



FREKUENSI JEMBATAN LAYAK GUNA BERDASARKAN ANALISIS FREKUENSI NATURAL MENGGUNAKAN MIKROTREMOR

Viola Tiffany Ardy

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

viola.ardy@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses kerja gelombang seismik dalam memeriksa kondisi jembatan, untuk mengetahui perbandingan frekuensi natural kondisi jembatan rusak dan layak. Metode pembahasan atau analisis data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan beberapa program, yakni pada tahapan pertama data gelombang seismik yang dihasilkan dari pengecekan alat mikrotremor dimasukkan ke dalam program GPL. Pada program ini data gelombang seismik yang berupa bahasa komputer dikonversi menjadi data berbentuk excel, yang selanjutnya akan dikonversi lagi menggunakan program Cygwin hingga menghasilkan data dalam format .dat. Selanjutnya untuk pengecekan tanah, data sebelumnya akan dikonversi lagi dengan menggunakan program Bido2.02 hingga menghasilkan amplitudo dan frekuensi metode HVR. Selanjutnya menggunakan Geopsy untuk mendapatkan frekuensi natural jembatan dan amplitudo jembatan. Berdasarkan hasil pengolahan data pada kelima jembatan yang ada di Kota Padang dan sekitarnya menggunakan hasil survey mikrotremor didapatkan nilai layak guna jembatan berdasarkan frekuensi natural jembatan Duku BIM, Jembatan Pasir Jambak dan Jembatan Muaro yaitu pada arah X adalah 3,41Hz, 3,00Hz, dan 4,17Hz. Sedangkan arah Y adalah 3,72Hz, 2,67Hz, dan 4,12Hz. Jembatan tidak layak guna adalah Jembatan Kiambang A dan Lubuk Alung memiliki frekuensi natural arah X 4,88Hz dan 2,80Hz, sedangkan arah Y didapat 5,43Hz dan 2,55Hz. Didapatkan Kesimpulan bahwa jembatan layak guna berfrekuensi natural $3\text{Hz} < f_0 < 4,5\text{Hz}$.

Kata Kunci: Jembatan, mikrotremor, frekuensi natural

Abstract

The purpose of this study is to find out the working process of seismic waves in examining the condition of the bridge, to find out the comparison of the natural frequency of damaged and feasible bridge conditions. The method of discussion or data analysis that will be used in this study is to use several programs, namely in the first stage the seismic wave data generated from checking the microtremor device is included in the GPL program. In this program, seismic wave data in the form of computer language is converted into excel data, which will then be converted again using the Cygwin program to produce data in .dat format. Furthermore, for soil checking, the previous data will be converted again using the Bido2.02 program to produce the amplitude and frequency of the HVR method. Next, use Geopsy to obtain the

Article History

Received: November 2024
Reviewed: November 2024
Published: November 2024

Plagiarism Checker No 234
Prefix DOI :
10.8734/Koehesi.v1i2.365

Copyright : Author
Publish by : Koehesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

natural frequency of the bridge and the amplitude of the bridge. Based on the results of data processing on the five bridges in Padang City and its surroundings using the results of a microtremor survey, the feasibility value of the bridge was obtained based on the natural frequency of the Duku BIM bridge, Pasir Jambak Bridge and Muaro Bridge, namely in the X direction is 3.41Hz, 3.00Hz, and 4.17Hz. While the Y direction is 3.72Hz, 2.67Hz, and 4.12Hz. The bridges that are not suitable for use are Kiambang A and Lubuk Alung Bridges have natural frequencies in the X direction of 4.88Hz and 2.80Hz, while the Y direction is obtained 5.43Hz and 2.55Hz. It was concluded that the bridge is suitable for natural frequencies of $3\text{Hz} < f_o < 4.5\text{Hz}$.

Keywords: Bridge, Microtremor, natural frequency

PENDAHULUAN

Jembatan memiliki fungsi vital sebagai penghubung di atas rintangan seperti sungai, lembah, atau saluran irigasi. Struktur ini mempermudah lalu lintas dan mengurangi kemacetan, namun seringkali mengalami kerusakan akibat perencanaan yang kurang tepat, kelebihan beban, atau bencana alam. Berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dibagi menjadi beberapa jenis, seperti jembatan baja, kayu, dan beton. Kerusakan jembatan menjadi masalah signifikan di Indonesia karena dapat menghambat transportasi dan mobilitas masyarakat serta barang.

Penelitian ini berfokus pada pemeriksaan kondisi struktur jembatan melalui analisis frekuensi alami menggunakan alat mikrotremor untuk mendeteksi kelayakan jembatan tanpa merusak struktur. Frekuensi alami atau getaran natural jembatan merupakan indikator penting yang dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur, dan menjadi faktor utama dalam analisis terhadap beban gempa. Penelitian dilakukan pada lima jembatan di Sumatera Barat: Duku BIM, Kiambang, Lubuk Alung, Pasir Jambak, dan Muaro. Di antara jembatan tersebut, beberapa telah mengalami kerusakan dan memerlukan perbaikan, seperti Jembatan BIM yang mengalami perbaikan darurat dan Jembatan Kiambang yang rusak akibat banjir.



Gambar 1. Jembatan Lubuk Alung Ambruk
8 Mei 2023

(Sumber: *TribunPadang.com*)



Gambar 2. Jembatan Muaro Panjalinan
Sumber: *GoogleMaps*

Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami peran gelombang seismik dalam memeriksa kondisi jembatan serta membandingkan frekuensi alami antara jembatan rusak dan yang layak guna. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi masyarakat tentang kelayakan jembatan, membantu pemerintah daerah dalam mengambil keputusan terkait perbaikan jembatan, dan memberikan kontribusi pengetahuan bagi kalangan akademisi. Batasan masalah dalam penelitian ini mencakup analisis kelayakan jembatan berdasarkan frekuensi alami dengan menggunakan gelombang seismik dan alat mikrotremor.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup pengumpulan data seismik pada beberapa sisi jembatan, yang kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak untuk menentukan frekuensi alami jembatan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan standar kelayakan jembatan berdasarkan nilai frekuensi alami dan menjadi referensi dalam evaluasi dan perawatan jembatan di masa mendatang

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi dan Jenis Jembatan

Jembatan adalah struktur penting yang digunakan untuk menyeberangi rintangan seperti sungai, lembah, atau jalan raya yang tidak sebidang, memungkinkan pergerakan transportasi yang efisien. Menurut Struyck dan Van Der Veen (1984), jembatan terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan desain dan metode konstruksinya, sebagai berikut:

1. *Beam Bridge* (Jembatan Balok):

Menggunakan balok horizontal yang ditopang oleh kolom penyangga di ujungnya, cocok untuk jarak pendek dan beban ringan.



Gambar 3: Jembatan Grider diatas sungai
sumber: pbs.org

2. *Truss Bridge* (Jembatan Rangka):

Memiliki struktur segitiga yang memberikan kekuatan tambahan dengan mendistribusikan beban secara merata, menjadikannya pilihan ideal untuk beban berat dan jangkauan lebih panjang.



Gambar 4: Jembatan Ikitsuki di Jepang
Sumber: Wikimedia.org

3. *Arch Bridge* (Jembatan Lengkung):

Menggunakan lengkungan yang memusatkan kompresi ke bagian bawah dan vertikal, membutuhkan bahan yang sangat kuat dan ideal untuk jangkauan sedang.

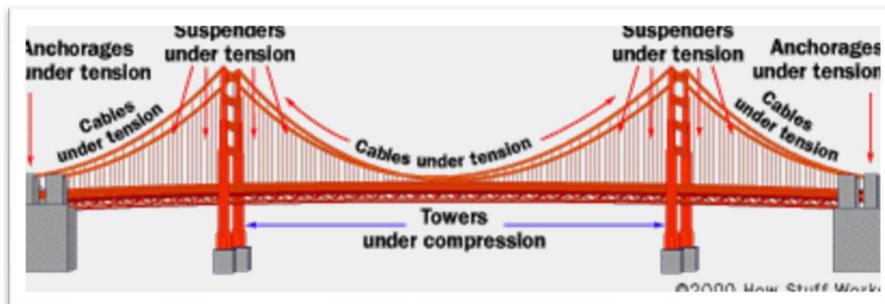


Gambar 5: Jembatan New River Gorge

Sumber: Reddit: Chris Anthony

4. *Suspension Bridge* (Jembatan Gantung):

Menopang dek jembatan dengan kabel-kabel yang terhubung ke menara, cocok untuk jangkauan panjang di atas air, meskipun memerlukan biaya tinggi.

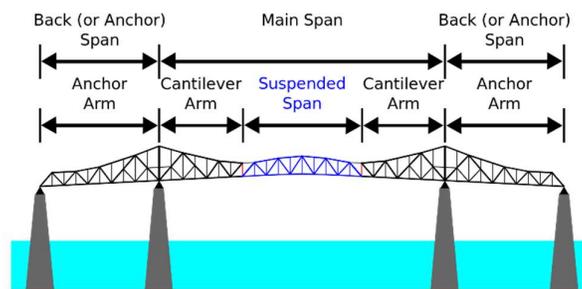


Gambar 6: komponen jembatan suspensi

sumber: howstuffworks.com

5. *Cantilever Bridge* (Jembatan Kantilever):

Menggunakan balok yang ditopang hanya di satu sisi, sering diaplikasikan pada jangkauan menengah.



Gambar 7: Fungsi komponen struktur jembatan Cantilever

Sumber: wikipedia

6. *Cable-Stayed Bridge* (Jembatan Kabel):

Mirip dengan jembatan gantung namun lebih efisien dalam menopang beban melalui kabel yang langsung terhubung ke menara, ideal untuk bentang yang sangat panjang.



Gambar 8: Russky Bridge

Sumber: skyscrapercity.com

7. *Living Bridge* (Jembatan Hidup):

Merupakan jembatan alami yang terbentuk dari akar pohon yang saling terjalin, biasanya ditemukan di wilayah lembab.



Gambar 9: Jembatan Akar Meghalaya, India

Sumber: travel.nationalgeographic.com

Setiap jenis jembatan dirancang untuk tujuan spesifik, mempertimbangkan faktor seperti jenis beban, panjang bentang, serta kondisi geografis. Struktur ini menunjukkan bagaimana teknik konstruksi dan material digunakan untuk menciptakan infrastruktur yang aman dan efisien dalam mendukung transportasi

Metode Pemeriksaan Jembatan

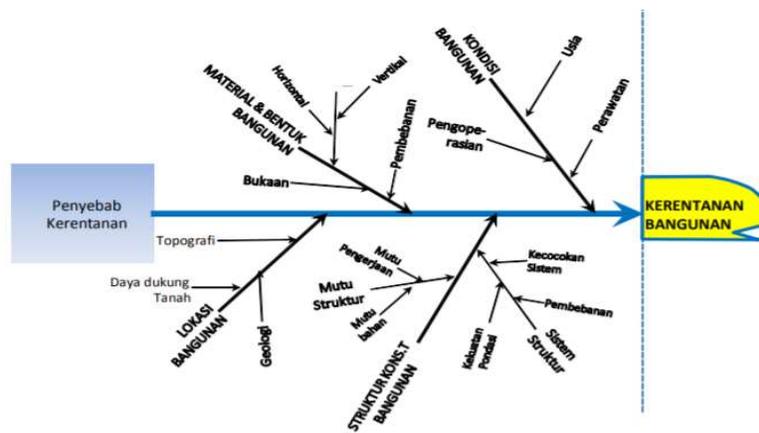
Pemeriksaan jembatan adalah proses evaluasi struktur untuk memastikan kondisi keamanan dan ketahanannya, terutama dalam menghadapi ancaman gempa atau beban berat. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan, kelemahan struktural, serta memastikan bahwa jembatan sesuai dengan standar keamanan dan kelayakan.

Ada dua metode utama dalam pemeriksaan jembatan: *Destructive Test* (DT) dan *Non-Destructive Test* (NDT). DT melibatkan pengujian yang merusak sebagian struktur untuk menilai kualitas materialnya, sementara NDT seperti metode mikrotremor menggunakan pengukuran getaran tanpa merusak struktur, mengandalkan analisis frekuensi alami dan respons struktur terhadap beban.

Data frekuensi ini diperoleh dari alat mikrotremor yang menganalisis gelombang seismik, seperti gelombang Rayleigh, untuk menentukan kekuatan dan stabilitas jembatan. Hasil pemeriksaan ini sangat penting untuk membantu pengambil kebijakan dan teknisi dalam menentukan langkah perbaikan, pemeliharaan, atau bahkan rekonstruksi jika diperlukan, serta mengurangi risiko kegagalan struktur akibat bencana atau beban berlebih.

Kerentanan Jembatan

Kerentanan jembatan adalah parameter penting dalam memastikan ketahanan struktur terhadap gempa atau bencana lainnya. Evaluasi kerentanan jembatan mencakup analisis risiko serta penilaian kemampuan struktur untuk menahan deformasi dan gaya-gaya seismik yang signifikan. Faktor-faktor penyebab kerentanan jembatan dapat mencakup kondisi topografi, kualitas material, desain struktural yang tidak sesuai, serta kurangnya perawatan berkala yang menyebabkan kelemahan pada beberapa bagian. Selain itu, usia bangunan dan kualitas konstruksi juga berkontribusi terhadap meningkatnya kerentanan. Berdasarkan HAZUS-MH (FEMA, 2003), penting untuk memahami faktor-faktor ini guna memitigasi risiko kerusakan pada tingkat intensitas gempa yang berbeda. Penilaian kerentanan dapat dilakukan melalui metode analisis dinamis dan perhitungan parameter struktural untuk menentukan tingkat keandalan jembatan dalam menghadapi beban gempa, sehingga menjadi landasan bagi peningkatan keamanan infrastruktur yang lebih tangguh di masa depan



Gambar 10. Penyebab Kerentanan Bangunan

Sumber: (Delfebriyadi, 2009)

Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah getaran yang merambat melalui permukaan dan bagian dalam bumi akibat pergerakan tiba-tiba di lapisan bumi, biasanya karena gempa bumi atau letusan gunung berapi. Gelombang ini merambat dengan cepat ke segala arah dari pusat gempa atau episentrum, menyebabkan getaran yang dapat diukur dan dianalisis menggunakan perangkat seperti seismograf. Dalam konteks struktural, gelombang seismik adalah komponen utama yang dianalisis dalam pemeriksaan kelayakan jembatan dan bangunan lainnya, karena getarannya mampu mempengaruhi kestabilan dan keamanan struktur.

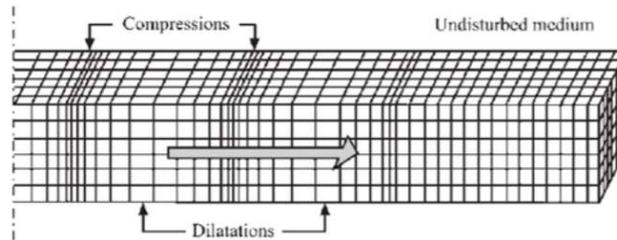
Gelombang seismik terbagi menjadi dua jenis utama: gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). **Gelombang badan** mencakup gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S). Gelombang primer, yang lebih cepat, bergerak dalam arah longitudinal melalui bumi dan dapat dirumuskan sebagai:



$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

dengan:

- V_p = Kecepatan gelombang primer (m/s)
- k = Modulus bulk (Pa)
- μ = Modulus geser (Pa)
- ρ = Densitas (kg/m^3)



Gambar 11. Ilustrasi Gelombang Primer

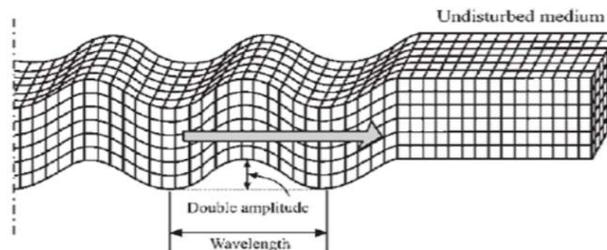
Sumber: (Elnashai dkk, 2008)

Gelombang sekunder, atau gelombang transversal, bergerak lebih lambat dan hanya merambat melalui medium padat. Kecepatannya ditentukan dengan rumus:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

dengan:

- V_s = Kecepatan gelombang sekunder (m/s)
- μ = Modulus geser (Pa)
- ρ = Densitas (kg/m^3)



Gambar 12. Ilustrasi Gelombang Sekunder

Sumber: (Elnashai dkk, 2008)

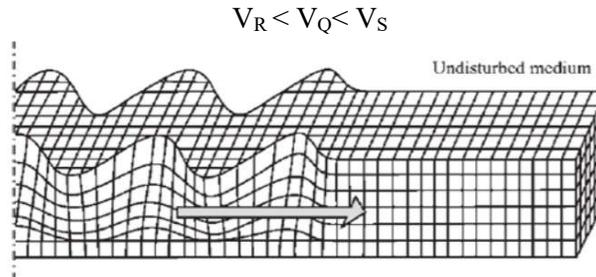
Gelombang permukaan seperti gelombang Rayleigh dan Love, adalah gelombang yang bergerak lebih lambat dibandingkan gelombang badan tetapi menyebabkan kerusakan lebih besar. Gelombang Rayleigh bergerak dengan pola elips di permukaan dan kecepatannya bergantung pada material yang dilalui. Kecepatan gelombang Rayleigh didapat dari persamaan:

$$V_R = 0,92 \sqrt{V_s}$$

Dimana:

- V_R = Kecepatan gelombang rayleigh (m/s)
- V_s = Kecepatan gelombang sekunder (m/s)

Gelombang Love bergerak secara horizontal dan umumnya merusak struktur yang berada di permukaan. Gelombang ini bisa diperoleh melalui persamaan :



Gambar 13. Ilustrasi Gelombang Love
 Sumber: (Elnashai dkk, 2008)

Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah kecil dan terus-menerus yang berasal dari berbagai sumber, termasuk aktivitas manusia, lalu lintas, angin, dan aktivitas geologis. Mikrotremor dapat mendeteksi karakteristik seismik tanah dan struktur bangunan tanpa merusak. Frekuensi getaran mikrotremor ini, terutama dalam rentang frekuensi rendah dan tinggi, memberikan informasi penting mengenai kelayakan struktur jembatan.

Menurut penelitian Kanai (1983), amplitudo mikrotremor bervariasi antara 0,1 hingga 1,0 mikron, dengan rentang periode antara 0,05 hingga 2 detik. Mikrotremor dapat dibedakan menjadi mikrotremor periode pendek (kurang dari 1 detik) yang berhubungan dengan struktur permukaan dangkal, dan mikrotremor periode panjang (lebih dari 1 detik) yang berhubungan dengan struktur lapisan dalam.

Tabel 1. Standar Operasional Pengukuran Mikrotremor (SESAME, 2004)

| Jenis Parameter | Saran yang Dianjurkan | |
|---|---|---|
| | f_0 minimum yang diharapkan (Hz) | Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit) |
| Durasi pencatatan | 0,2 | 30 |
| | 0,5 | 20 |
| | 1 | 10 |
| | 2 | 5 |
| | 5 | 3 |
| | 10 | 2 |
| Coupling soil - sensor alam (<i>in situ</i>) | 1. Atur sensor pada permukaan tanah. 2. Hindari penempatan sensor pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan. | |
| Coupling soil - sensor buatan (<i>artificial</i>) | 1. Hindari lempengan yang terbuat 2. Pada kemiringan yang curam dimana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasanglah sensor menggunakan timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir. | |
| Keberadaan bangunan atau pohon | 1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi jika tiupan angin di atas 5 m/s. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisis HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. 2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air, dan gorong-gorong. | |
| Kondisi cuaca | 1. Angin: lindungi sensor dari angin jika kecepatan angin di atas 5 m/s. 2. Hujan: hindari pengukuran di bawah terpaan hujan lebat kecuali hujan ringan karena tidak memberikan gangguan yang berarti. 3. Suhu: memeriksa sensor seismograf dan mengikuti instruksi pabrik. | |
| Gangguan | 1. Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, dan generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak) langkah kaki, mobil lewat, motor lewat, tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan. | |



Metode Dalam Pengukuran Mikrotremor

Metode dalam pengukuran mikrotremor, terutama yang digunakan untuk menilai kestabilan struktur jembatan, melibatkan beberapa teknik, seperti HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dan FSR (*Floor Spectrum Ratio*), serta *Random Decrement Method* (RDM). Setiap metode memiliki peran penting dalam analisis karakteristik frekuensi alami dan amplifikasi seismik.

1. HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Metode HVSR adalah teknik sederhana dan efisien untuk menganalisis mikrotremor yang berkembang dari gagasan Nogoshi dan Igarashi (1971), lalu dikembangkan oleh Nakamura (1989). Metode ini menghitung rasio spektral komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari sinyal mikrotremor untuk mendeteksi frekuensi alami tanah. Persamaan untuk HVSR adalah sebagai berikut:

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

di mana:

F_{NSi} = *Fourier amplitude* untuk utara - selatan (NS)

F_{EWi} = *Fourier amplitude* untuk timur - barat (EW)

F_{UDi} = *Fourier amplitude* untuk atas - down (UD)

ω = Frekuensi angular.

Setelah diperoleh nilai natural (f_0) dan kenaikan (A), nilai kerentanan gempa (K_g) dapat dihitung menggunakan rumus dari Maimun (2020):

$$K_g = \frac{A^2}{F_0}$$

di mana:

K_g = Kerentanan Seismik

A = Amplifikasi

F_0 = Frekuensi Natural

Hasil dari metode HVSR dapat memberikan gambaran tentang amplifikasi seismik suatu lokasi, membantu dalam penilaian kerentanan terhadap gempa bumi.

FSR (*Floor Spectrum Ratio*)

Metode FSR digunakan untuk menganalisis resonansi pada bangunan atau struktur yang berlantai, khususnya untuk mendeteksi frekuensi alami lantai yang berpotensi mengalami resonansi. FSR berguna dalam menggambarkan respons bangunan terhadap gempa dengan menghitung spektrum dari lantai terhadap tanah. Indeks kerentanan bangunan, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\bar{K}_b = \frac{A}{(2\pi f)^2} \frac{10000}{H}$$

di mana:

K_b = Kerentanan Bangunan

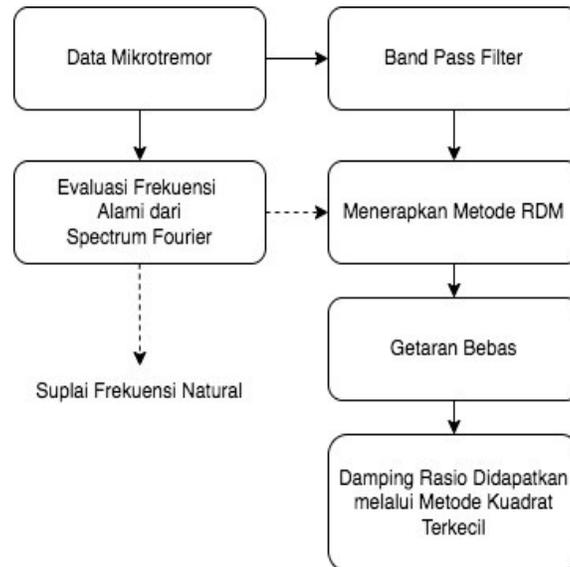
A = Amplifikasi

F_0 = Frekuensi Natural Bangunan

H = Tinggi Bangunan

Random Decrement Method (RDM)

RDM adalah teknik populer dalam survei geoteknik untuk mengevaluasi respon alamiah tanah terhadap getaran acak. RDM mengekstraksi kurva getaran bebas yang menghasilkan estimasi redaman alami dan frekuensi alami struktur. Metode ini mengurangi getaran acak menjadi bentuk gelombang yang teredam, memungkinkan identifikasi frekuensi dan rasio redaman yang lebih akurat.



Gambar 14. Kerangka Konseptual Metode RDM
(Sumber : Hadianfard dkk., 2017)

Software / Perangkat Lunak

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak utama untuk analisis data mikrotremor, masing-masing dengan peran spesifik yang mendukung ketepatan analisis frekuensi alami dan kerentanan seismik jembatan.

- **GPL:**
GPL adalah perangkat lunak untuk membaca data mentah dari pengukuran mikrotremor menggunakan sensor tipe GPL-6A3P. Ini memfasilitasi transfer data dari perangkat sensor ke format yang siap dianalisis.
- **Cygwin:**
Perangkat lunak ini menyediakan lingkungan Unix pada Windows, memungkinkan konversi data dari format Excel ke format '.dat' yang lebih kompatibel untuk analisis lebih lanjut, termasuk dalam program analisis spektral lainnya.
- **Bido 2.02:**
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengidentifikasi sifat gelombang permukaan dengan metode HVSR. Bido 2.02 mengkalkulasi rasio spektrum yang kemudian digunakan untuk menentukan frekuensi alami struktur jembatan, penting dalam memahami respons jembatan terhadap getaran.
- **Geopsy:**
Geopsy digunakan untuk menghasilkan nilai frekuensi dan amplifikasi, yang penting untuk penentuan kerentanan seismik. Geopsy melakukan perhitungan dengan spektrum Fourier yang menghasilkan nilai spektral frekuensi alami dan amplifikasi dari gelombang Rayleigh.



Penelitian Relevan

Berbagai studi mengenai penggunaan mikrotremor telah dilakukan di sejumlah lokasi, menghasilkan wawasan penting terkait karakteristik seismik bangunan. Khairan (2023) menyelidiki kerentanan bangunan Perpustakaan Pusat di Universitas Negeri Padang dengan metode gelombang Rayleigh dan First Screening Method. Penelitian ini menemukan bahwa, secara umum, semua lantai bangunan menunjukkan risiko keruntuhan rendah terhadap gempa hingga 450 gal, namun risiko meningkat pada beberapa lantai jika menggunakan *First Screening Method*.

Rahim (2023) mengevaluasi kerentanan bangunan bertingkat melalui analisis mikrotremor, dengan hasil menunjukkan bahwa lantai pertama bangunan cenderung sangat rentan terhadap gempa berkekuatan 398 gal, karena rasio drift yang hampir mencapai 1/100 - 1/200. Temuan ini menunjukkan bahwa lantai rendah pada bangunan bertingkat lebih rentan terhadap guncangan gempa.

Mutaram, Muksin, dan Idris (2022) melakukan penelitian terhadap jembatan rangka baja dan beton bertulang di Aceh Utara. Hasilnya menunjukkan bahwa frekuensi natural untuk jembatan baja berkisar antara 0,81 - 3,29 Hz, sementara jembatan beton bertulang memiliki rentang frekuensi 2,21 - 3,62 Hz, dengan rasio redaman yang sesuai dengan standar SNI 2833-2008.

Di sisi lain, Saputra (2021) meneliti bangunan Fakultas Ekonomi di Universitas Negeri Padang dan menemukan bahwa frekuensi natural rata-rata pada tiga arah (X, Y, dan Z) berada di atas 2,78 Hz, memenuhi standar ketahanan gempa. Penelitian ini menyoroti pentingnya amplifikasi dan resonansi dalam menentukan tingkat kerentanan bangunan, serta perlunya desain yang mampu mengurangi resonansi untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap guncangan gempa.

Temuan dari penelitian-penelitian ini memperkuat pentingnya metode mikrotremor seperti HVSR dan FSR dalam evaluasi kerentanan seismik bangunan dan struktur, termasuk jembatan, untuk meningkatkan ketahanan dan perencanaan infrastruktur di daerah rawan gempa

PROSEDUR PERANCANGAN

Penelitian ini mengadopsi prosedur pengumpulan data lapangan dengan menggunakan alat mikrotremor pada lima jembatan di Sumatera Barat, yaitu Jembatan Bandara Internasional Minangkabau (BIM), Jembatan Kiambang Sicincin, Jembatan Lubuk Alung, Jembatan Pasir Jambak, dan Jembatan Muaro Panjalinan. Pengambilan data dilakukan pada bulan September 2024 untuk mengukur gelombang seismik dan menganalisis frekuensi alami serta amplitudo jembatan tersebut.

Tahapan Metodologi

1. Survei Lapangan:

Mengukur tinggi bangunan, dimensi kolom, dan melakukan pengaturan perizinan lokasi penelitian.

2. Pengambilan Data:

Menggunakan alat mikrotremor untuk mencatat gelombang seismik pada struktur jembatan. Mikrotremor ini dilengkapi dengan perangkat tambahan seperti waterpass untuk keseimbangan dan kompas untuk orientasi arah alat.

Perangkat Keras & Perangkat Lunak Pengolahan Data

Perangkat keras yang digunakan meliputi :

- Alat Mikrotremor : Pengambilan data seismik pada jembatan
- Waterpass : Meratakan posisi mikrotremor



- Kompas : Untuk menentukan arah posisi alat ketika diletakkan
- Data dari alat mikrotremor dikonversi melalui beberapa perangkat lunak:
- GPL: Mengubah data mentah mikrotremor ke format Excel.
 - Cygwin: Mengonversi data Excel ke format .dat untuk analisis lanjutan.
 - Bido 2.02: Memproses data frekuensi dan amplitudo menggunakan metode HVSR.
 - Geopsy: Menyediakan hasil akhir berupa frekuensi alami dan amplitudo jembatan.

Hasil

Penelitian menghasilkan nilai frekuensi alami dan amplitudo setiap jembatan, yang kemudian digunakan untuk menentukan kelayakan struktur jembatan dalam menghadapi beban seismik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Frekuensi Alami Tanah (f_0) melalui HVSR

HVSR mengidentifikasi frekuensi alami (f_0) dan amplifikasi (A) dari berbagai titik penelitian. Penggunaan perangkat lunak Bido 2.02 memungkinkan penghitungan f_0 pada tanah di lima jembatan. Hasilnya menunjukkan bahwa tanah di lokasi-lokasi ini memiliki nilai f_0 yang bervariasi dari 0,19 Hz hingga 0,38 Hz. Berdasarkan klasifikasi frekuensi oleh BMKG, tanah di lokasi tersebut termasuk dalam tipe I jenis IV dengan kedalaman sedimen yang sangat tebal.

Tabel 2. Frekuensi Alami Tanah, Amplifikasi, dan Klasifikasi Tanah

| Titik Penelitian | Frekuensi Alami (Hz) | Amplifikasi (A) | Klasifikasi Tanah | Deskripsi Tanah |
|------------------|----------------------|-----------------|-------------------|--|
| Kiambang A | 0,389 | 4,3 | Tipe I Jenis IV | Batuan alluvial, sedimentasi deta, kedalaman ≥ 30 m |
| Duku BIM B | 0,292 | 1,52 | Tipe I Jenis IV | Batuan alluvial, sedimentasi deta, kedalaman ≥ 30 m |
| Lubuk Alung | 0,242 | 3,3 | Tipe I Jenis IV | Batuan alluvial, sedimentasi deta, kedalaman ≥ 30 m |
| Pasir Jambak | 0,292 | 2,6 | Tipe I Jenis IV | Batuan alluvial, sedimentasi deta, kedalaman ≥ 30 m |
| Muaro | 0,196 | 0,17 | Tipe I Jenis IV | Batuan alluvial, sedimentasi deta, kedalaman ≥ 30 m |

Frekuensi dan Amplitudo Struktur (FSR)

Metode FSR diterapkan untuk menghitung nilai frekuensi dan amplitudo struktur dalam arah x (EW) dan y (NS). Hasil perhitungan menunjukkan nilai frekuensi rata-rata dan amplitudo yang signifikan, mencerminkan potensi pengaruh getaran dari tanah ke struktur bangunan. Misalnya, Jembatan Kiambang memiliki frekuensi rata-rata 4,88 Hz dan amplitudo 3706,88 dalam arah x, serta 5,43 Hz dan 8708,59 dalam arah y. Hal ini menunjukkan adanya variasi nilai amplitudo di setiap jembatan yang berpotensi menunjukkan ketahanan struktur terhadap getaran.

Rasio Damping Struktur (RDM)

RDM diterapkan untuk menghitung rasio redaman pada setiap arah di lokasi penelitian. Rata-rata rasio redaman berkisar antara 3,08 hingga 7,11, tergantung pada lokasi dan arah, yang menunjukkan kapasitas redaman struktur dalam meredam getaran. Misalnya, Jembatan Muaro



Panjangin memiliki rasio redaman tertinggi dengan rata-rata 6,40 dalam arah y, yang mengindikasikan struktur tersebut mampu meredam getaran dengan baik.

Tabel 3. Rata-rata Data FSR dan RDM pada Jembatan
(Frekuensi, Amplitudo, dan Redaman)

| Lokasi Penelitian | Frekuensi X (Hz) | Frekuensi Y (Hz) | Amplitudo X | Amplitudo Y | Redaman X (%) | Redaman Y (%) |
|-------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Kiambang A | 4,88 | 5,43 | 3.706,88 | 8.708,59 | 5,46 | 7,11 |
| Duku BIM | 3,41 | 3,72 | 10.209,36 | 9.203,77 | 4,96 | 5,4 |
| Lubuk Alung | 2,8 | 2,55 | 10.529,21 | 10.041,11 | 7,82 | 3,08 |
| Pasir Jambak | 3 | 2,67 | 7.420,82 | 6.951,22 | 7,81 | 3,53 |
| Muaro Panjangin | 4,17 | 4,12 | 22.036,35 | 23.667,50 | 6,05 | 6,41 |

Pembahasan

Korelasi Frekuensi Tanah dan Jenis Tanah

Berdasarkan pengolahan data, tanah di beberapa lokasi, seperti Jembatan Kiambang dan Duku BIM, memiliki tipe tanah yang tergolong alluvial dengan kedalaman lebih dari 30 meter. Tanah ini memiliki frekuensi alami yang rendah, yang berisiko resonansi ketika terjadi getaran dengan frekuensi yang sama, meningkatkan risiko kerusakan struktur di atasnya.

Korelasi Amplitudo dan Frekuensi Struktur

Terdapat korelasi yang signifikan antara amplitudo dan frekuensi alami dari bangunan. Dari tabel dan grafik yang disajikan, seperti pada Gambar 32 dan 33, terlihat bahwa frekuensi dan amplitudo struktur menunjukkan pola tertentu yang dapat dijadikan indikator kemampuan bangunan dalam menghadapi resonansi. Perbedaan amplitudo antara arah x dan y menunjukkan bahwa setiap struktur mungkin merespons getaran secara berbeda tergantung pada arah getaran.

Korelasi antara Damping dan Frekuensi Struktur

Korelasi antara rasio redaman dan frekuensi menunjukkan bahwa tidak semua struktur memiliki kemampuan redaman yang sama. Berdasarkan tabel 14, nilai rasio redaman yang rendah pada beberapa lokasi menunjukkan perlunya perkuatan struktur untuk mengurangi risiko resonansi.

Tabel 3. Korelasi Frekuensi, Amplitudo, dan Redaman
pada Arah X dan Y

| Titik | Frekuensi X (Hz) | Frekuensi Y (Hz) | Amplitudo X | Amplitudo Y | Redaman X (%) | Redaman Y (%) |
|-------|------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| J1 | 4,88 | 5,43 | 3,7 | 8,71 | 5,46 | 7,12 |
| J2 | 3,41 | 3,72 | 10,21 | 9,2 | 4,96 | 5,4 |
| J3 | 2,8 | 2,55 | 10,53 | 10,03 | 7,82 | 3,08 |
| J4 | 3 | 2,67 | 7,42 | 6,95 | 7,81 | 3,53 |
| J5 | 4,17 | 4,12 | 22,03 | 23,66 | 6,05 | 6,41 |

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data pada kelima jembatan yang ada di Kota Padang dan sekitarnya menggunakan hasil survey microtremor didapatkan nilai layak guna jembatan berdasarkan frekuensi natural jembatan Duku BIM, Jembatan Pasir Jambak dan Jembatan Muaro yaitu pada arah X adalah 3,41Hz, 3,00Hz, dan 4,17Hz. Sedangkan arah Y adalah 3,72Hz, 2,67Hz, dan 4,12Hz. Jembatan tidak layak guna adalah Jembatan Kiambang A dan Lubuk Alung



memiliki frekuensi natural arah X 4,88Hz dan 2,80Hz, sedangkan arah Y didapat 5,43Hz dan 2,55Hz. Didapatkan Kesimpulan bahwa jembatan layak guna berfrekuensi natural $3\text{Hz} < f_0 < 4,5\text{Hz}$.

Saran

Pada pengambilan data microtremor jembatan BIM, peneliti melakukan pengambilan pada malam hari. Pada saat pengambilan, masih ada kendaraan berlalu Lalang, yang sebaiknya pengambilan data dilakukan saat tidak adanya gangguan yang menghalangi sehingga hasil yang didapatkan lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Altavillah, R. (2015). Analisis Pengaruh Variasi Marine Growth Risk Based Fatigue And Dynamic Response Analysis With Marine Growth Variation.
- Ariyadira, R. (2011). Analisis Periode Getar Dan Redaman Struktur Gedung Engineering Center Berdasarkan Data Pengukuran Vibrasi.
- Febrina, H. S. (2017). Analisis Kerentanan Bangunan Dengan Pengujian Mikrotremor Studi Kasus Di Daerah Rawan Pergerakan Tanah. Semarang: FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
- Habibah, U. (2016). Karakteristik Mikrotremor Berdasarkan Analisis Spektrum, Tfa (Time Frequency Analysis) Dan Analisis Seismisitas Pada Kawasan Jalur Sesar Opak. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- 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.
- Hariman, F., Christady H., H., & Triwiyono, A. 2007. Evaluasi dan program pemeliharaan jembatan dengan metode bridge management system. *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*. 17 (3), pp. 581– 593
- 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 Teknik*, 123
- Ibrahim, Gunawan, Subardjo. (2005). Pengetahuan Seismologi. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Kanai, K. (1983). *Seismology in Engineering*. Japan: University of Tokyo.
- Kayal, J. R. (2008). *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. India: Capital Publishing Company.
- Larasati, N.-. (2022). UJI KERENTANAN BANGUNAN RUSUNAWA BERDASARKAN HVSR (HORIZONTAL TO SPECTRAL RATIO) DAN FSR (FLOOR SPECTRAL RATIO). *Jurnal Geosaintek*, 8(1), 151.
- Mete Mirzaoglu, Unal Dykmen. (2003). Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure. *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 143 - 156.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor :19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan
- Rahmatullah, F. S. (2013). Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Indeks Kerentanan Seismik dan Percepatan Tanah Maksimum Kota Makassar. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Rian, Adi. 2023. JENIS-JENIS JEMBATAN DAN PENGERTIANYA (Online).
- 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).



- Putra, Rusnardi. R., & Saputra, D. (2022). Assessment Tingkat Kerentanan Bangunan Bertingkat di Kampus Universitas Negeri Padang Menggunakan Gelombang Rayleigh. *Serambi Engineering*, VII(1).
- Siska, D. (2015). Kaitan Antara Teori Gelombang Dan Jalur Rekahan Gempa Bumi Melalui Array Response Function. *Teori Gelombang dan Jalur Rekahan Gempa Bumi*, 157.
- SESAME. (2004). Guidelines for The Implementation of H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation. SESAME European Research Project.
- SNI-1726-2019-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung.
- SNI-2847-2019-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung-1.
- Struyk, H.J. & Van der Veen, K.H.C.W. (1984). *Jembatan Konstruksi*. Terjemahan Soemargono. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- Susilawati. (2008). Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam *Bumi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.