

Skripsi Geofisika

**IDENTIFIKASI PROFIL KECEPATAN GELOMBANG GESER DAN
KLASIFIKASI TANAH TERHADAP KEDALAMAN MENGGUNAKAN
METODE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES
(MASW)**

Disusun dan diajukan oleh

MUH. ZAHARI

H061 17 1315



**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

IDENTIFIKASI PROFIL KECEPATAN GELOMBANG GESER DAN KLASIFIKASI TANAH TERHADAP KEDALAMAN MENGGUNAKAN METODE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. ZAHARI

H061171315

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

Pada tanggal, 12 Oktober 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

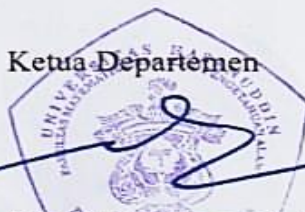


Dr. Erfan, M.Si.
NIP. 1967090320011210001



Syamsuddin, S.Si. MT.
NIP. 197401152002121001

Ketua Departemen



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Zahari
NIM : H061171315
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul Identifikasi Profil Kecepatan Gelombang Geser dan Klasifikasi Tanah Terhadap Kedalaman Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila di kemudian hari skripsi karya saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka yang bersedia menerima sanksi.

Makassar, 12 Oktober 2022

Yang menyatakan:



Muh. Zahari

Abstrak

Struktur bawah permukaan merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk pertimbangan desain pondasi bangunan. Melalui nilai kecepatan gelombang geser V_s , beberapa kondisi tanah seperti struktur tanah di bawah permukaan, amplifikasi tanah, likuifaksi dan pemetaan kondisi bawah permukaan dapat diperkirakan. Nilai V_s dapat diperoleh dengan memanfaatkan salah satu metode geofisika yakni multichannel analysis of surface waves (MASW). Metode MASW memanfaatkan rekaman gelombang seismik permukaan, yaitu gelombang Rayleigh, yang merupakan interferensi antar gelombang tekan datang dengan gelombang geser komponen vertikal. Rekaman gelombang seismik dalam domain waktu tersebut, kemudian ditransformasi ke dalam domain frekuensi untuk memudahkan pembacaan spektrum energi dalam hubungan antara kecepatan fase gelombang terhadap frekuensi dalam bentuk kurva dispersi. Melalui metode pergeseran fase, kurva dispersi yang diperoleh, kemudian diinversi untuk memperoleh profil V_s terhadap kedalaman. Dalam penelitian ini digunakan alat MASW dengan 24 geofon sebagai penerima gelombang yang berfrekuensi 4,5 Hz. Pengukuran dilakukan pada tiga lintasan dengan jarak antar geofon adalah 3 meter. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak EasyMASW. Hasil proses inversi dengan kurva dispersi eksperimental yang dibandingkan dengan kurva dispersi teoritis untuk masing-masing lapisan dengan nilai RMSE sebesar 0.118 %, 0.034 %, 0.003 %. Hasil identifikasi nilai V_s secara berturut turut berada pada rentang 210,85-653.43 m/s, 228.90-626.56 m/s dan 218.95-597.97 m/s. Berdasarkan nilai V_s tersebut diperkirakan struktur perlapisan bawah permukaan tanah terdiri dari clays (lempung), silts (lanau), sands (pasir), gravel (kerikil), dan soft rock (batuan lunak) hingga kedalaman 30m pada masing-masing lintasan.

Kata kunci: Gelombang Geser, Masw, Inversi

Abstract

Subsurface structure becomes important factors for consideration base of building. Through the shear wave velocity value of V_s , several conditions such as subsurface soil structure, soil amplification, liquefaction and mapping of subsurface form can be estimated. The V_s value can be obtained by utilizing one of the geophysical methods, namely the multichannel analysis of surface waves (MASW). The MASW method involves recording surface seismic waves, namely Rayleigh waves, which are the interference between incident compression waves and vertical component shear waves. Seismic wave records are the time domain, then transformed into the frequency domain to simplify the reading of the energy spectrum in a correlation between the wave phase velocity and frequency in the form of a dispersion curve. Performed the phase shift method, the dispersion curve is generated and then inverted to obtain the V_s profile towards depth. In this study, the MASW instrument by 24 geophones was used as a wave receiver with a frequency of 4.5 Hz. Acquisitions were carried out on three tracks with a range of about 3 meters in each geophone. Data processing was conducted using EasyMASW software. The results of inversion process used experimental dispersion curves and were compared with theoretical dispersion curves for each layer with RMSE values of 0.118 %, 0.034 %, and 0.003 %. The identification result of V_s values are in the range of 210.85-653.43 m/s, 228.90-626.56 m/s, and 218.95-597.97 m/s. Based on the V_s value, it could be estimated that the subsurface layer structure consists of clays, silts, sands, gravel, and soft rock up to 30 m at the depth on each track.

Keywords: Shear wave, MASW, Inversion

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wa Rahmatullahi Wa Barakaatuuh.

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT berkat limpahan rahmat nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan dengan judul “Identifikasi Profil Kecepatan Gelombang Geser dan Klasifikasi Tanah Terhadap Kedalaman Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)” yang merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana sains di Departemen Geofisika Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Serta salawat dan salam terus tcurahkan oleh penulis terhadap manusia yang paling mulia sosok yang menjadi panutan dalam menjalankan hidup dunia dan akhirat Muhammad SAW.

Selama proses penyelesaian skripsi, penulis mengalami berbagai hambatan dan menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Hambatan dapat teratasi tentu tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang yang turut membantu, baik dalam bentuk sumbangan ide, materil, maupun moril sehingga skripsi ini dapat selesai sebagaimana mestinya. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga tercinta, terkhusus kepada kedua orang tua tercinta, Yth. Ayahanda **Vandi Kurniawan** dan Ibu tersayang **Maslina Saing** yang selalu memberikan kasih sayang, perhatian, semangat, dan dukungan baik secara moral maupun secara materi kepada penulis, dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada kakak **Musdalifa** dan **Chaerul Fahmi** juga adik-adik **Ananda Rizqa Zalfadillah** dan **Izmi Annisatul Wahda** yang selalu

mendukung penulis, serta menjadi teman berkelahi dan juru masak bagi penulis. Terima kasih sebanyak banyaknya.

2. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin dan juga selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu dan memberikan banyak saran yang membuat penulis merasa tertolong selama menjalani masa perkuliahan.
3. Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin M.Si.** selaku Pembimbing Utama dan Bapak **Syamsuddin, S.Si, M.T.** selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah banyak membimbing dan meluangkan waktu, tenaga, serta pemikirannya untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si.** dan **Muh. Fawzy Ismullah, S.Si, MT** selaku Tim Penguji yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan ilmu, saran, dan diskusi dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh **Dosen FMIPA Unhas**, khususnya kepada seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin**. Terima kasih telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan mendidik penulis selama menjadi mahasiswa di kampus merah ini
6. Bapak/Ibu Staf Pegawai FMIPA UNHAS, terutama kepada pak **Suardi** serta Staf Departemen Geofisika, terutama pak **Putra** yang selalu membantu penulis dalam mengurus berkas selama berada di kampus.
7. Kawan pejuang MASW **Dandung** dan **Khalission** yang menjadi partner dalam menyelesaikan skripsi.

8. Saudara Pengurus **HMGF FMIPA Unhas Periode 2019/2020** yang menjadi warna berbeda dalam menjalankan kehidupan kampus yang sangat membuat penulis merasakan sukanya kehidupan kampus. **Kepada Ketua Himpunan pertama HMGF FMIPA UH Khalis Giffary, Bendum Adhe, Sekum Adi, Koor Pendidikan Indra, Koor Kerohanian Fajar, Koor Dankes Aldo Tampan, dan Koor Humas Ucha dan kawan kawan pengurus lainnya terutama untuk teman – teman di bidang Pengderan yang di Koordinatori oleh Tsaqif Razin (nobita).** Terima kasih karena telah saling mempercayai selama satu priode kepengurusan yang berat. Sekali lagi terimakasih.
9. Kawan-kawan pengurus **BEM FMIPA Unhas Periode 2020/2021** yang telah banyak menguras tenaga dan pikiran selama menjalankan kepengurusan. Kepada **ketua BEM Rahman** terimakasih sudah dipercayakan sebagai anggotanya.
10. Saudara **Pengaderan BEM FMIPA Unhas Periode 2020/2021 yang di Koordinatori oleh Khalis Giffary dan anggota bidangnya Puad, Indah, Aidul, Syakirah, Salman, Ky, Fajri, Cici, Lulu, Mecha, Ima** yang menjadi partner urusi nilai – nilai Ke-MIPAAan.
11. 79 orang yang awalnya tak kukenal kemudian menjadi Saudara meskipun tak sedarah, **Himafi17 (Faqih, Aat, Khalis, Callu, Fajar, Madan, Agung, Qoil, Jepri, Wahyu, Ardi, Zain, Ucha, Ebiet, Dandung, Ale, Roni, Gabe, Fadlan, Faishal, Tsaqif, Ano, Reza, Indra, Adi, Aldo, Angga, Puad, Bintang, Sabran, Rial, Albaar, Nurul Fauziah, Nia, Esi, Ainun, Syakirah, Epi, Khusnul, Riri, Kiki, Melsi, Daya, Miftah, Mayama, Wide, Desha, Eky, Illa, Gebrina, Yusrin, Evita, Egi, Sappe, Mirna, Hikmah, Destri, Ate, Asni, Suci, Ghufa, Titien, Nova, Rachel, Ningnang, Gita, Lahu, Yesi, Rapang, Adhe, Unia, Danti, Cammai, Time, Ola, Rahmah, Ajeng, Sindy, Cindy)** terima kasih atas kepercayaanya kepada saya untuk menjadi Ketua di Angkatan Kita, Terimakasih juga untuk kesadaran, kebersamaan,

keselarasan, kepusingan dan segala bentuk dukungan yang kalian berikan. Kalian orang hebat yang selalu ada baik suka maupun duka. Saya sangat bersyukur bisa berada dan memimpin kalian. Semoga tetap **Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan**

12. Para Tampan Maks, **Sabran, Faqih, Aat, Callu, Fajar, Madan, Agung, Qoil, Jepri, Wahyu, Ardi, Zain, Ucha, Ebiet, Dandung, Ale, Roni, Gabe, Fadlan, Faishal, Tsaqif, Ano, Reza, Indra, Adi, Aldo, Angga, Puad, Khalis, Rial, Albaar**. Terima kasih telah menjadi anomali yang nyata di mipa (kehadiran cowok lebih banyak daripada cewek).
13. Kawan-kawan **MIPA 2017**, mulai dari Mipa 1 sampai Mipa 7 secara keseluruhan. Terutama Ketua Angkatan (yang menang suara dari saya), **Roni Rahmat** terimakasih telah merangkul dan bermusyawarah kepada semua anggota **MIPA 2017** dan tetap memahamkan slogan **KAMI SATU KAMI BERSAUDARA**.
14. **Kanda – kanda Warga Himafi** terutama **Kanda – Kanda Himafi 2015** selaku Pengurus Himpunann kami dan **Kanda – kanda Himafi 2016** selaku panitia kami yang telah banyak memberikan arahan dan masukan dan arahan selama saya menjadi mahasiswa, baik akademik maupun non-akademik.
15. Adik – adik tak sedarah, **Himafi 2018 (Dede, Fauzi, justin, tara, gopal, azlan, sarwan, heral, ipul, hasnan, boca, micin, jihan, via, fira, ainul, zefa, sorong, dena** dan adik-adik yang belum sempat disebutkan namanya).
16. Adik – adik **Pengurus HMGF periode 2021/2022 (Akbar Nabawi Faturrahman, Haikal, Alif, Mawang, Haidir, Fausta, Mulki, Ashar, Jack, Dominikus, Riman, Arsyi, Habib, Haerul, William, Reika, Cindy, Ita, Devi, Sarni, Fatihah, Mey, Maulidah, Nude, Nismul, ismi, Dian, Muji, Nur, Risda, Muli, Tiara, Ayul, Indah, Sekar, Zakiyah, Dahliah, Pipit, Afika, Suleha. Yuli, Asyifa, Caca, Jinaan, Nanda, Sindy)**. Serta **Himafi 2019 (Yusri,**

stefen, Agung, alya, nurul, kopat, dan adik-adik lain yang belum sempat disebutkan Namanya).

17. **MIPA 2020 (Risafli, Algi, Toktok, Asmawan, Danke, Site, Vikram, Letnan, Rahmat, Brian, Iccang, Noval, Enkal, Iskar, Sarwan**, dan yang lainnya) terima kasih atas dukungan, semangat yang pernah ada dan semoga selalu ada. Semoga tetap **Satu dan Selamanya**
18. Teman-teman seperjuangan **Geofisika angkatan 2017** yang tidak sempat disebutkan satu – persatu namanya, Bang bersama-sama sejak maba, hingga sekarang satu persatu telah menyelesaikan masa studinya. Semoga kita semua sukses dimasa mendatang dan silaturahmi diantara kita tetap terjalin.
19. Lembagaku, **Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) FMIPA Unhas** terima kasih telah membentuk karakter **keras, kuat, cerdas dan berani** di dalam diri penulis, serta memperkenalkan dan mengajarkan banyak hal baru sejak penulis menjadi mahasiswa baru hingga saat ini.
20. Lembagaku, **Himpunan Mahasiswa Geofisika (HMGF) FMIPA Unhas** terima kasih telah menjadi wadah berkreasi, berinovasi serta menjadi tempat kembali selama dikampus. Semoga selalu menjadi wadah yang berkembang dan lebih keren kedepannya. Tetaplah Meng-Khaki.
21. Kawan-kawan KKN Regular gelombang 106 Tamlan 10, dan Tamlan 16, **Hamaluddin, Arul, Safwan, Azhardi, Dicky, Hardi, Zul, Salsa, Timo, Mimi. Ayu, Desty**, dll yang menemani selama KKN berlangsung.
22. Kepada **PASKIB 118 MKS dan IPPS 18 MKS**, terutama kepada teman – teman **Seiko Darah 14 dan IPPS 2017**, yang telah menjadi warna dasar sebelum menjadi Mahasiswa dan sampai saat ini selalu menjadi salah satu wadah healing terbaik bagi penulis.

23. **Kepada Kepengurusan IPPS Priode 2021/2022: Pia (wapres), Anni (Mentri Sekertaris), Hasnany (Mentri Keuangan), Rama (Mentri Kepelatihan), Favian (Mentri Sosial),** dan seluruh anggota Kementriannya yang tak sempat dituliskan, terimakasih sudah mempercayaan dan mendegarkan penulis Sebagai Presiden pada priode itu terimakasih pula sudah berjalan bersama seama satu priode kepengurusan.
24. Teruntuk **Muh. Sabran**, terima kasih telah menjadi teman begadang, berkelahi, curhat, nyebat dan ngops semenjak kau menjadi warga hingga saat ini, sehat selalu dan tetap waras dinda.
25. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Makassar,12 Oktober 2022

Muh. Zahari

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Ruang Lingkup.....	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 Geologi Regional	4
II. 2 Gelombang Seismik.....	5
II.2.1 Asas Fermat.....	6
II.2.2 Prinsip <i>Snellius</i>	7
II.2.3 Hukum <i>Huygens</i>	8
II.3 Gelombang Permukaan.....	8
II.4 Gelombang Geser	11

II. 5 Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)	14
II.5.1 Transformasi fourier	15
II.5.2 Kurva Dispersi	16
II.5.3 Inversi.....	17
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	19
III.1 Lokasi Penelitian	19
III.2 Alat dan Bahan	20
III.2.1 Alat.....	20
III.2.2 Bahan	21
III.2.3 Tahap Penelitian	21
III.2.4 Pengolahan Data.....	22
III.2.5 Bagan Alir	24
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
IV.1 Hasil	25
IV.2 Analisis Gelombang Geser.....	26
IV.1.1 Update Geometri	26
IV.1.2 <i>Dispersion Image</i>	28
IV.1.3 Kurva Dispersi	30
IV.1.3.1 Kurva Dispersi Eksperimental	30
IV.1.3.2 Kurva Dispersi Teoritis	32
IV.1.4 Proses Inversi	34
IV.1.5 Profil Kecepatan Gelombang Geser	36
BAB V. PENUTUP.....	43
V.1 Kesimpulan.....	43
V.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi daerah Palu dan sekitarnya (Widyaningrum, 2012).....	5
Gambar 2.2 Rambatan Gelombang (Susilawati, 2004)	6
Gambar 2.3 Pembiasaan pada bidang atas batas dua medium (Utami, 2016).....	7
Gambar 2.4 Pembiasan pada bidang atas dua medium.....	8
Gambar 2.5 Dispersi gelombang permukaan pada medium berlapis (Foti dkk., 2014)	9
Gambar 2.6 Pola Gerakan partikel <i>Rayleigh</i> (Lowrie, 2007).	11
Gambar 2.7 Prosedur metode MASW (Olafsdottir dkk., 2018)	15
Gambar 2.8 Jenis - jenis Gelombang pada citra dispersi (Park Dkk, 1998)	17
Gambar 2.9 Proses inversi (Foti dkk., 2000)	18
Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Data	19
Gambar 3.2 Bagan Alir	24
Gambar 4.1 Lintasan Pengambilan Data	25
Gambar 4.2 Rekaman data pada lintasan P1.....	27
Gambar 4.3 Rekaman data pada lintasan P2.....	27
Gambar 4.4 Rekaman data pada lintasan P3.....	28
Gambar 4.5 <i>Dispersion image</i> lintasan P1.....	29
Gambar 4.6 <i>Dispersion image</i> lintasan P2.....	29
Gambar 4.7 <i>Dispersion image</i> lintasan P3.....	30
Gambar 4.8 Kurva dispersi eksperimental lintasan P1.	31
Gambar 4.9 Kurva dispersi eksperimental lintasan P2.	31
Gambar 4.10 Kurva dispersi eksperimental lintasan P3.	32
Gambar 4.11 Kurva dispersi teoritis lintasan P1.	33

Gambar 4.12 Kurva dispersi teoritis lintasan P2.	33
Gambar 4.13 Kurva dispersi teoritis lintasan P3.	34
Gambar 4.14 Hasil Inversi Kurva dispersi teoritis lintasan P1.	35
Gambar 4.15 Hasil Inversi Kurva dispersi teoritis lintasan P2.	35
Gambar 4.16 Hasil Inversi Kurva dispersi teoritis lintasan P3.	36
Gambar 4.17 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P1.	37
Gambar 4.18 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P2.	38
Gambar 4.19 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P3.	39
Gambar 4.20 Jenis Material Terhadap Kedalaman pada lintasan P1.	40
Gambar 4.21 Jenis Material Terhadap Kedalaman pada lintasan P2.	41
Gambar 4.22 Jenis Material Terhadap Kedalaman pada lintasan P3.	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Vs pada berbagai material dekat permukaan (Foti dkk., 2014).....	12
Tabel 2.2 Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai Vs30 sesuai standar NERHP (Federal Emergency Management Agency, 2003).....	14

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kota Palu merupakan salah satu kota di Sulawesi Tengah yang rawan gempa karena lokasinya yang dilalui oleh beberapa sesar besar seperti sesar Palu - Koro. Pertumbuhan penduduk Kota Palu yang pesat memicu pesatnya pembangunan permukiman dan infrastruktur. Oleh karena itu, infrastruktur harus dimitigasi untuk mengurangi resiko kerusakan dan kematian. Kota Palu sendiri sejauh ini adalah salah satu kota yang sedang berkembang sehingga kedepannya akan banyak pembangunan infrastruktur. Kecamatan Bora yang terletak di Kabupaten Sigi pesisir kota Palu merupakan salah satu daerah yang melakukan pembangunan infrastruktur. Dalam pembangunan infrastruktur kondisi bawah permukaan menjadi hal yang perlu untuk diperhatikan karena berpengaruh pada ketahanan dan keamanan infrastruktur yang dibangun nantinya.

Pemahaman akan potensi bahaya yang ditimbulkan dapat meningkatkan kapasitas persiapan menghadapi risiko yang mungkin terjadi. Perhitungan daya dukung tanah dapat menggunakan metode geofisika, yakni metode seismik dengan memanfaatkan kecepatan gelombang seismik (Bundang, 2020).

Metode seismik adalah metode geofisika yang memanfaatkan penjalaran gelombang melalui lapisan bumi, dan penjalaran ini bergantung pada sifat elastis batuan. Gelombang seismik pertama kali dimanfaatkan oleh Terzaghi (1943) dan Hvorslev (1949) untuk keperluan geoteknik dengan memanfaatkan prinsip kerja gelombang permukaan (Nasri, 2020). Dari informasi yang didapat maka dapat diperkirakan tingkat kekerasan dan kekakuan dari medium tersebut. Pengukuran

metode seismik untuk konstruksi bangunan dapat menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) (Ddoaud dkk., 2021).

Metode *Multichannel Analysis Surface Waves* (MASW) merupakan metode karakterisasi seismik yang berdasarkan analisis dispersi geometrik dari gelombang permukaan, distribusi vertikal modulus geser dinamik suatu lapisan bawah permukaan dapat diperoleh dengan metode ini. Prosedurnya terdiri dari estimasi sifat dispersi suatu daerah, dan kemudian menginversi data - data. tersebut untuk mengestimasi sifat bawah permukaan. Hasil yang didapatkan merupakan profil vertikal dari kecepatan gelombang geser (PT. Antesena Geosurvey, 2020). Penelitian tentang metode MASW telah banyak dilakukan, di antaranya adalah pemetaan *bedrock* di Olathe Kansas dengan menggunakan MASW (heise & Xia, 1999). Karakterisasi seismik pada lapisan pondasi dari turbin angin dekat Lawton, Oklahoma, dengan menggunakan metode MASW. Analisis kondisi bawah tanah di bawah bangunan rumah di Tampa, Florida. (Miller & Xia, 1999). Pemetaan kecepatan gelombang *Shear* (Vs) di Selatan Rowo Jombor berkaitan dengan potensi kerusakan akibat gempa oleh (Hartantyo & Hussein, 2009).

Dalam tahap persiapan pembangunan, umumnya metode yang digunakan ialah metode *desdructive* berupa pengeboran dan uji sampel tanah dari beberapa titik di suatu lokasi. Metode tersebut tentunya memakan biaya yang tidak murah serta memiliki beberapa dampak yang tentunya tidak baik bagi lingkungan. Maka dari itu, metode MASW dipilih sebagai metode *non-desdructive* yang efektif dan efesien, serta ramah terhadap kerusakan lingkungan.

Berdasarkan uraian di atas maka akan dilakukan penelitian tentang identifikasi profil kecepatan gelombang geser dan klasifikasi tanah terhadap kedalaman menggunakan metode multichannel analysis of surface waves (MASW).

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana memanfaatkan metode MASW dalam memperoleh profil kecepatan gelombang geser tanah terhadap kedalaman?
2. Bagaimana memprediksi struktur dan klasifikasi tanah menggunakan metode MASW?

I.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada analisis data hasil pengukuran metode MASW untuk menentukan struktur lapisan tanah berdasarkan perhitungan kecepatan gelombang geser Vs. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengukuran kecepatan gelombang geser dengan menggunakan metode MASW.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

- 1) Memperoleh profil kecepatan gelombang geser tanah terhadap kedalaman.
- 2) Memprediksi struktur dan klasifikasi tanah menggunakan metode MASW.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

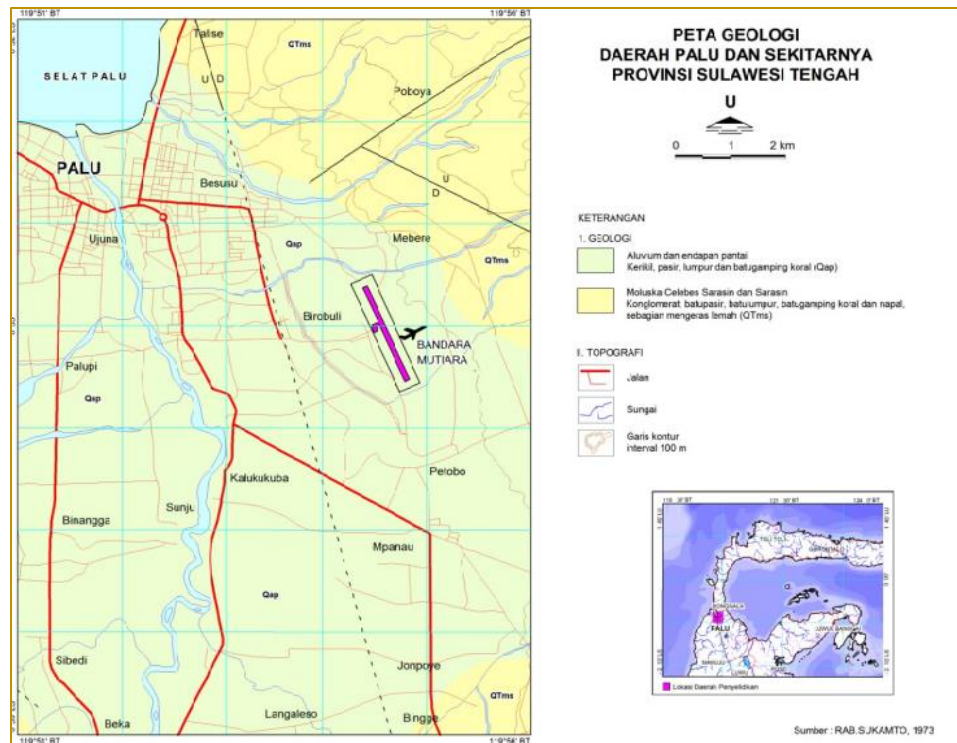
II.1 Geologi Regional

Secara regional, daerah Kota Palu dan sekitarnya termasuk Mandala Geologi Sulawesi Barat atau Busur Sulawesi Barat atau Lajur Sulawesi Barat disebut sebagai volcanic arc, yang terdiri atas lengan selatan Sulawesi, Bagian Tengah, dan Leher Sulawesi, Lengan Utara Sulawesi (Surono dan Hartono, 2013)

Kota palu merupakan daratan yang berada di sepanjang pantai Teluk Palu. Kota Palu dikelilingi oleh wilayah Kabupaten Donggala dan Teluk Palu. yang terlihat dari batas-batas wilayah sebagai berikut :

- Sebelah Utara: Teluk Palu dan Kabupaten Donggala
- Sebelah Timur: Teluk Palu
- Sebelah Selatan: kabupaten Donggala
- Sebelah Barat: Kabupaten Donggala

Daerah ini terdiri dari 2 Formasi batuan, yaitu alluvium dan endapan pantai (Qap) dan Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms) seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta Geologi daerah Palu dan sekitaarnya (Widyaningrum, 2012)

1. Aluvium dan endapan pantai (Qap) Terdiri dari kerikil, pasir, lumpur, dan batugamping koral. Terbentuk dalam lingkungan sungai, delta, dan laut dangkal merupakan sedimen termuda di daerah ini. Kondisi batuan pada Formasi ini umumnya berupa material yang belum mengalami kompaksi.
2. Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms) Batuan ini terdapat pada ketinggian lebih rendah pada sisi-sisi kedua pematang, menindih secara tidak selaras Formasi Tinombo dan Kompleks batuan metamorf, mengandung rombakan yang berasal dari formasiformasi lebih tua dan terdiri dari konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping koral, dan napal yang semuanya hanya mengeras lemah.

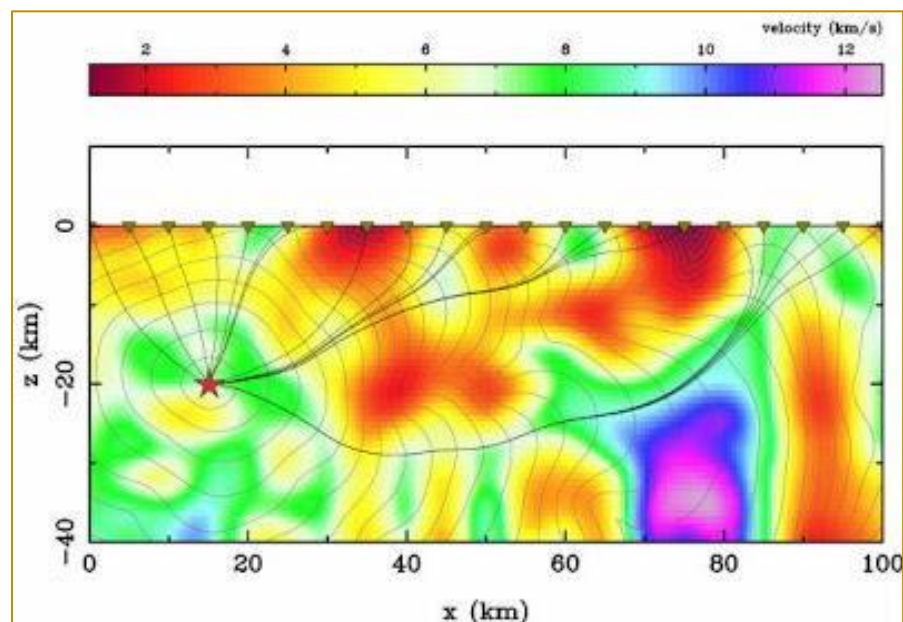
II. 2 Gelombang seismik

Seismik merupakan gelombang mekanik yang memanfaatkan perambatan gelombang elastik di dalam bumi dan bergantung pada sifat elastisitas batuan. Oleh karena itu hukum dasar bagi teori

gelombang juga dapat digunakan untuk menjelaskan teori gelombang seismik. Adapun hukum dasar tersebut antara lain, Hukum Snellius, Prinsip Huygens, dan Asas Fermat (Shearer, 2009).

II.2.1 Asas Fermat

Prinsip Fermat dapat digunakan untuk mengetahui lintasan sinar dari satu titik ke titik lainnya yang waktu tempuhnya bernilai minimum agar dapat dilakukan penelusuran jejak sinar yang telah merambat di dalam suatu medium. Hal ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan posisi reflektor di bawah permukaan (Abdullah, 2007). Menurut (Susilawati, 2004), secara sederhana prinsip Fermat diasumsikan dalam metode seismik yaitu gelombang menjalar dari satu titik ke titik lain melalui waktu tersingkat dalam penjarannya. Prinsip Fermat dapat dilihat pada gambar 2.2.



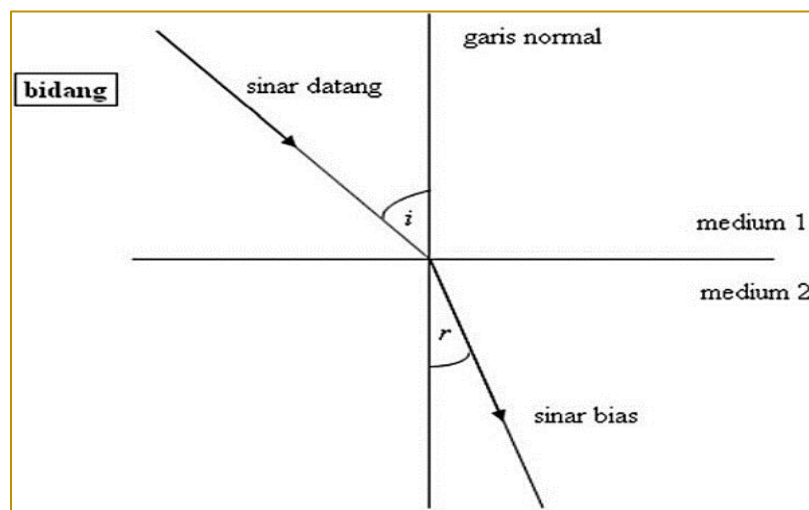
Gambar 2. 2 Rambatan Gelombang (Susilawati, 2004)

Dengan z adalah kedalaman (km) dan x adalah jarak, dalam hal ini x (km) adalah jarak antar geophone. Gambar 2.2 memperlihatkan bila suatu gelombang melewati medium dengan variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang akan cenderung melalui zona-zona dengan kecepatan tinggi dan menghindari zona zona dengan kecepatan rendah.

II.2.2 Hukum Snellius

Hukum Snellius menjelaskan bahwa jika terdapat gelombang yang berasal dari dua bidang batas yang mediumnya berbeda sifat fisiknya maka gelombang tersebut akan dibiaskan jika sudut datang lebih kecil atau sama dengan sudut kritisnya. Sedangkan jika sudut datang lebih besar dari sudut kritisnya maka gelombang yang datang akan dipantulkan (Bhatia, 1986). Hukum Snellius dapat dituliskan dalam persamaan 2.1 dan dapat dilihat pada gambar 2.3.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.1)$$



Gambar 2. 3 Pembiasaan pada bidang atas batas dua medium (Utami, 2016)

Dengan :

i = sudut datang

r = sudut bias

v_1 = kecepatan gelombang datang

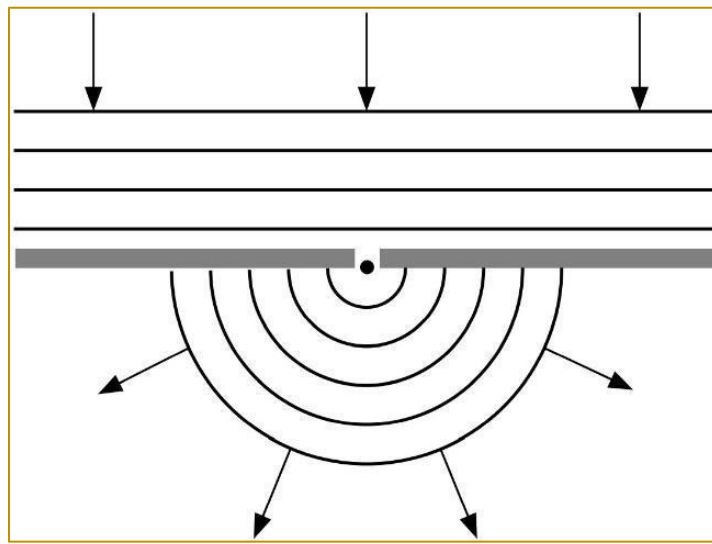
v_2 = kecepatan gelombang bias

n_1 = indeks bias medium 1

n_2 = indeks bias medium 2

II.2.3 Prinsip Huygens

Menurut Tipler (2001), perambatan gelombang yang melalui suatu medium dapat digambarkan menggunakan metode geometris yang ditemukan oleh Christian Huygens kira-kira tahun 1678 yang dikenal dengan prinsip Huygens. Prinsip Huygens mengatakan bahwa gelombang menyebar dari sebuah titik sumber gelombang ke segala arah, jika gelombang melewati batas peralihan yang berbeda maka setiap titik-titik pengganggu yang berada di depan muka gelombang utama akan membentuk sumber gelombang yang baru (Sheriff & Geldart, 1995). Prinsip Huygens dapat dilihat pada gambar sebagai 2.4.



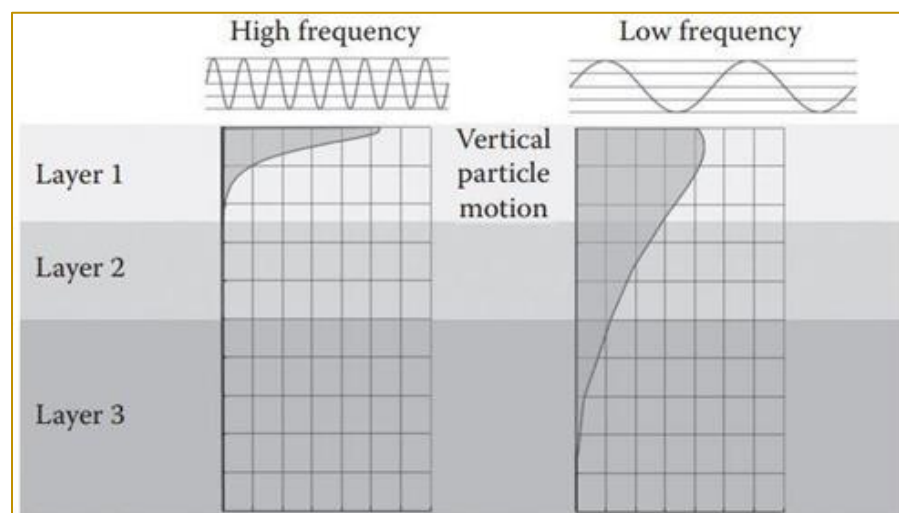
Gambar 2.4 Pembiasan pada bidang atas batas dua medium (Shearer, 2009)

II. 3 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang merambat di permukaan bumi tanpa adanya penyebaran energi ke dalam interior bumi. Amplitudo gelombang ini akan semakin melemah jika menjalar masuk ke dalam inti bumi dan kebanyakan energi merambat pada daerah dangkal (Ariestianty dkk., 2009).

Secara umum ada dua jenis gelombang permukaan yang dihasilkan ketika sebuah getaran mekanik diberikan pada sebuah material (batuan dan tanah) yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*. Kedua gelombang permukaan tersebut terbentuk akibat adanya interferensi gelombang badan (Dobrin, 1988).

Prinsip analisis gelombang permukaan adalah dengan memanfaatkan karakteristik perambatan gelombang permukaan dari sumber mekanik buatan untuk menilai kecepatan gelombang geser yang merupakan representasi dari nilai kekakuan (*stiffness*) dinamik suatu struktur bahan (Rosyidi, 2013). Karakteristik khusus dari gelombang permukaan adalah kombinasi rambatan gelombang dengan frekuensi tinggi dan panjang gelombang pendek dapat mendeteksi sub-permukaan bagian atas. Rambatan gelombang berfrekuensi lebih rendah dengan panjang gelombang yang lebih panjang dapat mendeteksi lapisan yang lebih dalam. Sifat ini yang dinamakan sifat dispersi gelombang permukaan sebagaimana dikonsepskan dalam gambar 2. 5

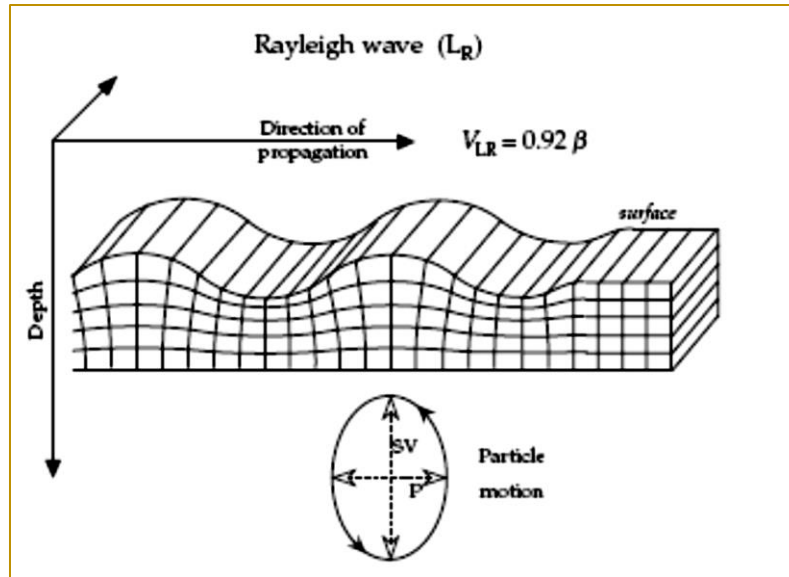


Gambar 2. 5 Dispersi gelombang permukaan pada medium berlapis (Foti dkk., 2014)

Konsep utama dalam metode pengukuran dan analisis gelombang seismik permukaan adalah karakteristik dispersi geometrik kecepatan gelombang fase (gelombang *Rayleigh*) yang digunakan untuk menentukan profil tanah atau media dalam penyelidikan sub-permukaan. Berdasarkan sifat dispersi inilah gelombang *Rayleigh* digunakan sebagai media untuk mengevaluasi profil kekakuan bawah permukaan tanah melalui berbagai pengujian lapangan. Selain itu, pertimbangan lain penggunaan gelombang *Rayleigh* dalam pengujian material adalah kemudahan gelombangnya untuk dihasilkan dan dideteksi pada permukaan bumi (Rosyidi, 2013).

Gelombang *Rayleigh* atau *groundroll* adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi. Karena menjalar di permukaan, amplitudo gelombang *rayleigh* akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Didalam rekaman seismik, gelombang *Rayleigh* dicirikan dengan amplitudonya yang besar dan dicirikan dengan frekuensi rendah (Abdullah, 2007).

Gelombang *Rayleigh* terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Gerakan partikel pada *wavefront* gelombang *Rayleigh* terdiri atas kombinasi gelombang primer dan *shear vertical* pada bidang vertikal (Lowrie, 2007). Adapun pola gerakan gelombang *reyleigh* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie, 2007).

II. 4 Gelombang geser

Gelombang geser merupakan gelombang-S (sekunder atau *shear*), karena kecepatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan gelombang-P (primer). Pada medium yang padat, gelombang geser merambat dengan kecepatan rata-rata 3 - 4 km/s. Ketika gelombang merambat di bawah permukaan, akan menimbulkan regangan geser pada material yang dilaluinya, sehingga dinamakan gelombang geser (Thompson dan Turk, 1997). Gelombang geser merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kekuatan guncangan gempa, amplifikasi tanah, likuifaksi dan pemetaan kondisi bawah permukaan untuk kebutuhan bidang rekayasa (Xia dkk., 2000).

Nilai kecepatan gelombang geser (V_s) diketahui berdasarkan kecepatan gelombang Rayleigh melalui sifat groundroll yang diamati menggunakan peralatan seismik. Sebanyak 2/3 energi seismik yang diberikan akan membentuk gelombang Rayleigh yang menampung sebagian besar dari energi seismik (Heisey, 1982). Kecepatan gelombang Rayleigh yang terukur sangat

merepresentasikan kecepatan gelombang geser. Hal ini dikarenakan kecepatan gelombang geser terdiri dari sekitar 92% kecepatan fase gelombang Rayleigh (Stokoe, dkk., 1994). Nilai Vs yang didapatkan menggunakan metode seismik MASW sangat akurat. Xia, dkk. (2000) membandingkan nilai profil 1D Vs yang didapatkan oleh MASW dengan data Vs yang didapatkan dari lubang bor dan akurasinya mencapai 15%. Kecepatan gelombang geser berkaitan dengan kekakuan dari struktur tanah, yang biasanya digunakan untuk mengetahui jenis lapisan tanah pada near-surface. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.1 yang memperlihatkan nilai kecepatan gelombang kompresi (Vp) dan kecepatan gelombang geser (Vs) untuk beberapa jenis material.

Tabel 2.1 Nilai Vp dan Vs pada berbagai material dekat permukaan (Foti dkk, 2014)

Geomaterial	Vp (m/s)	Vs (m/s)
<i>Crystalline rocks</i>	4000-6500	2500-3500
<i>Calcareous, fractured rocks</i>	1600-3000	1000-1500
<i>Soft rocks, very dense gravels</i>	800-2000	500-1000
<i>Medium to dense gravels</i>	650-1500	400-800
<i>Medium to dense sands</i>	350-750	200-400
<i>NC clays and silts</i>	250-500	150-300
<i>Very soft clays</i>	80-200	50-100

Vs30 merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 m dari permukaan. Menurut Roser dan Gosar (2010), nilai ini dapat diterapkan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai ini digunakan dalam penentuan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa akibat efek tapak lokal serta keperluan perancangan bangunan tahan gempa. Data

Vs30 merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam bidang teknik geofisika dalam penentuan struktur bawah permukaan tanah hingga kedalaman 30 m, lapisan lapisan batuan atau tanah pada kedalaman 30 m menentukan terjadinya pembesaran gelombang gempa (Wangsadinata, 2006).

Nilai Vs30 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / V_{si}} \quad (2.2)$$

Dengan:

i = indeks perlapisan

m = banyaknya lapisan hingga kedalaman 30 m

t = ketebalan lapisan (m)

Vs30 = kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (m/s)

Vs = kecepatan gelombang

Vs30 adalah parameter geoteknik yang sangat berguna untuk analisa gelombang seismik. Karakteristik atau sifat batuan sangat dibutuhkan untuk menganalisa sifat dinamis batuan, sehingga kekakuan batuan, dan kuat geser tanah dapat diketahui, dengan mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter. Klasifikasi jenis batuan berdasarkan pada kecepatan rambat rata-rata gelombang geser (Nurahmi , 2015).

Hal ini juga digunakan NERHP untuk mengklasifikasikan situs menurut jenis tanah menjadi lima kategori berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30meter seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai Vs30 berdasarkan NERHP (*Federal Emergency Management Agency, 2003*).

Kelas Situs	Profil Jenis Batuan	Vs30 (m/s)
A	Batuan Keras (<i>Hard Rock</i>)	> 1500
B	Batuan Sedang (<i>Rock</i>)	760 – 1500
C	Tanah Keras dan Batuan Lunak (<i>Very Dense Soil and Soft Rock</i>)	360 - 760
D	Tanah Sedang (<i>Stiff Soil</i>)	180 – 360
E	Tanah Lunak (<i>Stiff Soil</i>)	< 180

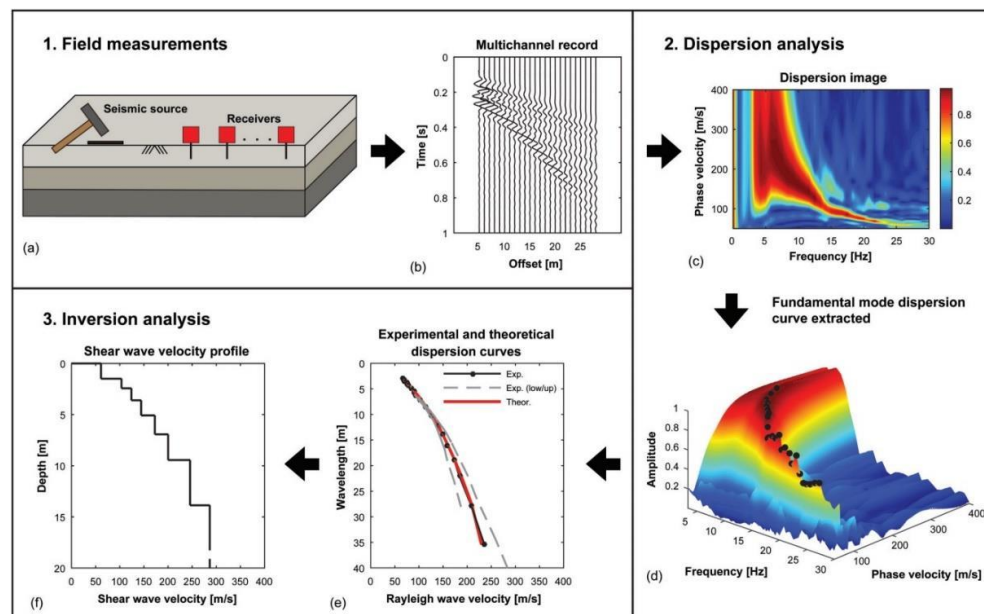
II. 5 Metode MASW

Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) merupakan metode yang memanfaatkan fenomena dispersi gelombang permukaan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi kecepatan gelombang geser dekat permukaan. Metode ini mengukur variasi perubahan kecepatan gelombang geser seiring dengan bertambahnya kedalaman. Dimana semakin bertambahnya kedalaman maka panjang gelombang akan berkurang.

Metode MASW atau *Multichannel Analysis of surface waves* juga merupakan evolusi teknologi dari teknik gelombang permukaan dalam keadaan tetap (*steady state surface wave technique*) yang tidak memerlukan pengeboran jalan (*boreholes*) dan juga merupakan metode pengujian lapangan (*in-situ method*) untuk mengukur secara detil profil kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity profile*) yang bekerja pada permukaan lapisan (Rosyidi, 2010). Metode ini bertujuan untuk

mendapatkan nilai modulus elastik dan ketebalan pada sistem perkerasan secara akurat (Nazarian & Stokoe, 1984).

Umumnya metode MASW dibagi menjadi 3 tahap utama yaitu pengukuran lapangan atau akuisisi, analisis citra dispersi dan analisis inversi seperti yang terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Prosedur metode MASW (Olafsdottir dkk., 2018)

Pada tahap akuisisi gelombang permukaan dibangkitkan menggunakan sumber aktif seperti palu, gelombang seismik direkam menggunakan 24 geofon dengan frekuensi rendah (4.5 Hz) yang terpasang pada sepanjang lintasan.

II.5.1 Transformasi Fourier

Transformasi fourier merupakan metode analisis spektral dengan tujuan untuk domain sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Hal ini dilakukan karena perhitungan lebih mudah dalam domain frekuensi dibandingkan dengan domain waktu. Selain itu, fenomena geofisika berkaitan erat dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi parameter penting dalam menjelaskan fenomena tersebut (Laksono dkk., 2018). Pada persamaan 2.3 dan 2.4 diperlihatkan transformasi fourier pada fungsi $f(t)$.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.3)$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \cdot e^{-i2\pi ft} d\omega \quad (2.4)$$

Dengan :

$F(\omega)$ = fungsi omega

$F(t)$ = fungsi waktu

e = Ekuivalen (Data)

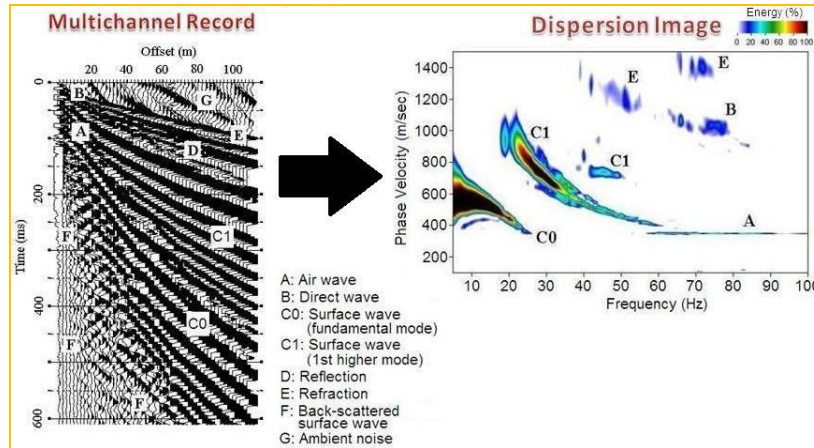
dt = domain waktu

d(ω) = domain frekuensi

Persamaan (2.3) disebut sebagai *forward fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain waktu ke domain frekuensi. Sedangkan persamaan (2.4) disebut *invers fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain frekuensi ke domain waktu (Park dkk., 1998).

II.5.2 Kurva Dispersi

Kurva dispersi memperlihatkan hubungan antara perubahan kecepatan fase terhadap frekuensi dan panjang gelombangnya. Kurva ini mencerminkan model model kecepatan rata-rata dan sifat kekakuan bawah permukaan yang berguna dalam analisis inversi. Kurva ini dihasilkan dari hasil *picking fundamental mode* citra dispersi. Kurva hasil *picking* ini disebut sebagai kurva dispersi eksperimental yang kemudian digunakan dalam proses inversi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser bawah permukaan.



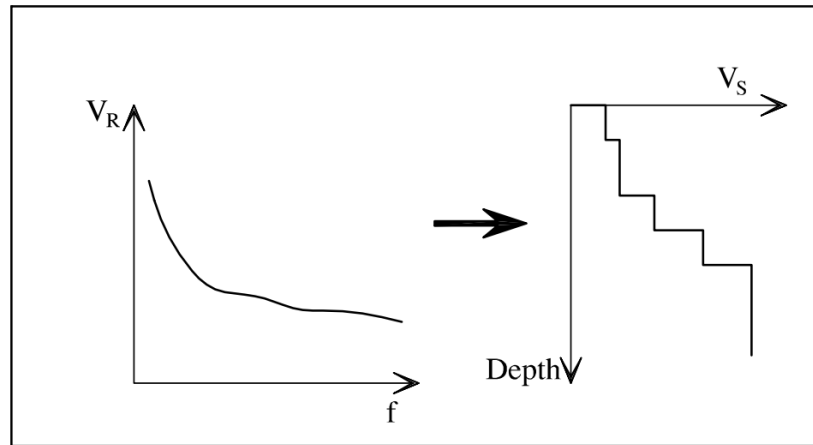
Gambar 2.8 Jenis-jenis gelombang pada citra dispersi (Park dkk., 1998)

Gambar 2.8 memperlihatkan citra dispersi berdasarkan data rekaman *multichannel*. Berdasarkan gambar tersebut, citra dispersi terbagi atas lima bentuk citra yang memperlihatkan karakteristik dispersi gelombang berdasarkan kecepatan fasa dan frekuensi yang dimiliki. Jenis-jenis yang berbeda dari gelombang yang direkam dengan menggunakan susunan *multichannel* termasuk gelombang refleksi, gelombang refraksi, gelombang udara, *ambient noise* serta *fundamental* dan *higher mode* dari gelombang *Rayleigh*.

II.5.3 Inversi

Proses inversi bertujuan untuk mendapatkan profil gelombang geser yang berguna dalam interpretasi lapisan bawah permukaan. Proses inversi dimulai dengan membuat *initial model* dengan memasukkan beberapa parameter fisis seperti, jumlah serta kedalaman lapisan, densitas, kecepatan gelombang kompresi dan kecepatan gelombang geser. Dari hasil pembuatan *initial model* ini, dihasilkan kurva dispersi teoritis. Proses inversi dilakukan iterasi dengan mencocokkan kurva dispersi teoritis dengan kurva dispersi eksperimental. Jika kurva dispersi teoritis belum mendekati kurva eksperimental, maka akan dilakukan perhitungan ulang hingga didapatkan nilai *misfit* yang rendah. Dari hasil inversi ini didapatkan profil kecepatan gelombang geser bawah

permukaan yang menunjukkan perubahan nilai V_s terhadap kedalaman. Proses inversi dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Proses inversi (Foti, 2000)

Dalam proses inversi, kurva dispersi teoritis harus sedekat mungkin dengan kurva dispersi eksperimental agar diperoleh solusi yang baik dari data gelombang permukaan yang sesuai dengan kondisi bawah permukaan yang sebenarnya (Foti, 2000).