

STRUKTUR KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s) DI DAERAH RAWAN GERAKAN TANAH (LONGSOR) JALAN LINTAS KABUPATEN BENGKULU TENGAH-KEPAHIANG

Nanang Sugianto* dan Refrizon

Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu
*nanang.s@unib.ac.id

Received 17-05-2020, Revised 21-02-2021, Accepted 15-08-2021, Published 01-10-2021

ABSTRACT

Shear wave velocity (V_s) structure at along of Central Bengkulu-Kepahiang crossline has been mapped. This research aims to identify the subsurface structure and to estimate the constituent material type of rock in landslide-prone areas (Central Bengkulu-Kepahiang crossline). Shear wave velocity structure on each site is obtained by the HVSR-inversion of 146 microtremor data (ambient noise recording of seismometer). V_s structure at the line mapped from the surface until to 30 meters of the depth. Groups of V_s are identified in class E ($V_s < 180$), Class D ($180 \leq V_s < 360$), Class C ($360 \leq V_s < 760$), and Class B ($760 \leq V_s < 1500$). The subsurface structure at the depth of 0 to 10 meters are dominated by stiff soil, very dense soil, and soft rock which has highly fractured and weathered rock properties. At the depth of 15 meters to 30 meters, the subsurface structure is dominated by hard rock but it is high potential or easy to fracturing and weathering like the properties of the rocks in areas that have landslides in the past. Based on V_s value, rock constituent materials are deposition of sand, clay, gravel and alluvium ranging from soft to relatively hard structures at the depth.

Keywords: landslides, microtremor, shear wave velocity, subsurface structure.

ABSTRAK

Struktur kecepatan gelombang geser (V_s) di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang telah dipetakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi struktur batuan bawah permukaan dan mengestimasi material penyusun batuan di daerah rawan longsor (jalan lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang). Struktur kecepatan gelombang geser di tiap titik pengukuran diperoleh dengan inversi HVSR dari 146 data microtremor (rekaman kebisingan getaran alamiah tanah dari seismometer). Struktur V_s di sepanjang jalur lintas dipetakan dari permukaan hingga kedalaman 30 meter. kelompok nilai V_s yang teridentifikasi adalah kelas E ($V_s < 180$), kelas D ($180 \leq V_s < 360$), kelas C ($360 \leq V_s < 760$), and kelas B ($760 \leq V_s < 1500$). Struktur batuan bawah permukaan dari permukaan hingga kedalaman 10 meter didominasi oleh tanah kaku, tanah sangat padat dan batuan lunak yang memiliki sifat mudah retak dan lapuk. Pada kedalaman 15 meter hingga 30 meter, struktur batuan bawah permukaan mulai didominasi oleh batuan keras tetapi juga masih bersifat potensial tinggi atau mudah mengalami perekahan dan pelapukan seperti sifat batuan di daerah yang pernah mengalami longsor pada masa lalu. Berdasarkan nilai V_s , material penyusun batuan adalah endapan pasir, lempung, *gravel* dan alluvium yang struktur batumannya berubah dari lunak hingga ke struktur yang relatif keras terhadap kedalaman.

Kata kunci: longsor, mikro-tremor, kecepatan gelombang geser, struktur batuan bawah permukaan.

PENDAHULUAN

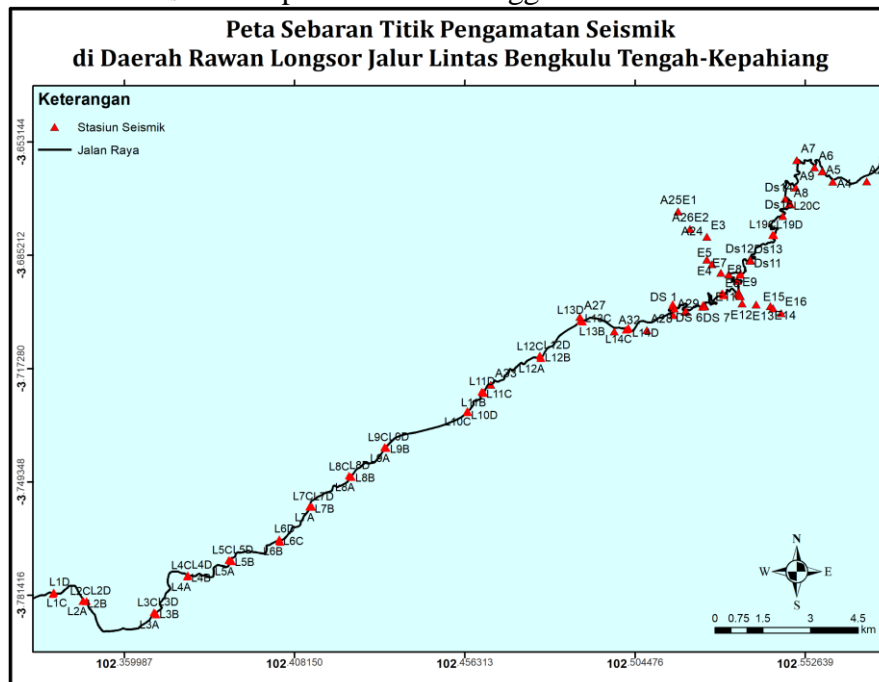
BPBD Provinsi Bengkulu mencatat bahwa selama 10 tahun terakhir (2008-2018) Bengkulu mengalami bencana longsor sebanyak 33 kejadian. Rata-rata kejadian longsor di Bengkulu terjadi di jalur lintas pegunungan Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang^[1]. Jalan lintas ini merupakan jalur lintas penting yang menghubungkan wilayah antar kabupaten dan menghubungkan Provinsi Bengkulu dengan provinsi lainnya dari arah timur. Jalan lintas ini memiliki tingkat kelerengan landai hingga curam^[2]. Berdasarkan data *Digital Elevation Model (DEM)*, topografi di jalur lintas Bengkulu Tengah-Kepahiang berada pada elevasi 96 sampai 880 mdpl^[3]. Selain kondisi topografi, di sepanjang jalur lintas ini memiliki tingkat curah hujan yang tinggi rata-rata 235-280 mm/tahun^[3] dan memperbesar potensi terjadinya gerakan tanah atau longsor.

Tanah longsor adalah suatu peristiwa geologi dimana terjadi pergerakan tanah seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah yang bergerak ke bawah atau ke luar lereng. Tanah longsor terjadi apabila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari pada gaya penahannya. Gaya penahan pada umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, beban, dan berat jenis batuan. Struktur geologi seperti sesar, kekar, perlapisan batuan dan foliasi juga mengontrol terjadinya longsor, karena dengan keberadaan struktur tersebut akan memudahkan air masuk ke dalam tanah atau batuan yang mengakibatkan bertambahnya beban massa material penyusun lereng dan juga akan mempercepat terjadinya proses pelapukan sehingga keberadaan struktur geologi ini akan mengurangi kekuatan batuan^[4]. Faktor pendukung lain yang menyebabkan terjadinya longsor adalah curah hujan, gempa bumi dan keadaan vegetasi hutan atau lahan^[5,6].

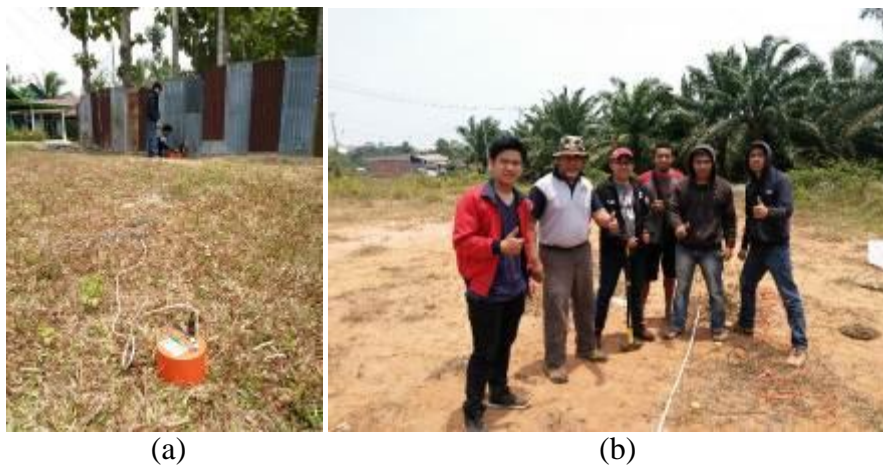
Berdasarkan nilai Indeks Kerentanan Seismik atau *Seismic Vulnerability Index*, kondisi tanah atau batuan di daerah rawan gerakan tanah jalur lintas pegunungan Bengkulu Tengah-Kepahiang adalah berstruktur lunak, lemah, dan tidak stabil^[3]. Menurut Nakamura (2000)^[7], karakteristik geologi di suatu area dapat diperoleh melalui survei *microtremor* yaitu analisis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* atau *HVSR*. Analisis *HVSR* adalah salah satu teknik yang paling mudah dan paling murah untuk mengetahui struktur lapisan bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Struktur lapisan batuan bawah permukaan lebih spesifik dapat digambarkan dengan variasi kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity*)^[8,9,10,11] yang dapat diperoleh dari *forward computation* and inversi *H/V spectral ratio* atau *HVSR* data mikrotemor^[12]. Batuan yang memiliki sifat keras, kompak dan massif seperti batuan beku akan memiliki nilai faktor kerawanan longsor yang rendah. Sementara batuan yang cenderung bersifat lunak, tidak solid dan mudah terkikis seperti batuan lempung, batu lanau dan serpih akan memiliki faktor kerawanan longsor yang tinggi^[13]. Identifikasi struktur batuan bawah permukaan di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang belum pernah dilakukan namun penting untuk dilakukan karena berdasarkan riwayat kejadian longsor di Provinsi Bengkulu fenomena longsor tidak hanya terjadi di Kawasan pegunungan melainkan juga terjadi di beberapa titik lainnya. Tujuan penelitian ini adalah memetakan struktur kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap fungsi kedalaman untuk menggambarkan struktur lapisan batuan bawah permukaan dan mengestimasi jenis material penyusun batuan serta hubungannya terhadap risiko bencana gerakan tanah (longsor) di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang.

METODE

Penelitian ini mengungkapkan struktur kecepatan gelombang geser (V_s) atau struktur bawah permukaan sepanjang Jalan Lintas Bengkulu Kepahiang berdasarkan pengukuran dan inversi data mikrotremor. Lokasi penelitian secara geografis terletak antara $101^{\circ} 32'$ – $102^{\circ} 8'$ BT dan $2^{\circ} 5'$ – 4° LS. Pengambilan data mikrotremor di setiap titik dilakukan selama ± 40 menit perekaman sebanyak 146 titik pengukuran di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang Gambar 1. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set *Seismometer Portable Short Period* yaitu *Seismometer PASI Mod Gemini 2 Sn-1405* untuk merekam *ambient noise* tanah (Gambar 2). Data rekaman seismometer diolah dengan *software Geopsy* untuk mendapatkan kurva H/V (Gambar 2a) yang kemudian disimpan dalam format *.hv. File ini digunakan sebagai inputan untuk proses inversi selain data *Cone penetration Test* (CPT) dalam mendapatkan profil 1D variasi nilai V_s terhadap kedalaman menggunakan *HvInvers*.



Gambar 1. Kenampakan peta dasar dan sebaran titik pengamatan seismik di daerah rawan longsor jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang



Gambar 2. (a) Proses perekaman *ambient noise* menggunakan seismometer. (b) Dokumentasi tim penelitian

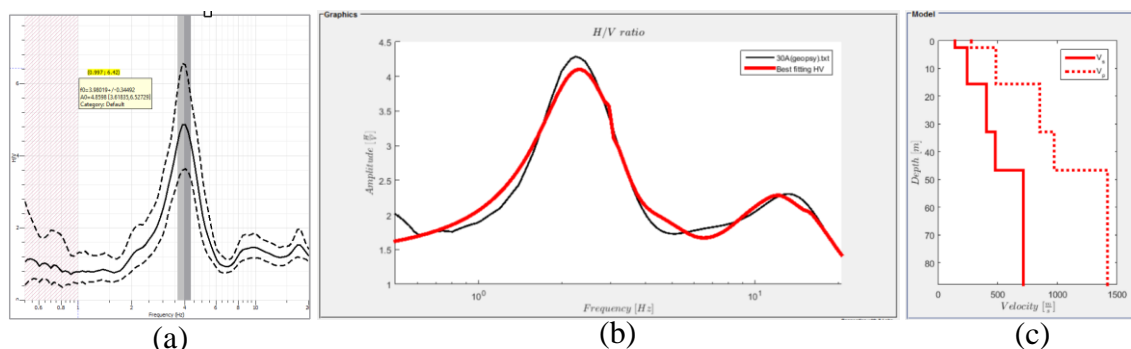
Inversi HVSR baru-baru ini populer menggunakan prinsip yang dikembangkan oleh Garcia Jerez, dkk (2016)^[12]. *HV-Inv* adalah aplikasi komputer berbasis MATLAB (*HVInv Beta*) yang digunakan untuk mengestimasi dan memodelkan struktur bawah permukaan dengan menggunakan prinsip penyelesaian *Monte Carlo (MC)*. Model dibangun dengan menyesuaikan 5 parameter fisika, yaitu ketebalan, kecepatan gelombang tekan (V_p), kecepatan gelombang geser (V_s), densitas tanah (ρ), dan poisson ratio (σ) yang diperoleh dari pengukuran cone penetration test (CPT). Setiap parameter diperhitungkan dari nilai minimum sampai maksimum. Pencarian kombinasi *MC* dimulai dari model awal yang parameternya diinputkan sesuai dengan informasi tersedia. Parameter ini dihitung secara iterative sampai kurva H/V (Gambar 2a) cocok dengan kurva H/V terukur^[3] seperti yang terlihat pada Gambar 2b. Algoritma inversi HVRS ini didasarkan pada kombinasi *MC* untuk menemukan model dengan meminimalkan ketidakcocokan (*misfit*) seperti pada Persamaan 1^[9].

$$m = \sum_i \{ [HVSR_{OBS}(f_i) - HVSR_{THE}(f_i)] W_i \}^2 \quad (1)$$

$HVSR_{OBS}$ adalah *HVSR* observasi, $HVSR_{THE}$ adalah *HVSR* teoritis, dan m adalah fungsi error (*misfit*) serta W_i adalah pembobotan yang didefinisikan seperti pada Persamaan 2.

$$W_i = [HVSR_{OBS}(f_i)]^E, E \geq 0 \quad (2)$$

Profil kecepatan gelombang geser V_s ditunjukkan pada Gambar 2c. Nilai V_s di sepanjang jalan Lintas Bengkulu Kepahiang tersebut disatukan dan diinterpretasikan ke dalam peta spasial 2D dengan kelompok kedalaman 0, 2, 5, 8, 10, 15, 20, 25 dan 30 meter. analisis struktur nilai V_s berpedoman pada tabel NEHRP^[14] tentang hubungan nilai V_s dengan kelas situs dan dugaan struktur lapisan batuan (tingkat kekerasan batuan) serta karakteristiknya. Sementara analisa jenis material penyusun batuan didasarkan pada tabel tipe nilai V_s untuk berbagai jenis material^[15] Semakin rendah kecepatan gelombang geser maka semakin lunak batuan, dan sebaliknya.



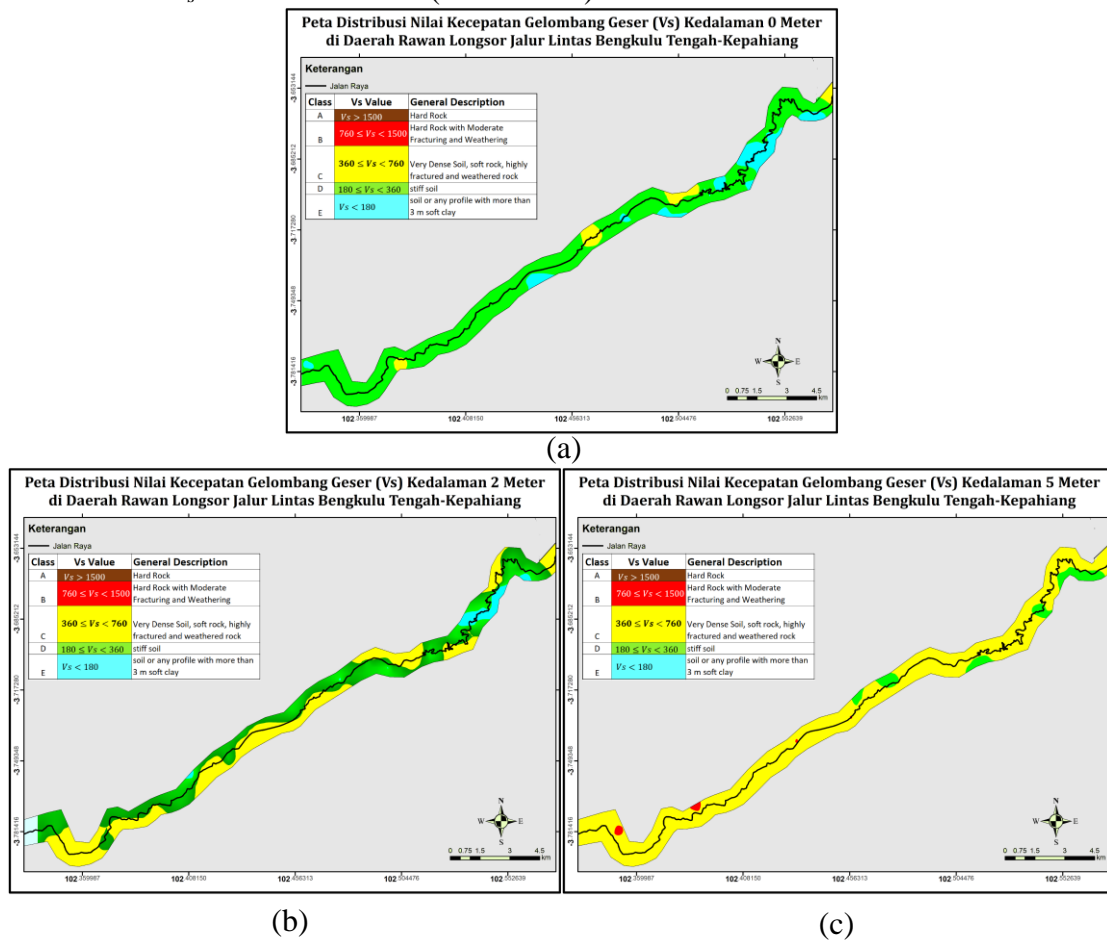
Gambar 2. Inversi HVSR. (a) Kurva *HVSR* dari data microtremor. (b) grafik pencocokan terbaik kurva *hv* terukur dan *hv* terhitung dengan *misfit* terkecil. (c) profil 1D nilai V_s terhadap kedalaman

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai kecepatan gelombang geser (V_s) batuan di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah – Kepahiang telah dikelompokkan berdasarkan tabel *site classification*^[14]. Kelompok nilai V_s tersebut adalah kelas E ($V_s < 180$), Kelas D ($180 \leq V_s < 360$), Kelas C ($360 \leq V_s < 760$), Kelas B ($760 \leq V_s < 1500$), Kelas A ($V_s > 1500$). Masing-

masing kelompok nilai diinterpretasikan ke dalam peta kontur warna secara berturut warna biru, hijau, kuning, merah, dan coklat. Peta spasial 2D distribusi nilai V_s di jalur lintas Bengkulu Tengah-Kepahiang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Gambar 3 adalah gambaran distribusi nilai V_s di jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang pada kedalaman 0 meter, 2 meter dan 5 meter. Ketiga kelompok kedalaman ini tergolong pada kedalaman dangkal. Hal yang menarik pada Gambar 2 adalah belum teridentifikasi batuan keras pada kedalaman 0 meter hingga 5 meter. Kelompok nilai V_s pada kedalaman 0 hingga 5 meter didominasi kontur hijau dan kuning yang merupakan batuan bawah permukaan dengan struktur *stiff soil*, *very dense soil*, *soft rock* yang memiliki sifat *highly fractured* dan *weathered rock*. Beberapa wilayah juga terdeteksi memiliki nilai V_s dibawah 180 m/s (kontur biru).

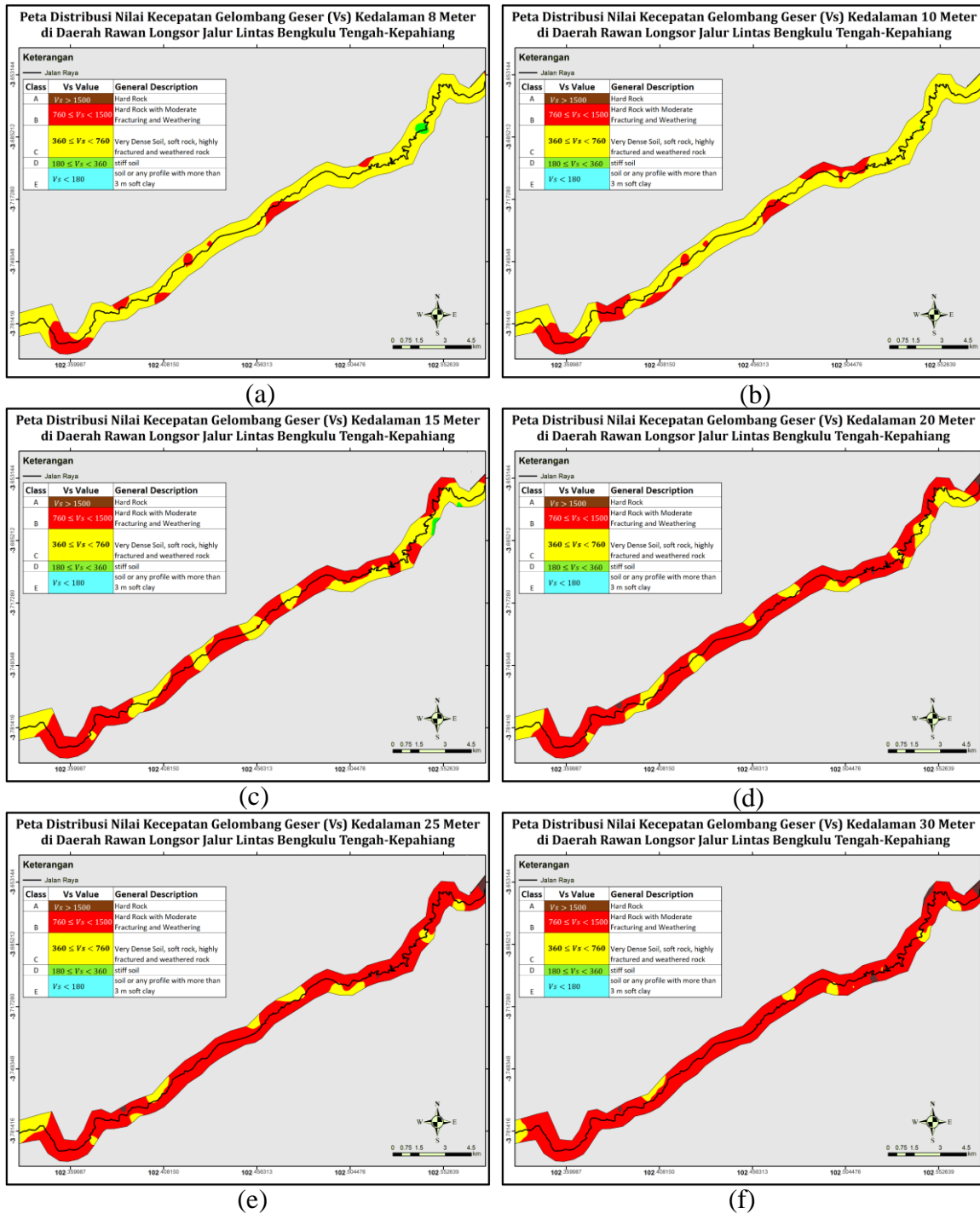


Gambar 3. stratigrafi nilai V_s di jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang pada kedalaman (a) 0 meter, (b) 2 meter dan (c) 5 meter.

Diribusi nilai V_s berikutnya adalah pada kedalaman 8 meter, 10 meter, 15 meter, 20 meter, 25 meter dan 30 meter (Gambar 4). Kedalaman 8 meter dan 10 meter masih didominasi oleh kontur warna kuning yang merupakan batuan dengan struktur *stiff soil*, *very dense soil*, *soft rock* yang memiliki sifat *highly fractured* dan *weathered rock*. Sementara pada kedalaman 15 meter hingga 30 meter struktur bawah permukaan mulai di dominasi kontur warna merah yang merupakan *hard rock* (batuan keras) dengan sifat batuan yang masih berpotensi atau mudah mengalami *fracturing* dan *weathering*.

Berdasarkan sebaran struktur nilai V_s , struktur lapisan batuan bawah permukaan di jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang bervariasi dari permukaan hingga

kedalaman 30 meter. Bagian permukaan struktur batuan cenderung lebih lunak. Semakin besar kedalamannya, struktur batuan semakin keras. Struktur batuan yang lebih lunak umumnya mudah mengalami kerusakan dibandingkan batuan yang bestruktur lebih keras^[16]. Meskipun struktur batuan bawah permukaan pada kedalaman 15 hingga 30 meter diperkirakan adalah batuan keras, tetapi sifat dari batuan keras ini masih berpotensi atau masih mudah mengalami *fracturing* dan *weathering* yang kejadiannya serupa dengan kejadian gerakan tanah atau longsor.



Gambar 4. Distribusi nilai V_s di jalur lintas Bengkulu Tengah-Kepahiang pada kedalaman 8 meter hingga 30 meter.

Berdasarkan nilai V_s , Material penyusun batuan di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tegah Kepahiang hingga kedalaman 30 meter diperkirakan adalah endapan

pasir, lempung, *gravel* dan *alluvium* dengan struktur lunak dibagian permukaan dan relatif semakin keras (solid) dengan bertambahnya kedalaman. Keempat material penyusun batuan ini cenderung memiliki sifat urai dan lepas^[17] serta merupakan material yang tidak terkonsolidasi, memiliki pori yang cukup banyak antar butirannya dan merupakan hasil dari hancuran struktur batuan utama pada zona pelapukan^[18]. Material penyusun batuan yang bersifat lepas umumnya mudah mengalami likuifaksi^[19]. Ketika air terakumulasi di dalam lapisan batuan yang berifat urai ini, nilai kohesifitas batuan cenderung berkurang sehingga mudah lepas dari posisi kesetimbangannya akibat bertambah gaya dorong batuan mengikuti kemiringan lereng yang curam. Tipe longsor yang mungkin terjadi pada daerah dengan kondisi geologi seperti ini adalah longsor aliran (translasi). Jenis material penyusun batuan berdasarkan nilai V_s bersesuaian dengan jenis tanah yang sering dijumpai di lapangan pada kejadian longsor yang pernah terjadi di masa lampau. Selain kondisi geologi, tingkat kerawanan gerakan tanah atau longsor juga bergantung pada kemiringan lereng, vegetasi pada lereng, stabilitas lereng dan tingkat curah hujan. Berdasarkan observasi visual, di sepanjang jalur lintas Bengkulu Tengah-Kepahiang teridentifikasi tiga desa rawan terhadap longsor, yaitu Desa Talang Empat, Desa Bajak I dan Desa Taba Teret (Gambar 5). Ketiga desa ini berada pada Kecamatan Taba Penanjung. Sudut kemiringan lereng rata-rata lebih dari 40° . Stabilitas dan gaya penahan lereng menjadi perhatian penting untuk dikaji berikutnya.



Gambar 5. Hasil observasi visual lokasi-lokasi rawan gerakan tanah di Kecamatan Taba Penanjung (jalur lintas Bengkulu Tengah-Kepahiang).

KESIMPULAN

Berdasarkan distribusi nilai V_s , struktur batuan di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang hingga kedalaman 30 meter berstruktur lunak pada bagian permukaan dan relatif semakin keras dengan bertambahnya kedalaman. Pada kedalaman 0 hingga 5 meter didominasi oleh struktur *stiff soil*, *very dense soil*, *soft rock* yang memiliki sifat *highly fractured* dan *weathered rock* sementara pada kedalaman 15 meter hingga 30 meter struktur bawah permukaan mulai di dominasi *hard rock* (batuan keras) dengan sifat batuan yang masih berpotensi atau mudah mengalami *fracturing* dan *weathering*. Material penyusun batuan diperkirakan adalah *endapan pasir, lempung, gravel* dan *alluvium*. Struktur dan jenis material penyusun batuan bersesuaian dengan kejadian gerakan tanah atau longsor yang terjadi pada masa lampau. Berdasarkan besaran dan interpretasi nilai V_s , di sepanjang jalur lintas Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang rawan terhadap kejadian

longsor. Namun, tingkat kerawanan ini juga bergantung pada sudut kemiringan lereng, vegetasi tumbuhan pada lereng, stabilitas lereng, dan tingkat curah hujan. Berdasarkan observasi visual, beberapa desa diperkirakan rawan terhadap longsor yaitu Desa Talang Empat, Desa Bajak I dan Desa Taba Teret.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh dana PNPB kategori penelitian pembinaan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu Tahun 2019. Terima kasih kepada tim Geofisika Program studi Geofisika dan program studi Fisika FMIPA Universitas Bengkulu

DAFTAR PUSTAKA

- 1 BNPB. 2019. *Trend Kejadian Bencana 10 Tahun Terakhir*. Diakses melalui <http://dibi.bnpb.go.id> pada 14 Februari 2019.
- 2 BNPB. 2010. *Peta Indeks Resiko Bencana Gerakan Tanah Provinsi Bengkulu*. Diakses melalui <http://geospasial.bnpb.go.id/2010/06/22/peta-indeks-risiko-bencana-gerakan-tanah-provinsi-bengkulu/> pada 28 Februari 2019.
- 3 Suhendra, Bahrum, Z. dan Sugianto, N. 2018. Geological Condition at Landslides Potential Area Based on Microtremor Survey. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13.
- 4 Nandi. *Longsor*. Jurusan Pendidikan Geografi. Bandung: FPIPS-UPI. 2007.
- 5 Wuryanta, A. 2004. Identifikasi Tanah Longsor dan Upaya Penanggulangan Studi Kasus di Kulon Progo, Purworejo dan Kebumen. *Prosiding Ekspose BP2TPDAS-IBB*: Surakarta.
- 6 Motamed, R., Ghalandarzadeh, A., Tawhata, I. & Tabatabaei, S. H. 2007. Seismic Microzonation and Damage Assessment of Bam City. Southern Iran: *Journal of Earthquake Engineering*, 11 (1), 110-132.
- 7 Nakamura, Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application. *The 12th World Conference of Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, 30 Jan-4 Feb.
- 8 Arai, H and Tokimatsu H. 2004. S-Wave Velocity Profiling by Microtremor H/V Spectrum. *Amerika: Bulletin of the Seismological of America*, 94 (1).
- 9 Herak, M. 2008. Model HVSR: A Matlab Tool to Model Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise. *Computers and Geosciences*, 34, 1514–1526.
- 10 Mufida, A., Santosa. B.J., Warnana, D.D. 2013. Profiling kecepatan gelombang geser (V_s) Surabaya berdasarkan pengolahan data mikrotremor. *Jurnal sains dan seni pomits*, 2 (2), B_76-B_81.
- 11 Bignardi, S., Mantovani, A., Abu Zeid, M., 2016. OpenHVSR: Imaging the Surface 2D/3D Elastic Properties Through Multiple HVSR Modeling and Inversion. *Computer and Geosciences*, 93 (1), 103-113.
- 12 Garcia-Jerez, A., Pina-Flores, F., Sanchez-Sesma, F.J., Luzon, F., and Pertou, M. 2016. A Computer Code for Forward Computation and Inversion of the H/V spectral Ratio Under the Diffuse Field Assumption. *Computers & Geosciences*, 97(1), 67-78.
- 13 Anbalagan, R. 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation mapping in Mountain Terrain. *Engineering Geology*, 32: 269-277.

- 14 National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP). 1997. Recommended provisions for seismic regulation for new buildings and other structures, edition, Part 1 – provisions, Part 2 – commentary, *International Building Code*, 198, FEMA 302, No.12.
- 15 Milsom, J and Eriksen. 2011. *Field Geophysics Fourth Edition*, PP.216. Cambridge: University Press, London.
- 16 Nakamura, Y. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor. *World Congress on Railway Research: Florence*.
- 17 Nausil, S, Efendi, R, dan Sandra. 2015. Penentuan Struktur Batuan Daerah Rawan Longsor Menggunakan Metode Seismik Mikrotremor di Desa Enu Kecamatan Sindue Kabupaten Dongala. *Gravitasi*, 14 (1), 83-89.
- 18 Wibowo, B. A., Ngadmanto D., Listyaningrum Z., dan Putra, Y. M. K. 2015. Identifikasi Lapisan Rawan Longsor menggunakan Metode Seismik Refraksi Studi Kasus: Kampus Lapangan LIPI Karangsembung. *Prosiding Seminar Nasional Fisika SNF2015*, 4, 19-24.
- 19 Refrizon, Irkhos. & Suhendra, Yenny, S.M. 2015. Studi Site Effect Dengan Indikator Percepatan Getaran Tanah Maksimum, Indeks Kerentanan Seismik, Ground Shear Strain Dan Ketebalan Lapisan Sedimen Di Kecamatan Muara Bangkahulu Kota Bengkulu. *Jurnal Gradien*, 11 (2).