

## Identifikasi Ketebalan Lapisan Sedimen Menggunakan Data Mikrotremor di Kecamatan Kadia Kota Kendari

### *Determination of Sediment Thickness by Using Microtremor Data In Kadia Sub-District, Kendari City*

La Hamimu<sup>1\*</sup>, Agnes Maindan<sup>1</sup>, Abdul Manan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Geofisika, Universitas Halu Oleo; Jl. H.E.A Mokodompit, Kendari; 0401-3190105

#### Article history:

Received: 01 January 2023

Accepted: 26 July 2023

#### Keywords:

Sediment layer thickness, microtremor, HVSR, Kadia district

#### Correspondent author:

[lahamimu@uho.ac.id](mailto:lahamimu@uho.ac.id)

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai sebaran ketebalan lapisan sedimen. Penelitian ini dilakukan di wilayah Kecamatan Kadia Kota Kendari dengan pengambilan data dilakukan pada 16 titik pengukuran dengan interval setiap titik bervariasi antara 400 sampai 600 meter dengan frekuensi sampling sebesar 100 Hz. Data yang diperoleh dari penelitian ini berupa data getaran tanah yang selanjutnya didownload menggunakan software DataPro.exe sehingga didapatkan data mikrotremor tiga komponen yaitu, komponen horisontal *East-West*, komponen horisontal *North-South* dan komponen vertikal *Up-Down*. Data mikrotremor yang telah didownload selanjutnya diolah menggunakan software Geopsy 4.3.2 untuk memperoleh kurva H/V. Nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) diperoleh dari kurva H/V dengan rentang frekuensi dominan sebesar 1.247 Hz sampai 4.955 Hz dan nilai kecepatan gelombang *shear* ( $V_{s30}$ ) diperoleh dari website [www.USGS.gov](http://www.USGS.gov) dengan rentang nilai  $V_{s30}$  sebesar 276 m/s sampai 301 m/s. Berdasarkan data yang telah diperoleh maka akan ditentukan nilai sebaran ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ). Nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) pada daerah penelitian berkisar antara 13.016 meter sampai 59.473 meter

**Abstract.** This study aims to determine the value of the distribution of sediment layer thickness. This research was conducted in the Kadia District area, Kendari City, with data collection carried out at 16 measurement points with intervals for each point varying from 400 to 600 meters with a sampling frequency of 100 Hz. The data obtained from this study is in the form of ground vibration data which is then downloaded software DataPro.exe East-West horizontal component, the North-South vertical component Up-Down. The downloaded microtremor data is then processed using a device software Geopsy 4.3.2 to obtain the H/V curve. The dominant frequency value ( $f_0$ ) is obtained from the H/V curve with a dominant frequency range of 1.247 Hz to 4.955 Hz and the shear ( $V_{s30}$ ) is obtained

from the website [www.USGS.gov](http://www.USGS.gov) with a  $V_{S30}$  of 276 m/s up to 301 m/s. Based on the data that has been obtained, the distribution value of the sediment layer thickness ( $h$ ) will be determined. The value of the thickness of the sediment layer ( $h$ ) in the study area ranged from 13,016 meters to 59,473 meters..

© 2023 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia berada pada zona pertemuan antar tiga lempeng besar, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan lempeng Pasifik, sehingga Indonesia merupakan wilayah yang memiliki kerentanan gempabumi yang cukup tinggi (Syahrudin dkk., 2014). Seperti halnya yang sering terjadi di Pulau Sulawesi khususnya di kawasan Sulawesi Tenggara, bencana gempabumi terjadi akibat pengaruh tektonik yaitu terdapat sesar atau patahan. Kecamatan Kadia merupakan salah satu kecamatan di Kota Kendari dengan jumlah penduduk terbanyak. Dengan jumlah penduduk yang banyak menunjukkan bahwa terdapatnya potensi pembangunan infrastruktur di daerah Kecamatan Kadia. Dalam Pembangunan infrastruktur, ketebalan lapisan sedimen memiliki peranan penting dalam perencanaan pembangunan. Sedangkan dalam geoteknik dapat dijadikan pedoman dalam konstruksi jalan raya dan bangunan. Lapisan sedimen yang tebal menyebabkan suatu daerah menjadi rawan mengalami kerusakan akibat gempabumi. Sedangkan tingkat kekompakan berkaitan dengan kekerasan batuan penyusun lapisan sedimen permukaan dimana daerah batuan lunak memperbesar efek amplifikasi dan

menyebabkan kerusakan di daerah tersebut. Lapisan sedimen permukaan dengan batuan yang lunak dapat berupa aluvial, tanah yang tebal, dan produk gunungapi yang belum terkonsolidasi (Prabowo dkk., 2021).

Tingkat ketebalan lapisan sedimen dipengaruhi oleh hasil deformasi lapisan tanah yang dapat mempresentasikan ketebalan lapisan lapuk di atas batuan dasar, dan dapat digunakan untuk memprediksi zona lemah saat terjadi gempabumi dan rekahan tanah akibat gempabumi. Amplifikasi gelombang saat terjadi gempabumi dipengaruhi oleh lapisan sedimen dan litologi daerah setempat. Semakin besar ketebalan lapisan sedimen maka semakin besar kemampuan batuan memperbesar amplitudo gelombang (Rizki, 2019). Ketebalan lapisan sedimen dapat ditentukan dengan menggunakan salah satu metode geofisika yaitu dengan memanfaatkan data mikrotremor. Mikrotremor dapat dikatakan sebagai getaran harmonik alami di bawah permukaan tanah yang terjadi terus menerus hingga terjebak pada lapisan sedimen dan terpantulkan akibat adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap yang disebabkan oleh getaran mikro dan kegiatan alam lainnya di bawah permukaan tanah (Koesuma dkk., 2018). Data mikrotremor

dapat dianalisis dengan menggunakan salah satu metode geofisika yaitu metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR diperkenalkan oleh Nakamura pada tahun 1998 yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur tanah. Metode HVSR merupakan metode untuk mengetahui hubungan dari sinyal mikrotremor yang memiliki komponen horisontal terhadap komponen vertikal sinyal mikrotremor tersebut (Nakamura, 1989). Perkembangan metode ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi respon resonansi pada cekungan yang berisi material sedimen (Ambarsari, 2017).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Mikrotremor merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi bawah permukaan yang memanfaatkan getaran yang disebabkan oleh aktifitas manusia dan fenomena alam seperti aliran air, angin, variasi tekanan atmosfer, dan gelombang laut. Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terkumpul oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya (Yuliawati dkk, 2019).

Metode mikrotremor dapat diterapkan untuk mengetahui karakteristik suatu lapisan tanah yang berpotensi mengalami longsor atau yang berpotensi mengalami pembesaran gelombang berdasarkan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi tanah pada suatu wilayah (Nakamura, 2000). Dalam kajian

teknik kegempaan, risiko yang lebih tinggi akan terjadi pada daerah dengan lapisan batuan yang lebih lunak apabila digoncang gelombang gempabumi hal ini karena dibandingkan dengan litologi yang lebih kompak, amplifikasi gelombang yang lebih besar akan terjadi (Haeruddin dkk., 2019). Menurut Nakamura (2000), nilai dari amplifikasi berhubungan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dan perlapisan yang ada di bawahnya, dan keduanya berbanding terbalik. Marjiyono (2010) menyatakan bahwa nilai amplifikasi memiliki perbandingan lurus dengan H/V. Nilai amplifikasi dapat bertambah apabila batuan telah mengalami deformasi (pelipatan, pelapukan atau pesesaran) yang merubah sifat fisik dari batuan.

### 2.1. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR)

Metode HVSR pertama kali dikenalkan oleh Nogoshi and Igarashi (1971) yang menyatakan adanya hubungan antara perbandingan komponen horisontal dan vertikal terhadap kurva eliptisitas pada gelombang Rayleigh yang kemudian disempurnakan oleh Nakamura (1989) dan Nakamura (2000) yang menyatakan bahwa perbandingan spektrum H/V sebagai fungsi *site transfer* untuk gelombang S (Tanjung dkk., 2019). Prinsip dari metode HVSR yaitu menggunakan seismik pasif tiga komponen. Terdapat dua parameter penting yang didapatkan dari hasil pengolahan tersebut, yaitu Amplifikasi ( $A_0$ ) dan Frekuensi Dominan ( $f_0$ ). Kedua parameter tersebut merupakan implementasi dari karakterisasi

geologi suatu daerah (Widyawarman, 2020). Metode HVSR didefinisikan dengan persamaan:

$$\text{HVSR} = \frac{S_H}{S_V} \quad (1)$$

dimana  $S_H$  adalah spektrum komponen horisontal dan  $S_V$  spektrum komponen vertikal.

## 2.2. Frekuensi Dominan ( $f_0$ )

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga dianggap sebagai nilai frekuensi dari suatu lapisan batuan yang tersusun di daerah tersebut. Frekuensi dominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan di suatu daerah (Arinalofa dkk., 2021). Frekuensi ini telah diteliti oleh Lachet and Brad (1994) dengan menguji coba struktur geologi menggunakan enam model sederhana dengan menggabungkan ketebalan lapisan soil dan kecepatan gelombang *shear* ( $S$ ) (Laksana, 2021).

## 2.3. Ketebalan Lapisan Sedimen ( $h$ )

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. Sedangkan tingkat kekompakan berkaitan dengan kekerasan batuan penyusun lapisan sedimen permukaan dimana daerah batuan lunak memperbesar efek amplifikasi dan menyebabkan kerusakan di daerah tersebut. Lapisan sedimen permukaan dengan batuan yang lunak dapat berupa aluvial, tanah

yang tebal, dan produk gunungapi yang belum terkonsolidasi (Prabowo dkk, 2021).

Ketebalan lapisan sedimen merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya efek tapak lokal. Efek tapak lokal merupakan bahasan tentang adanya pengaruh kondisi geologi lokal daerah sekitar terhadap getaran tanah yang terjadi akibat gempa bumi. Frekuensi dominan memiliki pengaruh terhadap ketebalan lapisan sedimen dimana frekuensi ini berbanding terbalik terhadap ketebalan lapisan sedimen, dan sebaliknya semakin kecil frekuensi dominan maka semakin besar ketebalan lapisan sedimen. Hal ini karena periode domain gelombang seismik pada suatu daerah berbanding lurus dengan ketebalan lapisan sedimen (Satria dkk, 2020). Hubungan ketebalan lapisan sedimen dan frekuensi dominan dapat dinyatakan dalam persamaan (Nakamura, 2008):

$$h = \frac{V_s}{4f_0}$$

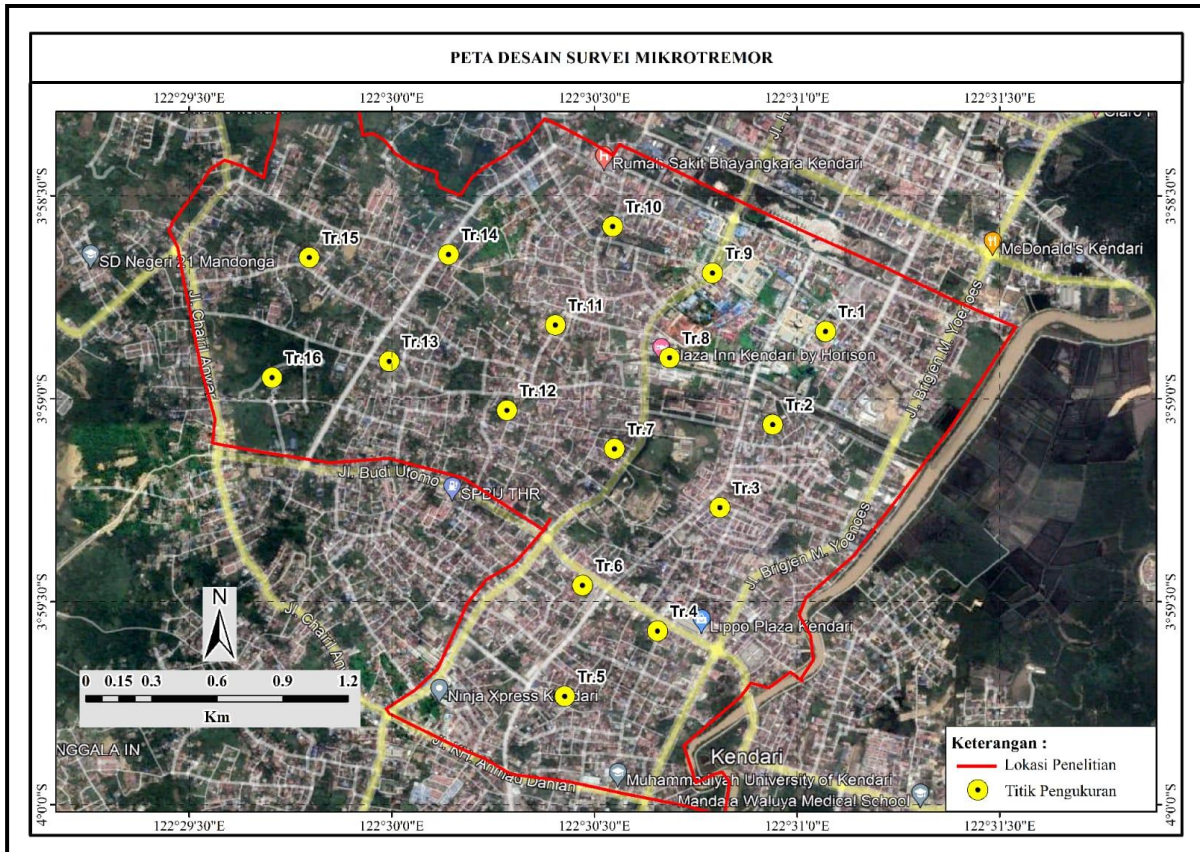
dimana  $h$  merupakan ketebalan lapisan sedimen permukaan (m),  $V_s$  kecepatan gelombang *shear* (m/s) dan  $f_0$  merupakan frekuensi dominan ( $H_z$ )

## 3. METODE PENELITIAN (METHODS)

Penelitian ini menggunakan data primer dimana pengambilan data lapangan telah dilaksanakan pada tanggal 23 sampai 24 September 2022 yang bertempat di Kecamatan Kadia Kota Kendari. Sedangkan pengolahan, analisis, dan interpretasi data dilakukan di Laboratorium Teknik Geofisika dan Teknik Pertambangan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan (FITK), Universitas Halu Oleo (UHO), Kota Kendari. Dalam penelitian ini

dilakukan pengukuran pada 16 titik menggunakan 1 set alat Seismograf portabel tipe TDL-303S dengan jarak antar titik

pengukuran 400-600 meter. Pesebaran titik pengukuran disajikan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** . Peta desain survei

Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Hasil pengukuran mikrotremor di lapangan mendapatkan data getaran tanah sebagai fungsi waktu. Data ini tercatat dalam tiga komponen, yaitu komponen vertikal (*Up-Down*), Utara-Selatan (*North-South*), dan Barat-Timur (*East-West*). Data mentah ini tidak dapat langsung diolah karena dalam format *hexadecimal*. Data ini harus diubah ke format ASCII atau format *miniseed* (.MSD) agar dapat dibaca dalam *software* Geopsy 3.4.2. selanjutnya data tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*

(HVSr). Parameter yang dihasilkan dari metode HVSr adalah nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Sedangkan parameter nilai kecepatan gelombang *shear* ( $V_s$ ) diperoleh dari *website*: <https://www.usgs.gov/> . Setelah semua parameter telah didapatkan maka dapat ditentukan nilai ketebalan lapisan sedimen pada daerah penelitian dengan menggunakan persamaan (2). Setelah memperoleh nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ), nilai kecepatan gelombang *shear* ( $V_s$ ) hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) dan nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) maka dapat dibuatkan peta distribusi dari nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ),

nilai kecepatan gelombang *shear* ( $V_s$ ) hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) dan nilai ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan sedimen di Kecamatan Kadia Kota Kendari. Penelitian ini berupa survei lapangan dengan melakukan pengukuran pada 16 titik pengukuran menggunakan 1 set alat Seismograf portabel tipe TDL-303S dengan durasi pengukuran adalah kurang lebih 30 menit dan frekuensi *sampling* sebesar 100 Hz dengan jarak disetiap titiknya bervariasi antara 400 sampai 600 meter. Data yang diperoleh di lapangan berupa data getaran tanah yang kemudian *download* menggunakan *software* DataPro 5.2. Data hasil pengukuran terdiri dari tiga komponen seismogram yaitu komponen horisontal *North-South*, komponen horisontal *East-West* dan komponen vertikal *Up-Down*. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Parameter yang dihasilkan dari metode HVSR adalah nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Sedangkan parameter nilai kecepatan gelombang *shear* ( $V_s$ ) diperoleh dari *website* www.USGS.gov. Parameter-parameter yang diperoleh tersebut digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen pada lokasi penelitian.

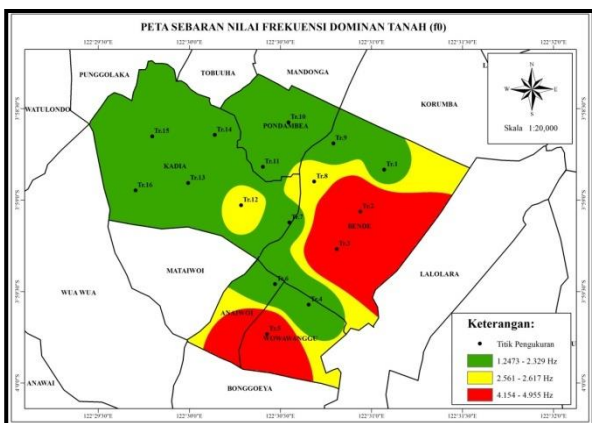
Data getaran tanah yang diolah dalam *software* Geopsy 3.4.2 menghasilkan data dalam fungsi waktu yang kemudian dapat dikonversi ke domain frekuensi. Untuk mengubah data pengukuran dalam bentuk

domain waktu menjadi domain frekuensi maka dapat dilakukan transformasi Fourier dengan jenis *Fast Fourier Transform* (FFT). Untuk memisahkan gelombang mikrotremor dari sinyal getaran tanah yang diperoleh maka dilakukan *filtering* untuk mendapatkan sinyal utama yang diharapkan menggunakan *band pass filter* dengan rentang frekuensi sebesar 0.50-25.00 Hz. Tahap selanjutnya adalah melakukan proses *windowing* pada data mikrotremor dimana terbaginya seismogram mikrotremor menjadi beberapa jendela atau *window* berupa kotak berwarna untuk memilah sinyal-sinyal yang bebas dari *noise*. Fungsi pemilihan *window* ini untuk menghindari pengolahan data *transient* dalam analisis. Cara mendeteksi data *transient* dengan membandingkan *anti-triggering raw signal*. Selanjutnya menganalisis data yang sudah dilakukan transformasi Fourier. Untuk memperhalus pola kurva dan memperkecil efek *aliasing* maka dilakukan proses *smoothing*. *Smoothing* yang digunakan adalah *smoothing* tipe Konno-Ohmachi dengan koefisien *bandwith* yang digunakan sebesar 20% dan *cosine taper* sebesar 5%. Data yang sudah dilakukan transformasi Fourier dan *smoothing* kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR. Data hasil analisis HVSR kemudian diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ). Dari kurva HVSR tersebut diperoleh nilai frekuensi domina ( $f_0$ ) berkisar antara 1.247 Hz sampai 4.955 Hz.

Nilai  $V_{s30}$  pada penelitian ini diperoleh dari *website* data *United States Geological Survey* (USGS) dimana USGS melakukan pendugaan nilai  $V_{s30}$  dengan parameter kemiringan lereng

yang diperoleh melalui citra satelit. Kemiringan lereng mencerminkan kekerasan batuan dan ketebalan sedimen, sifat fisik batuan yang menentukan kecepatan gelombang permukaan. Nilai  $V_{S30}$  yang diperoleh berkisar antara 258 m/s sampai dengan 301 m/s. Berdasarkan parameter yang diperoleh maka dapat ditentukan nilai ketebalan lapisan sedimen menggunakan persamaan (2) sehingga diperoleh nilai ketebalan lapisan sedimen pada daerah penelitian berkisar antara 13.016 meter sampai dengan 59.473 meter.

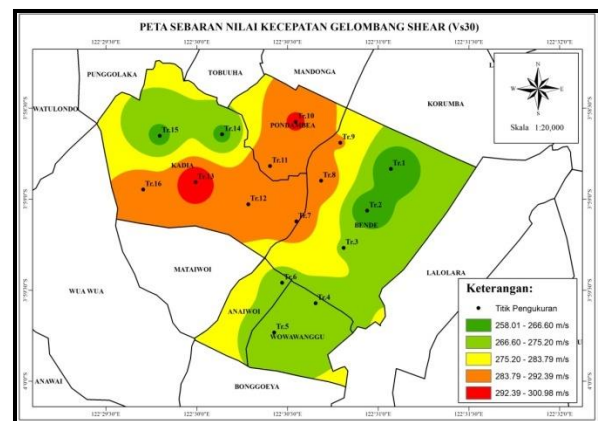
Berdasarkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ), nilai  $V_{S30}$  dan nilai ketebalan lapisan sedimen yang telah diperoleh dapat dibuat peta sebaran menggunakan software ArcGis 10.3 yang dapat dilihat pada Gambar dibawah ini. Pada proses pembuatan peta tersebut digunakan metode interpolasi IDW (*Inverse Distance Weighting*). Metode interpolasi sendiri merupakan metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui (Prmono, 2008).



Gambar 2. Peta sebaran  $f_0$

Gambar 2 memperlihatkan nilai frekuensi dominan yang diperoleh dari penelitian ini maka dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis

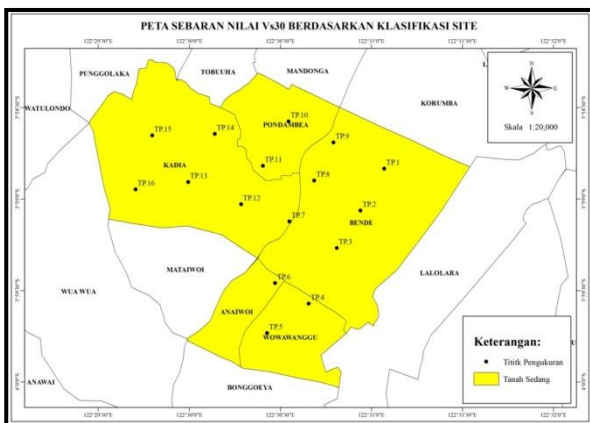
tanah yaitu jenis IV, jenis III dan jenis II. Klasifikasi tanah jenis IV memiliki frekuensi dominan antara 1.247 Hz sampai 2.329 Hz yang terdapat pada titik pengukuran Tr.1, Tr.4, Tr.6, Tr.7, Tr.9, Tr.10, Tr.11, Tr.13, Tr.14, Tr.15 dan Tr.16. Klasifikasi tanah jenis III memiliki frekuensi dominan antara 2.561 Hz sampai 2.617 Hz terdapat pada titik pengukuran Tr.8 dan Tr.12. Berikutnya yaitu jenis IV dengan frekuensi dominan 4.154 Hz sampai 4.955 Hz terdapat pada titik pengukuran Tr.2, Tr.3 dan Tr.5. Gambar 3 merupakan sebaran nilai  $V_{S30}$  pada daerah penelitian yang terbagi menjadi 5 klasifikasi berdasarkan rumus interval kelas.



Gambar 3. Peta sebaran  $V_{S30}$

Nilai kecepatan gelombang shear lapisan permukaan ( $V_{S30}$ ) di Kecamatan Kadia Kota Kendari dapat diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi site SNI 1726 untuk mengetahui jenis lapisan tanah pada daerah penelitian. Berdasarkan klasifikasi site SNI 1726, Kecamatan Kadia dapat diklasifikasikan menjadi satu jenis lapisan tanah. Gambar 4 memperlihatkan zonasi klasifikasi site nilai kecepatan gelombang shear lapisan permukaan ( $V_{S30}$ ) berdasarkan klasifikasi site SNI 1726 dengan nilai  $V_s$  yang berkisar antara

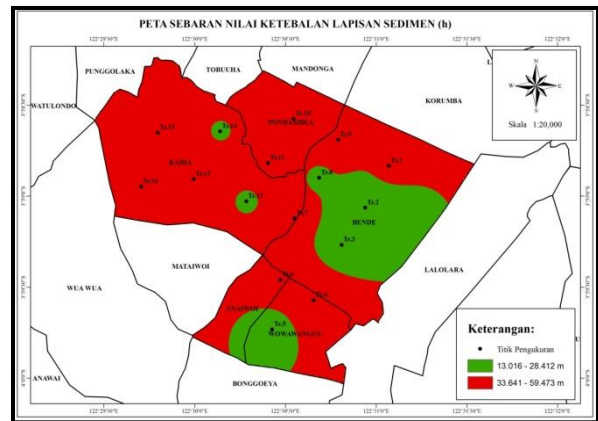
258 m/s sampai dengan 301 m/s yang merupakan jenis tanah sedang (TS). **Gambar 5** memperlihatkan daerah dengan ketebalan lapisan sedimen sangat tebal terletak pada Tr.1, Tr.4, Tr.6, Tr.7, Tr.9, Tr.10, Tr.11, Tr.13, Tr.15 dan Tr.16 dengan nilai ketebalan lapisan sedimen 33.641 meter sampai 59.473 meter yang dicirikan dengan kontur berwarna merah yang tersebar di seluruh Kelurahan Pondambea, sebagian besar Kelurahan Kadia, sebagian besar kelurahan Bende, sebagian besar Kelurahan Wowawunggu dan Anaiwoi. Secara kualitatif daerah dengan ketebalan lapisan sedimen yang tinggi ini memiliki resiko lebih besar mengalami kerusakan akibat gempa bumi bila dibandingkan dengan titik pengukuran yang lain.



**Gambar 4.** Peta sebaran  $V_{30}$  kalasifikasi site

Daerah dengan ketebalan lapisan sedimen tebal terletak pada titik pengukuran Tr.2, Tr.3, Tr.5, Tr.8, Tr.12, dan Tr.14 dengan nilai ketebalan lapisan sedimen 13.016 meter sampai 28.412 meter dicirikan dengan kontur berwarna hijau yang tersebar pada sebagian kecil Kelurahan Kadia, sebagian kecil pada Kelurahan Anaiwoi, sebagian kecil pada Kelurahan Wowawunggu, dan pada sebagian

besar Kelurahan Bende. Daerah dengan ketebalan lapisan rendah memiliki resiko kerusakan yang lebih rendah jika terjadi gempa bumi.



**Gambar 5.** Peta sebaran  $h$

## 5. KESIMPULAN (CONCLUSION)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa Sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen di Kecamatan Kadia Kota Kendari berkisar antara 13.016 meter sampai dengan 59.473 meter. Daerah dengan ketebalan lapisan sedimen tebal terletak pada titik pengukuran Tr.2, Tr.3, Tr.5, Tr.8, Tr.12, dan Tr.14 dengan nilai ketebalan lapisan sedimen 13.016 meter sampai 28.412 meter. Daerah dengan ketebalan lapisan sedimen sangat tebal terletak pada Tr.1, Tr.4, Tr.6, Tr.7, Tr.9, Tr.10, Tr.11, Tr.13, Tr.15 dan Tr.16 dengan nilai ketebalan lapisan sedimen 33.641 meter sampai 59.473 meter. Secara kualitatif, wilayah Kecamatan Kadia yang paling beresiko mengalami kerusakan akibat gempa bumi adalah daerah Kelurahan Kadia, sebagian kecil pada daerah Kelurahan Bende, daerah Kelurahan Anaiwoi dan daerah Kelurahan Wowawunggu. Hal ini karena memiliki ketebalan lapisan sedimen sangat

tebal berkisar antara 33.641 meter sampai 59.473 meter.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ambarsari, D. 2017. Analisis Mikrotremor Dengan Metode HVSR Untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta, Tugas akhir – sf 141501.
- Arintalofa, V., Yuliyanto, G. and Harmoko. U. 2021. Analisa Mikrotremor Menggunakan Metode HVSR Untuk Mengetahui Karakteristik Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi Diwak dan Derekan Berdasarkan Nilai  $V_p$ , Jurnal Energi Baru dan Terbarukan, 1(2), pp. 42–50. doi: 10.14710/jebt.2020.9276.
- Bard, P. Y. 1999. Microtremor measurement: a tool for siteestimate, States of the art paper, second international symposium on the effect of survace Geology on Seismic Motion, Desember 1-3, 1998, pp.1252-1279, Yokohoma.
- Haerudin, N., Alami, F. and Rustadi 2019. Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake dalam Ilmu Kebumian.
- Koesuma, S., Pratiwi, S. and Legowo, B. 2018. Penentuan Ketebalan Sedimen Menggunakan Metode Mikrotremor di Kota Surakarta, Risalah Fisika, 2(1), pp. 25–28. doi: 10.35895/rf.v2i1.73.
- Laksana, N. L. F. 2021. Analisis Tingkat Resiko Bahaya Seismik Berdasarkan Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) menggunakan data Mikrotremor di Wilayah Perkantoran Konawe Utara.
- Nagoshi and Igarashi. 1971. On the Amplitudo Characteristics of Microtremor. Japan.
- Nakamura, Y. 1989. A Method For Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface, Quarterly Reports Of The Railway Tecnical Research Institute, Tokyo, 30, 25-33
- Nakamura, Y. 2000, Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications, System and Data Research Co. Ltd., 3-25-3 Fujimidai, Kunitachi-shi, Tokyo, Japan yutaka@sdr.co.jp.
- Prabowo, U. N., Sehad, S. and Ferdiyan, A. 2021. Estimasi ketebalan lapisan sedimen permukaan menggunakan pengukuran mikrotremor di Pemalang, Jawa Tengah, Jurnal Teras Fisika, 4(1), p. 187. doi: 10.20884/1.jtf.2021.4.1.3436.
- Rizki, N. E. 2019. Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen dan Kerentanan Gempa di Kampus UIN Walisongo Semarang Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).
- Satria, A., Resta, I. L. and Muchtar, N. 2020. Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen Dan Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi Bagian Timur, Jurnal Geofisika Eksplorasi, 6(1), pp. 18–30. doi: 10.23960/jge.v6i1.58.
- Syahruddin, M. H. dkk., 2014. Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintas Kota Makassar Dengan Mikrotremor, Fisika, 4(1), pp. 17–25.
- Tanjung, N. A. F., Yuniarto, H. P. and Widyawarman, D. 2019. Analisis Amplifikasi Dan Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Fmipa Ugm Menggunakan Metode HVSR, Jurnal Geosaintek, 5(2), p. 60. doi: 10.12962/j25023659.v5i2.5726.
- Widyawarman, D. and Fauzi, E. R. 2020. Aplikasi Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Tingkat Potensi Bencana Gempa Bumi Di Kampus I Universitas Pgri Yogyakarta, Jurnal Geosaintek, 6(2), p. 87. doi: 10.12962/j25023659.v6i2.6778.
- Yuliatwati, W. S., Rasimeng, S. and Karyanto. 2019. Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR dengan Menggunakan MATLAB, 5(1), pp. 45–59. doi: 10.23960/jge.v