

EVALUASI JEMBATAN KERETA API RANGKA BAJA JALUR TUNGGA TIPE WELDED THROUGH TRUSS

Algazt Aryad Masagala
Universitas Teknologi Yogyakarta
Email: algazt.masagala@uty.ac.id

Abstrak

Jembatan kereta api BH 935 berada di desa Muara Lawai, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatra Selatan atau berada di wilayah divre III Sumatra Selatan. Jembatan yang terbentang sepanjang 37 m diatas anak sungai Lematang di bangun di atas 2 abutmen dan menggunakan jembatan rangka baja jenis WTT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisis kekuatan dan keamanan struktur jembatan serta lendutan pada jembatan kereta api BH 935 dengan mengacu pada penggunaan PM No. 60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis kereta api Indonesia dan SNI 2833-2016 tentang beban gempa pada jembatan dan menggunakan peta gempa tahun 2017. Analisis dilakukan secara bertahap dimulai dari pemodelan jembatan, pembebanan, analisis kekuatan dan keamanan frame serta analisis lendutan pada jembatan. Berdasarkan hasil analisis maka diperoleh bahwa semua frame yang ada di jembatan dinyatakan aman, karena dari perhitungan kontrol lentur, kontrol kuat geser, tahanan nominal tekan dan tarik gaya output yang dihasilkan lebih kecil dari nilai maksimum rencana. Untuk lendutan memiliki nilai U3 52,77 mm pada beban gempa staktik, dan U3 76,52 mm pada beban gempa dinamik, sedangkan lendutan izin dari jembatan tersebut adalah 46,4 mm. Maka lendutan dinyatakan tidak aman karena nilai lendutan yang terjadi pada jembatan lebih besar dari nilai lendutan izin.

Kata Kunci : Evaluasi, Jembatan Kereta Api, Kekuatan dan Keamanan, Lendutan.

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan sarana pendukung transportasi yang sangat dibutuhkan untuk menghubungkan suatu daratan yang terpisah oleh sungai, laut, lembah, jurang dan rintangan lainnya. Pada sarana transportasi kereta api, jembatan merupakan fasilitas penunjang yang sangat penting karena angkutan kereta api di Indonesia merupakan transportasi darat yang banyak di gunakan baik untuk angkutan penumpang, barang, logistik, hasil kebun, bahkan hasil pertambangan baik di pulau Jawa ataupun di luar Jawa.

Jaringan perkeretaapian di luar pulau Jawa sendiri sudah ada sejak zaman kolonial Belanda yang terbentang di pulau Sumatra. Pada awalnya jalur kereta api dipulau Sumatera di peruntukan untuk membawa hasil pertambangan batu bara yang ada di provinsi Sumatra Utara, Sumatra Selatan dan juga Lampung ke titik stockpile. Selain itu di pergunakan juga untuk memebawa hasil kebun yang sebagian besarnya merupakan kopi, karet dan juga kelapa sawit.

Salah satu contohnya adalah jembatan kereta api BH 935 yang berada di desa Muara Lawai, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatra Selatan atau berada di wilayah divre III Sumatra Selatan. Jembatan yang terbentang sepanjang 37

meter diatas anak sungai Lematang di bangun di atas 2 abutmen dan menggunakan jembatan rangka baja jenis WTT (Welded Throught Truss), yang dibangun pada masa kolonial Belanda pada tahun 1933 yang masih aktif digunakan hingga saat ini, dan rutin dilewati kereta penumpang, kereta barang, kereta batu bara dan juga kereta minyak milik Pertamina. Melihat kondisi dari usia jembatan yang cukup tua menjadi dasar utama dalam melakukan evaluasi pada jembatan tersebut dengan menggunakan aturan-aturan terbaru.

Karena hal itu lah yang mendasari penelitian mengenai evaluasi pada jembatan kereta api BH 935, dimana pada nantinya hasil evaluasi ini dapat dijadikan sebagai salah satu pertimbangan dalam pemeliharaan jembatan kereta api BH 935. Evaluasi ini dilakukan dengan cara menganalisis gaya dalam, safety factor gaya dalam, jumlah baut pada sambungan dan lendutan pada jembatan. Dari analisis ini maka akan di dapatkan hasil dari evaluasi jembatan kereta api BH 935 apakah masih layak digunakan atau tidak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu

rintangan yang tidak sebidang dan berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya berupa sungai, laut, atau jalan lalu lintas biasa (Struyk dan Veen, 1984). Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknik dan estetika arsitektural yang meliputi: aspek lalu lintas, aspek teknis, dan aspek estetika. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan, 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. Jembatan terdiri dari dua bagian, yaitu bangunan atas dan bangunan bawah.

2.2 Peran dan Karakteristik Kereta Api di Indonesia

Menurut Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 pasal 3 tentang perkeretaapian, kereta api adalah sarana transportasi dengan tenaga penggerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan gerbong lainnya yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api. Dalam peraturan kementerian perhubungan menyatakan bahwa kereta api merupakan moda transportasi dengan konsumsi bahan bakar yang paling efisien ditinjau dari jumlah penumpang yang dapat diangkut maupun jarak perjalanannya serta konsumsi energinya dibanding moda transportasi darat lainnya.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 43 Tahun 2011 tentang RIPNAS, layanan moda perkeretaapian harus terintegrasi dengan layanan moda transportasi lainnya seperti udara, darat dan laut. Sehingga layanan kereta api tidak lagi identik dengan perjalanan antar kota, tetapi akan semakin berkembang menjadi layanan kereta api menuju bandara, layanan kereta api perkotaan dan layanan kereta api menuju pelabuhan.

Angkutan kereta api memiliki karakteristik yang perlu dipahami untuk mengoptimalkan perannya sebagai moda transportasi alat angkut orang dan barang. Utomo (2009), menyebutkan bahwa ada beberapa karakteristik kereta api yang perlu dipahami. Keunggulan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Mempunyai jangkauan pelayanan transportasi barang dan orang untuk jarak pendek, sedang, dan jauh dengan kapasitas

angkut yang besar.

2. Penggunaan energi yang relatif kecil.
3. Keandalan keselamatan perjalanan lebih baik dibandingkan moda lain, dikarenakan mempunyai jalur tersendiri.
4. Mempunyai keandalan dalam ketepatan waktu.
5. Polusi, getaran, dan kebisingan relatif kecil.

2.3 Pembebanan

1. Beban Mati

Beban mati yang perhitungannya adalah beban yang berasal dari bantalan rel, berat rel dan sambungan dari rel itu sendiri yang menumpu pada struktur jembatan.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kereta api yang bergerak yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban hidup nilainya akan berbeda-beda tergantung dari jenis lokomotif yang digunakan. Berikut spesifikasi lokomotif yang sering digunakan di pulau Jawa.

Tabel 1. Profil Lokomotif dan Gerbong Kereta Api

Jenis	Panjang (m)	Lebar (m)	V Maks (km/Jam)
Lokomotif CC 201	14,134	2,642	120
Lokomotif CC 203	14,134	2,642	120
Lokomotif CC 204	14,134	2,642	120
Lokomotif CC 206	15,849	2,743	120
Gerbong Penumpang	20,92	2,99	120

(Sumber : PM No.60 Tahun 2012)

3. Beban Kejut

Beban kejut diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh-pengaruh getaran dan pengaruh dinamis lainnya, tegangan-tegangan akibat beban lokomotif dikalikan dengan koefisien kejut. Perhitungan sederhana untuk faktor i yaitu sebagai berikut:

$$\text{Rel pada alas balas, } i = 0,1 + \frac{22,5}{50+L}$$

$$\text{Rel pada Perletakan kayu, } i = 0,2 + \frac{25}{50+L}$$

$$\text{Rel pada langsung baja, } i = 0,3 + \frac{25}{50+L}$$

4. Beban Horizontal

- a. Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor α terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horizontal.

$$\alpha = \frac{V^2}{127 \cdot R}$$

- b. Beban lateral kereta

Beban lateral kereta adalah beban yang bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horizontal. Besar nilai beban yang bekerja adalah 15% - 20% dari beban gandar masing-masing kereta.

- c. Beban pengereman dan traksi

Beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25 % dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel secara longitudinal.

- d. Beban rel panjang longitudinal

Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m, maksimum 2000 kN.

- 5. Beban Angin

Menurut PM Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, beban angin yang bekerja tegak lurus dengan rel secara horizontal, besaran nilainya 3 kN/m² pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya dan 1,5 kN/m² pada areal kereta dan jembatan dengan kereta di atasnya.

- 6. Beban Gempa Statik

Beban gempa dihitung sesuai dengan peraturan gempa yang berlaku yaitu SNI 2833-2016, Tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Gempa.

- 7. Kombinasi Pembebanan

Perhitungan struktur jembatan rel kereta api dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar.

Tabel 2. Kombinasi Pembebanan Jembatan Kereta

No Kombinasi Pembebanan	Faktor										
	Beban Tetap	Beban Transfer									
		D	L	I (Lxi)	C (Lx α)	LR	LF	B	W1	W2	EQX
1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	-	-	-	-	-	-
2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	-	-	1,0	-	-
3	1,0	1,1	-	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	-
4	1,0	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-
5	-	-	-	-	1,0	-	1,1	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	1,1	-	-	1,0	-	-
7	-	-	-	-	-	-	1,1	-	1,0	-	-
8	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-	-	-	1,0	-
9	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-	1,0
10	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber : PM No.60 Tahun 2012)

Tabel 3. Koefisien Lendutan Maksimum Jembatan Beton Kereta Api

Kereta Penumpang dan Kereta Diesel	Untuk Satu Kereta	Kecepatan Maksimum V (km/jam)	V < 100	L/700	
			100 < V < 130	L/800	L/700
			130 < V < 160	L/1100	L/900
	Untuk Dua Rangkaian atau Lebih	Kecepatan Maksimum V (km/jam)	V < 100	L/800	L/850
100 < V < 130			L/1000	L/1100	
130 < V < 160			L/1300	L/1400	

(Sumber : PM No.60 Tahun 2012)

8. Lendutan

Lendutan didefinisikan sebagai besaran penyimpangan (*deflection*) dari struktur yang tidak boleh melebihi koefisien terhadap panjang teoritis. Koefisien lendutan maksimum jembatan beton kereta api dapat dilihat pada Tabel 3.

3. METODE PENELITIAN

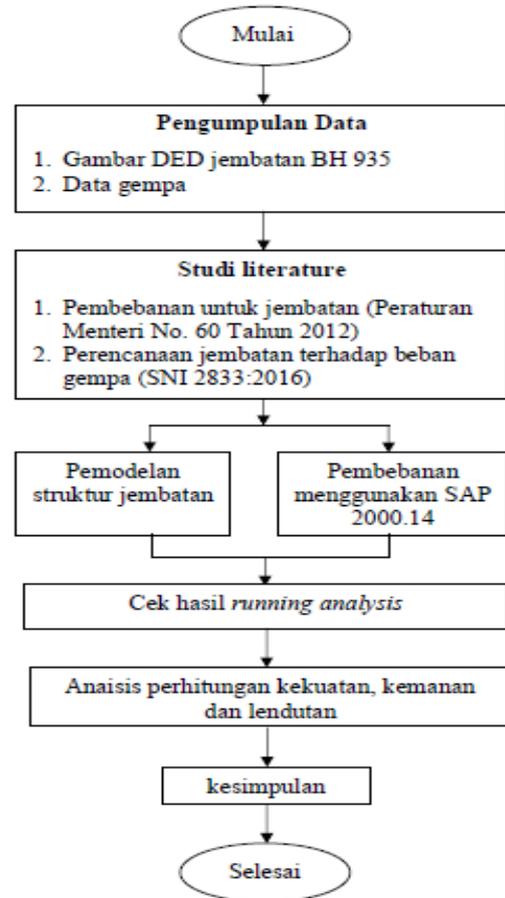
Objek Penelitian ini merupakan jembatan kereta api BH 935 yang terletak di Kabupaten Lahat, Desa Muara Lawai atau di wilayah *divre* III Sumatera Selatan.

Peraturan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012, "Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api".
2. SNI 2833:2016, "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa".
3. RSNi T-03-2005, "Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan".

Dalam penelitian ini, banyak data yang diperlukan agar terjadinya kesinambungan yang baik dan relevan. Proses pengumpulan data yang dilakukan yaitu berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari observasi langsung di lokasi penelitian dan konsultasi dengan pihak terkait. Data sekunder diperoleh dari instransi yang terpercaya berupa data struktur atas, data struktur bawah dan DED.

Analisis data pada penelitian ini dimulai dengan melakukan analisis perhitungan struktur di *software* SAP2000, melakukan perhitungan beban pada jembatan dengan menggunakan Microsoft Excel. Dilanjutkan dengan mengeluarkan *output* gaya dalam, yang selanjutnya perhitungan batang tarik, tekan, geser dan lendutan pada jembatan. Analisis gempa menggunakan dua jenis gempa yaitu, beban gempa statik dan beban gempa dinamik yang mengacu pada SNI 2833:2016 tentang beban gempa pada jembatan dan menggunakan peta gempa tahun 2017. Data beban mati dan beban hidup yang digunakan dalam analisis struktur ini mengacu pada Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api. Analisis sambungan baja mengacu pada RSNi T-03-2005 tentang perencanaan struktur baja untuk jembatan. Diagram alir metode penelitian terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Umum Jembatan

Nama : Jembatan BH 935

Lokasi : Desa Muara Lawai, Kabupaten Lahat, Sumatra Selatan Atau wilayah *divre* III Sumatra Selatan

Jenis : Jembata kereta api

Tahun : 1933

Panjang: 37,12 m

Lebar : 4,6 m

Tinggi : 6 m



Gambar 2. Jembatan BH 935

4.2. Pembebanan Jembatan

Berdasarkan hasil perhitungan pembebanan jembatan BH 935, maka di dapatkan tabel rekapitulasi pembebanan sebagai berikut.

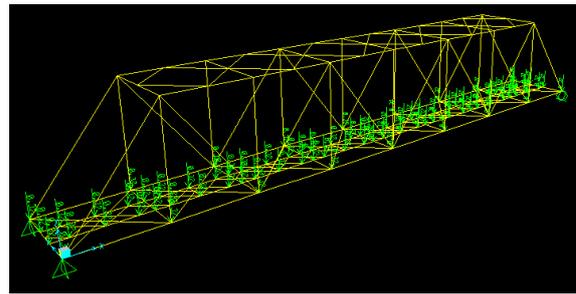
Tabel 4. Rekapitulasi Pembebanan

No	Pembebanan	Hasil	Satuan
1	Beban Mati		
	Beban Mati Tetap	654,362	Kn/M
	Beban Mati	1,6137	Kn/M
2	Beban Hidup		
	Statis Terpusat	150	Kn
	Statis Bergerak	55,68	Kn/M
3	Beban Kejut	0,32	Kn
4	Beban Lateral	11,136	Kn/M
5	Beban Pengereman Dan Traksi	0,21	Kn
6	Beban Angin		
	W1	18,27	Kn
	W2	9,135	Kn
7	Beban Gempa		
	Arah X	2,25	Kn
	Arah Y	2,25	Kn

4.3. Pemodelan Jembatan

Setelah dilakukan analisis pada *Software* SAP 2000 diperoleh *output* yang berupa Gaya Geser (V) Momen (M) dan Gaya Tekan Aksial (P) dari setiap *frame* struktur. Pada Gambar 3

merupakan pemodelan *frame* 3D jembatan BH 935 pada aplikasi SAP2000.



Gambar 3. Beban Kereta Jembatan BH 935 pada SAP2000

4.4. Perhitungan Keamanan Penampang

Proses analisis menggunakan program SAP 2000, hal yang sangat penting adalah keakuratan data *input* dan *output* struktur. Data *input* yang digunakan adalah data material, ukuran dimensi elemen struktur, dan data pembebanan. Setelah proses *input* data, pemodelan, dan pembebanan selesai, selanjutnya dilakukan *running model*. Dari proses *running model* diperoleh data *output* yang digunakan untuk mendesain struktur atas jembatan

Tabel 5 menunjukkan rekap dari hasil perhitungan kontrol batang tekan dan Tarik pada *frame* batang diagonal, gelagar melintang, gelagar memanjang, *stringer*, *bracing* atas, dan ikatan angin.

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan *Frame* Jembatan

Frame	Kontrol Lentur (N)		Kontrol Geser (N)		Tahanan Tekan (N)		Tahanan Tarik (N)			
	Mu	ØMn	Vu	ØVn	Nu	ØNn	Pu	ØTn	Pu	Tn
B.Rel L 55.55.8	0,38	5,33	0,613	59,4	-	-	-	-	-	-
	Aman		Aman							
BA 65.65.9	6,21	18,08	1,97	148,5	72,03	1800	72,03	1737	72,03	2501
	Aman		Aman		Aman		Aman		Aman	
BC C 140.60.7.10	2,45	22,54	0,58	189	-	-	-	-	-	-
	Aman		Aman							
D1 400.110.14.18	-	-	-	-	3247	4234	3247,28	6187	3247,28	4910
					Aman		Aman		Aman	
D2 280.95.10.15	-	-	-	-	2291	3657	2291,65	4468	2291,65	3434
					Aman		Aman		Aman	
D3 260.90.10.14	-	-	-	-	1361	3032	1361,29	4243	1361,29	2110
					Aman		Aman		Aman	
D4 180.70.8.11	-	-	-	-	477,42	1481	477,42	3330	477,42	1195
					Aman		Aman		Aman	

Frame	Kontrol Lentur (N)		Kontrol Geser (N)		Tahanan Tekan (N)		Tahanan Tarik (N)			
	Mu	ØMn	Vu	ØVn	Nu	ØNn	Pu	ØTn	Pu	Tn
GA 350.100.14.16	83,60	304,99	36,03	756	4445	5196	4445,22	5548	4445,22	6989
	Aman		Aman		Aman		Aman		Aman	
GB 300.100.10.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aman		Aman		Aman		Aman		Aman	
GM 500.200	1176	1206,76	717	2295	270,74	2065	270,74	1124	270,74	881
	Aman		Aman		Aman		Aman		Aman	
GR 300.305.15.15	247	476,01	345	526,5	-	-	-	-	-	-
	Aman		Aman		Aman		Aman		Aman	
KA L 65.65.9	0,431	31,17	0,517	189	61,44	2795	61,44	589	61,44	848
	Aman		Aman		Aman		Aman		Aman	
TJ I 200.200.8.12	-	-	-	-	735,55	2716	735,55	2475	735,55	356
	Aman		Aman		Aman		Aman		Aman	

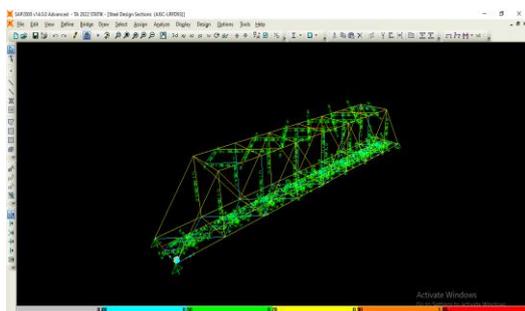
4.5. Lendutan Jembatan

Berdasarkan output hasil analisis evaluasi jembatan kereta api rangka baja tipe WTT BH 935 dengan menggunakan SAP 2000 mendapatkan hasil lendutan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Lendutan } \frac{1}{2} L &= 76,526 \text{ mm} \\ \text{Lendutan } \frac{1}{4} L &= 57,84 \text{ mm} \\ \text{Lendutan izin} &= \frac{1}{800} L \\ &= 46,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dilakukan kontrol terhadap lendutan yang terjadi dimana berdasarkan PM No. 60 tahun 2012 lendutan yang terjadi harus lebih kecil dari lendutan izin.

$$\begin{aligned} \text{Syarat } U3 &< \text{Lendutan izin} \\ 76,52 \text{ mm} &> 46,4 \text{ mm (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$



Gambar 4. Lendutan Jembatan BH 935 pada SAP2000

Berdasarkan kontrol diatas dapat disimpulkan bahwa lendutan yang terjadi di jembatan kereta api BH 935 sudah tidak memenuhi syarat. Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan lendutan pada $\frac{1}{4}$ bentang, $\frac{1}{2}$ bentang pada beban gempa statik dan beban

gempa dinamik. Tabel 6 dan 7 memperlihatkan hasil lendutan terhadap nilai lendutan izin jembatan.

Tabel 6. Rekapitulasi Lendutan (Beban Statik)

Lendutan 1/2 L (mm)	Lendutan 1/4 L (mm)	Lendutan Izin (1/800 L) mm
52,77	40,97	46,40

Tabel 7. Rekapitulasi Lendutan (Beban Dinamik)

Lendutan 1/2 L (mm)	Lendutan 1/4 L (mm)	Lendutan Izin (1/800 L) mm
76,52	57,84	46,40

5. KESIMPULAN

Dari analisis evaluasi jembatan kereta api BH 935 tipe WTT yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang diambil antara lain:

1. Hasil analisis dari kekuatan dan keamanan struktur jembatan kereta api BH 935 didapat bahwa pada frame batang diagonal, gelagar melintang, gelagar memanjang, *stringer*, *bracing* atas, dan ikatan angin dinyatakan aman, karena dari perhitungan kontrol lentur, kontrol kuat geser, tahanan nominal tekan dan tarik gaya *output* yang dihasilkan lebih kecil dari nilai maksimum rencana.
2. Hasil analisis dari lendutan struktur jembatan kereta api BH 935 memiliki nilai 52,776 mm untuk beban gempa staktik, dan 76,526 mm untuk beban gempa dinamik, sedangkan

lendutan izin dari jembatan tersebut adalah 46,4 mm sehingga dari hasil analisis yang dilakukan lendutan pada jembatan dinyatakan tidak aman karena nilai lendutan yang terjadi pada jembatan lebih besar dari nilai lendutan izin.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Baja Tulangan Beton, SNI 2052 : 2017, 2017.
- Irfan, M, “Perbandingan Struktur Atas Jembatan Kereta Api Tipe Warren Truss Dengan Tipe K-Truss”, Universitas Teknologi Yogyakarta, 2021.
- Kurnia, H. A, “Modifikasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Lahor Dengan Menggunakan Konstruksi Busur Rangka Baja”, Departemen Teknik Sipil ITS, Surabaya, 2017.
- Masagala, A. A, “Jembatan Truss Dengan Analisis SAP2000”, PACE, Padang, 2022.
- Masagala, A. A, “Desain Struktur Jembatan Kereta Api Tipe Concrete Through Arch: Studi Kasus Jembatan Kereta Api BH 1828 Purworejo”, *Semesta Teknika*, 25, 71-79, 2022.
- Muspitasari, T, “Evaluasi Peraturan Pembebanan Gandar Kereta Api Di Pulau Jawa Terhadap Kondisi Aktual”, *Jurnal Teknik Sipil UAJY Vol.14 (3)*, 182–187, 2017.
- Pembebanan Untuk Jembatan, SNI 1725: 2016, 2016.
- Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan, RSNI T-03-2005, 2005.
- Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, SNI 2833 : 2016, 2016.
- Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, Peraturan Menteri Perhubungan (PM) No. 60 Tahun, 2012.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S, “Jembatan”, Yogyakarta: Beta Offset, 2013.