



## Analisis Indeks Resonansi dan Kerentanan Jembatan Rel Kereta Api Maros-Barru Berdasarkan Data Mikrotremor (Studi Kasus Jembatan WTT Maccini Baji)

Risda Syahrani<sup>1</sup>, Sulistiawaty<sup>1\*</sup>, Pariabti Palloan<sup>1</sup>, Kaharuddin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar

Jl. Mallengkeri Raya, Kota Makassar 90224, Sulawesi Selatan, Indonesia

<sup>2</sup>Balai Besar Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah IV Makassar

Jl. Racing Centre, Kota Makassar 90231, Sulawesi Selatan, Indonesia

\*E-mail korespondensi: [sulistiawaty@unm.ac.id](mailto:sulistiawaty@unm.ac.id)

### Article Info:

Received: 19-07-2024

Revised: 13-08-2024

Accepted: 19-11-2024

### Keywords:

Amplification,  
microtremor,  
natural  
frequency, resonance index

HVSR,  
natural



### Abstract

*This research is a quantitative descriptive research that aims to analyze the value of natural frequency and amplification factor, as well as knowing the level of resonance and vulnerability of WTT Maccini Baji Railway Bridge. This research was conducted on the Maros-Barru Railway Line, especially the WTT Maccini Baji Railway Bridge, Lau District, Maros Regency, South Sulawesi Province. Data collection was carried out at 8 points (4 points on the bridge and 4 points on the ground around the bridge) with two measurement times at each point, day and night. Processing of microtremor data using Geopsy software with the HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method to obtain HVSR curves that produce natural frequency and amplification values. The results showed natural frequency values ranging from 2,36 – 6,64 Hz and amplification values ranging from 2,67 – 15,92. The resonance index value of the Maccini Baji WTT Bridge obtained ranges from 30,68% – 181,49% and is included in the low resonance classification which indicates the bridge has a solid structure and is safe from potential damage due to resonance. While the seismic vulnerability index is obtained with a value of 2,07 – 77,35 which shows that the high seismic vulnerability classification is more dominant at the point located on the ground.*

## PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia merupakan negara yang berpotensi sering mengalami kejadian gempa bumi. Selain dapat memakan korban jiwa, gempa bumi juga dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur baik itu kerusakan ringan maupun berat. Resiko gempa bumi tidak dapat diabaikan terutama pada fasilitas umum yang ramai pengguna seperti kereta api. Kabupaten Maros merupakan salah satu daerah yang memiliki jalur kereta api. Jalur kereta api ini dibangun untuk menjangkau beberapa daerah di Sulawesi Selatan dan terbentang dari Kabupaten Maros hingga Barru. Jalur kereta api merupakan alternatif yang menghubungkan suatu tempat dengan tempat lain dan perannya sangat menguntungkan bagi masyarakat karena tidak menyusahkan untuk perjalanan jauh. Maka dari itu harus diperhatikan agar tidak mudah rusak, hancur atau terjadi sesuatu yang tidak diinginkan ketika terjadi bencana alam seperti gempa bumi[1]. Selain untuk mempermudah akses transportasi masyarakat, kereta api Maros-Barru ini juga digunakan untuk berwisata karena jalurnya yang melintasi kawasan karst

dan hamparan sawah sehingga meningkatkan minat masyarakat untuk menggunakan kereta api. Oleh karena itu, potensi kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi perlu diperhatikan untuk keselamatan para pengguna kereta api dengan menganalisa tingkat kerentanan dari struktur tersebut.

Tingkat kerentanan bangunan terhadap getaran gempa bumi dapat ditentukan berdasarkan nilai indeks resonansi bangunan dan nilai indeks kerentanan bangunan tersebut[2]. Nilai indeks resonansi dan kerentanan dari suatu bangunan dapat diketahui melalui perekaman sinyal mikrotremor. Metode mikrotremor sangat berkaitan erat dengan nilai frekuensi natural, amplifikasi, dan nilai indeks kerentanan seismik serta indeks resonansi[3]. Pengukuran mikrotremor dapat dilakukan pada jembatan kereta api WTT Maccini Baji untuk mengetahui tingkat kerentanannya terhadap getaran gempa bumi. Jembatan WTT Maccini Baji merupakan salah satu jembatan yang terdapat pada jalur kereta api Maros-Barru. Salah satu penyebab kerusakan jembatan kereta api dapat disebabkan oleh aktivitas seismik, sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai respon jembatan terhadap getaran akibat gempa bumi. Kerusakan jembatan saat terjadi gempa bumi disebabkan oleh getaran pada tanah dasar struktur konstruksi yang menyebabkan terjadinya deformasi. Respon jembatan terhadap getaran pada dasar tanah sangat bergantung pada frekuensi alami struktur[4]. Frekuensi alami atau frekuensi natural dari struktur jembatan dapat ditentukan melalui pengukuran mikrotremor.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis frekuensi natural dan amplifikasi, nilai indeks resonansi, dan nilai indeks kerentanan Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji. Penelitian mikrotremor pada jalur kereta api sebelumnya pernah dilakukan oleh Syarah dan Pohan (2022) di jalur kereta api Kota Padang dengan menggunakan metode HVSR. Berdasarkan penelitian tersebut, diperoleh nilai frekuensi natural pada daerah penelitian sebesar 0,68 Hz - 1,57 Hz serta nilai amplifikasi 0,9 - 1,29 dan termasuk dalam kategori aman terhadap getaran, kecuali pada salah satu titik yang berpotensi terjadi resonansi[5]

### **Mikrotremor**

Mikrotremor merupakan getaran yang terjadi secara terus menerus dan memiliki amplitudo yang rendah serta terjebak di lapisan sedimen permukaan. Mikrotremor ini disebabkan oleh peristiwa alam maupun buatan manusia seperti angin, getaran dari kendaraan dan gelombang laut[6]. Pertimbangan perancangan bangunan tahan gempa dapat memanfaatkan mikrotremor dengan mengetahui nilai periode natural dari tanah setempat sehingga dapat menghindari terjadinya resonansi[7]. Perekaman sinyal mikrotremor membutuhkan seismometer dengan tiga komponen yaitu komponen NS (*North-South*), EW (*East-West*), dan vertikal (*Up-Down*)[8]. Salah satu metode pengolahan data mikrotremor yaitu HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang dirumuskan oleh Nakamura seperti pada Pers. (1) [9]:

$$H/V = \frac{\sqrt{H_{EW}^2(f) + H_{NS}^2(f)}}{V_{UD}(f)} \quad (1)$$

dengan  $H_{EW}(f)$  adalah spektrum komponen horizontal timur-barat,  $H_{NS}(f)$  adalah spektrum komponen utara-selatan dan  $V_{UD}(f)$  spektrum komponen vertikal atau *Up-Down*.

### Frekuensi Natural ( $f_0$ ) dan Amplifikasi ( $A_0$ )

Frekuensi natural adalah nilai frekuensi yang sering muncul atau frekuensi tanah atau batuan pada daerah tersebut. Frekuensi tersebut dapat menggambarkan karakteristik lapisan tanah atau batuan di daerah penelitian[10]. Apabila nilai frekuensi natural ( $f_0$ ) tinggi, maka lapisan bawah permukaannya tersusun dari batuan yang keras, sedangkan jika nilai frekuensi naturalnya ( $f_0$ ) rendah, maka lapisan bawah permukaannya tersusun dari batuan yang lunak atau batuan sedimen[11].

Amplifikasi adalah perbesaran gelombang seismik yang disebabkan oleh variasi kepadatan lapisan yang besar[12]. Gelombang tanah yang merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium sebelumnya yang dilaluinya akan mengalami perbesaran gelombang. Perbesaran gelombang tanah tersebut akan semakin besar apabila perbedaan kepadatan lapisannya juga semakin besar[13]. Nilai amplifikasi yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor diklasifikasikan menjadi empat yaitu zona amplifikasi rendah ( $A_0 < 3$ ), zona amplifikasi sedang ( $3 \leq A_0 < 6$ ), zona amplifikasi tinggi ( $6 \leq A_0 < 9$ ) dan zona amplifikasi sangat tinggi ( $A_0 \geq 9$ )[14].

### Indeks Resonansi

Nilai frekuensi natural bangunan dan tanah dapat digunakan untuk memperoleh nilai resonansi jembatan. Resonansi dapat terjadi apabila bangunan memiliki frekuensi yang relatif sama dengan frekuensi tanah (sedimen), yang dapat meningkatkan intensitas kerusakan akibat getaran seismik karena terjadi proses resonansi gelombang gempa[15]. Pers. (2) dapat digunakan untuk menentukan nilai resonansi dengan mengetahui nilai frekuensi natural jembatan dan frekuensi natural tanahnya.

$$R = \left| \frac{f_j - f_t}{f_t} \right| \times 100\% \quad (2)$$

dengan  $R$  adalah indeks resonansi jembatan,  $f_j$  adalah frekuensi natural jembatan dan  $f_t$  adalah frekuensi natural tanah. Nilai indeks resonansi diklasifikasikan menjadi tiga yang terdiri dari resonansi rendah ( $R > 25\%$ ), resonansi sedang ( $15\% \leq R \leq 25\%$ ), dan resonansi tinggi ( $R < 15\%$ )[16].

### Indeks Kerentanan

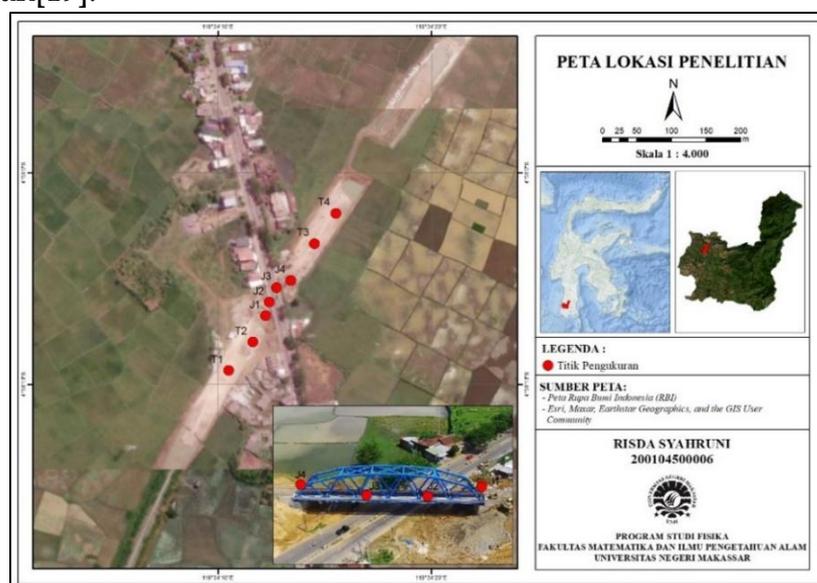
Indeks kerentanan diusulkan oleh Nakamura (1996) untuk memperkirakan kerusakan akibat gempa pada permukaan tanah dan struktur secara akurat. Nilai indeks kerentanan dapat dihitung dengan mengetahui nilai frekuensi natural dan amplifikasi seperti yang dituliskan pada Pers. (3)[9].

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (3)$$

dengan  $K_g$  adalah indeks kerentanan,  $A_0$  adalah amplifikasi dan  $f_0$  adalah frekuensi natural[9]. Nilai indeks kerentanan diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu  $K_g < 3$  (indeks kerentanan seismik rendah),  $3 \leq K_g \leq 6$  (indeks kerentanan sedang) dan  $K_g > 6$  (indeks kerentanan seismik tinggi)[17]. Nilai indeks kerentanan berbanding lurus dengan nilai amplifikasi dan berbanding terbalik dengan frekuensi natural. Daerah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi merupakan daerah yang lebih rawan terhadap gempa bumi. Sedangkan daerah yang memiliki nilai indeks kerentanan kecil, maka daerahnya lebih tahan terhadap bahaya gempa bumi [18].

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji yang terletak di Jalur Kereta Api Maros-Barru, Kelurahan Maccini Baji, Kecamatan Lau, Kabupaten Maros. Pengambilan data mikrotremor menggunakan alat seismometer tipe TDV-23S, digitizer TDL-303S, GPS Antenna, GPS digital, kompas, kabel konektor serta laptop, yang dilakukan pada 8 titik yaitu 4 titik pada badan Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji (J1, J2, J3, J4) dan 4 titik pada tanah di sekitar jembatan tersebut (T1, T2, T3, T4) tampak seperti pada Gambar 1. Pengukuran mikrotremor dilakukan pada dua waktu untuk tiap titik yaitu siang hari (08.30 – 18.00 WITA) dan malam hari (19.20 – 23.45 WITA) dengan durasi perekaman mikrotremor selama  $\pm 50 - 60$  menit untuk tiap titik. Pengukuran mikrotremor dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berbeda antara siang dan malam hari. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh variasi aktivitas manusia dan kondisi lingkungan yang berubah sepanjang hari. Penelitian Nakamura menghasilkan mikrotremor paling kecil terekam pada saat aktivitas seperti pengaruh lalu lintas dan industri berkurang yaitu saat malam hari karena *noise* dari sumber ini berkurang. Nakamura memperoleh bahwa amplitudo menjadi lebih besar ketika getaran menjadi bertambah[19].



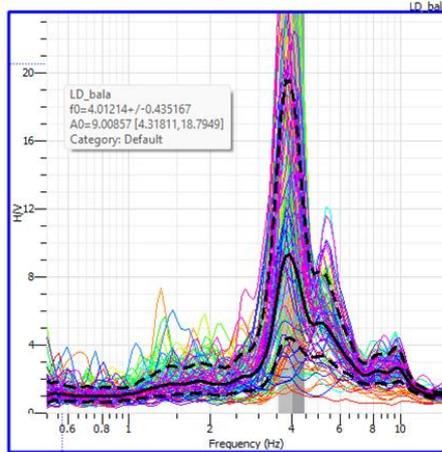
**Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Data Penelitian**

Analisis data menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode rasio spektral H/V menggunakan seismometer dengan tiga komponen yang terdiri dari dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal untuk mengukur sinyal selama waktu pengamatan[20]. Data mikrotremor yang terekam merupakan data getaran tanah terhadap fungsi waktu dan tersimpan dengan format *hexadecimal*. Data tersebut kemudian diubah menggunakan *software DataPro* menjadi format *miniseed* (.MSD) untuk dapat diolah dengan menggunakan *software Geopsy*. Pada *software Geopsy*, tiap komponen dianalisis dengan algoritma FFT (*Fast Fourier Transform*) yang bertujuan untuk mengkonversi komponen sinyal mikrotremor dari domain waktu (*time series*) menjadi domain frekuensi sehingga menghasilkan spektrum dari masing-masing komponen sinyal tersebut[21]. Kemudian komponen sinyal melalui proses *smoothing* dan *windowing* dengan filter *smoothing* Konno dan Omachi dan menggunakan koefisien *bandwidth* sebesar 40 detik dan *cosine taper* sebesar 5%, serta menyeleksi dan membuang sinyal dengan *noise* yang besar sehingga menghasilkan kurva H/V yang memberikan

nilai frekuensi natural dan amplifikasi yang digunakan pada perhitungan nilai indeks resonansi dan indeks kerentanan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengolahan data mikrotremor pada *software Geopsy* menghasilkan kurva HVSR untuk tiap titik pengukuran tampak seperti Gambar 2.



**Gambar 2.** Kurva HVSR Hasil Pengolahan pada *Software Geopsy*

Nilai frekuensi natural ditunjukkan pada nilai sumbu x dari puncak kurva dengan garis hitam tebal tidak putus-putus, sedangkan nilai amplifikasinya ditunjukkan pada sumbu y. Nilai frekuensi natural dan amplifikasi yang diperoleh dari kurva HVSR dapat menghasilkan nilai yang berbeda-beda untuk tiap titik pengukuran.

**Tabel 1.** Nilai Frekuensi Natural Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji dan Tanah Sekitarnya

Titik Pengukuran	$f_0$ (Hz)	
	Siang	Malam
J1	3,18	3,28
J2	3,37	3,33
J3	3,46	3,42
J4	6,41	6,64
T1	2,40	2,42
T2	2,43	2,36
T3	4,00	4,06
T4	4,01	3,93

Nilai frekuensi natural tiap titik pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1, di mana pada badan Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji (J1, J2, J3, dan J4), diperoleh nilai dengan rentang 3,18 – 6,64 Hz. Frekuensi natural yang diperoleh dari pengukuran siang dan malam hari tidak jauh berbeda. Nilai frekuensi natural ditimbulkan oleh besar getaran yang dihasilkan oleh jembatan. Nilai standar untuk frekuensi natural jembatan berdasarkan SNI (2008) tentang ketahanan struktur jembatan terhadap gempa yaitu 2,63 Hz. Nilai tersebut dijadikan nilai standar untuk seluruh jembatan di Indonesia[22]. Berdasarkan nilai tersebut, Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji memiliki nilai frekuensi natural yang sudah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia karena nilainya berada di atas 2,63 Hz. Pada Tabel 1 juga tampak bahwa nilai frekuensi natural yang diperoleh pada tanah di sekitar jembatan (T1, T2, T3, dan T4) berkisar antara 2,36 Hz -

4,06 Hz dan pada pengukuran siang maupun malam hari menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut Kanai (1983), nilai frekuensi yang diperoleh pada titik T1 dan T2 menunjukkan bahwa ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori sangat tebal, sedangkan titik T3 dan T4 memiliki ketebalan sedimen permukaan kategori menengah.

Respon bangunan terhadap gempa bergantung pada nilai frekuensi natural tanah dan frekuensi natural bangunannya. Pada bangunan yang diguncang oleh gempa bumi, frekuensi getaran tanah dan gempa akan merambat secara bersamaan. Getaran tanah dengan frekuensi yang sama akan mempengaruhi bangunan[23]. Pada Jembatan WTT Maccini Baji diperoleh nilai frekuensi natural jembatan yang lebih besar dibanding frekuensi natural tanahnya, sehingga getaran tanah pengaruhnya lebih kecil terhadap badan jembatan tersebut.

Selain nilai frekuensi natural, nilai amplifikasi juga dapat dilihat pada kurva HVSR hasil pengolahan data mikrotremor. Data mikrotremor hasil pengukuran siang dan malam hari pada Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji menghasilkan nilai amplifikasi seperti pada Tabel 2.

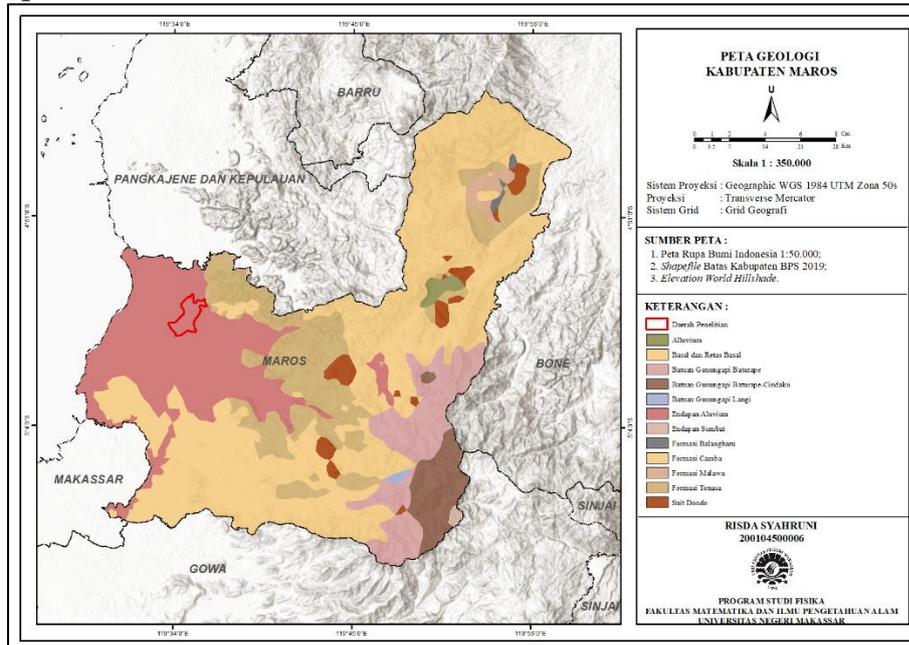
**Tabel 2. Nilai Amplifikasi Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji dan Tanah Sekitarnya**

Titik Pengukuran	A <sub>0</sub>		Zona Amplifikasi	
	Siang	Malam	Siang	Malam
J1	15,40	15,92	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi
J2	3,14	3,06	Sedang	Sedang
J3	2,67	2,93	Rendah	Rendah
J4	11,72	9,46	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi
T1	11,24	12,91	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi
T2	8,66	11,47	Tinggi	Sangat Tinggi
T3	10,91	8,74	Sangat Tinggi	Tinggi
T4	9,02	13,58	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi

Nilai faktor amplifikasi yang terukur pada Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji berkisar antara 2,67 hingga 15,92, sedangkan pada tanah disekitarnya berkisar antara 8,66 hingga 13,58. Nilai amplifikasi yang diperoleh pada badan Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji tergolong dalam zona amplifikasi rendah hingga sangat tinggi. Titik J1 dan J4 merupakan ujung jembatan yang memiliki zona amplifikasi sangat tinggi, titik J2 dan J3 merupakan bagian tengah jembatan yang memiliki zona amplifikasi sedang dan rendah, sedangkan titik T1-T4 yang merupakan tanah di sekitar jembatan termasuk ke dalam zona amplifikasi tinggi dan sangat tinggi. Tingginya nilai amplifikasi pada ujung jembatan dibandingkan dengan titik lainnya dapat disebabkan oleh *noise* saat pengukuran karena ujung jembatan tersebut merupakan bagian yang paling dipengaruhi oleh *noise* kendaraan yang melintas pada jalan di bawah jembatan. Perbedaan nilai amplifikasi dan tingginya nilai amplifikasi yang diperoleh ini dapat disebabkan oleh *noise* atau sinyal yang tidak diinginkan yang ikut terekam saat pengambilan data berlangsung sehingga dapat mempengaruhi nilai amplitudo spektrum yang dihasilkan[2].

Selain itu, perbandingan kontras impedansi antara lapisan sedimen di permukaan dan *bedrock* di bawahnya sangat berhubungan dengan amplifikasi[9]. Amplifikasi gelombang gempa juga dapat dipengaruhi oleh variasi jenis batuan di daerah penelitian.

Gelombang gempa dapat teramplifikasi jika merambat pada tanah yang memiliki kondisi geologi berupa endapan atau sedimen yang tebal[24]. Nilai amplifikasi pada tanah di sekitar Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji termasuk dalam kategori zona amplifikasi tinggi dan sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena tanah di sekitar jembatan adalah tanah timbunan yang cukup tinggi dan merupakan medium yang lebih lunak sehingga gelombang akan mengalami penguatan ketika melalui medium tersebut. Tingginya nilai amplifikasi pada tanah disebabkan karena daerah penelitian memiliki kondisi geologi berupa endapan aluvium seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan memiliki ketebalan sedimen menengah hingga sangat tebal sesuai dengan frekuensi natural yang diperoleh.



Gambar 3. Peta Geologi Kabupaten Maros

Nilai frekuensi natural dapat dijadikan pedoman untuk mengetahui suatu struktur dapat mengalami resonansi atau tidak. Frekuensi natural terdapat pada suatu sistem ketika menerima getaran pemicu tanpa redaman. Jika frekuensi getaran tersebut sama atau mendekati frekuensi alami sistem, maka diperoleh resonansi dan osilasi yang besar dan berbahaya[25]. Bangunan yang memiliki frekuensi natural lebih kecil dibandingkan frekuensi natural tanahnya dapat menjadi salah satu penyebab suatu struktur bangunan mengalami kegagalan akibat gempa bumi karena ketika terjadi resonansi pada bangunan tersebut maka strukturnya tidak mampu meredam frekuensi yang diberikan oleh tanah[26]. Nilai indeks resonansi Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Indeks Resonansi Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji

Titik Pengukuran	R		Klasifikasi	
	Siang	Malam	Siang	Siang
J1	30,68%	38,80%	Rendah	Rendah
J2	38,67%	41,23%	Rendah	Rendah
J3	42,26%	45,06%	Rendah	Rendah
J4	163,84%	181,49%	Rendah	Rendah

Nilai indeks resonansi Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji berkisar antara 30,68% - 181,49%. Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji memiliki potensi yang tergolong rendah untuk mengalami resonansi karena memiliki nilai  $R > 25\%$ , sehingga dapat dikatakan bahwa jembatan tersebut memiliki struktur yang kokoh dan tidak rawan terhadap resonansi getaran. Hal tersebut disebabkan karena jembatan dan tanah memiliki nilai frekuensi natural yang berbeda sehingga diperoleh nilai indeks resonansi yang besar. Berdasarkan nilai indeks resonansi yang diperoleh, maka Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji tergolong aman dari potensi kerusakan bangunan akibat resonansi yang disebabkan oleh getaran seismik atau gempa bumi.

Selain nilai indeks resonansi, data mikrotremor juga dapat digunakan untuk mengetahui indeks kerentanan seismik suatu bangunan atau tanah. Nilai indeks kerentanan seismik sangat bergantung pada nilai frekuensi natural dan nilai amplifikasi yang diperoleh. Pengolahan data mikrotremor Jembatan WTT Maccini Baji dan tanah di sekitarnya menghasilkan nilai indeks kerentanan yang dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Nilai Indeks Indeks Kerentanan Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji dan Tanah di Sekitarnya**

Titik Pengukuran	$K_g$		Klasifikasi	
	Siang	Malam	Siang	Siang
J1	74,62	77,35	Tinggi	Tinggi
J2	2,92	2,82	Rendah	Rendah
J3	2,07	2,51	Rendah	Rendah
J4	21,42	13,48	Tinggi	Tinggi
T1	52,58	68,97	Tinggi	Tinggi
T2	30,84	55,74	Tinggi	Tinggi
T3	29,76	18,80	Tinggi	Tinggi
T4	20,23	46,90	Tinggi	Tinggi

Hasil pengolahan data mikrotremor di Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji menunjukkan bahwa jembatan ini memiliki indeks kerentanan seismik dengan klasifikasi rendah dan tinggi. Bagian tengah jembatan tersebut tergolong aman terhadap getaran seismik karena memiliki nilai  $K_g < 3$ . Sedangkan indeks kerentanan tinggi  $K_g > 6$  terdapat pada ujung jembatan disebabkan oleh nilai amplifikasi yang tinggi akibat pengaruh dari *noise* kendaraan dan juga pengaruh dari tanah timbunan. Tanah di daerah sekitar Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang tergolong tinggi dengan  $K_g > 6$ . Tingginya nilai indeks kerentanan seismik tersebut karena titik pengukuran di tanah berada pada tanah timbunan dengan lapisan sedimen yang tebal sehingga gelombang seismik akan lebih mudah teramplifikasi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji memiliki nilai frekuensi natural 3,18 Hz - 6,64 Hz, sedangkan frekuensi natural tanah di sekitar jembatan berkisar antara 2,36 Hz - 4,06 Hz. Nilai amplifikasi Jembatan Kereta Api WTT Maccini berkisar antara 2,67 - 15,92 dan tanahnya memiliki nilai amplifikasi sebesar 8,66 - 13,58. Jembatan Kereta Api WTT Maccini Baji memiliki nilai indeks resonansi berkisar antara 30,68% - 181,49% dengan klasifikasi resonansi rendah,

sedangkan nilai indeks kerentanannya termasuk dalam klasifikasi rendah ( $K_g < 3$ ) dan tinggi ( $K_g > 6$ ) dengan nilai 2,07 – 77,35.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada dosen pembimbing, Jurusan Fisika FMIPA UNM, pihak Balai Pengelola Kereta Api Sulawesi Selatan dan pihak BBMKG Wilayah IV Makassar yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan penelitian ini, serta keluarga dan teman-teman penulis yang telah memberikan banyak dukungan dan bantuan dalam penyelesaian studi penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Dwi Syaputra, F. Farid, dan L. Handayani, "Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor Dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)," *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 16, no. 1, hlm. 59-64, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <http://ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI>
- [2] U. N. Prabowo, W. Budhi, dan A. F. Amalia, "Analisis Mikrotremor Untuk Mengevaluasi Kerentanan Gempabumi Ruangan Prodi Pend Fisika UST," *Science Tech Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, vol. 6, no. 1, hlm. 10-16, 2020.
- [3] H. S. Febrina, "Analisis Kerentanan Bangunan dengan Pengujian Mikrotremor Studi Kasus di Daerah Rawan Pergerakan Tanah," Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2017.
- [4] Z. Mutaram, U. Muksin, dan Y. Idris, "Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor," *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, vol. 5, no. 3, hlm. 160-169, Sep 2022, doi: 10.24815/jarsp.v5i3.26135.
- [5] N. Syarah dan A. F. Pohan, "Analisis Mikrotremor Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio di Jalur Kereta Api Kota Padang," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 3, hlm. 313-319, Jul 2022, doi: 10.25077/jfu.11.3.313-319.2022.
- [6] N. Syarah dan A. F. Pohan, "Analisis Mikrotremor Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio di Jalur Kereta Api Kota Padang," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 3, hlm. 313-319, Jul 2022, doi: 10.25077/jfu.11.3.313-319.2022.
- [7] K. Kanai, *Enginnering Seismology*. Tokyo: Tokyo University Press, 1983.
- [8] N. Haerudin, Fikri, dan A. Rustadi, "Mikroseismik, Mikrotremor Microearthquake dalam ilmu kebumihan dan," Bandarlampung, 2019.
- [9] Y. Nakamura, "Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications," *proc XII World Conf. Earthquake Engineering*, hlm. 1-8, 2002.
- [10] M. Reza Iswara dan T. Hardy, "Analysis of Ground Shear Strain (GSS) District Kawalu Tasikmalaya with HVSR Method Using Microtremor Data," vol. 150, no. 2, hlm. 150-155, 2020, doi: 10.24036/9104171074.
- [11] A. Syahputri dan S. Sismanto, "Identifikasi Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode Mikrotremor Di Dusun Tegalsari Desa Ngargosari Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo," *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 24, no. 2, hlm. 66, Agu 2020, doi: 10.22146/jfi.v24i2.53636.
- [12] A. Kustanto Putra, Y. Yanti, dan E. T. Paripurno, "Application of HVSR Method on Microtremor Data for Analysis of Earthquake Potential in Candipuro District, Lumajang, Indonesia," *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, vol. 8, no. 4, hlm. 288-294, Des 2023, doi: 10.25299/jgeet.2023.8.4.13460.

- [13] A. Putri, S. Purwanto, dan A. Widodo, "Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor di Jalur Sesar Kendeng," *Jurnal Geosaintek*, vol. 3, no. 2, hlm. 107-114, 2017.
- [14] Setiawan J.R., "Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
- [15] N. Larasati, F. Farid, dan Juventa, "Uji Kerentanan Bangunan Rusunawa Berdasarkan HVSR (Horizontal to Spectral Ratio) dan FSR (Floor Spectral Ratio)," *Jurnal Geosaintek*, vol. 8, no. 1, hlm. 151-160, Apr 2022, doi: 10.12962/j25023659.v8i1.12272.
- [16] Z. Mutaram, U. Muksin, dan Y. Idris, "Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor," *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, vol. 5, no. 3, hlm. 160-169, Sep 2022, doi: 10.24815/jarsp.v5i3.26135.
- [17] S Minardi, N. Aprianti, dan A. Solikhin, "Local Geology and Site Class Assessment Based On Microtremor Data In North Lombok," *Indonesian Physical Review*, vol. 4, no. 2, hlm. 67, 2021, doi: 10.29303/i.
- [18] Wahyudin, Sulistiawaty, dan N. Ihsan, "Analisis Kerentanan Bendungan Ponre-ponre Kabupaten Bone Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor dengan Metode HVSR," *JSPF*, vol. 15, no. 2, hlm. 90-96, 2019.
- [19] Y. Nakamura, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface," *Quarterly Report of Railway Technical Research*, vol. 30, no. 1, hlm. 25-33, 1989.
- [20] H. Nguyeng-Tien, P. Nguyen-Hong, M. Nguyen-Le, W. Kuo-Liang, dan N. Tran-An, "Investigation of microtremor motion variation by Nakamura'S H/V spectral ratio method," *J Mar Sci Technol*, vol. 17, no. 4B, hlm. 68-74, Des 2017, doi: 10.15625/1859-3097/17/4b/12994.
- [21] SESAME European research project, *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Measurements, Processing and Interpretation*. European Commission: Research General Directorate, 2004. [Daring]. Tersedia pada: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>
- [22] M. Demulawa, D. Gede, E. Setiawan, M. Yunus, dan R. R. Rifai, "Analisis Frekuensi Resonansi Jembatan Bantar III Bantul Yogyakarta Terhadap Kejadian Gempabumi Yogyakarta," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 8, no. 24, hlm. 727-734, 2022, doi: 10.5281/zenodo.7686712.
- [23] A. Wahyuni, "Pengukuran Frekuensi Natural pada Gedung Bertingkat Menggunakan Accelerometer GPL-6A3P," *JFT*, vol. 1, no. 1, hlm. 12-17, 2014, [Daring]. Tersedia pada: [www.google.com](http://www.google.com),
- [24] E. R. Iswanto, Y. Indrawati, dan T. A. Riyanto, "Studi Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) di Tapak RDE, Serpong," *Eksplorium*, vol. 40, no. 2, hlm. 105-114, Nov 2019, doi: 10.17146/eksplorium.2019.40.2.5489.
- [25] R. Kusumawardani, M. A. Zelin, dan A. Kusbiantoro, "Ground Vibration Analysis of Railroad Dynamic Loads on Rail Structure," *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, vol. 21, no. 2, hlm. 62-70, 2019, doi: 10.15294/jtsp.v21i2.20957.
- [26] T. N. Setia, M. Afifuddin, dan Y. Idris, "Identifikasi Frekuensi Natural dan Damping Ratio Dengan Menggunakan Mikrotremor Pada Gedung Evakuasi Bencana Desa Ulee Lheue dan Desa Alue Deah Teungoh," *Journal of The Civil Engineering Student*, vol. 1, no. 3, hlm. 162-168, 2019.