

## Analisis Mikrotremor Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* di Jalur Kereta Api Kota Padang

Nadilla Syarah\*, 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: 23 Mei 2022  
Direvisi: 10 Juni 2022  
Diterima: 23 Juni 2022

#### Kata kunci:

amplifikasi  
frekuensi  
HVSR  
mikrotremor  
PVS

#### Keywords:

amplification  
frequency  
HVSR  
microtremor  
PVS

#### Penulis Korespondensi:

Nadilla Syarah  
Email: [nadillasyarah25@gmail.com](mailto:nadillasyarah25@gmail.com)

### ABSTRAK

Getaran kereta api merupakan salah satu sumber mikrotremor. Getaran ini perlu dianalisis untuk mengetahui dampak terhadap lingkungan di sekitar jalur kereta api. Pengukuran mikrotremor telah dilakukan menggunakan metode *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSR) di jalur kereta api Kota Padang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik geologi setempat dan tingkat getaran mekanik akibat kereta api pada daerah padat rumah penduduk di sekitar jalur kereta api Kota Padang. Pengukuran dilakukan di lima titik dengan durasi perekaman 65 menit menggunakan *geophone*, *data logger*, dan laptop yang kemudian diolah menggunakan *software Geopsy*. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki jenis lapisan sedimen permukaan dengan ketebalan 30 meter atau lebih. Hal ini ditandai dengan nilai frekuensi dominan yang berkisar antara 0,68 Hz – 1,57 Hz. Daerah penelitian memiliki nilai amplifikasi yang berkisar antara 0,9 – 1,29. Getaran kereta api memiliki frekuensi dominan yang berkisar antara 1,24 Hz – 12,24 Hz dan amplifikasi 0,80 – 2,13. Nilai kecepatan partikel yang diperoleh dari nilai *peak vector sum* (PVS) berkisar antara 0,1254 mm/s – 0,3158 mm/s. Daerah penelitian dapat dikategorikan aman dari getaran kereta api dikarenakan rendahnya nilai amplifikasi dan nilai PVS yang berada di bawah batas aman menurut SNI 7571:2010.

*Train vibration is one source of microtremor. This vibration important to be analyzed to determine the impact on the environment around the railway line. Microtremor measurements have been carried out using the horizontal to vertical spectral ratio (HVSR) method on the Padang City railway line. The purpose of this study was to determine the local geological characteristics and the level of mechanical vibration due to the train in densely populated areas around the Padang City railway line. Measurements were made at 5 points with a recording duration of 65 minutes using a geophone, data logger, and laptop which would then be processed using Geopsy software. The results of the analysis show that the research area has a type of surface sediment layer with a thickness of 30 meters or more. This is indicated by the dominant frequency value which ranges from 0.68 Hz – 1.57 Hz. The research area has an amplification value ranging from 0.9 to 1.29. The train vibration has a dominant frequency ranging from 1.24 Hz – 12.24 Hz and an amplification of 0.8 – 2.13. The particle velocity value obtained from the peak vector sum (PVS) value ranges from 0.1254 mm/s – 0.3158 mm/s. The research area can be categorized as safe from train vibrations due to the low amplification value and the PVS value which is below the safe limit according to SNI 7571:2010.*

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Mikrotremor adalah getaran dengan amplitudo rendah yang terjadi secara terus menerus dan terjebak di lapisan sedimen permukaan (Wulandari *et al.*, 2018). Mikrotremor ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan manusia seperti angin, gelombang laut, dan getaran dari kendaraan. Salah satu contoh getaran kendaraan adalah getaran kereta api. Getaran ini merupakan hasil dari ketidakrataan permukaan roda dan rel kereta karena naik turunnya as di atas bantalan. Getaran ini merambat sepanjang bagian bawah rel kereta api yang dapat mempengaruhi lingkungan di sekitar jalur kereta api (Afrihansyah, 2020).

Dampak getaran kereta api dapat berupa kelongsoran tanah pada lokasi timbunan dan kondisi tanah di bawah konstruksi rel, amblesnya jalan, dan keretakan kecil pada bangunan di sekitar jalur kereta api (Fadilah, 2020). Daerah yang memiliki endapan sedimen permukaan yang tebal dan faktor penguatan gelombang yang besar merupakan daerah yang rawan terhadap getaran (Kumar *et al.*, 2021). Daerah yang rawan terhadap getaran memiliki potensi kerusakan yang lebih besar ketika terjadi getaran atau guncangan.

Dampak getaran kereta api terhadap suatu daerah dapat dianalisis menggunakan data mikrotremor. Metode yang digunakan untuk menganalisis mikrotremor yaitu *interpretation of power spectral density*, *estimation of spectral ratios relative to a stable reference position*, dan *computation of spectral ratios of horizontal components proportional to vertical component of ground motion*. Metode yang paling sering digunakan adalah metode *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSr) karena memiliki kelebihan yaitu dapat menghilangkan efek sumber dan tidak bergantung terhadap ketersediaan *hard rock site* (Kumar *et al.*, 2021).

Metode HVSr telah digunakan pada penelitian (Afrihansyah, 2020) untuk menganalisis getaran akibat kereta api. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa semakin kecil nilai frekuensi dominan, maka semakin besar potensi terjadinya kerusakan pada jalur rel kereta. Selain itu, penelitian oleh (Kumar *et al.*, 2021) juga menggunakan metode HVSr untuk menganalisis karakteristik geologi setempat di Sikkim, India. Dari penelitian didapatkan nilai frekuensi dominan berkisar antara 2,8 Hz – 9,3 Hz, yang memperlihatkan bahwa semakin kecil nilai frekuensi dominan, maka semakin tebal endapan sedimen di wilayah tersebut. Penelitian (Irham *et al.*, 2021) juga menggunakan metode HVSr untuk mengetahui respon tanah wilayah Pesisir Semarang terhadap risiko gempa bumi. Hasil penelitian didapatkan pemetaan sebaran nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi wilayah Pesisir Semarang.

Kota Padang merupakan daerah yang dikategorikan aktif dalam penggunaan transportasi kereta api. Kereta api di Padang sudah digunakan sejak 1 Juli 1891 hingga saat ini. Aktivitas transportasi kereta api akan menimbulkan getaran yang berdampak ke lingkungan di sekitar jalur kereta api. Masih banyak masyarakat yang belum mengetahui dampak berkelanjutan dari getaran yang ditimbulkan oleh aktivitas kereta api. Analisis mikrotremor disekitar jalur kereta api Kota Padang perlu dilakukan sebagai upaya untuk mengantisipasi dampak buruk yang ditimbulkan akibat getaran kereta api.

## II. METODE

Penelitian dilaksanakan dari Oktober 2021 – April 2022. Teknik pelaksanaan penelitian meliputi survei lokasi, akuisisi, pengolahan, dan analisa data. Lokasi penelitian terletak di sekitar jalur kereta api Kota Padang, Sumatera Barat. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *geophone* untuk menerima gelombang seismik dari tanah, *data logger* untuk mengubah data analog menjadi data digital, kabel penghubung untuk menghubungkan *geophone* dengan *data logger*, dan laptop untuk menyimpan hasil rekaman gelombang seismik. Perangkat lunak yang digunakan yaitu *DataQ* untuk akuisisi data, *Microsoft Excel*, *Notepad*, *Matlab* untuk pengolahan data, dan *Surfer* untuk pemetaan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi.

Akuisisi data dilakukan pada daerah yang padat rumah penduduk yaitu dari Stasiun Padang hingga *Shelter* Air Tawar dengan jarak 1 km antar titik akuisisi data. Pengambilan data dilakukan menggunakan tiga *geophone* dengan arah utara – selatan, timur – barat, dan vertikal. Data direkam dengan durasi 65 menit antar titik akuisisi data.

Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi, Universitas Andalas dengan menggunakan *software Geopsy* dan *Surfer* untuk membuat peta sebaran nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi. Kemudian, nilai PVS ditentukan menggunakan Persamaan 1.

$$PPV = \sqrt{PPV_{NS}^2 + PPV_{EW}^2 + PPV_V^2} \quad (1)$$

dengan  $PPV_{NS}$  adalah *peak particle velocity* arah utara – selatan,  $PPV_{EW}$  adalah *peak particle velocity* arah timur – barat, dan  $PPV_V$  adalah *peak particle velocity* arah vertikal.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Frekuensi Dominan Sinyal Stasioner

Dari pengolahan yang telah dilakukan, didapatkan nilai frekuensi dominan sinyal stasioner berkisar antara 0,68 Hz – 1,57 Hz. Secara keseluruhan nilai frekuensi dominan sinyal stasioner dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Nilai frekuensi dominan sinyal stasioner

Titik Akuisisi Data	Garis Lintang	Garis Bujur	Frekuensi Dominan, $f_0$ (Hz)	Jenis Tanah	Keterangan
B1	-0,937157	100,373360	$1,57 \pm 0,32$	Jenis I ( $f_0 < 2,5$ )	Ketebalan sedimen permukaan sangat tebal (>30m)
B2	-0,928485	100,368731	$0,70 \pm 0,11$		
B3	-0,920979	100,364161	$0,68 \pm 0,11$		
B4	-0,913002	100,361841	$0,69 \pm 0,10$		
B5	-0,903859	100,354990	$0,70 \pm 0,10$		

Berdasarkan Tabel 1, nilai frekuensi dominan sinyal stasioner menunjukkan bahwa jenis tanah pada seluruh titik akuisisi data merupakan Jenis I yaitu tanah lunak dengan ketebalan sedimen permukaan yang sangat tebal. Tebalnya lapisan sedimen permukaan dapat menjadi pertimbangan bagi masyarakat di sekitar jalur kereta api ketika akan melakukan pembangunan. Sebaran nilai frekuensi dominan sinyal stasioner dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Peta sebaran nilai frekuensi dominan sinyal stasioner

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa daerah penelitian didominasi oleh frekuensi dominan dengan rentang 0,50 Hz – 0,75 Hz yang ditandai dengan warna kuning. Secara keseluruhan, nilai frekuensi dominan seluruh titik akuisisi data  $< 2,5$  Hz. Nilai frekuensi dominan yang rendah menginterpretasikan bahwa daerah penelitian memiliki lapisan sedimen permukaan yang sangat tebal (30 meter atau lebih), yang menunjukkan bahwa letak batuan dasar semakin dalam. Semakin tebal lapisan sedimen permukaan, semakin rentan terhadap getaran.

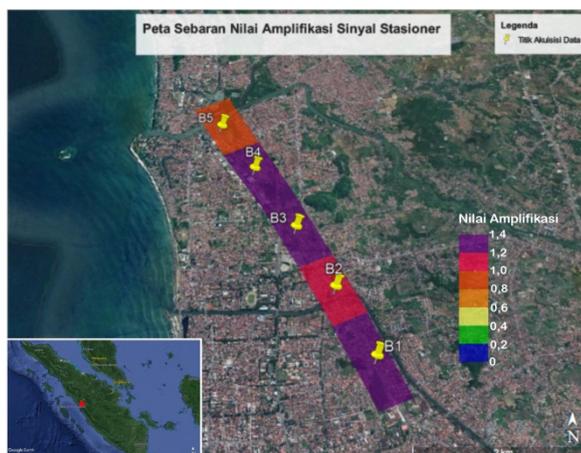
### 3.2 Amplifikasi Sinyal Stasioner

Amplifikasi sinyal stasioner digunakan untuk mengetahui tingkat penguatan gelombang pada daerah penelitian. Semakin tinggi nilai amplifikasi, maka semakin rawan daerah tersebut terhadap getaran. Secara keseluruhan nilai amplifikasi sinyal stasioner pada daerah penelitian disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2** Nilai amplifikasi sinyal stasioner

Titik Akuisisi Data	Garis Lintang	Garis Bujur	Amplifikasi, $A_0$	Keterangan
B1	-0,937157	100,373360	1,25	Amplifikasi rendah ( $A_0 < 3$ )
B2	-0,928485	100,368731	1,08	
B3	-0,920979	100,364161	1,28	
B4	-0,913002	100,361841	1,29	
B5	-0,903859	100,354990	0,99	

Berdasarkan Tabel 2, nilai amplifikasi sinyal stasioner berkisar antara 0,99 – 1,29 yang menunjukkan bahwa nilai amplifikasi tergolong rendah ( $A_0 < 3$ ). Rendahnya nilai amplifikasi menandakan bahwa daerah penelitian tergolong aman terhadap getaran dikarenakan nilai penguatan gelombang yang kecil. Sebaran nilai amplifikasi sinyal stasioner dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Peta sebaran nilai amplifikasi sinyal stasioner

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa amplifikasi sinyal stasioner daerah penelitian didominasi oleh rentang 1,2 – 1,4 yang ditandai dengan warna ungu. Semakin tinggi nilai amplifikasi, maka semakin besar penguatan gelombang yang terjadi di daerah tersebut. Amplifikasi yang tinggi mengindikasikan bahwa daerah tersebut rentan terhadap getaran (Irham *et al.*, 2021).

### 3.3 Frekuensi Dominan Sinyal Getaran Kereta Api

Frekuensi dominan sinyal getaran kereta api digunakan untuk membandingkan antara frekuensi sinyal stasioner dan frekuensi akibat getaran kereta api. Hal ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi resonansi. Frekuensi resonansi terjadi apabila frekuensi suatu objek yang diterapkan sama dengan frekuensi alami sistem. Secara keseluruhan nilai frekuensi dominan sinyal getaran kereta api dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3** Nilai frekuensi dominan sinyal getaran kereta api

Titik Akuisisi Data	Garis Lintang	Garis Bujur	Frekuensi Getaran Kereta Api (Hz)	Keterangan
B1	-0,937157	100,373360	$1,24 \pm 0,31$	Resonansi
B2	-0,928485	100,368731	$7,01 \pm 0,93$	Aman
B3	-0,920979	100,364161	$7,17 \pm 0,14$	Aman
B4	-0,913002	100,361841	$12,24 \pm 1,09$	Aman
B5	-0,903859	100,354990	$2,09 \pm 0,27$	Aman

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa titik B1 berpotensi terjadinya resonansi. Hal ini dikarenakan kedekatan nilai frekuensi dominan antara sinyal stasioner dengan sinyal getaran kereta api. Apabila resonansi terjadi, maka dapat mengakibatkan kerusakan struktur tanah dan bangunan di atasnya. Sebaran nilai frekuensi dominan sinyal getaran kereta api dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Peta sebaran nilai frekuensi dominan sinyal getaran kereta api

Gambar 3 memperlihatkan bahwa frekuensi dominan akibat getaran kereta api memiliki nilai yang beragam. Frekuensi dominan tertinggi terdapat pada titik B4 dengan nilai 12,24 Hz yang ditandai dengan daerah berwarna ungu dan frekuensi dominan terendah terdapat pada titik B1 dengan nilai 1,24 Hz yang ditandai dengan warna biru.

### 3.4 Amplifikasi Sinyal Getaran Kereta Api

Amplifikasi sinyal getaran kereta api digunakan untuk mengetahui penguatan gelombang yang terjadi ketika kereta api melintasi daerah penelitian. Semakin besar nilai amplifikasi, maka semakin berbahaya getaran kereta api jika diterapkan di daerah tersebut. Secara keseluruhan nilai amplifikasi sinyal getaran kereta api dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4** Amplifikasi sinyal getaran kereta api

Titik Akuisisi Data	Garis Lintang	Garis Bujur	Amplifikasi, $A_0$	Keterangan
B1	-0,937157	100,373360	2,13	
B2	-0,928485	100,368731	2,01	Amplifikasi rendah ( $A_0 < 3$ )
B3	-0,920979	100,364161	1,98	
B4	-0,913002	100,361841	0,80	
B5	-0,903859	100,354990	1,96	

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa amplifikasi tertinggi terdapat pada titik B1 dengan nilai 2,13 dan amplifikasi terendah pada titik B4 dengan nilai 0,80. Pada titik B4 terdapat fasilitas umum yaitu Rumah Sakit Hermina yang memiliki jarak  $\pm 15$  meter dari jalur kereta api. Rendahnya nilai amplifikasi akibat getaran kereta api pada titik B4 menunjukkan bahwa dampak getaran kereta api tidak membahayakan untuk aktivitas di Rumah Sakit Hermina. Sebaran nilai amplifikasi sinyal getaran kereta api dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Peta sebaran nilai amplifikasi sinyal getaran kereta api

### 3.5 Peak Vector Sum (PVS)

Nilai PVS digunakan untuk mengetahui tingkat getaran mekanik (dalam hal ini getaran kereta api) terhadap bangunan di sekitar jalur kereta api. Apabila nilai PVS melebihi batas aman yang diizinkan (SNI 7571:2010), maka dapat merusak kestabilan struktur bangunan di sekitar jalur kereta api. Secara keseluruhan nilai PVS dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai PVS

Titik Akuisisi Data	Frekuensi getaran kereta api (Hz)	PVS (mm/s)	Batas aman PVS untuk bangunan rumah (mm/s)	Keterangan
B1	1,24 ± 0,31	0,1254	3	Aman
B2	7,01 ± 0,93	0,1585		Aman
B3	7,17 ± 0,14	0,1591		Aman
B4	12,14 ± 1,09	0,1374		Aman
B5	2,09 ± 0,27	0,3158		Aman

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa nilai PVS tertinggi terdapat pada titik B5 dengan nilai 0,3158 mm/s dan nilai terendah terdapat pada titik B1 dengan nilai 0,1254 mm/s. Secara keseluruhan nilai PVS daerah penelitian berada di bawah batas aman yang diizinkan ( $PVS < 3$ ). Hal ini menunjukkan bahwa bangunan di sekitar jalur kereta api berada dalam kondisi aman terhadap getaran kereta api.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode HVSR dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik geologi setempat dan tingkat getaran mekanik akibat kereta api. Daerah penelitian memiliki jenis lapisan sedimen permukaan dengan ketebalan 30 meter atau lebih dan amplifikasi yang rendah yaitu  $< 3$ . Getaran kereta api memiliki frekuensi yang berkisar antara 1,24 Hz – 12,24 Hz dengan amplifikasi 0,80 – 2,13. Nilai PVS yang diakibatkan kereta api yang berkisar antara 0,1254 mm/s – 0,3158 mm/s masih berada di bawah batas aman SNI 7571:2010. Secara keseluruhan daerah penelitian dikategorikan aman terhadap getaran, kecuali titik B1 dikarenakan berpotensi terjadinya resonansi. Tebalnya lapisan sedimen permukaan dapat menjadi pertimbangan bagi masyarakat yang akan melakukan pembangunan.

## DAFTAR PUSTAKA

Afrihansyah, M. (2020), 'Analisis Getaran Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Rel di Atas Lapisan Ballast Menggunakan Alat Sensor Accelerometer dan Seismic Monitoring,' Skripsi, Universitas Negeri Semarang.

- Fadilah, V. (2020), 'Analisis Getaran Pada Bantalan Rel Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Jalan Rel', Skripsi, Universitas Negeri Semarang.
- Irham, M.N. et al. (2021), 'Measurement of ground response of Semarang coastal region risk of earthquakes by Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) microtremor method', *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1), pp. 1–7.
- Kumar, S. et al. (2021) 'Microtremor measurement to evaluate site characteristics by horizontal to vertical spectral ratio technique in Sikkim, Northeast Himalayas, India', *Quaternary International*, 585, pp. 134–142.
- Wulandari, A. et al. (2018), 'Pemetaan Mikrozonasi Daerah Rawan Gempabumi Menggunakan Metode HVSR Daerah Painan Sumatera Barat', *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 4(1), pp. 31–45.