



Tinjauan Struktur Bangunan Atas Jembatan Rangka Baja Belanda Air Tkl Peninggalan

Andrew Nugraha Standyarto¹, Eko Hartono²

¹ Teknik Jalan dan Jembatan Ahli Muda, Direktorat Pembangunan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR

² Teknik Jalan dan Jembatan Ahli Muda, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sumatera Selatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR
andrew.standyarto@pu.go.id, ehartono@pu.go.id

Abstrak

Kajian ini dilakukan untuk mengevaluasi struktur atas bangunan jembatan tipe Rangka Baja Belanda (RBB) Jembatan Air Tkl Peninggalan. Jembatan ini terletak di ruas Peninggalan - Bts Provinsi Jambi, yang merupakan bagian dari jalan Lintas Timur Sumatera di Provinsi Sumatera Selatan. Jembatan Air Tkl Peninggalan dibangun pada tahun 1980 yang memiliki panjang 30 m + 60 m + 30 m dan lebar 6 m. Pengujian Hardness dilakukan untuk mengetahui mutu baja eksisting, dan uji beban dilakukan untuk mendapatkan frekuensi alami struktur jembatan yang akan dibandingkan dengan frekuensi hasil analisis dengan menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) maupun metode teoritis. Uji beban menggunakan metode statis dan dinamis (beban bergerak) dengan sebuah truk yang memiliki berat total 42 ton dilakukan dengan cara melompati papan jumping dan truk bergerak dengan variasi kecepatan 20, 30 dan 40 km/jam. Dua buah accelerometer masing-masing dipasang di seperempat dan setengah bentang untuk merekam getaran-getaran yang terjadi pada setiap pengujian yang kemudian ditransfer menjadi frekuensi alami dengan metode Fast Fourier Transform (FFT). Dari studi diperoleh mutu baja eksisting rata-rata masih memenuhi persyaratan minimum kuat tarik baja untuk struktur, yaitu 470 Mpa. Frekuensi alami jembatan yang didapatkan di lapangan sebesar 2,05 Hz (tengah bentang) dan 2,10 Hz (seperempat bentang), sedangkan hasil sesuai model sebesar 2,09 Hz. Hasil tersebut masih berada di atas nilai frekuensi alami teoritis 125/L (2,083 Hz) sehingga jembatan masih memenuhi persyaratan. Secara kekakuan sesuai hasil uji beban statis, lendutan pada bentang 60 m melewati batas lendutan dengan 75,01 mm dan rasio tegangan terhadap kapasitas > 1 pada 38 elemen batang diagonal. Sesuai hasil tersebut perlu dilakukan langkah-langkah antisipatif berupa perkuatan struktur atau pembatasan beban kendaraan yang melalui jembatan tersebut menggunakan portal

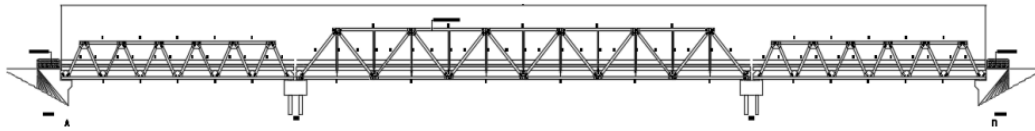
Kata kunci: Jembatan Rangka Baja, Uji Beban, Frekuensi Alami, Perkuatan.

1. Pendahuluan

Jembatan merupakan bangunan pelengkap jalan yang berfungsi menghubungkan 2 (dua) lokasi yang terisolasi dan dipisahkan oleh rintangan seperti sungai, jurang hingga laut. Keberadaan jembatan sangat penting untuk menunjang konektivitas jaringan-jaringan jalan, sehingga keandalan strukturnya perlu mendapatkan perhatian agar tidak mengganggu kenyamanan pengguna lalu lintas dan perekonomian suatu wilayah. Salah satu jenis jembatan yang banyak digunakan adalah jembatan tipe rangka baja seperti pada Jembatan Air Tkl Peninggalan.

Jembatan Air Tkl Peninggalan merupakan jembatan tipe bangunan atas bentang utamanya berupa Rangka Baja Belanda (RBB) yang dibangun pada tahun 1980 dengan 2 tipe bentang 30 m dan 60 m. Jembatan ini terletak di salah satu ruas jalan nasional tersibuk di Pulau Sumatera, yaitu ruas jalan Lintas Timur Sumatera. Evaluasi struktur pada bangunan atas jembatan diperlukan dengan pertimbangan faktor usia yang melebihi 40 tahun dan beban lalu lintas yang melalui jembatan tersebut telah bertambah dibanding awal desain. Selain itu juga

perlu dilakukan tinjauan terhadap peraturan pembebanan terbaru yang tentunya telah berbeda dibandingkan saat konstruksi di tahun 1980. Gambar tampak memanjang dan data teknis jembatan ditampilkan pada Gambar 1 dan Tabel 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Tampak Memanjang Jembatan Air Tkl Peninggalan

Tabel 1. Data Umum Jembatan Air Tkl Peninggalan

No	Uraian	Keterangan
1	Nama Jembatan	Air Tkl Peninggalan
2	Lokasi	Ruas Jalan Peninggalan - Bts Provinsi Jambi
3	Panjang	30 + 60 + 30 (120 m)
4	Lebar Jembatan	0,5 + 6,0 + 0,5 (Kelas B)
5	Tahun Konstruksi	1985
6	Tipe BA Bentang Utama	Rangka Baja Belanda (RBB)
7	Jumlah Jalur/Lajur	1 jalur/2 lajur
8	Nilai Kondisi 2021	BB:2 BA:2 LNT:2 DAS:2

Sumber: Data BMS 2021

Penelitian ini difokuskan untuk meninjau struktur eksisting jembatan bentang utama, yaitu tipe RBB kelas B dengan panjang 60 meter. Pengujian-pengujian lapangan dilakukan untuk mendapatkan data eksisting yang akan digunakan sebagai data masukan model dengan menggunakan software SAP 2000 dengan pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016. Agar jembatan tetap sustainable dalam menerima beban lalu lintas eksisting, rencana perkuatan akan disampaikan berdasarkan hasil tinjauan..

2. Metode

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan studi literatur, serta pengumpulan data primer dan sekunder dengan rincian sebagai berikut:

- a. Studi Literatur (Nilai sisa kapasitas jembatan, jembatan rangka, uji kekerasan baja, uji beban statik dan dinamik);
- b. Pengumpulan Data (as built drawing, spesifikasi teknis)
- c. Pengujian Lapangan
 - Uji Kekerasan (kuat leleh baja)
 - Uji Beban Statik (lendutan)
 - Uji Beban Dinamik (frekuensi alami)

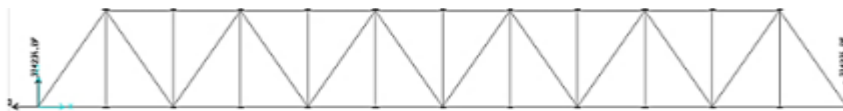
- d. Pemodelan SAP2000 (lendutan, frekuensi alami dan rasio tegangan)
- e. Komparasi Hasil Pemodelan dan Pengujian Lapangan
- f. Pembuatan Laporan

3. Tinjauan Pustaka

Salah satu tujuan dilaksanakan evaluasi struktur adalah untuk mengetahui nilai sisa kapasitas jembatan. Berdasarkan Pedoman Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan (2011) disebutkan bahwa nilai sisa kapasitas jembatan perlu diperhitungkan untuk menjamin tingkat keamanan struktur dan bagian-bagiannya akibat penurunan kinerja material akibat pelapukan dan usia, kerusakan yang diakibatkan oleh bencana alam, berlakunya standar baru maupun adanya kesalahan dalam perencanaan dan atau pelaksanaan. Metode yang sering dilakukan untuk menghitung kapasitas jembatan eksisting adalah dengan metode analitik (posting load) dan uji beban lapangan (loading testing).

3.1. Jembatan Rangka Baja Belanda

Jembatan Rangka Baja Belanda (RBB) merupakan tipe jembatan yang memanfaatkan elemen batang berupa baja profil dalam menerima beban dari dek melalui cross girder, bottom chord, untuk kemudian diteruskan ke diagonal lalu ke pondasi serta tanah dasar. Metode konstruksi jembatan rangka dapat dilakukan dengan perakitan elemen demi elemen menggunakan perancah atau kantilever dengan counterweight beban yang sama. Jembatan rangka baja adalah sistem struktur menganggap hanya gaya aksial (tekan atau tarik) yang terjadi pada elemen batang rangka seperti tipe rangka Warren atau Pratt sesuai Gambar 2:



Gambar 2. Jembatan Tipe Warren

Sumber: Anugraha (2015:11)

3.2. Uji Hardness/Kekerasan

Pengujian Hardness merupakan pemeriksaan khusus tipe destruktif yang dilakukan untuk mengetahui mutu baja eksisting jembatan rangka baja. Sebagai parameter yang digunakan dalam pemodelan struktur, kuat tarik baja (f_y) aktual diperlukan untuk pemutakhiran data struktur jembatan. Uji kekerasan baja dilakukan sesuai dengan standar ASTM A956 (Leeb) dan ASTM E 140-97: Standard hardness conversion tables for metals dengan peralatan portable hardness test, gerinda untuk meratakan permukaan baja dan form.

3.3. Uji Beban

Uji beban statik dan dinamik dilakukan untuk mengetahui parameter kekakuan dan frekuensi natural jembatan.

a. Uji Beban Statik

Hasil lendutan uji beban statik dibandingkan dengan lendutan ijin $L/800$ untuk menilai kekakuan eksisting struktur bagi kenyamanan pengguna jalan. Agar jumlah truk 25 – 35 ton minimal saat pengujian, beban hidup saat pengujian dapat ditetapkan 70% - 80% saja dari beban LL desain karena jembatan masih dapat dianggap elastik (Suhendro, 2020). Truk diposisikan secara bertahap dari tengah bentang ke arah tumpuan secara simetris selayaknya garis pengaruh. Setiap respon beban dimonitor dengan sensor untuk tiap tahap hingga mencapai beban maksimum 70% - 80% LL lalu dilakukan unloading dengan tahap kebalikan. Saat beban truk telah hilang, rasio respon residu terhadap respon maksimum dihitung dan dianggap memenuhi syarat bila bernilai $< 5\%$ (Suhendro, 2020).

b. Uji Beban Dinamik

Uji beban dinamik dilakukan untuk mengetahui frekuensi alami getaran berupa hasil pembacaan frekuensi getaran. Pembebanan dinamis pada jembatan dilakukan dengan beban truk dan melewati papan jumping sehingga memberikan gaya kejut/impak (free vibration) atau beban ambient dengan truk melintas (forced vibration) pada lantai jembatan yang didistribusikan ke seluruh elemen jembatan. Dari hasil data getaran ini akan diperoleh frekuensi alami (f_n) jembatan dengan menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk merubah getaran dari domain waktu ke domain frekuensi dengan terlebih dahulu melakukan peak picking terhadap puncak getaran yang diperoleh dari beberapa pengujian. FFT juga merupakan metode yang sering digunakan untuk menghitung frekuensi natural vertikal pertama pada jembatan dengan simple span seperti jembatan rangka (Pedoman Pembahasan Penyelenggaraan Jembatan Khusus, 2022). Nilai frekuensi alami dari hasil pembebanan dinamis sebelum dan setelah uji statik haruslah sama atau lebih tinggi dari perhitungan teoritis untuk menjamin keamanan struktur.

4. Hasil

Hasil beberapa pengujian jembatan yang telah dilakukan ditampilkan dan dianalisis sebagai berikut:

4.1. Uji Hardness

Hasil uji kekerasan atau Brinell Test pada 16 titik elemen struktur rangka baja yang mewakili adalah sebagai berikut:

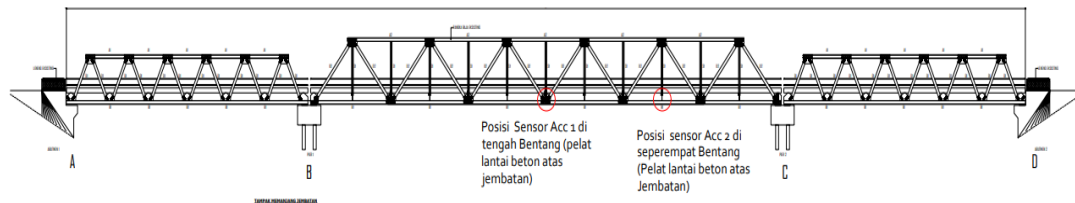
Tabel 2. Hasil Uji Hardness Rangka Baja

No	Lokasi Sampel		Nilai Rata-Rata Uji	Kuat Traik		Ket
	Segmen	Elemen		Hasil Uji (Mpa)	SNI 1729-17 (Mpa)	
1	Seg. 1	Batang Diagonal (D)	154	507	400	Ok
2	Seg. 1	Batang Diagonal (D)	131	427	400	Ok
3	Seg. 1	Batang Bawah (B)	129	420	400	Ok
4	Seg. 1	Batang Bawah (B)	146	480	400	Ok
5	Seg. 1	Batang Bawah (Arah X)	155	511	400	Ok
6	Seg. 1	Batang Bawah (Arah Y)	161	532	400	Ok
7	Seg. 2	Batang Diagonal (D)	137	448	400	Ok
8	Seg. 2	Batang Diagonal (D)	130	424	400	Ok
9	Seg. 2	Batang Bawah (B)	152	500	400	Ok
10	Seg. 2	Batang Bawah (B)	150	494	400	Ok
11	Seg. 2	Batang Bawah (Arah X)	146	469	400	Ok
12	Seg. 2	Batang Bawah (Arah Y)	147	483	400	Ok
13	Seg. 3	Batang Diagonal (D)	135	441	400	Ok
14	Seg. 3	Batang Bawah (B)	129	420	400	Ok
15	Seg. 3	Batang Bawah (Arah X)	148	487	400	Ok
16	Seg. 3	Batang Bawah (Arah Y)	165	546	400	Ok

Dari tabel, rata-rata hasil kuat tarik baja diperoleh sebesar 470 MPa. Hasil tersebut memenuhi persyaratan minimum kuat tarik baja struktur berdasar SNI 1729-2020 yang setara dengan kuat tarik A36 senilai 400 MPa dan akan digunakan untuk pemutakhiran pemodelan program.

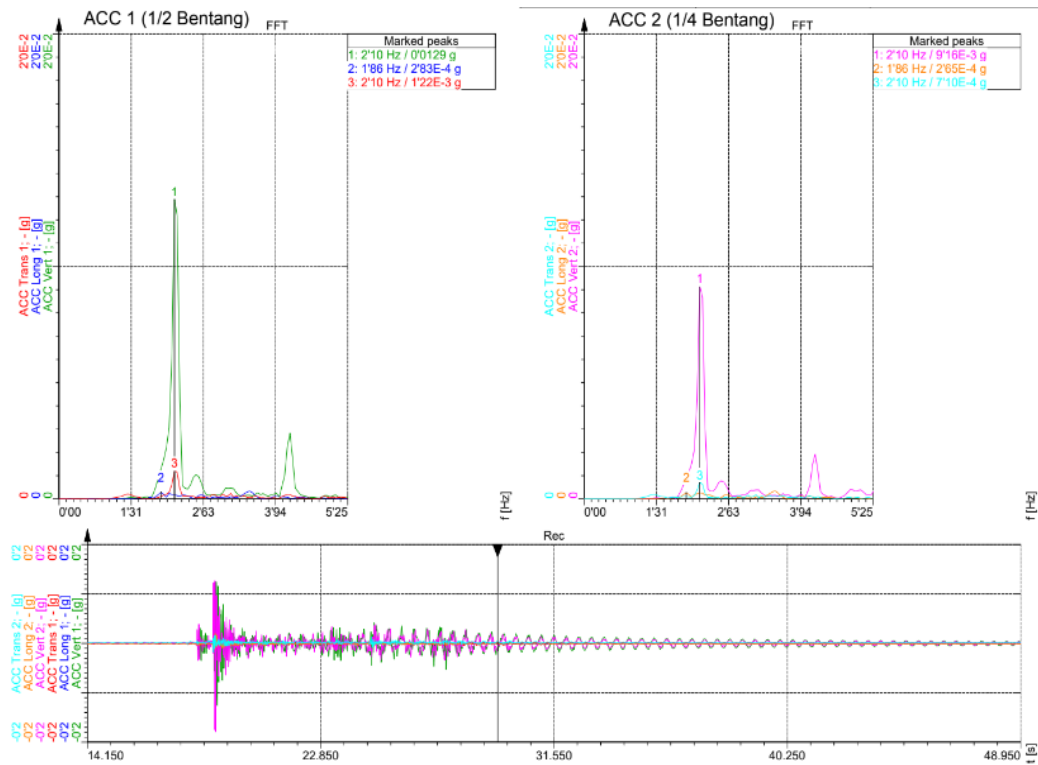
4.2. Uji Beban Dinamik

Penempatan 2 sensor accelerometer pada lantai beton tengah dan seperempat bentang utama A60 ditampilkan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Lokasi Sensor Accelerometer pada Rangka Utama

Uji beban dinamik jembatan dilakukan beberapa kali dengan hasil sebagai berikut saat truk melintas dengan kecepatan 30 km/jam pada Gambar 4:

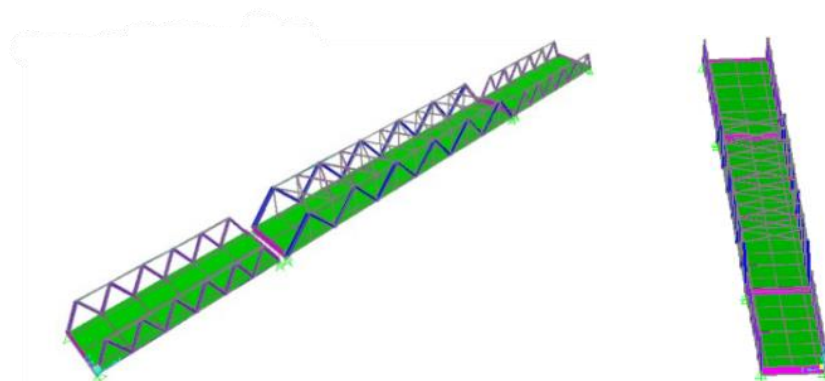


Gambar 4. Hasil Frekuensi Uji Beban Dinamik

Frekuensi alami struktur jembatan yang didapat senilai 2,05 HZ pada bentang tengah dan 2,10 Hz pada seperempat bentang jembatan sesuai syarat 125/L.

4.3. Pemodelan Jembatan Rangka Baja

Pemodelan jembatan dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 dengan perletakan sendi dan rol serta kombinasi pembebanan sesuai SNI 1725-2016 untuk validasi hasil uji lapangan. Data material baja menggunakan uji hardness baja eksisting dengan pemodelan 3D sebagai berikut pada Gambar 5:



Gambar 5. Model 3D Jembatan Air Tkl Peninggalan pada SAP2000

Dari analisis program diperoleh frekuensi ragam getar (mode shape) dominan jembatan 2,093 Hz memenuhi persyaratan $125/L = 125/60 = 2,083$ Hz mirip dengan hasil uji di lapangan sebesar 2,05 - 2,10 Hz. Beberapa frekuensi dominan model sebagai berikut pada Tabel 3:

Tabel 3. Frekuensi Alami Pemodelan

Ragam Getar	Periode (detik)	Frekuensi (Hz)
1	0,47786	2,0927
2	0,293113	3,4117
3	0,271746	3,6799
4	0,259831	3,8486

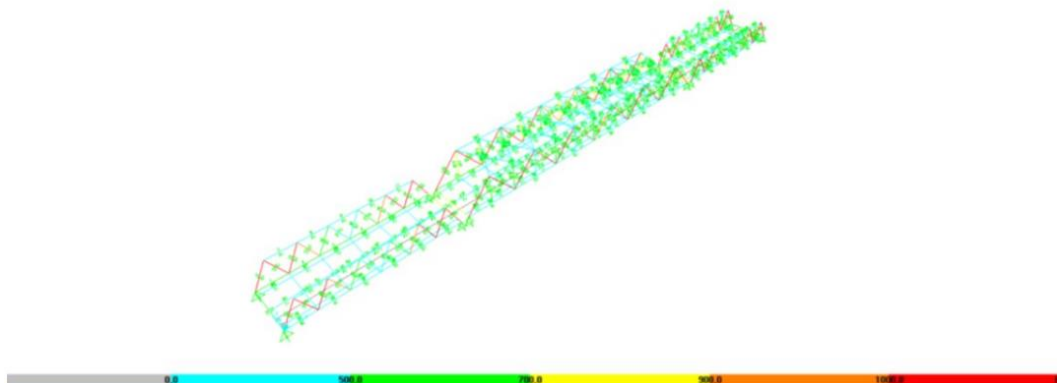
Dari analisis, lendutan pada tengah bentang A60 ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Lendutan Pemodelan Bentang A60

Bentang	Lendutan (mm)	Lendutan Izin (mm)
30 m	37,5	37,5
60 m	75,01	75

Lendutan terbesar pada bentang tengah A30 sebesar 37,5 mm masih memenuhi persyaratan lendutan ijin $L/800 = 30/800 = 0,0375$ m = 37,5 mm sementara pada bentang A60 sebesar 75,01 mm tidak memenuhi persyaratan lendutan ijin $L/800 = 60/800 = 0,075$ m = 75 mm.

Elemen jembatan kemudian diperiksa untuk mengetahui rasio tegangan yang terjadi dengan tahanan yang dimiliki elemen struktur berikut pada Gambar 6:



Gambar 6. Rasio Tegangan Jembatan Air Tkl Peninggalan

Melalui pemodelan SAP2000, diperoleh 38 elemen diagonal bentang 60 m dan 30 m mengalami rasio > 1 (berwarna merah) yang menyatakan bahwa elemen tersebut tidak mampu menerima beban sesuai persyaratan pembebanan terkini,

5. Kesimpulan

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan pada Jembatan Air Tkl Peninggalan dapat disimpulkan bahwa jembatan masih dapat difungsikan namun diperlukan penyesuaian seperti pengaku pada bentang 60 m yang tidak memenuhi syarat lendutan dan perkuatan pada 38 elemen batang diagonal yang mengalami kegagalan sesuai peraturan pembebanan teraktual.

Perkuatan profil batang diagonal dapat dilakukan dengan penambahan inersia melalui penambahan pelat baja pada kedua sisi flange agar menjadi profil tertutup. Pembatasan beban dengan penggunaan struktur portal sebelum dan sesudah memasuki jembatan juga dapat dilakukan.

Untuk perbandingan hasil pengujian, uji beban statik dan sensor pengujian tambahan seperti strain gauge untuk mengukur regangan dapat digunakan berdampingan dengan sensor pengukur lendutan untuk validasi hasil.

Daftar Rujukan

- Anugraha, D.M. 2015. Studi Kelayakan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja pada Sungai Bedadung Desa Keponjen Kecamatan Kencong Kabupaten Jember dengan Panjang Bentang 60 Meter. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2011. Pedoman Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2022. Pedoman Penyelenggaraan Pembahasan Jembatan Khusus. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Suhendro, B. 2020. Perkembangan Teknik dan Metoda Uji-Beban Untuk Kelaikan-Fungsi. Makalah disajikan dalam lokakarya virtual "Megastruktur dan Infrastruktur Tahan Gempa Indonesia Karya Anak Bangsa", PUPR - AIPI - PuSGeN, 24 September 2020.