

Evaluasi Struktur Atas Jembatan Kereta Api WTT dengan Modifikasi Lebar Jalan Rel *Standard Gauge*

BADRIANA NURANITA*

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: nuranitabadriana@itenas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi kapasitas struktur atas Jembatan KA WTT (Welded Through Truss) Tipikal bentang 42 meter dengan modifikasi pada bagian lebar jalan rel atau lebar sepur. Desain Jembatan yang ada saat ini diperuntukkan untuk lebar sepur 1067 mm, sedangkan untuk lebar sepur 1435 mm terjadi perubahan lebar jembatan dari 4,9 meter menjadi 5,5 meter. Evaluasi ditinjau berdasarkan analisis pada nilai defleksi jembatan dan rasio kapasitas. Hasil analisis menunjukkan defleksi maksimum jembatan sebesar 30,7 mm tidak melebihi defleksi izinnnya yakni 42 mm sehingga masih memenuhi persyaratan. Namun berdasarkan hasil pengecekan rasio kapasitas, terjadi overstress pada beberapa batang seperti pada rangka/tiang ujung, gelagar memanjang dan gelagar melintang jembatan, sehingga dilakukan perencanaan struktur baru melalui modifikasi pada dimensi profil penampang guna menghasilkan desain jembatan yang memenuhi kriteria kekuatan dan kekakuan.

Kata kunci: jembatan KA, rangka baja, WTT, sepur 1435 mm

ABSTRACT

This study evaluated the capacity of the upper structure of the WTT (Welded Through Truss) Railway Bridge typical for 42 meters span with railway track gauge modification. The current bridge design is intended for a narrow gauge (1067 mm), while for a standar gauge (1435 mm) there is a change of the bridge width from 4,9 meters to 5,5 meters. The evaluation is reviewed based on the analysis on the bridge deflection value and capacity ratio. The results show that the maximum deflection of the bridge is 30,7 mm which does not exceed the allowable deflection ($L/1000$) so that adequate. However, based on the results of the capacity ratio, there is overstress on several beams such as the end post, stringers and floor beams. Therefore, a new or modified structure is required to get a bridge design with full strength and stiffness criteria.

Keywords: railway bridges, steel truss, WTT, 1435 mm track gauge

1. PENDAHULUAN

Welded Through Truss merupakan salah satu tipe jembatan rangka baja yang penggunaannya di Indonesia sudah sejak tahun 1990-an [8]. Jembatan tipe ini dimuat dalam gambar standar struktur atas jembatan kereta api di Indonesia untuk lebar jalan rel 1.067 mm, sesuai dengan konstruksi jalur kereta api di Indonesia yang sebagian besar menggunakan lebar jalan rel 1.067 mm atau tergolong ke dalam lebar sepur sempit (*narrow gauge*). Sementara, hampir enam puluh persen jalur kereta api di seluruh dunia menggunakan lebar jalan rel 1.435 mm atau disebut sebagai lebar sepur standar (*standard gauge*) [7].

Beberapa penelitian sebelumnya, diantaranya melakukan analisis struktur jembatan kereta api rangka baja *double track* untuk lebar jalan rel 1.067 mm. Hasil pemeriksaan rasio tegangan menunjukkan terdapat batang diagonal yang tidak memenuhi syarat kekuatan akibat pengaplikasian beban hidup statik yang dinilai memiliki pengaruh yang signifikan dibandingkan beban hidup bergerak [9]. Penelitian lainnya, melakukan kajian struktur jembatan kereta api tipikal WTT dengan penyesuaian perubahan aturan beban dan kombinasi sesuai SNI 1725:2016. Hasil analisis menunjukkan bahwa tipe jembatan WTT 51,6 m secara umum tidak dapat mengakomodir beban terfaktornya, sehingga perlu dilakukan modifikasi profil penampang [8].

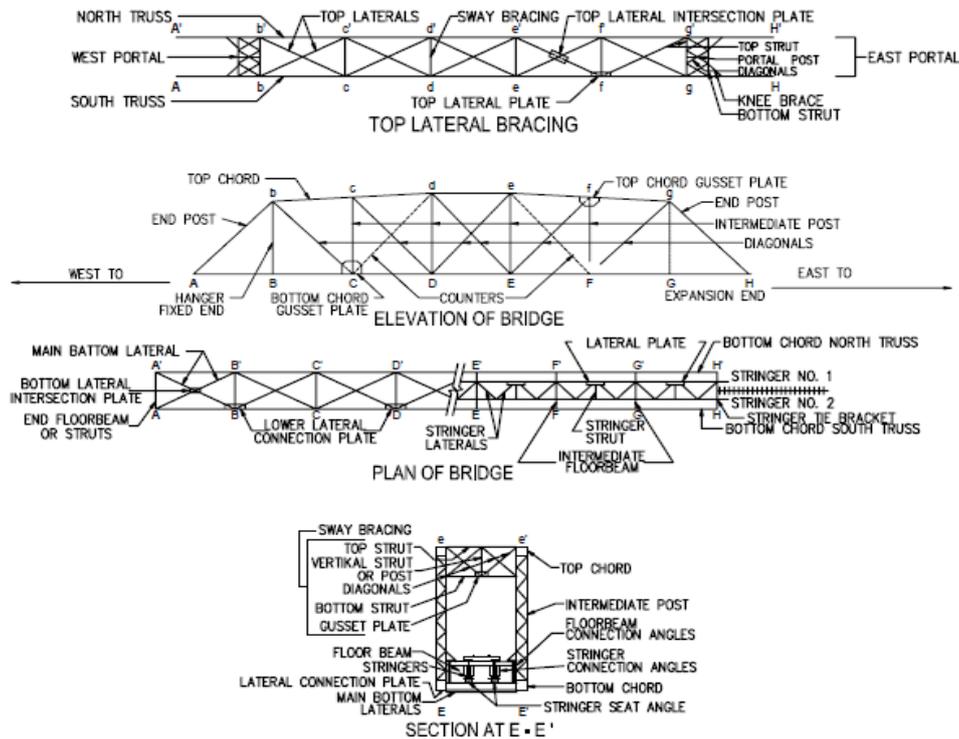
Maka, penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis dan mengevaluasi kapasitas struktur atas jembatan kereta api tipikal WTT dengan modifikasi pada beberapa elemen jembatan akibat perubahan lebar sepur dari 1.067 mm menjadi 1.435 mm berdasarkan persyaratan teknis jalur kereta api serta berdasarkan standar pembebanan jembatan yang berlaku, yakni SNI 1725:2016. Selanjutnya, analisis dilakukan dengan meninjau perilaku struktur atas jembatan secara statik menggunakan analisis struktur elastik. Nilai rasio tegangan dan lendutan jembatan menjadi *output* dalam pengecekan kapasitas struktur untuk menjamin kekuatan dan kekakuan jembatan kereta api sesuai beban layannya. Penelitian ini tidak menganalisis struktur bawah jembatan, analisis hanya dilakukan pada bagian struktur atas yakni rangka jembatan, dengan analisis struktur elastis, serta dimodelkan menggunakan analisis 3D. Selain itu, tidak dilakukan analisis beban gempa dan analisis sambungan pada jembatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komponen Jembatan KA Rangka Baja

Jembatan kereta api merupakan struktur yang dibangun dengan tujuan khusus untuk membawa lalu lintas kereta api melintasi rintangan di bawahnya. Sejak pembangunan jembatan kereta api modern pertama pada tahun 1820-an, rekayasa jembatan kereta api telah berkembang secara luas [10]. Kini berbagai tipe struktur jembatan kereta api banyak ditemui di Indonesia, khususnya untuk tipe jembatan baja. Tipe struktur atas jembatan baja kereta api secara umum dibagi dalam empat kelompok, yakni tipe gelagar dinding, gelagar dek/rasuk, rangka dinding, dan rangka dek/rasuk [5].

Pada jembatan rangka, komponen-komponen struktur atasnya meliputi gelagar memanjang (*stringer*), gelagar melintang (*floor beam*), batang diagonal (*counter*), batang tepi atas (*top chord*), batang tepi bawah (*bottom chord*), tiang ujung (*end post*), ikatan angin atas (*top lateral bracing*), batang desak lateral (*sway lateral*), ikatan angin bawah (*bottom lateral bracing*), dan ikatan tumbuk (*stringer lateral dan stringer strut*), seperti yang tercantum pada Lampiran D7 Standar Teknis Kereta Api Indonesia untuk Struktur Jembatan Baja [3], atau dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Komponen jembatan kereta api rangka baja

(Sumber: Lampiran D7 Standar Teknis Kereta Api Indonesia untuk Struktur Jembatan Baja [3])

2.2 Persyaratan Teknis

Penelitian ini mengacu pada Lampiran PM No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, dengan modifikasi pada beberapa ketentuan berdasarkan Draft Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api untuk Kereta Berat (*Heavy Train*) 1435 mm [6]. Terkait beban dan kombinasi pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725:2016 [2].

2.2 Kondisi Batas

Kondisi batas berdasarkan Metode Keadaan Batas (*Limit State Design*) atau LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Perencanaan komponen struktur jembatan berdasarkan perencanaan beban dan kekuatan terfaktor yang harus aman untuk semua jenis gaya dalam, seperti tampak pada **Persamaan 1**.

$$\phi R_n \geq \text{dampak dari } \sum \gamma_i Q_i \quad \dots(1)$$

Q_i = beban-beban,

γ_i = faktor beban,

R_n = kuat nominal penampang komponen struktur,

ϕ = faktor reduksi kekuatan [4].

2.3 Persyaratan Lentutan

Selain memenuhi kriteria keamanan, struktur jembatan harus didesain untuk keadaan batas layan melalui nilai defleksi. Batasan defleksi bentang struktur jembatan baja untuk kereta api dapat dilihat pada **Tabel 1**.

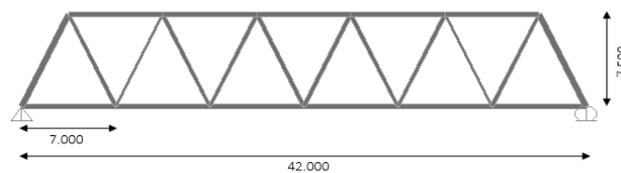
Tabel 1. Lendutan maksimum jembatan KA baja [5]

		Gelagar			Rangka Batang		
Lokomotif	Bentang, L [m]	$0 < L < 50$	$L \geq 50$		Seluruh Bentang		
		$L/800$	$L/700$				
	Bentang, L [m]	$0 < L \leq 20$	$20 < L < 50$	$L \geq 50$			
Kereta Listrik dan/atau Diesel	≥ 2 bentang	Kecepatan Maksimum, v [km/jam]	$v \leq 100$	$L/800$	$L/850$	$L/700$	$L/1.000$
			$100 < v \leq 130$	$L/1.000$	$L/1.100$	$L/900$	
			$130 < v \leq 160$	$L/1.300$	$L/1.400$	$L/1.200$	
Kereta Diesel	Satu bentang	Kecepatan Maksimum, v [km/jam]	$v \leq 100$	$L/700$			
			$100 < v \leq 130$	$L/800$	$L/700$		
			$130 < v \leq 160$	$L/1.100$	$L/900$		

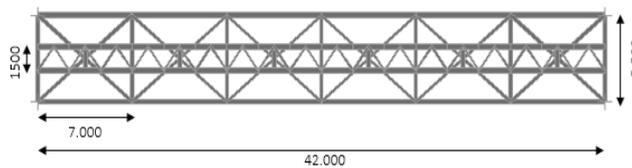
3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan-tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

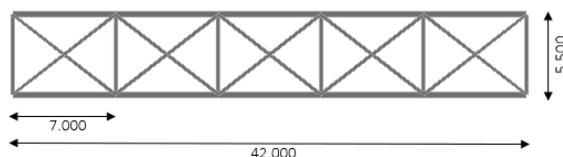
- Pendefinisian geometri dan dimensi struktur atas jembatan (struktur eksisting) berdasarkan gambar desain Jembatan Kereta Api WTT tipikal bentang 42 meter untuk lebar jalan rel 1.067 mm yang tersedia di lapangan.
- Pendefinisian material baja, digunakan SM400 BJ41 ($f_u = 410$ MPa, $f_y = 250$ MPa) untuk semua profil penampang, modulus elastisitas 2×10^5 , dan modulus geser 80×10^3 MPa.
- Pendefinisian beban kereta api mengacu pada Draft Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api untuk Kereta Berat 1.435 mm dan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan.
- Pemodelan dilakukan menggunakan bantuan *structure analysis program*, dengan model jembatan berupa struktur eksisting sesuai Gambar Standar Jembatan KA WTT 42 m. Gambar Standar yang ada masih menggunakan lebar sepur 1067 mm, sehingga dilakukan modifikasi lebar jembatan dari lebar eksisting 4,9 m menjadi lebar jembatan baru 5,5 m; seperti tampak pada **Gambar 2 hingga Gambar 5**.
- Hasil analisis dan evaluasi struktur melalui defleksi struktur dan rasio kapasitas batang.
- Simpulan dan rekomendasi.



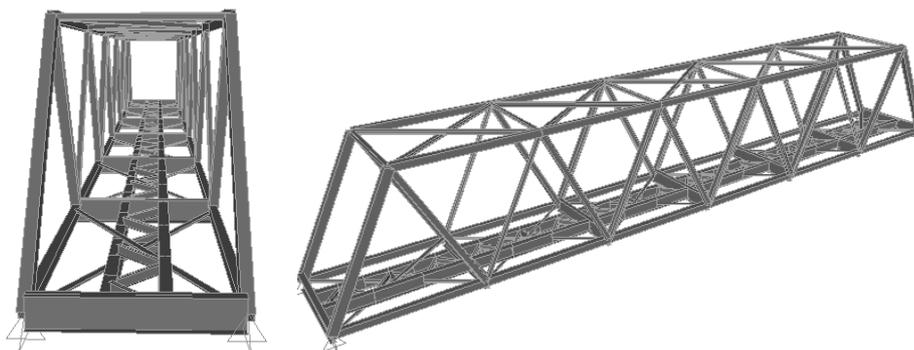
Gambar 2. Tampak memanjang jembatan



Gambar 3. Tampak rangka bawah jembatan



Gambar 4. Tampak rangka atas jembatan



Gambar 5. Isometri jembatan

Berikut adalah data teknis dan beban-beban yang diaplikasikan (**Tabel 2**).

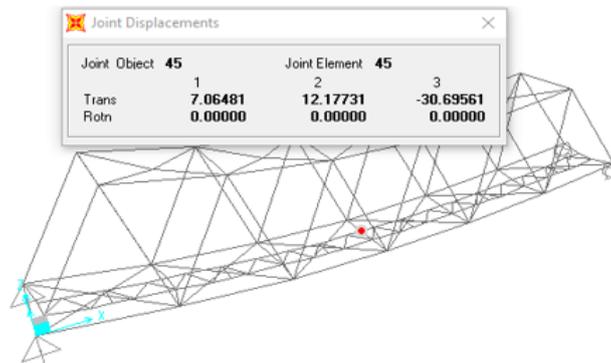
Tabel 2. Data teknis dan Beban

No	Item	Penjelasan
1	Tipe jembatan	Warren tipe WTT (<i>Welded Through Truss</i>)
2	Lebar jalan rel	1.435 mm
3	v_{max} rencana	200 km/jam
4	Beban gandar maks	25 ton
5	Tipe rel	R60
6	Dimensi jembatan	Panjang bentang: 42 m Panjang 1 segmen: 7 m Jumlah segmen: 6 buah Tinggi: 7,5 m Lebar: 5,5 m Jarak antar <i>stringer</i> : 1,5 m
7	Dimensi dan profil	Mengikuti gambar standar
8	Berat sendiri struktur	Berat struktur Bantalan kayu 2,74 m Rel tipe R.60
9	Beban mati tambahan	Penambat rel dan baut Jembatan inspeksi
10	Beban hidup	Berdasarkan skema rencana muatan 1921 (RM21) dikalikan faktor 1,25 (berupa <i>moving load</i> dan <i>static load</i>).
11	Beban kejut	Beban kereta dikalikan faktor kejut i
12	Beban lateral KA	15% - 20% dari beban gandar, Bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horisontal.
13	Beban rem dan traksi	25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel.
14	Beban rel longitudinal	10 kN/m
15	Beban angin	- EWs (beban angin pada struktur). Gaya total angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 N/mm pada bidang tekan dan 2,2 N/mm pada bidang hisap pada struktur rangka. - EWL (beban angin pada kereta) diasumsikan tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm; tegak lurus dan bekerja 1.800 mm di atas permukaan jalan.
16	Kombinasi beban	Kombinasi kuat dan layan, mengacu SNI1725:2016

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Defleksi Jembatan

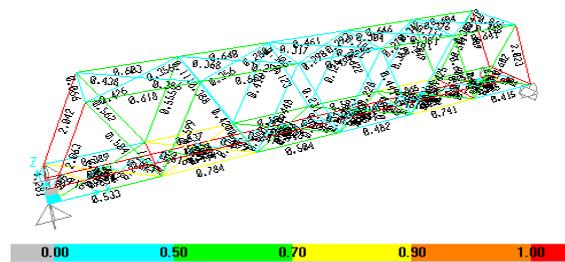
Kombinasi beban Layan 1 ini berkaitan dengan operasional jembatan, digunakan untuk mengontrol besarnya lendutan struktur, besarnya tidak boleh melebihi lendutan izin ($L/1000$). Hasil analisis struktur menunjukkan defleksi maksimum jembatan sebesar 30,69 mm tidak melebihi defleksi izin yakni 42 mm, seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Defleksi struktur

4.2 Analisis Rasio Tegangan

Hasil pemeriksaan rasio tegangan diperlihatkan melalui Gambar 7.



Gambar 7. P-M Interaction ratios

Gambar 7 memperlihatkan batang atas, batang bawah, batang diagonal, gelagar melintang tengah, ikatan angin, batang desak lateral dan ikatan tumbuk menghasilkan nilai rasio tegangan <1 yang mengindikasikan limit rasio tegangan tidak terlampaui. Sebaliknya, pada rangka ujung, gelagar memanjang, dan beberapa gelagar melintang bagian ujung menghasilkan rasio tegangan >1 . Nilai rasio tegangan 1,98 – 2,06 terjadi pada rangka/tiang ujung, rasio tegangan 1,04 – 1,30 pada gelagar melintang segmen 1,2,5 dan 6; serta rasio tegangan 1,43 – 1,65 pada gelagar memanjang segmen 1,2,5 dan 6. Artinya tegangan-tegangan yang timbul akibat beban terfaktor tidak dapat diakomodir oleh kapasitas batang-batang tersebut.

4.3 Pembahasan

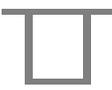
Berdasarkan hasil analisis, kondisi *overstress* pada beberapa batang yang menyebabkan performa struktur tidak memenuhi syarat kekuatan, disebabkan adanya perubahan lebar jalan rel antara struktur jembatan eksisting (1.067 mm) dan jembatan modifikasi (1.435 mm) mengakibatkan lebar jembatan berubah; dari 4,9 m menjadi 5,5 m. Akibatnya, beberapa elemen seperti gelagar melintang, ikatan angin, dan ikatan tumbuk perlu diperpanjang. Bertambah panjangnya elemen mengakibatkan beban sendiri struktur bertambah. Kemudian besaran gaya dalam mengalami kenaikan, menyebabkan rasio tegangan meningkat, hingga melampaui *limit*-nya. Selain itu, terdapat pula perubahan nilai beban sebagai akibat dari

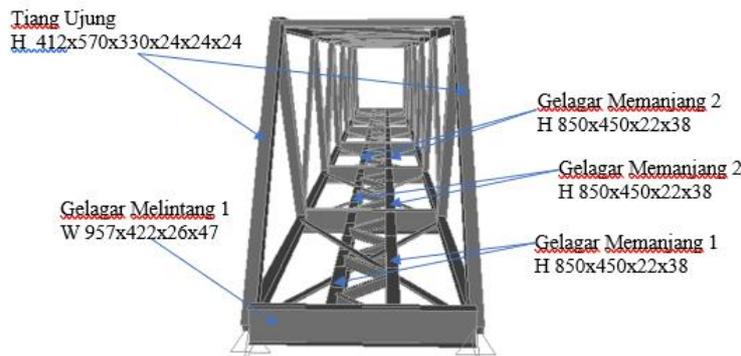
modifikasi yang dilakukan. Selain pada beban sendiri, peningkatan nilai beban terjadi juga pada beban mati tambahan, beban hidup gandar, beban kejut, beban lateral kereta api, dan beban rem. Oleh karena itu, perlu dilakukan perkuatan terhadap beberapa elemen struktur yang sudah tidak dapat mengakomodir beban terfaktornya.

4.4 Hasil Analisis Jembatan Baru

Tahap yang dimaksud adalah melakukan kembali pemodelan dan analisis terhadap struktur eksisting dengan perubahan lebar jembatan serta memodifikasi beberapa elemen struktur yang kritis (*overstressed*). Modifikasi tersebut dilakukan dengan menambah ketebalan penampang pada batang-batang kritis, atau mengganti dimensi penampang secara utuh dengan profil baja yang tersedia di pasaran, namun tetap mempertahankan bentuk profil masing-masing batang. Selanjutnya, batang-batang dengan dimensi penampang baru yang memenuhi syarat, serta sebagai rekomendasi penanganan struktur pada Gambar Standar Jembatan Kereta Api Tipe WTT 42 m diperlihatkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Profil Baja pada Stuktur Jembatan Baru

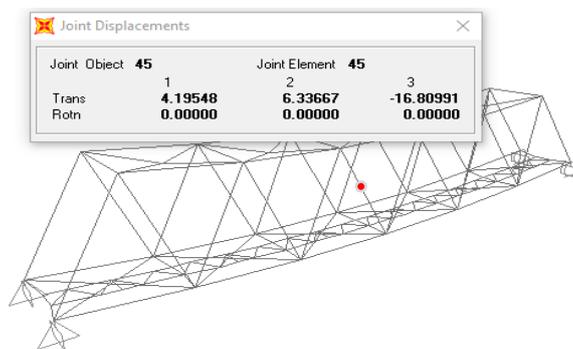
No	Nama Batang	Profil lama (WTT)	Profil Rekomendasi	Bentuk
1	Batang Atas 1	1-PL570x9, 2-PL400x10, 1-PL330x9	Tetap	
	Batang Atas 2	1-PL570x13, 2-PL400x15, 1-PL330x15		
	Batang Atas 3	1-PL570x15, 2-PL400x16, 1-PL330x19		
2	Batang Bawah 1	1-PL330x9, 2-PL380x9, 1-PL570x9	Tetap	
	Batang Bawah 2	1-PL330x10, 2-PL380x10, 1-PL570x9		
	Batang Bawah 3	1-PL330x13, 2-PL380x13, 1-PL570x11		
3	Batang Diagonal 1	2-PL360x14, 1-PL300x11	Tetap	
	Batang Diagonal 2	2-PL340x14, 1-PL300x11		
	Batang Diagonal 3	2-PL300x12, 1-PL304x19		
4	Tiang /Rangka Ujung	1-PL570x12, 2-PL400x13, 1-PL330x12	Box (1PL570x24, 2PL400x24, 1PL330x24) (menambah tebal semua pelat)	
5	Batang Desak Lateral	2-PL200x10, 1-PL200x8	Tetap	
6	Gelagar Melintang 1	1-F.PL260x28, 1-W.PL907x14, 1-F.PL260x22	W 957x422x26x47 (profil W dari <i>Nippon Steel and Sumimoto Metal</i>). Tetap	
	Gelagar Melintang 2	2-PL380x22, 1-PL913x14		
7	Gelagar Memanjang 1	2-PL360x22, 1-PL683x10,	H 850x450x22x38 (profil <i>Built Up</i> dan menambah tebal web profil di pasaran)	
	Gelagar Memanjang 2	2-PL360x19, 1-PL683x10		
8	Ikatan Angin Atas	2-PL200x10, 1-PL200x8	Tetap	
9	Ikatan Angin Bawah 1	1-F.PL210x12, 1-W.PL148x9	Tetap	
	Ikatan Angin Bawah 2	1-F.PL180x10, 1-W.PL100x9	Tetap	
10	Ikatan Tumbuk	2-PL90x10	Tetap	



Gambar 8. Tampak batang yang dimodifikasi

Defleksi Struktur Jembatan Baru

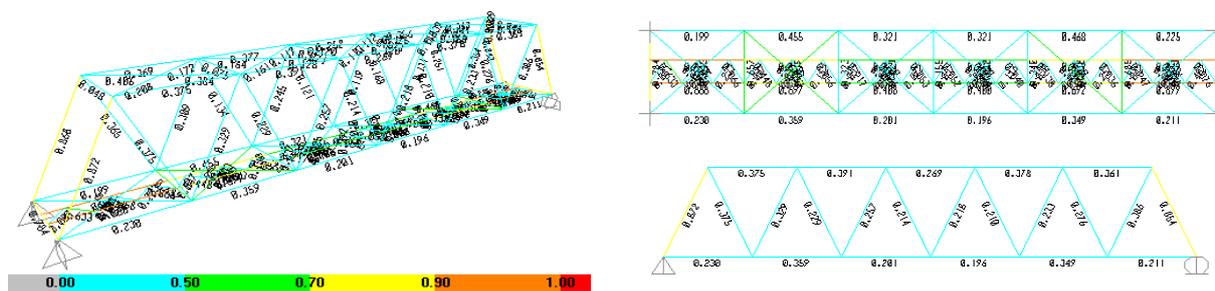
Seperti tampak pada Gambar 9, defleksi struktur pada jembatan baru sebesar 16,81 mm, nilainya memenuhi syarat karena tidak melebihi defleksi izin 42 mm. Jika dibandingkan dengan defleksi yang terjadi pada struktur jembatan sebelumnya, terjadi penurunan nilai defleksi sebesar 45%. Ini mengindikasikan bahwa modifikasi pada struktur jembatan sebelumnya memberikan pengaruh relatif besar terhadap kekakuan struktur baru.



Gambar 9. Defleksi struktur jembatan baru

Rasio Tegangan Jembatan Baru

Hasil pemeriksaan rasio tegangan ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. P-M Interaction ratios struktur jembatan baru

Hasil pemeriksaan P-M Interaction Ratios memperlihatkan bahwa nilai rasio tegangan <1 setelah dilakukan desain ulang pada batang-batang kritis, diantaranya pada rangka/tiang ujung dilakukan penggantian tebal pada pelat sayap dan pelat badan, pada gelagar melintang dan gelagar memanjang diperbesar dimensi profil. Persentase rasio tegangan sebelum dan setelah modifikasi disajikan pada Tabel 4 hingga Tabel 6.

Tabel 4. Persentase Rasio Tegangan pada Rangka Ujung

No Batang	Batang	Stress Ratio		%	No Batang	Batang	Stress Ratio		%
		Awal	Akhir				Awal	Akhir	
36	Rangka Ujung	2,063	0,872	57,73	48	Rangka Ujung	2,042	0,868	57,47
47	Rangka Ujung	2,023	0,854	57,78	59	Rangka Ujung	1,989	0,843	57,60

Tabel 5. Persentase Rasio Tegangan pada Gelagar Melintang

No Batang	Batang	Stress Ratio		%	No Batang	Batang	Stress Ratio		%
		Awal	Akhir				Awal	Akhir	
23	Gelagar Melintang 1	1,281	0,784	38,80	27	Gelagar Melintang 2	0,610	0,340	44,24
24	Gelagar Melintang 2	1,042	0,657	36,96	28	Gelagar Melintang 2	1,108	0,685	38,13
25	Gelagar Melintang 2	0,571	0,323	43,44	29	Gelagar Melintang 1	1,304	0,814	37,57
26	Gelagar Melintang 2	0,296	0,155	47,42					

Tabel 6. Persentase rasio tegangan pada gelagar memanjang

No Batang	Batang	Stress Ratio		%	No Batang	Batang	Stress Ratio		%
		Awal	Akhir				Awal	Akhir	
60	Gelagar Memanjang 1	1,654	0,888	46,33	66	Gelagar Memanjang 2	1,534	0,836	45,50
61	Gelagar Memanjang 2	1,444	0,697	51,75	67	Gelagar Memanjang 2	1,330	0,655	50,73
62	Gelagar Memanjang 2	0,913	0,408	55,31	68	Gelagar Memanjang 2	0,807	0,371	54,04
63	Gelagar Memanjang 2	0,891	0,400	55,06	69	Gelagar Memanjang 2	0,787	0,364	53,80
64	Gelagar Memanjang 2	1,432	0,692	51,67	70	Gelagar Memanjang 2	1,323	0,652	50,75
65	Gelagar Memanjang 2	1,685	0,899	46,66	71	Gelagar Memanjang 1	1,569	0,849	45,87

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain struktur eksisting Jembatan Kereta Api WTT 42 meter dengan modifikasi lebar jalan rel menjadi 1.435 mm tidak memenuhi syarat kekuatan, berdasarkan hasil analisis pada beberapa gelagar memanjang, gelagar melintang dan tiang ujung yang menghasilkan rasio tegangan kurang dari 1, namun defleksi aktualnya masih memenuhi syarat. Kondisi tersebut diindikasikan akibat perubahan pada beberapa kriteria teknis terkait lebar jalan rel, tipe rel, kecepatan maksimum, beban gandar, dan dimensi bantalan, serta peningkatan nilai beban yang disyaratkan pada beban kereta, beban kejut, beban rem dan beban lateral kereta yang berubah menjadi 1.25 x dari beban sebelumnya.
2. Sebagai langkah penanganan terhadap struktur eksisting yang sudah tidak dapat mengakomodir persyaratan teknis peraturan terbaru, maka dilakukan perencanaan struktur baru dengan menambah ketebalan dimensi atau mengganti dimensi profil batang pada beberapa elemen struktur kritis seperti rangka/tiang ujung, gelagar memanjang, gelagar dan melintang menggunakan profil-profil seperti H *Built up* dan WF yang tersedia di pasaran.
3. Hasil analisis struktur jembatan baru menghasilkan variasi penurunan rasio tegangan antara 36% – 57% pada gelagar melintang, gelagar memanjang, rangka/tiang ujung yang semula kritis. Terjadi pula penurunan nilai defleksi aktual di tengah bentang sebesar 45%.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah selain melakukan modifikasi profil pada beberapa elemen yang dinilai perlu diganti, dapat juga dilakukan desain ulang secara menyeluruh terhadap semua profil pada struktur jembatan eksisting, sehingga dapat direkomendasikan gambar standar baru untuk mengakomodir jembatan kereta api rangka baja dengan penggunaan sepur standar yakni 1.435 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA), (2005). "Manual for Railway Engineering 2005, Volume 2, American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. (2016): Pembebanan untuk Jembatan, SNI 1725:2016, Standar Nasional Indonesia.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2006). Standar Teknis Kereta Api Indonesia untuk Jembatan Baja. Standar Nasional Indonesia.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. (2005): Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, RSNI T-03-2005, Standar Nasional Indonesia.
- [5] Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perekretaapian. (April 2012): Lampiran Peraturan Menteri Perhubungan PM 60 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.
- [6] Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perekretaapian. (2017): Draft Lampiran Peraturan Menteri Perhubungan tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api untuk Kereta Berat (*Heavy Train*) 1435 mm.
- [7] Gunawan, I. (2014): Beban Kereta pada Sepur Standar, Makalah Ilmiah.
- [8] Hung, B. G. (2018): Studi Perbandingan Struktur Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Tipikal WTT (Welded Through Truss) dengan Struktur Rangka Baja Profil WF (Wide Flange). Tugas Akhir. Bandung: Jurusan Teknik Sipil - Universitas Katolik Parahyangan.
- [9] Nuranita, B., Desimaliana, E., & Gesa, K. (2020): Evaluasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Rangka Baja Double Track Tipe Welded Through Truss Bentang 50 meter. Jurnal Teknik Sipil: RekaRacana, Volume 6 No 3, 132-142.
- [10] Pipinato, A. (2021): Innovation Bridge Design Handbook (Second Edition), 601-602. Butterworth–Heinemann, Elsevier, Britania Raya.