

ANALISIS MIKROTREMOR UNTUK MENGETAHUI KARAKTERISTIK TANAH DI SEKITAR JEMBATAN AMURANG, MINAHASA SELATAN

Dewi Handayani^{1)*}, Deka Agung Pratama²⁾, Joanes E Koagouw²⁾ Nurfitriani²⁾
^{1) 2)}Stasiun Geofisika Manado

*E-mail: dewi19hand@gmail.com

ABSTRACT

Based on BNPB data, there has been landslide disaster that caused bridge and houses collapse in Amurang, South Minahasa on June 15, 2022. On geological map, the Amurang area classified as volcanic rock that is suspected to be Tondano's Tuff when it exploded and formed Tondano's Caldera. BMKG, in this case the Manado Geophysics Station, conducted a microtremor survey and analyzed the data of the survey results using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method. This method can determine the value of the natural frequency and amplification of the soil which can be used to classify the soil at the survey location. The result show that the disaster area in Amurang is an alluvial rock formation formed from deltaic sedimentation, topsoil, mud, etc. with a depth of 30 meters or more.

Keywords: natural frequency, HVSr, classification

ABSTRAK

Berdasarkan data dari BNPB telah terjadi bencana longsor yang menyebabkan jembatan dan rumah runtuh di Amurang, Minahasa Selatan pada 15 Juni 2022. Jika dilihat dari peta geologi, wilayah Amurang merupakan batuan gunung api muda yang diduga sebagai Tufa Tondano yang berasal dari letusan pada waktu pembentukan Kaldera Tondano. BMKG dalam hal ini Stasiun Geofisika Manado melakukan survei mikrotremor yang dilanjutkan dengan analisis hasil survei menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*. Metode tersebut dapat menentukan nilai frekuensi natural tanah dan amplifikasi tanah yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah di lokasi survei. Hasil survei menunjukkan daerah lokasi bencana di Amurang merupakan formasi batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur dan lainnya dengan kedalaman 30 meter atau lebih.

Kata kunci: frekuensi natural, HVSr, klasifikasi

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak di pertemuan 3 lempeng tektonik besar dunia dan 1 lempeng kecil. Sulawesi khususnya wilayah Sulawesi Utara merupakan ujung pertemuan 2 lempeng besar yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik serta 1 lempeng kecil yaitu lempeng Filipina. Hal tersebut menyebabkan daerah Sulawesi Utara menjadi daerah dengan aktivitas kegempaan yang cukup tinggi.

Getaran gempabumi dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur berupa bangunan, jembatan dan lainnya. Terdapat banyak faktor yang mengakibatkan tingkat kerusakan infrastruktur tersebut diantaranya: kekuatan

dan kedalaman gempabumi yang terjadi, jarak gempabumi dengan infrastruktur serta kualitas bangunan itu sendiri. Selain itu kondisi efek lokal yang dimiliki suatu daerah akan mempengaruhi tingkat kerusakan yang terjadi. Kondisi efek lokal yang dimaksud adalah karakter fisis geologi di bawah permukaan tanah suatu daerah dalam merespon getaran gempabumi yang melewatinya. Menurut Daryono, 2011, wilayah yang rentan terhadap getaran gempabumi adalah wilayah yang memiliki nilai periode dominan tanah dan ketebalan sedimen yang besar.

Kondisi efek lokal dapat diketahui dengan beberapa metode, diantaranya adalah dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*

(*HVSR*). Metode yang dikembangkan oleh Nakamura ini dapat menentukan nilai frekuensi natural tanah dan amplifikasi tanah di suatu daerah.

Berdasarkan data bencana yang diterbitkan BNPB di situs web <https://gis.bnpb.go.id/> terdapat informasi mengenai bencana alam yang menyebabkan jembatan runtuh dan rumah warga rusak pada 15 Juni 2022 lalu. Untuk memastikan penyebab kejadian tersebut, BMKG dalam hal ini Stasiun Geofisika Manado melakukan survei mikrotremor di sekitar lokasi kejadian.

KAJIAN PUSTAKA

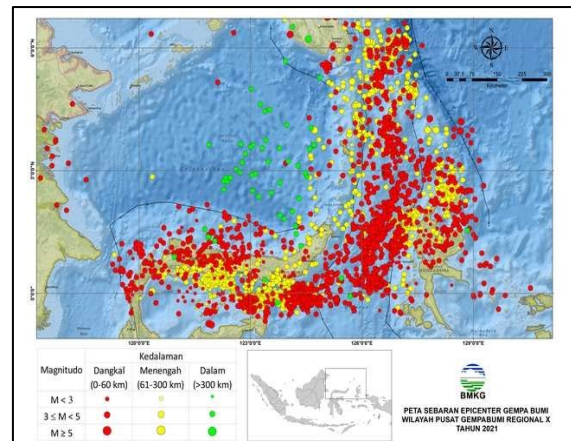
1. Tatanan Tektonik

Secara geografis, Sulawesi Utara merupakan ujung pertemuan dari 3 lempeng, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Filipina. Selain 3 lempeng tersebut, terdapat beberapa sesar aktif yang berada di daratan, diantaranya adalah sesar Gorontalo, sesar Bolmong, sesar Amurang dan sesar Manado. Kondisi tersebut membuat wilayah Sulawesi Utara dan sekitarnya menjadi daerah yang rawan terhadap kejadian gempabumi dan tsunami. Aktivitas gempabumi di wilayah Sulawesi Utara dan sekitarnya dapat dilihat di Gambar 1.

2. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (*HVSR*)

Metode *HVSR* yang dikenalkan oleh Nakamura, 1989, digunakan untuk memperkirakan efek lokal (frekuensi dasar dan faktor amplifikasi tanah). Bard, 1998, menyatakan bahwa telah banyak penelitian yang menggunakan metode ini dan memberikan hasil yang meyakinkan.

Metode *HVSR* memanfaatkan getaran alami tanah (*ambient vibration*) dengan frekuensi yang nilainya kurang dari 1 Hz untuk mengestimasi nilai frekuensi dominan pada suatu wilayah.



Gambar 1. Peta Sebaran Epicenter Gempabumi Wilayah Sulawesi Utara dan Sekitarnya Tahun 2021 (Buletin Tahunan Stasiun Geofisika Manado, 2022)

Metode ini memperhitungkan rasio amplitudo spektrum komponen horizontal (*H*) dan komponen spektrum vertikal (*V*) pada getaran *noise*. Hasil yang di dapatkan berupa frekuensi natural tanah (*f₀*) dan faktor amplifikasi (*A₀*).

Faktor amplifikasi (*A₀*) pada permukaan tanah bergantung pada gerakan seismik di permukaan sedimen yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar. Besarnya faktor amplifikasi gerakan horizontal (*T_H*) adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{VB}}$$

dengan *S_{HS}* adalah spektrum gerak komponen horizontal pada permukaan tanah dan *S_{HB}* adalah spektrum gerak komponen horizontal pada dasar tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar.

Besarnya faktor amplifikasi vertikal (*T_V*) adalah :

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}}$$

dengan *S_{VS}* adalah spektrum gerak komponen vertikal pada permukaan tanah dan *S_{VB}* adalah spektrum gerak komponen vertikal pada dasar tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar.

Data mikrotremor terdiri dari berbagai macam gelombang, salah satunya adalah gelombang Rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Frekuensi gelombang Rayleigh pada komponen vertikal maupun horizontal nilainya hampir sama, berkisar antara 0,2 Hz – 20 Hz, sehingga rasionya mendekati 1. Dengan rasio yang nilainya mendekati 1, maka gangguan yang terekam pada lapisan tanah yang diakibatkan gelombang *Rayleigh* dapat dihilangkan. Dengan demikian, pengaruh yang tersisa dapat dianggap sebagai pengaruh dari struktur geologi lokal atau *site effect (TSITE)*. Slob, 2007, menemukan bahwa nilai dari *TSITE* dapat menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar suatu lokasi.

Nilai *TSITE* dapat dihitung dari:

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}}$$

Sehingga,

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2}}{S_{VS}}$$

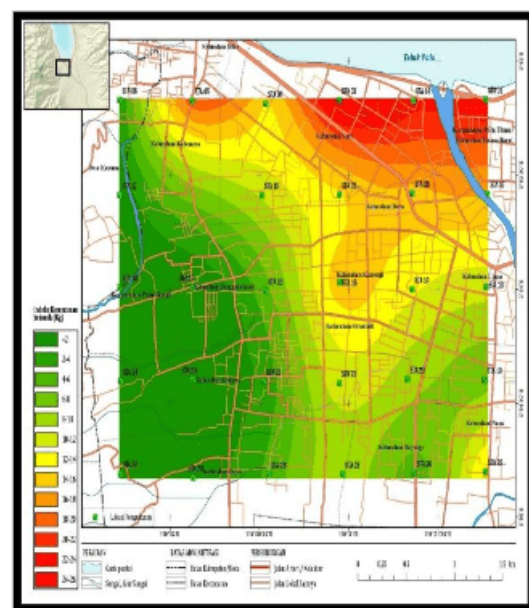
Penelitian dengan metode yang sama telah banyak dilakukan, diantaranya adalah penelitian oleh Arisona dkk., 2023, juga menggunakan metode *HVSr* untuk melakukan pemetaan lapisan tanah di Kota Kendari. Dalam penelitian tersebut menghasilkan data yang mengindikasikan lapisan tanah di lokasi penelitian adalah material tanah lunak yang tebal dan memiliki potensi guncangan dan tingkat kerusakan yang tinggi jika terjadi gempa bumi.

Toiba dkk., 2017 juga melakukan analisis mikrotremor di Palu menggunakan metode *HVSr* yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 2. Lalu pada Gambar 3, dampak kejadian gempa bumi Palu pada 28 September 2018 memperlihatkan keselarasan antara hasil penelitian mengenai karakteristik tanah yang akan memberikan respon terhadap kejadian gempa bumi. Pada tanah yang kerentanan seismiknya tinggi, akan mengalami kerusakan

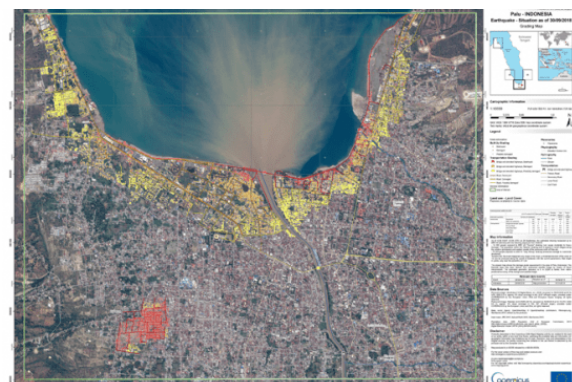
yang lebih berat daripada tanah yang memiliki kerentanan seismik yang rendah. Kerentanan seismik ini berhubungan langsung dengan nilai f_0 .

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0}$$

Menurut Arai dan Tokimatsu (2004) mikroseismik merupakan getaran yang memiliki nilai frekuensi dominan tanah lebih tinggi daripada frekuensi dominan tanah gempabumi.



Gambar 2. Indeks kerentanan seismik (Toiba, dkk., 2017)



Gambar 3. Peta Dampak Gempabumi di Kota Palu 28 September 2018 (www.un-spider.org)

Nilai frekuensi dominan tanah yang diketahui dari pengolahan data survei juga dapat digunakan untuk memperkirakan klasifikasi tanah yang ada dibawahnya. Klasifikasi tersebut dapat beracuan pada beberapa penelitian yang telah dilakukan. Salah satunya adalah Kanai, 1983 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

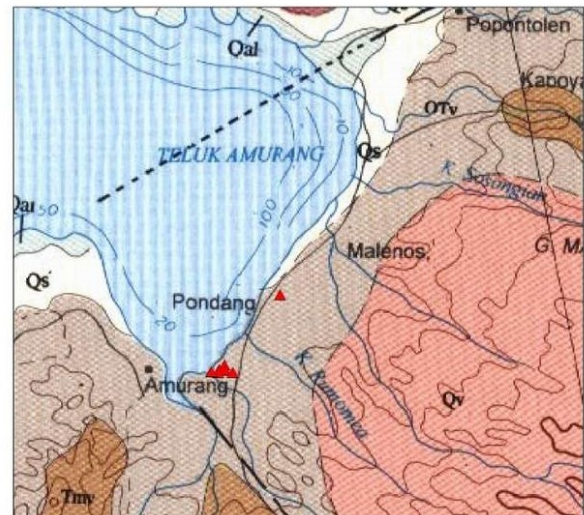
METODE

Penelitian ini menggunakan metode HVSR untuk mendapatkan nilai periode dominan tanah dan amplifikasi tanah. Nilai tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan jenis tanah di sekitar jembatan Amurang yang runtuh pada 15 Juni 2022 lalu.

Data yang digunakan adalah data primer berupa data survei mikrotremor yang dilakukan oleh tim dari Stasiun Geofisika Manado di Amurang, Minahasa Selatan pada 17-18 Juni 2022. Lokasi survei dapat dilihat pada Gambar

Tabel 1. Klasifikasi tanah menurut Kanai (1983)

Klasifikasi Tanah	Periode Dominan	Keterangan
Jenis I	0.05 - 0.15	Batuan tersier atau lebih tua terdiri dari batuan hard sandy, gravel, dll
Jenis II	0.10 - 0.25	Batuan alluvial dengan kedalaman 5 meter terdiri dari gravel, sandy hard clay, loam, dll
Jenis III	0.25 - 0.4	Batuan alluvial hamper sama dengan II hanya dibedakan oleh adanya formasi bullf
Jenis IV	> 0.4	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur dll dengan kedalaman 30 meter atau lebih



Gambar 3. Lokasi Survei Mikrotremor di *Overlay* pada Peta Geology (Effendi dkk., 1997)

Jika dilihat dari peta geologi yang dibuat pada tahun 1997 yang ditunjukkan pada Gambar 3, memperlihatkan bahwa wilayah Amurang, Minahasa Selatan merupakan wilayah dengan komposisi batuan dengan simbol Qtv yang sangat berdekatan dengan simbol Qs. Qtv merupakan batuan gunung api muda yang diduga sebagai Tufa Tondano yang berasal dari letusan pada waktu pembentukan Kaldera Tondano. Sedangkan simbol Qs pada peta dijelaskan sebagai endapan danau dan sungai.

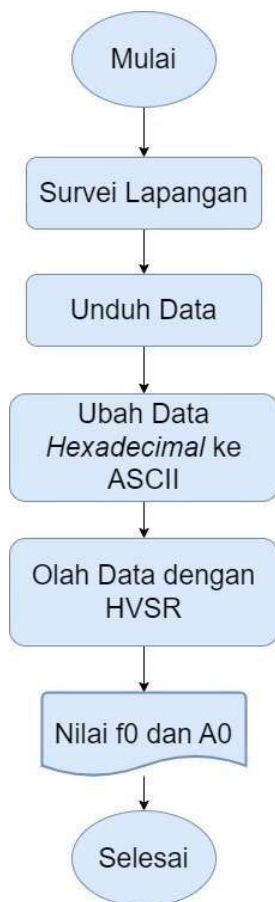
Pengambilan satu data sampel pada koordinat 1.20617 LU dan 124.5903 BT yang terpisah dari titik yang lain bertujuan untuk memverifikasi bahwa alat dalam keadaan baik dan kondisi tanah pada lokasi survei seharusnya memiliki jenis yang sama sesuai dengan peta geologi.

Data hasil survei mikrotremor berupa data *hexadecimal* akan terlebih dahulu diubah kedalam format ASCII menggunakan bantuan *software* DATAPRO. Selanjutnya pengolahan data survei mikrotremor dilakukan dengan bantuan *software* GEOPSY. *Software* tersebut dapat menganalisa data dengan format ASCII menggunakan metode HVSR untuk mengetahui nilai frekuensi dominan tanah yang

selanjutnya dapat dihitung nilai periode dominan tanahnya melalui rumus $T = 1/f$.

Langkah pengolahan data di *software* GEOPSY adalah *windowing signal* yaitu memilah sinyal tanpa noise dan tanpa gempabumi pada *tools H/V*. Pada *window H/V* klik menu *Time - Time Windows - General - Length - Exactly*. Pada *Number of Windows* pilih *Auto*. Pada *Processing - Smoothing Type*, pilih *Konno & Omachi*. Lalu hilangkan tanda centang pada *Use Cosine Taper*. Pada *Horizontal Components* pilih *Total Horizontal Energy*. Pada *Output* atur *Frequency Sampling* dan centang bagian *Output*.

Dari langkah tersebut, akan menghasilkan grafik H/V yang merupakan *ploting ratio H/V* terhadap frekuensi dari setiap *Time Windowing* sepanjang rekaman data. Pada proses ini, akan diketahui nilai f_0 . Alur pada penelitian ini ditunjukkan dengan Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengolahan HVSR yang nilainya disajikan pada Tabel 2 menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara nilai pada titik survei yang berdekatan dengan lokasi bencana dengan titik survei yang jauh dengan lokasi bencana. Hal ini mengindikasikan alat dalam kondisi yang stabil dan jenis tanah pada seluruh lokasi survey adalah sama.

Hasil pengolahan data menunjukkan jenis tanah di lokasi survei merupakan tanah jenis IV menurut Kanai, 1983. Jenis tanah IV diklasifikasikan sebagai batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur dll dengan kedalaman 30 meter atau lebih.

Hal ini bersesuaian dengan penelitian Sitompul, 2023, yang menggunakan metode geolistrik untuk mengidentifikasi kondisi bawah permukaan. Hasilnya, kondisi bawah permukaan tanah di daerah Amurang tersusun oleh lempung yang tersaturasi oleh air laut.

Kejadian longsor merupakan salah satu akibat dari kejadian gempabumi, namun untuk kasus longsor di Amurang, tidak tercatat adanya kejadian gempabumi di sekitar Amurang pada rentang waktu 24 jam sebelum kejadian baik dari catatan BMKG maupun dari dd.iris.edu.

Tabel 2. Hasil pengolahan data survei

Latitude	Longitude	f_0 (Hz)	T_0 (detik)
1.18798	124.57607	0.979527	1.020901
1.18689	124.57483	0.865003	1.156065
1.18682	124.57626	1.38766	0.720638
1.18621	124.57443	1.29553	0.771885
1.18636	124.57265	1.36277	0.7338
1.18623	124.57825	1.32601	0.754142
1.20617	124.5903	1.39116	0.718825

KESIMPULAN

Dari kegiatan survei mikrotremor dan dilanjutkan dengan analisa data menggunakan metode HVSR dapat diketahui bahwa karakteristik bawah permukaan daerah Amurang merupakan tanah lunak yang merupakan tanah alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur dll dengan kedalaman 30 meter atau lebih.

DAFTAR PUSTAKA

- Arai, H., & Tokimatsu, K. (2004). S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(1), 53-63.
- Arisona, Mangininsih, S. L., & Praja, N. K. (2023). Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSR dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(1), 51-58.
- Bard, P.Y.V. (1998). "Microtremor Measurement: A Tool for Site Effect Estimation." *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion* (August):1251-79
- Daryono. (2011). Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. Yogyakarta
- Effendi, A. C. dan Bawono, S.S. (1997). Peta Geologi Lembar Manado Sulawesi Utara. Edisi Ke-2.
- <https://ds.iris.edu/ieb/index.html?format=text&nodata=404&starttime=2021-01-01&endtime=2021-12-31&orderby=time-desc&src=iris&limit=1000&maxlat=2.892&minlat=-0.611&maxlon=126.210&minlon=121.359&sbl=1&pbl=1&zm=7&mt=ter>
- diakses pada tanggal 16 Oktober 2023 pukul 01.09 WITA.
- <https://www.un-spider.org/news-and-events/news/emergency-mechanisms-provide-mapping-products-indonesia-earthquake-and-tsunami> diakses pada 15 Oktober 2023 pukul 23.54 WITA.
- Kanai, K. (1983). *Seismology in Engineering*, Tokyo University. Jepang
- Maimun, A. K., Silvia, U. N., & Ariyanto, P. (2020). Analisis Indeks Kerentanan Seismik, Periode Dominan, Dan Faktor Amplifikasi Menggunakan Metode Hvsr Di Stageof Tangerang. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 7(2), 24-30.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).
- Slob, S. (2007). Micro Seismic Hazard Analysis. *Earthquake Vulnerability and Multi-Hazard Risk Assessment: Geospatial Tools for Rehabilitation and Reconstruction Efforts*, ITC The Netherlands.
- Sitompul, A. A. B. (2023). Identifikasi Intrusi Air Laut Pada Daerah Amurang Menggunakan Metode Resistivity. (Disertasi, Universitas Pertamina).<https://library.universitaspertamina.ac.id/xmlui/handle/123456789/10342>
- Stasiun Geofisika Manado. (2022). Buletin Tahunan Gempabumi dan Tsunami Tahun 2021. Manado
- Toiba, Y., H., M. R., Sili, P. D., & Maskur, M. (2017). Analisis Mikrotremor Kawasan Palu Barat Berdasarkan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR). *Gravitasi*, 15(1).