

Skripsi Geofisika

**PENENTUAN NILAI DAYA DUKUNG TANAH
MENGUNAKAN METODE MULTICHANEL ANALYSIS OF
SURFACE WAVES (MASW) DI DAERAH “KG” KOTA PALU**

Disusun dan diajukan oleh

KHALIS GIFFARY

H061 17 1515



**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**PENENTUAN NILAI DAYA DUKUNG TANAH
MENGUNAKAN METODE MULTICHANEL ANALYSIS OF
SURFACE WAVES (MASW) DI DAERAH “KG” KOTA PALU**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin**



KHALIS GIFFARY

H061 17 1515

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**Penentuan Nilai Daya Dukung Tanah Menggunakan metode Multichannel
Analysis of Surface Waves di Daerah "KG" Kota Palu**

Disusun dan diajukan oleh:

KHALIS GIFFARY

H061171515

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

Pada tanggal, 22 Agustus 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Dr. Erfan, M.Si.
NIP. 1967090320011210001



Samsuddin, S.Si. MT.
NIP. 197401152002121001

Ketua Departemen



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khalis Giffary

NIM : H061171515

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul Penentuan Nilai Daya Dukung Tanah 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, 22 Agustus 2022

Yang menyatakan



Khalis Giffary

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wa Rahmatullahi Wa Barakaatuuuh.

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 “**penentuan nilai daya dukung tanah menggunakan metode multichanel analysis of surface waves (masw) di daerah “kg” kota palu**” 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 tercurahkan 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, Bapak tercinta **Lukman Tami** dan mama tersayang **Nahar Bana** 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 **Ade Noor Fitrah** dan adik-adik **Tazkiyah Utami** dan **Hanum Azizah** yang selalu mendukung penulis, serta menjadi teman berkelahi bagi penulis. Terima kasih.
2. 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.

3. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si.** selaku Tim Penguji yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan ilmu, saran, dan diskusi dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak **Sabrianto Aswad S.Si, M.T** selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu dan memberikan banyak saran yang membuat penulis merasa tertolong selama menjalani masa perkuliahan.
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 **Zahari** 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 suka dukanya kehidupan kampus. Kepada **Bendum Adhe, Sekum Adi, Korpeng Tsaqif, Koor Pendidikan Indra, Koor Kerohanian Fajar, Koor Dankes Aldo Tampan, dan Koor Humas Ucha** dan **kawan kawan pengurus lainnya.** Terima kasih telah mempercayai sebagai ketua walaupun masih banyak kurangnya. Sekali lagi terimakasih.
9. Kawan-kawan pengurus **BEM FMIPA Unhas Periode 2020/2021** yang telah banyak mengurus tenaga dan pikiran selama menjalankan kepengurusan. Kepada **ketua BEM Rahman** terimakasih sudah dipercayakan sebagai anggotanya.
10. Saudara **Pengaderan BEM FMIPA Unhas Periode 2020/2021 Puad, Indah, Aidul, Syakirah, Salman, Zahary, Ky, Fajri, Cici, Lulu, Mecha, Ima** yang menjadi partner urusi MIPA.

11. Saudara tak sedarahku, **Himafi17** (**Zahary, 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, Sabran, Rial, Albaar, Esi, Ainun, Syakirah, Epi, Khusnul, Riri, Kiki, Melsi, Daya, Miftah, Mayama, Wide, Desha, Ekki, 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, Uci, Ajeng**) terima kasih kepada 80 orang hebat yang selalu ada baik suka maupun duka, segala supportnya, kebersamaannya, dan segalanya. Saya sangat bersyukur menjadi salah satu bagian dari kalian. Semoga tetap **Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan**
12. Para Tampan Maks, **Zahary, 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, Sabran, Rial, Albaar**. Terima kasih telah menjadi grup yang paling aktif kalau ada yang aneh naliat.
13. Kawan-kawan **MIPA 2017** Terutama Ketang **Roni Rahmat** terimakasih telah merangkul semua anggota **MIPA 2017** dan tetap memegang **KAMI SATU KAMI BERSAUDARA**.
14. Teman-teman dan kakak-kakak yang banyak mrmberikan masukan, **Yesi, Trisna, ola, Owel, Rachel, Fadil, Fahri, Kak Inaya, Kak Uga, Kak Awa, Kak Fitria, Kak Widi, Kak Winda, Kak Anna**. Terima kasih atas pencerahannya.
15. Keluarga bocil-bocil kampus mama **Adhe** dan saudara **Dandung, Puad, Angga** dan **Khusnul** yang selalu menjadi anomali disetiap ketemu.
16. **Kanda – kanda Himafi 2015** dan **Kanda – kanda Himafi 2016** yang telah banyak memberikan arahan dan masukan selama saya menjadi mahasiswa, baik akademik maupun non-akademik.
17. Adik – adik tak sedarah, **Himafi 2018** (Dede, justin, tara, gopal, azlan, sarwan, heral, liuz, ipul, hasnan, boca, micin, jihan, via, fira, Irma, ainul, zefa, sorong,

dena dan adik-adik yang belum sempat disebutkan namanya); **Himafi 2019** (batlas, yusri, haikal, stefen, alif, haidir, fatihah, ita, nude, reika, nismul, cindy, alya, nurul, kopat, maulidah, mey, ismi dan adik-adik lain yang belum sempat disebutkan Namanya); **MIPA 2020** (Risafli dan aggotanya) terima kasih atas dukungan dan motivasi yang diberikan sekaligus menjadi bebanku.

18. Teman-teman seperjuangan **Geofisika angkatan 2017** yang tidak sempat disebutkan satu – persatu namanya, banyak cerita telah dilalui bersama semoga menjadi kenangan indah untuk kita semua. Bersama-sama dari 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 tetap menjadi wadah yang selalu berkembang dan lebih keren kedepannya.
21. Kepada **Seluruh Alam Semesta** yang selalu bersatu padu membantu meraih keinginan penulis.
22. Teruntuk **diriku sendiri**, terima kasih telah menjadi kuat dan tetap waras.
23. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Makassar, Agustus 2022

Khalis Giffary

ABSTRAK

Daya dukung tanah (q_a) merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban yang bekerja padanya. Penentuan besarnya beban yang bekerja pada tanah merupakan salah satu parameter penting dalam bidang geoteknik pada tahapan awal perencanaan pembangunan. Metode geofisika kerap kali digunakan dalam memperkirakan beban, dalam penelitian ini menggunakan metode *Multichannel analysis of surface waves* (MASW) untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Akuisisi data dalam penelitian ini diperoleh dari tiga lintasan yakni: L1, L2 dan L3. Setelah dilakukan akuisisi data yang diperoleh dalam domain waktu terhadap frekuensi kemudian ditransformasi kedalam domain frekuensi melalui transformasi fourier, yang selanjutnya ditransformasi ke dalam domain frekuensi terhadap kecepatan fase yang menghasilkan kurva dispersi. Nilai V_{s30} rata-rata masing-masing lintasan berturut-turut adalah 322,3 m/s, 312,0 m/s & 290,4 m/s. Dari hasil nilai kecepatan gelombang geser tersebut diperoleh hasil *site class* D yang menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian didominasi oleh *stiff soil*. Profil bawah permukaan pada lintasan L1 terdiri dari *sandy silt; silty sand & sand*. Pada lintasan L2 terdiri dari *sandy silt; sand; silty sand & sand*. Sedangkan pada lintasan L3 terdiri dari *sandy silt; silty sand & sand* hingga kedalaman 30 m. Dari hubungan antara V_{s30} dan daya dukung tanah didapatkan nilai pada lintasan L1 15,69; 11,69 & 109,72 kN/m². Pada lintasan L2 diperoleh nilai 15,92; 11,22; 12,96 & 95,61 kN/m². Sedangkan pada lintasan L3 diperoleh nilai 15,67; 38,32 & 79,28 kN/m². Pada lokasi penelitian, masing-masing lintasan dianggap layak untuk membangun hingga kedalaman 3,8 m.

Kata Kunci: Daya dukung, Gelombang geser, MASW.

ABSTRACT

The bearing capacity of the soil (q_a) is the ability of the soil to withstand the loads acting on it. Determination of the magnitude of the load acting on the soil is one of the important parameters in the geotechnical field in the early stages of development planning. Geophysical methods are often used in estimating loads, in this study uses the Multichannel analysis of surface waves (MASW) method to obtain the value of the shear wave velocity (V_s). Data acquisition in this study was obtained from three trajectories, namely: L1, L2, and L3. After the acquisition of the data obtained in the time domain concerning frequency, then it is transformed into the frequency domain through the Fourier transform, which is then transformed into the frequency domain concerning the phase velocity which produces a dispersion curve. The average value of V_{s30} for each track is 322,3 m/s, 312,0 m/s & 290,4 m/s. The results of the shear wave velocity values obtained from site class D results which indicate that the research location is dominated by stiff soil. The subsurface profile on track L1 consists of sandy silt; silty sand & sand. The L2 track consists of sandy silt; sand; silty sand & sand. While the L3 track consists of sandy silt; silty sand & sand to a depth of 30 m. From the relationship between V_{s30} and the bearing capacity of the soil, the values on the L1 path are 15,69; 11,69 & 109,72 kN/m². On the L2 path obtained a value of 15,92; 11,22; 12,96 & 95,61 kN/m². While on the L3 track, the value is 15,67; 38,32 & 79,28 kN/m². At the research site, each track is considered feasible to build up to a depth of 3,8 m.

Keywords: Bearing Capacity, Shear Wave, MASW.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
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 Daya Dukung Tanah	6
II. 3 Gelombang Seismik.....	9
II.3.1 Hukum <i>Snellius</i>	9
II.3.2 Prinsip <i>Huygens</i>	10
II.3.3 Asas Fermat.....	11

II.4 Gelombang Permukaan.....	12
II.4.1 Gelombang <i>Rayleigh</i>	13
II.4.2 Gelombang Geser.....	15
II. 5 Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW).....	16
II.5.1 Transformasi fourier.....	18
II.5.2 Kurva Dispersi.....	19
II.5.3 Inversi	21
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	24
III.1 Data dan Perangkat Penelitian.....	24
III.1.1 Data Penelitian	24
III.1.2 Perangkat Penelitian.....	24
III.2 Tahapan Penelitian	24
III.2.1 Tahap Persiapan	24
III.2.2 Prosedur Pengolahan Data	24
III.2.3 Bagan Alir	28
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
IV.1 Analisis Gelombang Geser.....	29
IV.1.1 Input Data	29
IV.1.2 <i>Dispersion Image</i>	30
IV.1.3 Kurva Dispersi Eksperimental	32
IV.1.4 Kurva Dispersi Teoritis	34
IV.1.4 Profil Kecepatan Gelombang Geser	37
IV.1.5 Profil Sub-Permukaan Tanah	40
IV.2 Analisis Nilai Daya Dukung Tanah	42
BAB V. PENUTUP	45
V.1 Kesimpulan.....	45
V.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi daerah Palu dan sekitarnya (Widyaningrum, 2012)	4
Gambar 2.2 Pembiasan pada bidang batas dua medium (Syihab,2021).	10
Gambar 2.3 prinsip <i>Huygens</i> untuk perambatan gelombang (Shaerer,2009).	11
Gambar 2.4 Variasi kecepatan gelombang dari Asas Fermat (Stacey, 1977)	11
Gambar 2.5 Dispersi gelombang permukaan pada medium berlapis (Foti dkk., 2014).	12
Gambar 2.6 Gerak partikel gelombang <i>Rayleigh</i> (Das & Ramana, 2010).	14
Gambar 2.7 Prosedur metode MASW (Olafsdottir dkk., 2018)	18
Gambar 2.8 Memperlihatkan citra dispersi berdasarkan data rekaman	19
Gambar 2.9 Proses inversi (Foti dkk., 2000)	22
Gambar 4.1 Data rekaman pada lintasan L1	29
Gambar 4.2 Data rekaman pada lintasan L2	30
Gambar 4.3 Data rekaman pada lintasan L3	30
Gambar 4.4 <i>Dispersion image</i> lintasan L1	31
Gambar 4.5 <i>Dispersion image</i> lintasan L2	32
Gambar 4.6 <i>Dispersion image</i> lintasan L3	32
Gambar 4.7 Kurva dispersi eksperimental lintasan L1.	33
Gambar 4.8 Kurva dispersi eksperimental lintasan L2.	33
Gambar 4.9 Kurva dispersi eksperimental lintasan L3.	34
Gambar 4.10 Kurva dispersi teoritis lintasan L1.	35
Gambar 4.11 Kurva dispersi teoritis lintasan L2.	35
Gambar 4.12 Kurva dispersi teoritis lintasan L3.	36

Gambar 4.13 <i>Initial model</i> lintasan L1.	36
Gambar 4.14 <i>Initial model</i> lintasan L2.	37
Gambar 4.15 <i>Initial model</i> lintasan L3.	37
Gambar 4.16 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan L1.	38
Gambar 4.17 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan L2.	38
Gambar 4.18 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan L3.	39
Gambar 4.19 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan L1.	40
Gambar 4.20 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan L2.	41
Gambar 4.21 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan L3.	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Keamanan (Tezcan & Ozdemir, 2012).....	8
Tabel 2.2 Batas Aman Daya Dukung Untuk Berbagai Jenis Material (Maemunah, 2018)	9
Tabel 2.3 Nilai Vs pada berbagai material dekat permukaan (Foti dkk., 2014) ...	16
Tabel 2.4 Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai Vs30 sesuai standar NERHP (Federal Emergency Management Agency, 2003).....	23
Tabel 4.1 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan L1	42
Tabel 4.2 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan L2.....	43
Tabel 4.3 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan L3	43

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan penduduk dewasa ini sejalan dengan semakin maraknya pembangunan. Pembangunan seperti gedung, jalan raya, jembatan dan bangunan lainnya yang mengharuskan dibangun di atas tanah yang memiliki kemampuan untuk menopang bangunan. Kondisi kota Palu yang berada diatas sesar palu koro menyebabkan kota Palu sering mengalami gempa bumi yang juga sangat mempengaruhi proses dalam perencanaan pembangunan. Sehingga dalam perencanaan pembangunan perlu diperhitungkan besarnya beban yang bekerja dan juga daya dukung tanahnya.

Daya dukung tanah merupakan kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Analisis kapasitas dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya (Maemunah, 2018).

Metode MASW (*Multichannel Analisis of Surface Waves*) merupakan metode yang menggunakan variasi kecepatan perambatan gelombang permukaan terhadap perubahan kedalaman dalam menentukan kedalaman suatu lapisan batuan. Parameter kecepatan gelombang geser sudah menjadi salah satu parameter dalam

menentukan pengklasifikasian jenis tanah dan batuan dan pemetaan kondisi bawah permukaan (Laksono dkk., 2018).

Pembangunan dengan konstruksi yang optimal, memerhatikan peta distribusi tingkat resiko pada wilayah masing-masing. Menurut Roser dan Gosar (2010), V_{s30} merupakan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m dari permukaan. Nilai ini dapat diterapkan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa dan digunakan dalam penentuan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa akibat efek tapak lokal serta keperluan perencanaan bangunan tahan gempa.

Pengaplikasian metode MASW dalam bidang geoteknik telah dilakukan di beberapa penelitian seperti Rosyidi (2015) menggunakan metode MASW untuk melakukan pemetaan daya dukung tanah dan diskontinuitas struktur tanah dasar, Komariah dkk., (2019) menggunakan metode MASW untuk melakukan pemetaan bijih besi, Nasri (2020) menggunakan metode MASW untuk mendapatkan informasi daya dukung tanah dan Syihab (2021) menggunakan metode MASW untuk mendapatkan evaluasi kompaksi tanah. Metode ini pada umumnya mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan terhadap kedalaman suatu lapisan.

Penelitian ini berfokus pada identifikasi data MASW untuk memperoleh karakteristik struktur perlapisan tanah berdasarkan nilai kecepatan gelombang (V_{s30}) serta bagaimana mendapatkan informasi daya dukung tanah dari hasil identifikasi dan analisis data metode MASW. Metode MASW sebagai metode *non-destructive* dapat dilaksanakan dengan lebih mudah, lebih cepat dan lebih murah karena tidak memerlukan lubang bor. Berbeda dengan metode *destructive* yang

melakukan pengeboran dan uji sampel tanah dari beberapa lokasi. Maka dari itu, penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui daya dukung tanah menggunakan data yang diperoleh dari metode MASW sebagai acuan dalam perencanaan pembangunan di daerah penelitian.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana menentukan struktur sub-permukaan melalui analisis kecepatan gelombang geser Vs30 menggunakan data metode MASW.
2. Bagaimana metode MASW menentukan daya dukung tanah pada tahapan perencanaan pembangunan di daerah penelitian.

I.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi menggunakan data sekunder pada analisis data MASW untuk memperoleh daya dukung dan struktur perlapisan sub-permukaan tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser Vs30. Penelitian ini dilakukan di Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini, yaitu:

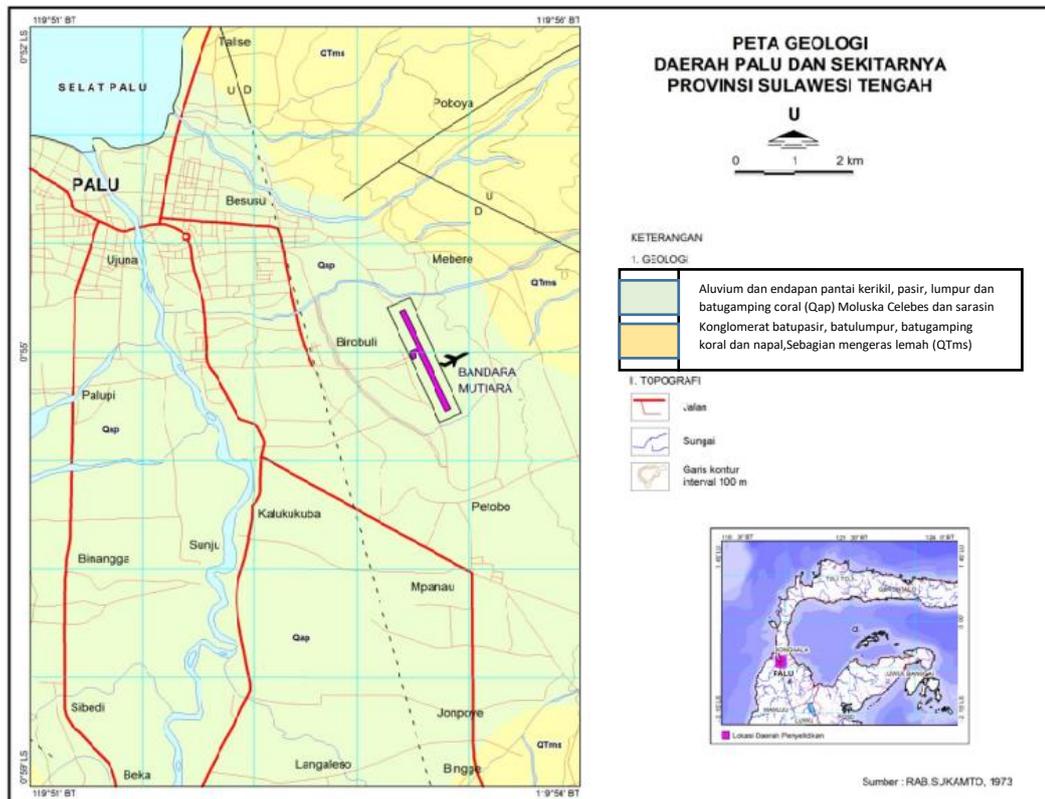
1. Mengidentifikasi struktur perlapisan tanah sub-permukaan melalui analisis kecepatan gelombang geser Vs30.
2. Memperoleh informasi daya dukung tanah dari hasil identifikasi dan analisis data MASW.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Sulawesi terletak pada pertemuan Lempeng besar Eurasia, lempeng Pasifik, serta sejumlah lempeng lebih kecil (lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kumpulan batuan dari busur kepulauan, batuan bancuh, ofiolit, dan bongkah dari mikrokontinen terbawa bersama proses penunjaman, tubrukan, serta proses tektonik lainnya (Van Leeuwen dkk., 1994).



Gambar 2.1 Peta geologi daerah Palu dan sekitarnya (Widyaningrum, 2012)

Berdasarkan Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi Skala 1:250.000 (Sukanto dkk., 1973) daerah penyelidikan terdiri dari 2 (dua) Formasi batuan, yaitu Aluvium dan endapan pantai (Qap) dan Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms) seperti terlihat pada gambar 2.1.

- a. 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. Endapan itu boleh jadi seluruhnya berumur Holosen. Di daerah dekat Labea dan Tombo terumbu koral membentuk bukit-bukit rendah. Kondisi batuan pada Formasi ini umumnya berupa material yang belum mengalami kompaksi.
- b. 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 formasi-formasi lebih tua dan terdiri dari konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping koral, dan napal yang semuanya hanya mengeras lemah. Di dekat Kompleks batuan metamorf pada bagian barat pematang timur endapan itu terutama terdiri dari bongkah-bongkah kasar dan agaknya diendapkan di dekat sesar. Batuan-batuan itu ke arah laut beralih-alih jadi Sebatuan klastika berbutir lebih halus (Sukanto dkk., 1973).

Berdasarkan hasil studi dari tim revisi peta gempa Indonesia (dalam Irsyam, M, dkk., 2010) struktur geologi aktif yang melewati Kota Palu adalah berupa PKF (Palu Koro Fault) dan MF (Matano Fault) keduanya merupakan sesar aktif yang banyak dijumpai disekitar lembah Palu. Sesar Palu-Koro (PKF) berarah Utara – Selatan sedang beberapa diantaranya ada yang berarah Baratdaya – Timurlaut. Sesar – sesar aktif tersebut yang berarah Utara – Selatan adalah merupakan sesar-sesar aktif akibat peremajaan dari struktur tua yang dapat teraktifkan kembali,

sedangkan sesar-sesar yang berarah Baratdaya – Timurlaut adalah merupakan struktur yang sangat aktif pada masa kini. Secara geologi, fisiografi Kota Palu berhubungan dengan proses struktur yang terjadi serta jenis batuan yang menyusun Kota Palu, dimana sisi kiri dan kanan Kota Palu merupakan jalur patahan utama, yaitu patahan Palu-Koro serta wilayahnya disusun oleh batuan yang lebih keras dibanding material penyusun bagian lembah (Widyaningrum, 2012).

II.2 Daya Dukung Tanah

Tanah terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Tanah berasal dari pelapukan batuan yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat fisik tanah kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut (Wibowo, 2014).

Dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil, daya dukung tanah mempunyai peranan yang sangat penting. Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila menerima tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan dalam tanah pondasi melampaui kekuatan geser tanah maka akan mengakibatkan keruntuhan geser tanah tersebut (Najoan, 2002).

Schulze (1943) menyatakan “Untuk penentuan daya dukung yang diijinkan, dengan metode geofisika yang memanfaatkan pengukuran kecepatan gelombang

seismik tanpa gangguan di sekitar lokasi, dapat menghasilkan hasil yang relatif lebih realistis daripada metode geoteknik, yang terutama didasarkan pada data lubang bor dan pengujian laboratorium sampel tanah tidak terganggu”. Berdasarkan pernyataan tersebut, penelitian menggunakan metode geofisika dalam bidang geoteknik pun mulai banyak dilakukan. Tezcan & Ozdemir (2012) memberikan persamaan untuk menentukan daya dukung dari data gelombang sebagai berikut.

$$qu = \gamma D \quad (2.1)$$

$$\gamma = \rho g \quad (2.2)$$

Tingkat kekerasan batuan dapat diperoleh dengan menggunakan hubungan antara densitas (ρ) dan kecepatan rambat gelombang yang dikenal sebagai Hukum Gardner yang dapat dilihat pada pers. 2.3 (Nurcandra dkk., 2013).

$$\rho = 0.31 V_s^{0.25} \quad (2.3)$$

Selain itu, nilai unit berat (γ) juga dapat diperkirakan menggunakan persamaan empiris sebagaimana dilakukan Tezcan & Ozdemir (2012) dengan memanfaatkan nilai V_s seperti dituliskan pada pers. 2.4.

$$\gamma = 4.3 V_s^{0.25} \quad (2.4)$$

Dengan,

qu = Daya dukung batas (kN/m^2)

γ = Unit berat (kN/m^3)

D = Kedalaman (m)

ρ = Densitas (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

V_s = Kecepatan gelombang-S (m/s)

Setelah nilai q_u diperoleh, langkah selanjutnya ialah menghitung daya dukung izin atau allowable bearing capacity (q_a). Daya dukung izin merupakan beban per satuan luas yang diizinkan untuk dibebankan pada tanah agar terhindar dari kemungkinan terjadinya keruntuhan (N). Beban tersebut termasuk beban mati atau beban hidup di atas permukaan tanah, berat fondasi dan berat tanah yang terletak tepat di atas fondasi (Das dkk., 1995).

$$q_a = \frac{p}{n} = \frac{\gamma D}{n} \quad (2.5)$$

Dimana:

$$D = V_s t \quad (2.6)$$

Dengan:

q_a = Daya dukung izin tanah (kN/m²)

n = Faktor keamanan

Tabel 2.1 Faktor Keamanan (Tezcan & Ozdemir, 2012).

Tipe Tanah	V_s (m/s)	n
Hard rocks (batuan keras)	$V_s \geq 4000$	n = 1.4
Soft rocks (batuan lunak)	$750 \leq V_s \leq 4000$	$n = 4.6 - (8.10^{-4} (V_s))$
Soils (tanah)	$750 \geq V_s$	n = 4.0

Tabel 2.1 di atas menunjukkan penggunaan faktor keamanan dalam penentuan daya dukung tanah berdasarkan dari jenis atau tipe dari tanah tersebut. Tipe tanah terbagi atas tiga jenis tanah yang dibedakan berdasarkan nilai kecepatan V_s yang dimiliki. Terkhusus pada tipe tanah dengan nilai V_s antara $750 \leq V_s \leq 4000$ m/s perlu dilakukan interpolasi linear.

Tabel 2.2 Batas Aman Daya Dukung Untuk Berbagai Jenis Material
(Maemunah, 2018)

Jenis Material	Daya Dukung (kN/m ²)
Batu sangat keras	10.000
Batu kapur	4.000
Pasir Kering	200 – 600
Pasir berkerapatan sedang (pasir basah)	100 – 300
Lempung kenyal	150 – 300
Lempung teguh	75 – 150
Lempung lunak dan lumpur	1 < 75

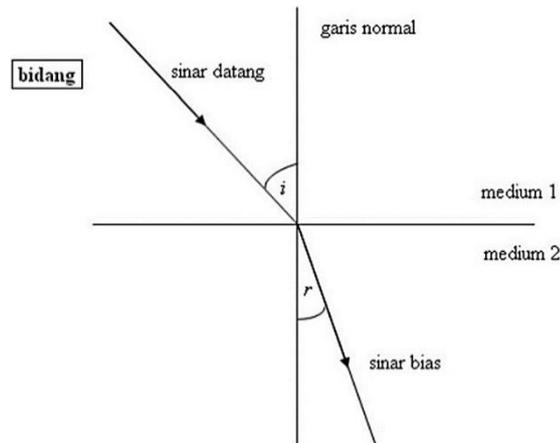
II. 3 Gelombang Seismik

Seismik merupakan gelombang mekanik yang memanfaatkan perambatan gelombang elastik di dalam bumi dan bergantung pada sifat elastis 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.3.1 Hukum *Snellius*

Hukum *Snellius* menjelaskan bahwa apabila suatu gelombang yang berasal dari dua bidang batas dengan medium sifat fisik yang berbeda maka gelombang akan terbiaskan jika sudut datang lebih kecil atau sama dengan sudut kritisnya.

Sedangkan jika sudut datang lebih besar dari sudut kritisnya maka gelombang yang datang akan terpantulkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 (Bhatia, 1986).



Gambar 2.2 Pembiasan pada bidang batas dua medium (Syihab,2021).

$$\frac{\sin i}{\cos r} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.7)$$

Dimana :

i = sudut datang

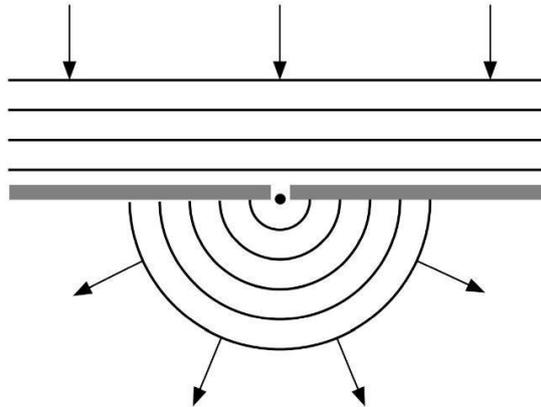
r = sudut bias

v_1 = kecepatan gelombang pada medium pertama (m/s)

v_2 = kecepatan gelombang pada medium kedua (m/s)

II.3.2 Prinsip Huygens

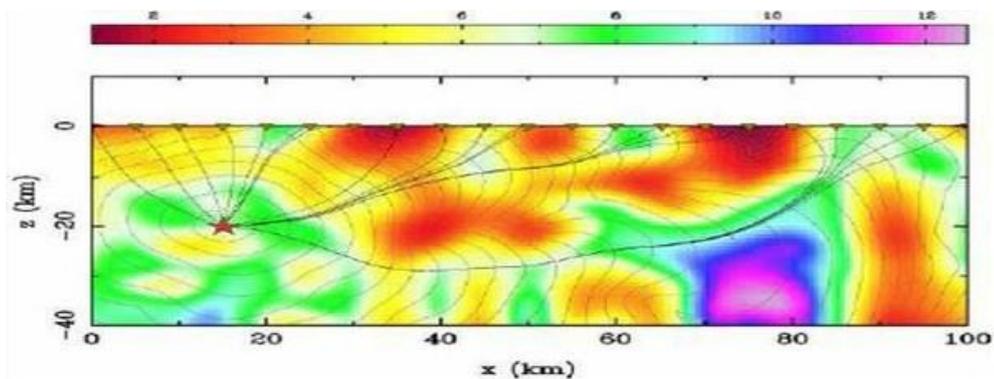
Prinsip *Huygens* menyatakan bahwa setiap titik pada muka gelombang dapat dipandang sebagai sumber gelombang yang baru. Melalui titik-titik sumber gelombang yang baru, posisi muka gelombang berikutnya dapat digambarkan atau ditentukan (susilawati, 2008). Gambar 2.3 Menunjukkan konstruksi prinsip Huygens untuk perambatan gelombang.



Gambar 2.3 prinsip *Huygens* untuk perambatan gelombang (Shaerer,2009).

II.3.3 Asas Fermat

Asas Fermat menyatakan bahwa jika sebuah gelombang merambat dari satu titik ke titik yang lain, maka gelombang tersebut akan memilih jejak yang tercepat. Jejak tercepat dimaksud untuk memberikan penekanan bahwa jejak yang akan dilalui oleh sebuah gelombang adalah jejak yang secara waktu tercepat bukan yang terpendek secara jarak. Tidak selamanya yang terpendek itu tercepat. Dengan demikian, jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah (Abdullah, 2007).

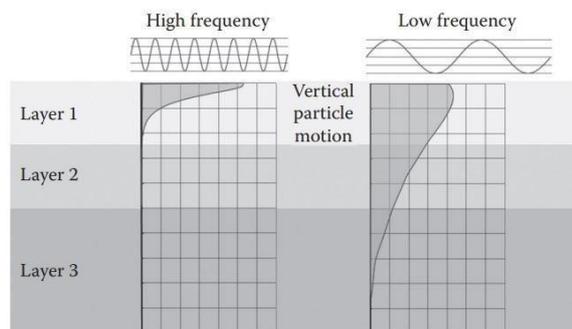


Gambar 2.4 Variasi kecepatan gelombang dari Asas Fermat (Stacey, 1977).

Dengan z adalah kedalaman (km) dan x adalah jarak, dalam hal ini x adalah jarak antar geophone (km). gambar 2.4 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.4 Gelombang Permukaan

Menurut Ariestianty dkk., (2009) Gelombang permukaan merupakan gelombang yang merambat secara paralel menuju ke permukaan bumi tanpa penyebaran energi ke dalam interior bumi. 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. Karakteristik khusus dari gelombang permukaan adalah kombinasi rambatan gelombang dengan frekuensi tinggi (dan panjang gelombang pendek) dapat mendeteksi lapisan subpermukaan bagian atas dan rambatan gelombang berfrekuensi lebih rendah dengan panjang gelombang yang lebih panjang dapat mendeteksi lapisan yang lebih dalam (Rosyidi, 2013). 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).

Konsep utama dalam metode pengukuran dan analisis gelombang 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).

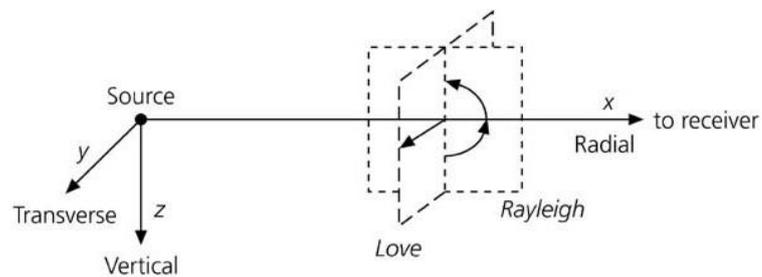
II.4.1 Gelombang *Rayleigh*

Gelombang Rayleigh atau groundroll menjalar di permukaan sehingga amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Di dalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudonya yang besar dan dicirikan dengan frekuensi rendah (Abdullah, 2007).

Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang merambat pada permukaan bumi dengan gerak partikel menyerupai elips dan bergerak mundur seperti pada gambar 2.6. Kecepatan gelombang Rayleigh dalam suatu medium yang sama, lebih kecil bila dibandingkan dengan kecepatan gelombang geser. Bila terdapat variasi sifat elastik pada kedalaman, gelombang 16 Rayleigh berubah menjadi dispersi, dimana panjang gelombang yang berbeda akan merambat dengan kecepatan yang berbeda pula (Telford dkk., 1990). Gelombang Rayleigh memiliki ciri dengan amplitudo yang besar dan frekuensi yang kecil. 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 (Syihab, 2021).

Gelombang Rayleigh terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Gerakan partikel pada wavefront gelombang Rayleigh terdiri atas interferensi gelombang primer dan shear vertical pada bidang vertikal (Lowrie, 2007).



Gambar 2.6 Gerak partikel gelombang *Rayleigh* (Das & Ramana, 2010).

Gelombang Rayleigh diidentifikasi sebagai gelombang yang dihasilkan oleh penggabungan gelombang P dan komponen vertikal gelombang S (S_v). Perpindahan gelombang *Rayleigh* merupakan fungsi perpindahan dan kecepatan gelombang P yang bergerak searah dengan perambatan gelombang (atau tegak lurus kepada muka gelombang). Gelombang *Rayleigh* juga merupakan fungsi perpindahan partikel gelombang S yang bergerak tegak lurus kepada arah perambatan gelombang (atau searah dengan arah gelombang) (Richart dkk., 1970).

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.4.2 Gelombang Geser

Gelombang geser merupakan gelombang S yang berarti sekunder atau shear. Dinamakan gelombang sekunder karena kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan gelombang P (primer). Dalam medium yang padat, gelombang geser menjalar dengan kecepatan antara 3-4 km/detik dimana dalam penjarannya 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, dkk., 2000).

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 2.3 yang memperlihatkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) untuk beberapa jenis material.

Tabel 2.3 Nilai V_s pada berbagai material dekat permukaan (Foti dkk., 2014)

Geomaterial	V_s (m/s)
<i>Crystalline rocks</i>	2500 – 3500
<i>Calcareous, fractured rocks</i>	1000 – 1500
<i>Soft rocks, very dense gravels</i>	500 – 1000
<i>Medium to dense gravels</i>	400 – 800
<i>Medium to dense sands</i>	200 – 400
<i>NC clays and silts</i>	150 – 300
<i>Very soft clays</i>	50 – 100

II. 5 Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) merupakan metode yang memanfaatkan fenomena dispersi gelombang permukaan yang bertujuan mengevaluasi karakter suatu medium solit (padat). Secara garis besar metode ini mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan seiring bertambahnya kedalaman. Panjang gelombang berhubungan dengan kedalaman, panjang gelombang akan berkurang seiring bertambahnya kedalaman (Maemunah, 2018).

Metode MASW memanfaatkan fenomena sifat dispersi gelombang permukaan, yaitu gelombang Rayleigh untuk investigasi geoteknik berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (shear wave) dari perlapisan batuan dekat permukaan (Laksono, dkk., 2018).

Penggunaan metode konvensional seperti borehole dalam pemetaan nilai (V_s) memiliki kekurangan dalam segi biaya maupun waktu. Sedangkan pada

penggunaan mikrotremor, data yang diperoleh merupakan gelombang alami bumi sehingga rentan terhadap gelombang yang tidak diinginkan (noise) akibat aktivitas alam maupun manusia (Saenger dkk., 2009). Maka dari itu, MASW merupakan salah satu metode yang baik dalam memberikan informasi struktur bawah permukaan guna mengetahui jenis site class atau kondisi geologi lokal suatu daerah (Indanartha dkk., 2018).

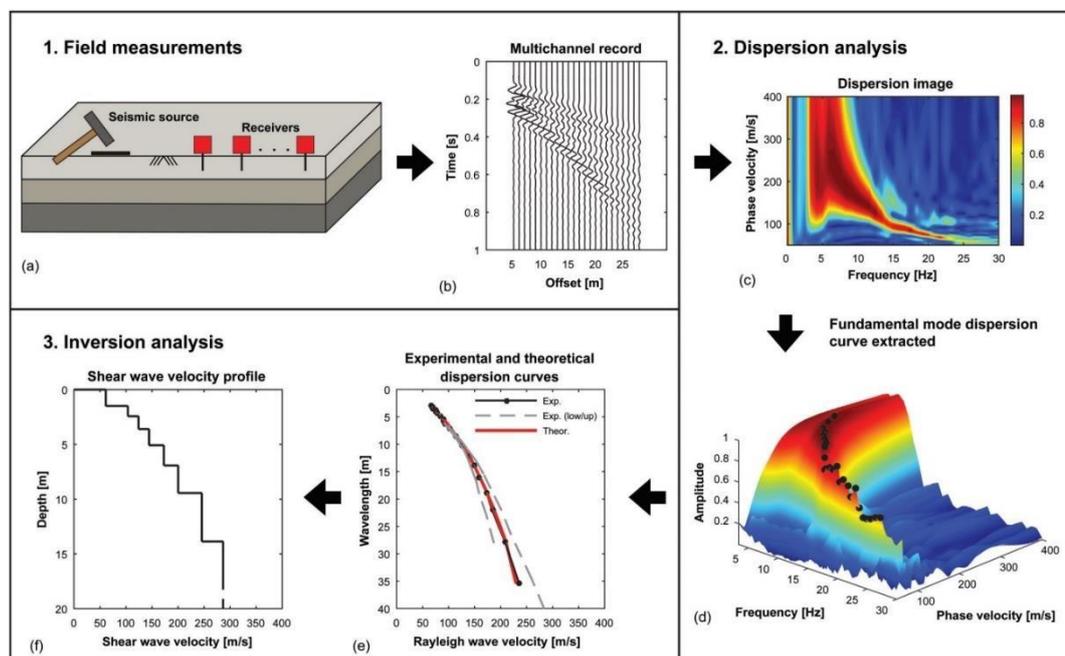
Pada prinsipnya, metode MASW menggunakan gelombang permukaan dengan frekuensi yang rendah (1-30 Hz) dan kisaran kedalaman investigasi yang lebih dangkal hingga beberapa puluh meter. Berdasarkan sumber seismiknya, metode MASW dibagi menjadi dua yaitu MASW aktif dan MASW pasif. MASW aktif menggunakan sumber luar seperti palu atau dinamit untuk membangkitkan gelombang seismik yang kemudian direkam oleh geofon. Sedangkan pada MASW pasif menggunakan respon dari alam seperti pasang surut air laut dan lalu lintas kendaraan. Diantara kedua metode tersebut, MASW aktif merupakan metode yang paling sering digunakan (Park dkk., 2007).

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. Nilai V_s 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 akurasi mencapai 15% (Stokoe dkk., 1994).

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)

II.5.1 Transformasi fourier

Transformasi Fourier merupakan metode untuk analisis spektral dengan tujuan agar sinyal yang diperoleh dalam domain waktu merubah 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-fenomena tersebut (Rasimeng dkk., 2018).

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.8)$$

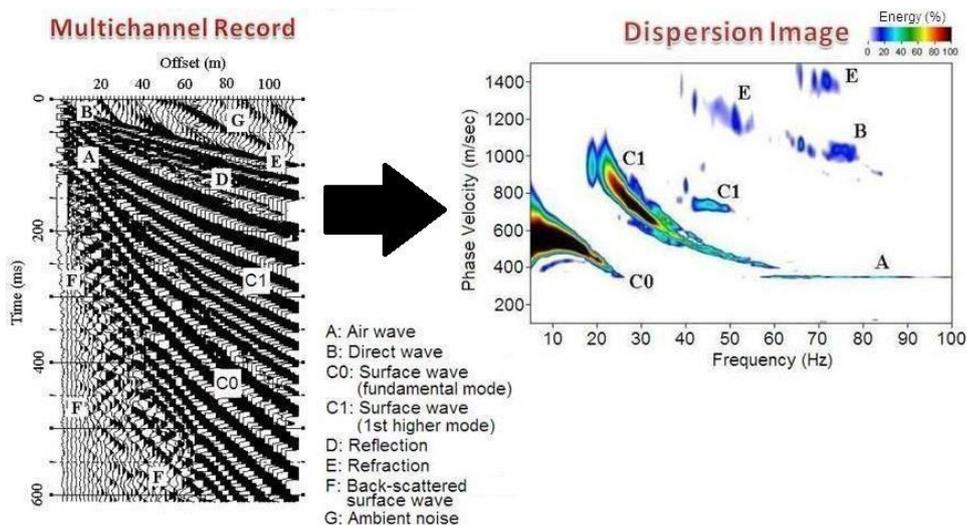
$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \cdot e^{-i2\pi f t} d\omega \quad (2.9)$$

Persamaan (2.8) disebut sebagai *forward fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain waktu ke domain frekuensi. Sedangkan persamaan (2.9) disebut *invers fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain frekuensi ke domain waktu atau jarak (Park dkk., 1997).

II.5.2 Kurva Dispersi

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 2.8.

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*.

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 dkk., 1998). Kedua gelombang tersebut kemudian ditransformasi fourierkan. Bila hasil transformasi dinyatakan dalam bentuk amplitudo dan fase maka diperoleh persamaan,

$$F(\omega) = A_f(\omega)e^{-i\phi_f(\omega)} \quad (2.10)$$

$$G(\omega) = A_g(\omega)e^{-i\phi_g(\omega)} \quad (2.11)$$

Beda fase antara keduanya dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\Delta\phi(\omega) = \phi_f(\omega) - \phi_g(\omega) \quad (2.12)$$

Maka diperoleh kecepatan fase ($c(\omega)$)

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta\phi_f(\omega)} \quad (2.13)$$

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta\phi_f(\omega) + 2n\pi} \quad (2.14)$$

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

$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x, \omega) \cdot e^{i\omega \frac{x}{c}} dx \quad (2.15)$$

Dari persamaan (2.15) maka akan dihasilkan spektrum kurva dispersi yang menunjukkan berbagai frekuensi dengan kecepatan fase yang berbeda. Dimana $F(\omega)$ merupakan spektrum frekuensi, $\Delta(\omega)$ adalah spektrum amplitudo, (ω) adalah spektrum fase, \emptyset merupakan kecepatan sudut (rad/s) dan ω merupakan frekuensi (Hz).

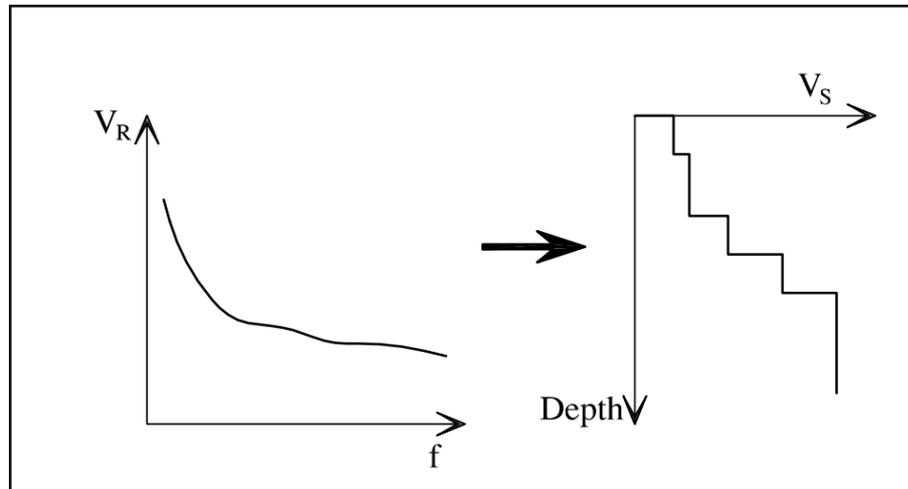
II.5.3 Inversi

Profil kecepatan gelombang geser dihitung menggunakan inversi berbasis iterasi yang memerlukan data inversi dan estimasi poisson ratio dan densitas. Pendekatan last square memungkinkan untuk melakukan proses secara otomatis. Untuk metode ini hanya kecepatan gelombang geser yang berubah setiap melakukan iterasi dan sisanya tidak mengalami perubahan selama proses inversi. Initial model bumi dibutuhkan sebagai langkah awal proses inversi berbasis iterasi. Model bumi terdiri dari parameter gelombang P dan gelombang S, densitas, dan ketebalan (Maemunah, 2018).

Dari hasil pembuatan initial model ini, dihasilkan 25 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.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|^2} \quad (2.16)$$

Dari hasil inversi ini didapatkan profil kecepatan gelombang geser bawah permukaan yang menunjukkan perubahan nilai V_s terhadap kedalaman seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Proses inversi (Foti dkk., 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 dkk., 2000).

II.6 Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30})

V_{s30} adalah kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 meter dari permukaan tanah. Nilai V_{s30} dipergunakan dalam menentukan standar bangunan tahan gempa dan digunakan untuk penentuan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran dari gempa bumi akibat efek lokal. Hal tersebut karena lapisan-lapisan batuan sampai kedalaman 30 meter saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa (Wangsadinata, 2006).

Nilai V_{s30} dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / V_{si}} \quad (2.17)$$

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)

Hal ini juga digunakan NERHP untuk mengklasifikasikan situs menurut jenis tanah menjadi lima kategori berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai V_{s30} sesuai standar NERHP (Federal Emergency Management Agency, 2003).

Kelas situs	Profil Jenis Batuan	V _{s30} (m/s)
A	Hard rock (batuan keras)	>1500
B	Rock (batuan)	750 sampai 1500
C	Very dense soil and soft rock (tanah sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750
D	Stiff soil (tanah sedang)	175 sampai 350
E	Soft soil (tanah lunak)	<175

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Data dan Perangkat Penelitian

III.1.1 Data Penelitian

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder hasil pengukuran kecepatan gelombang permukaan menggunakan metode *Multichannel Analysis Of Surface Waves* (MASW) di kota Palu, Sulawesi Selatan. Data diperoleh melalui akuisisi menggunakan 24 geofon dengan 3 lintasan yang berbeda dengan format data yaitu SEG2.

III.1.2 Perangkat Penelitian

Adapun perangkat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer yang di dalamnya telah terpasang beberapa program berupa *Seismeger* untuk mengolah data hasil pengukuran menggunakan metode MASW hingga menghasilkan data berupa profil kecepatan untuk menganalisis kuat geser tanah, serta Microsoft Excel.

III.2 Tahapan Penelitian

III.2.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini berupa studi literatur, dengan mengumpulkan bacaan yang akan dijadikan sebagai referensi mengenai gelombang permukaan, metode MASW, daya dukung tanah dan metode terkait lainnya. Serta dilakukan pengumpulan data sekunder sebagai data yang akan digunakan pada proses penelitian.

III.2.2 Prosedur Pengolahan Data