

**PENENTUAN STRUKTUR BATUAN DAERAH RAWAN LONGSOR
MENGUNAKAN METODE SEISMIK MIKROTREMOR DI DESA ENU
KECAMATAN SINDUE KABUPATEN DONGGALA**

Determining the structure of Rock areas land sliding USING SEISMIC MIKROTREMOR in
the Village Enu Sindue, Donggala District

Syamsuddin Nausil¹, Rustan Efendi¹, Sandra¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

Email: echanbusther@gmail.com082191794035

ABSTRAK

Penelitian dengan refraksi mikrotremor telah dilakukan di Desa Enu Kecamatan Sindue Kabupaten Donggala. Metode seismik refraksi mikrotremor merupakan metode yang efektif dan efisien untuk menentukan kecepatan gelombang geser tiap perlapisan batuan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur lapisan batuan yang berpotensi longsor, serta menentukan kedalaman lapisan batuan lapuk. Pengambilan data menggunakan 24 *channel geophone* dengan jarak antar *geophone* 3 meter, sebanyak 3 lintasan. Pengolahan data dilakukan 2 tahap yaitu pertama menggunakan program *Surface Wave Analysis Wizard* untuk mendapatkan hubungan kecepatan fase terhadap fungsi frekuensi dan tahap kedua menggunakan program *WaveEq* untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser (V_s) sebagai fungsi kedalaman (m). Interpretasi dilakukan untuk menduga struktur lapisan geologi di bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan penjalaran gelombang geser. Hasil interpretasi kecepatan gelombang geser ketiga lintasan didapatkan bahwa batuan pada lintasan 1 terdapat pada lapisan ke 3 dengan kedalaman lapisan 12 m dan $V_s = 105$ m/s, pada lintasan 2 terdapat pada lapisan ke 3 dengan kedalaman lapisan 9 m dan $V_s = 80$ m/s, dan pada lintasan 3 terdapat pada lapisan ke 2 dengan kedalaman lapisan 8 m dan $V_s = 105$ m/s. Jenis batuan lapuk yang bertindak sebagai bidang gelincir yaitu granit dan sisipan lempung dengan $V_s = 80$ m/s-105 m/s dan kedalaman 8 m-12 m yang menutupi batugamping.

Kata kunci: refraksi mikrotremor, gelombang geser, batuan dasar (*bedrock*), longsor.

ABSTRACT

The research using refraction of micro-tremor has been conducted in the Village of Enu, District of Sindue, Regency of Donggala. Refraction seismic method of micro-tremor is an effective and efficient method for determining the shear wave velocity of rock bedding. This study aims to determine the structure of the soft soil layers that have the potential landslides as well as determining the value of the depth of each layer. Data taking of used 24 channel geophones which spaced 3 meter between geophones and 3 tracks. Data processing was done in 2 stages: first stage using *Surface Wave Analysis Wizard* program to get phase velocity relation as a function frequency and the second stage using *WaveEq* program to obtain the shear wave velocity (V_s) as a function of depth (m). Interpretation performed to infer the structure of geological layers below the surface based on the value in the medium speed of shear wave propagation velocity. The interpretation results of shear wave velocity for 1-st track is located on the third layer with depth of 12 m and $V_s = 105$ m/s, for 2-nd track is located also on third layer with a depth of 9 m and $V_s = 80$ m/s, and for the 3-rd track is laid on 2-nd layer with a depth of 8 m and $V_s = 105$ m/s. The soft rocks that acts as a sliding plane is granite and clay which covered limestone with $V_s = 80$ m/s-105 m/s and the depth of 8 m-12 m.

Kata kunci: micro-tremor refraction, shear wave, bedrock, landslide.

1. Pendahuluan

Bencana longsor menimbulkan banyak kerugian terutama kemacetan lalu lintas, bagi pengguna jalan daerah setempat maupun dari daerah lain yang akan melewati jalan tersebut. Selain itu juga, bencana longsor dapat menimbulkan dampak negatif jangka panjang seperti hilangnya lapisan tanah (*top soil*) yang subur sehingga produktivitas tanah menurun. Faktor yang menyebabkan gerakan tanah (tanah longsor) adalah topografi kemiringan lereng, keadaan tanah (tekstur, struktur lapisan), curah hujan, gempa bumi dan keadaan vegetasi hutan (Agus Wuryanta, 2004).

Desa Enu terletak di Kecamatan Sindue Kabupaten Donggala Propinsi Sulawesi Tengah, kejadian longsor terjadi hampir setiap tahun di Desa Enu. Keadaan geologi Desa Enu terdiri atas *aluvium* dan endapan pantai dengan material penyusun kerikil, pasir, lumpur, dan batu gamping koral, di samping itu batuan yang terdapat di Desa Enu merupakan batuan kerakal dan bongkah yang berada di lereng tebing sehingga mudah bergerak atau menggelinding. Oleh karena itu, daerah tersebut dipilih sebagai lokasi penelitian untuk mengetahui kedalaman lapisan batuan lapuk yang berada di bawah permukaan tanah/batuan.

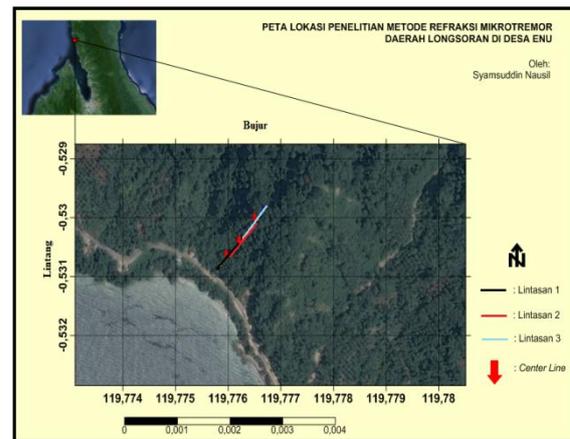
Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode yang ditimbulkan secara aktif atau disengaja dengan menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Ketika gelombang seismik yang menjalar menemui bidang batas antar lapisan, sebagian gelombang ini ada yang direfleksikan (dipantulkan) dan ada juga yang direfraksikan (dibiaskan) kemudian gejala fisisnya diamati dengan menangkap gelombang tersebut melalui *geophone* (Sismanto, 1999). Hal tersebut akan diketahui nilai kecepatan dan kedalaman lapisan berdasarkan penghitungan waktu tempuh gelombang antara sumber getaran (*source*) dan penerima (*geophone*).

Metode seismik refraksi mikrotremor merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur lapisan batuan di bawah permukaan. Metode ini memiliki akurasi dalam mendeteksi lapisan permukaan yang dangkal khususnya lapisan lapuk. Oleh sebab itu, metode ini sangat tepat digunakan untuk mendeteksi lapisan-lapisan lapuk yang rawan dengan longsor. Hal tersebut, menjadi pertimbangan sehingga pada

penelitian ini digunakan untuk penentuan struktur batuan daerah rawan longsor.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini terletak di Desa Enu Kecamatan Sindue Kabupaten Donggala Propinsi Sulawesi Tengah, yang berjarak sekitar ± 45 km dari kota palu dan ditempuh dengan perjalanan darat. Pengukuran terbagi dari 3 lintasan dengan panjang bentangan 72 meter dan jarak antar *geophone* 3 meter. Gambar 1 menunjukkan posisi lintasan seismik mikrotremor di Desa Enu yang menurun ke arah barat.



Gambar 1. Posisi lintasan survai seismik mikrotremor di Enu

Peralatan utama yang digunakan dalam survai terdiri dari *Seismograph PASSI MD 16S24-P*, *geophone cable*, *trigger cable*, sumber arus (*Accu*), *geophone* 24 buah, dan untuk peralatan lainnya antara lain meteran, *Global Positioning System (GPS)*, *software SeisImager (Processing Data)*, peta geologi, dan alat tulis menulis.

Pengukuran data di lapangan dimulai dengan membuat bentangan garis lurus, menentukan jarak antar *geophone* dan menentukan titik *center* dengan memperhatikan kondisi lingkungan, memasang *geophone* dengan interval 3 meter, membentangi bentangan dengan menggunakan kompas dan mengukur posisi *geophone*, menghubungkan semua *geophone* dengan alat utama (seimograf) menggunakan kabel konektor, mengoperasikan alat *Passi MD 16S24-P*, pengambilan data dilakukan dengan cara *passive* yaitu dengan cara membiarkan alat *Passi* bekerja tanpa memberikan gangguan pada *shoot point*, perekaman data berupa penjajaran gelombang di bawah permukaan yang terekam secara otomatis pada alat *passi*.

Dari hasil pengukuran data diatas, kemudian *mendownload* data yang terekam pada alat *Passi MD 16S24-P*, memilih salah satu data rekaman

pada setiap lintasan 1, 2, dan 3 setelah data dipilih, kemudian diproses kedalam program *Surface Wave Analysis Wizard* untuk mendapatkan rekaman gelombang *seismograf*, hasil dari gelombang *seismograf* diproses kembali kedalam program *Surface Wave Analysis Wizard* untuk mendapatkan *Dispersion Curve*, selanjutnya, data di *save* dalam bentuk *file (*.pvs)* proses selanjutnya, menggunakan program *WaveEq* untuk di inversi sehingga mendapatkan profil kecepatan gelombang geser, kemudian menentukan lapisan dengan memperhatikan kecepatan gelombang geser untuk setiap lapisan dan bidang batas lapisan.

Pengolahan data rekaman gelombang tersebut diproses menggunakan program *Surface Wave Analysis Wizard*. Bertujuan untuk mendapatkan kurva dispersi yang merupakan hubungan antara frekuensi dan kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi diperoleh dari fase *Cross Power Spectrum*. Pembuatan kurva dispersi gelombang kecepatan dapat dilakukan dengan cara mengkorelasikan 2 buah gelombang pada fungsi frekuensi yang terdeteksi oleh *geophone* dengan dimensi jarak. Sinyal yang terekam dalam domain waktu kemudian ditransformasikan ke domain frekuensi. Selanjutnya interpretasi bawah permukaan dilakukan berdasarkan harga kecepatan gelombang geser dan tatanan geologi permukaan, dengan tujuan untuk memperoleh geometri bidang batuan lapuk dari kejadian longsor di lokasi penelitian. Model bawah permukaan direkonstruksi menggunakan metode pembalikan (*inverse modeling method*) menggunakan program *WaveEq*. Hasil yang diperoleh dari pemodelan inversi berupa harga kecepatan gelombang geser terhadap struktur perlapisan batuan ditampilkan dalam profil 1-D.

3. Hasil dan Pembahasan

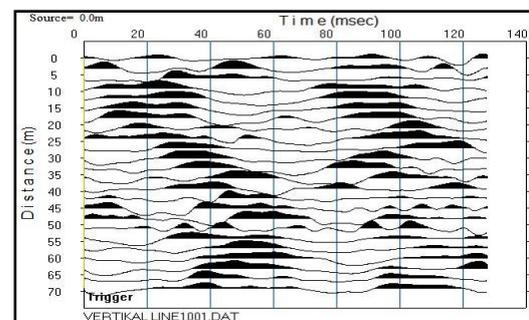
3.1 Geologi Lokasi Penelitian

Kondisi geologi daerah penelitian serta karakteristik gradien lereng memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kejadian longsor. Berdasarkan peta geologi regional lembar palu (Sukanto, dkk., 1973) lokasi penelitian berada pada satuan batuan molasa celebes sarasin dan sarasin (1901) dengan litologi yang umumnya dijumpai di lokasi ialah batupasir, konglomerat, batulempung, dan batugamping, serta satuan aluvium yang berupa endapan pantai seperti material kerikil, pasir kasar, dan lempung. Dari hasil pengamatan geologi permukaan di lokasi penelitian, terdapat granit lapuk yang menjadi batuan dasar. Granit tersebut sudah hampir menyerupai pasir atau batuan urai, sehingga membuat batuan di sekitarnya atau beban di atas batuan lapuk mudah lepas sehingga terjadi

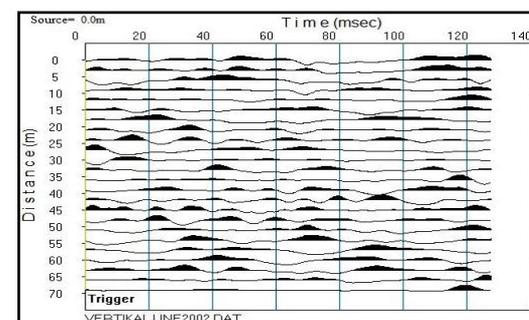
pergerakan tanah. Sifat fisik litologi batuan yang ada di lokasi penelitian bersifat plastis dan urai sehingga diduga memiliki gaya kohesif yang lemah yang dapat meloloskan air, sehingga kapan saja terjadi hujan dengan intensitas tinggi, maka air akan terakumulasi disuatu lapisan bawah permukaan dan dapat sekaligus membawa tanah bergerak mengikuti kemiringan lereng.

3.2 Hasil

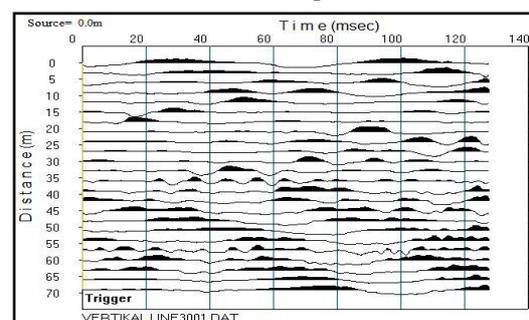
Metode refraksi mikrotremor merupakan metode geofisika yang menggunakan sumber *passive* dari *noise* dekat permukaan. Pengambilan data yang dilakukan dengan cara *passive* yaitu dengan menggunakan sumber gangguan dari alam sebagai sumber energi. Kemudian data yang telah didapatkan merupakan hasil rekaman *geophone*. Data tersebut diperoleh dari tiap konfigurasi pasangan *geophone* dari setiap lintasan hasil perekaman yang ditunjukkan pada Gambar 2– Gambar 4.



Gambar 2. Rekaman data seismik refraksi mikrotremor pada Lintasan 1

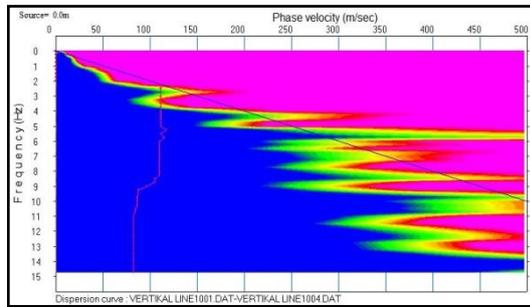


Gambar 3. Rekaman data seismik refraksi mikrotremor pada Lintasan 2

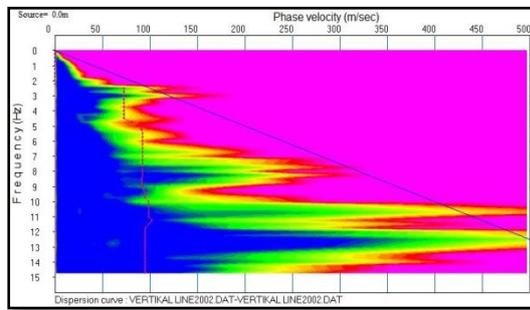


Gambar 4. Rekaman data seismik refraksi mikrotremor pada Lintasan 3

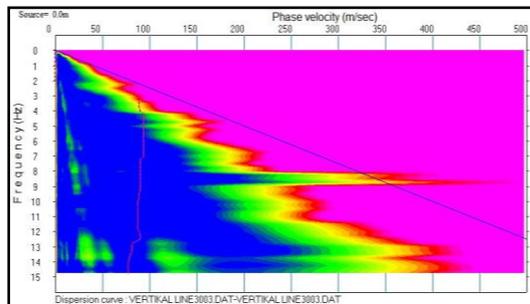
Rekaman dari data seismik dalam domain waktu dan jarak kemudian ditransformasikan ke dalam domain frekuensi terhadap kecepatan fase. Dari hasil transformasi perekaman data kecepatan fase sebagai fungsi dari frekuensi didapatkan fase *cross power spectrum* seperti terlihat pada Gambar 5– Gambar 7.



Gambar 5. Kurva dispersi pada Lintasan 1



Gambar 6. Kurva dispersi pada Lintasan 2



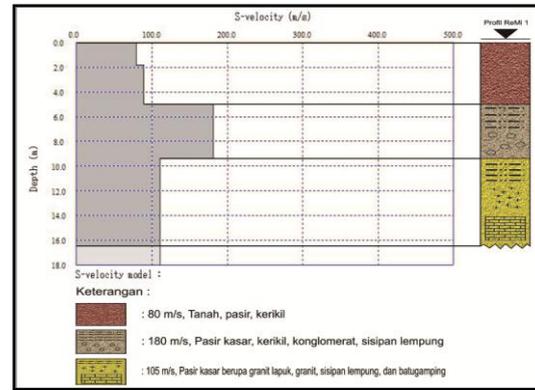
Gambar 7. Kurva dispersi pada Lintasan 3

Berdasarkan pengamatan batuan di lapangan tepatnya pada dinding longsoran terdapat singkapan pasir kasar, konglomerat, dan granit lapuk dengan kemiringan yang cukup curam > 20°. Terlihat kedudukan batuan paling bawah merupakan granit yang diduga bertindak sebagai batuan lapuk yang dapat bertindak sebagai bidang gelincir di lokasi penelitian.

Dalam melakukan interpretasi model bawah permukaan, informasi geologi (batuan) di lapangan akan dijadikan data kontrol. Model 1-D data dari Lintasan 1 diinterpretasikan memiliki 3 struktur pelapisan batuan, untuk Lintasan 2 juga memiliki 3 lapisan, sedangkan Lintasan 3 diinterpretasikan

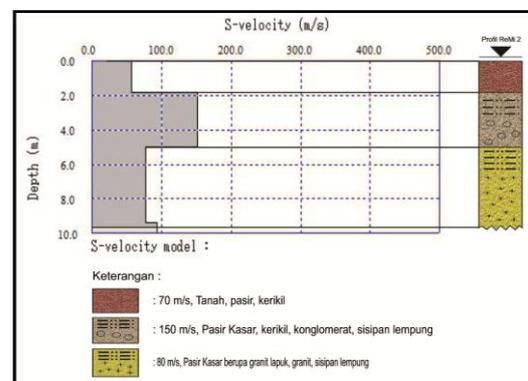
memiliki 2 lapisan berdasarkan gradasi harga kecepatan gelombang geser.

Model 3 lapis tersebut diambil berdasarkan asumsi, bahwa kisaran kedalaman yang memiliki *range* harga kecepatan gelombang yang hampir sama merupakan harga untuk 1 lapisan. Hasil pemodelan profil 1-D bawah permukaan untuk ketiga lintasan ditunjukkan pada Gambar 8– Gambar 10.



Gambar 8. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan 1

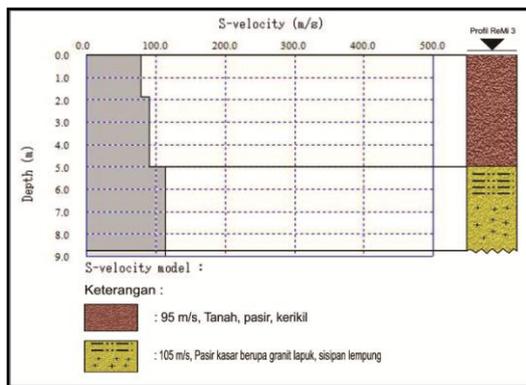
Hasil pemodelan Lintasan 1 menunjukkan total ketebalan yang terdeteksi mencapai 16,5 m dari muka tanah dengan *error* = 7,23%. Pada lapisan pertama memiliki ketebalan $h = 5$ m dengan kecepatan rata-rata gelombang geser $V_s = 80$ m/s yang merupakan tanah, pasir, kerikil kemudian lapisan kedua memiliki $h = 4,7$ m dan $V_s = 180$ m/s diduga merupakan pasir kasar, kerikil, konglomerat, dan sisipan lempung, sedangkan lapisan ketiga merupakan pasir kasar yang merupakan hasil pelapukan granit, sisipan lempung, granit segar serta terdapat batugamping dengan ketebalan lapisan mencapai 6,8 m dengan $V_s = 105$ m/s, yang diduga merupakan batas lapisan batuan lapuk. Hal ini juga diperkuat pada dasar tebing dinding longsoran terdapat singkapan batugamping di bawah lapisan granit lapuk.



Gambar 9. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan 2

Kemudian dari hasil pemodelan Lintasan 2 diinterpretasikan memiliki 3 lapisan dengan total

ketebalan lapisan yang terdeteksi mencapai 9,7 m dengan $error = 7,64\%$. Pada lapisan pertama memiliki ketebalan $h = 1,9$ m dengan kecepatan rata-rata gelombang geser $V_s = 70$ m/s yang tanah, pasir, kerikil. Lapisan ini mulai menipis dibanding Lintasan 1, diduga karena dominasi batuan dengan fragmen besar seperti konglomerat dan granit lapuk mulai menipis di sekitar Lintasan 2 ini. Kemudian lapisan kedua memiliki ketebalan $h = 3,1$ m dan $V_s = 150$ m/s diduga merupakan pasir kasar, kerikil, konglomerat, dan sisipan lempung, sedangkan lapisan ketiga merupakan batas lapisan yang terdeteksi dari data ReMi dengan ketebalan $h = 4,7$ m dengan $V_s = 80$ m/s diduga memiliki sebaran litologi sama dari Lintasan 1 yaitu pasir kasar yang merupakan hasil pelapukan granit, sisipan lempung, granit.



Gambar 10. Profil kecepatan gelombang geser pada Lintasan 2

Berikutnya ialah Lintasan 3 dengan profil 1-D yang diinterpretasikan memiliki 2 lapisan dengan total ketebalan yang terdeteksi mencapai 8,9 m dengan $error = 4\%$. Lapisan pertama yaitu memiliki ketebalan $h = 5$ m dengan $V_s = 95$ m/s diduga merupakan tanah, pasir, kerikil, sedangkan lapisan kedua merupakan hasil pelapukan granit, sisipan lempung, granit dengan ketebalan lapisan mencapai 3,9 m dengan harga kecepatan $V_s = 105$ m/s.

Hasil dari pemodelan secara singkat dari ketiga lintasan berdasarkan geometri, kecepatan gelombang, dan litologi batuan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Interpretasi litologi batuan bawah permukaan berdasarkan harga kecepatan gelombang geser.

Lapisan	d (m)	h (m)	Vs (m/s)	Litologi
Lintasan 1				
1	0-5	5	80	Tanah, pasir, kerikil
2	5-9.7	4.7	180	Pasir kasar, kerikil, konglomerat, sisipan lempung
3	9.7-16.5	6.8	105	Pasir kasar berupa granit lapuk, granit, sisipan lempung, dan batugamping
Lintasan 2				
1	0-1.9	1.9	70	Tanah, pasir, kerikil
2	1.9-5	3.1	150	Pasir kasar, kerikil, konglomerat, sisipan lempung
3	5-9.7	4.7	80	Pasir kasar berupa granit lapuk, granit, sisipan lempung
Lintasan 3				
1	0-5	5	95	Tanah, pasir, kerikil
2	5-8.9	3.9	105	Pasir kasar berupa granit lapuk, granit, sisipan lempung

Keterangan tabel:

- d : Kedalaman (m)
- h : Ketebalan (m)
- V_s : Kecepatan rata-rata gelombang geser (m/s)

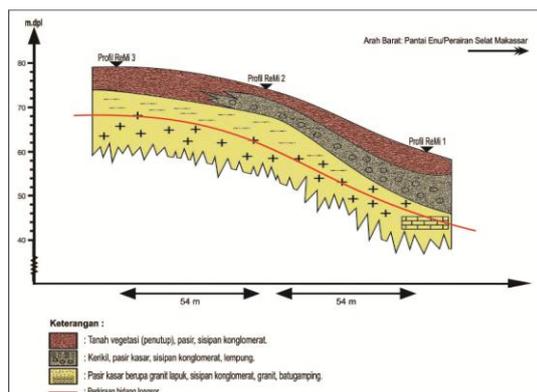
3.3 Pembahasan

Pada umumnya profil batuan bawah permukaan ialah pasir kasar berupa hasil pelapukan granit, kemudian lapisan di bawahnya tetap terdapat sisipan-sisipan konglomerat, lempung, dan granit segar. Kehadiran lempung diduga merupakan hasil asosiasi air meteorik membuat lapisan material urai menjadi lebih halus sehingga terbentuk lempung. Sehingga dapat diduga longoran yang terjadi di lokasi penelitian dipicu oleh komposisi material yang bersifat urai dan lepas.

Dari hasil pengamatan lapangan lapisan lempung tersebut merupakan penutup batugamping yang berdekatan dengan tepi pantai tepatnya di sekitar Lintasan 1, dan bertindak sebagai batuan lapuk serta berselingan dengan granit.

Pada dasarnya batuan lapukstruktur bawah permukaan dapat diketahui dari nilai kecepatan gelombang geser yang tinggi yaitu memiliki

kerapatan ikatan butiran yang kuat. Pada lokasi penelitian batas atas lapisan batuan lapuk diduga terdapat di Lintasan 1 pada lapisan 3 dengan kedalaman 12 m, Lintasan 2 terdapat pada lapisan 3 dengan kedalaman 9 m, dan Lintasan 3 terdapat pada lapisan 2 dengan kedalaman 8 m dari permukaan tanah dengan kisaran nilai kecepatan gelombang geser berkisar 80-105 m/s. Lapisan batuan dasar tersebut memiliki kemiringan yang mengikuti gradien topografi yang semakin ke arah barat atau menuju pantai semakin curam hingga ke tempat ditemukan adanya batugamping (Gambar 11).



Gambar 11. Penampang interpretasi bidang gelincir berdasarkan korelasi profil 1-D data ReMi

Berdasarkan pengamatan geologi dan pemodelan data ReMi untuk ketiga lintasan pasir kasar hasil pelapukan granit lapuk, kerikil, sisipan lempung dan sisipan konglomerat merupakan bahan material yang mendominasi daerah lokasi penelitian yang hanya di sekitar dekat permukaan. Kemudian pendugaan mengenai litologi batuan lapuk yaitu letak dari bidang gelincir di lokasi penelitian ialah granit kemudian sisipan lempung yang menutupi batugamping. Ketika air *metoerik* yang mengalami infiltrasi terakumulasi di lapisan material urai tersebut, kemudian membuat kohesifitas tanah berkurang sehingga air tersebut dapat menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti kemiringan lereng yang cukup curam dan ditambah oleh faktor gravitasi, sehingga membuat lokasi tersebut rentan serta langganannya terjadinya longsor, terutama ketika suplai curah hujan yang tinggi.

Tipe longsor yang ada di lokasi penelitian ialah longsor aliran (translasi). Perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut bergerak ke bawah tanpa ada rekayasa (konstruksi sipil) gaya penahan yang berfungsi.

4. Kesimpulan

1. Struktur lapisan batuan yang berpotensi longsor diduga granit kemudian sisipan lempung yang menutupi batugamping dengan kecepatan gelombang geser yang berkisar 80 m/s-105 m/s.
2. Lapisan batuan lapuk terdapat di Lintasan 1 pada lapisan 3 dengan kedalaman ± 12 m. dengan $V_s = 105$ m/s, Lintasan 2 terdapat pada lapisan 3 dengan kedalaman 9 m. Dengan $V_s = 80$ m/s, dan Lintasan 3 terdapat pada lapisan 2 dengan kedalaman 8 m. dengan $V_s = 105$ m/s, pendugaan litologi batuan untuk ke 3 lapisan diinterpretasikan hampir sama, yaitu terdiri dari pasir kasar, kerikil, granit lapuk, sisipan konglomerat, granit, dan sisipan lempung.

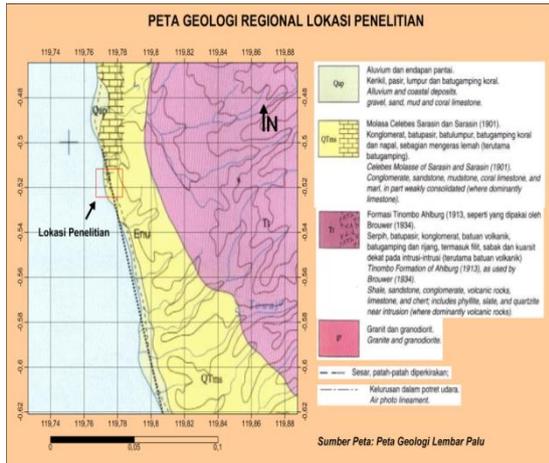
5. Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih khususnya Kepada Dr. Rustan Efendi, M.T., dan Sandra, M.T., yang telah banyak membantu dan memberikan saran kepada Penulis, tak lupa pula kepada teman-teman seperjuangan Angkatan 2007, 2008, 2009. Dan 2010 yang telah banyak membantu dalam penelitian serta dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Daftar Pustaka

- Sarasin, F. & Sarasin, P. 1901, *Entwurf Einer Geologischen Beschreibung Der Insel Celebes*, Wiesbaden, 1901.
- Sismanto, 1999, *Eksplorasi dengan Menggunakan Seismik Refraksi*, Yogyakarta : GajahMada University Press.
- Sukamto, RAB., Sumadirdja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, S., dan Sudana, D., 1973, *Peta Geologi Tinjau Lembar Palu*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tokimatsu, K. 1995, "Geotechnical site characterization using surface waves", In *Proc. 1st Intl. Conf. Earthquake Geotechnical Engineering*, Ishihara (ed), Balkema, 1333-1368.
- Wuryanta, Agus, 2004, *Identifikasi Tanah Longsor dan Upaya Penanggulangan Studi Kasus di Kulon Progo, Purworejo dan Kebumen*, Prosiding Ekspose BP2TPDAS-IBB: Surakarta.

7. Lampiran



Lampiran 1. Peta geologi regional lokasi penelitian



Lampiran 4. Pengoperasian Alat Passi



Lampiran 2. Seismograf Passi MD 16S24P



Lampiran 3. Proses pemasangan geophone