

EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR JEMBATAN RASUK PLAT BH 1385 KM 347 + 431 PURWOKERTO TERHADAP BEBAN STATIS LOKOMOTIF CC 206

Fajryn Ferdiansyah
Prodi D-III Teknologi Bangunan
dan Jalur Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Muh. Adib Kurniawan¹
Prodi D-III Teknologi Bangunan
dan Jalur Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Nanda Ahda Imron
Prodi D-III Manajemen
Transportasi Perkeretaapian
Politeknik Perkeretaapian
Indonesia
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan
Lor, Kec. Manguharjo,
Kab. Madiun, Jawa Timur 63161

Abstract

This research analyzes the strength of the upper structure of plate girders BH 1385 KM 347 + 431 between Karangandul - Purwokerto on the downstream route of Cirebon-Kroya. The analysis includes assessing its capacity to withstand the locomotive series CC 206 load, considering its construction history since 1917 and the planned load in 1911. The bridge's steel profile was measured for technical drawings involving the steel profile's inertia with hole elongation. Working loads were manually analyzed and compared with SAP 2000 application results. The analysis indicates a deflection of 0.717 cm manually and 0.624 cm with SAP 2000, with bending stresses of 0.903 T/cm² and 0.592 T/cm², respectively. Both results remain below the allowable deflection limit of 1.35 cm and the stress limit of 1.300 T/cm², confirming the bridge's current safety. These calculations serve as a reference for the bridge's safety.

Keywords: bridge, structure, deflection, stress, tolerance, safety

Abstrak

Penelitian ini menganalisis kekuatan struktur bagian atas jembatan baja tipe rasuk plat BH 1385 KM 347 + 431 di antara Karangandul - Purwokerto, jalur hilir Cirebon-Kroya. Analisis mencakup kemampuan jembatan menahan beban lokomotif seri CC 206 dengan mempertimbangkan sejarah konstruksi sejak 1917 dengan rencana muatan rencana tahun 1911. Pengukuran profil baja jembatan dilakukan untuk gambar teknis dan perhitungan melibatkan inersia profil baja dengan perlemahan lubang keling. Beban-beban yang bekerja kemudian dianalisis secara manual dan dibandingkan dengan hasil aplikasi SAP 2000. Hasil menunjukkan lendutan jembatan sebesar 0,717 cm secara manual dan 0,624 cm dengan SAP 2000, serta tegangan lentur masing-masing 0,903 T/cm² dan 0,592 T/cm². Kedua hasil tetap di bawah izin maksimum lendutan 1,35 cm dan tegangan 1,300 T/cm², menunjukkan jembatan masih aman menahan beban saat ini. Hasil perhitungan ini dapat digunakan sebagai acuan keamanan jembatan.

Kata Kunci: jembatan, struktur, lendutan, tegangan, toleransi, aman

PENDAHULUAN

Menurut Jaya (2018), Jembatan berfungsi untuk menghubungkan dua ruas jalan yang terpisah oleh rintangan atau topografi yang lebih rendah, seperti sungai, lembah, atau selat, sehingga memudahkan dan mempercepat akses antar daerah. Jembatan kereta api merupakan bagian penting dari infrastruktur kereta api yang mendukung transportasi. Jembatan rasuk adalah jembatan di mana beban dari atasnya langsung diterima oleh gelagar induk, lalu diteruskan ke andas baja pada pangkal atau pilar.

¹ Corresponding author: adib@ppi.ac.id

Menurut PD 10D (2017), terdapat beberapa jenis jembatan rasuk berdasarkan jenis gelagar induk yang digunakan, salah satunya adalah jembatan rasuk plat dengan bentang 6 - 20 meter. Salah satu contohnya adalah jembatan BH 1385 KM 347 + 431 antara Karanggandul - Purwokerto di jalur hilir Cirebon - Kroya adalah jembatan baja rasuk plat dengan bentang teoritis 10,80 meter dan panjang konstruksi 11,40 meter. Jembatan ini dibangun sejak tahun 1917 oleh Belanda dengan rencana muatan pada tahun 1911. Pada tahun 1960, jembatan ini diperkuat hingga mampu menahan 75% muatan rencana 1921, sehingga dapat dilalui oleh lokomotif seri BB/CC 200-an. Pada tahun 2015, pengadaan lokomotif baru CC 206 dengan berat 90 ton mengakibatkan perubahan beban yang ada pada struktur jembatan. Melihat kondisi dari fenomena yang terjadi menjadi dasar utama dalam melakukan analisis pada jembatan tersebut dengan peraturan yang berlaku.

Oleh karena itu, evaluasi kekuatan struktur jembatan rasuk plat BH 1385 KM 347 + 431 terhadap beban statis dan dinamis dari lokomotif CC 206 menjadi sangat penting. Evaluasi ini akan memberikan pemahaman mendalam tentang seberapa aman dan dapat diandalkan jembatan ini dalam menghadapi beban-beban yang bekerja selama operasional kereta api. Studi evaluasi ini akan dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek seperti tegangan lentur, tegangan geser, lendutan, dan respon dinamis struktur jembatan terhadap beban lokomotif. Data-data dari pemeriksaan awal serta perhitungan manual akan digunakan sebagai acuan dalam menguji performa struktur jembatan dengan bantuan aplikasi pemodelan struktur seperti SAP 2000.

Hasil evaluasi diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat dan reliabel mengenai keandalan jembatan rasuk plat BH 1385 KM 347 + 431. Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang kekuatan struktur jembatan, langkah-langkah perbaikan atau perkuatan dapat diambil untuk memastikan kelancaran dan keamanan lalu lintas kereta api di wilayah tersebut. Selain itu, pengetahuan dari evaluasi ini dapat diterapkan pada perencanaan, perancangan, dan konstruksi jembatan kereta api masa depan untuk memastikan kehandalan dan keamanannya dalam menghadapi beban-beban yang bekerja.

METODE PENELITIAN

Objek penelitian yang dilakukan merupakan jembatan kereta api BH 1385 yang terletak pada KM 347 + 431 antara Karanggandul - Purwokerto di jalur hilir Cirebon – Kroya. Adapun peraturan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, tentang persyaratan teknis jalur kereta api terkait lendutan yang diizinkan.
2. A.V.B.P. 1932, “*Algemene Voorschriften Betreffende Ijzeren Bruggen an pijlers voor spoor an tramwegen in Indonesia*” atau “Peraturan Umum mengenai Jembatan dan Pijler Besi untuk Jalan Kereta Api dan Tram di Indonesia” terkait nilai aman dari tegangan lentur, tegangan geser, tegangan tekan.
3. Peraturan Dinas 10D Jilid I, “Perencanaan Jembatan dan Pilar Baja Jalan Kereta Api”, terkait nilai yang diizinkan seperti tegangan lentur, tegangan geser, tegangan tekan.

Pada penelitian ini, banyak data yang diperlukan dalam mengkorelasikan antara fakta dan perhitungan hingga pengambilan keputusan hasil perhitungan dengan melihat peraturan

yang digunakan. Adapun data primer yang diperlukan dengan melakukan pengukuran jembatan meliputi, panjang bentang jembatan, sks jembatan, detail profil baja jembatan, serta penggambaran jembatan yang dituangkan dalam bentuk gambar teknis yang nantinya mempermudah dalam melakukan pengolahan data. Data sekunder diperoleh dari pihak instansi terkait berupa daftar letak jembatan, *As Build Drawing* jembatan bertipe sama, dan wawancara.

Analisa data pada penelitian ini dimulai dengan melakukan pengukuran secara langsung di lapangan guna dapat dituangkan dalam bentuk gambar teknis dengan menggunakan *software* Civil 3D. Melakukan perhitungan momen inersia pada profil baja tersusun guna mengetahui inersia momen serta werstan momen yang ada pada profil baja tersusun. Dilanjutkan dengan melakukan perhitungan perletakan beban terhadap beban gandar CC206 guna menentukan keadaan momen paling kritis, yang selanjutnya digunakan dalam analisis perhitungan manual yang meliputi lendutan, tegangan lentur, tegangan pada akhiran plat tepi lapis 2 dan 3, tegangan geser, tegangan tekan pada andas baja, tegangan tekan pada andas beton yang mengacu pada A.V.B.P. 1932 tentang Peraturan Umum mengenai Jembatan dan Pijler Besi untuk Jalan Kereta Api dan Tram di Indonesia. Kemudian melakukan pemodelan jembatan di *software* SAP2000 dengan menginput pembebanan yang digunakan. Dilanjutkan dengan mengeluarkan output lendutan maksimum, tegangan lentur, tegangan pada akhiran plat tepi 2 dan 3.

Data Jembatan

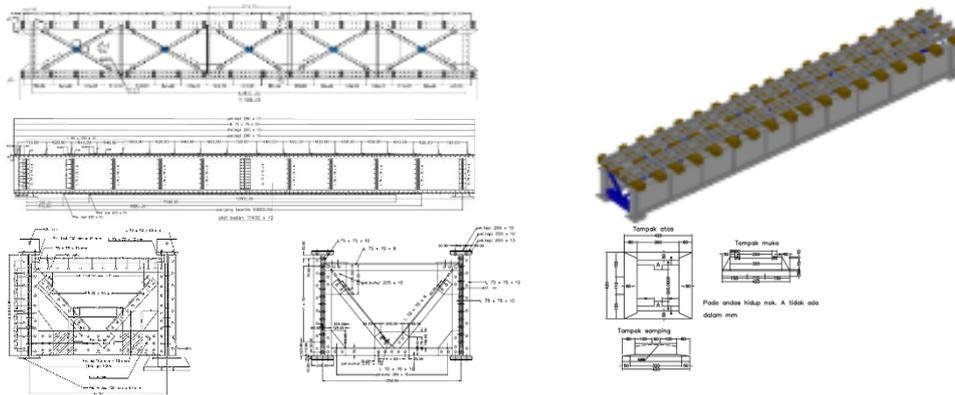
Nama : Jembatan BH 1385
Lokasi : KM 347+431 antara Karanggandul - Purwokerto di jalur hilir Cirebon - Kroya
Jenis : Rasuk Plat
Tahun : 1917
Panjang : 11,4 m
Mutu baja : ST 37



Gambar 1. Jembatan BH 1385

Gambar Teknis Jembatan

Berdasarkan hasil dari pengukuran di lapangan dapat dituangkan dalam bentuk gambar teknis di *software* Civil 3D sebagai berikut:



Gambar 2. Gambar teknis jembatan

Didapatkan ukuran bentang jembatan teoritis sepanjang 10,8 meter dan lebar sks (sumbu ke sumbu) 1,25 meter digunakan dalam melakukan analisis perhitungan serta sebagai acuan pemodelan gambar di SAP2000.

Momen Inersia Rasuk Pokok

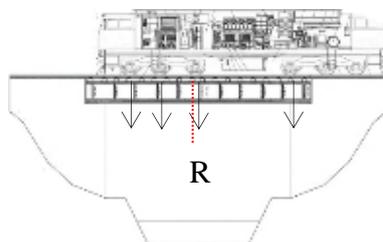
Berdasarkan hasil perhitungan momen inersia pada profil baja tersusun, maka didapatkan nilai dalam tabel rekapitulasi sebagai berikut.

Tabel 1. Rekapitulasi Ix dan Wx

Variabel		Plat tepi lapis ke-			Satuan
		1	2	3	
Ix	Profil utuh	317524,19	413567,52	513570,85	cm ⁴
Ix	Perlemahan	74361,145	81944,286	113468,88	cm ⁴
Ix	Profil sebenarnya	243163,04	331623,23	400101,97	cm ⁴
Wx	Western momen	5013,671	6699,459	7922,811	cm ³

Pembebanan Jembatan

Menurut buku mekanika teknik statis tertentu karya Ir. Sarjono, untuk mencari Resultan gaya dari beban 4 gandar dengan total beban 56 ton pada jembatan seperti gambar di bawah:



Gambar 3. Kondisi momen paling kritis terhadap perletakan gandar

Berdasarkan hasil perhitungan beban yang bekerja pada jembatan BH 1385, maka diperoleh tabel rekapitulasi sebagai berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi pembebanan

No	REKAPITULASI		
	Variabel	Hasil	Satuan
1.	Beban mati tetap	7,632	Ton
2.	Beban mati	3,569	Ton
3.	Beban santak	0,611	-koef
4.	Momen maks	79376,25	Tcm
5.	Momen maks x santak	12788,98	Tcm
6.	Momen permanen	1512,15	Tcm
7.	Momen total tanpa santak	14301,13	Tcm
8.	Momen total dengan santak	9449,78	Tcm
9.	Beban Angin	100	Kg/cm ²
10.	Berat andas baja	70	Kg

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Manual

Berdasarkan hasil perhitungan manual menggunakan metode A.V.B.P. 1932 terhadap beban yang bekerja pada jembatan, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut,

Lendutan

Menurut A.V.B.P. 1932 pada pasal 27, perhitungan lendutan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f_{maks} = \frac{5.M_{maks}.l^2}{48 E.I} \quad (1)$$

$$f_{maks} = \frac{5 \times 9449779 \times 1080^2}{48 \times 2000000 \times 2 \times 400101,9737} = \mathbf{0,7174 \text{ cm}}$$

Dimana :

f = Lendutan (cm)

l = panjang (cm)

E = modulus elastis

I = momen inersia (cm⁴)

Tegangan lentur

Menurut A.V.B.P. 1932 pasal 21, perhitungan tegangan lentur sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{M_{maks}}{W_x} \quad (2)$$

$$\sigma_b = \frac{14301,13024}{7922,81 \times 2} = \mathbf{0,9025 \text{ T/cm}^2}$$

Dimana :

σ_b = tegangan lentur (T/cm²)

M_{maks} = momen maksimum (Tcm)

W_x = werstan momen (cm³)

Tegangan akhiran plat tepi 2

Perhitungan tegangan lentur akhiran plat tepi 2 dilakukan dengan menggeser titik beban gandar pertama tepat di atas akhiran plat tepi 2. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

$$\sigma b = \frac{M_{maks}}{W_x} \quad (3)$$

$$\sigma b = \frac{5196,58}{6699,46 \times 2} = \mathbf{0,3878 \text{ T/cm}^2}$$

Dimana :

- σb = tegangan lentur (T/cm²)
- M_{maks} = momen maksimum (Tcm)
- W_x = werstan momen (cm³)

Tegangan akhiran plat tepi 3

Perhitungan tegangan lentur akhiran plat tepi 3 dilakukan dengan menggeser titik beban gandar pertama tepat di atas akhiran plat tepi 3. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

$$\sigma b = \frac{M_{maks}}{W_x} \quad (4)$$

$$\sigma b = \frac{7998,1987}{7922,81 \times 2} = \mathbf{0,5048 \text{ T/cm}^2}$$

Dimana :

- σb = tegangan lentur (T/cm²)
- M_{maks} = momen maksimum (Tcm)
- W_x = werstan momen (cm³)

Tegangan geser

Perhitungan tegangan geser dilakukan pada profil rasuk pokok ujung jembatan tepat diatas tumpuan andas. Menurut A.V.B.P. 1932 pasal 23, perhitungan tegangan geser:

$$\tau = \frac{D \cdot s}{b \cdot I} \quad (5)$$

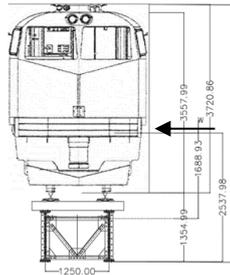
$$\tau = \frac{34,425 \times 3892,817}{1 \times 317524,1853} = \mathbf{0,422 \text{ t/cm}^2}$$

Dimana :

- D = gaya lintang balok (ton)
- s = statis momen yang ditinjau (cm³)
- b = tebal pelat (cm)
- I = momen inersia (cm⁴)

Tekanan angin

Menurut A.V.B.P 1932 perhitungan beban angin sebagai berikut.



Gambar 4. Beban angin terhadap jembatan dengan sarana

- a. Tegangan akibat pembebanan angin terhadap sumbu y:

$$\sigma_b(wh) = \frac{Mwh}{Wy}$$

$$\sigma_b(wh) = \frac{3,356}{498,59} = 0,00673 \text{ T/cm}^2$$

- b. Tegangan akibat pembebanan angin terhadap sumbu x:

$$\sigma_b(wv) = \frac{Mwv}{Wx}$$

$$\sigma_b(wv) = \frac{999,946}{7922,81} = 0,126211 \text{ T/cm}^2$$

- c. Tegangan total yang terjadi akibat beban angin:

$$\sigma_b(ms + p + v) = \sigma_b(p + ms) + \sigma_b(wh + wv)$$

$$\sigma_b(ms + p + v) = 0,9025 + 0,00673 + 0,126211$$

$$\sigma_b(ms + p + v) = \mathbf{1,03547 \text{ T/cm}^2}$$

Tegangan andas baja

Menurut A.V.B.P. 1932 pasal 25, Perhitungan tegangan tekan andas beton sebagai berikut:

$$\sigma_t = \frac{M}{S} \tag{6}$$

$$\sigma_c = \sigma_t = \frac{M}{S} \rightarrow \frac{180,731}{588} = \mathbf{0,3074 \text{ T/cm}^2}$$

Dimana :

- σ_t = Tegangan tekan pada balok (kg/cm²)
- M = Momen memanjang gelagar pada andas (kgcm)
- S = Modulus penampang pada balok (cm³)

Tegangan andas beton

Menurut A.V.B.P. 1932 pasal 25, Perhitungan tegangan tekan andas beton sebagai berikut:

$$\sigma_d = \frac{RA(p+ms)}{A \text{ andas}} \tag{7}$$

$$\sigma_d(p + ms) = \frac{RA(p+ms)}{A \text{ andas}} \rightarrow \frac{34425}{42 \times 42} = \mathbf{19,555 \text{ kg/cm}^2}$$

Dimana :

- σ_d = tegangan tekan (kg/cm²)
- RA (p+ms) = Reaksi tumpuan total maksimum beban hidup terkena santak dengan berat andas baja (kg)
- A = luas permukaan (cm²)

Rekapitulasi Hasil perhitungan

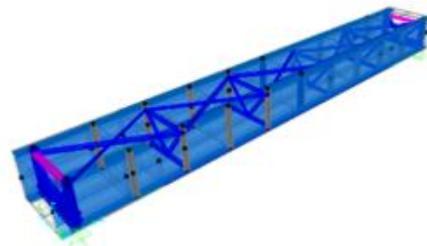
Setelah dilakukan perhitungan di atas menggunakan metode perhitungan manual yang mengacu pada A.V.B.P. 1932, maka diperoleh nilai-nilai sebagai berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan manual

No	Variabel	Lokomotif CC 206	koefisien izin	satuan
		Manual		
1	Lendutan	0,717	1,350	cm
2	Tegangan lentur	0,903	1,300	T/cm ²
3	Tegangan pada akhiran plat tepi 2	0,388	1,300	T/cm ²
4	Tegangan pada akhiran plat tepi 3	0,505	1,300	T/cm ²
5	Tegangan geser pada plat badan	0,422	0,780	T/cm ²
6	Tegangan beban angin dengan kereta	1,014	1,450	T/cm ²
7	Tegangan normal pada andas	0,3074	1,360	T/cm ²
8	Tegangan pada andas beton	19,555	30,000	kg/cm ²

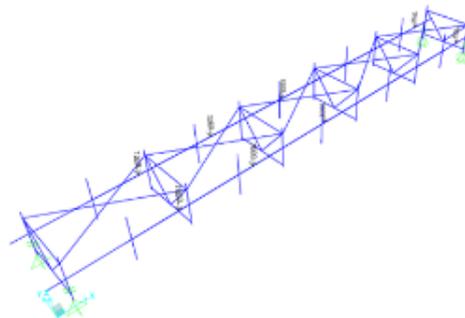
Metode Perhitungan Aplikasi SAP2000

Pemodelan jembatan SAP2000



Gambar 5. Pemodelan Jembatan BH 1385 pada SAP2000

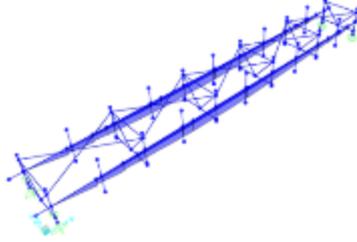
Setelah dilakukan pemodelan selanjutnya dilakukan penginputan beban-beban yang bekerja pada jembatan. Kemudian dilakukan analisis berupa hasil lendutan dan tegangan lentur maksimum yang terjadi pada struktur jembatan. Pada gambar di bawah ini merupakan model *frame* jembatan BH 1385 pada aplikasi SAP2000.



Gambar 6. Beban Lokomotif CC 206 Jembatan BH 1385 pada SAP2000

Lendutan

Berdasarkan output yang dihasilkan dari analisis jembatan rasuk plat BH 1385 dengan menggunakan SAP2000 didapatkan hasil lendutan sebagai berikut.



Gambar 7. Garis defleksi akibat beban

Didapatkan hasil lendutan maksimum yang bekerja sebagai berikut.



Gambar 8. Defleksi maksimum

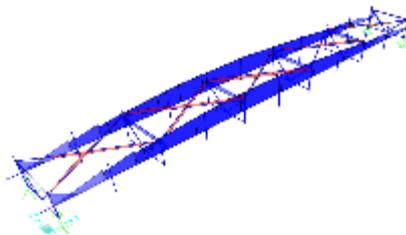
$$f = 0,624 \text{ cm}$$

Dilakukan kontrol lendutan terhadap koefisien yang diizinkan pada PM No. 60 Tahun 2012: \bar{f} untuk lokomotif jembatan bentang < 50 m

$$\bar{f} = \frac{1080}{800} = 1,35 \text{ cm} > 0,624 \text{ (memenuhi)}$$

Tegangan Lentur

Berdasarkan output yang diperoleh dari hasil analisis pada jembatan BH 1385 terhadap beban yang bekerja.



Gambar 9. Garis stress akibat beban

Maka didapatkan hasil tegangan lentur maksimum sebagai berikut.



Gambar 10. Maksimum stress

$$\sigma_b = 0,592 \text{ T/cm}^2$$

Maka perlu dilakukan kontrol terhadap tegangan yang terjadi akibat beban. Menurut A.V.B.P. 1932 pada pasal 21 tentang tegangan lentur pada rasuk pokok yaitu,

$$\bar{\sigma} = 1,300 \text{ T/cm}^2 > 0,592 \text{ (memenuhi)}$$

Rekapitulasi Hasil Analisis

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai-nilai yang direkapitulasi dalam tabel berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi analisis SAP2000

No	Variabel	Lokomotif CC 206	koefisien izin	satuan
		SAP 2000		
1	Lendutan	0,624	1,350	cm
2	Tegangan lentur	0,592	1,300	T/cm ²
3	Tegangan pada akhiran plat tepi 2	0,235	1,300	T/cm ²
4	Tegangan pada akhiran plat tepi 3	0,318	1,300	T/cm ²
6	Tegangan beban angin + kereta	1,059	1,450	T/cm ²

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kekuatan jembatan terhadap beban lokomotif seri CC 206, jembatan tersebut aman dengan lendutan sebesar 0,717 cm (manual) dan 0,624 cm (SAP 2000), serta tegangan lentur sebesar 0,903 T/cm² (manual) dan 0,592 T/cm² (SAP 2000). Tegangan akibat beban angin sebesar 1,014 T/cm² (manual) dan 1,059 T/cm² (SAP 2000), tegangan geser sebesar 0,422 T/cm², tegangan normal pada andas sebesar 0,3074 T/cm², dan tegangan pada andas beton sebesar 19,556 kg/cm². Semua nilai tersebut masih berada di bawah nilai koefisien izin yang ditetapkan, menunjukkan bahwa jembatan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- AVBP 1932. (1932). *Peraturan Umum Mengenai Jembatan Dan Pijler Besi Untuk Jalan Kereta Api Dan Tram Di Indonesia*, hal 4-34
- Bagaskara, P. K. (2022). Evaluasi Pemeriksaan Jembatan Bh 444 Dan Bh 32 Pada Lintas Madiun-Magetan. Madiun, hal. 7-12.
- Direksi PT. KAI. (2017). Peraturan Dinas 10D (PD) Jilid I Peraturan Jembatan Dan Pilar Baja Kereta Api. Bandung, hal. 6-41
- Erlangga, A. W., Erlangga, W., & Dewi, P. (2017). Perancangan Superstructure Jembatan Kereta Api Bentang 100 Meter Tipe Rangka Baja. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, 1 Nomor 1.
- Jaya, T. (2018). Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api Dengan Sistem Busur Atas Dan Bawah.
- Murwanto, Y., & Priadi, E. (2020). Kajian Nilai Lendutan Pada Jembatan Rangka Baja (Study Kasus Jembatan Rangka Baja Bika Kabupaten Kapuas Hulu).

- PM No. 60 Tahun 2012. (2012). Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Jakarta, hal. 33-38.
- PT. Kereta Api, P. u. (2017). Manajemen Perawatan Jembatan. Bandung, hal. 48-49.
- Suwandi. (2020). *Perawatan Jembatan Kereta Api*. Yogyakarta, hal. 85-88.