

**PENENTUAN PARAMETER DINAMIKA TANAH MENGGUNAKAN DATA  
MIKROTREMOR DI DESA SEDOA KECAMATAN LORE UTARA KABUPATEN  
POSO**

(Determination of Soil Dynamics Parameters Using Microtremor Data In Sedoa Village Sub-District Lore North of Poso District)

**Ermawati Makmur<sup>1)</sup>, Rustan Effendi<sup>1)</sup>, M.Rusydi H<sup>1)</sup>**

1) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

Email: [emhaa.simon@gmail.com](mailto:emhaa.simon@gmail.com)

**ABSTRAK**

Penentuan parameter dinamika tanah di Desa Sedoa Kecamatan Lore Utara Kabupaten Poso telah dilakukan dengan menggunakan data mikrotremor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m ( $V_{S30}$ ), modulus geser ( $G$ ) dan modulus elastisitas ( $E$ ) batuan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan program *SeisImager*, yang dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap pertama menggunakan *software Surface Wave Analysis Wizard* untuk mendapatkan kurva dispersi dan tahap kedua menggunakan *software WaveEq* untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan kedalaman ( $h$ ) perlapisan dapat diperoleh nilai  $V_{S30}$ . Perlapisan tanah diklasifikasikan ke dalam dua tipe batuan, yaitu tipe batuan D jenis tanah sedang dengan nilai  $V_{S30}$  berkisar antara 180.5 - 235.4 m/s dan tipe batuan E jenis tanah lunak dengan nilai  $V_{S30}$  yaitu 167.8 m/s. Dengan nilai kecepatan gelombang geser dan kecepatan gelombang primer, lokasi penelitian didominasi oleh aluvium dengan modulus geser berkisar antara 54.82 - 102.05 N/m<sup>2</sup> dan modulus elastisitas berkisar antara 163.78 - 303.94 N/m<sup>2</sup>. Hasil yang diperoleh pada lokasi penelitian menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki parameter dinamika tanah yang rendah sehingga sangat rentan terhadap kerusakan pada saat terjadi guncangan gempabumi.

**Kata kunci:** Kecepatan gelombang,  $V_{S30}$ , Modulus geser, Modulus elastisitas

**ABSTRACT**

Determination of soil dynamics parameters in Sedoa village, North Lore district, Poso regency has been done using microtremor data. This study aims to determine the shear wave velocity to a depth of 30 m ( $V_{S30}$ ), shear modulus, and rock elastic modulus. Data processing using the *SeisImager* program is divided into two stages, the first stage using *surface wave analysis wizard* software to obtain the dispersion curve and the second stage using *WaveEq* software to obtain the shear wave velocity profile. Based on value of shear wave velocity ( $V_s$ ) and depth ( $h$ ) of coating  $V_{S30}$  is obtained. Soil coating is classified into two rock types, is rock type D which is medium soil type with values ranging from 180.5 - 235.4 m/s and rock type E is soft soil type with a value 167.8 m/s. With the shear wave velocity and primary wave velocity, location of the study dominated by alluvium with shear modulus ranges from 54.82 - 102.05 N/m<sup>2</sup> and the modulus of elasticity ranges from 163.78 - 303.94 N/m<sup>2</sup>. The result obtained at the location of the study show that the area has soil dynamics parameters that low, so it is very susceptible to damage during an earthquake.

**Keyword:** Wave velocity,  $V_{S30}$ , Shear modulus, Elasticity modulus

## I. PENDAHULUAN

Gempabumi (Earthquake) merupakan fenomena alam yang setiap saat dapat terjadi di permukaan bumi. Besarnya guncangan bumi beragam mulai dari yang sangat kecil sehingga sulit dirasakan, sampai ke guncangan yang sangat dahsyat sehingga mampu meruntuhkan bangunan yang kokoh (Edwiza, 2008). Gempabumi di Indonesia sudah sering terjadi yang diakibatkan oleh letak geografis negara Indonesia (Dowrick, 2003). Salah satu daerah di Indonesia yang rawan terhadap gempabumi adalah Sulawesi Tengah, Sulawesi Tengah terletak dekat dengan sumber gempabumi yang berada di darat dan di laut (Supartoyo dan Surono, 2008).

Gempabumi di wilayah Sulawesi Tengah sudah beberapa kali terjadi, dari gempabumi yang berkekuatan kecil hingga besar sehingga mengakibatkan kerusakan parah. Gempabumi yang merusak telah terjadi di Poso pada tanggal 29 Mei 2017 yang berkekuatan 6.6 SR. Gempa tersebut mengakibatkan beberapa rumah warga, instansi pemerintah, dan beberapa tempat ibadah mengalami kerusakan ringan hingga parah (BMKG, 2017).

Gempabumi sampai saat ini belum bisa diprediksi tempat maupun waktu kejadiannya. Bahaya gempabumi tidak dapat dihindarkan namun dapat dikurangi dampaknya. Untuk meminimalisasi dampak gempabumi, upaya mitigasi perlu dilakukan dengan mengetahui daerah rawan gempa sebagai acuan untuk merancang bangunan tahan gempa. Daerah rawan gempa dapat diketahui dengan menentukan parameter dinamika tanah.

Dinamika tanah membahas tentang tegangan yang terjadi pada struktur tanah akibat adanya beban dinamis. Adapun parameter dinamika tanah yang dikaji pada penelitian ini yaitu kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m ( $V_{s30}$ ), modulus geser dan modulus elastisitas. Parameter tersebut dapat diketahui melalui kecepatan gelombang geser dengan menggunakan metode *Microtremor Array Measurements* (MAM). Metode ini merekam penjalaran gelombang geser yang menjalar dibawah permukaan tanah dengan menggunakan sensor data dari sumber gelombang alami.

Gelombang sekunder atau biasa juga disebut gelombang geser mendeformasi batuan dengan mengubah bentuknya. Karena fluida

dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk semula, maka gelombang geser hanya dapat merambat pada padatan saja sebaliknya bahan padat mempunyai daya elastisitas untuk kembali ke bentuk semula sehingga gelombang geser yang melaluinya dapat diteruskan ke permukaan. Sifat kekakuan tanah dapat dinilai dari kecepatan gelombang gesernya, dimana keduanya menunjukkan hubungan yang elastik linier. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser maka akan semakin besar juga nilai kekakuan tanahnya atau semakin keras dan padat. Kecepatan gelombang geser hanya berkaitan dengan kekakuan geser dari struktur tanah sedangkan pengaruh tingkat kejenuhan tanah pada kecepatan gelombang geser lebih terkait dengan kepadatan tanah (Stokoe et al., 2004).

Hubungan antara kecepatan gelombang primer dan kecepatan gelombang sekunder telah diuji di laboratorium oleh Tosaya (1982) membentuk garis yang didefinisikan dengan:

$$V_p = 1.16V_s + 1.36 \quad (1)$$

Dimana nilai kecepatan gelombang dalam satuan km/s.

Gelombang seismik terjadi karena adanya aktifitas antar lempeng di dalam bumi, terjadi deformasi lokal baik berupa tekanan dan tarikan yang sangat bergantung pada sifat elastisitas batuan. Saat tekanan dan tarikan tersebut sudah melebihi batas kekuatan dari batuan tersebut, maka terciptalah gelombang seismik. Besarnya cepat rambat gelombang seismik pada batuan dipengaruhi oleh modulus elastisitas batuan dan densitas batuan. Elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya. Jadi, semakin besar nilai modulus ini maka semakin kecil regangan yang terjadi atau semakin kaku (Soebowo E, dkk. 2009).

Berdasarkan beberapa penelitian diperoleh korelasi yang baik antara kecepatan gelombang primer dan kecepatan gelombang sekunder dengan beberapa parameter tanah diantaranya modulus elastisitas, modulus geser, rapat massa (Tezcan et al, 2007). Kecepatan gelombang primer dan kecepatan gelombang geser dapat diperoleh hubungan modulus elastisitas dan *poisson ratio* sebagai berikut (Sutopo et al, 2009):

$$G = \rho V_s^2 \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \quad (3)$$

$$E = 2G (1 + \sigma) \quad (4)$$

Dimana  $G$  adalah modulus geser merupakan faktor proporsional antara tegangan dan regangan.  $\sigma$  adalah *Poisson ratio* merupakan perbandingan antara regangan arah normal dengan regangan dalam arah transversal terhadap tegangan.  $E$  adalah modulus elastisitas yaitu faktor proporsional antara tegangan normal dan regangan normal.

$V_{S30}$  merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 meter dari permukaan. Nilai  $V_{S30}$  ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahap gempa. Nilai  $V_{S30}$  digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal (Roser dan Gosar, 2010). Menurut Wangsadinata (2006), bahwa hanya lapisan-lapisan batuan sampai kedalaman 30 meter saja yang dapat menentukan pembesaran gelombang gempa. Nilai  $V_{S30}$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 5

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^m h_i}{\sum_{i=1}^m \frac{h_i}{V_{Si}}} \quad (2) \quad (5)$$

Dengan  $i$  adalah indeks pelapisan,  $m$  adalah merupakan jumlah lapisan hingga kedalaman 30 meter,  $h_i$  adalah kedalaman lapisan ke- $i$  dan  $V_{S30}$  adalah kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter. Pada dasarnya semakin keras suatu material tanah, maka kecepatan gelombang geser yang melaluinya semakin besar seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan  $V_{S30}$  sesuai dengan standar NHERP

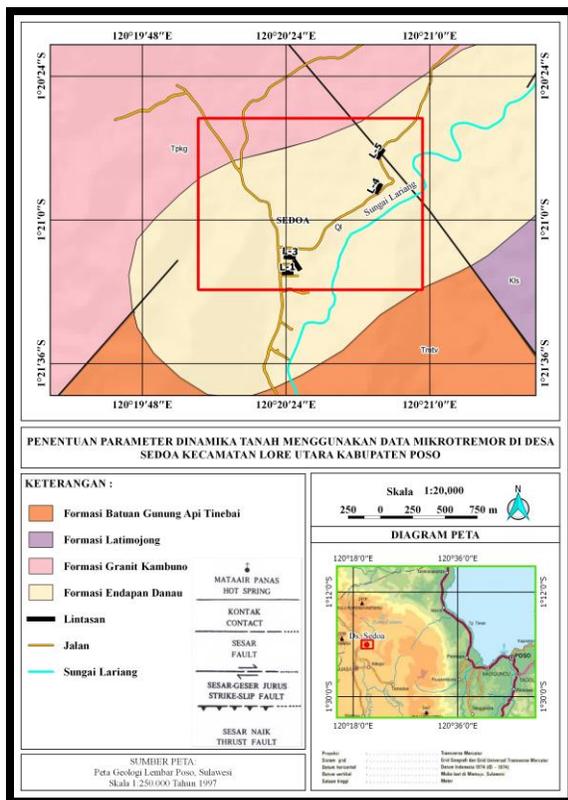
Tipe batuan	Profil jenis batuan	$V_{S30}$
A	<i>Hard Rock</i> (Batuan Keras)	>1500 m/s
B	<i>Rock</i> (Batuan Sedang)	760-1500 m/s
C	<i>Very Dense Soil and Soft Rock</i> (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	360-760 m/s
D	<i>Stiff Soil</i> (Tanah Sedang)	180-360 m/s
E	<i>Soft Soil</i> (Tanah Lunak)	<180

(Sumber: FEMA 302, 1997)

## II. METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Sedoa Kecamatan Lore Utara, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Lokasi penelitian terletak pada koordinat  $120^{\circ} 20' 10''$  sampai  $120^{\circ} 20' 49''$  BT dan  $1^{\circ} 20' 46''$  sampai  $1^{\circ} 21' 18''$  LS.



Gambar 1. Peta geologi lokasi penelitian

### Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini:

- Geometry ES-3000.*
- Detektor *geophone 12 channel*
- Global Positioning System (GPS)*

- Kabel penghubung (*Trigger, extension, konektor*)
- Accu*
- Kompas geologi
- Meteran
- Laptop
- Alat tulis menulis

### Pengolahan Data

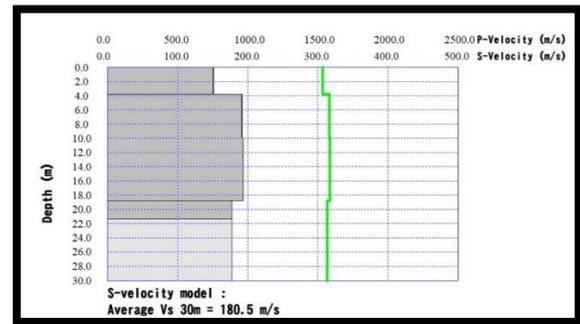
Pengelolaan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Memilih data terbaik untuk setiap lintasan.
- Data yang diperoleh mulai diproses menggunakan *software Surface Wave Analysis Wizard* sehingga diperoleh kurva dispersi.
- Melakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *software WaveEq*.
- Dari profil kecepatan gelombang geser diperoleh nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan kedalaman lapisan ( $h$ ).
- Menentukan nilai kecepatan gelombang primer atau gelombang kompresi ( $V_p$ ) dengan menggunakan persamaan 1
- Menentukan nilai modulus geser ( $G$ ), modulus elastisitas ( $E$ ), dan  $V_{s30}$  setiap

lintasan, dengan menggunakan persamaan 2, 4, dan 5.

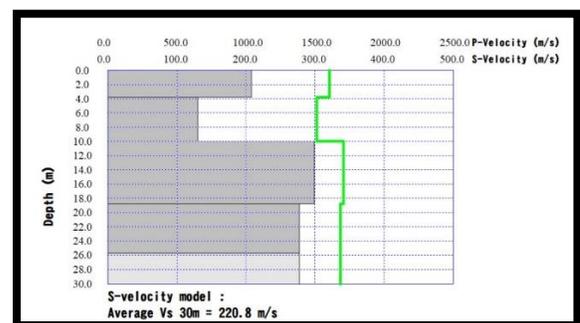
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil kecepatan gelombang geser yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada setiap lintasan memiliki jenis batuan bawah permukaan yang sama hingga kedalaman 30 m, akan tetapi pada setiap lapisan memiliki nilai kecepatan gelombang seismik yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan adanya perbedaan densitas batuan sehingga kecepatan gelombang yang dimiliki juga berbeda. Semakin besar densitas batuan maka semakin rapat atau kompak batuan tersebut, sehingga kecepatan gelombang akan cenderung membesar. Nilai kecepatan gelombang yang diperoleh digunakan untuk menentukan parameter-parameter dinamika tanah. Parameter tersebut adalah  $V_{s30}$ , modulus geser, dan modulus elastisitas. Profil kecepatan gelombang geser pada setiap Lintasan yang ditunjukkan pada Gambar 2 sampai Gambar 6.



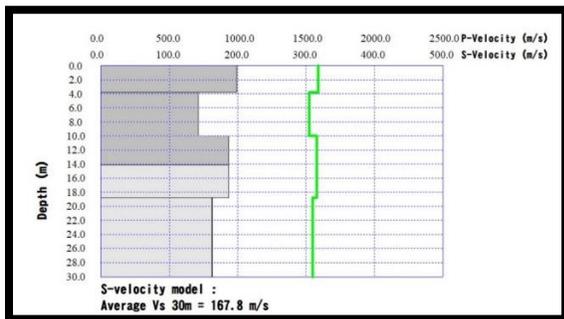
Gambar 2. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-1

Berdasarkan Gambar 2 profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-1 menunjukkan bahwa nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 150.7 - 193 m/s dan gelombang kompresi berkisar antara 1534.81 - 1583.88 m/s yang ditandai dengan garis hijau pada gambar. Berdasarkan kecepatan gelombang geser dan kecepatan gelombang kompresi untuk lapisan pertama hingga kelima didominasi oleh aluvium dari permukaan hingga kedalaman 30 m.



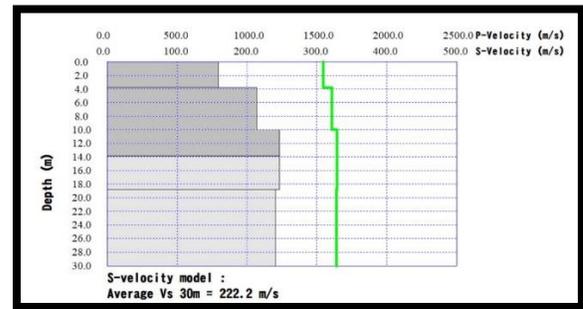
Gambar 3. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-2

Gambar 3 menunjukkan profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-2, hasil interpretasi data diperoleh nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 130 - 298.9 m/s dan kecepatan gelombang kompresi berkisar antara 1510.8 - 1706.72 m/s. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dan kecepatan gelombang primer pada lapisan pertama hingga lapisan kelima didominasi oleh aluvium dari permukaan tanah hingga kedalaman 30 m.



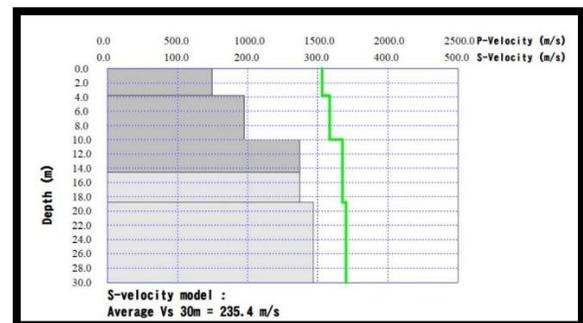
Gambar 4. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-3

Gambar 4 merupakan profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-3. Hasil interpretasi yang diperoleh pada Lintasan-3 menunjukkan nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 142.4 - 198 m/s dan kecepatan gelombang kompresi berkisar antara 1525.18 - 1589.68 m/s. Berdasarkan nilai tersebut pada lapisan pertama hingga kelima didominasi oleh aluvium dari permukaan hingga kedalaman 30 m.



Gambar 5. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-4

Gambar 5 merupakan profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-4. Hasil interpretasi data yang diperoleh nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 159.1 - 246 m/s dan kecepatan gelombang kompresi berkisar antara 1544.56 - 1645.36 m/s. Berdasarkan hasil tersebut, pada lapisan pertama hingga kelima didominasi oleh aluvium dari permukaan tanah hingga kedalaman 30 m.



Gambar 6. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-5

Gambar 6 merupakan profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan-5. Hasil

interpretasi data diperoleh pada nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 149.1 - 293.6 m/s dan kecepatan gelombang kompresi berkisar antara 1532.96 - 1700.58 m/s. Berdasarkan hasil yang diperoleh, pada lapisan pertama hingga kelima diduga didominasi oleh aluvium dari permukaan tanah hingga kedalaman 30 m.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Desa Sedoa merupakan daerah dengan lapisan tanah berupa aluvium yaitu lempung bercampur pasir. Hasil yang diperoleh sesuai dengan kondisi geologi pada titik-titik pengambilan data yang merupakan endapan danau dengan batuan penyusun berupa lempung, lanau, pasir dan kerikil.

Kecepatan gelombang berbanding lurus dengan parameter dinamika tanah. Semakin rendah kecepatan gelombang maka semakin rendah pula parameter dinamika tanahnya. Sedangkan semakin rendah parameter dinamika tanah maka semakin tinggi tingkat kerawanan terhadap kerusakan pada saat terjadi gempa. Daerah ini sangat rentan terhadap kerusakan, dengan parameter dinamika tanah yang rendah yaitu modulus geser berkisar antara 54.82 - 102.05 N/m<sup>2</sup> dan modulus elastisitas berkisar antara

163.78 - 303.94 N/m<sup>2</sup>. Parameter dinamika tanah yang paling rendah yaitu di lapangan (Lintasan-3) dan di sekolah (Lintasan-1). Bangunan di sekitar lapangan yang mengalami kerusakan parah yaitu gereja. Saat ini gereja tersebut sudah diruntuhkan dan dibangun kembali. Sedangkan bangunan sekolah pada Lintasan-1 mengalami kerusakan parah, bangunan tersebut hancur dan tidak bisa digunakan lagi. Namun saat ini bangunan sekolah sudah dibangun kembali dan sudah bisa digunakan, tetapi puing-puing bangunan lama masih ada dan belum seluruhnya diruntuhkan. Daerah dengan parameter dinamika tanah tertinggi yaitu di sekitar kantor BPD (Lintasan-2). Bangunan kantor BPD juga mengalami kerusakan, namun kerusakan yang ditimbulkan tidak sampai meruntuhkan bangunan tersebut. Daerah yang memiliki parameter dinamika tanah yang cukup tinggi juga terdapat di sekitar kebun warga yaitu pada Lintasan-4 dan Lintasan-5, namun daerah ini tidak memiliki bangunan sehingga tidak terlihat kerusakan yang signifikan pada daerah tersebut.

Daerah dengan kecepatan gelombang yang rendah sangat mudah terdeformasi saat terjadi gempa. Gempabumi memicu gaya

dinamik khususnya gaya geser yang dapat mendeformasi batuan sehingga mengurangi kekakuan tanah. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser maka akan semakin besar juga nilai kekakuan tanah atau semakin keras dan padat. Kekakuan tanah yang rendah akan mengakibatkan likuifaksi, amblesan tanah atau bangunan yang berada di daerah sekitar runtuh bila terjadi gempa bumi.

Kecepatan gelombang geser juga sangat berpengaruh dalam penentuan  $V_{S30}$ . Dengan kecepatan gelombang geser yang rendah, nilai  $V_{S30}$  yang dihasilkan juga rendah. Berdasarkan  $V_{S30}$  lokasi penelitian diklasifikasikan kedalam jenis tanah sedang dan lunak. Tanah sedang yaitu pada Lintasan-1, Lintasan-2, Lintasan-4, dan Lintasan-5, sedangkan tanah lunak terdapat pada Lintasan-3. Sama halnya dengan modulus geser dan modulus elastisitas, daerah yang memiliki tingkat kerawanan terhadap kerusakan akibat gempa bumi terdapat pada Lintasan-3 yaitu jenis tanah lunak. Gempa cenderung membesar pada tanah lunak dibandingkan pada tanah keras. Tanah lunak akan memberikan respon getaran yang lebih tinggi ketika gempa bumi terjadi. Semakin rendah nilai  $V_{S30}$  semakin

rentan kerusakan yang dialami pada daerah tersebut. Selanjutnya untuk kepentingan geoteknik dalam pendirian gedung atau pemukiman, lapisan tanah sedang perlu dilakukan rekayasa geoteknik. Rekayasa dilakukan untuk memperkeras batuan agar dapat digunakan sebagai dasar bangunan dengan cara memadatkan lapisan tanah tersebut.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan interpretasi data diperoleh kesimpulan sebagai berikut; Interpretasi nilai  $V_{S30}$  yang diperoleh menunjukkan bahwa lokasi penelitian diklasifikasikan kedalam tipe batuan D dan tipe batuan E. Tipe batuan D yaitu termasuk jenis tanah sedang dengan nilai berkisar antara 180.5 - 235.4 m/s dan tipe batuan E yaitu jenis tanah lunak dengan nilai 167.8 m/s. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dan kecepatan gelombang primer atau gelombang kompresi, lokasi penelitian didominasi oleh Aluvium dengan modulus geser berkisar antara 54.82 - 102.05  $N/m^2$  dan modulus elastisitas berkisar antara 163.78 - 303.94  $N/m^2$ . Berdasarkan parameter dinamika tanah yang diperoleh, pada daerah penelitian memiliki tingkat elastisitas yang rendah sehingga

daerah tersebut sangat rentan terhadap guncangan gempa bumi.

### Saran

1. Penentuan parameter dinamika tanah menggunakan metode refraksi mikrotremor sebaiknya dilakukan dengan titik-titik ukur pengambilan data yang lebih banyak dan lebih rapat pada lokasi ini agar memperoleh hasil yang akurat.
2. Penelitian ini merupakan salah satu penanggulangan bencana gempa bumi, hasil penelitian yang diperoleh dijadikan referensi rujukan dalam perencanaan bangunan tahan gempa bagi warga maupun pemerintah setempat.
3. Manfaat penelitian bagi masyarakat setempat yaitu dapat menambah wawasan mengenai kondisi daerah setempat, dan dapat dijadikan referensi dalam pembangunan kembali Desa Sedoa.

### DAFTAR PUSTAKA

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2017). Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempabumi Barat Laut Poso Sulawesi Tengah. BMKG. Jakarta

Dowrick, David J. (2003). Earthquake Risk Reduction. New Zealand: Institute of

Geological and Nuclear Science Lower Hutt. Hal. 15-24

Edwiza., dkk. (2008). Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil dan Program Studi Fisika Universitas Andalas. Kalimantan

FEMA 302. (1997). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Washington, D.C. National Institut of Building Sciences

Roser, J., dan Gosar, A. (2010). Determination of  $V_{s30}$  for Seismic Ground Classifations In The Ljublana Area. Slovenia: Acta Geotechnica Slovenia.

Soebowo E, dkk. (2009). Geologi bawah Permukaan Kaitannya Dengan Potensi Likuifaksi Di Daerah Bengkulu. Majalah Geologi Indonesia. Ikatan Ahli Geologi Indonesia. Bandung.

Stokoe II, *et al.* (2004). *Shear Wave Velocity Profiling by the SASW Method at Selected Strong-Motion Stations in Turkey*. University of Texas at Austin.

Supartoyo dan Surono. (2008). Katalog Gempa Bumi Merusak di Indonesia Tahun 1629-2007. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

Sutopo, dkk (2009). Studi modulus elastisitas (modulus young) untuk karakterisasi berbagai jenis batubara berdasarkan analisis kecepatan

gelombang. Jurnal Penelitian Sains,  
12 (2B), 12203-1 12203-5.

Tezcan,S.S. (2007). Seismic Technique to  
Determine The Allowable Bearing  
Pressure For Shallow Fondation In  
Soil And Rock. Acta Geophysica  
57(2).

Tosaya, C.A., (1982). Acoustical Properties  
of Clay Bearing Rocks : PhD. Thesis.  
Stanford Univ

Wangsadinata, W. (2006). Perencana  
Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan  
SNI 1726-2002. Jakarta: Shortcourse  
HAKI.