

Analisis Kesehatan Struktur Atas Jembatan Melalui Pengujian Beban Dinamis

Try Kurniawan Akhbar^{a,1,*}, Altho Sagara^{b,2}, Anna Dewi^{c,3}

^a Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Kabupaten Bandung Barat, 40599

^b Universitas Katolik Parahyangan, Jalan Ciumbuleuit No. 94, Bandung, 40141

^c PT. Engineering Pilar, Cakrawala Jl. Setra Dago Utama No.47, Antapani Wetan, Kec. Antapani, Kota Bandung 40291

¹ try.kurniawan@polban.ac.id; ² altho.sagara@unpar.ac.id; ³ annadewi197@gmail.com

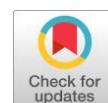
* Corresponding Author

ABSTRACT

Penelitian ini menyelidiki pengujian beban dinamis struktur jembatan untuk menilai kapasitas aktualnya dibandingkan dengan desain awal. Pengujian dilakukan pada tiga buah jembatan yang seluruhnya terdiri dari empat buah bentang. Tipe struktur jembatan menggunakan konfigurasi PCU-girder bentang sederhana. Pengujian beban dinamis merupakan pengujian yang dipilih karena dinilai lebih efisien, dan biaya yang lebih rendah, serta tidak mengganggu arus lalu lintas. Pengujian ini memiliki output berupa frekuensi struktur. Melalui data tersebut dilakukan analisis untuk menentukan defleksi, kerusakan, dan pengurangan kapasitas jembatan. Frekuensi alami yang diperoleh dari pengujian beban dinamis yang memiliki korelasi dengan kekakuan struktur dan dapat mengindikasikan integritas struktural, pengurangan kapasitas, dan kerusakan. Frekuensi aktual dibandingkan dengan frekuensi teoritis untuk menilai kerusakan relatif dan pengurangan kapasitas. Temuan ini memberikan informasi penting mengenai kondisi aktual jembatan dan perkiraan kondisi kerusakan struktur dan kapasitasnya. Hal tersebut dapat membantu dalam proses pengambilan keputusan pemeliharaan dan operasional bagi operator jalan tol. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai frekuensi aktual pengujian beban dinamis jembatan yang umumnya lebih tinggi daripada frekuensi teoritis, menandakan kondisi baik. Namun, pada bentang 1 dan 2 jembatan overpass 28, frekuensi alami lebih rendah, dengan penurunan kapasitas masing-masing 17.4% dan 16.9%. Hal ini menunjukkan adanya kerusakan ringan tetapi tidak bersifat struktural.

ABSTRACT

This study investigates dynamic load testing of bridge structures to assess their actual capacity compared to the initial design. The tests were conducted on three bridges, each consisting of four spans, using a simple span PCU-girder configuration. Dynamic load testing was chosen for its efficiency, lower cost, and minimal disruption to traffic. The test output is the structure's frequency, which is analyzed to determine deflection, damage, and reduction in bridge capacity. Natural frequencies obtained from dynamic load testing, which correlate with structural stiffness, can indicate structural integrity, capacity reduction, and damage. Actual frequencies are compared to theoretical frequencies to assess relative damage and capacity reduction. The findings provide crucial information about the current condition of the bridges and estimates of structural damage and capacity, aiding maintenance and operational decision-making for toll road operators. The test results show that the actual frequencies of the bridges are generally higher than the theoretical frequencies, indicating good condition. However, for spans 1 and 2 of the overpass 28 bridge, the natural frequencies were lower, with capacity reductions of 17.4% and 16.9%, respectively. This suggests minor, non-structural damage.



KATA KUNCI

Uji beban dinamis
Struktur jembatan
Kerusakan struktur
Kekakuan struktur
Penurunan kapasitas

KEYWORDS

Dynamic load testing
Bridge structure
Structural damage
Structural stiffness
Capacity reduction



This is an open-access article under the CC-BY-SA license

1. Pendahuluan

Beban kendaraan yang berlebih masih menjadi permasalahan yang serius di Indonesia. Permasalahan beban pada kendaraan yang berlebih memiliki implikasi pada struktur jembatan yang dilaluinya. Struktur jembatan didesain dengan kapasitas tertentu yang menunjukkan batasan terhadap beban kendaraan yang dapat dilalui. Beban kendaraan berlebih tentunya menimbulkan resiko terhadap integritas struktur seperti terjadinya kerusakan struktur dan berkurangnya umur layan jembatan. Permasalahan ini juga terjadi pada beberapa struktur jembatan dalam ruas tol di Indonesia sehingga diperlukannya pengecekan struktur jembatan secara berkala. Hal tersebut menjadi tantangan bagi badan usaha jalan tol untuk senantiasa mempertahankan fungsi operasional jembatan. Pengujian struktur jembatan di jalan tol sering kali menghadapi kendala terkait dengan operasional lalu lintas. Pada studi ini dilakukan kajian mengenai pengujian beban dinamik jembatan guna mengetahui kapasitas struktur jembatan aktual terhadap desain awal yang diindikasikan adanya beban kendaraan berlebih. Melalui kajian ini diharapkan dapat mengetahui nilai lendutan, nilai kerusakan dan penurunan kapasitas pada struktur jembatan. Uji beban dinamik dijadikan alternatif yang dipilih karena kemampuannya memberikan hasil yang lebih cepat serta dapat dilakukan tanpa harus melakukan penutupan arus lalu lintas. Berbeda halnya dengan pengujian statik, meskipun memberikan hasil yang akurat, pengujian dianggap tidak efisien dan tidak ekonomis apabila dilakukan pada banyak struktur. Pengujian ini juga membutuhkan alokasi sumber daya manusia dan peralatan yang signifikan [1]. Dengan pengujian beban dinamik pelaksanaan evaluasi struktur jembatan juga dapat dilakukan dengan lebih mudah. Pengujian dinamik jembatan merupakan pilihan menarik karena menawarkan alternatif solusi yang efisien. Dalam sepuluh tahun terakhir, pengembangan yang signifikan dalam pengembangan metode penilaian kerusakan struktural melalui pengujian beban dinamis maupun statis[2], [3]. Walaupun pengujian beban dinamis memiliki kelebihan pada sisi efisiensi, dan biaya, pengujian ini hasil dari pengujian ini tidak memiliki akurasi hasil pengujian yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian beban statik.

Uji beban dinamik merupakan metode evaluasi yang dapat digunakan untuk menilai kondisi dan kinerja jembatan eksisting[4], [5], dengan tujuan untuk memastikan keamanan dan kemampuan struktur dalam menahan beban yang dialaminya.

Keluaran dari hasil pengujian beban dinamik yaitu berupa frekuensi. Nilai frekuensi ini memiliki korelasi dengan sifat kekakuan struktur jembatan. Beberapa hal yang dapat diperoleh melalui pengukuran frekuensi aktual di jembatan adalah[1]:

- Penurunan frekuensi alami aktual terhadap nilai frekuensi alami teoritis menunjukkan penurunan keutuhan struktural.
- Parameter kekakuan lentur langsung terkait dengan frekuensi alami aktual, dengan penurunan kekakuan lentur aktual terhadap kekakuan lentur teoritis menunjukkan penurunan kapasitas daya pikul.
- Peningkatan redaman kritis aktual terhadap redaman kritis teoritis beton utuh menunjukkan tingkat kerusakan retakan.

2. Metode

2.1. Jenis Struktur yang Ditinjau

Pada studi ini, jenis struktur jembatan yang ditinjau yaitu struktur girder berbahan pracetak (*PCU girder*) dengan konfigurasi perletakan simple span. Studi ini mencakup tiga struktur jembatan yang terdiri dari empat bentang pada masing-masing struktur. Bentang-bentang tersebut memiliki variasi panjang, yaitu dengan tipikal penjang bentang 10 meter, 18 meter, dan 23 meter. Tipikal struktur jembatan yang uji dapat dilihat pada Gbr. 1.



Gambar 1 Struktur jembatan yang ditinjau

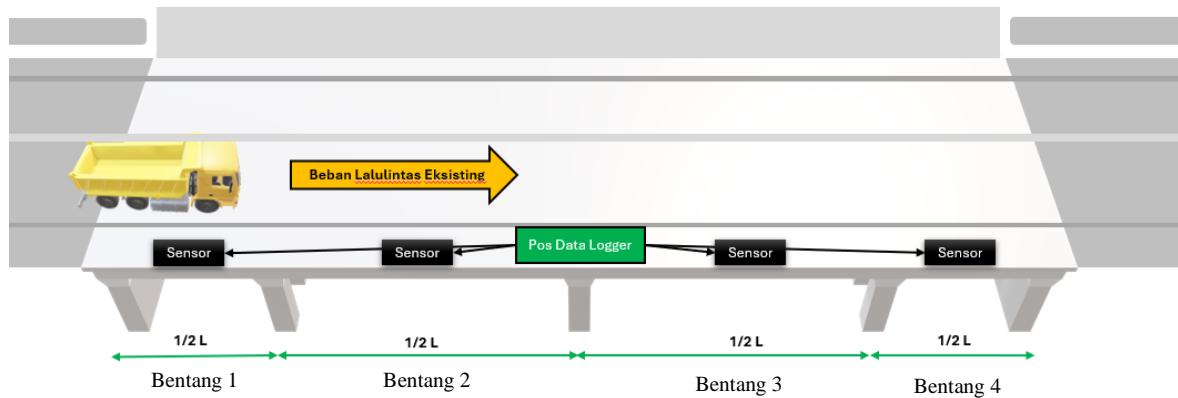
Pada Tabel 1 ditunjukkan rekapitulasi tipe struktur serta dimensi jembatan yang menjadi objek pada studi ini. Rekapitulasi tersebut mencakup beberapa variasi dimensi berupa panjang bentang, lebar dan jumlah gelagar tiap bentangnya.

Tabel 1 Rekapitulasi dimensi dan tipe struktur jembatan

Jembatan	Tipe Struktur Atas	Jumlah Bentang	Panjang Bentang	Lebar Jembatan	Jumlah Gelagar Tiap Bentang
Jembatan A	<i>PCU-Girder</i>	4 bentang	Bentang 1 dan 4 = 10.6 m Bentang 2 dan 3 = 18.6 m	8.4 m	3 buah
Jembatan B	<i>PCU-Girder</i>	4 bentang	Bentang 1 dan 4 = 10.6 m Bentang 2 = 23.1 m Bentang 3 = 18.6 m	17.4 m	5 buah
Jembatan C	<i>PCU-Girder</i>	4 bentang	Bentang 1 dan 4 = 10.6 m Bentang 2 = 23.1 m Bentang 3 = 18.6 m	17.4 m	5 buah

2.2. Metode Pelaksanaan Uji Beban Dinamis

Pengujian dinamik dilakukan pada ketiga buah struktur jembatan dengan empat bentang. Skema pengujian yang dilakukan yaitu dengan memasang sensor pada keempat bentang struktur jembatan. Masing-masing sensor diletakan pada bagian tengah masing masing bentang struktur atas. Skema pembebanan dinamik ditunjukkan pada Gbr.2:



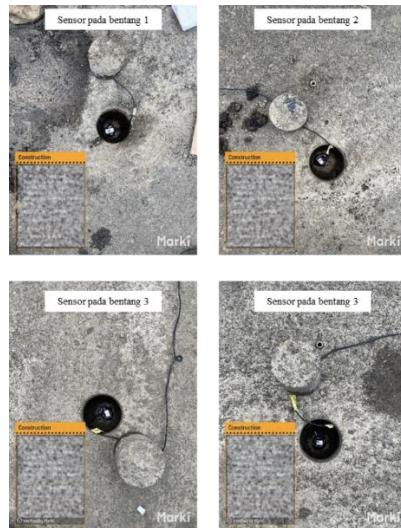
Gambar 2 Skema pembebanan dan lokasi pemasangan sensor

Pemasangan sensor dilakukan dengan memastikan bahwa sensor dapat secara akurat merepresentasikan getaran pada struktur jembatan, dengan memperhitungkan mekanisme pemasangan dan lokasi penempatannya di jembatan. Pemasangan yang kurang tepat dapat menyebabkan sensor terlepas dari posisinya[1]. Untuk memastikan hasil pengukuran yang mencerminkan kondisi aktual, sensor-sensor tersebut dipasang pada elemen pelat jembatan. Pada pengujian beban dinamik digunakan beberapa instrumen yang diantaranya *data logger*, dan *accelerometer*. Pada Gbr. 3, ditunjukkan instrumen yang digunakan dalam melakukan pengujian.



Gambar 3 Instrumen uji beban dinamik jembatan

Dokumentasi pemasangan ke empat buah sensor pada masing-masing bentangnya ditunjukkan pada Gbr. 4.

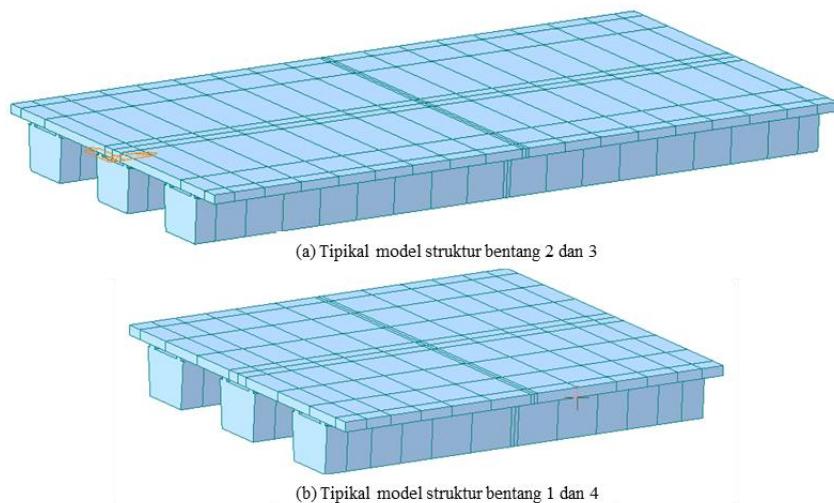


Gambar 4 Dokumentasi pemasangan sensor

Sebelum melakukan pengukuran peralatan dan instrumentasi harus diverifikasi secara menyeluruh sebelum digunakan. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari malfungsi peralatan. Malfungsi alat sering kali menyebabkan data yang diperoleh hanya berupa noise atau bahkan tidak menunjukkan respons apapun. Oleh karena itu, kalibrasi dan simulasi dilakukan sebelum pengujian beban dinamis pada jembatan sebagai langkah awal untuk memastikan bahwa sensor berfungsi dengan baik dan siap digunakan dalam pengujian.

2.3. Model Struktur Atas

Struktur dimodelkan dengan mengikuti dimensi gelagar dan panjang bentang yang sesungguhnya. Tipe gelagar pada jembatan yang ditunjau yaitu gelar PCU Girder. Model struktur atas dapat dilihat pada Gbr. 5.



Gambar 5 Tipikal model struktur atas

3. Hasil dan Pembahasan

Beban yang diberikan pada struktur biasanya adalah beban statik, namun kenyataannya jarang sekali kita jumpai beban statik pada kondisi aktual melainkan beban dinamik. Beban dinamik adalah suatu beban yang memiliki besaran, arah, atau titik aplikasi yang berhubungan dengan waktu[6]. Melalui pengujian beban dinamik dapat diperkirakan nilai kerusakan relatif dan perkiraan penurunan kapasitas struktur, sehingga berdasarkan hal tersebut maka nilai kondisi jembatan dapat dilakukan. Penilaian kondisi struktur jembatan diperoleh berdasarkan acuan yang ditetapkan oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah Pt-T-05-2002-B [7] mengenai penilaian kondisi jembatan untuk bangunan atas dengan cara uji getar. Kriteria nilai kondisi yang digunakan pada studi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Kriteria penilaian kondisi struktur atas jembatan

Nilai Kondisi	Jenis Kerusakan	Nillai Kerusakan Relatif, D_{rel}	Nilai Penurunan Kapasitas, D_{cap}
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 (Struktural)	18%-20%	35%-40%

$$D_{rel} = (f_{teoritis} - f_{aktual}) / f_{teoritis} \quad (1)$$

Dimana :

D_{rel} = nilai kerusakan struktur relatif

$f_{teoritis}$ = frekuensi alami teoritis

f_{actual} = frekuensi alami aktual

$$D_{rel} = (EI_{teoritis} - EI_{actual}) / EI_{teoritis} \quad (2)$$

Dimana :

D_{rel} = nilai penurunan kapasitas

$EI_{teoritis}$ = kekakuan lentur teoritis

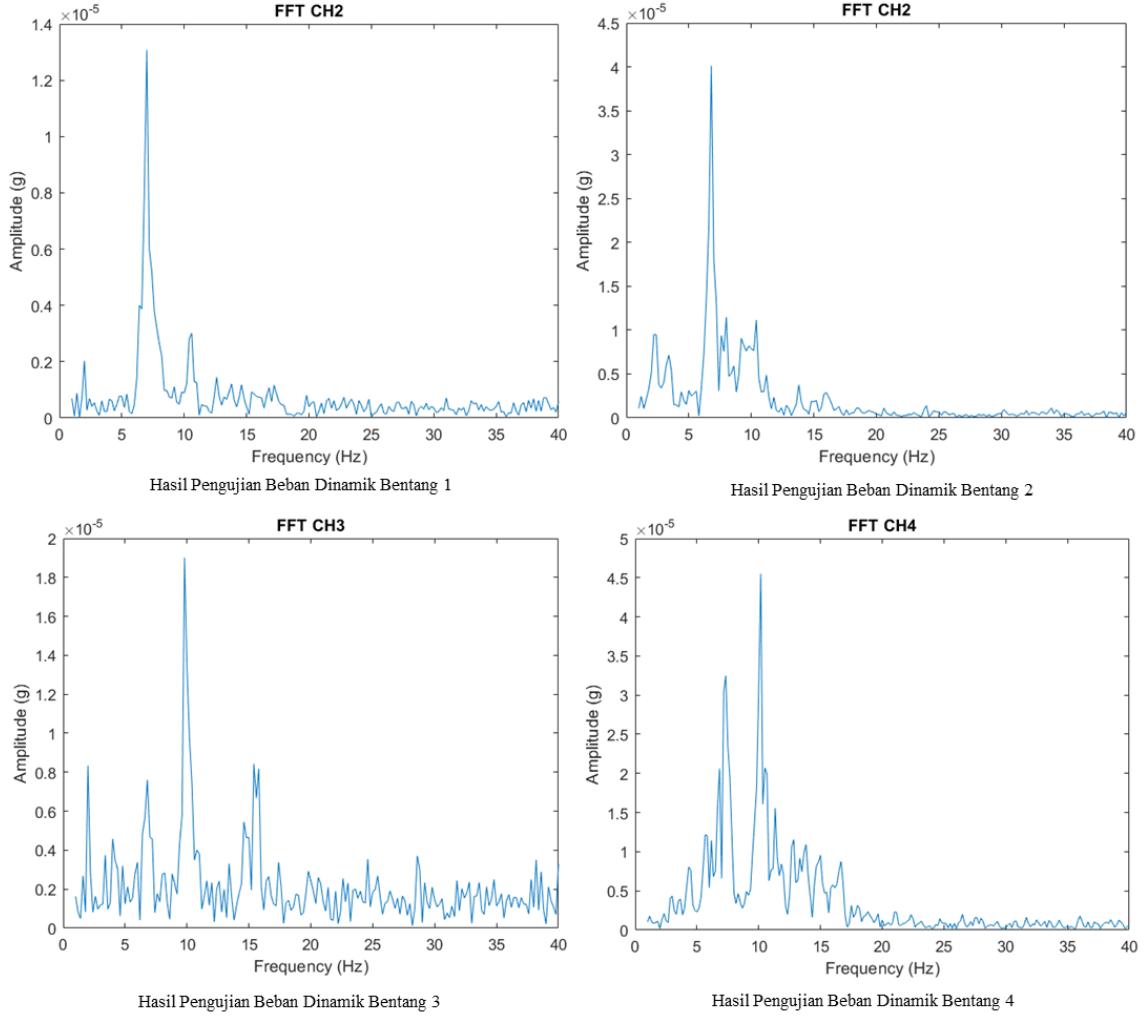
EI_{actual} = kekuan lentur aktual

Korelasi lain antara pengujian dinamik dan statik dalam pemodelan adalah dengan memperkirakan lendutan uji beban statik berdasarkan perbandingan frekuensi hasil uji dengan nilai teoritis[6].

$$U_{aktual} = \frac{U_{teoritis}}{f_{aktual}/f_{teoritis}} \quad (3)$$

3.1. Hasil Pengujian Beban Dinamis Aktual

Pada Gbr. 6 ditunjukkan contoh hasil perolehan data berdasarkan hasil pengujian beban dinamik pada masing-masing bentang.



Gambar 6 Frekuensi vs Amplitudo

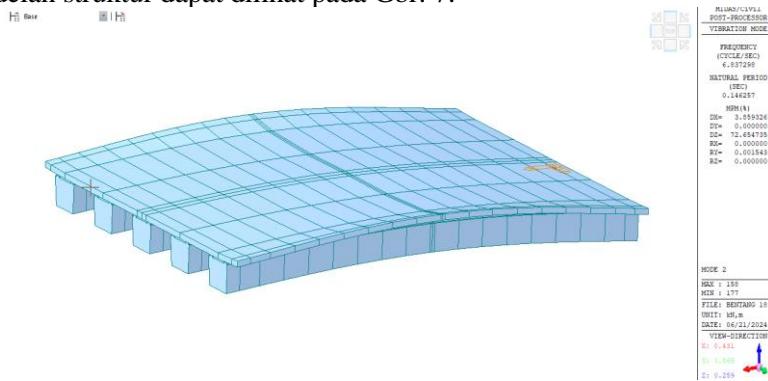
Berdasarkan hasil pengujian beban dinamik pada Gbr.6 maka diperoleh nilai frekuensi aktual. Rekapitulasi nilai frekuensi aktual struktur ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Rekapitulasi frekuensi aktual struktur

Jembatan	Bentang Jembatan	Panjang Bentang (m)	Frekuensi Aktual (Hz)
Jembatan A	Bentang 1	10.6	7.534
	Bentang 2	18.6	7.023
	Bentang 3	18.6	9.085
	Bentang 4	10.6	9.853
Jembatan B	Bentang 1	10.6	23.565
	Bentang 2	18.6	8.272
	Bentang 3	23.15	6.541
	Bentang 4	10.6	23.582
Jembatan C	Bentang 1	10.6	23.896
	Bentang 2	18.6	7.581
	Bentang 3	23.15	8.353
	Bentang 4	10.6	24.153

3.2. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Teoritis

Nilai frekuensi teoritis didapatkan berdasarkan modelisasi struktur jembatan. Model struktur dibuat dengan kondisi seaktual mungkin dengan kondisi desain awal. Contoh hasil perhitungan frekuensi alami dari pemodelan struktur dapat dilihat pada Gbr. 7.



Gambar 7 Contoh hasil perhitungan frekuensi alami pemodelan

Pada **Tabel 4** ditunjukkan rekapitulasi hasil perhitungan frekuensi alami hasil pemodelan struktur.

Tabel 4 Rekapitulasi hasil perhitungan nilai frekuensi alami pemodelan

Jembatan	Bentang Jembatan	Panjang Bentang (m)	Frekuensi Aktual (Hz)	Frekuensi Alami Pemodelan (Hz)
Jembatan A	Bentang 1	10.6	7.534	8.25
	Bentang 2	18.6	7.023	7.67
	Bentang 3	18.6	9.085	7.67
	Bentang 4	10.6	9.853	8.25
Jembatan B	Bentang 1	10.6	23.565	20.13
	Bentang 2	18.6	8.272	7.84
	Bentang 3	23.15	6.541	6.45
	Bentang 4	10.6	23.582	20.13
Jembatan C	Bentang 1	10.6	23.896	20.53
	Bentang 2	18.6	7.581	7.91
	Bentang 3	23.15	8.353	7.05
	Bentang 4	10.6	24.153	20.53

Penurunan frekuensi aktual dibandingkan dengan frekuensi teoritis sebesar 10-20% mengindikasikan kondisi yang cukup buruk. Rentang penurunan ini setara dengan penurunan kekakuan lentur, yaitu kekakuan EI aktual terhadap kekakuan teoritis sebesar 20-40% [7], [8]. Berdasarkan hasil perhitungan, secara garis besar frekuensi alami hasil pemodelan lebih besar apabila dibandingkan dengan frekuensi aktual. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur hasil pengujian dinamik memiliki kekakuan yang lebih besar. Terdapat tiga nilai hasil perhitungan yang menunjukkan frekuensi hasil pemodelan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan frekuensi aktual. Hal tersebut menunjukkan bahwa telah terjadinya penurunan nilai frekuensi struktur apabila dibandingkan dengan kondisi awal.

3.3. Lendutan Perkiraan

Lendutan perkiraan diperoleh berdasarkan perbandingan nilai frekuensi struktur dan hasil perhitungan nilai lendutan teoritis. Dengan menggunakan perbandingan tersebut lendutan perkiraan dapat diperoleh, meskipun hasil pengujian statik lebih dapat menunjukkan hasil yang lebih akurat. Rekapitulasi hasil perhitungan perkiraan lendutan terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Perhitungan nilai lendutan perkiraan

Jembatan	Bentang Jembatan	Panjang Bentang (m)	Frekuensi Aktual (Hz)	Frekuensi Alami Pemodelan (Hz)	faktual/fteoritis	U Teoritis (mm)	U Perkiraan (mm)
Jembatan A	Bentang 1	10.60	7.53	8.25	0.91	0.46	0.50
	Bentang 2	18.60	7.02	7.67	0.92	2.13	2.33
	Bentang 3	18.60	9.09	7.67	1.18	2.05	1.73
	Bentang 4	10.60	9.85	8.25	1.19	0.39	0.33
Jembatan B	Bentang 1	10.6	23.57	20.13	1.17	0.47	0.40
	Bentang 2	18.6	8.27	7.84	1.06	2.22	2.10
	Bentang 3	23.15	6.54	6.45	1.01	2.87	2.83
	Bentang 4	10.6	23.58	20.13	1.17	0.46	0.39
Jembatan C	Bentang 1	10.6	23.90	20.53	1.16	0.41	0.35
	Bentang 2	18.6	7.58	7.91	0.96	1.89	1.97
	Bentang 3	23.15	8.35	7.05	1.18	1.81	1.53
	Bentang 4	10.6	24.15	20.53	1.18	0.38	0.32

Lendutan perkiraan hasil perhitungan menunjukkan nilai maksimum sebesar 2.83 mm pada bentang struktur 23.15 meter. Secara keseluruhan nilai lendutan perkiraan masih memenuhi kriteria batasan lendutan yang disyaratkan ($L/1000$)[9].

3.4. Nilai Kerusakan Relatif dan Penurunan Kapasitas

Dengan menggunakan persamaan 1 dan 2, maka nilai kerusakan relatif dan penurunan kapasitas dapat diperkirakan berdasarkan nilai frekuensi. Hasil analisis terkait nilai kerusakan relatif dan estimasi penurunan kapasitas dapat ditemukan pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Perhitungan nilai kerusakan relatif dan penurunan kapasitas

Jembatan	Bentang Jembatan	Panjang Bentang (m)	Frekuensi Aktual (Hz)	Frekuensi Alami Pemodelan (Hz)	Fteoritis-f aktual	Nilai Kerusakan relatif, D_{rel}	Nilai Penurunan Kapasitas, D_{cap}
Jembatan A	Bentang 1	10.6	7.534	8.25	0.716	9%	17.4%
	Bentang 2	18.6	7.023	7.67	0.647	8%	16.9%
	Bentang 3	18.6	9.085	7.67	-1.415	-18%	-
	Bentang 4	10.6	9.853	8.25	-1.603	-19%	-
Jembatan B	Bentang 1	10.6	23.565	20.13	-3.435	-17%	-
	Bentang 2	18.6	8.272	7.84	-0.432	-6%	-
	Bentang 3	23.15	6.541	6.45	-0.091	-1%	-
	Bentang 4	10.6	23.582	20.13	-3.452	-17%	-
Jembatan C	Bentang 1	10.6	23.896	20.53	-3.366	-16%	-
	Bentang 2	18.6	7.581	7.91	0.329	4%	8.3%
	Bentang 3	23.15	8.353	7.05	-1.303	-18%	-
	Bentang 4	10.6	24.153	20.53	-3.623	-18%	-

Nilai kerusakan relatif yang menunjukkan angka negatif mengindikasikan bahwa struktur tersebut tidak mengalami kerusakan dan sesuai dengan perencanaan. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan pula bahwa tidak terjadi penurunan kapasitas pada struktur tersebut. Namun, terdapat

tiga hasil perhitungan nilai kerusakan yang menunjukkan angka positif, yaitu pada Jembatan A bentang 1 dan 2, serta pada Jembatan C bentang 2.

3.5. Nilai Kondisi Struktur Jembatan

Mengacu pada pedoman penilaian kondisi struktur jembatan dengan uji getar, Pt-T-05-2002-B, maka dapat dilakukan penilaian kondisi struktur berdasarkan hasil pengujian beban dinamik seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Penilaian kondisi dan perkiraan jenis kerusakan struktur

Jembatan	Bentang Jembatan	Nilai Kerusakan relatif, D_{rel}	Nilai Penurunan Kapasitas, D_{cap}	Nilai Kondisi	Jenis Kerusakan
Jembatan A	Bentang 1	9%	17.4%	Cukup	Rusak ringan (Non Struktural)
	Bentang 2	8%	16.9%	Cukup	Rusak ringan (Non Struktural)
	Bentang 3	-18%	-	Baik	Utuh
	Bentang 4	-19%	-	Baik	Utuh
Jembatan B	Bentang 1	-17%	-	Baik	Utuh
	Bentang 2	-6%	-	Baik	Utuh
	Bentang 3	-1%	-	Baik	Utuh
	Bentang 4	-17%	-	Baik	Utuh
Jembatan C	Bentang 1	-16%	-	Baik	Utuh
	Bentang 2	4%	8.3%	Baik	Utuh
	Bentang 3	-18%	-	Baik	Utuh
	Bentang 4	-18%	-	Baik	Utuh

Secara umum, kondisi struktur Jembatan B dan Jembatan C tergolong baik. Sementara itu, Jembatan A memiliki nilai kondisi yang lebih rendah, dengan nilai kondisi cukup. Namun, pada tingkat kondisi ini, kerusakan yang terjadi tergolong ringan dan bersifat non-struktural.

4. Kesimpulan

Secara keseluruhan nilai frekuensi aktual hasil pengujian beban dinamis jembatan memiliki nilai frekuensi yang lebih besar apabila dibandingkan dengan frekuensi teoritis. Hal tersebut sejalan dengan hasil penilaian kondisi struktur jembatan yang dominan memiliki nilai kondisi baik. Hal tersebut mengindikasikan bahwa struktur jembatan tidak mengalami penurunan kapasitas sehingga jembatan dalam kondisi baik dan sesuai dengan desain. Walaupun begitu terdapat tiga buah hasil pengujian dengan nilai frekuensi alami yang lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi teoritis. Pada bentang 1 dan 2 jembatan overpass 28 dapat diamati adanya penurunan frekuensi sehingga menghasilkan nilai kerusakan relatif yang mencapai 9% dan 8%. Nilai penurunan kapasitas perkiraan pada kedua bentang tersebut mencapai 17.4% pada bentang pertama dan 16.9% pada bentang kedua. Nilai kondisi berdasarkan penilaian kerusakan relatif dan penurunan kapasitas pada lokasi tersebut hanya bernilai cukup. Dengan nilai kondisi "cukup" mengacu pada pedoman penilaian kondisi struktur jembatan Pt-T-05-2002-B, maka dapat diperkirakan adanya kerusakan ringan pada jembatan namun tidak bersifat struktural.

Acknowledgment

Penulis dengan tulus menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada PT Enjiniring Pilar Cakrawala atas dukungan penuh yang telah diberikan sepanjang pelaksanaan studi ini. Dukungan tersebut tidak hanya mencakup fasilitas yang diberikan, tetapi juga penyediaan referensi proyek yang sangat berharga. Rasa terima kasih juga ditujukan kepada Politeknik Negeri Bandung atas dukungan dan fasilitas yang disediakan, yang memungkinkan terlaksananya setiap tahapan penelitian dengan lancar. Tanpa kontribusi dan kolaborasi dari kedua pihak, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan dengan optimal.

Declarations

Kontribusi penulis. Semua penulis memberikan kontribusi yang sama kepada kontributor utama untuk makalah ini. Semua penulis membaca dan menyetujui makalah akhir

Pernyataan pendanaan. Tak satu pun dari penulis telah menerima dana atau hibah dari lembaga atau badan pendanaan untuk penelitian.

Konflik kepentingan. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Informasi tambahan. Tidak ada informasi tambahan yang tersedia untuk makalah ini.

References

- [1] A. Husen *et al.*, “AKUISISI DATA VIBRASI UJI DINAMIK JEMBATAN,” 2021.
- [2] X. Peng, Q. Yang, F. Qin, and B. Sun, “Structural Damage Detection Based on Static and Dynamic Flexibility: A Review and Comparative Study,” Jan. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/coatings14010031.
- [3] D. Feng and M. Q. Feng, “Computer vision for SHM of civil infrastructure: From dynamic response measurement to damage detection – A review,” Feb. 01, 2018, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.11.018.
- [4] E. O. L. Lantsoght, “Assessment of existing concrete bridges by load testing: barriers to code implementation and proposed solutions,” *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 20, no. 7–8, pp. 1002–1014, 2024, doi: 10.1080/15732479.2023.2264825.
- [5] H. Khoeri, R. Pradana, and D. M. Tasrim, “Pasak : Jurnal Teknik Sipil dan Bangunan Uji Beban Statik dan Dinamik untuk Asesmen Reliabilitas Jembatan Baja Komposit Bentang 20m, 25m dan 30m,” *Maret*, vol. 1, no. 2, pp. 49–58, doi: 10.32699.
- [6] C. Soleh and J. I. Rastandi, “ALTERNATIF UJI BEBAN PADA STRUKTUR (STUDI KASUS : JEMBATAN BAJA),” *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, vol. 5, no. 1, p. 27, May 2021, doi: 10.24912/jmstkip.v5i1.7215.
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, “Penilaian Kondisi Jembatan untuk Bangunan atas dengan Cara Uji Getar”. Pt T-05-2002-B. Pedoman Konstruksi dan Bangunan. 2002
- [8] H. Khoeri, W. Isvara, F. Natasia, D. Sofiana, M. Jakarta, and P. Hesa Laras Cemerlang, “Penilaian Kelaikan Jembatan Berdasarkan Parameter Dinamis Experimental pada Jembatan PC-I Girder 40 m,” 2024.
- [9] Directorate General of Highways Ministry of Public Works Republic of Indonesia. “Bridge Design Manual, Vol-1, (1992)”.