

## PENENTUAN LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE REFRAKSI MIKROTREMOR DI KAMPUS UNIVERSITAS TADULAKO

Sandra Kasim<sup>1</sup>, Joni Loe Talo<sup>1</sup>, Rustan Efendi<sup>1</sup>, Maskur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Tadulako

### ABSTRAK

Telah dilaksanakan penelitian tentang metode refraksi mikrotremor dengan merekam penjalaran gelombang yang terjadi di bawah permukaan. Gelombang geser merupakan salah satu jenis dari gelombang *body* yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur lapisan bawah permukaan, karena 26% energi total yang direkam oleh seismograf ditransmisikan dalam bentuk gelombang geser. Pada medium yang berlapis gelombang geser mempunyai sifat dispersif, kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi. Sifat ini dapat digunakan untuk menentukan struktur lapisan berdasarkan kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman. Proses inversi dilakukan untuk mendapatkan kesamaan antara kurva dispersi dengan model penampang. Hasil proses inversi adalah kecepatan gelombang geser sebagai fungsi kedalaman. Penelitian ini mengidentifikasi dan mengkarakterisasi struktur batuan di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil estimasi nilai kecepatan gelombang geser pada lokasi pertama berkisar antara 121 m/s sampai 461 m/s, untuk lokasi kedua berkisar antara 80 m/s sampai 274,8 m/s, untuk lokasi ketiga berkisar antara 235 m/s sampai 308,5 m/s, untuk lokasi keempat berkisar antara 135 m/s sampai 249 m/s, untuk lokasi kelima berkisar antara 140,5 m/s sampai 264,4 m/s, untuk lokasi keenam berkisar antara 121 m/s sampai 354 m/s, untuk lokasi ketujuh berkisar antara 106 m/s sampai 465 m/s dan untuk lokasi kedelapan berkisar antara 130,8 m/s sampai 286,4 m/s. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser tersebut dapat diindikasikan dari permukaan sampai kedalaman 10,5 meter berupa lempung, pasir, pasir tidak tersaturasi, dan aluvium, dari kedalaman 10,5 meter sampai kedalaman 12,2 meter berupa lempung.

**Kata kunci :** *Refraksi Mikrotremor (ReMi), Gelombang Geser, Struktur Batuan.*

### ABSTRACT

Research has been conducted on microtremor refraction method by recording the wave propagation occurred below the surface. Shear wave is one type of body wave that can be used to identify the subsurface structure, since 26% of total energy recorded by seismographs is transmitted in the form of shear waves. In a layered medium, shear wave has dispersive properties and the phase velocity is a function of frequency. These properties can be used to determine the layer structure based on shear wave velocity versus depth. Inversion process has been done to get the similarity between the dispersion curves and a cross-sectional model. The results of the inversion process are the shear wave velocity as a function of depth. This study identifies and characterizes the structure of rocks in the location study. Based on estimates of the value of the shear wave velocity in the first location with range from 121 m/s to 461 m/s, for the second location with range from 80 m/s to 274,8 m/s, for the third location with range from 235 m/s to 308,5 m/s, for the fourth location with range from 135 m/s to 249 m/s, for the five location with range from 140,5 m/s to 264,4 m/s, for the six location with range from 121 m/s to 354 m/s, for the seven location with range from 106 m/s to 465 m/s and for the eighth location with range from 130,8 m/s to 286,4 m/s. Based on the value of the shear wave velocity, at depth of 10,5 m from surface can be identified as alluvium rock, sandstone, unsaturated sandstone and clay rock, at depth of 10,5 m to 12,2 m as clay rock.

**Keywords :** *Refraction Mikrotremor (Remi), Wave Shear, Stone Structure.*

## 1. Pendahuluan

Pembangunan gedung-gedung di kampus Universitas Tadulako Kota Palu akhir-akhir ini mengalami peningkatan yang sangat pesat. Hal ini merupakan suatu usaha untuk meningkatkan indikator pendidikan dengan dukungan ketersediaan sarana dan prasarana pembangunan yang baik. Lokasi kampus Universitas Tadulako ini terletak di bagian utara Kota Palu yang dilintasi oleh Sesar Palu-Koro, sesar ini merupakan salah satu sesar dengan pergerakan yang cukup aktif (Indra, 2011), dimana batuan penyusunnya didominasi oleh alluvial. Kondisi ini menjadikan bangunan-bangunan yang ada di Kampus Universitas Tadulako Kota Palu rentan terhadap kerusakan yang disebabkan guncangan gempa. (Sriyati, 2011).

Keberadaan Sesar Palu-Koro yang melintasi Kota Palu memberikan dampak pada pembangunan infrastruktur, misalnya seperti gedung-gedung, perumahan dan jalan. Kerusakan bangunan yang ada di Kota Palu juga terlihat pada bangunan yang berada di kawasan kampus Universitas Tadulako. Hal ini kemungkinan disebabkan karena banyak bangunan yang didirikan tanpa mempertimbangkan struktur lapisan bawah permukaan maupun sifat seismisitas (Sriyati, 2011). Berdasarkan uraian pada bagian di atas, dengan pertimbangan bahwa wilayah kampus Universitas Tadulako merupakan wilayah dengan tingkat pembangunan yang relatif tinggi, sehingga diperlukan informasi-informasi struktur bawah permukaan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui struktur lapisan bawah permukaan .

Salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan parameter pemetaan daerah rawan kerusakan akibat gempa bumi (*seismic microzonation*) adalah metode *multi-channel analysis of surface wave* (MASW). Teknik ini dapat digunakan untuk melihat parameter dinamik tanah. Kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), modulus geser (G) dan rasio redaman (D) merupakan karakteristik parameter yang penting dan diperlukan dalam analisis respon dinamik tanah.

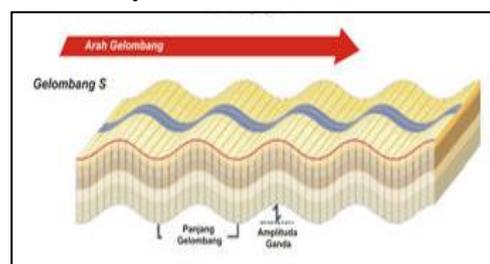
Sifat kekakuan tanah dapat dinilai dari kecepatan gelombang gesernya, dimana keduanya menunjukkan hubungan yang elastik linear. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser maka akan semakin besar

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). Semakin rendah tingkat kejenuhan tanah maka akan semakin tinggi nilai  $V_s$  dan G (Cho dan Santamarina, 2001).

Metode MASW dianggap lebih murah dan mudah dilaksanakan karena metode ini merupakan pengembangan dari metode *spektrum analysis surface wave* (SASW) yang hanya menggunakan sepasang geofon sehingga pemetaan daerah rawan bencana dapat dengan cepat dibuat. Oleh sebab itu pada penelitian ini akan digunakan metode tersebut untuk mengetahui karakteristik batuan.

## 2. Dasar Teori

Gelombang geser mendeformasi batuan dengan mengubah bentuk. Gelombang ini hanya dapat merambat pada padatan saja, sehingga gelombang geser yang melaluinya dapat diteruskan ke permukaan. Gelombang geser terdiri dari serangkaian gerak yang tegak lurus arah gelombang transversal. Kecepatan perambatannya lebih rendah dari pada gelombang longitudinal atau gelombang primer, Gelombang ini akan tercatat setelah gelombang primer. Sehingga gelombang geser dinamakan gelombang sekunder. Gelombang geser merupakan gelombang transversal, karena arah gerakannya tegak lurus terhadap arah perambatannya (Gambar 1) (Susilawati, 2008).



Gambar 1 Gelombang Geser (Sheriff dan Geldart 1995)

Menurut Sheriff dan Geldart (1995), secara alamiah kecepatan gelombang seismik tergantung pada karakteristik fisik dari medium. Kecepatan gelombang primer dan

gelombang geser dirumuskan pada Persamaan 1 dan Persamaan 2

$$Vp = \sqrt{\frac{\frac{4}{3}\mu + k}{\rho}} \quad (1)$$

Dengan  $\mu$  merupakan modulus geser,  $k$  merupakan modulus Bulk dan  $\rho$  merupakan elastisitas medium. Notasi yang sama digunakan dalam menentukan kecepatan gelombang geser,  $Vs$  dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Vs = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

Persamaan 3 dan Persamaan 4 bergantung kepada modulus geser dan modulus Bulk. Modulus Bulk adalah ukuran tingkat kemampuan suatu medium untuk menahan perubahan volume saat menerima tekanan. Sedangkan modulus geser adalah ukuran kemampuan suatu medium untuk mempertahankan perubahan bentuk saat mendapat gaya geser. Kedua modulus tersebut menyatakan kekuatan medium, jika nilainya

semakin besar maka kecepatannya semakin tinggi. Persamaan 3 memperlihatkan bahwa secara umum kecepatan gelombang seismik, dinyatakan dengan modulus geser ( $\mu$ ) dan modulus Bulk ( $k$ ) (Geldart dan Sheriff, 1995).

Gelombang seismik di dalam lapisan bumi dapat bergerak melalui batuan sebagai medium penghantarnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya cepat rambat gelombang seismik didalam lapisan bumi antara lain (Mavko, 2003) :

#### 1. Sifat fisik batuan

Sifat fisik batuan menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan rambat gelombang seismik. Setiap jenis batuan, seperti terlihat pada Tabel 1 baik batuan beku, batuan sedimen atau pun batuan vulkanik memiliki perbedaan dalam kemampuan sebagai medium perambatan gelombang seismik.

Tabel 1 Nilai Kecepatan Gelombang Primer, Kecepatan Gelombang Sekunder dan Densitas Berdasarkan Jenis Material (Sumber : Widodo.P., 2012).

No	Material	Kecepatan (km/dt)		Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
		Gelombang P	Gelombang S	
1	Andesit	4,50 – 6,50		2,50 – 2,80
2	Basal	5,00 – 7,00	3,60 – 3,70	2,21 – 2,77
3	Pasir	1,50 – 4,60		1,91 – 2,58
4	Serpihan	2,0 – 4,60		2,00 – 2,40
5	Mudstone			1,82 – 2,72
6	Dolomit	5,50		2,20 – 2,70
7	Gamping	3,5 – 6,50		2,67 – 2,72
8	Marmer	5,0 – 6,0		2,51 – 2,86
9	Kuarsit			2,61 – 2,67
10	Pasir (tidak tersaturasi)	0,20 – 1,00	0,080 – 0,40	
11	Pasir (tersaturasi)	0,80 – 2,00	0,32 – 8,80	
12	Lempung	1,00 – 2,50	0,40 – 1,00	2,00 – 2,60
13	Aluvium	1,50 – 2,50	0,12 – 3,60	2,50 – 2,80

#### 2. Porositas

Semakin besar porositas batuan maka akan meningkatkan tekanan dan membuka celah pada bebatuan. Hal ini yang akan mempercepat perambatan gelombang seismik.

#### 3. Tekanan dan temperatur

Keberadaan tekanan yang semakin tinggi akan berbanding lurus dengan kecepatan

rambat gelombang seismik. Hal ini terkait dengan tingkat kekentalan medium perantara yang dilalui oleh gelombang seismik tersebut.

#### 4. Medium dalam pori batuan

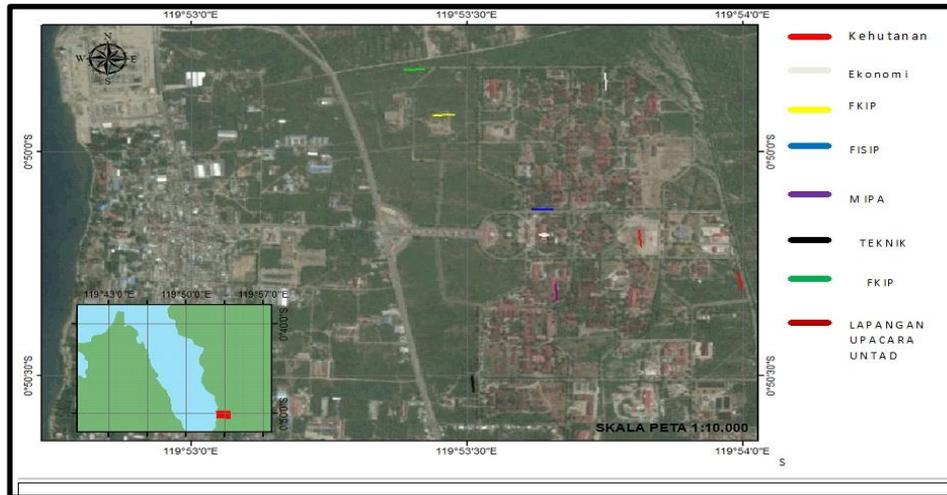
Medium dalam pori batuan dapat berupa cairan atau gas yang biasanya banyak ditemukan dalam lapisan bumi. Saat gelombang seismik bergerak menuju

medium yang lebih banyak mengandung cairan atau gas, maka kecepatan rambat gelombang tersebut akan terpengaruh. Hal ini terkait dengan adanya perbedaan tekanan pada kedua jenis zat tersebut.

### 3. Metode Penelitian

Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar berikut :

Penelitian dilaksanakan di daerah kampus Universitas Tadulako Kelurahan Tondo Kecamatan Palu Timur. Lokasi penelitian yaitu Fakultas Kehutanan, Ekonomi, FKIP, FISIP, MIPA, TEKNIK dan lapangan upacara UNTAD.



Gambar 2. peta lokasi penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Palu dengan berat 9 kg
2. Plat aluminium
3. Geofon 4,5 Hz
4. Seismograf tipe pasi 64P
5. Kabel konektor
6. Kotak konektor

Interpretasi dari setiap metode geofisika selalu melibatkan model awal. Inversi yang dilakukan untuk metode MASW ini adalah dengan model awal (*initial modelling*).

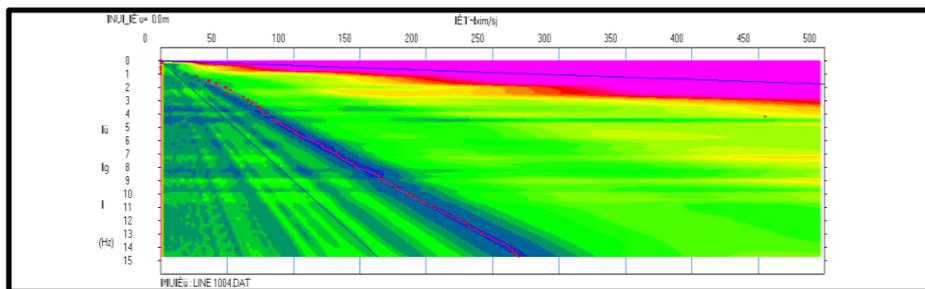
Teknik yang biasanya dilakukan juga adalah proses inversi dari kurva dispersi, dengan menentukan model awal (dengan parameter  $V_s$ ) kemudian dilakukan kurva *matching* antara kurva dispersi dari data lapangan dan model awal yang ditentukan. Dengan mengubah-ubah model awalnya dapat diperoleh model yang kesalahannya paling kecil.

Setelah didapat model hasil inversi, saatnya dibuat struktur kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) sebagai fungsi kedalaman. Dalam MASW

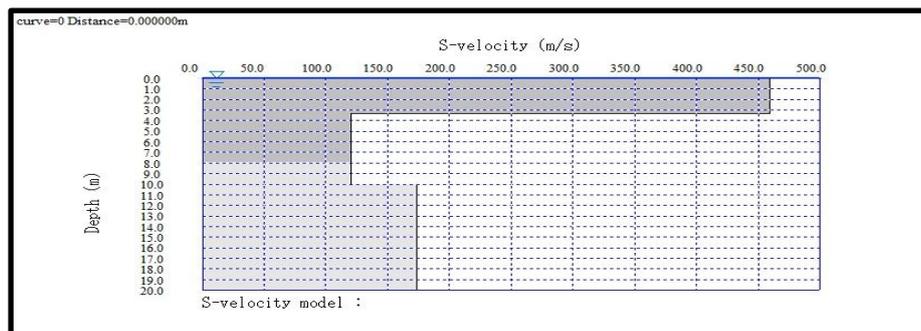
1-D biasanya cukup dengan model 1 titik. Interpretasi dilakukan untuk menghasilkan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan kondisi batuan-batuan sesuai dengan Tabel 1

### 4. Hasil dan Pembahasan

Pada analisis data ini digunakan Transformasi Fourier untuk mengubah data yang masih dalam fungsi waktu kedalam fungsi frekuensi untuk mendapatkan kurva dispersi. Kurva dispersi digunakan untuk menentukan sifat elastisitas gelombang di bawah permukaan yang terekam pada seismograf dan memisahkan dengan gelombang lainnya. Dispersi gelombang terjadi jika penjarangan gelombang memiliki kecepatan yang berbeda pada saat melalui batuan di bawah permukaan. Hasil dari kurva dispersi akan diperoleh informasi tentang kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi. Selanjutnya dilakukan inversi untuk mendapatkan struktur batuan di bawah permukaan berdasarkan kecepatan penjarangan gelombang geser, dapat dilihat pada Gambar 3 sampai 18.



Gambar 3 Kurva dispersi pada lintasan utara ke selatan di Fakultas Kehutanan



Gambar 4 Model penampang kecepatan penjalaran gelombang geser pada lintasan arah utara ke selatan Fakultas Kehutanan

Gambar 3 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi pertama Fakultas Kehutanan untuk lintasan horisontal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*.

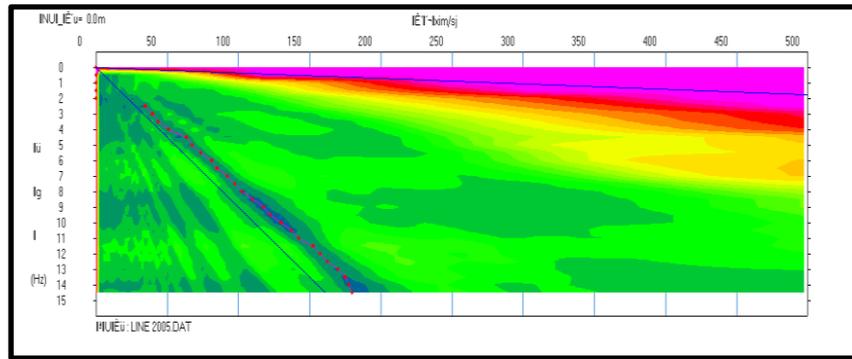
Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar 4. dengan 2 lapisan penyusun. Kedua lapisan penyusun tersebut adalah lapisan pertama dari permukaan sampai dengan kedalaman 2,5 m dengan kecepatan ( $V_s \pm 274,8$  m/s), lapisan kedua dari kedalaman 2,5 m sampai dengan 6,8 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s \pm 461$  m/s), lapisan ketiga dari kedalaman 6,8 m sampai dengan 7,8 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s \pm 121$  m/s). Berdasarkan Tabel 2.1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama dapat ditafsirkan dalam golongan lempung, sedangkan lapisan kedua dapat ditafsirkan dalam golongan alluvium.

Gambar 5 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan

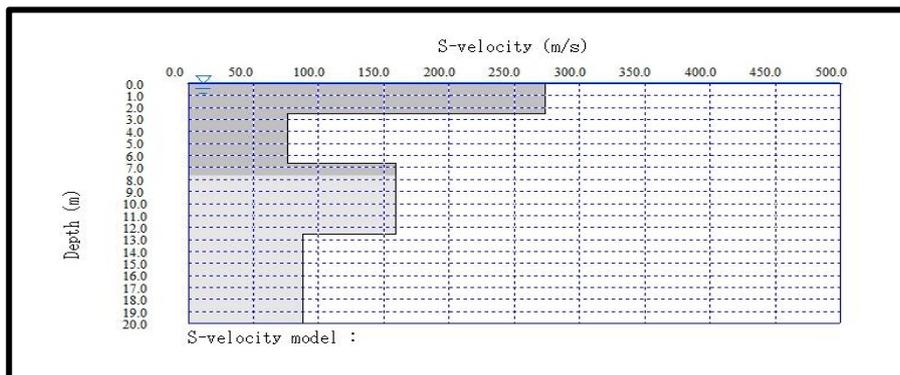
fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi kedua Fakultas Ekonomi untuk lintasan horisontal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*.

Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar 6 dengan 3 lapisan penyusun. Ketiga lapisan penyusun tersebut adalah lapisan pertama dari permukaan sampai dengan kedalaman 2,5 m dengan kecepatan ( $V_s \pm 274,8$  m/s), lapisan kedua dari kedalaman 2,5 m sampai dengan 6,8 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s \pm 80$  m/s), lapisan ketiga dari kedalaman 6,8 m sampai dengan 7,8 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s \pm 160,5$  m/s).

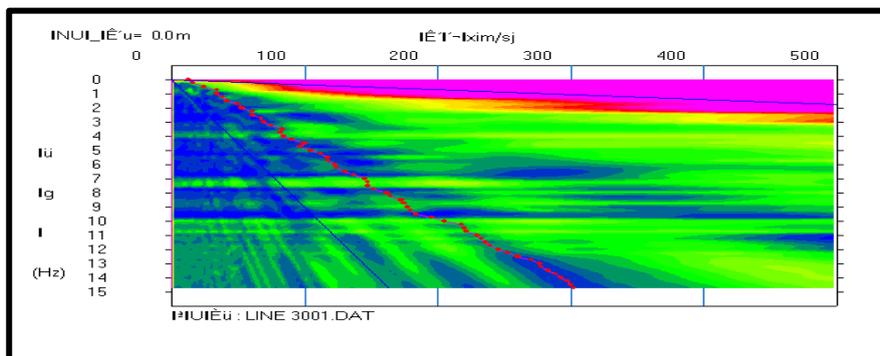
Berdasarkan Tabel 1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama dan lapisan ketiga dapat ditafsirkan golongan aluvium, sedangkan pada lapisan kedua dapat ditafsirkan dalam golongan pasir tidak tersaturasi.



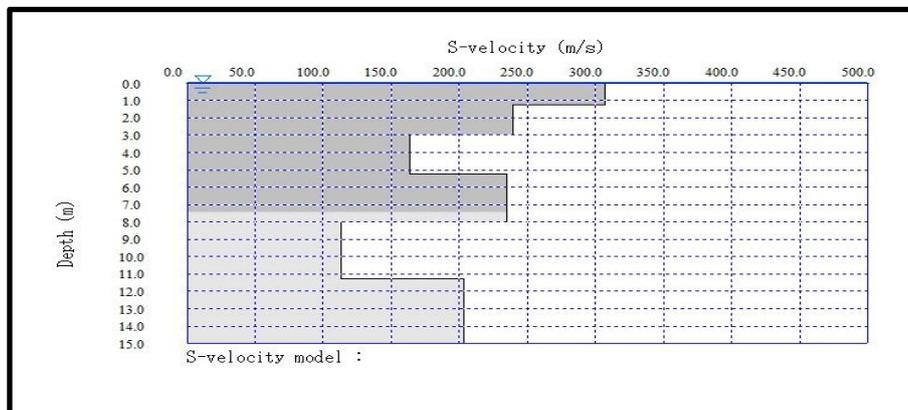
Gambar 5 kurva dispersi pada lintasan arah utara ke selatan Fakultas Ekonomi



Gambar 6 Model penampang kecepatan penjalaran gelombang geser pada lintasan arah utara ke selatan Fakultas Ekonomi



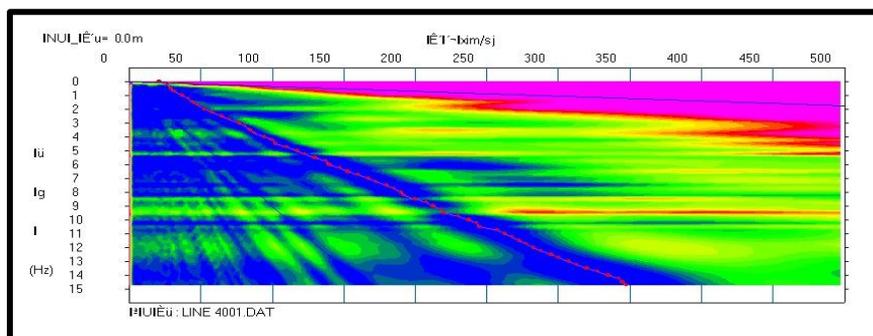
Gambar 7 kurva dispersi pada lintasan arah barat ke timur Fakultas FKIP



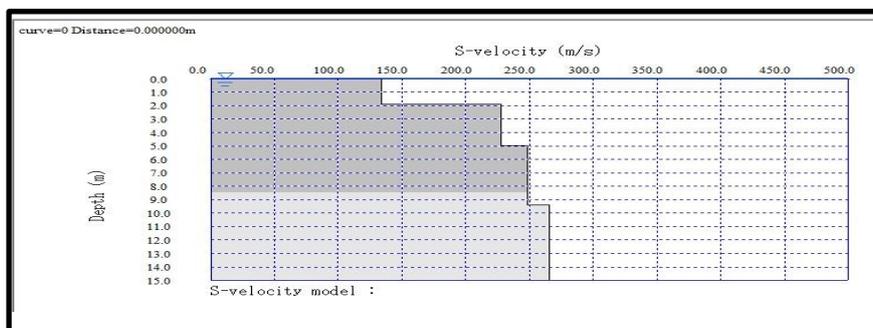
Gambar 8 Model penampang kecepatan gelombang geser pada lintasan arah Barat ke Timur Fakultas FKIP

Gambar 7 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi ketiga Fakultas FKIP untuk lintasan vertikal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar 8 dengan 4 lapisan penyusun. Keempat lapisan penyusun tersebut adalah lapisan pertama

dari permukaan sampai dengan kedalaman 1,3 m dengan kecepatan ( $V_s$ )  $\pm$  308,5 m/s, lapisan kedua dari kedalaman 1,3 m sampai dengan 3, m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  241 m/s, lapisan ketiga dari kedalaman 3, m sampai dengan 5,2 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  165 m/s, sedangkan lapisan keempat dari kedalaman 5,2 m sampai dengan 7,5 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  235 m/s. Berdasarkan Tabel 1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama sampai lapisan keempat dapat ditafsirkan golongan aluvium.



Gambar 9 kurva dispersi pada lintasan arah barat ke timur pada Fakultas FISIP



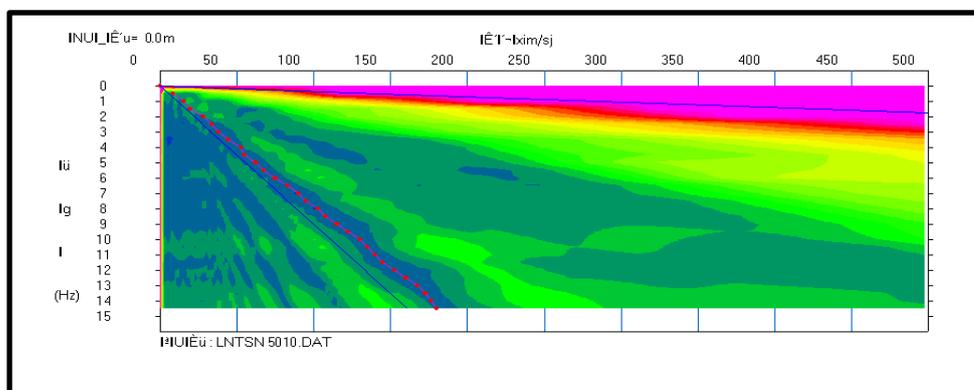
Gambar 10 Model penampang kecepatan penjalaran gelombang geser pada lintasan arah barat ke timur pada fakultas FISIP

Gambar 9 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi keempat Fakultas FISIP untuk lintasan vertikal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap

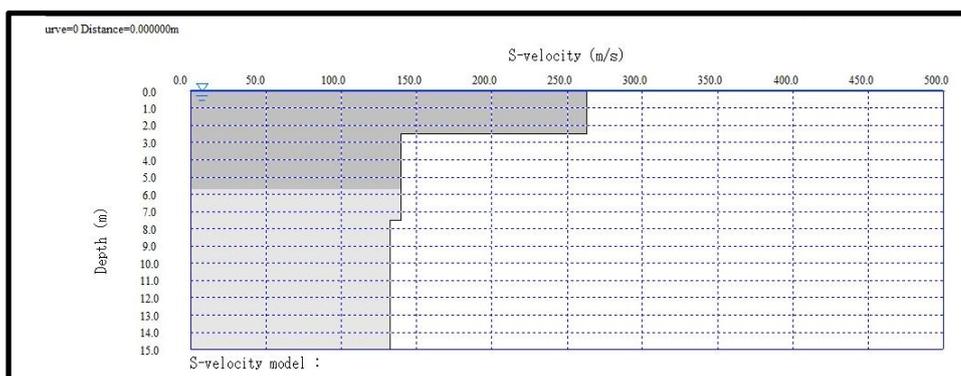
kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar 10 dengan 3 lapisan penyusun. Ketiga lapisan penyusun tersebut adalah lapisan pertama dari permukaan sampai dengan kedalaman 2 m dengan kecepatan ( $V_s$ )  $\pm$  135 m/s, lapisan

kedua dari kedalaman 2 m sampai dengan 5 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  228,5 m/s, lapisan ketiga dari kedalaman 5 m sampai dengan 8,5 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  249,2 m/s.

Berdasarkan Tabel 1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama sampai dengan lapisan ketiga dapat ditafsirkan dalam golongan aluvium.



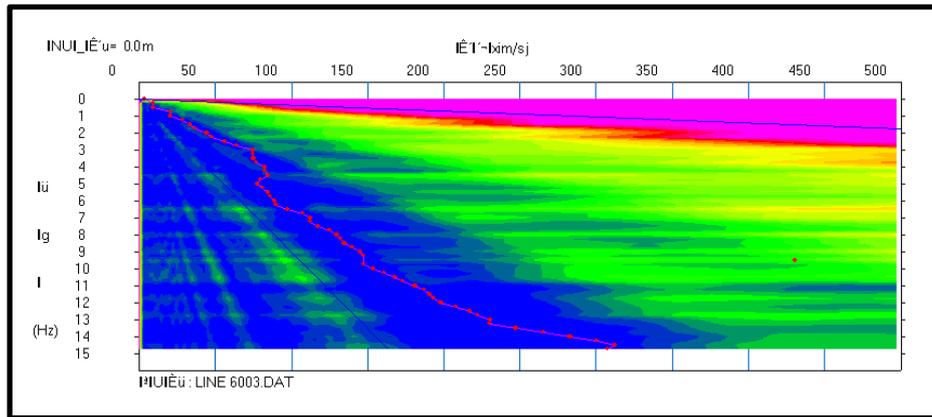
Gambar 11 kurva dispersi pada lintasan arah utara ke selatan pada Fakultas MIPA



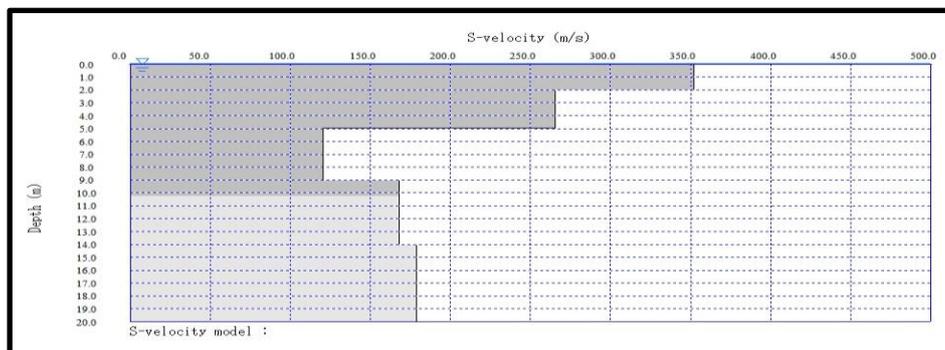
Gambar 12 Model penampang kecepatan penjalaran gelombang geser pada lintasan arah Utara ke Selatan pada Fakultas MIPA

Gambar 11 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi kelima Fakultas MIPA untuk lintasan horisontal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar

12 dengan 2 lapisan penyusun. Kedua lapisan penyusun tersebut adalah lapisan pertama dari permukaan sampai dengan kedalaman 2,5 m dengan kecepatan ( $V_s$ )  $\pm$  264,4 m/s, lapisan kedua dari kedalaman 2,5 m sampai dengan 5,8 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  140,5 m/s. Berdasarkan Tabel 1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama sampai lapisan kedua dapat ditafsirkan dalam golongan aluvium



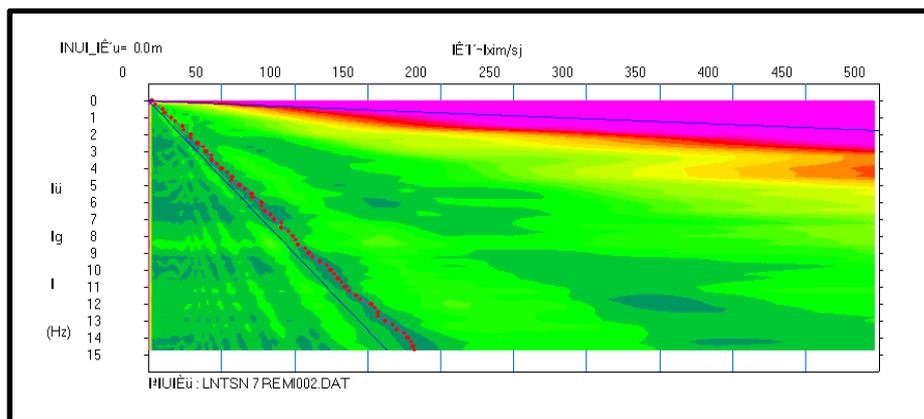
Gambar 13 kurva dispersi pada lintasan arah utara ke selatan pada Fakultas TEKNIK



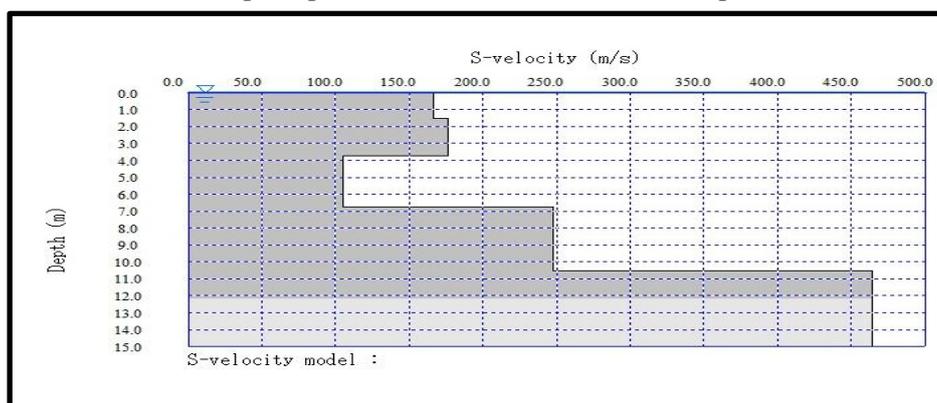
Gambar 14 Model penampang kecepatan penjalaran gelombang geser pada lintasan arah Utara ke Selatan pada Fakultas TEKNIK

Gambar 13 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi keenam Fakultas TEKNIK untuk lintasan horizontal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar 14 dengan 4 lapisan penyusun. Keempat lapisan penyusun tersebut adalah lapisan

pertama dari dasar sampai dengan kedalaman 2 m dengan kecepatan ( $V_s$ )  $\pm$  354m/s, lapisan kedua dari kedalaman 2 m sampai dengan 5 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  266 m/s, lapisan ketiga dari kedalaman 5 m sampai dengan 9 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  121 m/s, lapisan keempat dari kedalaman 9 m sampai dengan 10,2 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  169 m/s. Berdasarkan Tabel 1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama dapat ditafsirkan dalam golongan pasir. Sedangkan pada lapisan kedua sampai lapisan keempat ditafsirkan golongan aluvium.



Gambar 15 kurva dispersi pada lintasan arah utara ke selatan pada Fakultas FKIP



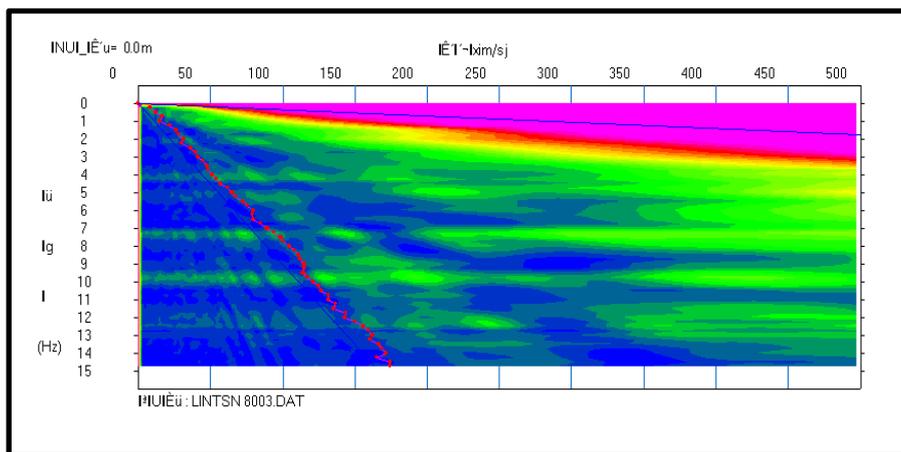
Gambar 16 Model penampang kecepatan penjalaran gelombang geser pada lintasan arah Barat ke Timur pada Fakultas FKIP

Gambar 15 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi ketujuh Fakultas FKIP untuk lintasan vertikal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*.

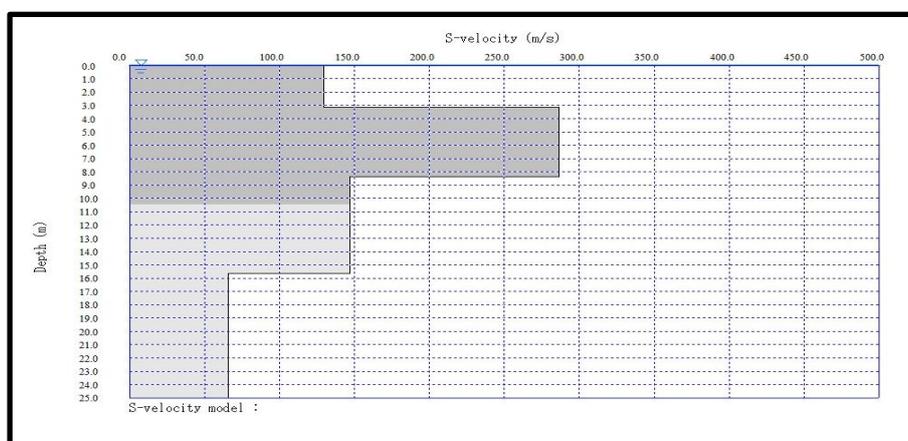
Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar 16 dengan 5 lapisan penyusun. Kelima lapisan penyusun tersebut adalah lapisan pertama dari dasar sampai dengan kedalaman 1,5 m dengan kecepatan ( $V_s$ )  $\pm$  167,5 m/s, lapisan kedua dari kedalaman 1,5 m sampai dengan 3,8 m dengan kecepatan penjalaran

gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  178, m/s, lapisan ketiga dari kedalaman 3,8 m sampai dengan 6,8 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  106,4 m/s, lapisan keempat dari kedalaman 6,8 m sampai dengan 10,5 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  248,5 m/s, lapisan kelima dari kedalaman 10,5 m sampai dengan 12,2 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  465 m/s.

Berdasarkan Tabel 1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama sampai lapisan kedua dapat ditafsirkan dalam golongan aluvium, lapisan ketiga dapat ditafsirkan pasir tidak tersatras, lapisan keempat dapat ditafsirkan dalam golongan aluvium, sedangkan pada lapisan kelima dapat ditafsirkan dalam golongan lempung.



Gambar 17 kurva dispersi pada lintasan arah barat ke timur pada lapangan upacara



Gambar 18 Model penampang kecepatan penjalaran gelombang geser pada lintasan lintasan arah barat ke timur pada lapangan upacara

Gambar 17 merupakan gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan antara kecepatan fase dan frekuensi dengan menggunakan *Software Wave Analysis Wizard* di lokasi kedelapan Auditorium untuk lintasan vertikal. Kemudian dilakukan inversi dari kurva dispersi untuk mendapatkan model penampang yang menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dari lapisan bawah permukaan dengan menggunakan *Software WaveEq*. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser dapat diketahui batuan yang berada di lapisan bawah permukaan yang terlihat pada Gambar

**5. Kesimpulan**

Hasil penelitian yang telah dilakukan tentang penentuan lapisan bawah permukaan di kawasan kampus Universitas Tadulako dengan analisis metode refraksi mikrotremor, terdapat

18 dengan 3 lapisan penyusun. Ketiga lapisan penyusun tersebut adalah lapisan pertama dari dasar sampai dengan kedalaman 3,2 m dengan kecepatan ( $V_s$ )  $\pm$  130,8 m/s, lapisan kedua dari kedalaman 3,2 m sampai dengan 8,4 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  286,4 m/s, lapisan ketiga dari kedalaman 8,4 m sampai dengan 10,5 m dengan kecepatan penjalaran gelombang geser ( $V_s$ )  $\pm$  148 m/s. Berdasarkan Tabel 1 nilai kecepatan gelombang geser pada setiap batuan untuk lapisan pertama sampai lapisan ketiga dapat ditafsirkan dalam golongan aluvium.

beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu : Berdasarkan hasil analisis kecepatan gelombang geser menunjukkan bahwa estimasi struktur lapisan bawah permukaan menggunakan analisis refraksi mikrotremor diperoleh:

1. Untuk lokasi Kehutanan hasil yang diperoleh terdiri dari 2 lapisan penyusun yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 3,5 meter berupa lempung, pada kedalaman 3,5 m sampai 8 m berupa alluvium.
2. Untuk lokasi Ekonomi hasil yang diperoleh terdiri dari 3 lapisan penyusun yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 2,5 m berupa alluvium, pada kedalaman 2,5 m sampai 6,8 m berupa pasir tidak tersaturasi, pada kedalaman 6,8 m sampai 7,8 m berupa alluvium.
3. Untuk lokasi FKIP hasil yang diperoleh yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 7,5 m berupa alluvium.
4. Untuk lokasi FISIP hasil yang diperoleh yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 8,5 m berupa alluvium.
5. Untuk lokasi MIPA hasil yang diperoleh yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 5,8 m berupa alluvium.
6. Untuk lokasi Teknik hasil yang diperoleh yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 2 m berupa pasir, pada kedalaman 2 m sampai 10,2 m berupa alluvium.
7. Untuk lokasi FKIP (lintasan 7) hasil yang diperoleh yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 3,8 m berupa alluvium, pada kedalaman 3,8 m sampai kedalaman 6,8 m berupa pasir tidak tersaturasi, pada kedalaman 6,8 m sampai kedalaman 10,5 m berupa alluvium, pada kedalaman 10,5 m sampai kedalaman 12,2 m berupa lempung.
8. Untuk lokasi lapangan upacara untad hasil

yang diperoleh yaitu kedalaman dari dasar sampai kedalaman 10,5 m berupa alluvium.

#### DAFTAR PUSTAKA.

- Cho & Santamarina 2001, *Spectral Analysis of Surface Wave Response of Multy-layer Thin Cement Mortar Slab Structure With Finite Element Thickness*, *NDT&E Internasional* 34 (2001), Elsevier Science, pp.115-122.
- Mavko, G., 2003, *Conceptual Overview of Rock and Fluid Factors that Impact Seismic Velocity an Impedance*, Stanford Rock Physic Laboratory..
- Stokoe et al., 2004, *Evaluation Of The Dynamic Stiffness Of Pavement Layer Using SASW Method*, Master of Science Thesis, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Sheriff, R.E dan Gerdart, L.P., 1995, *Exploration Seismology*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Sriyati Ramadhani, 2011, *Kondisi Seismisitas dan Dampaknya Untuk Kota Palu*, Universitas Tadulako, Palu.
- Susilawati, 2008, *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelahan Struktur Bagian dalam Bumi*, Universitas Sumatra Utara, Sumatra Utara.
- Widodo, P., 2012, *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*, Universitas Islam, Yogyakarta.