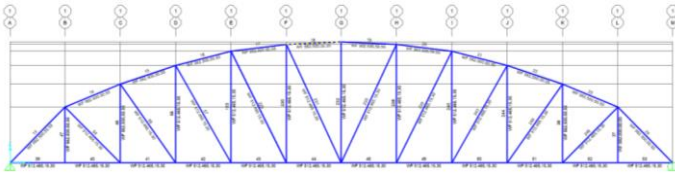
Peninjauan kekuatan	Momen, lendutan, geser yang terjadi	Nominal tahanan momen, lendutan, geser	Kontrol
kontrol kelangsingan penampang ($M_p > \phi M_n$)	$M_p = Z_x \cdot F_y$ = 1465 x 2500 = 2662500 kgcm = 36625 kgm	$\phi M_n = 0,9 \times 17834,52$ = 16051,07kgm	$M_p > \phi M_n$ = 36625 > 16051,07 OKE
kontrol lendutan ($\Delta' < \Delta$)	$qT = 292,5$ kN $\Delta' = \frac{qT \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x}$ = $\frac{292,5 \cdot 600^3}{48 \cdot 200000 \cdot 20400}$ = 0,3226 cm = 3,22 mm	Lendutan Ijin $\Delta = \frac{L}{\frac{800}{6000}}$ = $\frac{800}{7,5}$ mm	$\Delta' < \Delta$ = 3,22 mm < 7,5 mm OKE
kontrol geser ($\phi V_n > V_u$)	$V_u = R_a$ = 118,8968 kN	$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot h \cdot T_w$ = 0,6 . 250 . 30 = 4500 kN	$\phi V_n > V_u$ = 4050 > 118,8968 OKE

Perhitungan kontrol kekuatan gelagar melintang

Tabel 7. Perhitungan kontrol kekuatan gelagar melintang

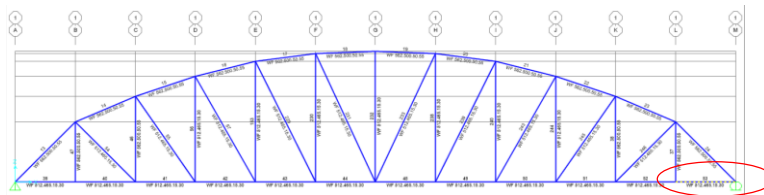
Peninjauan kekuatan	Momen, lendutan, geser yang terjadi	Nominal tahanan momen, lendutan, geser	Kontrol
kontrol kelangsingan penampang ($M_p > \phi M_n$)	$M_p = Z_x \cdot F_y$ = 6249 x 2500 = 15622500 kgcm = 156225 kgm	$\phi M_n = 0,9 \times 164447,44$ = 148002,69 kgm	$M_p > \phi M_n$ = 156225 > 148002,69 OKE
kontrol lendutan ($\Delta' < \Delta$)	$qT = 292,5$ kN $\Delta' = \frac{qT \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x}$ = $\frac{292,5 \cdot 1200^3}{48 \cdot 200000 \cdot 201000}$ = 0,26194 cm = 2,6194 mm	Lendutan Ijin $\Delta = \frac{L}{\frac{800}{12000}}$ = $\frac{800}{15}$ mm	$\Delta' < \Delta$ = 2,61 mm < 15 mm OKE
kontrol geser ($\phi V_n > V_u$)	$V_u = R_a$ = 118,8968 kN	$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot h \cdot T_w$ = 0,6 . 250 . 30 = 4500 kN	$\phi V_n > V_u$ = 4050 > 118,8968 OKE

Kontrol rangka utama mengacu pada RSNI T 03 2005 [12] antara lain kontrol tekan $\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} < 1$ dan kontrol tarik $\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} < 1$. Salah satu batang yang mengalami gaya tekan yaitu pada Frame 18, memiliki panjang 6,005 m juga Gaya Aksial sebesar -9867,44 kN = 9867437 N. Kontrol batang sebagai berikut :



Gambar 9. Letak Frame 18

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L}{r} = \frac{0,7 \cdot 6005}{221} = 19,0203 < 140$$



Gambar 10. Letak Frame 53

$$\lambda_c = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{19,0203}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,214$$

Karena $\lambda_c (0,21) < 1,5$ maka :

$$\begin{aligned} N_n &= (0,66^{\lambda_c^2}) A_g F_y \\ &= (0,66^{0,21^2}) 73180 \cdot 250 \\ &= 17949983,56 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} = \frac{9867437}{0,85 \cdot 17949983,56} = 0,6467 < 1 \quad \text{OK}$$

Sedangkan batang yang mengalami gaya Tarik yaitu Frame 53 memiliki panjang 6 m dan Gaya Aksial sebesar 3517,66 kN = 3517657 N. Kontrol batang sebagai berikut:

Tabel 8. Perhitungan kontrol rangka utama pada batang yang mengalami gaya tarik

Kondisi Leleh		Kondisi Faktor	
N_n	$= A_g \cdot F_y$ $= 59380 \cdot 250$ $= 14845000 \text{ N}$	A_n	$= A_g - (d_h + 2) t$ $= 59380 - (30 + 2) 50 = 57780 \text{ mm}^2$
$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n}$	$= \frac{3517657}{0,90 \cdot 14845000} = 0,2633 < 1 \text{ OK}$	U	$= 1 - (x / L) < 0,9$ $= 1 - (70 / 100) = 0,3 < 0,9$
		A_e	$= A_n \cdot U = 57780 \cdot 0,3 = 17334 \text{ mm}^2$
		N_n	$= A_e \cdot F_u$ $= 17334 \cdot 410 = 7106940 \text{ N}$
		$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n}$	$= \frac{3517657}{0,90 \cdot 7106940} = 0,6599 < 1 \text{ OK}$

Lendutan yang terjadi untuk Kombinasi Pembebanan Kuat 1 sesuai hasil perhitungan yang dilakukan di program bantu analisis struktur yaitu 0,0643 m atau 69,1 mm. Gambar 11.

Lendutan Ijin

$$\Delta = \frac{L}{800} = \frac{72}{800} = 0,09 \text{ m} > 0,0643 \text{ m OK}$$

Perencanaan Sambungan

Perencanaan sambungan menggunakan perhitungan yang mengacu pada RSNI T 03 2005, direncanakan menggunakan sambungan tipe Baut yang ditentukan ASTM SNI A325 2012 [13]. Pada pengujian yang dilakukan Dewobroto, dkk baut mutu

tinggi memiliki kuat tarik diatas kuat tarik minimum yaitu 830 MPA [14]. Direncanakan menggunakan baut diameter 24 mm dengan Luas inti baut (A_e) = 324, Luas baut (A_s) = 353, Luas bagian polos baut (A_0) = 452, Ketentuan sambungan (K_r) = 1. Plat sambung menggunakan plat profil L 100.100.10, L 120.120.12 untuk gelagar, dan plat tebal 25 mm untuk sambungan rangka utama.

Perhitungan sambungan pada balok sebagai berikut :

a. Kuat Geser Baut

$$V_f = 0,62 f_{uf} k_r (n_n A_e + n_x A_0) = 0,62 \cdot 830 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 324 + 2 \cdot 452) = 798659,2 \text{ N}$$

b. Kuat Tarik Baut

$$N_{tf} = A_s f_{uf} = 353 \cdot 83 = 292990 \text{ N}$$

c. Kuat Tumpu Baut

$$R_n = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{uf} = 2,4 \cdot 24 \cdot 10 \cdot 830 = 478080 \text{ N}$$

d. Kuat tumpuan plat lapis

Digunakan plat sambung Siku 100 . 100 . 10

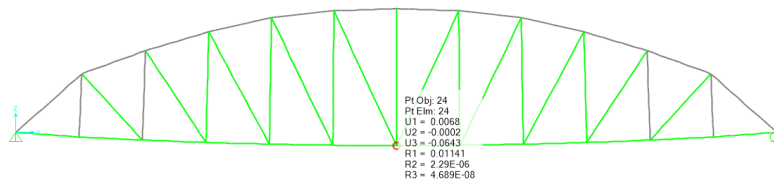
$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 410 \text{ MPa}$$

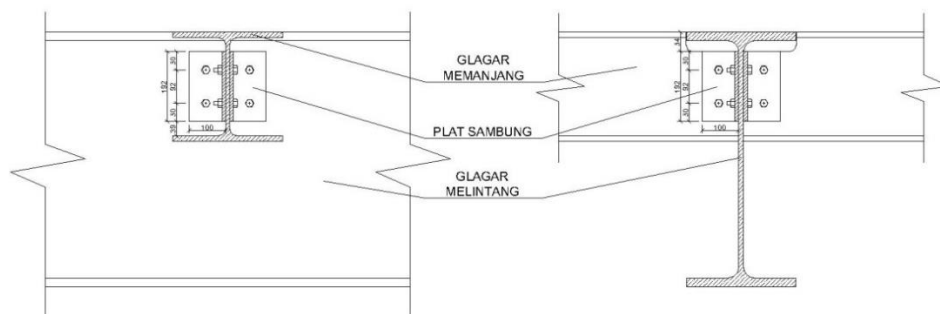
$$V_b = 3,2 d_f t_p F_{up} = 3,2 \cdot 24 \cdot 10 \cdot 410 = 314880 \text{ N}$$

Tabel 9. Kebutuhan Baut Sambungan balok

Kebutuhan baut pada setiap kontrol	Kuat geser baut	kuat tarik baut	kuat tumpu baut	kuat tumpu plat lapis	Jumlah baut yang digunakan
	$V_u / \phi \cdot V_f$	$V_u / \phi \cdot N_{tf}$	$V_u / \phi \cdot R_n$	$V_u / \phi \cdot V_b$	
Sambungan Balok Memanjang - Balok Melintang $V_u = 118896,8456 \text{ N}$	1	1	1	1	2
Sambungan Balok Melintang - Balok Rangka Utama $V_u = 546732 \text{ N}$	1	3	1	2	3



Gambar 11. Lendutan Pada Rangka Utama



Gambar 12. Sambungan Balok Memanjang dengan Balok Melintang

Sambungan Rangka utama hanya diambil 6 titik sambungan. Gambar 13

a. Kuat Geser Baut

$$V_f = 0,62 f_{uf} k_r (n_n A_e + n_x A_0) = 0,62 \cdot 830 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 324 + 2 \cdot 452) = 798659,2 \text{ N}$$

b. Kuat Tumpu Baut

$$R_n = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_{uf} = 2,4 \cdot 24 \cdot 25 \cdot 830 = 1195200 \text{ N}$$

c. Kuat tumpuan plat lapis

Digunakan plat sambung tebal 25 mm

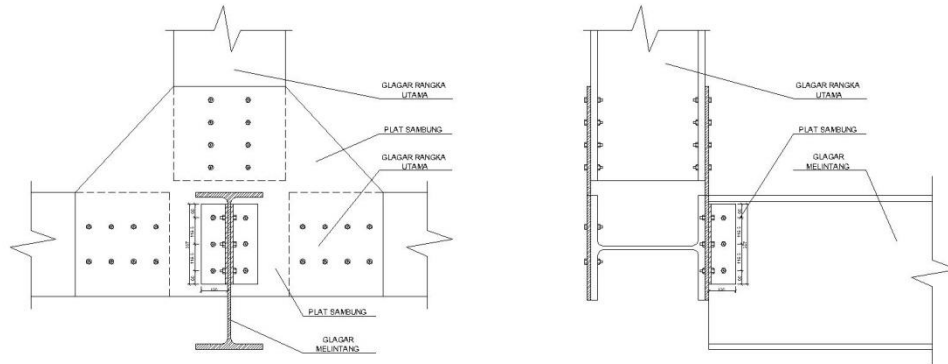
$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 410 \text{ MPa}$$

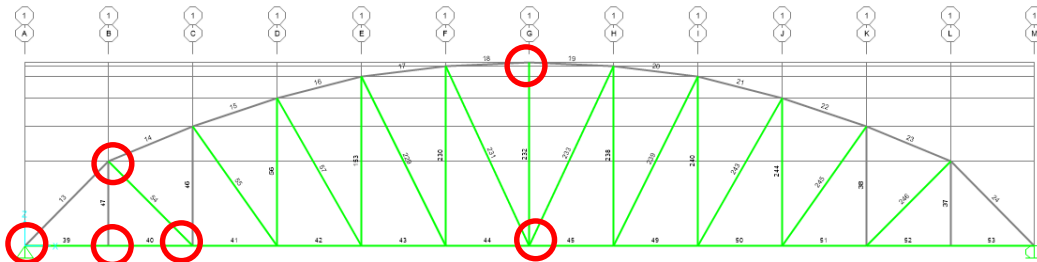
$$V_b = 3,2 d_f t_p F_{up} = 3,2 \cdot 24 \cdot 25 \cdot 410 = 787200 \text{ N}$$

Tabel 10. Kebutuhan Baut Sambungan rangka utama

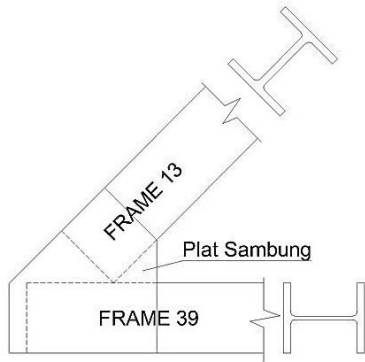
Kebutuhan baut pada setiap kontrol	Kuat geser baut	kuat tumpu baut	kuat tumpu plat lapis	Jumlah baut yang digunakan
	$N_u / \phi \cdot V_f$	$N_u / \phi \cdot R_n$	$N_u / \phi \cdot V_b$	
Frame 13 ($N_u = 8813280 \text{ N}$)	15	10	15	15
Frame 39 ($N_u = 3346810 \text{ N}$)	6	4	6	6
Frame 14 ($N_u = 8757750 \text{ N}$)	15	10	15	15
Frame 54 ($N_u = 2568036 \text{ N}$)	5	3	5	5
Frame 47 ($N_u = 897286 \text{ N}$)	2	2	2	2
Frame 40 ($N_u = 1270559 \text{ N}$)	3	2	3	3
Frame 41 ($N_u = 2093769 \text{ N}$)	4	3	4	4
Frame 54 ($N_u = 2532033 \text{ N}$)	5	3	5	5
Frame 46 ($N_u = 847934 \text{ N}$)	2	1	2	2
Frame 232 ($N_u = 762577 \text{ N}$)	2	1	2	2
Frame 18 ($N_u = 9867437 \text{ N}$)	17	12	17	17
Frame 19 ($N_u = 9867437 \text{ N}$)	17	12	17	17



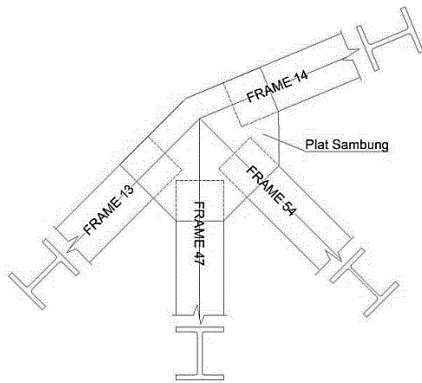
Gambar 13. Sambungan Balok Melintang dengan Balok Rangka Utama



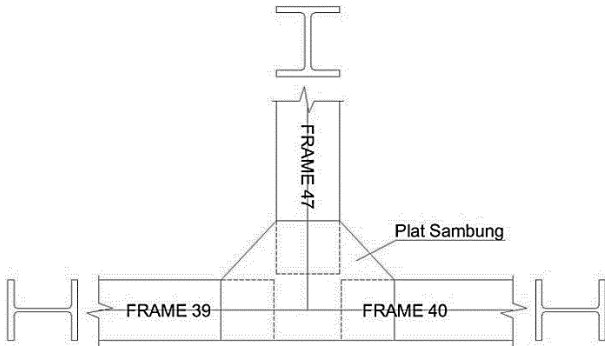
Gambar 14. Letak sambungan rangka utama



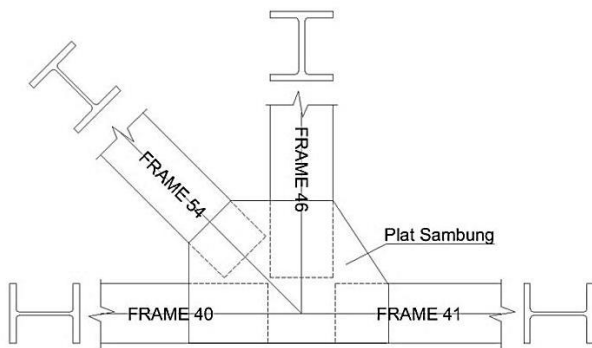
Gambar 15 Sambungan Frame 13 dan 39



Gambar 16 Sambungan Frame 13, 14, 47, dan 54



Gambar 17 Sambungan Frame 39, 40, dan 47



Gambar 18 Sambungan Frame 40, 41, 46, dan 54

Perencanaan Perletakan

Perletakan yang digunakan yaitu perletakan bantalan elastomer tipe berlapis yang diperkuat oleh pelat baja. Perencanaan bantalan elastomer berlapis plat baja ini mengacu pada Buku Pedoman PUPR tentang perencanaan bantalan elastomer untuk perletakan jembatan [10,15]. Bantalan elastomer memiliki panjang, lebar, dan ketebalan tertentu. Kontrol yang dilakukan pada bantalan elastomer antara lain kontrol faktor bentuk lapisan elastomer, kontrol tegangan ijin, dan kontrol deformasi geser rencana ($hrt > 2. \Delta s$).

1. Kontrol bentuk lapisan elastomer

$$A = W \cdot L = 600 \cdot 600 = 360000 \text{ mm}^2$$

$$I_p = 2(W+L) = 2(600 + 600) = 2400 \text{ mm}$$

$$S = \frac{A}{I_p \cdot h_{ri}} = \frac{360000}{2400 \cdot 17} = 8,8235$$

$$4 < S < 12$$

$$4 < 8,8235 < 12 \text{ Memenuhi}$$

2. Kontrol tegangan ijin

Beban rencana terdiri dari beban hidup dan beban mati, beban pada setiap lapisan elastomer yaitu 2411640 N.

$$\sigma_s = \frac{P}{A} = \frac{2411640}{360000} = 6,699 \text{ MPa}$$

Bantalan dengan deformasi geser yang tidak di kekang :

$$\sigma_s < 7,0 \text{ MPa}$$

$$6,699 < 7 \text{ Memenuhi}$$

Bantalan dengan deformasi geser yang di kekang :

$$\sigma_s < 7,7 \text{ MPa}$$

$$6,699 < 7,7 \text{ Memenuhi}$$

3. Kontrol deformasi geser rencana

$$\text{Deformasi ijin} = 2 \cdot \Delta s = 2 \cdot 69,1 = 138,2 \text{ mm}$$

$$\text{Ketebalan total elastomer (hrt)} = 150 \text{ mm}$$

Kontrol ketebalan :

$$hrt > 2. \Delta s$$

$$150 > 138,2 \text{ Memenuhi}$$

Perbandingan Dengan Jembatan Eksisting

Perbandingan dengan jembatan eksisting ditinjau dari berat sendiri / bangunan saja. Jembatan eksisting menggunakan struktur beton balok girder I dengan 5 bentang memiliki berat 61245,4176 kN. Sedangkan jembatan rangka baja tipe parker dengan 2 bentang memiliki berat 40988,3168 kN. Perbandingan berat sendiri antara struktur atas jembatan yang memiliki berat sendiri paling ringan yaitu jembatan rangka baja

tipe paker dengan perbedaan berat mencapai 20257,10 kN atau 33,07 %.

KESIMPULAN

Perencanaan ulang jembatan overpass dengan bentang dibagi 2 menjadi 72 m menggunakan Jembatan Rangka Baja tipe Parker dengan profil baja tipe WF dengan mutu BJ 41 memenuhi semua kontrol dan aman digunakan, sambungan menggunakan baut A325 dan perletakan menggunakan elastomer berlapis plat baja. Pemilihan jembatan rangka baja tipe Parker yaitu mampu digunakan untuk bentang panjang dan desain yang cukup sederhana dengan kelebihan penggunaan jembatan ini yaitu memiliki berat sendiri antara struktur atas yang lebih ringan dibandingkan dengan jembatan eksisting yang memiliki perbedaan berat mencapai 20257,10 kN atau 33,07 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. P. P. Fauzi, S. Zuraidah, and B. Hastono, "Studi perencanaan struktur jembatan baja (trough howe truss) pada jembatan pagerluyung Mojokerto," *CONCRETE Construction and Civil Integration Technology*, vol. 1 no. 2, 2023.
- [2] H. Putra, and A. K. Ariestianty, "Pengaruh timbunan ringan mortar busa pengganti timbunan biasa pada jembatan menggunakan konstruksi struktur baja bergelombang," *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol. 39, no. 2, 2022.
- [3] H. J. Struyk, and K. H. C. W. Veen, "Jembatan", Pradnya Paramita, 1984.
- [4] M. A. Jatueb, M. Huzerien, and A. Mutoha, "Perencanaan bangunan atas jembatan rangka tipe paker dengan konstruksi baja bentang 60 meter Desa Bram Itam Raya Kecamatan Bram Itam Kabupaten Tanjung Jabung Barat", *Civronlit*, vol. 4, no. 2, 2019
- [5] E. W. Indriyati, "Optimasi berat struktur rangka batang pada jembatan baja terhadap variasi bentang," *Din. Rekayasa*, vol. 4, 2008.
- [6] E. Arifi, H. Suseno, M. T. Hidayat, and H. E. Grahadika, "Pengaruh konfigurasi rangka dan optimasi profil terhadap kinerja pada struktur jembatan rangka baja," *Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 3, 2016
- [7] H. Purwanto, and G. Hariadi, "Analisis perbandingan jembatan tipe paker dan tipe warren dengan bentang 50 meter", *Jurnal Deformasi*, vol. 3, no. 1, 2018
- [8] M. M. A. Ansyorie, M. A. K. Mustofa, M. T. F. Sabila, and N. M. Putri, "Pemodelan jembatan rangka dengan kombinasi tipe rangka ditinjau dari lendutan dan berat jembatan," *Prokons*, vol.14, no. 2, 2020
- [9] M. Ridwan, and L. Umroniah, "Perencanaan jembatan rangka baja tipe paker bentang 78 meter menggunakan SNI 1725-2016 dan SNI 1729-2020," *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, vol. 4, no. 5, 2023
- [10] SNI 1725, "Standar Pembebanan untuk Jembatan." Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2016.
- [11] RSNI T-12, "Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan." 2004.
- [12] RSNI T-03-, "Perencanaan struktur baja untuk jembatan." Badan Standarisasi Nasional, 2005.
- [13] ASTM SNI A325, "Spesifikasi baut baja hasil perlakuan panas dengan kuat tarik minimum 830 MPa." 2012.
- [14] W. Dewobroto, L. Hidayat, J. Widjajakusuma, and Kelvin, "Studi Karakteristik Baut Mutu Tinggi (A325 dan Grade 8.8) Terhadap Tarik dan Pengaruhnya pada Perencanaan Sambungan", *Seminar HAKI*, 1-8, 2016.
- [15] Kementrian PUPR, "Pedoman Perancangan Bantalan Elastomer untuk Perletakan Jembatan." 2015.