

Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* dan Pergerakan Partikel

Nurul Annisa, Ahmad Fauzi Pohan*

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 16 Januari 2023
Direvisi: 15 Februari 2023
Diterima: 22 Februari 2023

Kata kunci:

frekuensi
HVSBR
jembatan kuranji
pergerakan partikel

Keywords:

frequency
HVSBR
kuranji bridge
particle motion

Penulis Korespondensi:

Ahmad Fauzi Pohan
Email:
ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Evaluasi kondisi jembatan diperlukan untuk melihat keadaan jembatan sebagai tindakan pencegahan terjadi kerusakan yang lebih besar pada struktur jembatan. Jembatan Kuranji terbagi menjadi 2 bagian yaitu jembatan lama yang berusia 30 tahun dan jembatan baru yang berusia 9 tahun. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan pengukuran mikrotremor. Pengukuran dilakukan di 12 titik dengan durasi perekaman 90 menit. Hasil pengukuran mikrotremor diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSBR) dan pergerakan partikel (*particle motion*) menggunakan *Software Geopsy*. Pada analisis kurva HVSBR dihasilkan nilai frekuensi alamiah. Untuk menentukan kondisi jembatan ditentukan nilai rasio frekuensi alamiah yang didapatkan dari pengolahan nilai frekuensi alamiah. Nilai frekuensi alamiah jembatan lama didapatkan sebesar 3,420 Hz dan 2,031 Hz untuk jembatan baru. Nilai rasio frekuensi alamiah jembatan baru sebesar 1,144% dan jembatan lama sebesar 2,611% dan dinyatakan jembatan baru berada dalam keadaan baik secara struktur dan jembatan lama berada dalam keadaan karatan (cacat kecil) yang memerlukan perawatan secara rutin. Pada metode pergerakan partikel didapatkan ketidakselarasan pergerakan struktur atas dan bawah jembatan lama yang dikhawatirkan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur jembatan.

Evaluation of bridge conditions is needed to see the state of the bridge as a preventive measure for greater damage to the bridge structure. Kuranji Bridge is divided into 2 parts, namely the old bridge which is 30 years old and the new bridge which is 9 years old. The evaluation was carried out using microtremor measurements. Measurements were taken at 12 points with a recording duration of 90 minutes. The microtremor measurement results were processed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSBR) method and particle motion using Geopsy software. In the HVSBR curve analysis, the natural frequency value is generated. To determine the condition of the bridge, the natural frequency ratio value obtained from processing the natural frequency value is determined. The natural frequency value of the old bridge was found to be 3.420 Hz and 2.031 Hz for the new bridge. The natural frequency ratio value of the new bridge is 1.144% and the old bridge is 2.611% and it is stated that the new bridge is in good condition structurally and the old bridge is in a state of minor defects that require routine maintenance. In the particle motion method, it was found that the misalignment of the movement of the upper and lower structures of the old bridge was feared to cause damage to the bridge structure.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kendaraan yang melewati jembatan menghasilkan getaran dengan amplitudo rendah yang disebut dengan mikrotremor (Darko *et al.*, 2020). Mikrotremor merupakan getaran yang terjadi secara terus menerus bersumber dari alam maupun aktivitas manusia seperti aktivitas lalu lintas (Sitorus *et al.*, 2017). Mikrotremor dapat digunakan untuk melihat keadaan jembatan secara struktur berada dalam kondisi baik atau tidak.

Dalam pengolahan data mikrotremor dikenal metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR merupakan salah satu metode geofisika yang paling sederhana dan efektif dalam akuisisi data (Helbary *et al.*, 2019). Pengukuran mikrotremor dengan menggunakan metode HVSR dilakukan secara langsung dengan sumber getaran yang berasal dari alam sehingga tidak memerlukan sumber buatan. Penggunaan metode HVSR dapat dilakukan tanpa harus merusak struktur bangunan.

Metode HVSR telah digunakan oleh Syaputra *et al.* (2019) untuk mengidentifikasi kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi. Penelitian ini menunjukkan getaran yang terjadi pada jembatan akan mempengaruhi nilai frekuensi yang didapatkan. Getaran yang dihasilkan di bagian tengah jembatan lebih besar karena memiliki formasi yang lebih renggang dibandingkan bagian ujung jembatan.

Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR adalah frekuensi alamiah. Frekuensi alamiah merupakan frekuensi alami sebuah struktur yang cenderung bergetar jika struktur tersebut diberikan gangguan. Frekuensi alamiah yang terukur berhubungan dengan parameter fisik bawah permukaan (Herak, 2008). Frekuensi alamiah pada Jembatan Kuranji 6 tahun sebelumnya telah ditentukan pada penelitian (Pratama, 2016) untuk menganalisis respon struktur atas Jembatan Kuranji akibat gempa horizontal. Hasil penelitian menunjukkan nilai frekuensi alamiah jembatan kuranji sebesar 1,9312 Hz yang berdasarkan standar ketahanan gempa nilai tersebut memenuhi standar dan jembatan tersebut aman untuk digunakan.

Metode lainnya yang dapat digunakan untuk mengetahui keadaan pada struktur bangunan jembatan adalah pergerakan partikel (*particle motion*). Metode ini digunakan untuk mendapatkan arah pergerakan sumber getaran (Lestari, 2018). Metode pergerakan partikel telah digunakan oleh Maulidiya dan Rusli, (2017) untuk menentukan arah pergerakan gelombang dari pada Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang. Pada penelitian ini didapatkan hasil analisis pergerakan partikel yang bergerak ke segala arah baik secara vertikal dan horizontal. Arah pergerakan partikel dipengaruhi oleh medium yang dilewatinya yaitu jembatan.

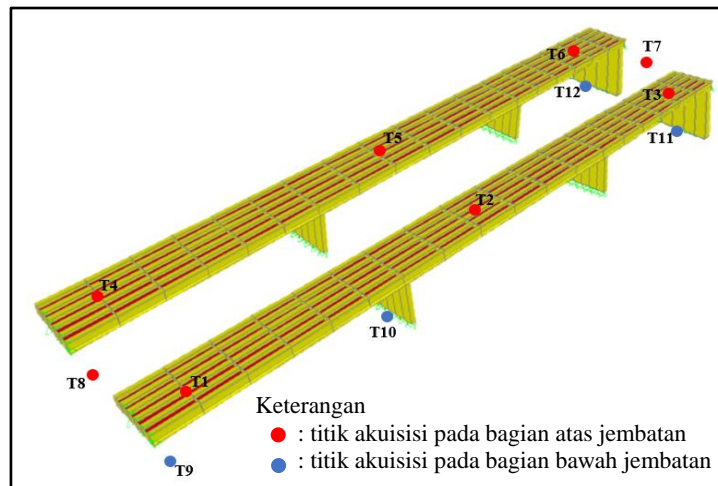
Salah satu jembatan yang terdapat di Kota Padang adalah Jembatan Kuranji. Jembatan Kuranji berada di Jalanan By Pass yang merupakan jalanan nasional yang padat kendaraan dan rawan kemacetan. Kemacetan menyebabkan beban kendaraan berhenti di atas jembatan sehingga menambah beban yang harus ditanggung jembatan yang berpotensi membuat jembatan mengalami kelebihan beban (*over loading*). Pada bagian bawah jembatan Kuranji terdapat penambangan pasir yang rutin dilakukan oleh masyarakat. Penambangan pasir menyebabkan berkurangnya batu dan pasir di sekitar pilar jembatan. Pilar jembatan yang berfungsi menahan beban yang berada di atas jembatan berpotensi kehilangan tumpuan. Evaluasi kondisi struktur atas dan struktur bawah jembatan menggunakan metode HVSR dan pergerakan partikel diperlukan untuk melihat keadaan struktur dan arah pergerakan partikel dari jembatan.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan secara langsung di Jembatan Kuranji Kota Padang, Sumatera Barat. Teknik penelitian meliputi survei lokasi, penentuan titik akuisisi, pengambilan data, pengolahan data, interpretasi dan analisis data. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *geophone*, *data logger*, kabel penghubung, dan laptop. Perangkat lunak yang digunakan yaitu *DataQ* untuk akuisisi data, *Microsoft Excel*, *Notepad* untuk pengolahan data, dan *Surfer* untuk pemetaan sebaran nilai frekuensi alamiah di atas dan dibawah jembatan.

Akuisisi data dilakukan pada bagian atas dan bagian bawah jembatan lama dan baru. Pada bagian atas jembatan lama data diambil pada 3 titik (T1, T2, T3) dan bagian bawah data diambil 3 titik (T9, T10, T11). Pada bagian atas jembatan baru data diambil pada 3 titik (T4, T5, T6) dan bagian bawah

1 titik (T12) dikarenakan terdapat aliran Sungai Batang Kuranji. Pengambilan data juga dilakukan pada bagian atas ujung jembatan lama dan baru yaitu pada 2 titik (T7 dan T8). Titik akuisisi data pada jembatan dapat dilihat pada Gambar 1. Setiap titik akuisisi diletakkan *geophone* dengan tiga komponen sensor yaitu komponen horizontal utara-selatan, komponen horizontal timur-barat dan komponen vertikal atas-bawah. Pengambilan data dilakukan di setiap titik akuisisi dengan durasi pengukuran selama 1 jam 30 menit.



Gambar 1 Titik akuisisi pada jembatan

Pengolahan data meliputi dua tahap yaitu pengolahan data menggunakan metode HVSR dan pergerakan partikel. Pada metode HVSR dilakukan transformasi fourier untuk mengubah data dari domain waktu ke domain frekuensi dengan menggunakan Persamaan 1.

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

dengan $f(t)$ adalah fungsi dalam kawasan waktu, $F(f)$ adalah fungsi dalam kawasan frekuensi, f adalah frekuensi (Hz), t adalah waktu (t), dan j adalah bilangan imajiner.

Metode HVSR menghasilkan nilai frekuensi alamiah yang ditunjukkan oleh kurva HVSR. Nilai frekuensi alamiah akan diolah sehingga menghasilkan nilai rasio frekuensi alamiah. Kondisi pada jembatan didapatkan dengan membandingkan nilai rasio frekuensi alamiah dan tabel 1.

Tabel 1 Nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi

No	Visual Keterangan Cacat	Pemeliharaan Program	Rasio frekuensi K (%)
1	Elemen-Elemen jembatan berada dalam kondisi baik dan tidak ditemukan adanya cacat memerlukan perawatan rutin	Tidak diperlukan perbaikan (hanya perawatan secara rutin)	$0 < K \leq 2,5$
2	Elemen-elemen jembatan dengan cacat kecil dan memerlukan perawatan rutin	Tidak diperlukan perbaikan segera	$2,5 < K \leq 7,5$
3	Elemen-elemen jembatan dengan kerusakan yang memerlukan perbaikan preventif (dalam 12 bulan)	Perbaikan preventif	$7,5 < K \leq 15,0$
4	Elemen-elemen jembatan dengan kerusakan yang memerlukan perhatian khusus atau sudah diperbaiki	Perbaikan (rehabilitasi)	$15,0 < K \leq 22,5$
5	Elemen-elemen jembatan dalam kondisi kritis yang memerlukan perhatian segera, perlu diganti	Penggantian	$22,5 < K \leq 27,5$
6	Elemen-elemen jembatan tidak berfungsi, rusak, atau runtuh	Penggantian	$K > 27,5$

Analisis pergerakan partikel dilakukan dengan acuan komponen x mengarah ke timur dan komponen y mengarah ke utara. Analisis pergerakan partikel hanya dilakukan untuk jembatan lama

dikarenakan pilar jembatan baru digenangi aliran Sungai Batang Kuranji sehingga tidak dilakukan pengambilan data pada pondasi tersebut.

III. HASIL DAN DISKUSI

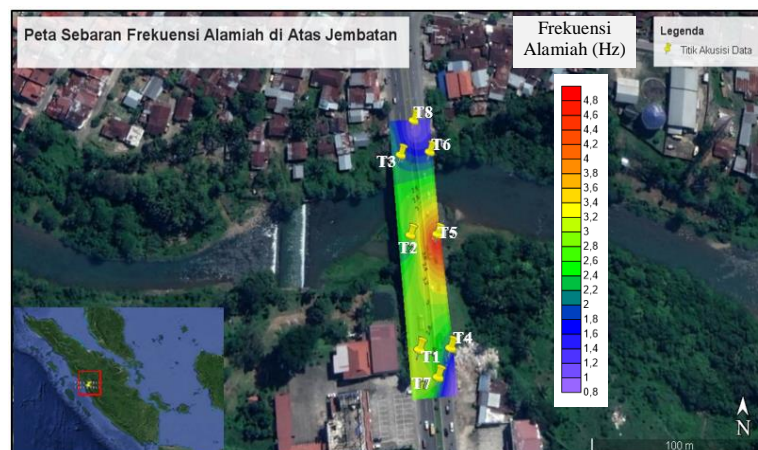
3.1 Frekuensi Alamiah Jembatan

Nilai frekuensi alamiah jembatan di setiap titik akuisisi data dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai frekuensi alamiah tertinggi terdapat pada T10 dengan nilai 5,466 Hz yang berada di bawah jembatan. Nilai frekuensi terendah terdapat pada T4 dengan nilai 0,892 Hz yang berada di atas jembatan.

Tabel 2 Nilai frekuensi alamiah jembatan

	Titik Akuisisi Data	Garis Lintang	Garis Bujur	Frekuensi Alamiah f_o (Hz)
Jembatan lama yang berusia 30 tahun	T1	-0,922775	100,397714	3,204
	T2	-0,922153	100,397667	2,285
	T3	-0,921567	100,397589	2,258
	T9	-0,922765	100,397762	5,128
	T10	-0,922196	100,397700	5,466
	T11	-0,921480	100,397628	2,178
Jembatan baru yang berusia 9 tahun	T4	-0,922761	100,397886	0,892
	T5	-0,922133	100,397836	4,827s
	T6	-0,92155	100,397761	1,043
	T12	-0,921482	100,397735	1,361
Sambungan ujung jembatan dengan jalan	T7	-0,922856	100,397819	1,122
	T8	-0,921469	100,397678	1,650

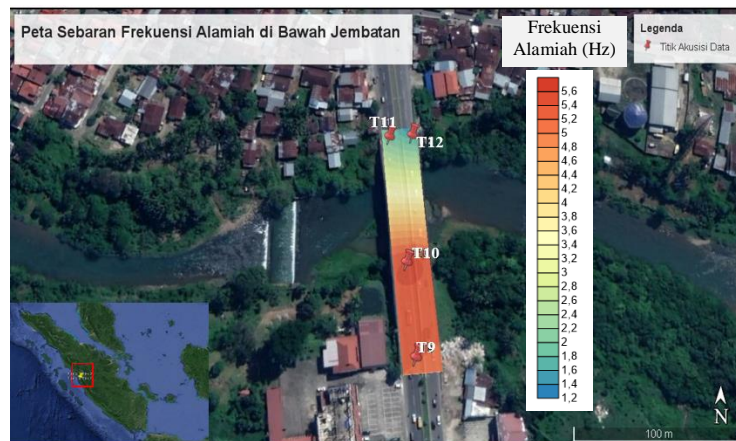
Hasil pengolahan data frekuensi alamiah tersebut kemudian *overlay* dengan peta akuisisi data untuk menggambarkan persebaran frekuensi alamiah pada jembatan. Peta tersebut dibagi kedalam dua bagian yaitu peta persebaran frekuensi alamiah di atas jembatan dan di bawah jembatan. Kedua peta menunjukkan keadaan jembatan di setiap titik akuisisi berdasarkan nilai frekuensi alamiah. Hasil pemetaan frekuensi alamiah ditunjukkan oleh Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2 Peta sebaran nilai frekuensi alamiah di atas jembatan

Berdasarkan Gambar 2 nilai frekuensi alamiah di atas jembatan didominasi oleh nilai frekuensi alamiah dengan rentang 2,2 Hz – 3,2 Hz yang diwakili oleh warna hijau. Jembatan Kuranji terdiri dari jembatan lama yang berusia 30 tahun dan jembatan baru yang berusia 9 tahun. Pada bagian atas jembatan lama didominasi oleh frekuensi dengan rentang 2,258 Hz - 3,204 Hz yang diwakili oleh warna hijau. Namun hal yang berbeda terlihat pada bagian atas jembatan lama dimana terdapat perbedaan nilai frekuensi pada bagian ujung dan tengah jembatan.

Bagian tengah jembatan baru memiliki nilai frekuensi alamiah yang lebih besar dibandingkan bagian ujung yaitu sebesar 4,827 Hz yang diwakilkan oleh warna merah. Hal ini dikarenakan pada bagian tengah jembatan baru (titik akuisisi T5) sering terjadi pemberhentian kendaraan yang disebabkan oleh lampu lalu lintas. Pemberhentian kendaraan pada jembatan memberikan tekanan pada jembatan sehingga menghasilkan getaran yang lebih besar pada jembatan (Maulidiya dan Rusli, 2017). Titik akuisisi T5 juga berada di tengah jembatan dimana bagian tengah jembatan memiliki formasi yang renggang dibandingkan bagian ujung jembatan dan getaran yang dihasilkan lebih besar. Semakin besar getaran yang dihasilkan maka nilai frekuensi alamiah yang didapatkan juga semakin besar (Syaputra *et al.*, 2019)



Gambar 3 Sebaran nilai frekuensi alamiah di pondasi bawah jembatan

Pada bagian bawah jembatan nilai frekuensi alamiah didominasi oleh nilai frekuensi alamiah dengan rentang 4 Hz – 5,5 Hz yang diwakilkan oleh warna merah seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pada bagian bawah jembatan lama nilai frekuensi yang didapatkan antara perbedaan di setiap titik akuisisi data. Hal ini disebabkan nilai frekuensi alamiah berkaitan dengan lokasi titik akuisisi data dan kondisi lokasi titik akuisisi tersebut. Lokasi titik akuisisi data pada T9 dan T10 berada pada pondasi jembatan yang belum dilakukan pengecoran. Titik akuisisi data T11 berada pada pondasi jembatan yang sudah dilakukan pengecoran. Pengecoran menyebabkan lapisan tanah di bawah pondasi jembatan menjadi lebih padat dan kompak sehingga nilai frekuensi yang dihasilkan lebih rendah.

3.2 Rasio Frekuensi Alamiah Jembatan

Dari pengolahan nilai frekuensi alamiah yang telah dilakukan, didapatkan nilai rasio frekuensi alamiah untuk jembatan lama yang berusia 30 tahun dan jembatan baru yang berusia 9 tahun. Nilai rasio frekuensi alamiah tersebut dibandingkan dengan Tabel 1 sehingga didapatkan kondisi pada jembatan secara keseluruhan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kondisi jembatan berdasarkan nilai rasio frekuensi alamiah

	Titik	Frekuensi Alamiah f_o (Hz)	Frekuensi Teori (Hz)	Frekuensi Rata-Rata (Hz)	Rasio Frekuensi Alamiah (%)	Keterangan
Jembatan sebelah barat yang berusia 30 tahun (Jembatan Lama)	T1	3,204	0,9470	3,420	2,611	Elemen-elemen jembatan dalam kondisi cacat kecil dan memerlukan pengecekan secara rutin
	T2	2,285				
	T3	2,258				
	T9	5,128				
	T10	5,466				
Jembatan sebelah timur yang berusia 9 tahun (Jembatan Baru)	T4	0,892	2,031	1,144	Elemen-elemen jembatan dalam kondisi baik dan tidak memerlukan perbaikan	
	T5	4,827				
	T6	1,043				
	T12	1,361				

Tabel 3 menunjukkan kondisi jembatan berdasarkan nilai rasio frekuensi alamiah. Nilai rasio frekuensi alamiah jembatan lama yang berusia 30 tahun adalah 2,611% dan jembatan baru yang berusia 9 tahun sebesar 1,144%. Jembatan lama berdasarkan rasio frekuensi alamiah didapatkan elemen-elemen jembatan berada dalam kondisi cacat kecil berupa karatan pada jembatan dan memerlukan pengecekan secara rutin dan jembatan baru berada dalam keadaan baik dan tidak memerlukan perbaikan (Vaza *et al.*, 2017).

3.3 Analisis Arah Pergerakan Partikel Jembatan

Analisis pergerakan partikel digunakan untuk mengidentifikasi arah sumber getar yang disebabkan oleh aktivitas lalu lintas di setiap titik akuisisi pada jembatan. Pada pengolahan data pergerakan partikel, bagian atas jembatan dipisahkan dengan bagian bawah jembatan. Hal tersebut dilakukan untuk melihat keselarasan pergerakan antara bagian atas dan bagian bawah jembatan. Secara keseluruhan arah pergerakan partikel bagian atas dan bawah jembatan dapat dipetakan seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Peta sebaran pergerakan partikel di atas jembatan



Gambar 5 Peta sebaran pergerakan partikel di bawah jembatan

Gambar 4 memperlihatkan arah pergerakan partikel yang berbeda-beda di setiap titik akuisisi di atas jembatan. Hal ini terjadi karena aktivitas lalu lintas dan kemacetan yang sering terjadi di atas jembatan. Kemacetan menyebabkan beban kendaraan terhenti di atas jembatan sehingga mempengaruhi arah pergerakan partikel di atas jembatan. Pada Gambar 5 terlihat bagian bawah jembatan juga memiliki arah pergerakan partikel berbeda-beda di setiap titik akuisisi. Hal ini disebabkan bagian bawah jembatan menerima getaran dari aktivitas lalu lintas yang berasal dari atas jembatan serta lokasi titik akuisisi yang berada dekat dengan Sungai Batang Kuranji. Ini buktikan dengan titik akuisisi T10 yang berada tepat di sebelah aliran sungai tidak memiliki dominan arah tertentu baik ke arah utara-selatan ataupun timur-barat. Aliran sungai dapat menjadi sumber getaran sehingga dapat mempengaruhi arah pergerakan partikel.

Pergerakan partikel pada bagian atas jembatan di beberapa titik akuisisi memiliki keselarasan dengan bagian bawah jembatan. Keselarasan pergerakan partikel pada bagian atas dan bawah bangunan menunjukkan kuatnya sambungan antar bangunan. Ketidakselarasan pada bangunan menyebabkan terjadinya retakan pada bangunan (Moro *et al.*, 2018). Pada titik T3 dan T6 terdapat keselarasan dengan bagian bawah jembatan di titik T11 dan T12 sehingga disimpulkan titik akuisisi tersebut berada dalam kondisi baik. Hal yang berbeda terdapat pada titik T1 dan T9 yang berada pada jembatan lama. Titik akuisisi T9 yang berada di bawah jembatan bergerak ke arah barat laut-tenggara sementara T1 yang berada di atas jembatan bergerak dengan arah yang berbeda. Hal ini dapat berpotensi menyebabkan kerusakan pada jembatan lama karena T1 pada bagian atas jembatan tidak memiliki keselarasan dengan T9 yang terletak di bawah jembatan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan nilai frekuensi alamiah Jembatan Kuranji berkisar antara 0,892 Hz-5,466 Hz. Nilai frekuensi alamiah pada bagian bawah jembatan lebih tinggi dibandingkan bagian atas jembatan. Bagian atas jembatan memiliki nilai frekuensi alamiah tertinggi sebesar 4,827 Hz dan bagian bawah jembatan memiliki nilai frekuensi alamiah tertinggi sebesar 5,466 Hz. Berdasarkan nilai rasio frekuensi alamiah disimpulkan bahwa jembatan baru yang berusia 9 tahun secara struktur berada dalam kondisi baik. Jembatan lama yang berusia 30 tahun berada dalam kondisi cacat kecil berupa karatan pada jembatan dan memerlukan perawatan rutin. Hal ini ditandai dengan rendahnya nilai rasio frekuensi alamiah yang didapatkan untuk jembatan baru sebesar 1,144 % dan jembatan lama sebesar 2,611%. Pada jembatan lama terdapat ke ketidakselarasan antara pergerakan struktur atas dan bawah jembatan. Hal tersebut dikhawatirkan dapat menyebabkan potensi kerusakan pada jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bilson Darko, A., Molnar, S. and Sadrekarimi, A. (2020) 'Blind comparison of non-invasive shear wave velocity profiling with invasive methods at bridge sites in Windsor, Ontario', *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 129(February 2019), p. 105906.
- Citak, S.O., Otori, M. and Nakamura, T. (2012) 'Microtremor Measurements And Earthquake Response Analysis On Urado Bridge , Kochi , JAPAN', *15 Wcee* [Preprint].
- Dal Moro, G., Weber, T.M. and Keller, L. (2018) 'Gaussian-filtered Horizontal Motion (GHM) plots of non-synchronous ambient microtremors for the identification of flexural and torsional modes of a building', *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 112(March), pp. 243–255.
- Fat-Helbary, R.E.S., El-Faragawy, K.O. and Hamed, A. (2019) 'Application of HVSR technique in the site effects estimation at the south of Marsa Alam city, Egypt', *Journal of African Earth Sciences*, 154(February), pp. 89–100.
- Herak, M. (2008) 'ModelHVSR-A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise', *Computers and Geosciences*, 34(11), pp. 1514–1526.
- Lestari, S. (2018) *Particle Motion Analysis Data Mikrotremor Untuk Menentukan Potensi Longsor (Studi Kasus : Jalan Raya Trenggalek-Ponogoro Km 23)*. Insitut Teknologi Sepuluh November.
- Maulidiya, S. and Rusli, R. (2017) 'Penentuan Frekuensi Natural Dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang)', *Jurnal MIPA*, 6(1), p. 1.
- Pratama, A.W. (2016) 'Analisis Respons Struktur Atas Jembatan Prestressed Kuranji Akibat Gempa Horizontal', *PCI Journal* [Preprint].
- Sitorus, N., Purwanto, S. and Utama, W. (2017) 'Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR', *Jurnal Geosaintek*, 3(2), p. 89.
- Syaputra, O.D. *et al.* (2019) 'Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari Ii Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (Hvsr)', *Komunikasi Fisika Indonesia*, 16(1), p. 59.
- Vaza, H., Irwan, R. R., Sukmara, G. dan Riza, A. C., 2017, Penentuan Nilai Kondisi & Tingkat Kenyamanan Jembatan Korelasi Terhadap Degradasi Frekuensi Alami, Pusat Litbag Jalan dan Jembatan, Jakarta.