

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF
SURFACE WAVES* (MASW)
(Studi Kasus Lapangan TNR Universitas Hasanuddin)**

Disusun dan diajukan oleh

EKO PRABOWO SAMSUDDIN

H22114512



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

2021

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL*
ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)
(Studi Kasus:Lapangan TNR Universitas Hasanuddin)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Geofisika Departemen Geofisika Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**

EKO PRABOWO SAMSUDDIN

H22114512

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

2021

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Eko Prabowo Samsuddin

NIM : H22114512

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES* (MASW)
(Studi Kasus:Lapangan TNR Universitas Hasanuddin)**

Adalah benar hasil karya saya sendiri bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa 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 merupakan hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 juli 2021

Yang Menyatakan



Eko Prabowo Samsuddin

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES* (MASW)
(Studi Kasus:Lapangan TNR Universitas Hasanuddin)

Disetujui oleh :

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si
NIP. 19670903 200112 1 001


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 19670929 199303 1 003

Ketua Departemen


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 19670929 199303 1 003

Pada Tanggal : 30 Juli 2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES* (MASW)
(Studi Kasus:Lapangan TNR Universitas Hasanuddin)

Disusun dan diajukan oleh :

EKO PRABOWO SAMSUDDIN

H22114512

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

Pada tanggal 30 Juli 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si
NIP. 19670903 200112 1 001

Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 19670929 199303 1 003

Ketua Departemen



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 19670929 199303 1 003

Tuntutlah ilmu karena semata-mata mengharap ridha Allah SWT.

Rasulullah Bersabda:”*Barangsiapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu, maka dengannya Allah akan memudahkan jalan ke surga.*” (H.R. Ahmad/2-252).

Dipersembahkan untuk

Kedua orang tua tercinta, keluarga dan orang-orang terkasih

KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah Azza Wa Jalla Rabb semesta alam yang ditangan-Nya terenggam nyawa seluruh makhluk semesta alam, yang Maha kekal sebelum sesuatunya ada, dan akan tetap kekal setelah segala sesuatunya tiada. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Nabi Muhammad ﷺ dan kepada para keluarga serta Sahabat beliau. Alhamdulillah Wasyukurillah, berkat pertolongan Allah akhirnya skripsi dengan judul “ **IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW) Studi Kasus:Lapangan TNR Universitas Hasanuddin**” yang disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk meraih gelar sarjana Sains pada Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin ini dapat dirampungkan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan tambahan pengetahuan baru bagi para pembelajar dalam Departemen Geofisika.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dalam penyelesaian dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis, Ayahanda **Samsuddin** dan Ibunda **Nurung** yang telah mendidik dengan penuh kesabaran, terimakasih telah mencurahkan kasih sayang yang tak pernah putus, kesungguhan dalam memberikan dukungan moril serta tak kenal lelah dalam memanjatkan doa serta memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis selama menjalani proses pendidikan. Untuk kakak-kakak penulis **Dewi Pratiwi** serta keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa, terima kasih atas segala perhatian yang telah kalian berikan kepada penulis. Tugas akhir ini hanya setitik kebahagiaan kecil yang bisa penulis persembahkan kepada kalian.

Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga penulis ucapkan kepada :

1. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Palubuhu, MA**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
2. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
3. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin, M.Eng**, selaku Ketua Departemen Geofisika sekaligus dosen Pembimbing pertama, yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Geofisika.
4. Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si**, selaku selaku dosen pembimbing utama sekaligus penasehat akademik atas nasehat, dukungan, doa dan dengan setulus hati telah meluangkan waktunya ditengah berbagai kesibukan dan prioritasnya untuk membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak **Syamsuddin, S.Si, M.T**, selaku dosen penguji sekaligus penasehat akademik sebelumnya atas segala masukan bantuan, nasehat serta motivasi yang diberikan kepada penulis dalam membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si, M.T**, selaku dosen penguji atas kesediaannya untuk memberikan saran dan arahan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. **Dosen pengajar Departemen Geofisika** yang telah membekali ilmu kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Departemen Geofisika. Serta Staf Departemen Matematika yang telah membantu banyak dalam perkuliahan.
8. Saudara tak sedarah **TRANSPOSE 2014**, terkhusus ketua angkatan **Fandy Heribet**, saudara-saudara di grup **SAHABAT LERR** terkhusus **Arfyan Saputra, Miftah Farid, Setiawan Ahmad, Munawir Djamaluddin, Nivel Saputra Wahid, Muh. Alfajar, Hedi Kuswanto, Rachmat Darmawan, Ahmad Husain, Muhammad Mappanyompa, Muh. Sarwan, Muh. Ij'lal, Andi Muh. Fawzy, Syahrul** serta seluruh saudara – saudari tanpa terkecuali Transpose 2014 .

9. Seluruh **Anggota Himatika FMIPA Unhas**, Terima kasih telah menjadi keluarga dan memberikan kenangan yang tidak akan penulis lupakan.
10. Saudara **MIPA 2014** terima kasih banyak atas warna yang telah diberikan selama penulis menempuh studi. Menjadi bagian dari MIPA 2014 merupakan rasa syukur dan kebanggaan tersendiri bagi penulis. Semoga persaudaraan ini akan tetap ADA. Tetap menjaga slogan “Kita Semua Sama”
11. Kepada teman-teman **Geofisika 2014** yang telah berbagi waktu dan kisah di kampus merah ini. Terima kasih untuk selalu membantu penulis dalam hal apapun. Terkhususnya masalah akademik. Terima kasih untuk kisah-kisah menyenangkannya selama di kelas dan di lapangan.
12. **MIPA Kepada Keluarga Mahasiswa Fakultas Unhas**. Kanda-kanda, teman angkatan, dan adik-adik. Terima kasih sudah memperkenalkan penulis dunia organisasi yang selalu menjunjung tinggi Kebersamaan dan Kekeluargaan. Salam *‘Use Your Mind Be The Best’*.
13. Seluruh teman-teman **KKN BONE Unhas Gel.102**, terkhusus kepada teman **Posko Desa Polewali**, terima kasih atas waktu singkat dan pengalaman yang bermakna.
14. **TIM AYO-AYO** terkhususnya **Firman Budianto, Taufik Hamzi dan Sidiq Tolleng** terima kasih atas dukungan dan motivasi yang diberikan kepada penulis. Semoga tetap menjaga solidaritas.
15. Keluarga besar **SUKU PALS** terimakasih atas doa-doa dan dukungannya dari jauh. Terimakasih untuk selalu jadi teman yang bisa diandalkan, dan selalu jadi penyemangat. Semoga bisa tetap berbagi kebahagiaan dan selalu saling support dalam menjalani kehidupan. Aamiin.
16. Keluarga besar **PALS SCOOTER** terimakasih telah memberikan pengalaman tidak terhingga dalam kehidupan penulis, semoga kedepannya akan tetap berpetualang menyusuri surga kecil.
17. Keluarga besar **Oi Maros** terima kasih atas dukungan dan doa teman teman. Semoga Oi maros tetap Bersatu sesuai dengan tujuannya.

18. Alumni **2014 SMK 1 Maros** terima kasih banyak atas 3 tahun yang sangat berharga. Begitu banyak ilmu, pengetahuan, pengalaman dan suka cita yang penulis dapatkan.
19. Sahabat **TAMVAN** terima kasih telah menerima penulis menjadi bagian dari grup dan terima kasih banyak telah menjadi salah satu sumber kebahagiaan penulis.
20. Teman-teman grup **Jual Beli Iphone** terima kasih atas hiburan-hiburan yang telah diberikan kepada penulis, tetap update.
21. Saudara **GARSOL** terima kasih telah menjadi sahabat dan menjadikan kehidupan penulis lebih berwarna.
22. Keluarga Besar **PUNKZHERT** terima kasih atas pengalaman hidup yang telah diberikan, semoga generasi-generasi berikutnya mendapatkan hal yang sama bahkan lebih.
23. Alumni **2011 SMP 1 Mandai** terima kasih telah menjadi sahabat seperguruan selama 3 tahun.
24. Rekan-rekan **Feef Not Bomb** yang telah memberi kesempatan kepada penulis mendapatkan ruang belajar tambahan, serta pengalaman yang baru. Terima kasih
25. Rekan-rekan **Arm The Homeless** Terima kasih atas segala moment-moment yang telah tercipta, semoga persahabatan kita akan selalu terjaga.
26. Keluarga besar **PSM FANS** terima kasih sudah menjadi keluarga kecil yang telah mengajarkan apa arti cinta yang sesungguhnya. Panjang umur kau saudaraku, cinta PSM selalu 'ale-ale PSM'.
27. Teman-teman di **Pondok Pintu NOL** terima kasih sudah menjadi tempat pelarian disaat krisis ekonomi.
28. Kepada adik **Aulia** dan **Mufli** yang telah banyak membantu dalam memperoleh data serta memberi beberapa masukan yang penulis butuhkan dalam proses penelitian. Terima kasih.
29. Dan kepada orang-orang istimewa dalam hidup penulis yang tidak perlu disebutkan namanya, terima kasih banyak atas semuanya

30. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bentuk kontribusi, partisipasi, serta motivasi yang diberikan kepada penulis selama ini. Semoga apa yang telah diberikan akan dilipatgandakan oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Aamiin.

Makassar, 30 Juli 2021

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'E' and 'P' followed by a series of loops and a final flourish.

Eko Prabowo Samsuddin

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Eko Prabowo Samsuddin
NIM : H22114512
Program Studi : Geofisika
Departemen : Geofisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Prediktor Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas tugas akhir saya yang berjudul :

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES* (MASW) (Studi Kasus:Lapangan TNR Universitas Hasanuddin)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal diatas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada 30 Juli 2021

Yang menyatakan



(Eko Prabowo Samsuddin)

ABSTRAK

Metode pengukuran dan analisis multichannel *analysis of surface waves* (MASW) digunakan untuk estimasi kurva dispersi. Metode ini diterapkan untuk mengidentifikasi struktur permukaan tanah dari setiap lapisan berdasarkan kecepatan gelombang geser (V_s). Nilai v_s yang didapatkan dari MASW dengan cara memanfaatkan gelombang Rayleigh dari sumber seismik berupa palu dan terekam pada 24 geophone vertikal 4,5 hz. Metode MASW menggunakan peralatan seismograf untuk merekam perambatan gelombang seismik. Pengukuran diambil satu lintasan dengan panjang lintasan 23 m dan jarak antar geophone 1 m. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *EasyMasw*. Proses inversi dengan kurva dispersi teoritis yang tumpang tindih dengan kurva dispersi ekperimental dengan nilai RMSE sebesar 0.908 % serta nilai *misfit value* sebesar 0.097 %. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser diperoleh hasil identifikasi struktur per lapisan sub-permukaan tanah terdiri atas lima lapisan yaitu *clay* dan *stand* secara berurutan dari dekat permukaan hingga kedalaman 30 m. Struktur per lapisan tanah digolongkan kedalam kategori tanah C berdasarkan besarnya nilai V_{s30} pada per lapisan tanah ini yaitu 531,51 m/s. Hal tersebut mengindikasikan bahwa wilayah penelitian terdiri dari tanah keras dan batuan lunak.

Kata kunci : MASW, Gelombang geser, *Rayleigh*, Kurva dispersi

ABSTRACT

The measurement method and analysis of multichannel analysis of surface waves (MASW) were used to estimate the dispersion curve. This method is applied to identify the soil surface structure of each layer based on the shear wave velocity (V_s). The v_s value obtained from MASW by utilizing Rayleigh waves from a seismic source in the form of a hammer and recorded on 24 4.5 Hz vertical geophones. The MASW method uses seismograph equipment to record the propagation of seismic waves. One track measurement with a track length of 23 m and a distance between geophones of 1 m. Data processing is done using EasyMasw software. The inversion process uses a theoretical dispersion curve that overlaps with an experimental dispersion curve with an RMSE value of 0.908% and a misfit value of 0.097%. Based on the speed of the waves obtained the results of knowing the sub-surface layer structure of the soil consisting of five layers, namely clay and sanding sequentially from near the surface to a depth of 30 m. The structure of the soil layer is classified into soil category C based on the value of V_{s30} in this soil layer, which is 531.51 m/s. It is that the research area consists of hard soil and soft rock.

Keywords : MASW, Shear wave, Rayleigh, Dispersion curve

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	v
KATA PENGANTAR	vii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Ruang Lingkup	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Geologi Regional.....	4
II.2 Teori Gelombang Seismik.....	6
II.2.1 Asas Fermat	6
II.2.2 Hukum Snellius	7
II.2.3 Prinsip Huygens	9
II.3 Gelombang Seismik Permukaan.....	10
II.3.1 Gelombang Rayleigh	11
II.4 Metode MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	13
II.4.1 Metode MASW Pasif dan Aktif	14
II.5 Kurva Dispersi Gelombang Permukaan	16
II.6 Kecepatan Gelombang Geser Vs	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
III.1 Peta lokasi.....	20

III.2 Alat dan Bahan.....	20
III.2.1 Alat.....	20
III.2.2 Bahan.....	21
III.3 Proses akuisisi data	21
III.4 Pengolahan data (menggunakan EasyMASW)	22
III.5 Diagram Alir	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
IV.1 Update Geometry	26
IV.2 Dispersion Image	27
IV.3 Kurva Dispersi Teoritis.....	28
IV.4 Kurva Dispersi Eksperimental	29
IV.5 Proses Inversi	31
IV.6 Profil Sub-Permukaan Tanah	32
BAB V PENUTUP	37
V.1 Kesimpulan	37
V.2 Saran Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Makassar (referensi)	4
Gambar 2. 2 Asas Fesmat (Susilawati, 2004)	7
Gambar 2. 3 Pembiasaan pada bidang atas batas dua medium (Utami, 2016)	9
Gambar 2. 4 Prinsip Huygens dalam penjalaran Gelombang (Shearer, 2009)	10
Gambar 2. 5 Dispersi gelombang permukaan pada medium berlapis (Foti, Lai, Rix, & Strobbia, 2014).....	11
Gambar 2. 6 Gerak partikel gelombang <i>Rayleigh</i> (Jones, 2010)	12
Gambar 2. 7 Gambaran umum Metode MASW Pasif (Park, Miller, & Xia, 1999)	15
Gambar 2. 8 Skema survei lapangan MASW aktif (Park, 1999).....	15
Gambar 2. 9 Jenis-jenis gelombang pada citra dispersi (Park dkk., 1998)	16
Gambar 3. 1 Jalur Lintasan Pengambilan Data MASW (Sumber: Citra Google Earth Pro).....	20
Gambar 3. 2 Diagram Alir	25
Gambar 4. 1 Tampilan <i>trace</i> seismik gelombang permukaan menggunakan metode MASW.....	27
Gambar 4. 2 Citra Dispersi berdasarkan parameter analisis spektrum	28
Gambar 4. 3 Tampilan citra dispersi setelah dilakukan proses penginputan parameter model awal	29
Gambar 4. 4 Hasil <i>picking fundamental model</i> citra disperse.....	31
Gambar 4. 5 Kurva dispersi hasil inversi	32
Gambar 4. 6 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman. ...	33
Gambar 4. 7 Profil perlapisan tanah sub-permukaan (V_{s30}).	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai Vs30 sesuai standart (Federal Emergency Management Agency, 2003).....	19
Tabel 4. 1 Klasifikasi jenis batuan. berdasarkan nilai kecepatan gelombang S (Vs) (Foti et al, 2014).....	34
Tabel 4. 2 klasifikasi jenis batuan berdasarkan hasil pengolahan data	34

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kota Makassar merupakan salah satu kota di Sulawesi Selatan yang rawan gempa karena lokasinya dikelilingi oleh beberapa sesar besar seperti Walanea 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 sendiri sejauh ini adalah salah satu kota yang sedang berkembang sehingga kedepannya akan banyak pembangunan infrastruktur. Universitas Hasanuddin yang terletak di Kecamatan Tamalanrea merupakan salah satu daerah di Makassar yang melakukan pembangunan infrastruktur, lapangan TNR termasuk bagian dari wilayah Universitas Hasanuddin. Dalam pembangunan infrastruktur kondisi bawah permukaan menjadi hal yang perlu untuk diperhatikan karena berpengaruh pada ketahanan dan keamanan nantinya.

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).

Metode MASW merupakan 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. Penelitian tentang metode MASW telah banyak dilakukan, di antaranya adalah pemetaan *bedrock* di Olathe Kansas dengan menggunakan MASW (Miller & 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* (V_s) di Selatan Rowo Jombor berkaitan dengan potensi kerusakan akibat gempa oleh (Hartantyo & Hussein pada tahun 2009).

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka dapat ditentukan rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana kurva dispersi gelombang seismik permukaan hasil pengolahan data berdasarkan metode MASW ?
2. Bagaimana kondisi struktur bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30}) ?

I.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah pengumpulan data secara langsung di daerah penelitian, akusisi data, pengolahan data, dan interpretasi data untuk menentukan kecepatan gelombang geser menggunakan metode seismik yaitu *multichannel analysis of surface wave* (MASW). Lokasi penelitian ini dilakukan di Lapangan TNR Universitas Hasanuddin dan panjang lintasan 23 meter.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Memperoleh kurva dispersi gelombang seismik permukaan berdasarkan metode MASW
2. Memprediksi kondisi struktur bawah berdasarkan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30})

Daerah pantai Kota Makassar tersusun atas batuan yang berasal dari Formasi Camba berupa satuan batu pasir, tufa, breksi serta batu lempung yang berumur Miosen tengah sampai Miosen akhir (Soehaimi, 2008). Berdasarkan peta geologi pada gambar 2.1, Kota Makassar secara umum disusun oleh batuan berikut:

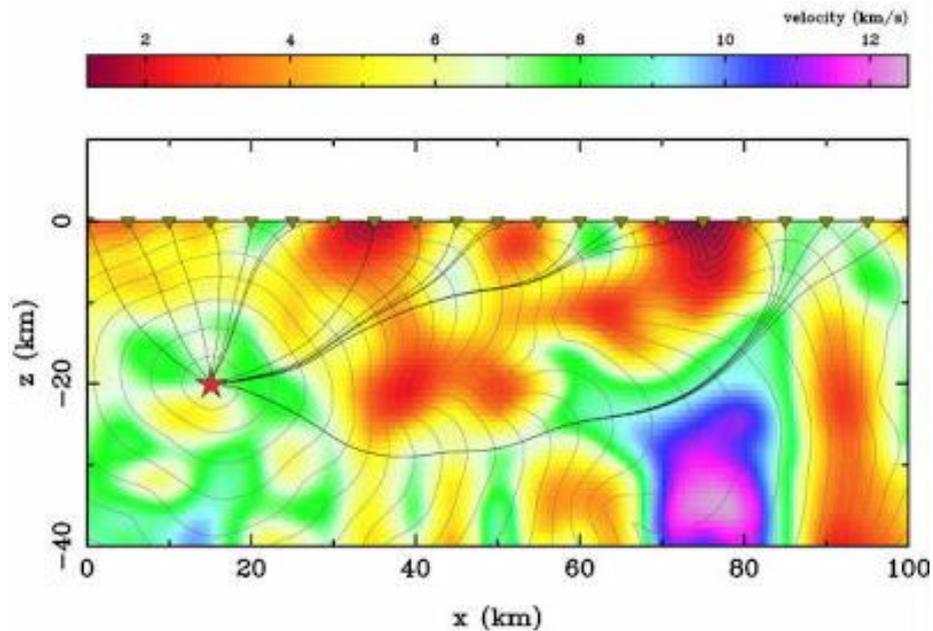
1. Satuan Alluvial, penyebaran satuan batuan alluvial meliputi sekitaran dataran sampai pantai dengan luas 11.693,83 ha hampir di seluruh wilayah Kota Makassar.
2. Satuan Basal, batuan ini tersebar di dua wilayah kecamatan yaitu Kecamatan Biringkanaya dengan luas 25,027 ha dan Kecamatan Tamalate dengan luas sekitar 3,201 ha.
3. Batuan sedimen laut berselingan batuan gunungapi Bawakaraeng, dan Formasi Camba yang terdiri dari konglomerat, lava, tufa dan breksi hasil erupsi dari Gunung api Batturappe – Cindako. Penyebaran satuan batuan breksi dan tufa terdapat di wilayah Kecamatan Tamalate, Kecamatan Biringkanaya, serta wilayah Kecamatan Pannakukang.
4. Kecamatan Tamalanrea didominasi oleh formasi Camba, formasi Tonasa serta basalt dan retas basalt. Formasi camba terdiri dari batuan sedimen laut berselingan dengan batuan gunung api, batu pasir tufa berselingan dengan tufa, batu lanau dan batu lempung, serta konglomerat dan breksi gunung api dan setempat dengan batubara.

II.2 Teori 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 Asas Fesmat (Susilawati, 2004)

Dengan z adalah kedalaman (km) dan x adalah jarak, dalam hal ini x adalah jarak antar geophone (km). 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.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.1)$$

Dengan :

θ_i = sudut datang

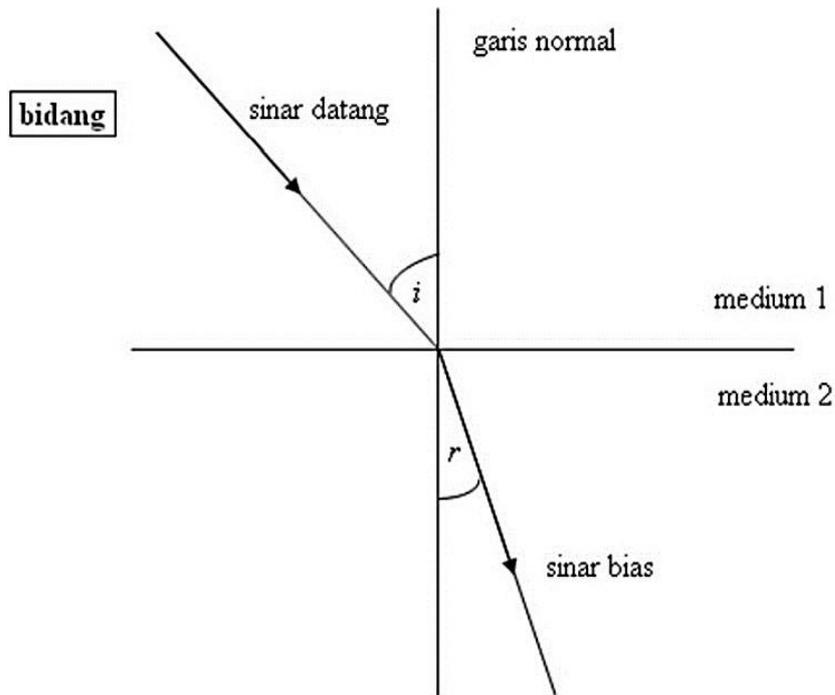
θ_r = sudut bias

v_1 = kecepatan gelombang datang

v_2 = kecepatan gelombang bias

n_1 = indeks bias medium 1

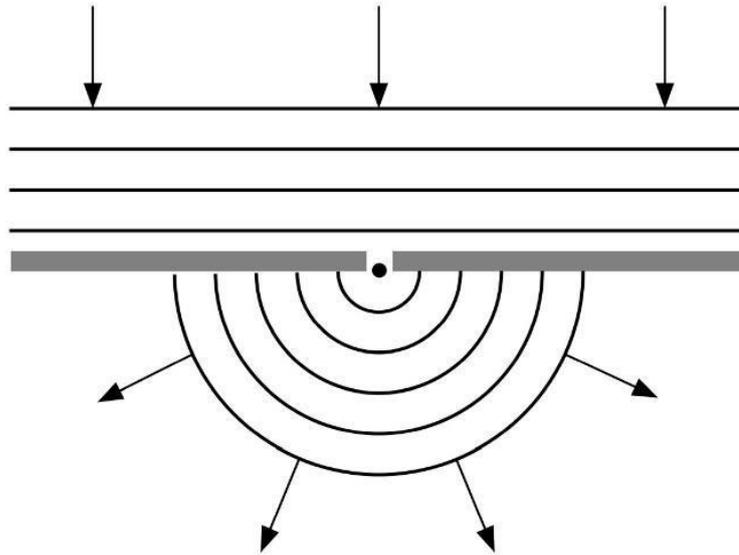
n_2 = indeks bias medium 2



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

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 digambarkan sebagai berikut:



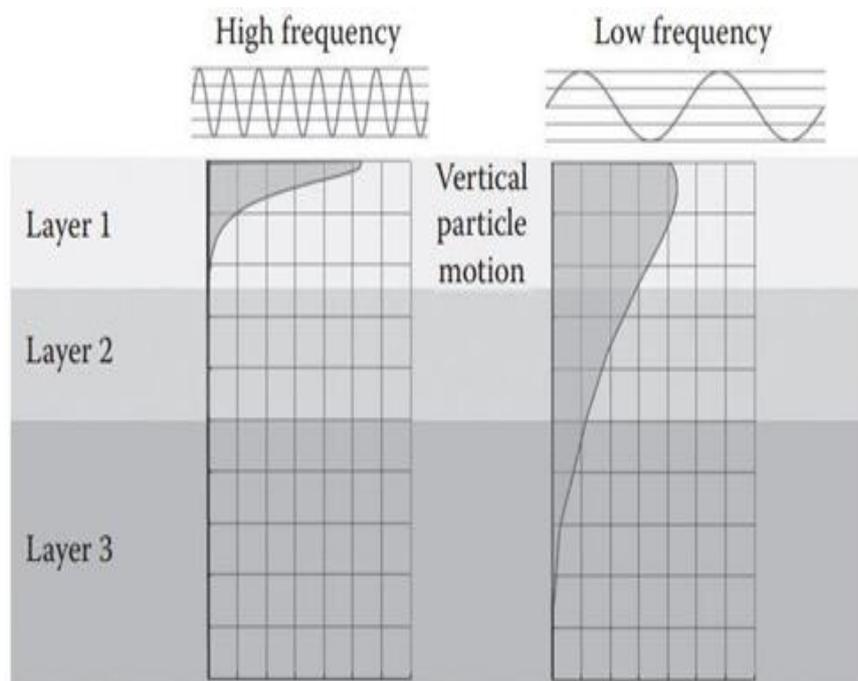
Gambar 2. 4 Prinsip Huygens dalam penjalaran Gelombang (Shearer, 2009)

Jika muka gelombang melewati suatu permukaan (batas perlapisan), maka setiap titik partikel pada batas perlapisan itu menjadi sumber gelombang yang dan demikian seterusnya (Utami,2016)

II.3 Gelombang Seismik Permukaan

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 & Savit, 1998). 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 S., 2013). Karakteristik khusus dari gelombang permukaan adalah kombinasi rambatan gelombang dengan

frekuensi tinggi dan panjang gelombang pendek dapat mendeteksi lapisan sub-permukaan bagian atas dan 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 dikonsepsikan dalam gambar 2.5.

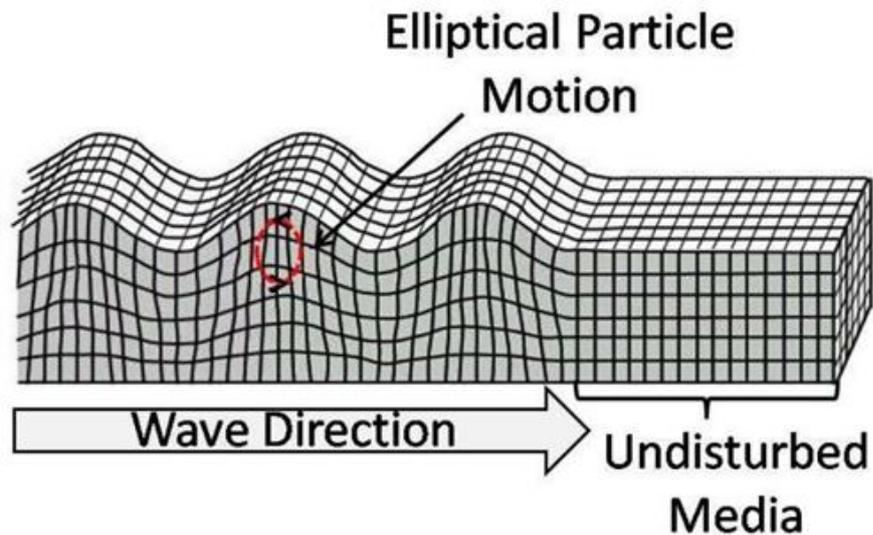


Gambar 2. 5 Dispersi gelombang permukaan pada medium berlapis (Foti dkk., 2014)

II.3.1 Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang merambat pada permukaan bumi dengan gerak partikel berbentuk elips dan arah geraknya mundur seperti pada gambar 2.6. Bila terdapat variasi sifat elastik pada kedalaman, gelombang Rayleigh berubah menjadi dispersi, dimana panjang gelombang yang berbeda akan merambat dengan kecepatan yang berbeda pula (Telford, 1990). Gelombang Rayleigh

memiliki ciri dengan amplitudo yang besar dan frekuensi yang kecil. Simulasi gelombang Rayleigh dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Gerak partikel gelombang *Rayleigh* (Jones, 2010)

Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang dispersif dengan periode yang lebih panjang sehingga lebih cepat mencapai material yang lebih dalam dibandingkan dengan gelombang yang memiliki periode pendek. Hal ini menjadikan gelombang Rayleigh sebagai alat yang sesuai untuk menentukan struktur bawah tanah di suatu area.

Gelombang Rayleigh merupakan jenis gelombang permukaan yang dapat membuat circa dan struktur bawah permukaan dengan mudah yang langsung bisa diaplikasikan pada karakteristik disiplin ilmu geoteknik. Hal ini dikarenakan gelombang Rayleigh mempunyai sifat unik, yaitu pada setiap perambatan gelombang melewati batas lapisan akan mengeluarkan sifat dispersi. Selain itu

gelombang *Rayleigh* mempunyai total energi perambatan paling besar yaitu sekitar 67% dari keseluruhan energi yang dihasilkan oleh sumber (Rosyidi ., 2013).

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., 2015)

II.4 Metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*)

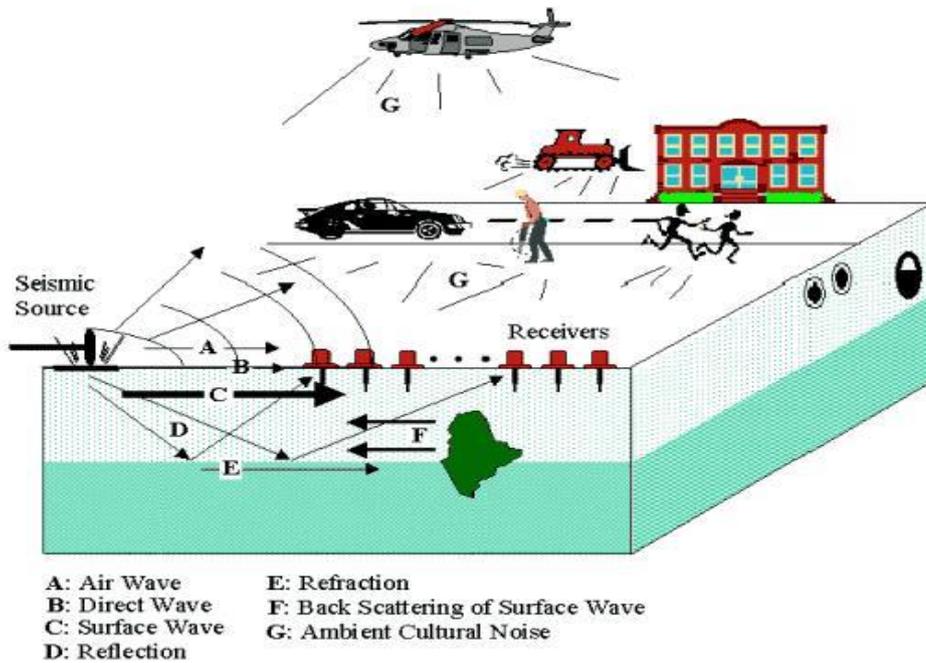
Metode MASW merupakan metode yang memanfaatkan fenomena dispersi gelombang permukaan yang bertujuan untuk mengevaluasi karakter suatu medium solid (Park dkk., 1999). Secara umum metode MASW akan mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Panjang gelombang berhubungan dengan kedalaman, panjang gelombang akan berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Pengukuran MASW membutuhkan sumber seismik aktif dan atau pasif untuk menghasilkan gelombang permukaan dengan 12 sampai 24 rangkaian geophon. Geophon menerima dan mengukur hasil rekaman yang ditimbulkan pada beberapa jarak dari sumber getaran. Tiap geophon mengandung banyak gelombang permukaan, masing-masing dengan panjang

gelombang yang berbeda-beda. MASW memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan metode seismik lainnya antara lain:

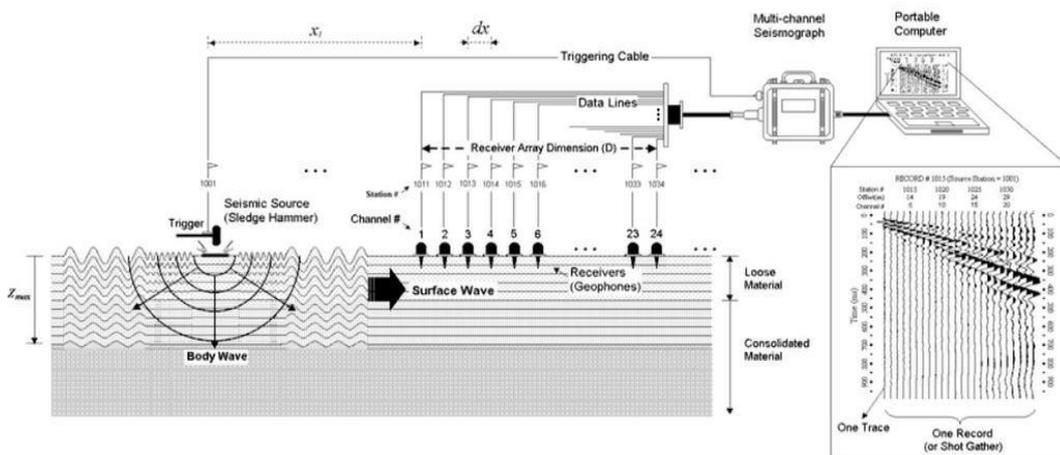
1. Non eksplosif, sehingga tidak merusak lingkungan.
2. Lebih murah karena tidak diperlukan pengeboran.
3. Peralatannya mudah dibawa dengan tenaga manusia
4. Dapat digunakan survei dangkal maupun mencapai ratusan meter.
5. Mudah dalam menentukan persebaran nilai rata-rata V_{s30} untuk menentukan jenis tanah (seperti pada penelitian yang penulis lakukan).

II.4.1 Metode MASW Pasif dan Aktif

Metode MASW dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode MASW aktif dan Metode MASW pasif. Perbedaan metode MASW aktif dan pasif 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 MASW pasif menggunakan sumber dengan frekuensi rendah seperti pasang surut air laut, lalu lintas kendaraan, kerumunan pejalan kaki. Adapun gambaran metode MASW pasif dan aktif dapat dilihat pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2. 7 Gambaran umum Metode MASW Pasif (Park, Miller, & Xia, 1999)



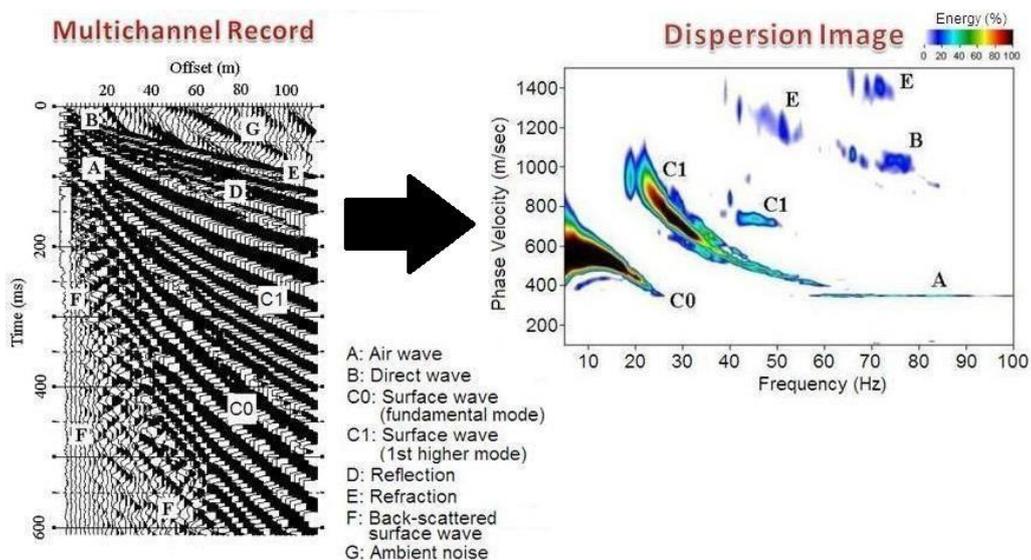
Gambar 2. 8 Skema survei lapangan MASW aktif (Park, 1999)

Konfigurasi remote digunakan untuk survei 1D. Konfigurasi geophone disusun berbentuk simetris misalnya lingkaran, silang, persegi atau segitiga seperti pada gambar 2.8. Sedangkan konfigurasi roadside dapat digunakan untuk survei

2D, dimana 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.5 Kurva Dispersi Gelombang Permukaan

Kurva dispersi menjelaskan hubungan antara perubahan kecepatan fase terhadap nilai frekuensi dan panjang gelombangnya. Kurva ini mencerminkan model-model kecepatan rata-rata dibawah permukaan. Kurva ini juga dapat memberikan informasi mengenai karakteristik atau sifat kekakuan bahan di bawah lapisan permukaan. Kurva dispersi merupakan kurva yang diperoleh dari hasil analisis citra dispersi. Citra ini merupakan gambaran sebaran energi dari perbandingan antara kecepatan fase gelombang terhadap frekuensi. Adapun citra dispersi dapat digambarkan pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Jenis-jenis gelombang pada citra dispersi (Park dkk., 1998)

Gambar 2.9 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.

Kurva dispersi merupakan kurva yang diperoleh dari hasil analisis citra dispersi. Citra ini merupakan gambaran sebaran energi dari perbandingan antara kecepatan fase gelombang terhadap frekuensi. Beda fase diperoleh dari perhitungan antara dua gelombang dimana $f(t)$ dan $g(t)$ (Park, 1998). Kedua gelombang tersebut kemudian di transformasi fourierkan. Bila hasil transformasi dinyatakan dalam bentuk amplitudo dan fase maka diperoleh persamaan,

$$\begin{aligned} F(\omega) &= A_f(\omega)e^{-i\phi_f(\omega)}, \\ G(\omega) &= A_g(\omega)e^{-i\phi_g(\omega)}, \end{aligned} \tag{2.2}$$

dengan $F(\omega)$ merupakan spektrum frekuensi, $A(\omega)$ adalah spektrum amplitudo, (ω) adalah spektrum fase, ϕ merupakan kecepatan sudut (rad/s) dan ω merupakan frekuensi (Hz). Beda fase antara keduanya dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\Delta\phi(\omega) = \phi_f(\omega) - \phi_g(\omega), \tag{2.3}$$

maka diperoleh kecepatan fase,

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta \phi_f(\omega)} \quad (2.4)$$

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta \phi_f(\omega) + 2n\pi}$$

Untuk memperoleh citra dispersive dari kecepatan sebagai fungsi frekuensi, kemudian dilakukan stack dengan metode phase sift.

$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x, \omega) \cdot e^{i\omega \frac{x}{c}} dx. \quad (2.5)$$

Dari persamaan (2.5) maka akan dihasilkan spektrum kurva dispersi yang menunjukkan berbagai frekuensi dengan kecepatan fase yang berbeda.

II.6 Kecepatan Gelombang Geser Vs

Vs30 merupakan kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 m dari permukaan. Menurut (Roser & 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:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / V_{si}} \quad (2.6)$$

Dengan:

i = indeks perlapisan

m = banyaknya lapisan hingga kedalaman 30 m

t = ketebalan lapisan (m)

V_{s30} = kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (m/s)

V_s = kecepatan gelombang geser (m/s)

V_{s30} adalah parameter yang sangat berguna dalam analisa gelombang seismik. Karakteristik batuan dalam menganalisa sifat dinamis batuan, sehingga kekakuan dan kuat geser tanah dapat diketahui, dengan mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter. Tabel merupakan klasifikasi jenis tanah berdasarkan FEMA 405 (2004) yang dibagi berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m (V_{s30}).

Tabel 2. 1 Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai V_{s30} sesuai standart (Federal Emergency Management Agency, 2003)

Kelas Situs	Profil Jenis Batuan	V_{s30} (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