

**Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen Permukaan Menggunakan
Pengukuran Mikrotremor di Pemalang, Jawa Tengah**

Penulis Jurnal Ilmiah	: Urip Nurwijayanto Prabowo, Seha, Akmal Ferdiyan
Jumlah Penulis	: 3 Orang
Status Penulis	: Penulis ke-2
Nama Jurnal	: Jurnal Teras Fisika
No. ISSN/e-ISSN	: 2614-7580 / 2615-1219
Edisi	: Vol.4 No.1 Juli 2021
Penerbit	: Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto
DOI Artikel	: https://doi.org/10.20884/1.jtf.2021.4.1.3436
URL	: http://jos.unsoed.ac.id/index.php/tf/article/view/3436
Terindeks	: SINTA (S5), Google Scholar, Garuda, Crossref
SJR	: -

ISSN 2614-7580

J u r n a l

TERAS **FISIKA**

Teori, Modeling, dan Aplikasi Fisika

TERAS FISIKA	Volume	Nomor	Halaman	Edisi
	04	01	176-212	Maret 2021

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

J u r n a l

TERAS FISIKA

Teori, Modeling, dan Aplikasi Fisika

Editor Kepala

Farzand Abdullatif
(Universitas Jenderal Soedirman)

Editor Pelaksana

Wahyu Tri Cahyanto
(Universitas Jenderal Soedirman)

Dewan Editor

Wahyu Widanarto	(Universitas Jenderal Soedirman)
Abdullah Nur Aziz	(Universitas Jenderal Soedirman)
Mukhtar Effendi	(Universitas Jenderal Soedirman)
Wihantoro	(Universitas Jenderal Soedirman)
Zaroh Irayani	(Universitas Jenderal Soedirman)
Nuryani	(Universitas Sebelas Maret)
Warsito	(Universitas Lampung)
Eko Hidayanto	(Universitas Diponegoro)
Hari Sutanto	(Universitas Diponegoro)
Lazuardi Umar	(Universitas Riau)
Zulkarnain Jalil	(Universitas Syiah Kuala)
Bowo Eko Cahyono	(Universitas Jember)
Triati Dewi Kencana Wungu	(Institut Teknologi Bandung)

Alamat Redaksi

JURNAL TERAS FISIKA

Jl.Dr. Suparno 61, Karangwangkal – Purwokerto(53123),

Telp.(0281-638793)

email : fisika@unsoed.ac.id

DAFTAR ISI

Pendugaan sebaran intrusi air laut melalui sungai di desa Ujungmanik kecamatan Kawunganten kabupaten Cilacap menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner (Mitha Syahfitri*, Seha, Sunardi)	176
Estimasi ketebalan lapisan sedimen permukaan berdasarkan pengukuran mikrotremor di Pemalang, Jawa Tengah (Uri Nurwijayanto Prabowo*, Seha dan Akmal Ferdiyan).....	187
Eksplorasi sumber air tanah bawah perbukitan kapur (<i>karst</i>) menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger di desa Darmakradenan kecamatan Ajibarang kabupaten Banyumas (Hastani Ratsanjani dan Seha*)	194
Rancang bangun sistem peringatan kemiringan menara dan overload jembatan gantung berbasis sensor kemiringan dan sensor massa (Haris Saefurrahman*, Hartono, dan Farzand Abdullatif).....	203
Rancang bangun sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan berbasis resistor variabel (Kurniawan Findiatmaja*, Hartono, Abdullah Nur Aziz)	208

Estimasi ketebalan lapisan sedimen permukaan berdasarkan pengukuran mikrotremor di Pemalang, Jawa Tengah

Urip Nurwijayanto Prabowo*, Seha dan Akmal Ferdian

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah

*email: urip.np@unsoed.ac.id

Abstrak – Ketebalan lapisan sedimen permukaan merupakan salah satu parameter yang menggambarkan kondisi geologi permukaan suatu daerah saat mengalami gempa bumi. Ketebalan lapisan sedimen dapat diestimasi berdasarkan data pengukuran mikrotremor yang dianalisis menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran mikrotremor sebanyak 5 titik di wilayah Pemalang, Jawa Tengah yang secara geologi tersusun atas aluvium berumur kuartar. Hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSr adalah frekuensi dominan daerah penelitian yang berkisar antara 1,56 – 11,56 Hz dan ketebalan lapisan sedimen permukaan berkisar antara 4,49 – 33,70 m. Ketebalan lapisan sedimen permukaan memiliki nilai yang semakin besar ke arah pantai (utara). Hasil analisis menunjukkan bahwa morfologi bedrock cenderung mengikuti pola dari ketebalan lapisan sedimen karena perbedaan elevasi permukaan yang relatif kecil pada titik pengukuran.

Kata kunci: mikrotremor, HVSr, ketebalan sedimen

Abstract – The thickness of the surface sediment layer is one of the parameters that describes the local site effect of an area when an earthquake occurred. The thickness of the sediment layer can be estimated based on microtremor measurements which were analyzed using the Horizontal to vertical Spectral Ratio (HVSr) method. In this study, 5 microtremor measurements were carried out in the Pemalang area, Central Java, which are geologically composed of quaternary alluvium. The result of microtremor data processing using the HVSr method were the dominant frequency of the study area which ranges from 1.56 - 11.56 Hz and the thickness of the surface sediment layer ranges from 4.49 - 33.70 m. The surface sediment layer is getting thicker towards the coast (north). The analysis results show that the bedrock morphology tends to follow the pattern of the thickness of the sediment layer due to the relatively small difference in surface elevation at the measurement point.

Key words: microtremor, HVSr, sediment layer

PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang menyebabkan kerusakan bangunan dan korban jiwa. Tingkat kerusakan akibat gempa bumi di suatu daerah dipengaruhi beberapa faktor antara lain jarak dari sumber gempa bumi, magnitudo gempa bumi dan kondisi geologi permukaan [1].

Kondisi geologi permukaan berkaitan dengan karakteristik lapisan sedimen di permukaan yang dapat memperbesar guncangan gelombang gempa bumi yang disebut sebagai amplifikasi [2]. Fenomena amplifikasi menyebabkan suatu daerah dapat mengalami kerusakan yang besar meskipun lokasinya relatif jauh dari sumber gempa bumi [3]. Fenomena amplifikasi dan korelasinya dengan tingkat kerusakan akibat gempa bumi telah diteliti di

beberapa lokasi antara lain di Meksiko [1], Kobe, Jepang [4], Yogyakarta [5].

Kondisi geologi permukaan yang mempengaruhi fenomena amplifikasi dan tingkat kerusakan adalah ketebalan dan tingkat kekompakan lapisan sedimen permukaan. Lapisan sedimen yang tebal menyebabkan suatu daerah menjadi rawan mengalami kerusakan bangunan akibat gempa bumi [6]. Sedangkan tingkat kekompakan berkaitan dengan kekerasan batuan penyusun lapisan sedimen permukaan dimana daerah berbatuan lunak memperbesar efek amplifikasi dan menyebabkan kerusakan di daerah tersebut [1]. Lapisan sedimen permukaan dengan batuan yang lunak dapat berupa aluvium, tanah yang tebal, dan produk gunungapi yang belum terkonsolidasi [7]–[9].

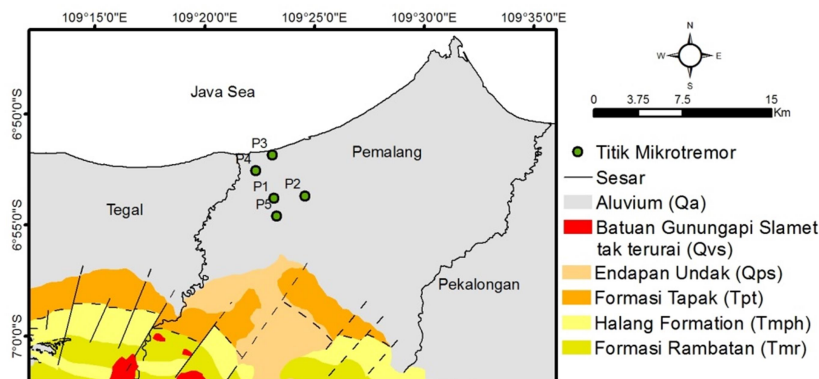
Penentuan kondisi geologi permukaan suatu daerah dapat menggunakan data

pengukuran mikrotremor yang diolah berdasarkan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Mikrotremor merupakan getaran yang konstan pada permukaan bumi dan berasal dari aktivitas manusia dan fenomena alam. Amplitudo getaran mikrotremor berkisar antara 10^{-7} - 10^{-5} m [10]. Sedangkan metode HVSr merupakan metode analisis data yang membandingkan spektrum mikrotremor vertikal dan horizontal [11]. Hasil analisis HVSr berupa kurva HVSr dimana tinggi puncak kurva disebut faktor amplifikasi dan frekuensi pada puncak kurva merupakan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran mikrotremor di wilayah Pemalang, Jawa Tengah karena memiliki kondisi geologi yang tersusun atas batuan aluvium berumur kuartar yang terdiri atas kerikil, pasir, lanau dan lempung [18] (**Gambar 1**). Selain itu Pemalang merupakan ibu kota kabupaten yang juga termasuk dalam jalur lalu lintas Pantura (Pantai Utara Jawa) sehingga menjadi pusat

nilai frekuensi dominan lapisan sedimen permukaan di lokasi pengukuran [12], [13]. Frekuensi dominan merupakan frekuensi resonansi lapisan sedimen permukaan saat mencapai nilai amplifikasi maksimum. Nilai frekuensi dominan hasil pengukuran HVSr dapat digunakan untuk menyatakan ketebalan lapisan sedimen permukaan [14], [15] sedangkan nilai tinggi puncak kurva masih diragukan untuk dijadikan sebagai acuan tingkat amplifikasi karena amplifikasi dari puncak kurva HVSr berbeda dengan amplifikasi hasil seismogram [16], [17].

pemerintahan, industri, pendidikan dan jalur transportasi perdagangan yang terus berkembang. Pengukuran mikrotremor merupakan metode yang murah, mudah dan memiliki akurasi yang baik dalam menggambarkan kondisi geologi permukaan [19].



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian [18]

Analisis data hasil pengukuran mikrotremor di wilayah Pemalang menggunakan metode HVSr bertujuan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen permukaan yang menggambarkan kondisi geologi permukaan. Selain itu ketebalan lapisan sedimen juga dapat menjadi acuan kedalaman lapisan keras (*bedrock*) yang digunakan untuk keperluan geoteknik atau konstruksi [20]

METODE PENELITIAN

Data mikrotremor diperoleh dari hasil pengukuran pada bulan Juli 2018 sebanyak 5 titik lokasi di wilayah Pemalang dengan koordinat 109,372 – 109,409 BT dan 6,864 – 6,910 LS. Pengukuran mikrotremor menggunakan seismometer 3 komponen tipe

MAE dengan *sampling rate* 4 mS dan durasi pengukuran 20 menit pada tiap titik lokasi. Data kecepatan gelombang sekunder pada kedalaman 0-30 m (V_{s30}) didapatkan dari *United States Geological Survey* (USGS) yang merupakan nilai kecepatan rata-rata dari sedimen permukaan. Data ini akan digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen permukaan karena belum ada data pengukuran kecepatan gelombang sekunder di wilayah Pemalang.

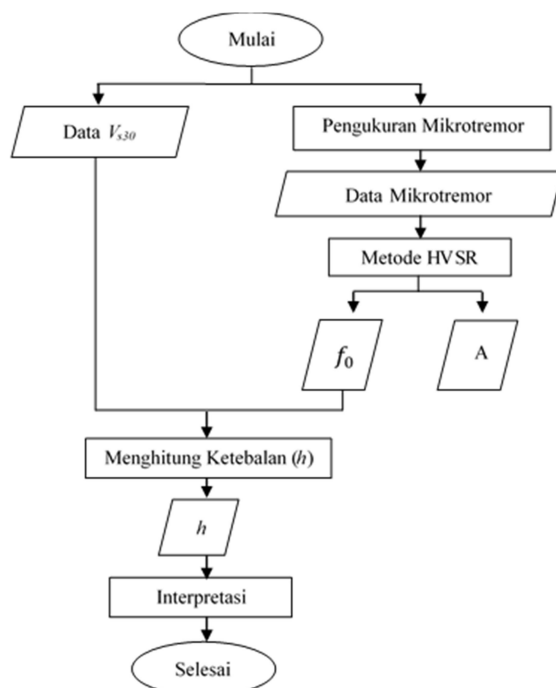
Gambar 2 memperlihatkan tahapan analisis data pada penelitian ini.

Metode HVSr

Pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR pada menggunakan *software Geopsy*. Tahapan awal pada metode HVSR adalah memilih sinyal rekaman mikrotremor 3 komponen yang *stasioner* dan tidak terpengaruh oleh *noise* atau sinyal dari lalu lintas dan aktivitas manusia di sekitar lokasi pengukuran. Sinyal *stasioner* yang dipilih selanjutnya dipotong (proses *windowing*) dengan lebar tiap *window* (I_w) 20 detik. Tiap data sinyal yang dipilih selanjutnya ditransformasikan dari domain waktu menjadi data dengan domain frekuensi melalui proses FFT (*Fast Fourier Transform*) dengan nilai *tapering* 5%. Data spektrum dalam domain frekuensi mengalami penghalusan (*smoothing*) dengan menggunakan metode Konno Omachi dengan konstanta $b = 40$ [16]. Kemudian dilakukan perbandingan data yang telah dihaluskan pada 3 komponen data mikrotremor berdasarkan persamaan 1 [11]

$$HVSR = \frac{\sqrt{H_{EW}^2 + H_{NS}^2}}{V} \quad (1)$$

dengan HVSR merupakan kurva hasil analisis, V adalah spektrum komponen vertikal, H_{EW} adalah spektrum komponen horizontal pada arah timur-barat, dan H_{NS} adalah spektrum komponen horizontal pada arah utara-selatan.



Gambar 2. Alur pengolahan data penelitian

Hasil kurva HVSR dibandingkan dengan kriteria pada **Tabel 1** untuk menentukan puncak kurva HVSR yang reliabel sehingga nilai frekuensi dominan pada puncak kurva tersebut dapat digunakan pada analisis selanjutnya [16].

Tabel 1. Kriteria puncak kurva HVSR reliabel [16]

Kriteria Puncak Kurva HVSR Reliabel	
1) $f_0 > \frac{10}{I_w}$	
2) $n_c(f_0) > 200$; $n_c(f_0) = I_w \cdot n_w \cdot f_0$	
3) $\sigma_A(f) < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0.5$	
Atau	
$\sigma_A(f) < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0.5$	
Dengan	
f = frekuensi	f_0 = frekuensi dominan
I_w = lebar <i>window</i>	n_w = Jumlah <i>window</i>
σ_A = standar deviasi dari tinggi kurva HVSR	

Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen Permukaan

Ketebalan lapisan sedimen permukaan memiliki kaitan dengan frekuensi dominan berdasarkan kaidah pipa organa tertutup dimana pada ketebalan lapisan sedimen (h) bernilai $\frac{1}{4}$ panjang gelombang maka amplifikasi bernilai maksimum pada frekuensi resonansinya [14]. Berdasarkan prinsip tersebut maka ketebalan lapisan sedimen permukaan dapat ditentukan berdasarkan persamaan (2).

$$h = \frac{V_s}{4f_0} \quad (2)$$

dengan f_0 adalah frekuensi dominan, V_s adalah kecepatan gelombang sekunder dan h adalah ketebalan lapisan sedimen permukaan.

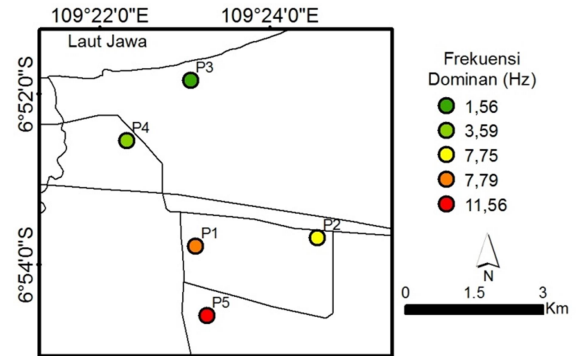
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis metode HVSR adalah kurva HVSR pada 5 titik pengukuran. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan kriteria pada **Tabel 1** sehingga dapat diketahui hasil puncak kurva yang reliabel dan dapat digunakan untuk tahapan analisis selanjutnya yaitu menentukan ketebalan lapisan sedimen permukaan.

Tabel 2 menunjukkan perbandingan kurva HVSR dengan kriteria puncak kurva HVSR reliabel dimana seluruh hasil kurva HVSR pada 5 titik pengukuran merupakan puncak kurva yang reliabel. Seluruh puncak kurva memenuhi kriteria reliabel yang pertama karena didapatkan nilai frekuensi yang berkisar antara 1,56 – 11,56 Hz yang lebih besar dari nilai $10/I_w = 0,5$. Pada kriteria kedua, seluruh hasil kurva juga memenuhi kriteria dengan nilai $n_c(f_0) > 200$. Pada kriteria ketiga digunakan syarat yang pertama karena seluruh hasil kurva memiliki nilai frekuensi dominan lebih besar 0,5 Hz. Terlihat dari **Tabel 2** bahwa nilai standar deviasi antara $0,5f_0 < f < 2f_0$ tidak ada yang melebihi nilai 2 sebagai syarat standar sehingga kriteria puncak kurva reliabel ketiga juga terpenuhi. Pada kelima titik pengukuran, standar deviasi kurva antara $0,5f_0 < f < 2f_0$ memiliki rentang antara 1,06 – 1,61 Hz.

Pada **Gambar 3** hasil HVSR menunjukkan nilai frekuensi dominan yang berkisar antara 1,56 – 11,56 Hz dengan nilai frekuensi yang

semakin rendah ke arah pantai. Daerah pesisir pantai memiliki yang tersusun oleh material aluvium cenderung memiliki periode dominan yang tinggi (frekuensi yang rendah) [3]. Nilai frekuensi yang semakin rendah juga menunjukkan bahwa ketebalan sedimen permukaan yang semakin besar [14], [15].



Gambar 3. Frekuensi dominan lokasi pengukuran mikrotremor

Tabel 2. Perbandingan kurva HVSR dengan kriteria kurva HVSR reliabel

Titik Mikrotremor	Bujur (°)	Lintang (°)	f_0 (Hz)	A	f_0	Kriteria puncak kurva reliabel			Keterangan
						$f_0 > \frac{10}{I_w}$	$n_c(f_0) = I_w \cdot n_w \cdot f_0$	$\sigma_A(f)$ $0,5f_0 < f < 2f_0$	
P1	109,386	-6,897	7,94	6,23	25	$f_0 > 0,5$	3970	1,11 – 1,25	Memenuhi kriteria reliabel
P2	109,409	-6,895	7,75	9,79	37	$f_0 > 0,5$	5735	1,12 – 1,23	Memenuhi kriteria reliabel
P3	109,385	-6,864	1,56	7,78	18	$f_0 > 0,5$	561,6	1,22 – 1,61	Memenuhi kriteria reliabel
P4	109,372	-6,876	3,59	6,47	18	$f_0 > 0,5$	1292,4	1,12 – 1,44	Memenuhi kriteria reliabel
P5	109,388	-6,910	11,56	19,59	12	$f_0 > 0,5$	2774,40	1,06 – 1,29	Memenuhi kriteria reliabel

Tabel 3 Perhitungan ketebalan lapisan sedimen permukaan

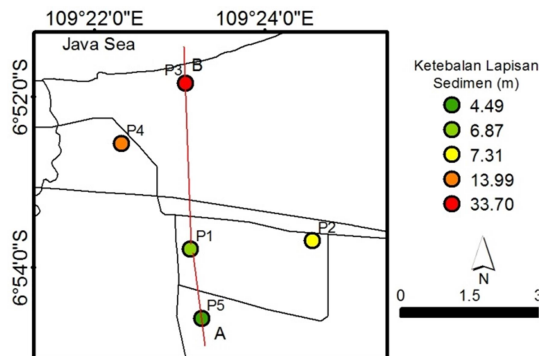
Titik Mikrotremor	Bujur (°)	Lintang (°)	f_0 (Hz)	V_{s30} (m/s)	h (m)
P1	109,386	-6,897	7,94	218,17	6,87
P2	109,409	-6,895	7,75	226,75	7,31
P3	109,385	-6,864	1,56	210,29	33,70
P4	109,372	-6,876	3,59	200,87	13,99
P5	109,388	-6,910	11,56	207,60	4,49

Tabel 3 menunjukkan ketebalan lapisan sedimen yang dihitung berdasarkan nilai frekuensi dominan dan V_{s30} dari USGS menggunakan persamaan (2). Nilai frekuensi dominan merupakan hasil dari metode HVSR

yang memenuhi kriteria puncak kurva yang reliabel. Nilai frekuensi dominan dan ketebalan lapisan sedimen yang didapatkan dari metode HVSR memberikan informasi penting dalam kajian kerentanan seismik [13], [21].

Gambar 4 menunjukkan sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen permukaan di daerah penelitian dimana ketebalan lapisan sedimen permukaan semakin besar ke arah pantai (utara) yaitu pada titik P3 dengan ketebalan 33,70 m. Hal ini mengindikasikan kondisi geologi permukaan di titik P3 memiliki kemungkinan kerentanan kerusakan akibat gempa bumi dibandingkan titik lokasi pengukuran yang lainnya. Lapisan sedimen yang tebal akan mengalami guncangan yang terasa lebih lambat dan dalam durasi yang lebih lama saat mengalami gempa bumi sehingga nilai percepatan getaran tanahnya rendah [22]. Namun hal ini menyebabkan simpangan getarannya besar dan fenomena amplifikasi juga memperbesar getaran gempa bumi sehingga dapat menyebabkan kerusakan tanah permukaan maupun bangunan di atasnya.

Berdasarkan hasil analisis data, daerah penelitian bagian selatan memiliki nilai ketebalan sedimen yang paling besar. Namun batas ketebalan lapisan sedimen yang dapat menyebabkan kerusakan saat mengalami gempa bumi belum dapat ditentukan karena kerusakan akibat gempa bumi juga dipengaruhi oleh parameter kegempaan berupa magnitudo gempa bumi dan jarak sumber gempa bumi ke daerah penelitian,

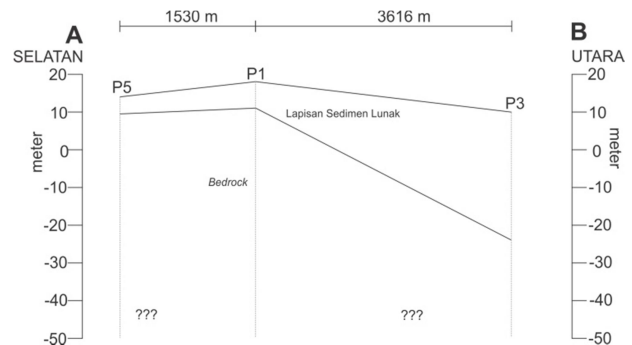


Gambar 4. Nilai ketebalan lapisan sedimen permukaan

Kedalaman dan profil dari *bedrock* dapat dilihat pada **Gambar 5** yang merupakan gambar sayatan profil A-B (utara-selatan) dari **Gambar 4**.

Berdasarkan **Gambar 5** daerah penelitian memiliki elevasi yang relatif sama karena berada pada dataran rendah sehingga ketinggian dan morfologi dari *bedrock* cenderung mengikuti pola dari sebaran ketebalan lapisan sedimen. Ketinggian *bedrock* terlihat semakin rendah ke arah utara mendekati pantai.

Pada metode HVSR, nilai amplifikasi menggambarkan kontras impedansi antara lapisan sedimen permukaan dengan lapisan batuan yang lebih keras di bawahnya (*bedrock*) [12]. Jenis batuan *bedrock* secara spesifik belum dapat ditentukan dari hasil metode HVSR sehingga pengukuran dengan metode lainnya perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih detail.



Gambar 5. Sayatan profil C-D (utara-selatan) dari **Gambar 4**

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor didapatkan nilai frekuensi dominan daerah penelitian berbanding terbalik dengan nilai ketebalan lapisan sedimen. Hasil perhitungan menunjukkan ketebalan lapisan sedimen permukaan berkisar antara 4,49 – 33,70 m dengan nilai yang semakin besar ke arah pantai (utara). Hasil analisis menunjukkan bahwa morfologi *bedrock* cenderung mengikuti pola dari ketebalan lapisan sedimen disebabkan perbedaan elevasi permukaan yang relatif kecil pada titik pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. D. Gurler, Y. Nakamura, J. Saita, T. Sato, "Local site effect of mexico city based on microtremor measurement," in Proceeding of 6th International Conference of Seismic Zonation, 2000.
- [2] U. N. Prabowo, Marjiyono, Sismanto, "Amplifikasi dan atenuasi gelombang seismik di lapisan sedimen permukaan," *Sciencetech* 2(1) (2016) 112–116,.

- [3] A. Tohari, "Seismic microzonation of soil amplification and liquefaction for Padang City," *E3S Web Conf.* 156, no. September 2009, , 2020, hal. 1–10.
- [4] Y. Nakamura, T. Sato, and M. Nishinaga, "Local Site Effect Of Kobe Based On Microtremor," in *Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI, Palm Springs California*, 2000, hal. 3–8.
- [5] Daryono, Sutikno, J. Sartohadi, Dulbahri, and K. S. Brotopuspito, "Efek Tapak Lokal (Local Site effect) di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor," in *International Conference Earth Science and Technology*, 2009, hal. 4–9.
- [6] S. B. J. Santosa, "Karakterisasi kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur Dan Permodelan," *J. Neutrino* 4(1) (2011) 1–15.
- [7] Marjiyono and Afnimar, "Mikrozonasi bahaya gempa bumi di wilayah kota Bandung berdasarkan data mikrotremor," *Geo-Hazards* 21(1) (2011) 41–49
- [8] R. W. P. Isburhan, G. Nuraeni, R. Verdhora Ry, T. Yudistira, A. Cipta, and P. Cummins, "Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) Method for Earthquake Risk Determination of Jakarta City with Microtremor Data," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 18(1) (2019).
- [9] D. Stanko, S. Markušić, M. Gazdek, V. Sanković, and I. Slukan, "Assessment of the Seismic Site Amplification in the City of Ivanec (NW Part of Croatia) Using the Microtremor HVSR Method and Equivalent-linear Site Response Analysis," *Geoscience* 9(213) (2019) 1–25.
- [10] H. Okada, "The Microtremor Survey Method," in *Geophysical Monograph Series Number 12*, Amerika: Society of Exploration Geophysicists, 2003.
- [11] Y. Nakamura, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface," *QR RTR* 30(1) (1989) 25–33.
- [12] Y. Nakamura, "on the H / V Spectrum," *Proc. 14th world Conf. Earthq. Eng.*, 2008.
- [13] S. Y. Kang, K.-H. Kim, J.-M. Chiu, and L. Liu, "Microtremor HVSR analysis of heterogeneous shallow sedimentary structures at Pohang, South Korea," *J. Geophys. Eng.* (2020) 1–9.
- [14] M. I. Seht and J. Wohlenberg, "Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments," *Bull. Seismol. Soc. Am.* 89(1) (1999) 250–259.
- [15] Marjiyono, Ratdomopurbo, Suharna, M. H. H. Zajuli, and R. Setianegara, "Geologi bawah permukaan dataran klaten berdasarkan interpretasi data mikrotremor," *Geol. dan Sumberd. Miner.* 5(1) (2014) 3–10.
- [16] SESAME European Research Project, *Guidelines For The Implementation Of The H / V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations Measurements , Processing And Interpretation*, 2004, pp. 1–62.
- [17] B. Hassani, H. Zafarani, J. Farjoodi, and A. Ansari, "Estimation of site amplification , attenuation and source spectra of S-waves in the East-Central Iran," *Soil Dyn. Earthq. Eng* 31(10) (2011) 1397–1413.
- [18] M. Djuri, H. Samodra, T. Amin, and S. Gafoer, "Geological Map of Purwokerto and Tegal Quadrangles, Java," Bandung, 1996.
- [19] A. Mohamed, S. M. Ali, and A. Mostafa, "Estimation of seismic site effect at the new Tiba City proposed extension , Luxor , Egypt," *NRIAG J. Astron. Geophys.* 9(1) (2020) 499–511.
- [20] A. Prabawa Arwananda, B. Aryaseta, H. Dezulfakar, Y. Fatahillah, and J. Pandu Gya Nur Rochman, "Horizontal-vertical Spectral Ratio Method in Microtremor to Estimate Engineering Bedrock Thickness at Sedati Mud Volcano," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 62(1) 2017.

- [21] N. Haerudin, Rustadi, F. Alami, and I B S Yog, "The effect site analysis based on microtremor data using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method in the Bandar Lampung City," *J. Phys. Conf. Ser* 1257(2020).
- [22] M. A. Sari, N. B. Wibowo, and D. Darmawan, "Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum Dan Intensitas Gempabumi Di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta," *J. Fis.* 6(2) (2006) 101–107.