

FREKUENSI JEMBATAN TAK LAYAK GUNA BERDASARKAN ANALISIS GETARAN ALAMI MENGGUNAKAN DATA HASIL MIKROTREMOR

Zhilalurrahman Nefrin¹, Rusnardi Rahmat²

^{1,2}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: zhilalrahman2001@gmail.com

Abstrak: Kerusakan jembatan di Indonesia sering disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kurangnya perawatan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan frekuensi alami sebagai indikator kelayakan jembatan melalui analisis mikrotremor. Data diambil dari lima jembatan dengan kondisi beragam: dua rusak dan tiga baik. Hasilnya menunjukkan bahwa satu jembatan rusak memiliki frekuensi alami tertinggi, sementara jembatan rusak lainnya terendah, dengan rentang frekuensi jembatan tak layak pada arah X (EW) di atas 4,5 Hz atau di bawah 3,0 Hz, dan pada arah Y (NS) di atas 5,0 Hz atau di bawah 2,5 Hz. Variasi ini mengindikasikan potensi ketidaklayakan struktural, sehingga monitoring berbasis frekuensi alami dapat membantu deteksi dini kerusakan jembatan untuk pemeliharaan preventif yang tepat.

Kata Kunci : Frekuensi Alami, Mikrotremor, Kelayakan Jembatan, Kerusakan Jembatan, Monitoring Struktural

Abstract : Bridge damage in Indonesia often occurs due to various factors, including insufficient maintenance. This study aims to determine natural frequency as an indicator of bridge feasibility through microtremor analysis. Data were collected from five bridges with varying conditions: two damaged and three in good condition. Results show that one damaged bridge exhibited the highest natural frequency, while the other damaged bridge showed the lowest. The frequency range for unfit bridges was found to be above 4.5 Hz or below 3.0 Hz in the X (EW) direction and above 5.0 Hz or below 2.5 Hz in the Y (NS) direction. This variation indicates potential structural unfitness, highlighting the importance of natural frequency-based monitoring to enable early detection of bridge damage and support timely preventive maintenance.

Keyword : Natural Frequency, Microtremor, Bridge Viability, Bridge Damage, Structural Monitoring

PENDAHULUAN

Kerusakan jembatan di Indonesia adalah masalah serius yang sering terjadi, disebabkan oleh berbagai faktor. Menurut Jaya dkk. (2023), kerusakan jembatan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, terutama kurangnya perawatan dan pemeliharaan. Akibat dari kerusakan ini dapat menghambat hubungan antar daerah dan berpotensi menyebabkan kecelakaan. Oleh karena itu, diperlukan perhatian serius dalam menjaga keberlangsungan infrastruktur jembatan di Indonesia.

Sebagai infrastruktur vital, jembatan memerlukan pemantauan berkala untuk menjamin kelayakan

dan keamanan strukturnya. Oleh karena itu, diperlukan *assessment* pada jembatan yang ada, demi memastikan keadaan jembatan tersebut. *Assessment* struktur bangunan merupakan suatu kegiatan menilai, memeriksa, dan mengumpulkan data atau informasi terhadap kondisi struktur bangunan eksisting (Putra & Saputra, 2022). *Assessment* membantu mengidentifikasi potensi risiko kerusakan atau kegagalan struktural yang dapat terjadi pada jembatan, sehingga tindakan pencegahan atau perbaikan yang tepat dapat dilakukan. Dengan melakukan *assessment* secara teratur, pihak terkait dapat memastikan bahwa jembatan tetap aman digunakan bagi pengguna jalan, serta mengurangi kemungkinan terjadinya

insiden serius yang dapat mengganggu mobilitas dan aktivitas lainnya.

Selain itu, penelitian ini diharap dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode *assessment* kerentanan jembatan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Dengan mempertimbangkan karakteristik dinamik tanah dan struktur jembatan, dapat dirancang strategi perawatan dan perbaikan yang tepat guna meningkatkan ketahanan jembatan terhadap kondisi alamiah yang mungkin terjadi di masa depan.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, digunakan berbagai macam perangkat lunak yang masing-masingnya memiliki fungsi yang berbeda. Adapun perangkat lunak yang digunakan yaitu:

Software GPL, mengkonversi data hasil mikrotremor yang berupa nilai getaran alami dari format komputer yang tidak bisa dipahami oleh manusia menjadi bentuk yang dapat dibaca di Excel.

Software Cygwin, mengkonversi data dari format excel ke dalam bentuk format 'dat' dengan cara memasukan data atau file excel ke dalam program cygwin.

Software BIDO 2.02, digunakan untuk memperoleh frekuensi gelombang. Software ini digunakan pada saat analisis HVSR.

Software Geopsy, digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan amplitudo pada bangunan jembatan. Software ini digunakan pada saat analisis FSR dan RDM.

Seismometer digunakan sebagai instrumen utama saat perekaman mikrotremor. Pada dasarnya metode ini membutuhkan perekaman dalam tiga komponen: EW (timur-barat), NS (utara-selatan), dan vertikal (atas-bawah). Perekaman mikrotremor dilakukan dengan pengukuran langsung karena yang direkam adalah gelombang alami, sehingga tidak memerlukan sumber buatan (Jamilludin et al., 2020).



Gambar 3. Alat Mikrotremor

Terdapat tiga metode yang dipakai dalam penelitian mikrotremor ini, yaitu *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR), *Floor Spectrum Ratio* (FSR), dan *Random Decrement Method* (RDM).

Metode HVSR membandingkan spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal gelombang mikrotremor. Pendekatan ini digunakan untuk memperkirakan jenis gelombang Rayleigh pada mikrotremor, dengan mendasarkan analisis pada rasio amplitudo tertinggi dari komponen horizontal terhadap vertikal (H/V). Rasio H/V dan karakteristik mikrotremor adalah aspek penting dalam menghasilkan informasi nilai spektral yang berguna. Sistem HVSR dapat menghasilkan data berupa nilai frekuensi dan nilai amplifikasi seismik yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerentanan bangunan dan risiko seismik.

$$HVSR = \sqrt{\frac{F_{NSi}(\omega)^2 + F_{EWi}(\omega)^2}{F_{UDi}(\omega)^2}} \quad \dots(1)$$

F_{NSi} = *Fourier amplitude* untuk *North - South*

F_{EWi} = *Fourier amplitude* untuk *East - West*

F_{UDi} = *Fourier amplitude* untuk *Up - Down*

ω = Frekuensi Angular

Metode FSR mengevaluasi frekuensi alami dan resonansi bangunan, yang mencerminkan karakteristik seismik dari bangunan tersebut. Pendekatan ini melibatkan transformasi data mikrotremor yang direkam dalam domain waktu untuk setiap komponen pengukuran (Utara-Selatan/NS dan Timur-Barat/EW) ke dalam domain frekuensi (spektrum). FSR diketahui mampu menentukan resonansi tanah dengan lebih

akurat dibandingkan dengan metode random decrement method (RDM).

Metode RDM adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam survei geoteknik dan geofisika. Prinsip dari metode RDM adalah menghitung rasio redaman dan frekuensi alami bangunan dengan melakukan band pass filter dan evaluasi frekuensi alami dari spektrum Fourier terlebih dahulu sebelum melakukan analisis RDM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada 2 jembatan dalam keadaan rusak dan 3 jembatan dalam keadaan baik. Jembatan rusak pertama yaitu Jembatan Kiambang yang berlokasi di Jl. Raya Padang - Bukittinggi, Lubuk Pandan, Kec. 2 X 11 Enam Lingsung, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat.



Gambar 4. Kondisi Jembatan Kiambang

Jembatan Rusak kedua yaitu Jembatan Kayu Gadang di Jalan Kayu Gadang, sikabu, Kec. Lubuk Alung, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat.



Gambar 5. Kondisi Jembatan Kayu Gadang

Untuk jembatan baik pertama yaitu Jembatan Duku atau yang lebih dikenal sebagai Jembatan Bandara Internasional Minangkabau yang berada di Jl. Akses Bandara, Kasang, Kec. Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat.



Gambar 6. Kondisi Jembatan Duku

Lalu ada Jembatan Muaro Baru di Pasie Nan Tigo, Kec. Koto Tangah, Kota Padang, Sumatera Barat.



Gambar 7. Kondisi Jembatan Muaro Baru

Dan Jembatan Pasia Putih di Pasie Nan Tigo, Kec. Koto Tangah, Kota Padang, Sumatera Barat.



Gambar 8. Kondisi Jembatan Pasia Putih

Pengambilan data dilakukan dengan durasi pengukuran selama 10 menit pada setiap titik pengamatan. Untuk memperoleh data yang representatif, di setiap jembatan akan diambil data pada 5 titik (4 titik pada plat jembatan dan 1 titik pada tanah sekitar jembatan) yang telah ditentukan. Pendekatan ini diharapkan memberikan gambaran yang komprehensif mengenai distribusi dan

karakteristik getaran pada setiap bagian jembatan.

Dari pengolahan data mikrotremor tanah menggunakan *software* BIDO 2.02 didapat nilai frekuensi alami (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0).

Tabel 1. Hasil Perhitungan HVSZ Tanah

Perhitungan HVSZ Tanah			
Kode	Nama Jembatan	f_0 (Hz)	A_0
J1	Kiambang A	0.39	4.30
J2	Duku B	0.29	1.52
J3	Kayu Gadang	0.24	3.30
J4	Muaro Baru	0.29	2.60
J5	Pasia Putih A	0.20	4.30

Jika terjadi getaran yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut (Tanjung et al., 2019).

Tabel 2. Klasifikasi Tanah oleh Kanai (1983)

Klasifikasi		Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan Hard sandy, gravel, dan lainnya	Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Tipe III	Jenis II	4,0 - 10	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan Hard sandy, gravel, dan lainnya	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah 5-10m
Tipe II	Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan lebih dari 5m. Terdiri dari sandy gravel, sandy hard clay, loam, dan lainnya	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30m
Tipe I	Jenis IV	Kurang dari 2,5	Batuan alluvial, Yang terbentuk dari sedimentasi deta, topsoil, lumpur, dan lainnya. Kedalaman $\geq 30m$	Ketebalan sedimen permukaan sangatlah tebal.

Hasil pengolahan data tanah menggunakan BIDO 2.02 didapatkan nilai frekuensi alami dan

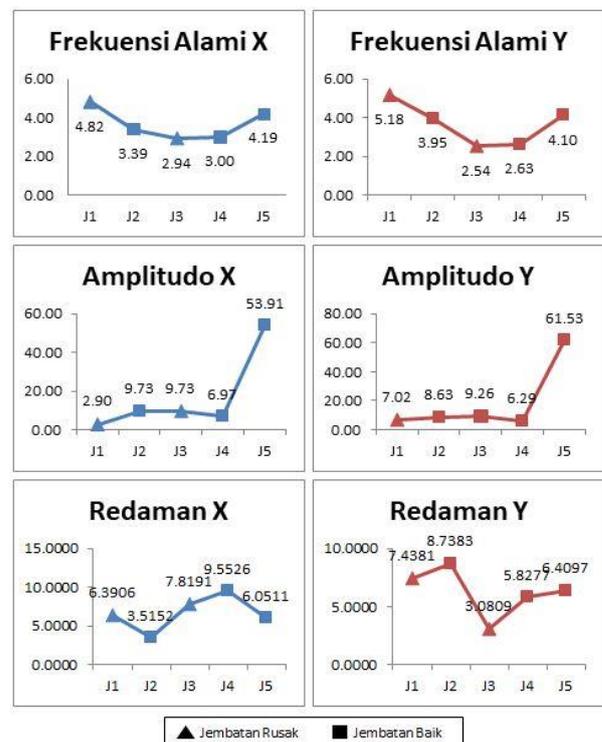
amplitudo tanah masing masing jembatan yang dapat dilihat pada Tabel 1. Kemudian dapat disimpulkan bahwa semua jembatan yang diteliti dibangun diatas tanah dengan Type 1 atau Jenis 4 dengan Frekuensi Natural berada pada rentang < 2.5 Hz. Hal ini sesuai dengan pengklasifikasian tanah oleh Kanai (1983) pada Tabel 2.

Menggunakan perangkat lunak geopsy dengan metode FSR dan RDM didapatkan nilai frekuensi alami, amplitudo, dan rasio redaman tiap jembatan. Kemudian dibantu dengan Microsoft Excel untuk mencari nilai rata-rata masing-masing jembatan untuk tiap variabelnya.

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Rata-Rata Data Jembatan

Arah	Jembatan	f_0	A	Z
X	J1	4.82	2.90	6.3906
	J2	3.39	9.73	3.5152
	J3	2.94	9.73	7.8191
	J4	3.00	6.97	9.5526
	J5	4.19	53.91	6.0511
Y	J1	5.18	7.02	7.4381
	J2	3.95	8.63	8.7383
	J3	2.54	9.26	3.0809
	J4	2.63	6.29	5.8277
	J5	4.10	61.53	6.4097

Data yang telah diolah, kemudian dibandingkan dalam bentuk grafik agar lebih muda untuk dianalisis.

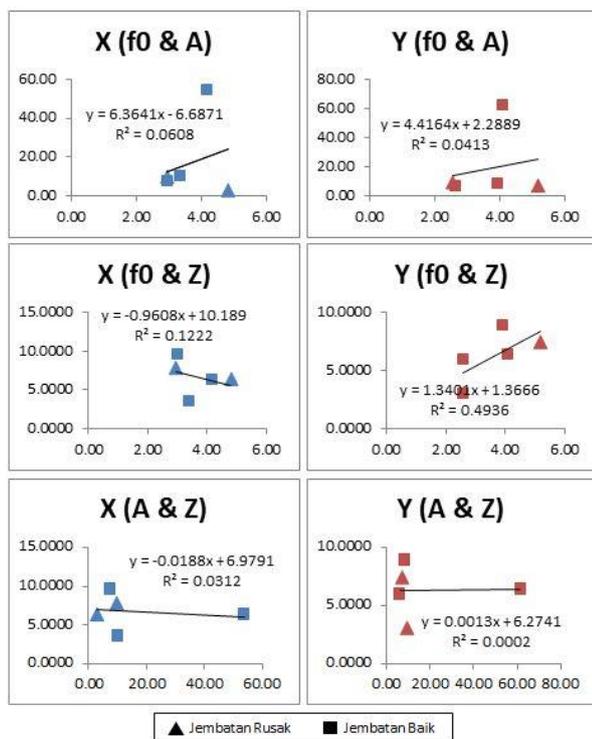


Gambar 9. Grafik Perbandingan Data Jembatan

Dari grafik yang didapatkan, terlihat bahwa nilai frekuensi alami jembatan yang rusak pada arah X (EW) berada pada rentang frekuensi > 4.50 Hz dan < 3.00 Hz. Sedangkan untuk arah Y (NS), frekuensi alami jembatan yang rusak berada pada rentang frekuensi > 5.00 Hz dan < 2.50 Hz.

Berdasarkan grafik, nilai amplitudo dan redaman tidak memiliki rentang kelayakan yang pasti karena variasi nilainya yang sangat tinggi. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa amplitudo dan redaman pada jembatan rusak dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor lain yang mempengaruhinya dan memerlukan penelitian lebih lanjut.

Kemudian dianalisis korelasi antara 3 variabel yang ada yaitu frekuensi alami, amplitudo, dan redaman. Nilai-nilai tersebut akan dibandingkan dan dihitung nilai koefisien determinasi (R^2) dengan dibantu program Excel. Jika hasil koefisien determinasi (R^2) mendekati 1, maka dapat dikatakan terdapat hubungan linear diantaranya, begitupun sebaliknya.



Gambar 9. Grafik Korelasi Data Jembatan

Dari analisis korelasi antara frekuensi alami, amplitudo, dan redaman, diperoleh nilai koefisien determinasi yang menunjukkan tingkat keterkaitan antara variabel-variabel tersebut. Berdasarkan hasil pengolahan data, koefisien determinasi yang

diperoleh tidak mendekati nilai 1, yang mengindikasikan bahwa hubungan antara frekuensi alami, amplitudo, dan redaman tidak cukup kuat atau tidak linier. Hal ini membuka kemungkinan adanya faktor-faktor lain yang memengaruhi karakteristik respons dinamis objek yang diteliti.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data pada 2 jembatan rusak (Jembatan Kiambang A, Kayu Gadang) dan 3 jembatan baik (Jembatan Duku B, Muaro Baru, Pasia Putih A) didapatkan kesimpulan nilai frekuensi alami jembatan tak layak pada arah X (EW) berada pada rentang frekuensi > 4.50 Hz dan < 3.00 Hz. Sedangkan untuk arah Y (NS), frekuensi alami jembatan tak layak berada pada rentang frekuensi > 5.00 Hz dan < 2.50 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

Cantieni, R. (1983). Dynamic load tests on highway bridges in Switzerland. Report No. 211. Eidgenossische-Material-prufungs-und-Versuchsantalt-(EMPA), Dubendorf, Switzerland.

Hadianfard, M. A., Rabiee, R., & Sarshad, A. (2017). Assessment of Vulnerability and Dynamic Characteristics of a Historical Building Using Microtremor Measurements. *International Journal of Civil Engineering*, 15(2), 175–183.

Heri Zulfiar, M., Tamin, R. Z., Pribadi, K. S., & Imran, I. (2014). Identifikasi Faktor Dominan Penyebab Kerentanan Bangunan Di Daerah Rawan Gempa, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 123.

Jaya, S., Agustin, S., & Neswita, N. (2023). Evaluasi Dan Inventarisasi Kondisi Jembatan Di Kabupaten Indragiri Hulu. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3(6), 6758-6768.

Murtianto, H. (2016). Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Di Sumatera Barat dan Sekitarnya. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.

Mutaram, Z., Muksin, U., & Idris, Y. (2022). Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 5(3), 160-169.

Pradana, I. A., & Sungkono, M. S. (2018). Analisa Mikrotremor Menggunakan Metode Random Decrement untuk Mikrozonasi Potensi Kerusakan

Akibat Gempabumi di Kabupaten Pacitan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Putra, Rusnardi. R., & Saputra, D. (2022). Assessment Tingkat Kerentanan Bangunan Bertingkat di Kampus Universitas Negeri Padang Menggunakan Gelombang Rayleigh. *Serambi Engineering*, VII(1).

Putra, Rusnardi. R., Iqbal, M., & Juliafad, E. (t.t.). Assessment Tingkat Kerentanan Bangunan Balai Kota Padang Sebagai Bangunan Cagar Budaya Dengan Rayleigh Wave (Vol. 3, Nomor 4).