

ESTIMASI KARAKTERISTIK DINAMIS BAWAH PERMUKAAN MENGUNAKAN REFRAKSI MIKROTREMOR DI KOTA PALU

Estimation of Subsurface Dynamic Characteristics using Microtremor Refraction in Palu city

Hendra¹⁾, Rustan Efendi¹⁾, M. Rusydi H¹⁾

¹⁾Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian dengan metode refraksi mikrotremor (REMI) telah dilakukan di Kecamatan Palu Selatan, Kecamatan Palu Barat dan Kecamatan Palu Timur dengan merekam penjalaran gelombang yang terjadi di bawah permukaan. Adapun tujuan dari penelitian ini menggunakan variasi kecepatan rambat gelombang melalui metode refraksi mikrotremor (REMI). Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan 2 program yaitu menggunakan program *Surface Wave Analysis Wizard* dan program *Waveq*. Hasil penelitian ini dilakukan di 3 lokasi yang berbeda. Lokasi pertama berada pada kawasan lapangan Kawatuna Kecamatan Palu Selatan dengan nilai kecepatan gelombang geser 282,0 m/s dan nilai periode dominan 0,42 s sehingga termasuk dalam klasifikasi jenis tanah IV. Lokasi kedua berada kawasan Masjid Agung Kecamatan Palu Barat dengan nilai kecepatan gelombang geser 215,0 m/s dan nilai periode dominan 0,55 s sehingga termasuk dalam klasifikasi jenis tanah IV. Lokasi ketiga berada di kawasan Mapolda Sulteng Kecamatan Palu Timur dengan nilai kecepatan gelombang geser 327,4 m/s dan nilai periode dominan 0,36 s sehingga termasuk dalam klasifikasi jenis tanah III.

Kata Kunci: *Refraksi Mikrotremor (ReMi), Kecepatan gelombang geser, Periode dominan.*

ABSTRACT

The research using the microtremor refraction method (REMI) has been carried out in South Palu Subdistrict, West Palu District and East Palu District by recording wave propagation that occurs below the surface. The purpose of this research is to determine the variation in wave velocity through the microtremor refraction method (REMI). Data processing is done using 2 programs, namely using the *Surface Wave Analysis Wizard* program and the *Waveq* program. At the first location in the Kawatuna Field area of South Palu District, the shear wave velocity value was 282.0 m/s and the dominant period value was 0.42 s so that it was classified as soil type IV. At the second location located in the Agung Mosque area of West Palu Subdistrict, resulted a shear wave velocity value of 215.0 m/s and the value of the dominant period of 0.55 s which is classified into soil type IV. The third location is in the Central Sulawesi Regional Police Headquarters, East Palu Subdistrict, giving a shear wave velocity value of 327.4 m / s and a dominant period value of 0.36 s which is classified into the soil type III.

Keywords: *Microtremor Refraction (ReMi), Shear Wave Velocity, dominant period.*

I. PENDAHULUAN

Kota Palu memiliki kondisi lapisan batuan bawah permukaan dengan sifat fisis yang sangat beragam, di antaranya adalah batuan Alluvium dan endapan pantai serta batuan Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin. Hal ini dapat dilihat pada Gambar Lampiran 2. Kondisi struktur lapisan batuan bawah permukaan sangat penting diketahui untuk mendesain bangunan tahan gempa hal ini dikarenakan daerah ini dilintasi sesar dengan dimensi cukup besar yakni sesar Palu Koro.

Sesar Palu Koro memanjang mulai dari sekitar batas perairan Laut Sulawesi dengan Selat Makassar sampai Pantai Utara Teluk Bone dengan panjang sekitar 500 km. Di darat, sesar ini mempunyai panjang sekitar 250 km, mulai dari Teluk Palu sampai pantai utara Teluk Bone (Abdullah, 2017). Di Kota Palu, patahan melintas dari Teluk Palu masuk ke wilayah daratan, memotong jantung Kota, terus sampai ke sungai lariang di lembah pipikoro. Hal ini menyebabkan Kota Palu dikenal sebagai salah satu daerah rawan gempa di Indonesia.

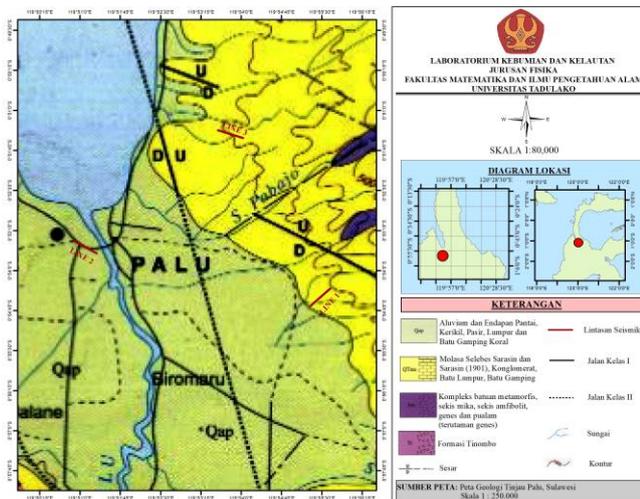
Gempa bumi sangat berpengaruh terhadap sifat elastisitas batuan. Elastisitas merupakan suatu ukuran kekakuan material, sehingga semakin tinggi nilai elastisitas batuan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila kita memberi gaya. Salah satu cara untuk mengetahui elastisitas batuan permukaan adalah melalui analisis kecepatan gelombang geser (*shear wave*) (Susilawati, 2008).

Selain untuk mengetahui elastisitas batuan, analisis kecepatan gelombang geser juga dapat digunakan untuk menentukan struktur perlapisan batuan bawah permukaan melalui aplikasi metode seismik refraksi mikrotremor. Metode seismik refraksi mikrotremor adalah metode penelitian dengan menggunakan gelombang seismik yang memiliki amplitudo rendah dari tanah yang ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan manusia yang dapat menggambarkan kondisi geologi dekat permukaan. Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi (Rochmah, 2014).

Oleh karena itu pada penelitian ini diteliti karakteristik dinamis yang mencakup kecepatan seismik pada kedalaman 30 meter (V_{s30}), ketebalan lapisan sedimen dan periode dominan melalui aplikasi metode seismik refraksi mikrotremor. Metode ini mampu memberikan gambaran lapisan bawah permukaan menggunakan variasi yang kecepatan rambat gelombang.

Berdasarkan Peta Geologi Tinjau Lembar Palu (Sukamto, 1973), formasi batuan yang terdapat di lokasi penelitian dan sekitarnya adalah Alluvium dan endapan pantai yang terdiri dari kerikil, pasir, lumpur dan batu gamping koral. Alluvium ini merupakan satuan yang paling muda umurnya yang terbentuk sebagai hasil rombakan dari wilayah perbukitan yang membatasinya. Selain itu juga terdapat formasi Molasa Celebes Sarasin yang terdiri dari

Konglomerat, batu lumpur dan batu gamping yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta geologi lokasi penelitian

Gelombang seismik adalah rambatan energi yang disebabkan karena adanya gangguan didalam kerak bumi, sehingga adanya patahan atau adanya ledakan. Energi ini akan merambat keseluruhan bagian bumi dan dapat terekam oleh seismometer. Metode seismik memiliki dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif merupakan metode menggunakan sumber seismik buatan misalnya palu, ledakan, dan lain-lain. untuk menghasilkan gelombang yang selanjutnya terekam pada alat seismograf pasif dan untuk metode pasif merupakan metode yang dihitung berdasarkan waktu jalar gelombang pada tanah/batuan dari posisi sumber ke penerimaan pada jarak tertentu.

Gelombang seismik merupakan gelombang-gelombang elastis karena medium yang dilaluinya bersifat elastis. (Telford, et.al, 1990).

Struktur bawah permukaan tanah dapat diketahui dengan survei pengukuran mikrotremor.

Mikrotremor adalah getaran tanah dengan perpindahan amplitudo sekitar 0,1 – 1 mikron, dan kecepatan amplitudo berkisar 0,001 – 0,01 cm/s, yang dapat dideteksi oleh seismograf dengan pembesaran tinggi (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003). Selain itu, mikrotremor dikenal sebagai getaran alami (*ambient vibration*) berasal dari dua sumber utama yaitu alam dan manusia. Pada frekuensi rendah yaitu di bawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0,2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0,5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Pada frekuensi di bawah 0,1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktivitas di atmosfer. Frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz bias ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktivitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lainnya (Takai dan Tanaka, 1961).

Gelombang geser merupakan gelombang sebagai gelombang S yang berarti sekunder atau shear. Dinamakan gelombang sekunder karena kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan gelombang P (primer atau pressure). Dalam medium yang padat, gelombang geser menjalar dengan kecepatan antara 3-4 km/detik. Ketika menjalar di bawah permukaan, gelombang geser memberikan regangan geser pada material yang dilaluinya, sehingga dinamakan gelombang geser (Thompson dan Turk, 1997). Gelombang geser merupakan salah satu parameter penting

dalam menentukan kekuatan guncangan gempa, amplifikasi tanah, likuifaksi dan pemetaan kondisi bawah permukaan untuk kebutuhan bidang rekayasa (Agung., 2018).

Vs30 merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 m dari permukaan. Menurut Roser dan Gosar (2010) nilai Vs30 ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai Vs30 digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempabumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. Vs30 merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukankarakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter. hanya lapisan- lapisan batuan sampai kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa (Wangsadinata, 2006). Nilai Vs30 dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 1:

$$Vs30 = 30 / \sum_{i=1}^n \frac{d_i/d_i}{V_{si}} \quad (1)$$

Dengan i adalah indeks perlapisan, n adalah jumlah lapisan hingga kedalaman 30 m, d_i adalah ketebalan lapisan ke- i , V_{si} adalah kecepatan gelombang setiap lapisan dan $Vs30$ adalah kecepatan gelombang geser maksimum 30 m.

Klasifikasi jenis tanah dilakukan menurut kecepatan gelombang geser rata-rata pada tanah setebal 30 m dari permukaan ($Vs30$). Pada

dasarnya semakin keras suatu material tanah, maka kecepatan gelombang geser yang melaluinya semakin besar (Tabel 1).

Tabel 1 Klasifikasi Jenis batuan Berdasarkan *National Earthquake Hazard reduction Program* (NEHRP)

Tipe Batuan	Profil Jenis Batuan	Vs30
A	Hard Rock (Batuan Keras)	> 1.500 m/s
B	Rock (Batuan Sedang)	760-1.500 m/s
C	Very Dense Soil and Soft Rock (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	360-760 m/s
D	Stiff Soil (Tanah Sedang)	180-360 m/s
E	Soft Soil (Tanah Lunak)	<180 m/s

(Sumber : Borcherdt, 1994).

Secara umum periode dominan didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satukali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Periode dominan tinggi umumnya memiliki keterkaitan yang sangat dekat dengan ketebalan dan tingkat kekerasan lapisan sedimen lunak (*soft soil*). Daerah yang memiliki periode dominan tinggi umumnya memiliki kerentanan untuk mengalami kerusakan wilayah yang cukup tinggi jika terlanda gempa bumi. Hal ini dikarenakan periode dominan berbanding lurus dengan nilai penguatan guncangan/amplifikasi (Arifin dkk, 2014). Nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah (Tabel 2).

Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut,

$$T_o = 1/f_o \quad (2)$$

Dengan T_0 adalah periode dominan dan f_0 adalah frekuensi dominan.

Lintasan ketiga berlokasi di Talise dengan Posisi $119^{\circ}52' 22.65''$ BT dan $0^{\circ}52' 13.30''$ LS. Berada pada ketinggian 14meter sampai 140meter di atas permukaan air laut. Lokasi penelitian dan sekitarnya dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 2 Klasifikasi Tanah menurut Kanai

No	Klasifikasi tanah		Periode dominan (sekon)	Keterangan	Karakter
	Kanai	Om ete- Nak ajim a			
1	Jenis I		0.05 – 0.15	Batuan tersier atau lebih tua terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> dll	Keras
2	Jenis II	Jenis A	0.15 - 0.25	Batuan <i>alluvial</i> , dengan kedalaman 5 m. terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay, loam</i> dll	Sedang
3	Jenis III	Jenis B	0.25 – 0.40	Batuan <i>alluvial</i> , hampir sama dengan II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bulff</i>	Lunak
4	Jenis IV	Jenis C	< 0.40	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>topsoil</i> , lumpur dll dengan kedalaman 30 m	Sangat lunak

Sumber : Arifin dkk, (2014).

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah yang terletak pada $119^{\circ}55'0''$ - $119^{\circ}51'30''$ Bujur Timur (BT) dan $0^{\circ}54'30''$ - $0^{\circ}51'30''$ Lintang Selatan (LS). serta menggunakan 3 lintasan pengukuran, untuk Lintasan pertama berlokasi di lapangan Kawatuna dengan posisi $119^{\circ}55'20.71''$ BT dan $0^{\circ}54'33.38''$ LS, untuk Lintasan kedua berlokasi di belakang Masjid Agung dengan Posisi $119^{\circ}51' 07.41''$ BT dan $0^{\circ}53'36.35''$ LS, untuk



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Dalam akuisisi data lapangan digunakan satu set alat Seismograf tipe *ES-3000* dengan detector *geophone* 12 channel. Pada pengukuran digunakan jarak 3 meter untuk setiap *geophone* dengan menggunakan 12 sehingga total jarak dari satu Lintasan adalah 33 meter.

Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh penampang bawah permukaan pada lokasi penelitian. Data yang di peroleh kemudian diolah menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* untuk mendapatkan kurva dispersi. Hasil Kurva dispersi kemudian dilakukan inversi dengan menggunakan program *WavEq* untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser yang ditampilkan dalam bentuk 1 dimensi.

Interpretasi data dilakukan dengan menganalisis profil kecepatan gelombang geser untuk menentukan struktur batuan bawah permukaan hingga 30 m. Klasifikasi jenis batuan bawah permukaan dilakukan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser serta ketebalan setiap lapisan yang terbentuk hingga kedalaman 30 m dengan menggunakan persamaan (1) dan mengacu pada Tabel (1). Untuk nilai periode dominan menggunakan persamaan (2) dan mengacu pada Tabel (2).

III. HASIL DAN PEMBAHAN

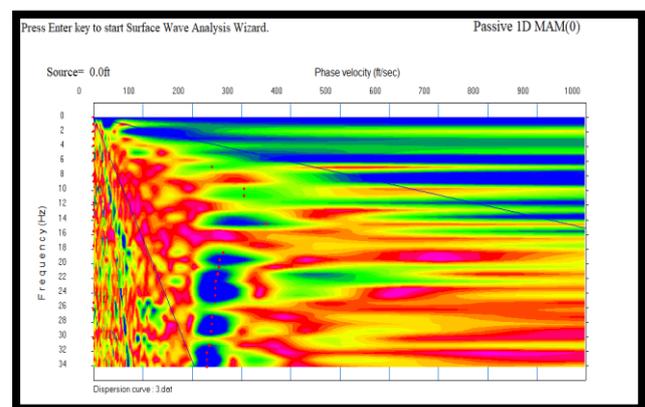
Hasil yang diperoleh dari proses pengambilan data adalah rekaman penjalaran gelombang geser.

Profil rekaman penjalaran gelombang geser yang dihasilkan oleh sangat berbeda-beda pada setiap lintasan pengukuran. Hal tersebut di pengaruhi pada besar dan kecilnya suatu gelombang yang terjadi pada bawah permukaan yang sangat berpengaruh pada kualitas setiap gelombang yang terekam pada setiap *geophone*.

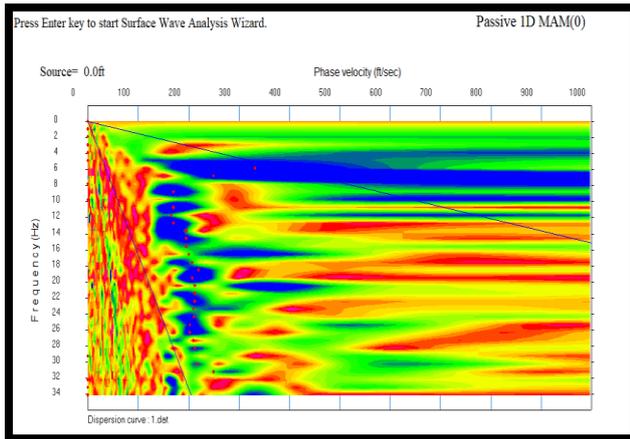
Data rekaman penjalaran gelombang geser untuk diolah menggunakan program *Seismic imager* yang terbagi menjadi 2 tahap, dimana tahap pertama menggunakan software *Surface Wave Analysis Wizard* sehingga diperoleh kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan transformasi fourier dari domain *time-space* menjadi domain waktu.

Selanjutnya untuk tahap kedua diolah menggunakan software *Waveq* untuk melakukan inversi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman, yang selanjutnya diinterpretasikan dan didapatkan hasil berupa nilai kecepatan dan struktur batuan per lapisan bawah permukaan bumi. Tingkat keakuratan dari inversi dapat dilihat yaitu 4,9%, semakin kecil nilai *error* yang dihasilkan maka hasil yang diperoleh dapat lebih akurat.

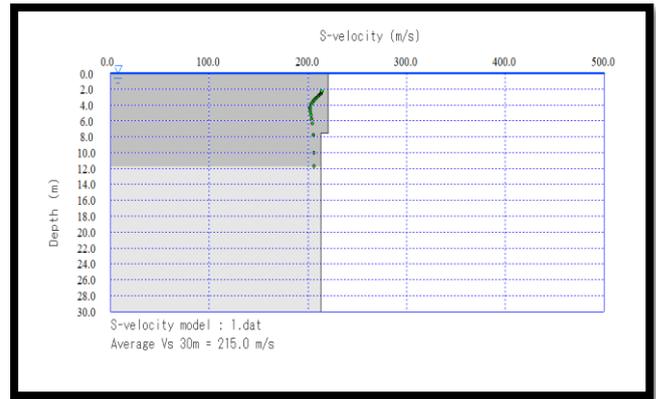
geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan Gambar 3 sampai Gambar 5 memperlihatkan hasil dari kurva dispersi untuk Gambar 6 sampai Gambar 8 memperlihatkan hasil profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan.



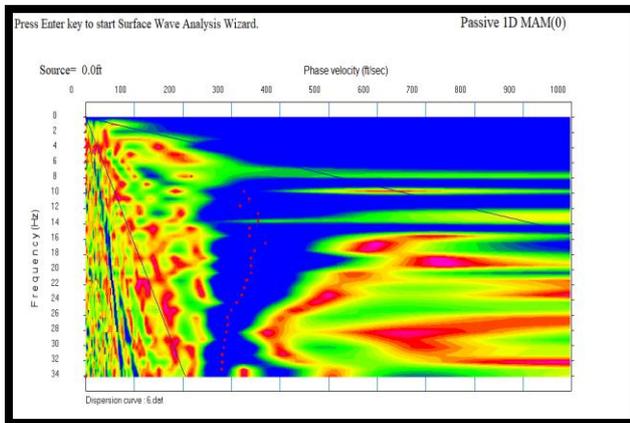
Gambar 3 Kurva dispersi pada lintasan-1 (di Lapangan Kawatuna)



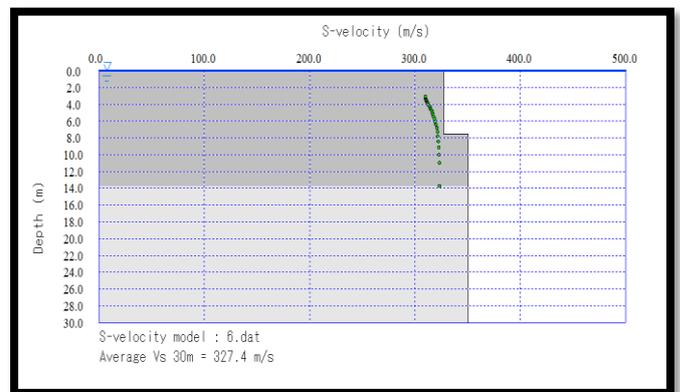
Gambar 4 Kurva dispersi pada Lintasan-2 (di belakang Masjid Agung)



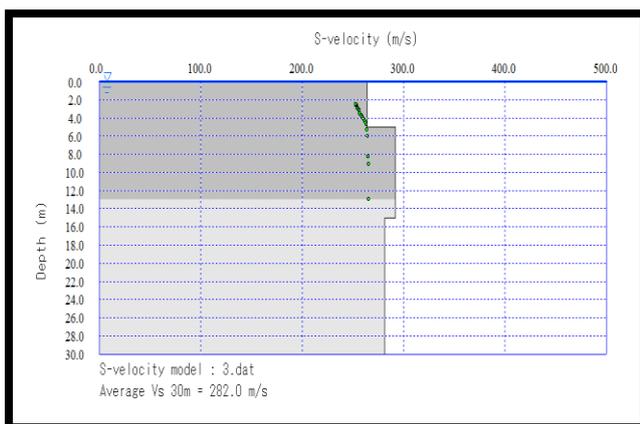
Gambar 7 Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-2 (di belakang Masjid Agung)



Gambar 5 Kurva dispersi pada Lintasan-3 (di Belakang Mapolda Sulteng)



Gambar 8 Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-3 (di Belakang Mapolda Sulteng)



Gambar 6 Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-1 (di Lapangan Kawatuna)

Hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman yang diperoleh sangat berbeda-beda untuk setiap lapisan lintasan pengukuran. Parameter-parameter tersebut kemudian digunakan untuk mendapatkan hasil nilai Vs30 diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 dan untuk mendapatkan hasil periode dominan diperoleh dengan menggunakan persamaan 2. Kemudian dengan nilai Vs30 yang dihasilkan (Lampiran 1) memungkinkan untuk dilakukan klasifikasi tingkat kerentanan batuan bawah permukaan daerah Kota Palu, penentuan klasifikasi batuan berdasarkan Tabel 1 dan untuk mendapatkan

nilai periode dominan yang dihasilkan (Lampiran 2) memungkinkan untuk mengidentifikasi jenis tanah yang ada di Kota Palu berdasarkan Tabel 2 maka dapat di ketahui klasifikasi dari setiap lintasan. Dari setiap lintasan diperoleh model kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan yang berbeda-beda. Nilai kecepatan gelombang geser (V_{s30}) dapat dilihat pada Tabel 3 maka dapat di ketahui klasifikasi dari setiap lintasan.

Tabel 3 Nilai gelombang geser terhadap kedalaman untuk Lintasan-1 sampai Lintasan-3

	Lapisan	d (m)	h (m)	Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
Lintasan 1	1	0-5	5	264.3	282.0
	2	5-10	10	292.2	
	3	15-30	15	281.8	
Lintasan 2	1	0-7.5	7.5	220.8	215.0
	2	7.5-30	22.5	213.2	
Lintasan 3	1	0-7.5	7.5	320	327.4
	2	7.5-30	22.5	330	

Dari hasil pengolahan data dapat di ketahui hubungan antara lapisan batuan bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dan periode dominan dari 3 lintasan yang berada di Kota Palu.

Lintasan-1 yang berada di Lapangan Kawatuna, mendapatkan gambaran hasil interpretasi data yang diperoleh dari nilai kecepatan gelombang geser pada setiap lapisan. Untuk lapisan pertama dan kedua dapat ditafsirkan sebagai endapan alluvim. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) yang diperoleh untuk lintasan pengukuran ini adalah 282,0 m/s. Berdasarkan hasil tersebut dapat diklasifikasi bahwa Lapangan Kawatuna berada dalam tipe D yang termasuk tanah sedang, dan untuk periode dominan didapatkan nilai 0.42 s. Berdasarkan nilai periode dominan tersebut maka dapat diklasifikasikan jenis tanah di Lapangan Kawatuna merupakan tanah jenis IV yaitu tanah sangat lunak.

Lintasan-2 yang berada dibelakang Masjid Agung mendapatkan gambaran hasil interpretasi data yang diperoleh dari nilai kecepatan gelombang geser pada setiap lapisan, yaitu untuk lapisan pertama sampai lapisan kedua ditafsirkan sebagai endapan alluvium. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) yang didapatkan untuk lintasan ini adalah 215,0 m/s, maka dari hasil tersebut dapat diklasifikasikan bahwa dilokasi belakang Masjid Agung berada dalam tipe D yang termasuk tanah sedang. Untuk periode dominan pada lintasan ini didapatkan nilai 0.55 s. Berdasarkan nilai periode dominan tersebut maka dapat diklasifikasikan bahwa pada lintasan 2 termasuk tanah jenis IV yaitu tanah sangat lunak.

Lintasan-3 yang berada di Belakang Mapolda Sulteng mendapatkan gambaran hasil interpretasi data yang diperoleh dari nilai kecepatan gelombang geser pada setiap lapisan, yaitu untuk lapisan pertama dan kedua ditafsirkan sebagai pasir tersaturasi. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) yang didapatkan untuk lintasan ini adalah 327,4 m/s, maka dari hasil tersebut dapat diklasifikasi bahwa lokasi di belakang Mapolda Sulteng berada dalam tipe D yang termasuk tanah sedang. Untuk periode dominan didapatkan nilai 0.36 s. berdasarkan nilai periode dominan maka dapat diklasifikasikan tanah jenis III yaitu tanah lunak.

Hasil dari hubungan nilai kecepatan gelombang geser terhadap lapisan bawah permukaan pada penelitian ini tersusun atas formasi batuan endapan alluvium dan formasi batuan molasa celebes Sarasin dan Sarasin. Formasi batuan endapan alluvium berada pada lintasan 2, sedangkan formasi batuan molasa celebes Sarasin dan Sarasin berada pada lintasan-1 dan lintasan-3. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari penelitian ini sesuai dengan kondisi geologi wilayah Kota Palu.

Sebagaimana diketahui bahwa getaran yang disebabkan oleh gempa cenderung membesar pada tanah lunak dibandingkan pada tanah keras. Tanah lunak akan memberikan respon getaran yang lebih tinggi ketika terjadi gempa bumi. Tanah lunak dapat menimbulkan amplifikasi

terhadap getaran yang terjadi, sehingga mudah mengalami kerusakan ketika gempa terjadi.

Hasil analisis struktur kecepatan gelombang geser pada masing-masing lintasan terlihat bahwa, meskipun lintasan-1 sampai lintasan-3 pada daerah penelitian berada dalam 1 kelas yang sama, namun terdapat perbedaan variasi pada nilai kecepatan gelombang geser. Hal ini terjadi karena karakteristik kecepatan rambat gelombang geser bergantung pada material penyusun di bawah permukaan. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai kecepatan gelombang geser yang terjadi di bawah permukaan maka semakin kompak material penyusunnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil interpretasi pengolahan data Mikrotremor di Kota Palu, maka dapat disimpulkan:

1. Berdasarkan hasil gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) diperoleh untuk lokasi penelitian pada lintasan-1 sampai lintasan-3 diklasifikasi kedalam tipe batuan D yaitu jenis tanah sedang.
2. Jika ditinjau dari nilai periode dominan bahwa yang beresiko kerusakan cukup tinggi yaitu lintasan-2 yang berada di wilayah Palu Barat dengan nilai periode dominan sekitar 0.55 detik terdiri dari lapisan *soft soil* yang berarti pada klasifikasi tanah jenis IV.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2017. Tsunami di Teluk Palu & Sesar Palu-Koro Vol 2. Palu
- Agung Laksono. 2018. Interpretasi Nilai Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30}) Menggunakan Metode Seismik Multi Channel Analysis of Surface Wave (MASW) untuk Memetakan Daerah Rawan Gempa Bumi Di Kota Bandar Lampung. Teknik Geofisika: Universitas Lampung
- Arifin, S.S., Mulyanto, B.S., Marjiyono, dan Setianegara, R. 2014. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Teknik Geofisika: Universitas Lampung
- Borcherdit, R. D. 1994. *Estimasi of Site-dependt Response Spectra for Design (Methodology and Justifacation)*. Earthquake Spectra, 10, 617-653.
- Mirzaoglu, M & Dykmen, U. 2003. *Application of Mikrotremors to Seismic Microzoning Procedure*. Jurnal of the Balkan Geophysical Society Vol 6.
- Rab. Sukanto, H. Sumadirdja, T. Suptandar, S. Hardjoprawiro. Dkk. 1973. Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi.
- Rahmi Alfani. 2017. Pemetaan Mikrozonasi Gempa Bumi Daerah Solok Sumatera Barat Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode HVSR. Lampung: UNLAM.
- Roser, J. dan Gosar, A. 2010. *Determination of V_{s30} for Seismic Ground Classification In the Ljublana Area*. Slovenia: Acta Geotechnica Slovenia.
- Rochmah, L. N. dkk. 2014. Studi Percepatan Getaran Tanah Maksimum dengan Metode Tong & Katayama (1998) dan Indeks Keretakan Seismik di Kabupaten Gunung Kidul. Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Sumatra Utara: Universitas Sumatra Utara.
- Takai dan Tanaka. 1961. *On Mikrotremors VIII*. Tokyo: Bull. Earthquake Res. Ints. 39,97-114.
- Telford, M.W., Geldart, L.P., Sheriff, R.E, & Keys, D.A (1990). *Applied Geophysics*, New York: Cambridge University press.
- Wangsadinata, W. 2006. *Perencana Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2002*. Jakarta: Shortcoure HAKI.