

Perbandingan Getaran Alami Struktur Jembatan Rangka Baja Belanda dengan Pengujian Ambien

Christopher Triyoso^{1*}, Akhmad Aminullah¹, Bambang Suhendro¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: c.triyoso@mail.ugm.ac.id

INTISARI

Banyaknya jembatan yang telah dibangun atau akan dibangun di Indonesia menunjukkan peningkatan kebutuhan untuk mengevaluasi kondisi strukturalnya. Salah satu jenis jembatan yang sudah cukup tua namun masih banyak digunakan adalah jembatan baja warren. Oleh karena itu, penelitian ini secara khusus memilih untuk mengkaji kondisi jembatan dengan jenis rangka Belanda. Untuk memenuhi kebutuhan evaluasi tersebut, perlu diterapkan suatu metode pengujian jembatan yang efisien dan akurat. Salah satu metode yang cukup praktis adalah dengan menggunakan uji dinamik, di mana metode ambien menjadi salah satu pilihan yang relevan. Perbedaan antara frekuensi lapangan dan frekuensi pemodelan dapat digunakan untuk memperkirakan nilai kondisi jembatan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi Jembatan Sardjito di lapangan, membandingkan hasil lapangan dengan penghitungan analitis dan menarik suatu kesimpulan terkait kondisi jembatan. Penelitian dilakukan dengan memodelkan jembatan pada SAP2000, melakukan pengujian lapangan dengan menggunakan akselerometer, dan melakukan analisa dengan Fast Fourier Transform. Pengujian dengan uji ambien dilakukan dengan menggunakan 3 unit akselerometer. Akselerometer ditempatkan pada $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{3}{4}$ bentang jembatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Jembatan Sardjito memiliki selisih sebesar 10,91% di bawah frekuensi jembatan dalam kondisi ideal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Jembatan Sardjito mengalami rusak ringan (non struktural) dengan nilai kondisi sedang.

Kata kunci: Ambien, Dinamik, Warren, Frekuensi, Penilaian Kondisi Jembatan.

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyaknya jembatan yang sudah dibangun maupun akan dibangun di Indonesia meningkatkan kebutuhan untuk mengetahui kondisi jembatan. Terdapat sekitar 18900 jembatan nasional di Indonesia, dan jembatan rangka merupakan jenis struktur atas yang paling umum digunakan setelah jenis struktur gelagar. Jembatan Rangka Belanda sendiri merupakan salah satu jenis struktur rangka yang memiliki umur cukup tua sehingga perlu proses pemeriksaan kondisi. Proses pencarian kondisi jembatan ini perlu dilakukan secara praktis dan singkat tanpa mengganggu lalu-lintas yang berlangsung.

Pengujian getaran alami suatu jembatan mendapatkan hasil berupa frekuensi alami jembatan. Nilai ini dapat digunakan sebagai indikator umum kekakuan jembatan. Secara ideal, getaran alami jembatan saat pertama dibangun harus sama atau mendekati dengan getaran alami yang didapatkan dari analisa modal seara analitis. Untuk jembatan yang telah lama dibangun, nilai ini idealnya sama dengan kondisi saat jembatan pertama dibangun.

Pengujian jembatan umumnya membutuhkan waktu yang cukup lama dan membutuhkan penutupan jalan. Hal ini menjadi tidak menarik bagi kontraktor dikarenakan banyaknya biaya, waktu, dan tenaga yang diperlukan. Alternatif pengujian dinamik menggunakan metode ambien tanpa penutupan jalan dan hanya dengan satu buah sensor accelerometer menjadi hal yang menarik karena tidak dibutuhkannya biaya, waktu, dan tenaga yang besar.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui frekuensi Jembatan Sardjito di lapangan, membandingkan hasil lapangan dengan penghitungan analitis, menarik suatu kesimpulan terkait kondisi jembatan, menarik kesimpulan terkait keandalan metode pengujian ambien, serta mengetahui durasi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu pengujian.

2 Landasan Teori

2.1 Frekuensi Natural Jembatan

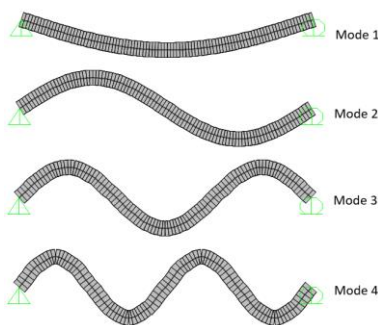
Pada dasarnya, material apapun di dunia ini dapat bergetar. Getaran pada struktur yang terjadi secara alami disebut frekuensi natural struktur. Getaran ini ditentukan oleh sifat-sifat geometris dan mekanis struktur, dan suatu struktur memiliki kecenderungan untuk bergetar pada nilai-nilai mendekati frekuensi natural struktur tersebut. Hubungan antara getaran dan kekakuan struktur dapat digambarkan dengan persamaan berikut (Mario Paz, 2004).

$$[M]\{a\} \times [C]\{v\} \times [K]\{x\} = \{F(t)\} \rightarrow f^2 = \frac{k}{m}$$

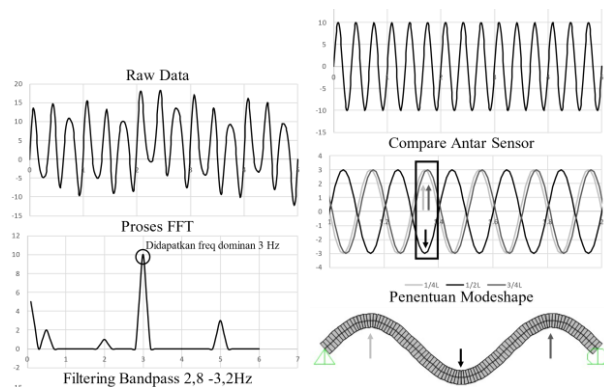
Ketika suatu struktur mengalami suatu beban, struktur cenderung akan bergetar. Apabila beban yang terjadi berubah terhadap waktu atau bersifat dinamis, dan apabila beban tersebut memiliki frekuensi yang mendekati dengan frekuensi natural struktur, struktur dapat mengalami resonansi. Peristiwa resonansi struktur ini dapat membuat terjadinya perbesaran dari beban yang terjadi. Peristiwa ini memiliki prinsip sama seperti ayunan, dimana kita dapat memberikan dorongan kecil pada ayunan, namun bila kita melakukannya berulang kali pada saat yang tepat atau pada frekuensi sama dengan ayunan tersebut, lama-kelamaan maka goyangan pada ayunan akan terakumulasi dan menjadi semakin besar. Resonansi struktur inilah yang cenderung mengakibatkan kegagalan, sehingga sifat dinamik struktur menjadi suatu perhatian penting.

Pada suatu jembatan dengan tumpuan sederhana (sendi-rol), umumnya frekuensi vertikal yang terjadi mengikuti pola pada Gambar 1. Nilai frekuensi natural jembatan sendiri dapat didekati dengan Persamaan 1 sesuai dengan Pedoman Nilai Sisa Kapasitas Jembatan dari Dirjen Bina Marga (024/BM/2011).

$$f \approx 125/L \tag{1}$$



Gambar 1. Tipikal Modeshape Vertikal Jembatan.



Gambar 2. Proses Analisa Raw Data Getaran.

Pada dasarnya, dikarenakan frekuensi natural struktur merupakan fungsi dari masa dan kekakuan struktur, apabila masa dan kekakuan struktur tidak berubah, maka frekuensi struktur tidak berubah pula. Penurunan frekuensi struktur menunjukkan adanya penurunan kekakuan struktur atau terjadinya penambahan masa atau beban pada struktur. Idealnya, nilai frekuensi yang terjadi di lapangan mendekati dengan nilai yang didapatkan dari pemodelan. Perbedaan nilai ini dapat digunakan untuk memprediksi kondisi struktur. Menurut Penilaian Kondisi Jembatan untuk Bangunan Atas (Pt T-05-2002-B), ditetapkan standar penilaian pada Tabel 1.

Tabel 1. Penilaian Kondisi Bangunan Atas Jembatan (Binamarga, 2002)

Nilai Kondisi	Jenis Penurunan Kondisi	Nilai Penurunan Relatif	Nilai Penurunan Kapasitas
Baik	Utuh	0% - 5%	0% - 10%
Cukup	Rusak ringan (non struktural)	6% - 10%	11% - 20%
Sedang	Rusak ringan (struktural)	11% - 17%	21% - 34%
Buruk	Rusak berat	18% - 20%	35% - 40%

2.2 Pengukuran Frekuensi Natural

Pengukuran amplitude dapat dilakukan dengan menggunakan akselerometer dengan mengamati grafik percepatan terhadap waktu. Pembacaan yang didapatkan oleh akselerometer ini akan berupa suatu grafik seperti pola sinusoidal. Grafik ini kemudian digunakan untuk menentukan modeshape dan frekuensi yang terjadi.

Frekuensi dari suatu struktur yang diukur dapat dilihat dengan melihat frekuensi yang ditunjukkan oleh grafik tersebut. Secara tradisional, frekuensi didapatkan dengan menghitung berapa jumlah getaran pada suatu rentang waktu tertentu. Secara modern, frekuensi dapat diperhitungkan dengan menggunakan Fast Fourier Transform, dimana seluruh frekuensi yang terjadi pada suatu durasi pengukuran bisa didapatkan. Modeshape jembatan didapatkan dengan membandingkan arah getaran tiap titik sensor. Setelah didapatkan suatu nilai frekuensi, dilakukan filtering terhadap grafik untuk mendapatkan amplitude pada suatu rentang frekuensi yang kita tinjau.

2.3 Pengujian Ambien

Proses mendapatkan grafik amplitude terhadap waktu pada suatu jembatan bisa didapatkan apabila jembatan tersebut sedang bergetar. Proses penggetaran jembatan umumnya dilakukan dengan menggunakan beban hentakan pada bagian-bagian yang sekiranya bisa mendapatkan *modeshape* yang telah diprediksi dari pemodelan.

Proses pemberian beban hentakan ini umumnya disebut metode *impuls*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan truk yang dijatuhkan dengan menggunakan *ramp*. Truk diposisikan sedemikian sehingga hentakan berada di posisi puncak-puncak amplitudo masing-masing mode shape.

Metode lain adalah dengan kondisi ambien, yaitu getaran natural yang terjadi pada jembatan saat jembatan dilewati oleh kendaraan tanpa pembatasan lalu lintas (Bruno J et al.). Pada umumnya metode ini dilakukan dengan kondisi jembatan kosong lalu dilewati satu buah kendaraan sehingga sepanjang bentang jembatan mengalami getaran. Metode ini juga dapat diimplementasikan untuk melakukan pengujian dengan kondisi jembatan operasional, dimana kendaraan diijinkan melalui jembatan dari segala arah.

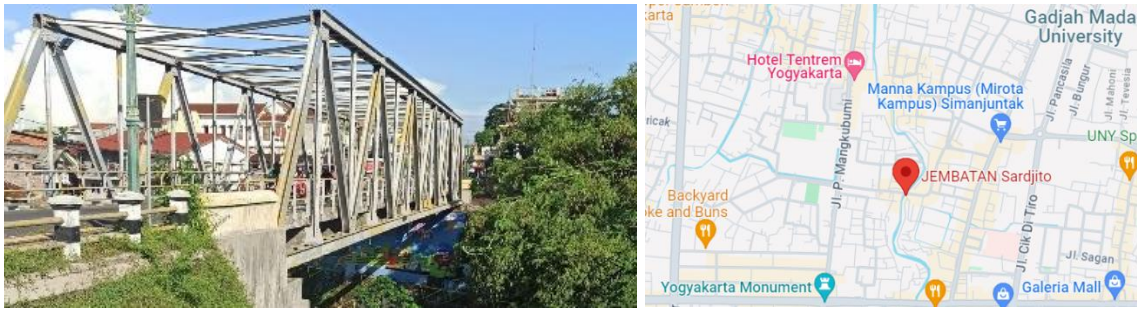
Kelemahan dari metode ambien ini adalah, dikarenakan titik eksitasi beban yang berubah-ubah dan tidak seragam, akan terjadi banyak frekuensi dari berbagai mode jembatan yang muncul secara bersamaan. Terjadi pula kondisi-kondisi dimana munculnya eksitasi baru yang menumpuk di atas grafik getaran yang sedang berjalan, sehingga agak sulit untuk melihat pola getaran dan frekuensi yang terjadi secara visual.

Penggunaan analisa grafik getaran dengan *Fast Fourier Transform* dan penerapan *bandpass* dapat membantu mengisolasi frekuensi-frekuensi yang terjadi di jembatan. Metode ini memungkinkan dilihatnya grafik getaran secara lebih bersih tanpa terganggu frekuensi-frekuensi lain yang saling bertumpukan.

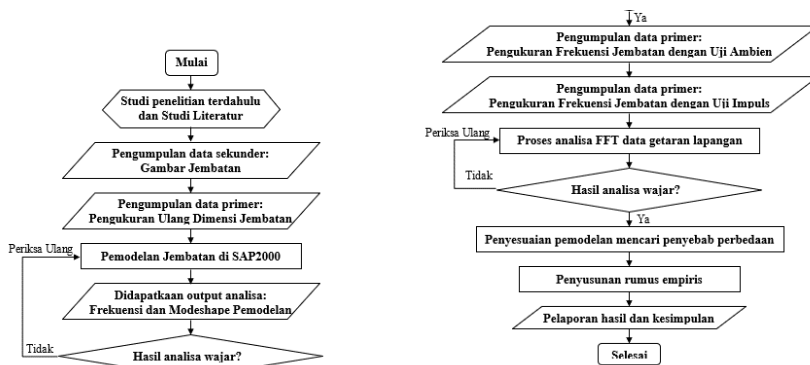
3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

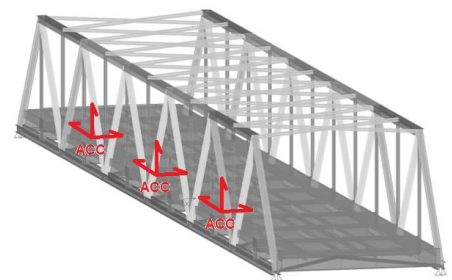
Penelitian dilakukan pada Jembatan Sardjito. Jembatan berupa jembatan Truss Warren jenis Rangka Belanda. Jembatan berlokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta dan berupa *simple span*. Kondisi lapangan Jembatan Sardjito dapat dilihat pada Gambar 4. Jembatan Sardjito merupakan jembatan baja yang berlokasi dekat dengan Rumah Sakit Sardjito kota Yogyakarta. Jembatan ini menyebrangi Sungai Code. Jembatan ini merupakan jembatan rangka baja dengan satu bentang dan memiliki 6 span. Panjang jembatan juga 61,0 m dan lebar yang sama yaitu 7,0 m. Kedua jembatan ini memiliki property yang serupa dikarenakan jembatan merupakan jenis Rangka Belanda 60A. Sebagai pembanding, Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang dengan bentang 60 m memiliki frekuensi 2.184Hz (Sarjono, 2013), sehingga jembatan ini seharusnya memiliki nilai frekuensi serupa..



Gambar 3. Kondisi dan Lokasi Jembatan Sardjito



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian



Gambar 5. Posisi Pemasangan Akselerometer Jembatan Sardjito

3.2 Prosedur Penelitian

Sebagai bagian dari perencanaan penelitian sekaligus agar mempermudah proses penelitian, maka disusun langkah-langkah penelitian dalam bentuk bagan alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian terdiri dari tiga tahapan utama: analisa pemodelan jembatan, proses pengukuran frekuensi lapangan, analisa frekuensi pengujian. Metode analisis yang digunakan untuk pemodelan adalah dengan 2D frame element dengan bantuan *software* SAP2000. Metode pengujian adalah dengan menggunakan uji ambien. Metode analisis yang digunakan untuk analisa frekuensi adalah dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* dan bantuan *bandpass filtering*.

Analisa pemodelan jembatan dilakukan dengan melakukan pengukuran ulang pada beberapa elemen jembatan dimana hasil pengukuran dibandingkan dengan dokumen penampang jembatan. Setelah dilakukan pengukuran, jembatan dimodelkan pada SAP2000 dan dilakukan analisa modal. Dari analisa tersebut, didapatkan prediksi frekuensi alami jembatan saat kondisi ideall.

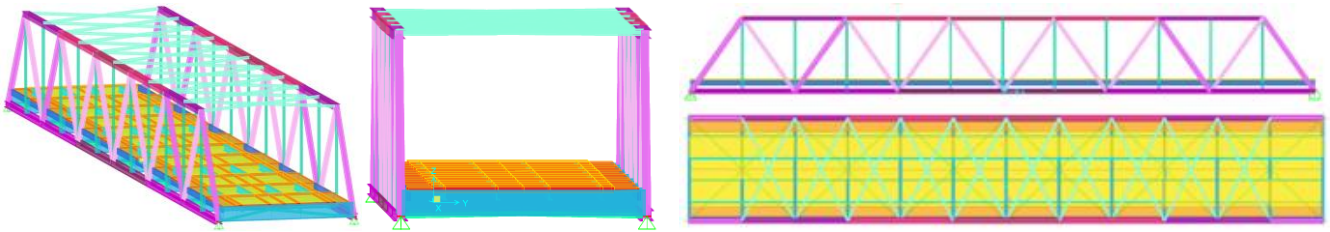
Pengujian dengan uji ambien dilakukan dengan menggunakan 3 unit akselerometer. Akselerometer ditempatkan pada $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{3}{4}$ bentang jembatan, seperti pada Gambar 7. Pada Jembatan Sardjito, sensor hanya dapat ditempatkan pada trotoar jembatan, hal ini memungkinkan ada terbacanya mode gerakan torsi.

Analisa frekuensi dilakukan dengan menggunakan *software* yang telah terintegrasi dengan sensor yang digunakan di lapangan. *Software* LoadingTest ini dapat melakukan analisa *Fast Fourier Transform* dan dapat melakukan *filtering* terhadap grafik pengujian dengan leluasa.

4 PEMODELAN

4.1 Input SAP2000

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* SAP2000. Jembatan disederhanakan menjadi elemen-elemen frame 1 dimensi. Pemodelan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 8. Tumpuan yang digunakan adalah sendi-roll. Dimensi model sesuai dengan gambar tipikal struktur Rangka Belanda.



Gambar 6. Pemodelan Jembatan pada SAP2000

4.2 Hasil Pemodelan

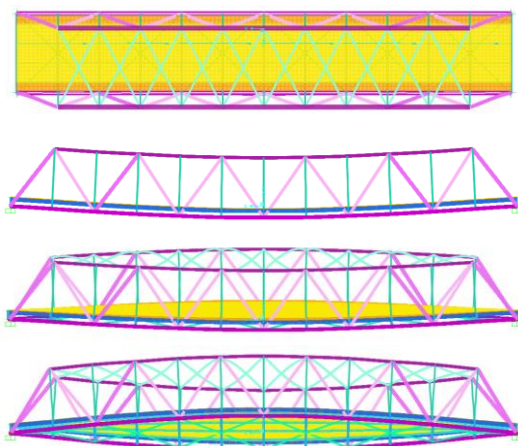
Berdasarkan pemodelan SAP2000, didapatkan hasil Frekuensi Alami struktur, pada Tabel 2. Modeshape struktur dapat dilihat pada

Gambar 7 hingga

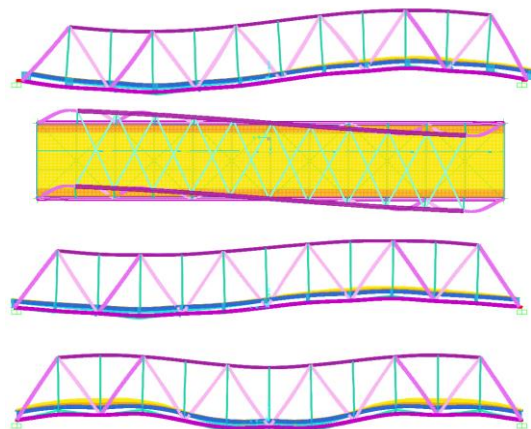
Gambar 8. Berdasarkan partisipasi massa, dapat dilihat bahwa partisipasi vertikal terbesar terjadi pada mode 2, 7 dan 8. Mode 9,10, dan 12 dapat diabaikan karena terdapat elemen yang bergetar sendiri. Bergetarnya sensiri suatu elemen juga dapat diamati langsung pada jembatan dimana bracing jembatan dengan penampang kecil cenderung bergetar sendiri saat kendaraan lewat.

Tabel 2. Frekuensi Pemodelan ABAQUS Jembatan Bunder dan Sardjito

Mode	Freq	Keterangan
1	0.51031	Horizontal/Torsi
2	2.30114	Vertikal Pertama
3	3.47528	Horizontal/Torsi
4	3.96325	Horizontal/Torsi
5	4.95236	Longitudinal
6	5.60880	Torsi
7	5.88745	Vertikal Kedua
8	7.77115	Vertikal Ketiga



Gambar 7. Mode 1 - 4 Frekuensi Pemodelan SAP2000



Gambar 8. Mode 5 - 8 Frekuensi Pemodelan SAP2000

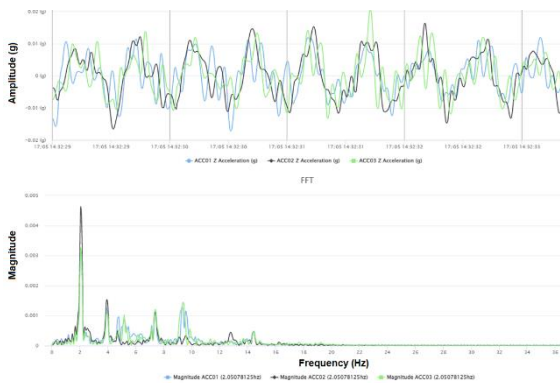
5 PENGUJIAN

5.1 Hasil Uji

Berdasarkan pengujian *ambient*, didapatkan getaran terbaik pada Gambar 9. Dapat dilihat bahwa terdapat beberapa puncak. Puncak yang terjadi ada pada nilai 2,05Hz, 3,91Hz, dan 7,42Hz.

5.2 Perbandingan Model Jembatan Sardjito

Secara umum, didapatkan frekuensi pengujian lebih rendah dibandingkan frekuensi pemodelan dengan perbedaan mode vertikal pertama melebihi 10%. Hal ini menunjukkan bahwa jembatan mengalami rusak ringan. Hal ini dapat terjadi karena kondisi eksisting Jembatan Sardjito yang berada dekat persimpangan lampu merah, yang mengakibatkan seringnya terjadi kemacetan diatas jembatan. Kondisi seperti ini dapat mengakibatkan terjadinya deformasi permanen pada jembatan akibat beban yang berlebih..



Gambar 9. Frekuensi Pengujian Jembatan Sardjito Ambient



Gambar 10. Pengujian Jembatan Sardjito

Tabel 3. Perbandingan Frekuensi Jembatan Sardjito

Mode	Freq (Hz)	Uji (Hz)	Selisih (%)	Keterangan
2	2.3011	2.05	10.91%	Vertikal Pertama
4	3.9632	3.91	1.34%	Torsi
7	5.8874	4.79	18.64%	Vertikal Kedua
8	7.7712	7.42	4.52%	Vertikal Ketiga

6 KESIMPULAN

Dengan jenis jembatan yang sama antara Jembatan Bunder dan Sardjito, hasil yang didapatkan dapat dibandingkan. Dapat dilihat bahwa Jembatan Sardjito memiliki selisih sebesar 10,91% dibawah frekuensi jembatan dalam kondisi ideal. Penurunan ini dipengaruhi oleh umur jembatan, kondisi fisik jembatan, dan pembebanan nyata dan kondisi macet yang terjadi yang dapat mengakibatkan deformasi permanen pada jembatan. Dapat disimpulkan pula bahwa Jembatan Sardjito mengalami rusak ringan (non struktural) dengan nilai kondisi sedang.

REFERENSI

Bruno J. Afonso Costa, Filipe Magalhães, Álvaro Cunha, 2014. “Ambient vibration testing in the rehabilitation of centenary steel bridges.” Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamics, EUROLYN.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2002. “Pt T-05-2002-B Pedoman/ Petunjuk Teknik Dan Manual,” Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011. “024/BM/2011 Pedoman tentang Penentuan Nilai Sisa Kapasitas Jembatan,” Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga

Mario Paz, William Leigh, 2004. “Structural Dynamics Theory and Computation.”

Sarjono Anwar Ardhi, Tri Cahyo Utomo, 2013. “Analisis Kemampuan Layan Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang Ditinjau Dari Aspek Getaran, Lendutan Dan Usia Fatik Skripsi.”