

Skripsi Geofisika

**ANALISIS LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)
DI KAMPUS UNIVERSITAS HASANUDDIN**



Disusun dan diajukan oleh :

JIHAN FARUK ZUBEDI

H061 18 1007

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

2022

HALAMAN JUDUL

**Analisis Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Multichannel*
Analysis of Surface Waves (MASW) Di Kampus Universitas Hasanuddin**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

JIHAN FARUK ZUBEDI

H061181007

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**Analisis Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Multichannel*
Analysis of Surface Waves (MASW) Di Kampus Universitas Hasanuddin**

Disusun dan diajukan oleh:

JIHAN FARUK ZUBEDI

H061181007

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

Pada tanggal 10 Agustus 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv.IPM
NIP. 196406161989031006

Muh. Fawzy Ismullah M., S.Si., MT
NIP. 199111092019031010

Ketua Departemen



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jihan Faruk Zubedi
NIM : H061181007
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Analisis Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) Di Kampus Universitas Hasanuddin”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagai atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 10 Agustus 2022

Yang menyatakan



Jihan Faruk Zubedi

ABSTRAK

Tanah merupakan salah satu material yang sangat berpengaruh pada konstruksi pembangunan, baik itu konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan dalam memenuhi kebutuhan. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kekuatan tanah digunakan metode MASW di dalam penelitian ini. Pada penelitian ini dilakukan di area Kampus Universitas Hasanuddin yang terdiri dari tiga lintasan berturut-turut yakni X1, X2 dan X3 dalam menganalisis gelombang permukaan daerah dekat permukaan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur per lapisan tanah sub-permukaan dan mengetahui kondisi struktur lapisan bawah permukaan. Pembentukan citra dispersi diawali dengan mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan Transformasi *Fourier*, yang selanjutnya ditransformasi ke dalam domain frekuensi-kecepatan fase. Hasil dari transformasi tersebut adalah kurva dispersi, yaitu kurva eksperimental dan kurva teoritis yang digunakan dalam proses inversi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser subpermukaan. Pada proses inversi diperoleh nilai RMSE pada lintasan X1, X2, X3 secara berurutan adalah 3,3524%, 5,5234% dan 5,3576%. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh pada lintasan X1 terdiri dari tiga lapisan, yaitu *medium to dense sand, gravels, soft rock* dan *very dense gravels*, pada lintasan X2 terdiri dari dua lapisan, yaitu *soft very clays, silts* dan *medium to dense sand*, dan pada lintasan X3 terdiri dari tiga lapisan, yaitu *clay silts, medium to dense sands* dan *soft rock very dense gravels*. Sedangkan nilai V_{s30} pada setiap lintasan yaitu 236,96 m/s, 354,41 m/s dan 336,79 m/s tergolong tanah sedang (SD) dan tanah keras, sangat padat dan batuan lunak (SC) pada wilayah penelitian ini.

Kata Kunci : Tanah, MASW, Kurva dispersi, Kurva eksperimental, Kurva teoritis Gelombang geser.

ABSTRACT

Soil is one of the materials that is very influential in construction, both building construction and road construction in meeting needs. One way to determine the level of soil strength is the MASW method in this study. This research was conducted in the Hasanuddin University Campus area which consisted of three successive trajectories namely X1, X2 and X3 in analyzing surface waves near the surface. The purpose of this study was to determine the structure of the sub-surface soil layer and to determine the condition of the subsurface structure. The formation of the dispersion image begins with changing the time domain into a frequency domain using the Fourier Transform, which is then transformed into the phase velocity-frequency domain. The result of this transformation is a dispersion curve, which is an experimental curve and a theoretical curve used in the inversion process to obtain a subsurface shear wave velocity profile. In the inversion process, the RMSE values on the X1, X2, X3 paths are 3.3524%, 5.5234% and 5.3576% respectively. Based on the value of the shear wave velocity obtained on the X1 trajectory, it consists of three layers, namely medium to dense sand, gravels, soft rock and very dense gravels, on the X2 trajectory it consists of two layers, namely soft very clays, silts and medium to dense sand, and the X3 track consists of three layers, namely clay silts, medium to dense sands and soft rock very dense gravels. While the value of Vs30 on each track is 236.96 m/s, 354.41 m/s and 336.79 m/s classified as medium soil (SD) and hard soil, very dense and soft rock (SC) in this research area.

Keywords : *Soil, MASW, Dispersion curve, Experimental curve, Theoretical curve Shear wave.*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu’alaykum Wa Rahmatullahi Wa Barakaatuuh,

Alhamdulillahirabbil’alamiin, puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta’ala*. Zat dengan segala Rahman dan Rahim-Nya yang membantu penulis menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Analisis Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Di Kampus Universitas Hasanuddin**”. Shalawat serta salam tidak lupa penulis curahkan kepada Rasulullah Muhammad *Shallaahu ‘Alaihi Wa Sallam*. Sebagai Rasul dan Nabi akhir zaman yang menjadi teladan bagi Umat dalam berakhlak, berusaha dan berdoa.

Penghargaan setinggi-tingginya penulis haturkan kepada kedua orang tua tercinta Ayahanda **Faruk A. Zubedi** dan Ibunda **Faizah Ubeid Badjeber** (selaku orang tua kandung penulis) yang memberikan dukungan dengan cinta dan kasihnya, serta dengan doa-doa tulusnya kepada penulis selama menjalani kehidupan perkuliahan di Universitas Hasanuddin. Terima kasih pula kepada saudara-saudara penulis **Fahrezal, Fani**, dan **Fara** yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis agar menyelesaikan studi dengan baik serta keponakan penulis **Zayn** dan **Zam**.

Melalui bundelan skripsi ini pula, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang baik dalam membantu penulis

menyelesaikan Skripsi ini. Bantuan dalam bentuk apapun, dalam tindak sekecil apapun. Terima kasih kepada :

1. Kepada Ayahanda **Dr. Ir. Muh Altin Massinai, MT, Surv** selaku pembimbing Utama yang senantiasanya memberikan ilmu, bimbingan, nasihat dan motivasi yang luar biasa berarti bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Kepada Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., MT** selaku pembimbing pertama yang selalu memberikan ilmu, bimbingan dan motivasi serta mengajarkan penulis agar selalu ikhlas dalam memaknai setiap proses yang dilalui. Terima kasih atas waktu, arahan dan segala jenis bantuan yang Bapak-bapak berikan selama penyelesaian penelitian ini, hingga berakhir dalam sebuah tulisan Skripsi Geofisika.
2. Kepada Ayahanda **Ir. Bambang Harimei, M.Si** dan Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si** selaku tim penguji yang senantiasa memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas saran dan masukan yang sangat berarti bagi penulis sehingga pada akhirnya banyak membantu dalam proses lahirnya skripsi ini.
3. Kepada Ayahanda **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, serta seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Geofisika yang telah mendedikasikan waktunya dalam mengajar dan membimbing penulis selama menjalani masa studi di Departemen Geofisika.
4. Kepada Bapak **Prof. Dr. H. Halmar Halide, M.Sc** selaku Penasehat Akademik penulis yang senantiasa menjadi tempat bagi penulis berkeluh kesah baik dalam bidang akademik maupun non-akademik. Terima kasih atas saran

dan nasihat-nasihatnya kepada penulis selama masa studi di Departemen Geofisika.

5. Kepada staf Departemen Geofisika, dan Fakultas MIPA serta laboratorium selingkup Fakultas MIPA yang telah membantu dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik dan laboratorium, terkhusus selama pengurusan penelitian ini. Terima kasih.
6. Kepada **Mufli Fadla Syihab S.Si** dan **Wirawan Saleh** yang telah membantu penulis dalam melakukan akuisisi data dan memberikan ilmu-ilmunya kepada penulis.
7. Kepada **Iswatun Khazanah** dan **Zefanya E.S.K** selaku tim **KP onlineku** yang telah kebersamai dalam menyelesaikan KP yang penuh dengan drama ini.
8. Kepada teman-teman **Sektor Pelangi (Iis, Zepa, Fya, Mute dan Pute)** yang kebersamai dari maba dan memberikan kehangatan selama ini serta **Basecamp Salama' (Zepa, Iis, Aini, Sri, Fya, Jojo, inul, Sri, Fira, wilda, Onding dan Bonc)**, terima kasih atas dukungan dan batuan selama ini kepada penulis.
9. Kepada teman-teman **Kamar 107 (Ilmi, Iis, Zepa, dena dan Nunu)** yang selalu memberikan dukungan dan selalu mendengar keluh kesah dari penulis.
10. Kepada teman-teman yang telah membantu penulis dalam melakukan proses akuisisi data di lapangan khususnya (**Iis, Mute, Irma, Fhaika, Azlan, Sarwan, dan Rahmat**), terima kasih atas bantuannya.

11. Kepada teman-teman **Dangerous (Fiki, Naya, Caru, Fidi, Andini, Bang Al, Imin, Isran, Opi, Farhan dan Subhan)**, terima kasih atas semua motivasi dan kerjasama sampai saat ini.
12. Teman-teman dari **MABA** sekaligus saudara yang selalu membantu untuk setiap masalah **Himafi 2018 (Andri, Agung, Aini, Ainul, Ayhu, Azlan, Afni, Dede, Dena, Dilla, Evy, Fhaika, Fina, Fira, Fatimah, Feny, Gebi, Hasnan, Heral, Hadi, Imi, Irma, Iis, Jojo, Juni, Kiki, Komang, Masdar, Mernai, Milen, Mute, Mul, Nisa, Nilam, Nunu, Ocha, Onding, Rahmat, Sarwan, Sheren, Acam, Sri, Syahrul, Syaiful, Syana, Vika, Wawan, Wibu, Windy, Wilda, Yansen, Yeni, Yessi, Yusran, Zepa, Yusuf, Yusril, Yusran, Yuyun, Suci, Sari dan Risda)**, atas kebersamaanya hingga saat ini. Terima kasih juga atas canda tawa dan sedih yang kita lalui bersama, tetaplah **SATU TEKAD TAKLUKKAN WAKTU**.
13. Kepada teman-teman **Geofisika 2018** yang telah berbagi waktu dan kisah di kampus ini. Terima kasih untuk selalu membantu penulis dalam hal apapun. Terkhususnya masalah akademik. Terima kasih untuk kisah-kisah menyenangkan selama di kelas dan di lapangan.
14. Seluruh teman-teman **MIPA 2018** khususnya **Pengurus BEM FMIPA Unhas 2021/2022** yang telah mengajari penulis arti dari sebuah perbedaan juga kebersamaan. Selalu terus tumbuh dan **TAKKAN PUDAR**.
15. Teman-teman rantau **HPMIG Makassar**, khususnya kepada teman sepengaderan **SIGMA'18**.

16. Kepada kanda-kanda angkatan 2014 (**Maperwa**), kakak 2015 (**Pengurus Bem**), kakak 2016 (**Pengurus Himafi**) dan kakak 2017 (**Panitia BK**) yang telah memberikan banyak bantuan dalam menghadapi dunia kampus.
17. Kepada adik-adik 2019, 2020 dan 2021 khususnya kepada adik **Gilbert KM FMIPA Unhas** salam USE YOUR MINE BE THE BEST.
18. Teman-teman **KKN Gel. 106 Posko 12 Tamalanrea**, khususnya atas keseruan dan pengabdian bersama selama KKN.
19. Terima kasih kepada diri sendiri yang selalu mau berjuang sampai ada ditahap ini.

Kepada seluruh pihak yang telah meluangkan banyak hal kepada penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih. Skripsi ini tidak mungkin selesai jika tanpa ada campur tangan dari orang-orang baik seperti kalian. Semoga Allah merahmati kita dalam kebaikan-kebaikan ikhlas kita.

Penulis berharap, skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan. Mengingat keterbatasan penulis sebagai manusia biasa, kritik dan saran akan sangat membantu untuk mengembangkan kemampuan penulis dalam menyusun hasil penelitian di kemudian hari.

Wassalamu'alaykum Wa Rahmatullaahi Wa Barakaatuuh

Makassar, 10 Agustus 2022



Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SARI BACAAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup.....	3
I.3 Rumusan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Geologi Regional	5
II.1.1 Geomorfologi Regional	6
II.1.2 Stratigrafi	8
II.2 Gelombang Seismik.....	9
II.2.1 Hukum Snellius.....	9
II.2.2 Prinsip Huygens	10
II.2.3 Asas Fermat	11
II.3 Gelombang Permukaan.....	12
II.4 Gelombang Geser	17
II.5 MASW (<i>Multichannel Analysis of Surface Waves</i>).....	19
II.6 Transformasi Fourier	22
II.7 Kurva Dispersi	24
II.8 Inversi	25
II.9 Vs30.....	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	29
III.2 Alat dan Bahan	29
III.2.1 Alat	29
III.2.2 Bahan.....	30
III.3 Prosedur Penelitian.....	30
III.3.1 Persiapan dan Pengumpulan Data	30
III.3.2 Pengolahan Data.....	31
III.4 Bagan Alir	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
IV.1 <i>Update Geometry</i>	35
IV.2 Citra Dispersi.....	36
IV.3 Kurva Dispersi.....	39
IV.3.1 Kurva Eksperimental.....	39
IV.3.2 Kurva Teoritis	41
IV.4 Profil Kecepatan Gelombang Geser 2D	44
IV.5 Profil Sub-Permukaan Tanah	47
BAB V Penutup	51
V.1 Kesimpulan.....	51
V.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi lembar Ujungpandang, Benteng dan Sinjai skala 1:250.000 (Sukamto dan Supriatna, 1982)	6
Gambar 2.2 Korelasi satuan peta geologi pada lembaran Ujungpandang, Benteng, dan Sinjai (Sukamto dan Supriatna)	8
Gambar 2.3 Pembiasan pada bidang atas batas dua medium (Utami, 2016).....	10
Gambar 2.4 Huygens dalam penjalaran gelombang (Shearer, 2009).....	11
Gambar 2.5 Asas Fermat (Susilawati, 2004)	11
Gambar 2.6 Amplitudo gelombang Rayleigh berkurang terhadap kedalaman (Hartyanto, 2010).....	13
Gambar 2.7 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie, 2007).....	14
Gambar 2.8 Sifat penetrasi gelombang Rayleigh (Rosyidi et al., 2006)	15
Gambar 2.9 Gelombang Love	15
Gambar 2.10 Profil vertikal dari gelombang geser (Rosyidi et al., 2006).....	16
Gambar 2.11 Survei metode MASW (Park et al., 1999).....	21
Gambar 2.12 Skema survei lapangan MASW aktif (Park et al., 1999).....	22
Gambar 2.13 Jenis-jenis gelombang pada citra satelit (Park et al., 1998).....	25
Gambar 2.14 Proses Inversi (Foti, 2000).....	26
Gambar 3.15 Lokasi Penelitian	29
Gambar 3.16 Bagan Alir.....	34
Gambar 4.17 Lintasan pertama (X1)	35
Gambar 4.18 Lintasan kedua (X2)	36
Gambar 4.19 Lintasan ketiga (X3)	36

Gambar 4.20 Citra dispersi lintasan 1 (X1)	37
Gambar 4.21 Citra dispersi lintasan 2 (X2)	38
Gambar 4.22 Citra dispersi lintasan 3 (X3)	38
Gambar 4.23 Kurva eksperimental lintasan 1 (X1)	40
Gambar 4.24 Kurva eksperimental lintasan 2 (X2)	40
Gambar 4.25 Kurva eksperimental lintasan 3 (X3)	41
Gambar 4.26 Initial model lintasan 1	42
Gambar 4.27 Initial model lintasan 2	42
Gambar 4.28 Initial model lintasan 3	43
Gambar 4.29 Penampang Vs2D lintasan X1	44
Gambar 4.30 Penampang Vs2D lintasan X2	45
Gambar 4.31 Penampang Vs2D lintasan X3	46
Gambar 4.32 Profil sub-permukaan tanah pada lintasan 1	47
Gambar 4.33 Profil sub-permukaan tanah pada lintasan 2	48
Gambar 4.34 Profil sub-permukaan tanah pada lintasan 3	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi situs SNI 1726:2019.....	18
Tabel 2.2 Nilai V_p dan V_s pada berbagai material dekat permukaan (Foti et al., 2014).....	27

BAB 1

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu material penyusun bumi yang sangat berpengaruh pada konstruksi pembangunan, baik itu konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan, perilaku dengan membangun hunian dan melakukan usaha dalam memenuhi kebutuhan. Klasifikasi tanah permukaan adalah salah satu faktor yang sangat penting untuk diketahui sebagai salah satu pertimbangan terhadap rancangan bangunan tahan gempa. Pada klasifikasi jenis tanah yang relatif lunak, secara teoritis menjadi wilayah yang sangat beresiko terhadap kerusakan yang ditimbulkan akibat adanya gempabumi. Hal ini dikarenakan pada wilayah ini sangat memungkinkan untuk terjadinya amplifikasi atau pembesaran gelombang karena jenis medium yang dilewati oleh gelombang. Pada kondisi yang lain dengan tanah keras, tingkat resiko kerusakan yang terjadi akibat gempabumi pada umumnya relatif rendah. Hal ini disebabkan pada medium ini gelombang mengalami atenuasi atau pelemahan (Aki, 1993).

Idealisme pembangunan dengan konstruksi yang optimal merata pada semua lokasi dapat dilakukan akan tetapi hal ini tidak efisien. Melakukan efisiensi pembangunan perlu memperhatikan peta distribusi tingkat resiko pada masing-masing wilayah. Peta resiko tingkat bahaya gempabumi pada skala kecil biasa disebut dengan peta mikrozonasi. Salah satu faktor yang menjadi parameter di dalam peta mikrozonasi adalah pengukuran nilai rata-rata kecepatan gelombang geser pada kedalaman sampai dengan 30 meter dari permukaan (V_{s30}). Nilai

Vs30 ini dapat memberi informasi wilayah mana saja yang mempunyai potensi untuk mengalami amplifikasi gelombang lebih besar relatif terhadap wilayah yang lain (BMKG, 2014).

Gelombang seismik telah diklasifikasikan oleh Bolt (1976) yaitu, gelombang mekanik gelombang tubuh utama (*primary*, P) dan gelombang tubuh sekunder (*secondary*, S) serta gelombang permukaan yang digolongkan berdasarkan bentuk perambatannya yaitu gelombang Love (gelombang L) dan gelombang Rayleigh (gelombang R). Dalam perkembangannya, gelombang permukaan telah banyak diterapkan untuk menganalisis lapisan bawah permukaan bumi pada kedalaman yang dangkal. Gelombang permukaan yang paling banyak digunakan adalah gelombang Rayleigh (gelombang R). Gelombang ini merupakan gelombang seismik yang dapat terbentuk secara alami maupun melalui sumber buatan seperti terjadi getaran pada tanah, longsor, runtuhan, aktifitas makhluk hidup dan lain sebagainya (Rosyidi, 2013).

Gelombang Rayleigh mencapai 67% energi perambatan yang dihasilkan oleh sumber mekanik, gelombang S sebesar 26% dan gelombang P sebesar 7%, sehingga gelombang Rayleigh sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi struktur tanah. Hal ini disebabkan pengurangan energi dalam perambatannya lebih besar dari jenis gelombang seismik lainnya (Santosa, 2002).

Metode analisis gelombang permukaan (MASW) adalah metode gelombang permukaan untuk mengevaluasi kecepatan gelombang geser atau kekakuan tanah. (Park et al., 1999). Metode *multichannel analysis of surface waves* (MASW)

adalah metode yang memanfaatkan fenomena sifat dispersi gelombang permukaan, yaitu gelombang Rayleigh untuk investigasi geoteknik berdasarkan nilai kecepatan gelombang *shear* (gelombang geser) dari per lapisan batuan yang berada di dekat permukaan. Profil kecepatan gelombang geser V_s didapatkan dari inversi pada kurva dispersi gelombang *Rayleigh*. Nilai V_s dapat mengklasifikasikan *site class* yang disusun oleh *National Earthquake Hazard Reduction Program*.

Pemanfaatan metode ini untuk keperluan geoteknik yang pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi (1943) dan Hvorslev (1949) mengenai prinsip kerja gelombang permukaan. Berdasarkan prinsip tersebut, Jones (1958) mulai mengaplikasikan metode gelombang Rayleigh menggunakan sumber gelombang berupa vibrator harmonik yang dibuat stabil pada pengamatan struktur tanah dan jalan raya.

I.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian dibatasi pada penggunaan metode *Multichannel Analysis Surface Wave (MASW)* yang menggunakan data primer dengan meliputi akuisisi data, *processing* dan interpretasi data berdasarkan data *trace* serta grafik hubungan antar frekuensi, profil kecepatan dan nilai V_{s30} .

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan struktur sub-permukaan menggunakan metode MASW melalui kecepatan gelombang geser V_{s30} ?

2. Bagaimana mengetahui kondisi lapisan bawah permukaan dengan menggunakan metode MASW?

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui struktur per lapisan tanah sub-permukaan berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran gelombang permukaan melalui kecepatan gelombang geser (V_{s30}).
2. Mengetahui kondisi struktur lapisan bawah permukaan menggunakan metode MASW.

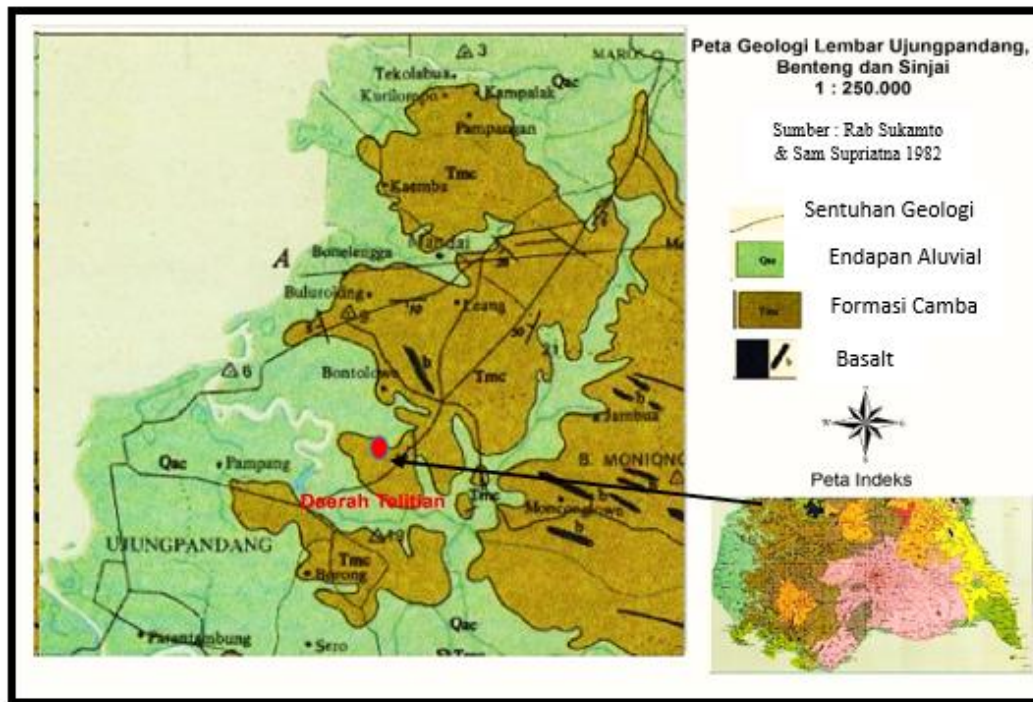
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Kota Makassar merupakan salah satu kota di Sulawesi Selatan yang rawan gempa karena lokasinya dikelilingi oleh beberapa sesar besar seperti Walanae Barat dan Timur. Pertumbuhan penduduk Makassar yang pesat memicu pesatnya pembangunan permukiman dan infrastruktur. Oleh karena itu, infrastruktur harus dimitigasi untuk mengurangi resiko kerusakan dan kematian (Jamroni, 2017). Kota Makassar berupa daerah pantai yang dijumpai di sebelah barat dan utara poros jalan utama. Batuan Gunungapi Formasi Camba yang terdiri dari batuan breksi, lava, konglomerat, dan tufa yang mendominasi lapisan batuan dasar (*bedrock*) di Kota Makassar. Daerah pantai Kota Makassar tersusun atas batuan yang berasal dari Formasi Camba berupa satuan batupasir, tufa, breksi serta batulempung yang berumur Miosen tengah sampai Miosen akhir (Soehaimi, 2008).

Daerah penelitian ini berada di area Universitas Hasanuddin Kampus Tamalanrea. Keseluruhan daerah tersebut masuk dalam peta geologi regional lembar Ujungpandang, Benteng dan Sinjai yang mencakup kondisi geomorfologi dan kondisi stratigrafinya. Daerah ini didominasi oleh Formasi Camba, basalt dan retas basalt serta endapan alluvial seperti yang tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta geologi lembar Ujungpandang, Benteng dan Sinjai skala 1:250.000 (Sukamto dan Supriatna, 1982)

II.1.1 Geomorfologi Regional

Di daerah Lembar Ujungpandang, Benteng dan Sinjai bentuk morfologi yang menonjol di daerah ini adalah kerucut Gunungapi Lompobattang yang menjulang mencapai ketinggian 2876 meter di atas permukaan laut. Kerucut Gunungapi Lompobattang ini dari kejauhan masih memperlihatkan bentukan aslinya dan tersusun oleh batuan Gunungapi berumur Pliosen. Dua bentuk kerucut tererosi lebih sempit sebarannya terdapat di sebelah Barat dan di sebelah Utara Gunung Lompobattang. Di sebelah Barat terdapat Gunung Baturape mencapai ketinggian 1124 meter, dan di sebelah Utara terdapat Gunung Cindako, mencapai ketinggian 1500 meter. Kedua bentuk kerucut tererosi ini disusun oleh batuan Gunungapi berumur Pliosen (Sukamto, 1975).

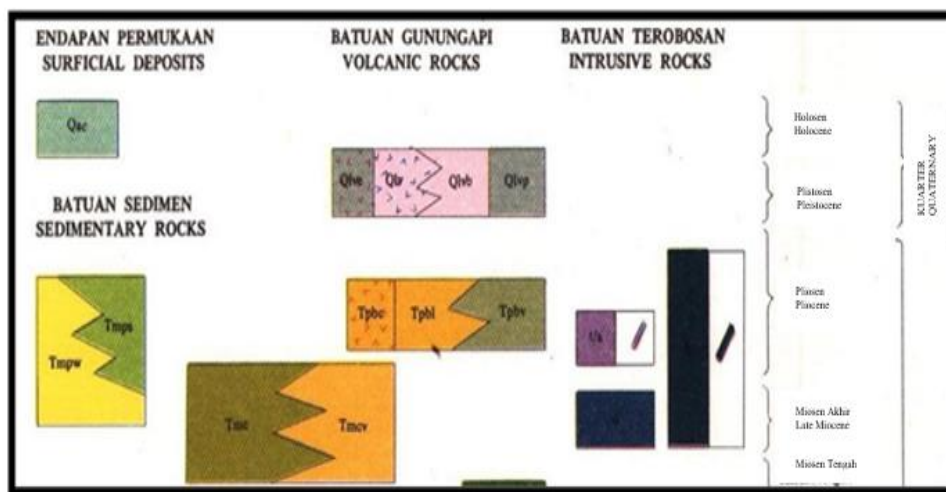
Di bagian utara terdapat dua daerah yang dicirikan oleh topografi karst yang dibentuk oleh batugamping. Kedua daerah bertopografi karst ini dipisahkan oleh pegunungan yang tersusun oleh batuan gunungapi berumur Miosen Bawah sampai Pliosen. Di sebelah Barat Gunung Cindako dan sebelah Utara Gunung Baturape merupakan daerah berbukit halus di bagian Barat. Bagian Barat mencapai ketinggian kira-kira 500 meter di atas permukaan laut dan merupakan suatu dataran. Bentuk morfologi ini tersusun oleh batuan klastik gunungapi berumur Miosen. Bukit-bukit yang memanjang yang tersebar di daerah ini mengarah ke Gunung Cindako dan Gunung Baturape berupa retas-retas basalt (Sukamto dan Supriatna, 1982).

Pesisir Barat merupakan dataran rendah yang sebagian besar terdiri dari daerah rawa dan daerah pasang surut, beberapa sungai besar membentuk daerah banjir di dataran ini. Di bagian Timurnya terdapat bukit-bukit terisolir yang tersusun oleh batuan klastik gunungapi Miosen-Pliosen. Pesisir Barat ditempati oleh morfologi berbukit memanjang rendah dengan arah umum Baratlaut Tenggara. Daerah ini tersusun oleh batuan karbonat dari formasi Tonasa. Batuan tua yang tersingkap di daerah ini adalah sedimen flysch formasi Marada, berumur Kapur Atas. Lembah ini memisahkan batuan berumur Eosen, yaitu sedimen klastika formasi Salo Kalupang di sebelah Timur dari sedimen karbonat formasi Tonasa di sebelah Baratnya. Pada Kala Eosen daerah sebelah Barat Lembah Walanae merupakan paparan laut dangkal dan sebelah timurnya merupakan suatu cekungan sedimentasi dekat daratan (Sukamto dan Supriatna, 1982).

II.1.2 Stratigrafi

Stratigrafi Kampus Universitas Hasanuddin Tamalanrea secara umum tersusun atas batuan sedimen berumur Miosen Tengah sampai Pliosen Awal menyusun Formasi Camba yang tebalnya 4250 m dan menindih tak selaras batuan-batuan yang lebih tua. Formasi Camba berselingan dengan batuan gunungapi (Tmcv) yang berumur antara 8,93-9,29 juta tahun. Batuan sedimen laut berasosiasi dengan karbonat mulai diendapkan sejak Miosen Akhir sampai Pliosen di Cekungan Walanae (Tmpw) (Sukanto dan Supriatna, 1982).

Batuan gunungapi berumur Pliosen terjadi setempat dan menyusun batuan gunungapi Baturape-Cindako (Tpbv). Satuan batuan gunungapi yang termuda adalah menyusun batuan gunungapi Lompobattang (Qiv), berumur Plistosen. Sedimen termuda lainnya adalah endapan alluvial dan pantai (Qac), dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Korelasi satuan peta geologi pada lembaran Ujungpandang, Benteng dan Sinjai (Sukanto dan Supriatna, 1982)

II.2 Gelombang Seismik

Secara umum, gelombang merupakan getaran yang merambat baik melalui suatu medium ataupun tanpa medium. Sedangkan gelombang seismik merupakan gelombang elastik yang merambat dalam bumi. Menurut Hertantyo (2010) gelombang seismik merambat karena adanya deformasi struktur, tekanan maupun tarikan di dalam bumi karena sifat elastisitas yang dimiliki lapisan kerak bumi. Bumi sebagai medium gelombang terdiri dari beberapa lapisan batuan yang antar satu lapisan dengan lapisan lainnya mempunyai sifat fisis yang berbeda. Perbedaan sifat medium ini menyebabkan gelombang seismik yang merambatkan sebagian energinya dan akan dipantulkan serta sebagian energi lainnya akan diteruskan ke medium bawahnya (Telford et al., 1990).

Hukum dasar teori gelombang dapat pula digunakan untuk menjelaskan teori gelombang seismik. Adapun hukum-hukum dasar tersebut ialah, hukum Snellius, prinsip Huygens, dan asas Fermat (Shearer, 2009).

II.2.1 Hukum Snellius

Hukum Snellius menyatakan bahwa apabila suatu gelombang menjalar pada satu bidang batas, dua lapisan yang berbeda maka gelombang akan terbiaskan jika sudut datang lebih kecil atau sama dengan sudut kritisnya seperti ditunjukkan pada gambar. Sedangkan jika sudut datang lebih besar dari sudut kritisnya maka gelombang yang datang akan terpantulkan (Bhatia, 1986). Hukum Snellius dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.1) dan diilustrasikan pada Gambar 2.3.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (2.1)$$

dengan:

θ_i = Sudut datang

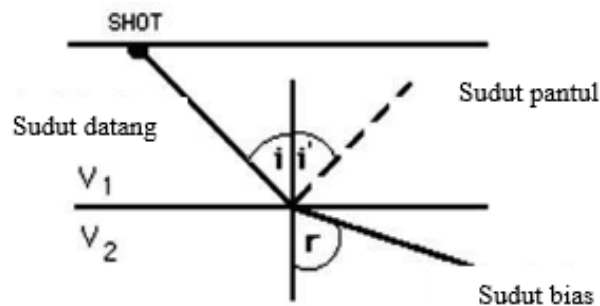
θ_r = Sudut bias

V_1 = Kecepatan gelombang datang

V_2 = Kecepatan gelombang bias

η_1 = Indeks bias medium yang dilalui gelombang datang

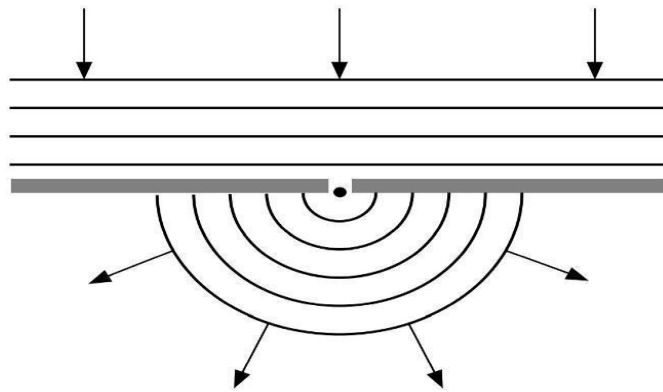
η_2 = Indeks bias medium yang dilalui gelombang bias



Gambar 2.3 Pemantulan dan pembiasan pada bidang batas dua medium (Evans, 1997)

II.2.2 Prinsip Huygens

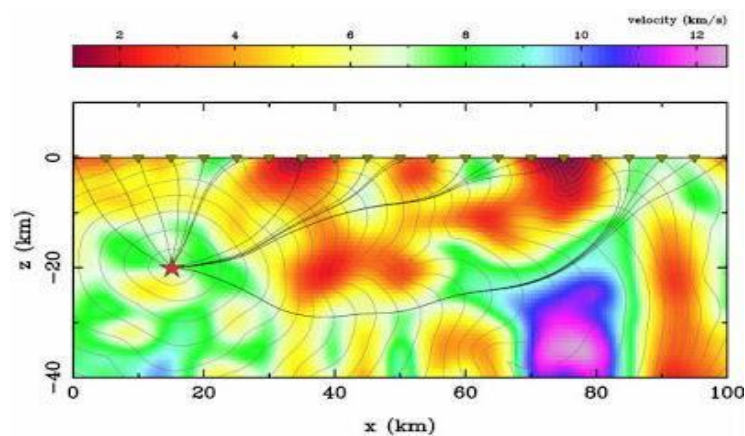
Menurut Tipler (2001), perambatan gelombang yang melalui suatu medium dapat digambarkan menggunakan metode geometris yang ditemukan oleh Christian Huygens kira-kira tahun 1678 yang dikenal dengan Prinsip Huygens. Prinsip Huygens mengatakan bahwa gelombang menyebar dari sebuah titik sumber gelombang ke 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, 1995). Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Huygens dalam penjalaran gelombang (Shearer, 2009)

II.2.3 Asas Fermat

Salah satu prinsip dasar yang menjelaskan mekanisme penjalaran gelombang adalah Asas Fermat. Prinsip ini menyatakan bahwa jika sebuah gelombang merambat dari satu titik ke titik yang lain, maka gelombang tersebut akan memilih jalur dengan jejak tercepat. Jejak tercepat dimaksud untuk memberikan penekanan bahwa jalur yang dilalui oleh sebuah gelombang adalah jalur dengan waktu tercepat bukan jarak terpendek (Susilawati, 2004). Oleh karena itu, Asas Fermat disebut juga prinsip waktu minimum. Prinsip Fermat dapat dilihat pada Gambar 2.5.



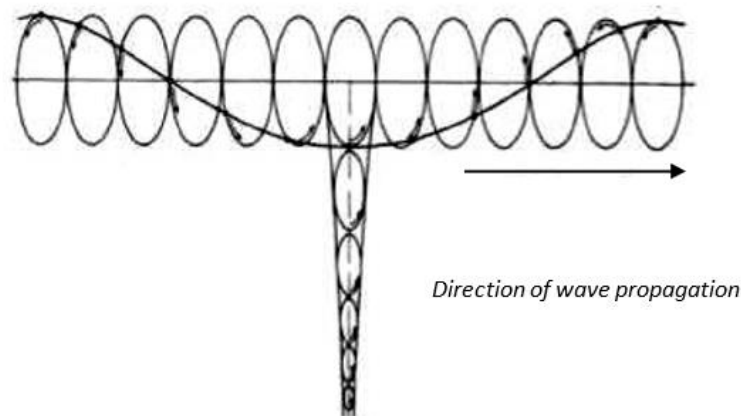
Gambar 2.5 Asas Fermat (Susilawati, 2004)

II.3 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang merambat di permukaan bumi tanpa adanya penyebaran energi ke dalam interior bumi. Amplitude gelombang ini akan semakin melemah jika menjalar masuk ke dalam inti bumi dan kebanyakan energi merambat pada daerah dangkal (Ariestianty, et al., 2009). Perambatan gelombang ini dipengaruhi oleh sifat bagian lapisan yang dibatasi pada metode MASW, gelombang permukaan ini dapat menentukan profil kecepatan gelombang S pada tanah. Gelombang permukaan ini terdiri dari dua jenis yaitu :

a. Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh (*Groundroll*) adalah gelombang yang penjalaran gelombang di permukaan dengan pergerakan membuat partikel seperti *elips* dan arahnya geraknya mundur. Kecepatan pada gelombang Rayleigh dalam satu medium yang sama lebih kecil bila berbanding dengan kecepatan gelombang geser. Bila ada variasi yang bersifat elastik pada kedalaman, gelombang Rayleigh menjadi dispersi. Pada panjang gelombang yang berbeda akan merambat dengan kecepatan yang berbeda (Telford, et al., 1976). Ampiltudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Gambar 2.6 akan menjelaskan prinsip gelombang Rayleigh:

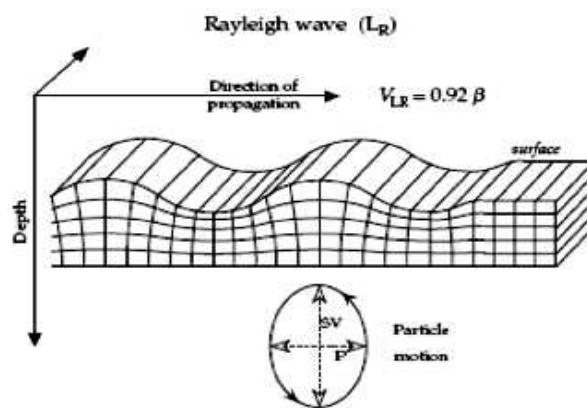


Gambar 2.6 Amplitudo gelombang Rayleigh berkurang terhadap kedalaman (Hartyanto, 2010).

Gelombang Rayleigh memiliki ciri dengan amplitudo yang besar dan frekuensi yang kecil. Jenis-jenis yang berbeda dari gelombang direkam dengan menggunakan susunan *multichannel* termasuk gelombang datang dan gelombang pantul, fundamental *mode* tinggi dari gelombang Rayleigh, gelombang udara, penghamburan, dan *ambient noise*. Sifat dispersi dari jenis-jenis gelombang digambarkan melalui perubahan 2D gelombang di lapangan menjadi gambar dispersi. Gangguan yang pasti diakibatkan dengan gelombang di lapangan adalah seperti hamburan kembali gelombang permukaan dan beberapa jenis badan disaring selama perubahan ini.

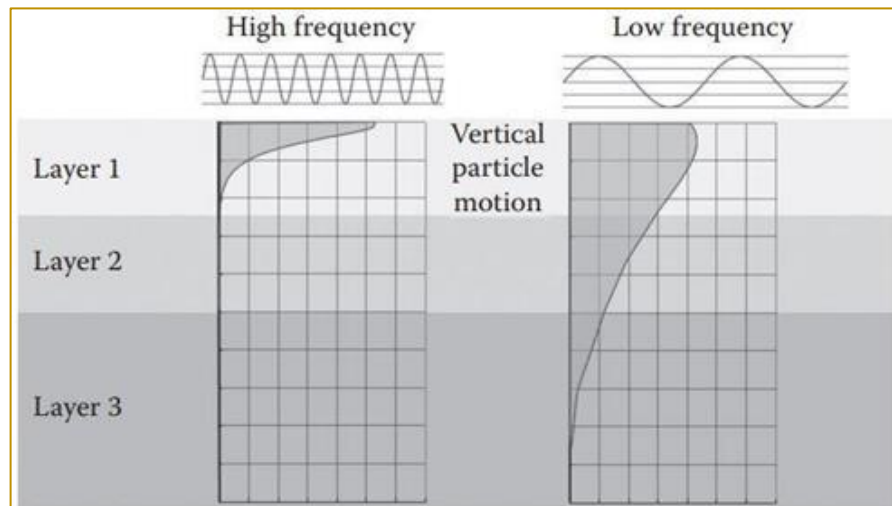
Gelombang Rayleigh adalah jenis gelombang permukaan yang bisa membuat citra dan struktur bawah permukaan dengan mudah yang langsung bisa diaplikasikan pada karakteristik disiplin ilmu geoteknik. Gelombang Rayleigh mempunyai sifat yang unik, yaitu pada setiap perambatan gelombang yang biasa melewati batas lapisan material bumi akan mengeluarkan sifat dispersi. Selain itu efek yang dihasilkan dari gelombang Rayleigh sangatlah besar, bila kekuatan sumber

ataupun *source* diterapkan di permukaan tanah. Gelombang Rayleigh mencapai 67% dari energi total yang dihasilkan oleh sumber (Hartantyo, 2010). Oleh karena itu gelombang Rayleigh sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah yang lapisannya dangkal, karena pengurangan energi dalam perambatannya lebih rendah dari jenis gelombang seismik lainnya (Shearer, 2009).



Gambar 2.7 Pola gerakan partikel gelombang Rayleigh (Lowrie, 2007)

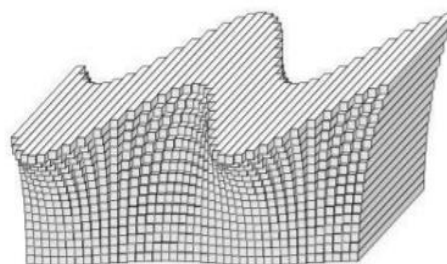
Gambar 2.7 menjelaskan bahwa panjang gelombang pendek dengan frekuensi tinggi hanya merambat pada permukaan yang dangkal, sedangkan gelombang yang lebih panjang dengan frekuensi rendah akan merambat lebih dalam dan bisa dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sifat penetrasi partikel gelombang Rayleigh (Rosyidi et al., 2006)

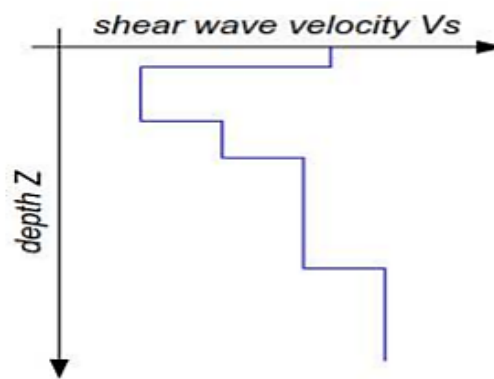
b. Gelombang Love

Gelombang Love adalah hasil polarisasi dari gelombang S dalam arah horizontal. Pergerakan partikel memotong dari arah rambat dan paralel pada yang permukaan bebas. Gelombang ini tidak terjadi pada medium yang sama, dan pada media berlapis gelombang Love ini mengeluarkan sifat dispersinya. Pada kecepatannya cenderung menjadi kecepatan geser pada lapisan yang teratas pada frekuensi tinggi dan cenderung kepada kecepatan geser pada lapisan bawah pada frekuensi rendah. Penjalaran gelombang love ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Gelombang love (Shearer, 2009).

Metode gelombang permukaan 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.



Gambar 2.10 Profil vertikal dari gelombang geser (Rosydi et al., 2006).

Gambar 2.10 menjelaskan bahwa amplitudonya akan berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman, dan kebanyakan energi merambat pada daerah dangkal yang setara dengan satu panjang gelombang. Gelombang permukaan Rayleigh sering menjadi hal yang dominan pada rekaman data seismik yang menyebarkan energi ke semua arah. Hal ini disebabkan energinya lebih banyak dan penyebaran secara geometri lebih rendah dari gelombang badan (Mufida, 2013).

II. 4 Gelombang Geser

Gelombang geser merupakan gelombang sebagai gelombang S yang berarti sekunder atau *shear*. Dinamakan gelombang sekunder karena kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan gelombang P primer atau *pressure*. Pada medium yang padat, gelombang geser menjalar dengan kecepatan antara 3-4 km/detik. Ketika menjalar di bawah permukaan, gelombang geser memberikan 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 et al., 2000). Kecepatan gelombang geser dapat ditentukan melalui persamaan berikut (Kramer, 1996):

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2 \quad (2.2)$$

dengan,

G = modulus geser (kPa)

ρ = luas di mana gaya itu bekerja (m^2)

V_s = kecepatan gelombang geser (m/s).

Nilai V_s akan diperoleh melalui proses pengukuran gelombang permukaan dan nilai modulus geser yaitu rasio tegangan geser terhadap regangan geser untuk setiap lokasi yang masing-masing dapat ditentukan dengan:

$$G = \frac{F/A}{\Delta_x/l} \quad (2.3)$$

dengan,

F = gaya yang bekerja (N)

A = luas gaya yang bekerja (m^2)

Δ_x = perpindahan transvers (m)

l = Panjang awal (m)

Dalam SNI 1726:2019, parameter kecepatan gelombang geser (V_s) sudah dimasukkan dan menjadi salah satu parameter dalam menentukan pengklasifikasian jenis tanah dan batuan sebagaimana ditunjukkan oleh **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Klasifikasi situs SNI 1726:2019

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air $\omega \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitasnya $PI > 75$		

	Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $S_u < 50 \text{ kPa}$
--	--

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Pengklasifikasian jenis tanah dan batuan berdasarkan SNI 1726:2019 banyak digunakan untuk perencanaan bangunan gedung dan non-gedung yang akan menggantikan metode konvensional seperti CPT (*Cone Penetrating Test*) dan SPT (*Standard Penetrating Test*) (Rusydy et al., 2016) .

II.5 MASW (*Multichannel Analysis Of Surface Waves*)

Metode MASW merupakan metode yang digunakan untuk investigasi bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (*shear wave*) dari perlapisan batuan dekat permukaan dengan memanfaatkan sifat dispersi gelombang permukaan yakni gelombang Rayleigh (Laksono et al., 2018). Gelombang Rayleigh menjalar di permukaan sehingga amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Di dalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudonya yang besar dan frekuensi yang rendah. Prinsip dasar metode *multichannel analysis of surface waves* (MASW) adalah menentukan kecepatan gelombang geser dari perlapisan batuan dekat permukaan (*subsurface*). Metode MASW memiliki ketepatan dan resolusi yang tinggi sehingga cocok untuk memberi informasi struktur dekat permukaan dengan memodelkan struktur geologi bawah permukaan bumi (Park et al., 2002). Metode *multichannel analysis of surface of waves* (MASW) menghasilkan profil kecepatan gelombang geser V_s 1D. bergantung pada teknis gelombang permukaan yang dihasilkan.

Metode *multichannel analysis of surface of waves* (MASW) aktif merupakan model survey konvensional, mengumpulkan data sepanjang lintasan menggunakan sumber seismik aktif dan susunan *receiver* lurus. Metode pasif menggunakan gelombang permukaan yang dihasilkan oleh alam dan kultural seperti petir, pergerakan arus, perubahan tekanan atmosfer, dan lain-lain (Park et al., 2002).

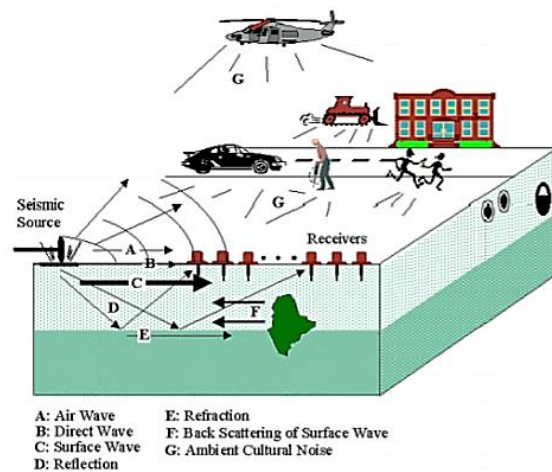
Nilai kecepatan gelombang geser V_s dapat diketahui berdasarkan kecepatan gelombang Rayleigh melalui sifat *ground roll* yang dapat diamati menggunakan peralatan seismik dengan *geophone* vertikal. Nilai V_s yang didapatkan menggunakan metode *multichannel analysis of surface waves* (MASW) sangat akurat (Xia et al., 2000). Membandingkan nilai profil 1D V_s yang didapatkan oleh metode *multichannel analysis of surface waves* (MASW) dengan data V_s yang didapatkan dari lubang bor dan akurasinya mencapai 15% sebanyak 2/3 energi seismik yang diberikan akan membentuk gelombang Rayleigh yang menampung sebagian besar dari energi seismik (Heisey et al., 1982). Kecepatan gelombang Rayleigh yang terukur sangat mempresentasikan kecepatan gelombang geser. Hal ini dikarenakan gelombang geser terdiri dari sekitar 92% kecepatan fase gelombang Rayleigh (Stokoe et al., 1994).

Metode ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan metoda seismik lainnya antara lain:

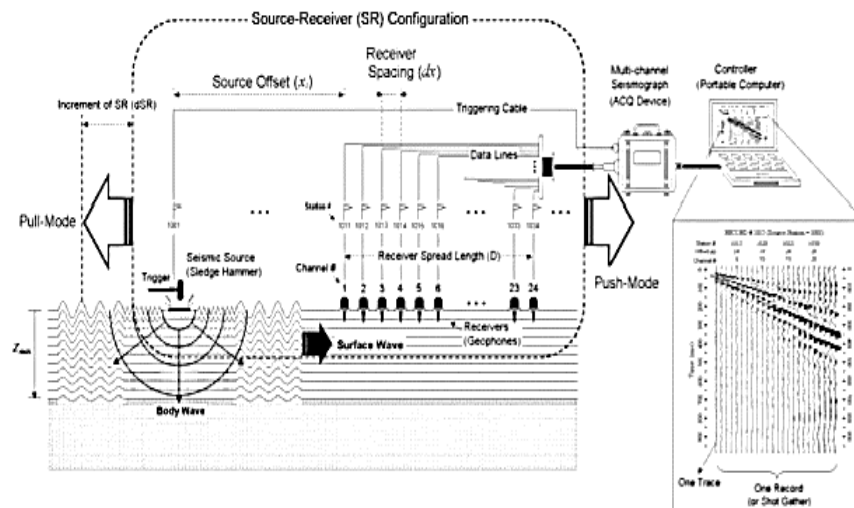
1. Non eksplosif, sehingga tidak merusak lingkungan
2. Lebih murah karena tidak perlu melakukan pengeboran
3. Alat sangat mudah dibawa dengan tenaga manusia
4. Dapat digunakan survei dangkal maupun mencapai ratusan meter

5. Mudah dalam menentukan persebaran nilai rata-rata V_{s30} untuk menentukan jenis tanah

Metode MASW terbagi menjadi dua jenis yaitu metode MASW aktif dan pasif. Perbedaan dari kedua metode ini terletak pada sumber gelombang yang digunakan, pada MASW aktif sumber gelombang yang digunakan harus memiliki frekuensi yang tinggi yaitu dapat berupa palu atau *weightdrop*. Sedangkan metode MASW pasif menggunakan sumber dengan frekuensi rendah seperti pasang surut air laut, lalu lintas kendaraan ataupun kerumunan pejalan kaki. metode MASW aktif dan pasif. permukaan dengan masing-masing panjang gelombang yang berbeda-beda. Gambaran umum survei metode MASW bisa dilihat pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12 di bawah ini



Gambar 2.11 Survei metode MASW (Park et al., 1999).



Gambar 2.12 Skema survei lapangan MASW aktif (Park et al., 1999).

Konfigurasi *remote* digunakan untuk survei 1D. Konfigurasi *geophone* disusun berbentuk simetris misalnya lingkaran, silang, persegi atau segitiga. Sedangkan konfigurasi *roadside* dapat digunakan untuk survei 2D. Metode ini memanfaatkan gelombang permukaan yang dihasilkan dari lalu lintas lokal. Hasilnya mungkin kurang akurat dibandingkan dengan metode *remote*, namun konfigurasi ini paling mudah digunakan dalam survei dikarenakan tidak memerlukan banyak ruang untuk konfigurasi *geophone*-nya.

II.6 Transformasi Fourier

Transformasi *Fourier* merupakan metode untuk analisis spektral dengan tujuan agar sinyal yang di peroleh dalam domain waktu merubah menjadi domain frekuensi. Hal ini di lakukan karena perhitungan lebih mudah dalam domain frekuensi di bandingkan dengan domain waktu. Selain itu, fenomena geofisika berkaitan erat dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi parameter penting dalam menjelaskan fenomena - fenomena tersebut (Laksono, 2018).

Transformasi *Fourier* adalah dari sebuah fungsi $f(t)$ didefinisikan dengan persamaan (2.4) sebagai berikut :

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

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega).e^{-i2\pi ft} d\omega \quad (2.5)$$

Persamaan (2.4) disebut sebagai *forward fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain waktu ke domain frekuensi. Sedangkan persamaan (2.5) disebut *invers fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain frekuensi ke domain waktu (Park et al., 1998).

Data seismik yang telah direkam oleh *geophone* atau biasa disebut data rekaman *multichannel*, selanjutnya akan dibuat citra dispersi. Citra dispersi memperlihatkan energi amplitudo dari sinyal gelombang yang terekam dan dibentuk dari data rekaman *multichannel*. Hal ini dilakukan dengan menggunakan FFT dan metode yang telah dikembangkan oleh Park et al. (1998) yaitu metode pergeseran fase (*phase-shift method*).

Mulanya data rekaman *multichannel* diubah domainnya dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Data rekaman *multichannel* berdomain waktu-jarak (x,t) ditransformasikan ke dalam domain bilangan gelombang-frekuensi (x, ω) pada setiap *trace* menggunakan Persamaan 2.4.

Gelombang seismik yang terekam dari dua *geophone* kemudian dianalisis pada kecepatan fase (C_f) berdasarkan beda waktu tempuh (Δt_f) untuk frekuensi (f) yang berbeda, dapat dilihat pada Persamaan 2.6 (Park et al., 1999).

$$C_f = \frac{dx}{\Delta t_f} \quad (2.6)$$

Beda fase diperoleh dari hasil perhitungan Transformasi *Fourier* antara dua gelombang yaitu $f(t)$ dan $g(t)$. Bila hasil transformasi dinyatakan dalam bentuk amplitudo dan fase maka diperoleh :

$$F(\omega) = A_f(\omega)e^{-i\phi_f(\omega)} \quad (2.7)$$

$$G(\omega) = A_g(\omega)e^{-i\phi_g(\omega)} \quad (2.8)$$

Beda fasa antara keduanya dapat dituliskan :

$$\Delta\Phi(\omega) = \Phi_f(\omega) - \Phi_g(\omega) \quad (2.9)$$

Sehingga diperoleh kecepatan fase :

$$c(\omega) = \frac{\omega \Delta x}{\Delta\Phi_f(\omega)} \quad (2.10)$$

$$c(\omega) = \frac{\omega \Delta x}{\Delta\Phi_f(\omega) + 2n\pi} \quad (2.11)$$

Untuk memperoleh citra dispersi, dilakukan *stack* dengan metode *phase-shift*.

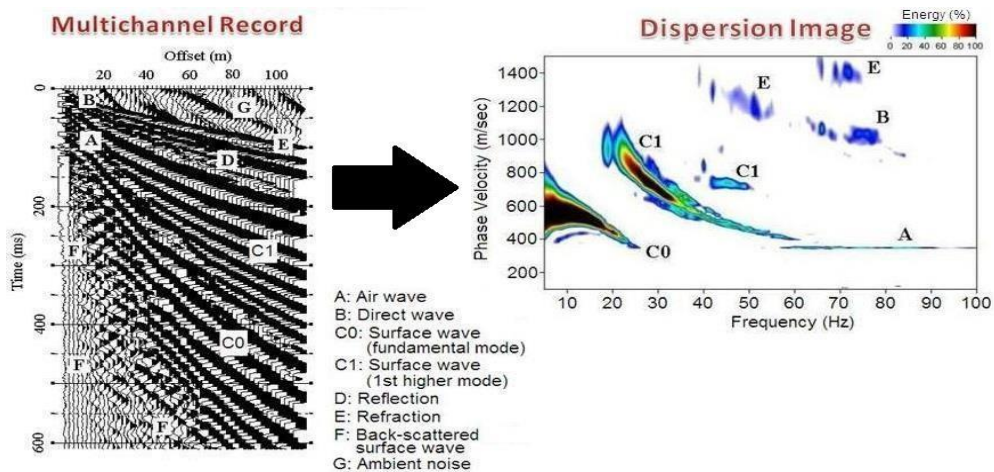
$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, \omega) \cdot e^{\frac{i\omega x}{c}} dx \quad (2.12)$$

Dari persamaan (2.12), didapatkan citra dispersi yang menunjukkan perubahan kecepatan fase (C_f) terhadap frekuensi (ω) seperti ditampilkan pada gambar (2.13)

II.7 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.



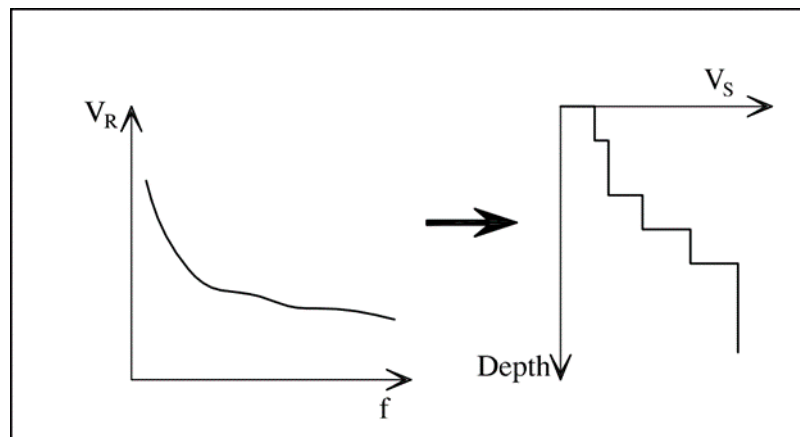
Gambar 2.13 Jenis-jenis gelombang pada citra dispersi (Park et al., 1998)

Gambar 2.13 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.8 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.



Gambar 2.14 Proses inversi (Foti, 2000)

Pada Gambar 2.14 menjelaskan bahwa proses inversi yaitu 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).

II.9 VS30

Vs30 merupakan parameter geoteknik yang sangat berguna untuk menganalisa gelombang seismik dan karakteristik sifat dinamis batuan. Sedangkan kekakuan batuan dan kuat geser tanah dapat diketahui, mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (Wangsadinata, 2006).

Nilai Vs30 dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.13) :

$$Vs30 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i/v_{si}} \quad (2.13)$$

dengan:

I = indeks pelapisan

m = jumlah perlapisan hingga kedalaman 30 meter

t_i = ketebalan lapisan ke i

Vs30 = kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter

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 2.2 yang memperlihatkan nilai kecepatan gelombang kompresi (Vp) dan kecepatan gelombang geser (Vs) untuk beberapa jenis material.

Tabel 2.2 Nilai Vp dan Vs pada berbagai material dekat permukaan
(Foti et al., 2014)

Geomaterial	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poison ratio
<i>Crystalline rocks</i>	4000 – 6500	2500 – 3500	0,2 – 0,3
<i>Calcareous, fractured rocks</i>	1600 – 3000	1000 – 1500	0,2 – 0,3
<i>Soft rocks, very dense</i>	800 – 2000	500 – 1000	0,2 – 0,3

<i>gravels</i>			
<i>Medium to dense gravels</i>	650 – 1500	400 – 800	0,2 – 0,3
<i>Medium to dense sands</i>	350 – 750	200 – 400	0,2 – 0,3
<i>NC clays and silts</i>	250 – 500	250 – 500	0,15 – 0,25
<i>Very soft clays</i>	80 – 200	50 – 100	0,15 – 0,25

Vs30 merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 m dari permukaan. Menurut Roser dan Gosar (2010) nilai Vs30 ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai Vs30 digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempabumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. Vs30 merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter. Lapisan - lapisan batuan sampai kedalaman 30 m saja yang bisa dapat menentukan pembesaran gelombang gempa (Wangsadinata, 2006).