

EVALUASI ANALISIS KONDISI JEMBATAN RANGKA BAJA AKIBAT KERUSAKAN STRUKTURAL DENGAN METODE UJI BEBAN DINAMIK (STUDI KASUS: JEMBATAN CIPENDAWA)

Nur Rakhman¹⁾

Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Indonesia
E-mail: rahmanbimbim98@gmail.com

Abstrak

Beberapa temuan kerusakan yang terjadi selama usia layan jembatan jika dibiarkan tanpa adanya inspeksi, perbaikan, dan evaluasi lanjutan dapat mengganggu fungsi pelayanan jembatan. Kondisi tersebut akan berpengaruh pada kinerja, kapasitas, keamanan, dan umur layan jembatan. Beberapa upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan inspeksi visual, pengujian material jembatan (Non-Destructive Test dan Destructive Test), juga Uji Beban Dinamik pada jembatan. Dalam studi Tugas Akhir mengenai "Evaluasi Analisis Kondisi Jembatan Rangka Baja Akibat Kerusakan Struktural Dengan Metode Uji Beban Dinamik" bertujuan untuk mengetahui dampak akibat temuan kerusakan yang terjadi pada kondisi jembatan eksisting terhadap nilai frekuensi natural jembatan dengan nilai frekuensi desain jembatan.

Kata kunci: Uji Beban Dinamik, Frekuensi Desain Jembatan.

Pendahuluan

Pembangunan struktural dan infrastruktur seharusnya mendorong pertumbuhan ekonomi. Penyebaran pembangunan yang merata di berbagai wilayah akan menciptakan pusat-pusat ekonomi baru dan mengurangi ketimpangan ekonomi antar daerah. Oleh karena itu, pemerintah secara intensif melaksanakan berbagai bentuk pembangunan, baik dalam hal struktur maupun infrastruktur. Proses pengembangan tersebut harus mengikuti rancangan dan perhitungan yang telah ditetapkan sebelumnya. Selain itu, berbagai aspek dalam proses konstruksi perlu diperhatikan guna mencegah terjadinya keruntuhan bangunan.

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki sebanyak 18.916 jembatan yang tersebar di jalan nasional. Berdasarkan data dari PUPR tahun 2020, sekitar 30% dari jumlah tersebut berada dalam kondisi baik, 57% dalam kondisi sedang, dan 13% mengalami kerusakan ringan hingga keruntuhan. Kondisi ini menjadi tantangan tersendiri bagi Direktorat Jenderal Bina Marga dalam menjaga kinerja jembatan sepanjang masa layanannya. Walaupun jembatan umumnya dirancang untuk bertahan selama 50 hingga 100 tahun, kapasitas struktur dapat menurun seiring waktu akibat berbagai faktor, seperti beban lalu lintas, korosi, dan gempa bumi. Oleh karena itu, pengujian rutin sangat penting dilakukan untuk memantau kondisi dan kesehatan jembatan secara berkala.

Jembatan Cipendawa berlokasi di kota Bekasi sudah lama beroperasi sehingga memerlukan pengujian secara berkala pengujian yang bertujuan untuk mengetahui reaksi jembatan terhadap beban yang bekerja pada struktur dan menentukan kemampuan jembatan untuk dapat digunakan, guna memeriksa kondisi komponen sesuai dengan desain. Pengujian yang dilakukan oleh penulis adalah pengujian khusus beban dinamik dengan metode uji getar dengan menggunakan sensor akselerometer. Data hasil dari uji beban ini selanjutnya dibandingkan dengan frekuensi yang didapat dari hasil pemodelan sehingga dapat diketahui kondisi jembatan tersebut.

Data dukung pada proposal ini merujuk pada laporan dengan judul *Evaluasi Analisis Kondisi Jembatan Rangka Baja Akibat Kerusakan Struktural Dengan Metode Uji Beban Dinamik*, serta data PUPR tahun 2020.

Dari gambaran permasalahan diatas, maka diperlukan adanya studi tentang Evaluasi Analisis Kondisi Jembatan Rangka Baja Akibat Kerusakan Struktural Dengan Metode Uji Beban Dinamik. Tujuan dari studi antara lain:

1. Berapa frekuensi alami aktual struktur yang diperoleh dari uji beban dinamik?
2. Berapa frekuensi alami yang diperoleh dari analisis pemodelan jembatan?
3. Berapa rasio redaman yang diperoleh dari uji beban dinamik?

Studi Pustaka

Dalam beberapa jurnal yang berkaitan dengan uji beban dinamik seperti [2] dan [4] digunakan beberapa jenis sensor, salah satunya Speed (acceleration) sensor yang berfungsi untuk membaca getaran frekuensi natural. Pengujian ini sangat bergantung pada teknologi sensor yang bekerja sesuai fungsi spesifiknya. Jenis sensor yang digunakan adalah akselerometer, yang mampu mengukur getaran permukaan serta percepatan dinamis dan statis. Percepatan dinamis berkaitan dengan gerakan benda, sedangkan percepatan statis berhubungan dengan gaya gravitasi. Akselerometer dapat digunakan untuk mendeteksi getaran pada struktur seperti jembatan maupun gedung pencakar langit, termasuk getaran akibat gempa bumi.

Sementara itu, pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat, karakteristik, kualitas, dan kondisi dari material yang digunakan—baik itu baja maupun beton—tergantung pada jenis bahan yang dipakai dalam konstruksi. Pengujian struktur sendiri dapat dilakukan secara lokal maupun menyeluruh, dan dibagi menjadi dua jenis: uji statis dan uji dinamis. Uji statis lebih umum dilakukan dan telah memiliki pedoman yang jelas untuk pelaksanaannya pada bangunan maupun jembatan. Sebaliknya, uji dinamis masih belum banyak dikenal, namun dapat merujuk pada pedoman teknis yang tersedia, seperti peraturan dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Pt T-05-2002-B, yang mengatur tentang evaluasi kondisi struktur atas jembatan melalui metode uji getar. Sejumlah studi terdahulu memberikan kontribusi penting sebagai acuan.

1. [3] Penelitian ini menggunakan uji getar dinamis berdasarkan Pedoman Pt T- 05-2002-B serta analisis struktur dengan program SAP2000. Hasilnya menunjukkan frekuensi alami aktual sebesar 2,15 Hz, lebih tinggi dari nilai teoritis 2,13677 Hz, yang berarti kondisi Jembatan Sei Nilo masih baik.
2. [6] Pengujian dilakukan menggunakan sensor accelerometer untuk memperoleh parameter dinamis seperti frekuensi alami, rasio redaman, dan ragam getar. Hasil uji menunjukkan frekuensi aktual sebesar 1,95 Hz, lebih rendah dari nilai teoritis 2,15 Hz, yang menandakan kekakuan struktur berkurang.
3. [4] Hasilnya menunjukkan bahwa frekuensi modal orde pertama yang diukur sebesar 5,664 Hz melebihi nilai teoritis 4,712 Hz, yang mengindikasikan kekakuan struktur yang lebih besar. Frekuensi getaran paksa pada kecepatan 20 km/jam, 30 km/jam, dan 40 km/jam secara konsisten sesuai dengan nilai 5,664 Hz.

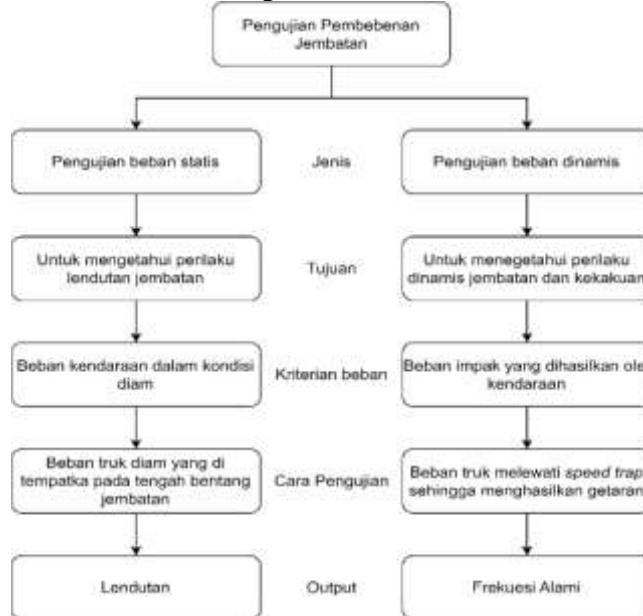
Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder, di mana (1) data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dengan melakukan pengujian beban dinamis. Pengujian Dinamis merupakan pengujian beban kendaraan pada jembatan dalam kondisi kendaraan bergerak dengan kecepatan tertentu atau dengan beban kejut. Tujuan dilakukannya pembebanan dinamis ini adalah untuk mengetahui perilaku jembatan terhadap beban dinamis, sedangkan (2) data sekunder diperoleh dari studi literatur dan desain awal jembatan untuk membandingkan kondisi lapangan dengan teori atau penelitian sebelumnya sekaligus menjadi referensi solusi permasalahan, nantinya akan diperoleh data kondisi aktual jembatan.

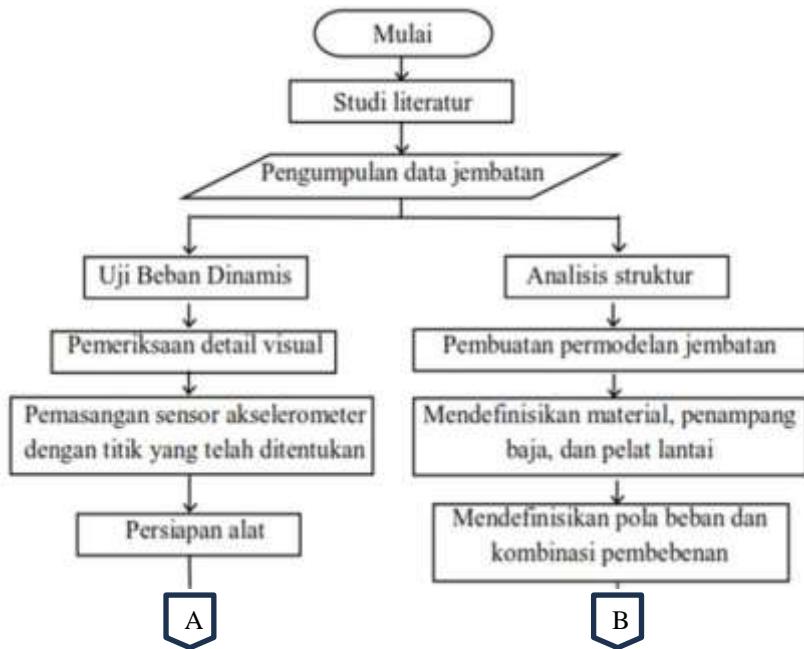
Hasil dan Pembahasan

Beban Kendaraan

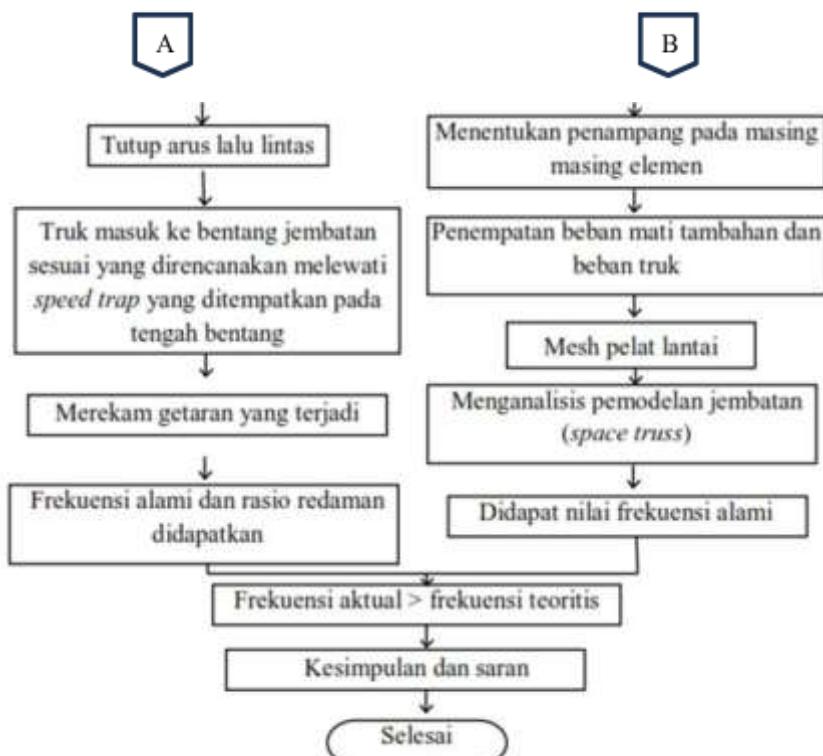
Sedangkan pengujian beban dinamis merupakan pengujian beban kendaraan pada jembatan dalam kondisi kendaraan bergerak dengan kecepatan tertentu atau dengan beban kejut. Tujuan dilakukannya pembebanan dinamis ini adalah untuk mengetahui perilaku jembatan terhadap beban dinamis. Metode pembebanan dinamis ini terbagi dua, yaitu dengan kendaraan bergerak dalam kecepatan tertentu dan beban kejut. Metode beban kejut dilakukan dengan cara menggetarkan jembatan menggunakan kendaraan yang melewati speed trap sehingga kendaraan akan memberikan respon berupa getaran.



Gambar 1. Penjelasan pembebanan jembatan



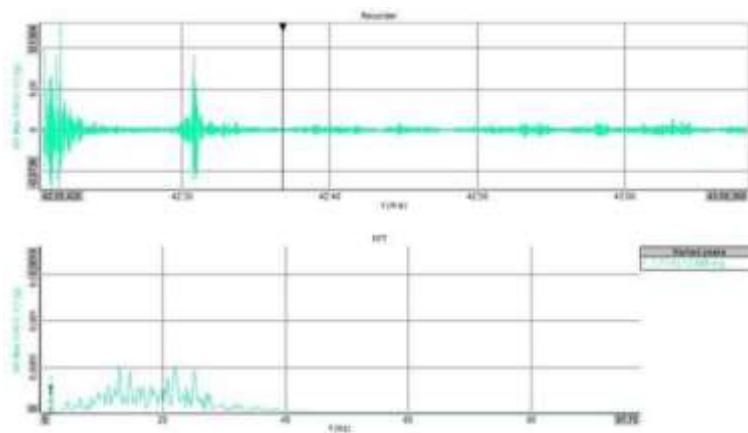
Gambar 2. Diagram alur penelitian



Gambar 3. Lanjutan diagram alur penelitian

Hasil Pengukuran Getaran Aktual

Dari hasil rekaman data pada pengujian pembebatan dinamis kemudian dilakukan pengolahan data dengan metoda Fourier Transform untuk mendapatkan nilai-nilai frekuensi struktur sesaat setelah truk melewati jembatan menggunakan software dewetron. Hasil-hasil pengambilan puncak getaran diambil berdasarkan waktu yang telah dicatat sesaat setelah memberikan traciffc pada jembatan. Pengujian perlu dilakukan beberapa kali guna untuk mendapatkan puncak-puncak getaran sesuai justifikasi engineering.. Untuk Selengkapnya dapat dilihat secara detail pada lampiran Dynamic Loading Test. Berikut adalah kesimpulan hasil pengujian getaran aktual pada Jembatan Cipendawa:



Gambar 4. Domain frekuensi aktual jembatan



Gambar 5. *Dynamic load test metode moving load traffic*

Analisis Natural Vibration

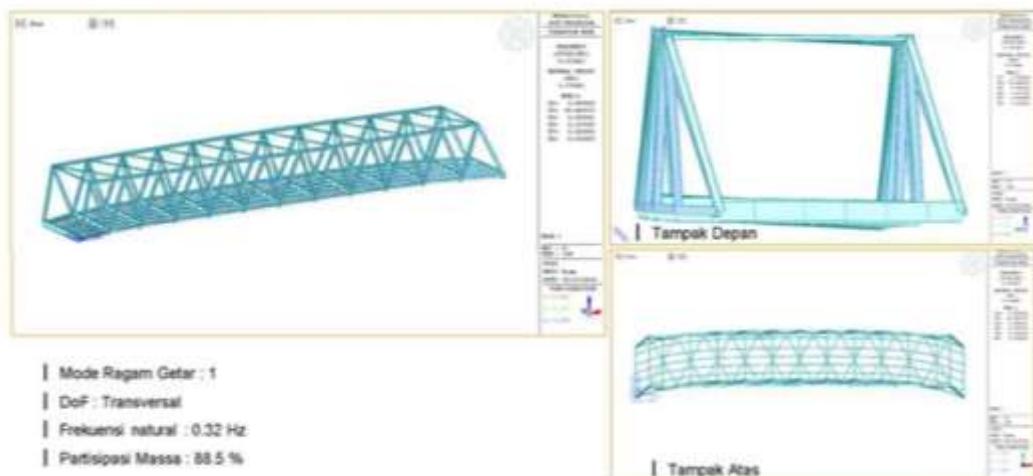
Dalam sebuah struktur, perlu dianalisis kenyamanan struktur. Hal ini dapat diukur menggunakan analisis frekuensi natural yang dapat dianalisis menggunakan MIDAS Civil. Frekuensi alami dapat menentukan nilai kondisi dengan mendefinisikan dua parameter, yaitu frekuensi alami teoritis dan frekuensi alami aktual. Frekuensi alami teoritis dapat diperoleh dari analisis modal dari pemodelan jembatan. Hal ini dapat juga didefinisikan melalui pengukuran lapangan sebelum jembatan siap dibuka untuk lalu lintas. Sementara frekuensi alami yang sebenarnya dapat diperoleh dari pengukuran lapangan.

Frekuensi Natural dianalisis menggunakan MIDAS dengan Batasan kenyamanan frekuensi getar natural mengacu pada Laporan No. 211, "Dynamic Load Tests on Highway Bridges in Switzerland"; EMPA, Dubendorf (Catieni, R. 1983, and Burdett, O. and Corthay, S. 1995) sebesar 100/L. Adapun menurut "Penentuan Nilai Kondisi & Tingkat Kenyamanan Jembatan: Korelasi terhadap Degradasi Frekuensi Alami" (Faza H. dkk, 2017). Sesuai dengan pengujian lapangan, ditetapkan untuk kasus jembatan di Indonesia diambil nilai frekuensi natural sebesar 125/L. Dengan bentang Jembatan Cipendawa yang memiliki panjang 60 meter, maka didapat batas frekuensi natural teoritis yaitu:

$$fn = \frac{100}{L} = 1.6667 \text{ Hz} \quad (1)$$

$$fn = \frac{125}{L} = 2.0833 \text{ Hz} \quad (2)$$

Adapun hasil dari analisis frekuensi natural pada mode getar menggunakan model MIDAS Civil didapat sebagai berikut:



Gambar 6. Analisis mode getar 1 (Transfersal)

Mode No	DoF	MAX MASS(%)	Frequency		Period (sec)
			(rad/sec)	(cycle/sec)	
1	Transversal	88.50	1.98	0.32	3.17
2	Rotasi Z	63.70	5.02	0.80	1.25
3	Longitudinal	56.57	5.87	0.93	1.07
4	Longitudinal	0.58	6.44	1.03	0.98
5	Rotasi X	2.92	6.98	1.11	0.90
6	Longitudinal	2.77	7.16	1.14	0.88
7	Vertikal	0.53	8.05	1.28	0.78
8	Vertikal	20.59	8.99	1.43	0.70
9	Rotasi Z	5.95	9.04	1.44	0.69
10	Vertikal	52.43	9.15	1.46	0.69
11	Vertikal	0.35	10.05	1.60	0.63
12	Longitudinal	0.22	11.02	1.75	0.57
13	Rotasi X	7.44	11.30	1.80	0.56
14	Vertikal	0.03	11.91	1.90	0.53
15	Longitudinal	0.10	12.68	2.02	0.50
16	Vertikal	0.01	13.29	2.12	0.47
17	Rotasi X	40.17	13.71	2.18	0.46
18	Rotasi X	18.52	13.72	2.18	0.46
19	Longitudinal	0.12	14.39	2.29	0.44
20	Longitudinal	0.17	14.39	2.29	0.44
21	Rotasi X	6.93	14.62	2.33	0.43
22	Rotasi X	1.03	18.14	2.89	0.35
23	Rotasi X	2.10	21.03	3.35	0.30
24	Rotasi Y	1.28	21.18	3.37	0.30
25	Vertikal	0.03	21.22	3.38	0.30

Memenuhi persamaan 1 (Cateri, R. 1983)

Gambar 6. Rekap mode getar jembatan cipendawa

Komparasi Desain dan Hasil Pengujian Dynamic Loading Test

Berdasarkan hasil data-data yang diperoleh dari pengujian dan data desain konsultan perencana, kemudian dibuatkan tabel komparasi dan dievaluasi berdasarkan tabel dibawah ini.

Mode No	DoF	MAX MASS(%)	Frequency		Period (sec)
			(rad/sec)	(cycle/sec)	
1	Transversal	88.50	1.98	0.32	3.17
2	Rotasi Z	63.70	5.02	0.80	1.25
3	Longitudinal	56.57	5.87	0.93	1.07
4	Longitudinal	0.58	6.44	1.03	0.98
5	Rotasi X	2.92	6.98	1.11	0.90
6	Longitudinal	2.77	7.16	1.14	0.88
7	Vertikal	0.53	8.05	1.28	0.78
8	Vertikal	20.59	8.99	1.43	0.70
9	Rotasi Z	5.95	9.04	1.44	0.69
10	Vertikal	52.43	9.15	1.46	0.69
11	Vertikal	0.35	10.05	1.60	0.63
12	Longitudinal	0.22	11.02	1.75	0.57
13	Rotasi X	7.44	11.30	1.80	0.56
14	Vertikal	0.03	11.91	1.90	0.53
15	Longitudinal	0.10	12.68	2.02	0.50
16	Vertikal	0.01	13.29	2.12	0.47
17	Rotasi X	40.17	13.71	2.18	0.46
18	Rotasi X	18.52	13.72	2.18	0.46
19	Longitudinal	0.12	14.39	2.29	0.44
20	Longitudinal	0.17	14.39	2.29	0.44
21	Rotasi X	6.93	14.62	2.33	0.43
22	Rotasi X	1.03	18.14	2.89	0.35
23	Rotasi X	2.10	21.03	3.35	0.30
24	Rotasi Y	1.28	21.18	3.37	0.30
25	Vertikal	0.03	21.22	3.38	0.30

Gambar 7. Eigenvalue analysis berdasarkan eksisting

No.	Tipe Jembatan	Frekuensi (Hz)		Keterangan
		Aktual	Desain	
1	Rangka Baja A60	1,71	1,46	Frekuensi aktual > Frekuensi desain

Gambar 8. Komparasi frekuensi aktual & desain jembatan cipendawa

Kesimpulan

Kesimpulan yang dari studi ini adalah sebagai berikut:
Pengujian pembebanan dinamis pada Jembatan Cipendawa menghasilkan frekuensi aktual sebesar $1,71 \text{ Hz} > 1,46 \text{ Hz}$ (Desain), kriteria kondisi jembatan adalah baik dan tidak ada kerusakan secara struktural.

Daftar Pustaka

- [1] Bugarski, V. G., & Borkovic, A. (2012). DYNAMIC LOAD TESTING OF BRIDGES. 23rd National Conference & 4th International Conference Noise and Vibration, 17-19.
- [2] Lee, S. H., & Kim, J. H. (2020). Characteristics of Static and Dynamic Loading Tests for Bridge. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 55-64.
- [3] Prakoso, R. A. (2023). Perilaku Dinamis Jembatan Rangka Baja, Studi Kasus : Jembatan Rangka Baja Kab. Pelalawan Riau. Banten: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [4] Qiao, L., Xia, X.-J., Guo, H., Song, H., Feng, Y.-Q., & Ka, T. A. (2025). Analysis of bridge dynamic load. Scientific Reports.
- [5] (2015). Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 07/SE/M/2015, Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [6] Syamsudin, A. R. (2023). Analisis Kondisi Jembatan Rangka Baja dengan Metode Uji Beban Dinamik, Studi Kasus: Jembatan Citanduy Kabupaten Tasikmalaya. Banten: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.