

*Skripsi Geofisika*

**Profil Kecepatan Gelombang Geser ( $v_s$ ) Daerah Rawan Longsor  
Menggunakan *Multichannel Analysis Surface Waves* (MASW) Studi Kasus di  
Dusun Pattiro, Desa Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa**



**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**Wirawan Saleh**

**H061181323**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



**HALAMAN JUDUL**

**Profil Kecepatan Gelombang Geser ( $v_s$ ) Daerah Rawan Longsor  
Menggunakan *Multichannel Analysis Surface Waves* (MASW) Studi Kasus di  
Dusun Pattiro, Desa Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada*

**Departemen Geofisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Hasanuddin**

**OLEH:**

**WIRAWAN SALEH**

**H061181323**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**Profil Kecepatan Gelombang Geser ( $v_s$ ) Daerah Rawan Longsor  
Menggunakan *Multichannel Analysis Surface Waves (MASW)* Studi Kasus di  
Dusun Pattiro, Desa Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa**

**Disusun dan Diajukan oleh:**

**WIRAWAN SALEH**

**H061181323**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 29 Februari 2024

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pertama**



Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T.Surv.  
NIP. 196406161989031006

Andi Muhammad Pramatadie, ST., M. Eng., Ph. D  
NIP. 198803242022055001

**Ketua Departemen Geofisika  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin Makassar**



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng  
NIP.196709291993031003



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wirawan Saleh  
NIM : H061181323  
Program Studi : Geofisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“Profil Kecepatan Gelombang Geser ( $v_s$ ) Daerah Rawan Longsor Menggunakan  
*Multichannel Analysis Surface Waves (MASW)* Studi Kasus di Dusun Pattiro,  
Desa Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Februari 2024

Yang menyatakan,

  
D7A-KX003748063  
METERAI TEMPEL  
WIRAWAN SALEH



## ABSTRAK

Berdasarkan survei yang telah dilakukan, informasi yang didapatkan dari Kepala Desa Manimbahoi bahwa kecenderungan kejadian longsor terakhir terjadi di Dusun Pattiro. Frekuensi kejadian longsor di Dusun Pattiro sebagian berada pada jalan tani menuju perkebunan warga. Upaya mitigasi dapat dilakukan dengan memahami kondisi bawah permukaan pada Dusun Pattiro. Profil kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) dapat memberikan informasi kondisi bawah permukaan dengan menggunakan Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian dilakukan sebagai salah satu upaya mitigasi pada Dusun Pattiro. Hasil penelitian yang diperoleh berupa profil 2D kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) untuk mendapatkan gambaran secara lateral kondisi bawah permukaan. Pada Lintasan 1 terdapat 3 lapisan yang diklasifikasikan, yaitu lapisan 1 dengan nilai  $v_s$  180 m/s – 200 m/s (lempung dan lanau); lapisan 2 dengan nilai  $v_s$  200 m/s – 400 m/s (pasir); lapisan 3 dengan nilai  $v_s$  400 m/s – 700 m/s (kerikil). Pada lintasan 2, terdapat 3 lapisan yang diklasifikasikan, yaitu lapisan 1 dengan nilai  $v_s$  170 m/s – 200 m/s (lempung dan lanau); lapisan 2 dengan nilai  $v_s$  200 m/s – 400 m/s (pasir); lapisan 3 dengan nilai  $v_s$  400 m/s – 740 m/s (kerikil).

**Kata Kunci:** longsor, MASW, kecepatan gelombang geser.



## **ABSTRACT**

*Based on the survey that has been carried out, information obtained from the Head of Manimbahoi Village shows that the latest tendency for landslides to occur is in Pattiro Hamlet. The frequency of landslides in Pattiro Hamlet is partly on roads leading to residents' plantations. Mitigation efforts can be carried out by understanding the subsurface conditions in Pattiro Hamlet. The shear wave velocity profile ( $v_s$ ) can provide information on subsurface conditions using the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method. Based on this, research was carried out as a mitigation effort in Pattiro Hamlet. The research results obtained are in the form of a 2D profile of shear wave velocity ( $v_s$ ), providing a lateral view of subsurface conditions. On Line 1, there are 3 layers classified: layer 1 with a shear wave velocity value of 180 m/s – 200 m/s (clay and silt); layer 2 with a shear wave velocity value of 200 m/s – 400 m/s (sand); layer 3 with a shear wave velocity value of 400 m/s – 700 m/s (gravel). On Line 2, there are 3 layers classified: layer 1 with a shear wave velocity value of 170 m/s – 200 m/s (clay and silt); layer 2 with a shear wave velocity value of 200 m/s – 400 m/s (sand); layer 3 with a shear wave value of 400 m/s – 740 m/s (gravel).*

**Keywords:** *landslides, MASW, shear wave velocity.*



## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahnya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Profil Kecepatan Gelombang Geser ( $v_s$ ) Daerah Rawan Longsor Menggunakan *Multichannel Analysis Surface Waves* (MASW) Studi Kasus di Dusun Pattiro, Desa Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa**”. Shalawat serta salam sennatiasa semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari ridho dan karunia Allah SWT dan bantuan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, saya ingin mengucapkan terimakasih yang tak terhingga wajib saya haturkan kepada orang tua saya **Bapak Hamzah Saleh** dan **Ibu Rasni Seeng** sebagai orang tua yang selalu memberikan segala cinta, kasih sayang dan nan serta doa terbaik untuk penulis. Terimakasih atas segala dukungan ita, dan kasih sayang serta doa yang tulus kepada penulis.



Pada kesempatan yang baik ini, perkenankanlah penulis untuk mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T.Surv.** selaku pembimbing utama yang senantiasa memberikan ilmu, pembelajaran, motivasi dan dorongan kepada penulis dan Ibu **Andi Muhammad Pramatadie, ST., M. Eng., Ph. D** selaku pembimbing pertama yang senantiasa memberikan doa terbaiknya untuk penulis.
2. Ibu **Makhrani, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Ir. Bambang Harime, M.Si.** selaku penguji penulis yang telah memberikan koreksi dan masukan yang membangun kepada penulis.
3. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Assagaf, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika FMIPA Unhas, Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si** selaku Sekretaris Departemen Geofisika FMIPA Unhas, seluruh Bapak/Ibu dosen di Departemen Geofisika FMIPA Unhas: **Alm. Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamihardja, M.Eng., Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc., Drs. Hasanuddin, M.Si., Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT. Surv. IPM., Dra. Maria, S.Si., Dr. Sakka, M.Si., Dr. Samsu Arif, M.Si., Alm. Dr. Paharuddin, M.Si., Ir. Bambang Harime, M.Si., Makhrani, S.Si., M.Si., Sabrianto Aswad, S.Si., M.T., Muh. Fawzy Ismullah Massinai, S.Si., MT, Aswar Syafnur, S.Si., M.Eng., Sa'aduddin, M.Sc.** dan **Andi Muhammad Pramatadie, ST., M.Eng., Ph.D.** serta staf Departemen Geofisika: **Pak Anto,**



**Putra dan Pak Fadli** yang telah memberikan ilmu dan pembelajaran bagi is. Terimakasih Bapak/Ibu saya tidak akan pernah melupakan jasa-jasa

1.



4. Saudara penulis, **HMGF 2018** yang selalu ada untuk penulis. Terimakasih banyak kepada saudara/saudari: **Agung Putra, Ahmad Fauzy Arif, Aini Suci Febrianti, Ainul Fatima, Alfian, Andi Muh. Yusuf Abdullah, Andri Moh. Wahyu Laode, Asmiyeni Islamiyati, Dede Muhaimin Aziz, Dhea Eka Putri, Evy Sulfiani, Fhauzia Suci Ramadhani, Fina, Fira Angraini Syamsul, Hasnan Sutadi, Heraldo Chresto Saranga, Inrawati Onding, Irmawati, Iswatun Khazanah, Jihan Faruk Zubedi, Johanna Diharti, Juni Annisa Karim, Komang Yuda Putra Bendesa, Marniati Ramli, Masdar, Muhammad Syaifullah, Muhammad Yusran, Mutmainnah, Nilam Syukur, Nur Annisa, Nur Fiskah, Nurfadillah, Nurhasana, Nurul Fhaika, Rahmat Rastin, Resky Amelia, Safira Fauzianingsih, Sarwan Hendrick, Sheren Fairuz Zahira Rohmana, Siti Wahyuni M. Wael, Sri Wahyuni, Windy Sari, Wirawan Saleh, Yansen Barumbun, Yusril Ashar Arfandi dan Zefanya Eveline Sharon Kailem.** Doa terbaik untuk kita semua, terimakasih banyak atas cerita dan proses pendewasaan yang tidak mungkin penulis bisa lupakan. Bertemu dengan kalian adalah definisi bertemu orang yang tepat, di waktu yang tepat dan cara yang tepat.
5. Saudara penulis yang lain **Himafi 2018, MIPA 2018, Geofisika 2018, Posko Toraja Utara 2 KKN Tematik Unhas Gel. 107** yang tidak bisa saya sebut namanya satu persatu, terimakasih untuk segala dukungannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.



6. Kanda-kanda selingkup **KM FMIPA Unhas** yang senantiasa membagikan ilmu serta perhatiannya kepada penulis selama berada di kampus, salam “**USE YOUR MIND BE THE BEST**”.
7. Adinda **HMGF 2019, 2020, 2021 dan 2022** dan **HIMAFI 2019, 2020, 2021 dan 2022** semangat berjuang dan berkembang untuk kehidupan yang lebih baik untuk diri sendiri dan orang lain.
8. Berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, maka dengan kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terimakasih.

Semoga tulisan ini memberikan kebermanfaatan bagi semua pihak dan mendatangkan keberhakan kepada orang-orang yang memberikan waktu yang paling berharganya kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan, karena sesungguhnya kesempurnaan hanyalah milih Allah SWT. Semoga Allah SWT mempermudah langkah kita. Amin.

Makassar, 29 Februari 2023

Penulis



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>I.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>I.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>I.3 Ruang Lingkup</b> .....	3
<b>I.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>BAB II</b> .....	4
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>II.1 Geologi Regional</b> .....	4
<b>II.2 Gelombang Seismik</b> .....	5
<b>II.3 Gelombang Permukaan</b> .....	5
<b>II.4 <i>Multichannel Analysis Surface Wave (MASW)</i></b> .....	6
<b>II.4.1 Akuisisi Data</b> .....	7
<b>II.4.2 Analisis Dispersi</b> .....	10
<b>II.4.3 Analisis Inversi</b> .....	17
<b>II.5 Metode Common Mid Point Cross-Corelation (CMPCC)</b> .....	20
<b>II.6 Karakterisasi <i>Site</i> Berdasarkan Nilai <i>vs</i></b> .....	22
<b>II.7 Penelitian Terdahulu</b> .....	22
.....	24
<b>LOGI PENELITIAN</b> .....	24
<b>okasi Penelitian</b> .....	24



<b>III.2 Alat dan Bahan</b> .....	25
<b>III.2.1 Alat</b> .....	25
<b>III.2.2 Bahan</b> .....	26
<b>III.3 Desain Akuisisi Lapangan</b> .....	26
<b>III.4 Prosedur Penelitian</b> .....	27
<b>III.5 Bagan Alir</b> .....	30
<b>BAB IV</b> .....	31
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
<b>IV.1 Hasil</b> .....	31
<b>IV.1.1 Hasil Akuisisi Data</b> .....	31
<b>IV.1.2 Kurva Dispersi dan Profil 1D <math>v_s</math></b> .....	32
<b>IV.1.3 Profil 2D <math>v_s</math></b> .....	44
<b>IV.2 Pembahasan</b> .....	46
<b>BAB V</b> .....	51
<b>PENUTUP</b> .....	51
<b>V.1 Kesimpulan</b> .....	51
<b>V.2 Saran</b> .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Peta Geologi Lembar Ujungpandang, Bantaeng dan Sinjai, Sulawesi	4
.....	
<b>Gambar 2.2</b> Gerak partikel gelombang; a. Gelombang $P$ ; b. Gelombang $S$ (Bolt, 1976); c. Gelombang <i>Rayleigh</i> ( $P - S_V$ ); d. Gelombang Love ( $S_H$ )	5
.....	
<b>Gambar 2.3</b> <i>Geophone</i> harus ditempatkan pada permukaan yang datar untuk mengoptimalkan pengukuran (a dan b). Relif permukaan yang lebih dari $0.1L$ dan kemiringan lebih dari $10^\circ$ memberikan efek pada kualitas data (c dan d)	10
.....	
<b>Gambar 2.4</b> Pencitraan dispersi 2 dimensi	16
.....	
<b>Gambar 2.5</b> (a) titik hitam menunjukkan <i>fundamental</i> mode dari gambar dispersi (b) titik hitam menunjukkan fundamental mode dan titik abu-abu menunjukkan <i>higher</i> mode pada gambar dispersi	17
.....	
<b>Gambar 2.6</b> Lapisan model bumi untuk analisis inversi	17
.....	
<b>Gambar 2.7</b> Konsep analisis CMP pada metode gelombang permukaan	21



**Gambar 2.8** Contoh pengolahan data analisis CMPCC untuk 4 *shot*. (a) kalkulasi *cross-correlations* dari 1 *shot gather* (langkah 1). (b) dan (c) *stacking* domain waktu dari *cross-correlations* yang memiliki spasi iddntik (langkah 3). (d) *Cross-correlations* jarak yang berbeda diurutkan sehubungan dengan jarak lateral. CMPCC *gathers* diperoleh untuk setiap jarak. Semua *shot-gather* dalam garis survei digunakan, dan *cross-correlation* dikalkulasi untuk setiap pasang *trace* 23

**Gambar 3.1** Peta lokasi penelitian 25

**Gambar 3.2** Desain akuisisi lapangan lintasan 1 27

**Gambar 3.3** Desain akuisisi lapangan lintasan 2 27

**Gambar 3.4** Bagan alir 30

**Gambar 4.1** Data *waveform* hasil akuisisi 31

**Gambar 4.2** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis dispersi titik merah merupakan hasil *picking*; (b) kurva dispersi eksperimental (biru) dan kurva dispersi teoritikal (orange); (c) final model

lokasi CMP jarak 2 meter 32



**Gambar 4.3** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis dispersi titik merah merupakan hasil *picking*; (b) kurva dispersi eksperimental (biru) dan kurva dispersi teoritikal (orange); (c) final model pada lokasi CMP jarak 6 meter 34

.....

**Gambar 4.4** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis dispersi titik merah merupakan hasil *picking*; (b) kurva dispersi eksperimental (biru) dan kurva dispersi teoritikal (orange); (c) final model pada lokasi CMP jarak 10 meter 35

.....

**Gambar 4.5** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c) final model pada lokasi CMP jarak 14 meter 36

.....

**Gambar 4.6** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c) final model pada lokasi CMP jarak 18 meter 37

.....

**Gambar 4.7** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c) final model pada lokasi CMP jarak 5 meter 39

.....

**4.8** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis



dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c)  
 final model pada lokasi CMP jarak 13 40  
 meter.....

**Gambar 4.9** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis  
 dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c)  
 final model pada lokasi CMP jarak 21 meter 41  
 .....

**Gambar 4.10** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis  
 dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c)  
 final model pada lokasi CMP jarak 29 meter 42  
 .....

**Gambar 4.11** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis  
 dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c)  
 final model pada lokasi CMP jarak 37 meter 43  
 .....

**Gambar 4.12** (a) ekstraksi kurva dispersi eksperimental dengan analisis  
 dispersi; (b) kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritikal; (c)  
 final model pada lokasi CMP jarak 45 meter 44  
 .....

**Gambar 4.13** Profil 2D  $v_s$  lintasan 1 ..... 45

**Gambar 4.14** Profil 2D  $v_s$  lintasan 2 ..... 46



**4.15** batas lapisan berpotensi longsor yang ditandai dengan garis  
 ..... 48



**Gambar 4.16** 2D hasil interpretasi metode geolistrik ..... 49

**Gambar 4.17** Identifikasi bidang gelincir berdasarkan interpretasi metode geolistrik ..... 50



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Rekomendasi pengukuran profil parameter .....	9
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi geomaterial berdasarkan nilai $v_p$ dan $v_s$ .....	22
<b>Tabel 3.1</b> Profil pengukuran desain akuisisi lapangan .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Klasifikasi nilai resistivitas .....	49



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Berdasarkan survei yang telah dilakukan, informasi yang didapatkan dari Kepala Desa Manimbahoi bahwa kecenderungan kejadian longsor terakhir terjadi di Dusun Pattiro. Frekuensi kejadian longsor di Dusun Pattiro sebagian berada pada jalan tani menuju perkebunan warga. Dusun Pattiro terletak pada sekitaran Gunung Bawakaraeng dimana morfologinya identik dengan relief yang tinggi, lereng curam, tingkat pelapukan yang tinggi dan beberapa peristiwa alam seperti erosi yang berujung ke tanah longsor (Hasnawir, dkk., 2018). Sehingga dapat diasumsikan Dusun Pattiro merupakan daerah rawan longsor berdasarkan deskripsi geomorfologi dan frekuensi kejadian longsor yang terjadi.

Petani merupakan mata pencaharian yang paling dominan di Dusun Pattiro. Sehingga, perkebunan di Dusun Pattiro merupakan sumber utama pencaharian warga. Kejadian longsor pada jalan tani dapat memutuskan akses ke perkebunan warga. Apalagi, jalan tani tersebut merupakan satu-satunya jalan menuju perkebunan warga. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu diadakannya penelitian di Dusun Pattiro sebagai upaya mitigasi bencana longsor. Salah satu metode geofisika yang dapat diterapkan adalah metode MASW.

Metode *Multichannel Analysis Surface Waves* (MASW) adalah salah satu metode yang memanfaatkan gelombang permukaan frekuensi rendah (1 – 30 Hz) untuk investigasi kedalaman dangkal. Metode MASW terdiri dari dua metode



yaitu MASW aktif dan MASW pasif dimana MASW aktif menggunakan sumber tumbukan seperti palu godam dan MASW pasif menggunakan sumber yang berasal dari aktivitas makhluk hidup seperti adanya lalu lintas serta berasal dari alam, dalam hal ini seperti adanya petir. Tujuan survei MASW adalah memperoleh informasi kekuatan tanah yang diklasifikasikan berdasarkan profil kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) (Park, dkk., 2007).

Penelitian yang dilakukan oleh Keskinsezer dan Dag (2019), metode MASW dapat memberikan informasi geometri tanah longsor bawah permukaan berdasarkan distribusi nilai kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) bawah permukaan. Dan penelitian yang dilakukan Suto, dkk., (2016), metode MASW dapat menentukan jenis longsor yang terjadi berdasarkan distribusi kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) terhadap kedalaman. Karenanya metode MASW digunakan pada penelitian ini untuk mengamati profil kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) daerah rawan longsor.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) bawah permukaan pada setiap lintasan pada daerah penelitian?
2. Bagaimana potensi longsor pada daerah penelitian berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan metode MASW?



### **I.3 Ruang Lingkup**

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini yaitu memodelkan profil kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) pada setiap lintasan pengukuran baik secara 1D maupun 2D dengan menggunakan data primer pengukuran MASW. Lokasi penelitian ini terfokus pada Dusun Pattiro, Desa Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa. Hasil profil kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) serta distribusinya pada bawah permukaan ini akan digunakan untuk menentukan kekuatan material (tanah) sehingga dapat diketahui potensi longsor pada daerah penelitian. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa *software*, yaitu *SeisImager*, *Gfortran*, dan *Microsoft Office Excel*.

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi nilai kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) bawah permukaan di setiap lintasan pada lokasi penelitian.
2. Mengetahui potensi longsor pada daerah penelitian.

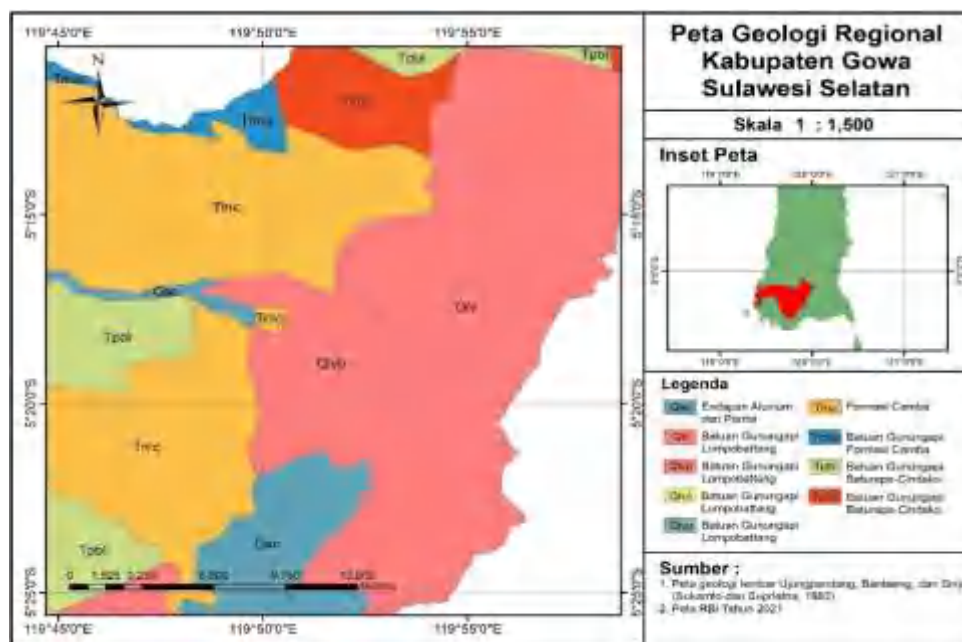


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Geologi Regional

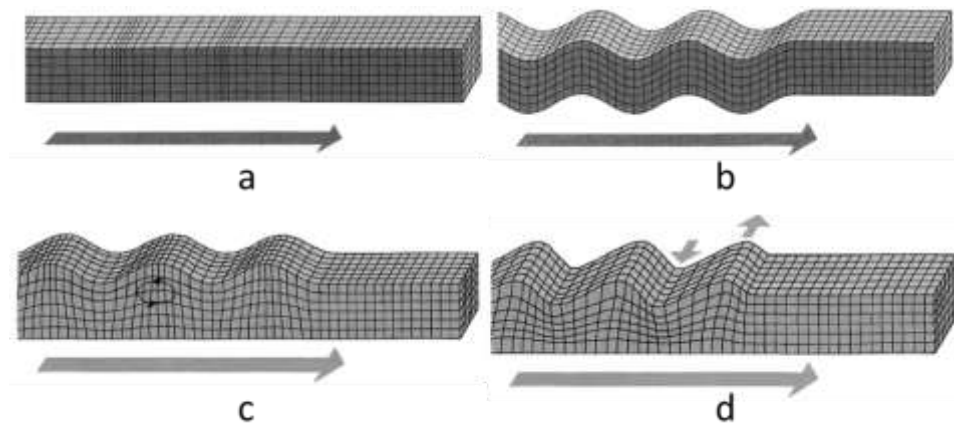
Evolusi Pulau Sulawesi dimulai pada waktu Miosen. Pembukaan Selat Makassar di sepanjang patahan Pasternoster difasilitasi oleh zona subduksi kecil ke timur dan disertai oleh aktivitas vulkanik Kuartir Akhir sehingga membentuk Formasi Gunungapi Lompobattang di Kuartir Akhir dan Barupu vulkanik di selatan Sulawesi (Katili, 1978). Formasi Gunungapi Lompobattang (Qlv) disusun oleh endapan vulkanik Gunung Lompobattang yang terdiri dari lava, tufa, lahar dan breksi vulkanik yang telah mengalami pelapukan. Pada bagian permukaannya menjadi lempunglanauan hingga pasirlanauan berwarna kuning kecoklatan hingga coklat kehitaman, bersifat gembur (Sumaryono, 2011).



2.1 Modifikasi peta geologi regional Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan kan peta geologi Lembar Ujungpandang, Bantaeng, dan Sinjai (Sukanto dan Supriatna, 1982)

## II.2 Gelombang Seismik

Gelombang seismik terdiri dari sekumpulan energi regangan elastis, bergerak menjauhi sumber seismik dengan kecepatan yang bergantung pada modulus elastisitas dan kepadatan media yang dilaluinya. Gelombang seismik terdiri dari dua jenis, yakni gelombang badan dan gelombang permukaan. Gelombang badan adalah gelombang yang terdiri dari gelombang  $P$  dan gelombang  $S$  yang merambat pada medium elastis. Gelombang  $S$  terdiri dari dua komponen yaitu, komponen vertikal ( $S_V$ ) dan komponen horizontal ( $S_H$ ). Gelombang permukaan adalah gelombang yang datang setelah gelombang  $P$  dan  $S$  yang energinya terkonsentrasi pada permukaan (Reynolds, 2011). Penelitian ini berfokus pada gelombang permukaan khususnya gelombang *Rayleigh* untuk memperoleh informasi kecepatan gelombang geser.



**Gambar 2.2** Gerak partikel gelombang: a. Gelombang P; b. Gelombang S (Bolt, 1976); c. Gelombang *Rayleigh* ( $P - S_V$ ); d. Gelombang Love ( $S_H$ ) (Einarsson, 1991)

## II.3 Gelombang Permukaan



ng permukaan menjadi perhatian utama untuk keperluan teknik (Kramer, lam Ólafsdóttir, dkk., 2014). Gelombang *Rayleigh* dihasilkan dari

interaksi antara gelombang P dan gelombang  $S_v$  dengan permukaan bumi. Gerakan partikel gelombang *Rayleigh* seperti gelombang laut yang bergulir (Aki dan Richards, 1980). Pada medium homogen, kecepatan gelombang *Rayleigh* tidak bergantung pada frekuensi, karena gelombang *Rayleigh* tidak dispersif pada medium homogen. Sebaliknya, pada medium heterogen kecepatan gelombang *Rayleigh* akan bervariasi terhadap frekuensi atau dispersif (Aki dan Richards, 1980).

Perambatan kecepatan dari setiap frekuensi disebut kecepatan fasa ( $c$ ). Plot dari frekuensi dan kecepatan fasa disebut sebagai kurva dispersi. Bentuk lengkungan dari kurva dispersi menunjukkan karakteristik dispersi gelombang *Rayleigh* (Everett, 2013). Beberapa kecepatan fasa ada pada frekuensi tertentu, hal ini dapat menimbulkan adanya beberapa mode pada kurva dispersi. Mode dengan kecepatan fasa paling rendah disebut fundamental mode. Mode ini terdapat pada semua frekuensi. Mode yang lebih tinggi disebut *first mode*, *second mode*, dan seterusnya, memiliki kecepatan fasa yang lebih besar dan hanya ada jika terdapat frekuensi yang terputus tergantung dari mode (Aki dan Richards, 1980).

#### **II.4 Multichannel Analysis Surface Wave (MASW)**

Metode MASW adalah salah satu metode survei yang memanfaatkan gelombang permukaan frekuensi rendah (1 – 30 Hz) dengan investigasi kedalaman dangkal.

Informasi yang didapatkan dari MASW berupa profil kecepatan gelombang geser

ik menentukan kekuatan material bawah permukaan lokasi penelitian





(Park, dkk., 2007). Menurut (Ólafsdóttir, dkk., 2014) Metode MASW terbagi atas 3 langkah utama; akuisisi data, analisis dispersi dan analisis inversi.

#### II.4.1 Akuisisi Data

Survei MASW dapat dibagi menjadi dua, yaitu survei aktif dan survei pasif berdasarkan bagaimana gelombang permukaan yang diperlukan untuk analisis diperoleh (Park, dkk., 2007). Survei aktif menggunakan sumber getaran aktif yang diterapkan pada salah satu ujung *geophone*. *Geophone* frekuensi rendah disejajarkan pada satu garis lurus dengan jarak yang sama dan berada pada permukaan yang datar (Park dkk, 1999). Pada umumnya survei menggunakan 24, 48, atau 60 *geophone* untuk akuisisi data.

Secara umum, dengan meningkatkan jumlah *geophone* dan tidak mengubah jarak antar *geophone*, resolusi gambar dispersi yang didapatkan akan lebih baik. Namun, hal tersebut tidak berguna tanpa pemanjangan lintasan (Park, dkk., 2001). Lama perekaman data pada MASW biasanya sekitar 1 detik (Park, 2015).

##### II.4.1.1 Konfigurasi Profil Pengukuran

Kualitas data yang tinggi diperoleh dengan memilih pengaturan parameter saat melakukan survei dengan menggunakan metode ini. Parameter tersebut seperti panjang lintasan, jarak antar *geophone*, dan offset.

##### 1. Panjang lintasan ( $L$ )

Panjang lintasan ( $L$ ) berhubungan dengan panjang gelombang terpanjang yang un dari akuisisi data ( $\lambda_{max}$ ) dan juga berhubungan dengan kedalaman m dari investigasi ( $z_{max}$ ). Kriteria umumnya, panjang gelombang



terpanjang yang di analisa setara dengan panjang lintasan (Park dan Carnevale, 2010).

$$\lambda_{max} \approx L \quad (2.1)$$

Upaya dalam menganalisa panjang gelombang ( $\lambda$ ) yang lebih panjang dari persamaan (2.1) dapat menyebabkan hasil yang kurang akurat. Studi terbaru menunjukkan bahwa fluktuasi ketidakakuratan berada sekitar 5 % untuk interval  $L \leq \lambda_{max} \leq 2L$  (Park dan Carnevale, 2010).

Kedalaman maksimum dari investigasi ( $z_{max}$ ) bervariasi tergantung dari frekuensi natural *geophone* dan tipe sumber getaran yang digunakan pada lokasi. Kedalaman maksimum dari investigasi didapatkan dari panjang gelombang Rayleigh terpanjang dari akuisisi data ( $\lambda_{max}$ ). Persamaan Empiris yang digunakan (Park dan Carnevale, 2010).

$$z_{max} \approx 0.5\lambda_{max} \quad (2.2)$$

## 2. Jarak antar *geophone*

Jarak antar *geophone* memiliki hubungan dengan panjang gelombang terpendek yang terdapat pada kurva dispersi ( $\lambda_{min}$ ). Pada umumnya, jarak antar *geophone* tidak lebih besar dari seperdua dari panjang gelombang terpendek (Xia, dkk., 2009).

$$dx \leq 0.5\lambda_{min} \quad (2.3)$$

Terlebih, jarak antar *geophone* bertindak sebagai petunjuk garis untuk menentukan ketebalan minimum ( $h_{min}$ ) dari lapisan paling dangkal model yang

n pada analisis inversi (Park dkk, 1999). Dengan kata lain,

$$h_1 \geq h_{min} \approx dx \quad (2.4)$$



dimana  $h_1$  merupakan ketebalan dari lapisan paling atas pada model.

### 3. Offset

Pemilihan *offset* ( $x_1$ ) perlu dilakukan untuk menghindari *near-field effects* (Park dan Carnevale, 2010). Beberapa kasus, perambatan *plane-wave* dari gelombang permukaan pertama terjadi ketika *offset* lebih besar dari seperdua dari panjang gelombang terpanjang (Park, dkk., 1999).

$$x_1 \geq 0.5L, \text{ dimana } \lambda_{max} \approx L \quad (2.5)$$

dimana  $L$  adalah panjang lintasan. Namun, studi menunjukkan bahwa kriteria ini sangat baik untuk survei MASW (Park dan Shawyer, 2009).

#### II.4.1.2 Rekomendasi Pengukuran Profil Parameter

Rekomendasi parameter pengukuran profil untuk mendapatkan hasil data yang optimal adalah sebagai berikut (Park, 2002):

**Tabel 2.1** Rekomendasi pengukuran profil parameter.

Kedalaman $z_{max}$ (m)	Panjang Gelombang Maksimum $\lambda_{max}$ (m)	Panjang Lintasan $L$ (m)	Offset $x_1$ (m)	Jarak antar Geophone $dx$ (m)
5	10	(5-15) 10	(1-15) 5	(0.2-0.7) 0.4
10	20	(10-30) 20	(2-30) 10	(0.4-1.3) 0.9
20	40	(20-60) 40	(4-60) 20 <sup>(*)</sup>	(0.9-2.6) 1.7
	60	(30-90) 60	(6-90) 30 <sup>(*)</sup>	(1.3-3.9) 2.6

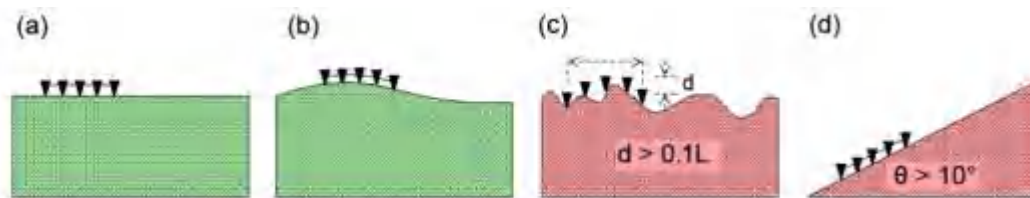


(\*) Offset 10 m dapat menjamin perambatan plane-wave dalam gelombang dengan panjang gelombang hingga 60 m (Park, dkk., 2002).

### II.4.1.3 Kondisi Topografi

Kondisi topografi dapat memberikan efek pada kualitas gambar dispersi yang diperoleh (Zeng, dkk., 2012). Untuk hasil yang optimal, *geophone* harus ditempatkan pada bidang datar. Relif permukaan dalam panjang lintasan  $> \pm 0.1L$  dapat berefek pada gelombang permukaan yang dihasilkan (Park, 2015).

Kemiringan permukaan panjang lintasan juga memberikan efek pada kualitas data rekaman. Hasil investigasi Zeng dkk (2012), mengindikasikan bahwa kemiringan topografi dari survei lintasan sebaiknya kurang dari  $10^\circ$ .



**Gambar 2.3** *Geophone* harus ditempatkan pada permukaan yang datar untuk mengoptimalkan pengukuran (a dan b); relif permukaan yang lebih dari  $0.1L$  dan kemiringan lebih dari  $10^\circ$  memberikan efek pada kualitas data (c dan d)

### II.4.2 Analisis Dispersi

Tujuan dari analisis dispersi adalah untuk menghasilkan kurva dispersi gelombang *Rayleigh* dari data gelombang permukaan yang diperoleh. *Fundamental* mode kurva dispersi menjadi tujuan utamanya (Ólafsdóttir, dkk., 2016). Dengan menggunakan pendekatan *phase shift method* (Park, dkk., 1998). *Phase shift method* memiliki potensi untuk pengembangan masa depan dan dianggap sebagai



analisis dispersi utama (Ólafsdóttir, dkk., 2016). Penerapan *phase shift* memvisualisasikan sifat dispersi semua jenis gelombang pada data

gelombang permukaan yang diperoleh dalam domain frekuensi-kecepatan fase. Perbedaan mode pada gelombang permukaan yang merambat dapat diketahui dari frekuensi dan karakteristik kecepatan fase pada setiap frekuensi. *Phase shift method* terbagi atas tiga langkah utama yaitu *fourier transformation and amplitude normalization*, pencitraan dispersi, dan ekstraksi kurva dispersi (Park, dkk., 2007).

#### II.4.2.1 Fourier Transformation and Amplitude Normalization

Transformasi fourier diterapkan pada dimensi waktu  $u(x, t)$  dari rekaman gelombang menghasilkan domain frekuensi dari data  $\tilde{u}(x, \omega)$  dimana  $\omega$  adalah frekuensi sudut (Park, dkk, 1998).

$$\tilde{u}(x, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(x, t) e^{-i\omega t} dt \quad (2.6)$$

Selama rekaman gelombang  $u(x, t)$  diskrit pada domain ruang dan waktu, persamaan dapat didefinisikan sebagai *one-dimensional Discrete Fourier Transform* (DFT) yang diterapkan pada tiap *trace*  $u_j(t)$  ( $j = 1, 2, \dots, N$  secara terpisah.

$$\tilde{u}_j(\omega_l) = \sum_{m=0}^{N_s-1} u_j(t_m) e^{-i\omega_l t_m}, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.7)$$

$\tilde{u}_j(\omega)$  merupakan fourier transform dari trace ke- $j$  dari rekaman ( $u_j(t)$ ) dan  $N_s$  merupakan jumlah *sample point* dari setiap urutan data. Lama total perekaman adalah  $T = N_s dt$ , dimana  $dt$  merupakan *sampling rate*, dan *sample point* adalah:

$$t_m = mdt, m = 0, 1, \dots, N_s - 1 \quad (2.8)$$

$i$  *sample point* dilambangkan dengan  $\omega_l$  dan dirumuskan sebagai:



$$\omega_l = \frac{2\pi l}{T}, l = 0, 1, \dots, N_s - 1 \quad (2.9)$$

Pada  $\tilde{u}(x, \omega)$ , komponen frekuensi dari rekaman original  $u(x, t)$  telah terpisah menjadi frekuensi tiap *trace* seperti pada persamaan. Frekuensi sudut berhubung dengan komponen  $l$  yang ditransformasikan dalam persamaan berikut:

$$\omega_l = l \frac{\omega_s}{N_s} \quad (2.10)$$

dimana  $\omega_s$  merupakan *sampling frequency* (dalam radians) dan  $N_s$  merupakan jumlah *sample points* dan  $\tilde{u}(x, \omega)$  dapat dinyatakan dalam bentuk amplitudo  $A(x, \omega)$  dan bentuk fase  $P(x, \omega)$  sebagai berikut:

$$\tilde{u}(x, \omega) = A(x, \omega)P(x, \omega) \quad (2.11)$$

Serta rekaman yang telah ditransformasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tilde{u}(x, \omega) = A(x, \omega)e^{-i\Phi(\omega)x} \quad (2.12)$$

Sehingga dari persamaan didapatkan

$$P(x, \omega) = e^{-i\Phi(\omega)x} \quad (2.13)$$

Dimana,

$$\Phi(\omega) = \frac{\omega}{c(\omega)} \quad (2.14)$$

dan  $c(\omega)$  merupakan kecepatan fase pada  $\omega$  (Park, dkk., 1998).

Mengingat bahwa tiap diskrit *trace* terpisah maka dapat dinyatakan dalam bentuk amplitudo  $A_j(\omega_l)$  dan fase  $P_j(\omega_l)$  (Ryden, dkk., 2004) seperti berikut:

$$\tilde{u}_j(\omega_l) = A_j(\omega_l)P_j(\omega_l) \quad (2.15)$$

$j = 1, 2, \dots, N$  dan  $l = 0, 1, \dots, N_s - 1$  dan fase pada persamaan ditentukan kecepatan fase pada masing-masing frekuensi:



$$P_j(\omega_l) = e^{-i\Phi(\omega)x_j} \quad (2.16)$$

$$\Phi(\omega) = \frac{\omega_l x_j}{c(\omega_l)} = \frac{\omega_l(x_1+(j-1)dx)}{c(\omega_l)} \quad (2.17)$$

Dimana  $x_1$  merupakan *source offset* dan  $dx$  merupakan jarak antar *geophone*.

Selama informasi mempertahankan kecepatan fase pada setiap setiap frekuensi terdapat pada  $P_j(\omega_l)$ , amplitudo dari transformasi *fourier* dapat dinormalisasi pada *offset* dan frekuensi tanpa menghilangkan informasi penting (Ryden, dkk., 2004).

$$\tilde{u}_{j,norm}(\omega_l) = \frac{\tilde{u}_j(\omega_l)}{|\tilde{u}_j(\omega_l)|} = P_j(\omega_l) \quad (2.18)$$

Dimana  $\tilde{u}_{j,norm}(\omega_l)$  merupakan normalisasi yang merepresentasi transformasi *fourier* gelombang dari trace ke- $j$  pada frekuensi  $\omega_l$ .

Normalisasi gelombang (pada domain frekuensi) memiliki unit amplitudo pada frekuensi ( $\omega$ ) dan *offset* ( $x$ ) yang berbeda dari sumber tumbukan, dapat diekspresikan pada persamaan di bawah ini (Ólafsdóttir, dkk., 2016).

$$\tilde{u}_{norm}(\omega_l) = \frac{\tilde{u}(x,\omega)}{|\tilde{u}(x,\omega)|} \quad (2.19)$$

#### II.4.2.2 Pencitraan Dispersi

Pencitraan dispersi dipengaruhi oleh superposisi gelombang pada rekaman data gelombang permukaan. Apabila *stacking* bersifat superposisi konstruktif maka nilai normalisasi amplitudo adalah  $A_S = N = 1$ . Dan sebaliknya, maka nilai

nilai amplitudo  $A_S = N < 1$  (Park, 2011). Proses *stacking* pada



gelombang umumnya merujuk pada *slant-stacking* (Yilmaz, 1987). Fungsi *slant-stack* dapat didefinisikan sebagai berikut (Park, dkk., 1998):

$$\tilde{S}(\omega, c_{test}) = \int_{x_1}^{x_N} e^{-i\phi_{test}x} \frac{\tilde{u}(x,\omega)}{|\tilde{u}(x,\omega)|} dx = \int_{x_1}^{x_N} e^{-i\phi_{test}x} \tilde{u}_{norm}(x, \omega) dx \quad (2.20)$$

Dimana  $\phi_{test}$  merupakan bilangan gelombang sudut yang berhubungan dengan kecepatan fase pengujian ( $c_{test}$ ) dan bilangan gelombang ( $\omega$ ).

$$\phi_{test} = \frac{\omega}{c_{test}} \quad (2.21)$$

$x_1$  merupakan *source offset*,  $x_N = x_1 + L = L_T$  adalah panjang lintasan, dan  $\tilde{u}_{norm}(x, \omega)$  merupakan transformasi fourier dari rekaman gelombang permukaan yang telah dinormalisasi pada dimensi frekuensi dan *offset*.

Pada frekuensi tertentu, maksimal dari  $\tilde{S}(\omega, c_{test})$  akan terjadi dimana:

$$\phi_{test} = \Phi(\omega) \quad (2.22)$$

Dengan memanfaatkan persamaan (2.21), persamaan (2.14) dapat ditulis sebagai

$$\frac{\omega}{c_{test}} = \frac{\omega}{c(\omega)} \leftrightarrow c_{test} = c(\omega) \quad (2.23)$$

Karenanya, untuk menentukan karakteristik dispersi dari  $u(x, t)$ , nilai dari  $\tilde{S}(\omega, c_{test})$  perlu dipertimbangkan. Dengan memanfaatkan persamaan (2.7) dapat dituliskan dalam bentuk diskrit sebagai berikut:

$$\tilde{S}_s(\omega_l, c_{test}) = \sum_{j=1}^N e^{-i\phi_{test}x_j} \tilde{u}_{j,norm}(\omega_l) = \sum_{j=1}^N e^{-i\phi_{test}x_j} P_j(\omega_l) \quad (2.24)$$



$$\phi_{test}x_j = \frac{\omega_l x_j}{c_{test}} = \frac{\omega_l(x_1 + (j-1)dx)}{c_{test}} \quad (2.25)$$



untuk  $j = 1, 2, \dots, N$  dan  $l = 0, 1, \dots, N_s - 1$ .

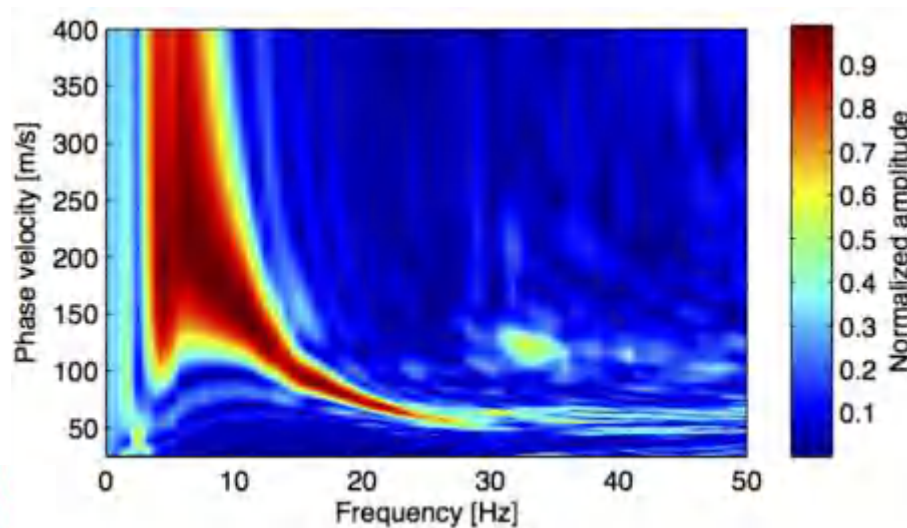
Nilai dari  $\tilde{S}_s(\omega_l, c_{test})$  adalah bilangan kompleks yang nilainya mutlak.

$$A_{s,norm}(\omega_l, c_{test}) = |\tilde{S}_s(\omega_l, c_{test})| \quad (2.26)$$

Pada setiap frekuensi ( $\omega_l$ ), nilai dari ( $c_{test}$ ) yang memberikan nilai maksimum dari  $A_s$  adalah nilai yang dicari (Park, dkk., 1998). Karena nilai  $A_s$  yang diperoleh bergantung pada jumlah *geophone* yang digunakan pada akuisisi data ( $N$ ), maka nilai  $A_s$  dinormalisasi seperti persamaan (2.19):

$$A_{s,norm}(\omega_l, c_{test}) = \frac{A_s(\omega_l, c_{test})}{N} \quad (2.27)$$

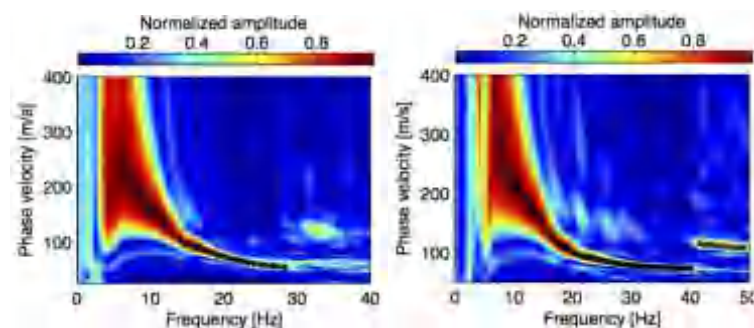
Hasil yang diperoleh disajikan dalam spektrum kecepatan fase 2 dimensi (pencitraan dispersi) dengan plotting nilai dari  $A_{s,norm}$  pada domain frekuensi-kecepatan fase yang dinormalisasi sebagai plot kontur dimana nilai amplitude yang berbeda ditunjukkan dalam skala warna seperti pada **Gambar 2.4** (Ólafsdóttir, dkk., 2016).



**Gambar 2.4** Pencitraan dispersi 2 dimensi (Ólafsdóttir, dkk., 2016).

### II.4.2.3 Ekstraksi Kurva Dispersi

Berdasarkan energi pada rekaman data gelombang permukaan, kurva dispersi dapat diekstraksi dari spektrum kecepatan fase. Kurva dispersi *fundamental mode* adalah bagian utama dalam menentukan profil kecepatan gelombang geser (Ólafsdóttir, dkk., 2014). Ketidakakuratan dari ekstraksi kurva dispersi *fundamental mode* menyebabkan kesalahan yang besar dalam menentukan profil kecepatan gelombang geser (Zhang dan Chan, 2003). Gelombang permukaan yang diperoleh dari lapangan pada umumnya tidak lengkap sampai batas tertentu. Hal ini menimbulkan berbagai tantangan ketika kurva dispersi diekstraksi dari spektrum kecepatan fase. Patahan pada spektral amplitudo tinggi biasanya terjadi, hal tersebut terjadi karena adanya segmen data yang hilang atau *higher mode/noise* mendominasi pada frekuensi tertentu (Ólafsdóttir, dkk., 2015). Selain itu, kesalahan identifikasi mode dapat terjadi. Contohnya, *higher mode* diidentifikasi sebagai *fundamental mode*, atau campuran data dari *fundamental mode* dan *higher mode*.



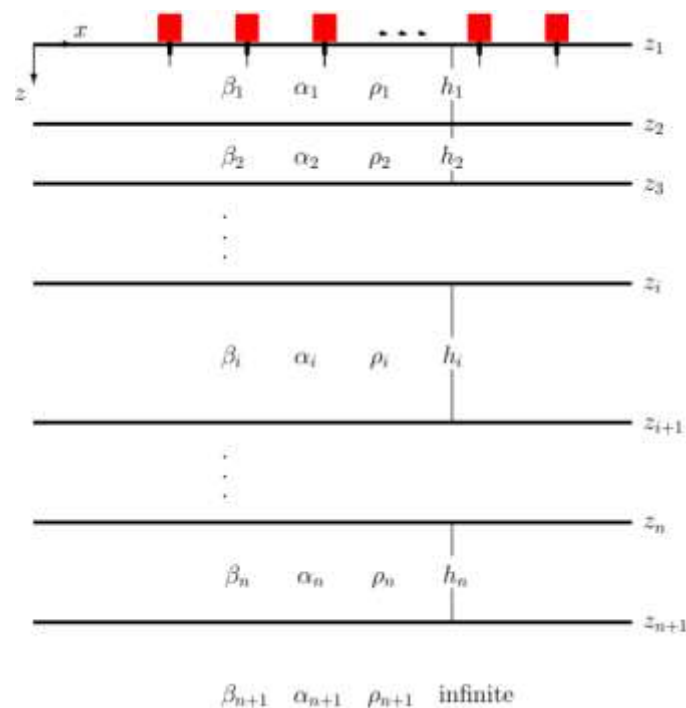
**Gambar 2.5** (a) titik hitam menunjukkan *fundamental mode* dari gambar dispersi. (b) titik hitam menunjukkan *fundamental mode* dan titik abu-abu menunjukkan *higher mode* pada gambar dispersi (Ólafsdóttir, dkk., 2015).



## II.4.3 Analisis Inversi

### II.4.3.1 Estimasi Awal Model Parameter

Parameter diperlukan untuk menentukan properti dari setiap lapisan berdasarkan asumsi model bumi, yaitu ketebalan lapisan ( $h$ ), kecepatan gelombang geser ( $\beta$ ), kecepatan gelombang kompresi ( $\alpha$ ) (atau *Poisson ratio*) dan densitas ( $\rho$ ).



**Gambar 2.6** Lapisan model bumi dengan parameter ketebalan lapisan ( $h$ ), kecepatan gelombang geser ( $\beta$ ), kecepatan gelombang kompresi ( $\alpha$ ) (atau *Poisson ratio*) dan densitas ( $\rho$ ). (Ólafsdóttir, dkk., 2014).

Dalam menentukan estimasi model parameter ketebalan lapisan dan kecepatan gelombang geser diestimasi dari kurva dispersi eksperimental rata-rata ( $c_{e,q}, \lambda_{e,q}$ ) ( $q = 1, \dots, Q$ ) berdasarkan metodologi simpel dari Park, dkk., (1999).  $Q$

adalah jumlah dari titik data pada kurva dispersi eksperimental.  $c_{e,q}$  adalah kecepatan fase gelombang Rayleigh dari data ke- $q$ , dan  $\lambda_{e,q}$  adalah panjang gelombang yang sesuai.



Profil tanah berlapis dibuat berdasarkan panjang gelombang yang termasuk dalam rata-rata kurva dispersi eksperimental,  $\lambda_e = [\lambda_{e,1}, \lambda_{e,2}, \dots, \lambda_{e,Q}]^T$ . Untuk konstruksi profil tanah berlapis vektor  $\lambda_e = [\lambda_{e,1}, \lambda_{e,2}, \dots, \lambda_{e,Q}]^T$  direduksi menjadi vector  $\lambda_{red}$ . Jumlah elemen dalam vektor  $\lambda_{red}$  sama dengan jumlah lapisan ( $n$ ) dalam model bumi bertingkat.

$$\lambda_{red} = \begin{cases} \lambda_{e,2i-1} & \text{for } i = 1, \dots, \frac{1}{2}(Q + 1) \text{ if } Q \text{ adalah bilangan ganjil} \\ \lambda_{e,2i-1} & \text{for } i = 1, \dots, \frac{1}{2}Q \quad \text{if } Q \text{ adalah bilangan genap} \\ \lambda_{e,Q} & \text{for } i = \frac{1}{2}(Q + 1) \end{cases} \quad (2.28)$$

Koordinat  $z$  di bagian bawah setiap lapisan dengan ketebalan hingga  $z_1, \dots, z_{n+1}$  selanjutnya diperoleh sebagai

$$z_{i+1} = a\lambda_{red,i} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.29)$$

dimana  $a$  adalah konstanta yang ditentukan pengguna. Nilai  $a$  di sini direkomendasikan untuk dipilih mendekati 0,5.  $z_1$  adalah koordinat  $z$  di bagian atas lapisan pertama, yaitu  $z_1 = 0$ . Ketebalan lapisan  $h = [h_1, h_2, \dots, h_n]^T$  dari model bumi.

$$h_i = z_{i+1} - z_i \quad i = 1, \dots, n \quad (2.30)$$

Untuk estimasi kecepatan gelombang geser awal  $\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n]^T$  rata-rata vektor kecepatan gelombang Rayleigh  $c_e = [c_{e,1}, c_{e,2}, \dots, c_{e,Q}]^T$  direduksi

$$\text{vektor } c_{red} = [c_{red,1}, c_{red,2}, \dots, c_{red,n}]^T.$$



$$c_{red} = \begin{cases} c_{e,1} & \text{for } i = 1 \\ c_{e,2i-1} & \text{for } i = 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.31)$$

dimana  $n$  adalah jumlah lapisan dalam model bumi.

Kecepatan gelombang geser awal dari lapisan ketebalan hingga ke- $i$  ( $\beta_i$ ) diperkirakan sebagai

$$\beta_i = 1,09c_{red,i} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.32)$$

Parameter lainnya seperti kecepatan gelombang kompresi ( $\alpha$ )(atau *Poisson ratio*) dan densitas ( $\rho$ ) diasumsikan sebagai parameter yang diketahui dan sebagai nilai yang ditetapkan.

#### II.4.3.2 Kurva Dispersi Teoritikal

Metode Thomson-Haskell dalam kalkulasi kurva dispersi teoritikal didasarkan pada penggunaan transfer matriks pada domain ( $\omega - k$ ) (Haskell, 1953). Parameter model yang diestimasi kemudian digunakan untuk mendapatkan estimasi kecepatan fase ( $c$ ). Inti dari proses yang dilakukan adalah untuk mendapatkan nilai 0 dari kecepatan fase ( $c$ ) pada nilai bilangan gelombang ( $k$ ) ( $F(c, k) = 0$ ).

#### II.4.3.3 Estimasi Error dan Estimasi Ketidakcocokan

Ketidaksesuaian antara kurva dispersi teoritikal dan kurva dispersi eksperimental yang diamati kemudian dievaluasi berdasarkan kesalahan *root-mean-square*



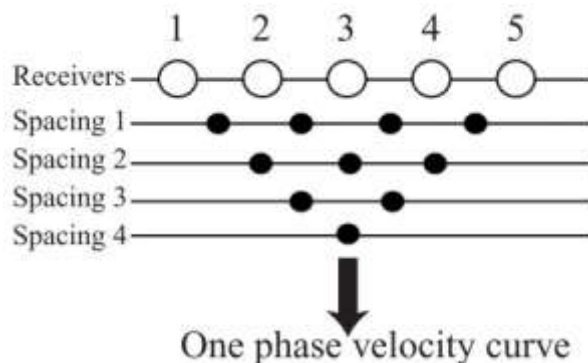
$\epsilon$ ) antara kecepatan fase gelombang *Rayleigh* teoritikal ( $c_{t,n}$ ) dan eksperimental ( $c_{e,n}$ ).

$$\epsilon = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (c_{t,n} - c_{e,n})^2} \quad n=1, 2, 3, \dots, N \quad (2.33)$$

## II.5 Metode Common Mid Point Cross-Correlation (CMPCC)

Metode CMPCC dilakukan untuk meningkatkan resolusi lateral pada MASW. Akuisisi data yang dilakukan pada metode CMPCC sama dengan akuisisi data yang dilakukan pada survei 2D seismik refleksi. Metode *multi-shot* dan memindahkan bentangan *geophone* dan titik *shot*. Metode tersebut bertujuan untuk meningkatkan jumlah data dari CMPCC. Analisis CMPCC diterapkan pada MASW, dengan prosedur sebagai berikut (Hayashi dan Suzuki, 2004).

1. Pada tiap *shot gather*, *cross-correlation* dikalkulasi pada tiap pasang *trace*.



**Gambar 2.7** Konsep analisis CMP pada metode gelombang permukaan.

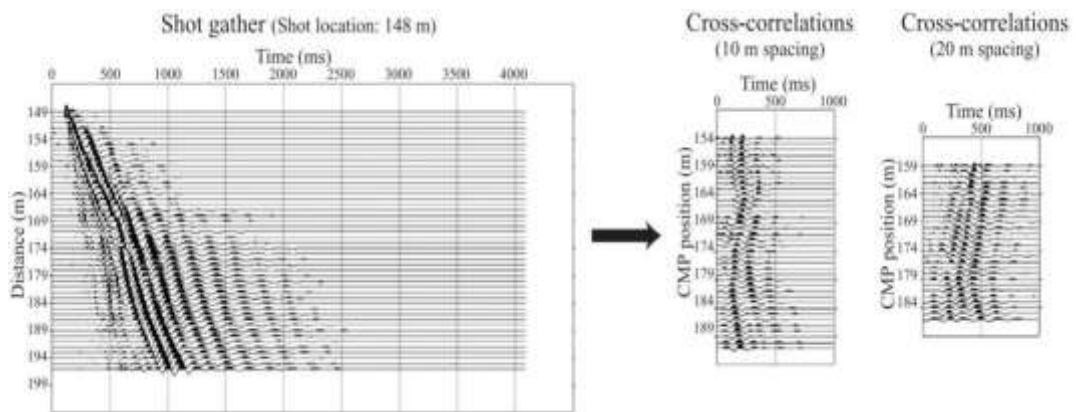
Pada **gambar 2.7** lingkaran terbuka merupakan *geophone* dan lingkaran tertutup merupakan titik tengah dari *cross-correlation*. *Spacing 1, 2, 3, ...* merujuk pada jarak antar *geophone* untuk kalkulasi *cross-correlation*; contohnya, *Spacing 1* berkorespondensi dengan pasangan *geophone 1-2, 2-3, 3-4, dan 4-5*.



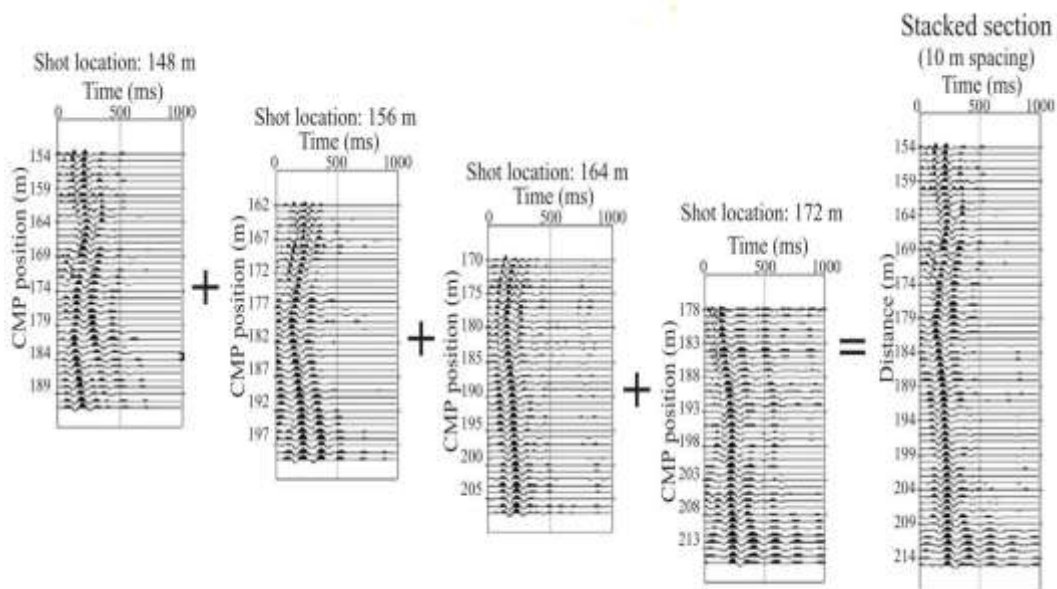
ah *cross-correlation* dilakukan pada tiap pasang *trace* pada semua *shot* er. *Trace* hasil *cross-correlation* yang memiliki CMP dikelompokkan

dalam *offset* yang ditentukan. Pada tiap CMP, *cross-correlation* yang memiliki *offset* yang sama di-*stack* pada domain waktu dan disebut CMPCC *gather*.

- Analisis dispersi dan analisis inversi dilakukan untuk memperoleh profil 1D kecepatan gelombang geser pada tiap CMPCC *gather*s.



(a)



(b)

: 2.8 (a) Pengelompokkan CMP pada tiap *shot gather* dengan *offset* yang an yang telah melalui proses *cross-correlation*. (b) hasil CMPCC *gather*



yang di *stacked* pada tiap CMPCC tiap shot gather yang memiliki *offset* yang sama (Hayashi dan Suzuki, 2004).

## II.6 Karakterisasi Site Berdasarkan Nilai $v_s$

Nilai kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) memberikan informasi tentang karakteristik struktur bawah permukaan yang diklasifikasikan seperti pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.2** Klasifikasi geomaterial berdasarkan nilai  $v_p$  dan  $v_s$  (Foti, 2014).

Geomaterial	$v_p$ (m/s)	$v_s$ (m/s)	Poisson Ratio
Crystalline rocks	4000 – 6500	2500 – 3500	0.2 – 0.3
Calcareous, fractured Rocks	1600 – 3000	1000 – 1500	0.2 – 0.3
Soft rocks, very dense gravels	800 – 2000	500 – 1000	0.2 – 0.3
Medium to dense gravels	650 – 1500	400 – 800	0.2 – 0.3
Medium to dense sands	350 – 750	200 – 400	0.2 – 0.3
NC clays and silts	250 – 500	150 – 300	0.15 – 0.25
Very soft clays	80 – 200	50 – 100	0.15 – 0.25

## II.7 Penelitian Terdahulu

Penerapan metode MASW pada daerah rawan longsor telah banyak dilakukan sebelumnya oleh para peneliti. Para peneliti itu diantaranya adalah Suto, dkk., (2016), dan Keskinsezer dan Dag (2019).

### 1. Suto, dkk., (2016)

Intensitas hujan yang tinggi di Serbia, Bosnia, dan Herzegovina menyebabkan lebih dari 2000 kejadian longsor terjadi. Hal tersebut menjadi pendorong diadakannya survei lebih lanjut untuk daerah yang berpotensi longsor. Metode MASW dan resistivity digunakan untuk menentukan memperkirakan kekuatan

dan kedalaman bidang gelincir, serta memperkirakan interaksi ukuran porositas dan kadar air membentuk air tanah. Hasil penelitian Survei





MASW menunjukkan peningkatan kecepatan gelombang-S yang jelas dari 250 menjadi 350 m/s pada sekitar 3 hingga 5 meter di bawah permukaan tanah. Kedalaman ini kira-kira sesuai dengan batas resistivitas pada 80 Ohm-m. Ini ditafsirkan antarmuka antara tanah lunak dan batuan yang relatif kompeten. Profil kedalaman batas-batas ini menunjukkan bahwa tanah lunak lebih tebal ke arah bagian bawah lereng. Ini tanah longsor dapat diklasifikasikan sebagai klasifikasi Varnes "*earth slide* atau *earth flow*".

## 2. Keskinsezer dan Dag (2019)

Peningkatan populasi pada daerah Atakent Barat, Istanbul menjadi sebab dari akibat kondisi dari tanah dan kondisi kelongsoran pada daerah tersebut meningkat pada daerah tersebut. Hal ini mendorong peneliti untuk meneliti tentang potensi longsor yang akan terjadi menggunakan metode *resistivity*, MASW, *microtremor*, dan *Boreholes*. Berfokus pada metode MASW yang dilakukan hasil dari penelitian dapat menunjukkan bahwa profil kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) dapat menentukan geometri tanah longsor bawah permukaan. Hal tersebut juga berkorelasi dengan metode lain yang dilakukan peneliti.

