

Skripsi Geofisika

**APLIKASI PENJALARAN GELOMBANG GESER DALAM
PENENTUAN DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN
METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES*
(MASW)**

AZHARDI HAMZAH

H061 17 1313



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

2022

**APLIKASI PENJALARAN GELOMBANG GESER DALAM
PENENTUAN DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN
METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE
WAVES* (MASW)**

SKRIPSI

Skripsi untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat untuk mencapai
gelar sarjana

AZHARDI HAMZAH

H061 17 1313



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

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**APLIKASI PENJALARAN GELOMBANG GESER DALAM PENENTUAN
DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN METODE MULTICHANNEL
ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)**

Disusun dan diajukan oleh

AZHARDI HAMZAH

H061171313

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama,



Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si
NIP. 196709032001121001



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

Ketua Departemen,



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

PERNYATAAN KEASLIAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Azhardi Hamzah

NIM : H061171313

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Aplikasi Penjalaran Gelombang Geser Dalam Penentuan Daya Dukung Tanah Menggunakan Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) adalah karya ilmiah saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Agustus 2022
Yang Menyatakan,



Azhardi Hamzah

ABSTRAK

Bangunan menjadi salah satu sarana yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan aktivitas manusia. Kemampuan tanah dasar untuk menahan beban diperlukan dalam persiapan konstruksi bangunan, hal inilah yang disebut daya dukung tanah. Pembebanan yang melampaui batas daya dukung tanah akan mengakibatkan konstruksi di atas tanah tersebut rentan roboh. Kemampuan ini merupakan salah satu parameter penting dalam tahap persiapan pembangunan dengan mengetahui jenis bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter sesuai standar NERHP sebagai kedalaman ideal dalam investigasi geoteknik dengan memanfaatkan kecepatan gelombang geser (Vs). Salah satu cara untuk memperoleh nilai daya dukung tanah dengan menggunakan metode geofisika dengan memanfaatkan kecepatan gelombang geser yakni metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). Penelitian ini menggunakan rekaman data MASW berupa tiga lintasan berturut-turut yakni: P1, P2 dan P3. Berdasarkan profil nilai Vs diperoleh hasil identifikasi struktur perlapisan bawah permukaan tanah pada lintasan P1 hingga P3 terdiri dari lempung, lanau serta pasir. Investigasi hingga kedalaman 30 meter memiliki rentang nilai Vs pada P1 yakni terdiri 116-324 m/s, P2 dengan rentang nilai 135-342 m/s, serta P3 rentang nilai 153-340 m/s. Kemudian nilai rata-rata daya dukung pada masing-masing lintasan secara berurutan lintasan P1 sampai P3 yakni 5,99- 60,74 kN/m², 6,22-51,63 kN/m², dan 6,42-95,24 kN/m². Dengan nilai tersebut, lokasi penelitian dianggap layak untuk membangun dengan investigasi jenis bawah permukaan yang aman dari resiko keruntuhan berdasarkan standar batas aman daya dukung jenis material berada pada kedalaman hingga 9,2 m. Sedangkan pada kedalaman lebih dari 9,2 m dianggap rentan untuk menunjang kapasitas daya dukung tanah dalam persiapan pembangunan.

Kata Kunci: Daya dukung tanah, Gelombang Geser, MASW.

ABSTRACT

Buildings are vital to meet the needs of human activities. The ability of the soil to restrain the weight is required for preliminary building construction, known as the bearing capacity of the soil. Weighing down that exceeds the bearing capacity of the soil result in the construction will be easy to destruct. These are important parameters for the preliminary stage by knowing the type of subsurface up to 30 meters at depth according to the NERHP standard as the ideal depth in geotechnical investigations utilizing shear wave velocity (V_s). One of the geophysical methods to obtain values of the soil bearing capacity by utilizing the shear wave velocity is known as the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method. This study used recording MASW data of three trajectories, namely: P1, P2, and P3. Based on the profile of V_s value, the results for P1 to P3 trajectories identify the subsurface structure consisting of clay, silt, and sand. This research found up to a depth of 30 meters has values of V_s at P1 consists of 116-324 m/s, P2 had a range value of 135-342 m/s, and P3 range value of 153-340 m/s. Then the average value of the soil bearing capacity on each trajectory sequentially from P1 to P3 are 5.99-60.74 kN/m², 6.22-51.63 kN/m², and 6.42-95.24 kN/m². With this value, the study area is considered feasible for construction at a depth of up to 9.2 meters after determining the types of the subsurface that are safe from the risk of collapse based on the standard carrying capacity of the material. Meanwhile, at a depth of more than 9.2 m, it is considered vulnerable to support the soil bearing capacity for construction.

Keywords: Bearing capacity, Shear waves, MASW.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillahirobbil ‘alamin, tiada kata yang pantas penulis ucapkan selain kata syukur kepada ALLAH SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan masa studi ditandai dengan penulisan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada baginda besar Nabi Allah, Muhammad SAW, beserta keluarganya, para sahabat, serta para pengikutnya yang senantiasa istiqomah menjalankan sunnahnya.

Skripsi dengan judul “**Aplikasi Penjalaran Gelombang Geser Dalam Penentuan Daya Dukung Tanah Menggunakan Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)***” dibuat sebagai syarat untuk bisa mendapatkan gelar Sarjana Sains. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari keterbatasan penulis, akan tetapi berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak penulis dapat menyelesaikannya dengan baik. Berbagai bentuk saran dan kritik yang bersifat membangun tentu sangat diharapkan penulis dalam peningkatan kualitas untuk karya-karya selanjutnya.

Semenjak menjadi mahasiswa baru hingga menutup lembaran masa studi S1 dibawah payung almamater Universitas Hasanuddin, penulis banyak mendapatkan bimbingan, arahan, dukungan, kritik serta saran dari berbagai pihak hingga penyusunan Skripsi tugas akhir ini. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak saya yang telah berpulang kepada-Nya **Bapak Hamzah Rente, Ibu Karyawati, Kakak saya Azishah Hamzah**, serta semua keluarga yang selalu mendoakan dan mendukung penulis selama melaksanakan studi sehingga penulis bisa sampai pada tahap ini.
2. **Bapak Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si** selaku pembimbing utama dan **Bapak Muh. Fawzy Ismullah, S.Si, MT** selaku pembimbing pertama yang selalu meluangkan waktunya dan memberi perhatian, bimbingan, nasihat, motivasi serta masukan-masukan yang memberi semangat saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. **Bapak Syamsuddin, S.Si., MT** dan **Bapak Ir. Bambang Harimei, M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan saran, kritik, koreksi dan masukan kepada saya dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Dosen-dosen pengajar terkhusus dosen-dosen **Departemen Geofisika** yang telah memberikan banyak bentuk pengajaran dan bimbingan selama saya menempuh pendidikan serta staf pegawai yang telah banyak membantu.
6. Kawan-kawan seperjuangan **GEOFISIKA 2017** yaitu **Faishal, Ale, Khalis, Tsaqif, Dicky, Angga, Zahari, Aldo, Rapang, Adhe, Khusnul, Titien, Fajar, Eky, Daya, Yusrin, Illa, Hikmah, Syakirah, Rina, Desha, Melsi, Esi, Epi, Ucha, Indra, Karmila, Danti, Unia, Riri, Aya, Mirna, Wide,**

Miftah, Riyadi, Sindi, Ajeng, Nea, Albar, Bintang, Jepri, Farid, Andika, Firman, Aul, Ano, Reza terimakasih atas segala contekan yang pernah kita lewati bersama yang penuh dengan kedapatan atau tidak bersama selama kurang lebih 5 tahun.

7. Saudara-saudara paling **TAMPAN MAKS Khalis, Aat, Dicky, Tsaqif, Callu, Angga, Fajar, Puat, Ardi, Albar, Fadlan, Faishal, Faqih, Ano, Ale, Ucha, Sabran, Zahari, Qoil, Madan, Reza, Aldo, Adi, Roni, Bintang, Zain, Wahyu, Agung, Ebiet, Rial.**
8. Teman-teman dari botak dengan pakian serba hitam, **HIMAFI 2017 (Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan)**, Kawan-kawan **2B, Tampan Maks, Fikri, Uci, Ola, Asni, Time, Rahma, Evita, Mayama, Rahel, Yesi, Suci, Kiki, Ningnang, Egi, Sappe, Fitria, Owel** terimakasih atas semuanya selama di kepengurusan bahkan sampai menjadi kanda warga.
9. Kanda, Kawan, Serta Adik teman-teman **Asisten Geodas, Kak Edi, Kak Jr, Kak Diki, Kak Ayyub, Kak Ulla, Kak Aushaf, Kak Hira, Eky, Titien, Khusnul, Tsaqif, Aldo, Gopal, Onding, Micin, Haidir.**
10. Kamerad **MIPA 2017, Rahman, Surefti, Sri, Indah, Amel, Salman, Aidul, Julio, Aris, Ata, dan kamerad-kamerad yang lain** yang telah membersamai hingga dibangun alarm bernyawa.
11. Adik-Adik **HIMAFI 2018, Dede, Fauzi, Gopal, Ajep, Sinyo, Domingus, Tenke, Yansen, Tayus, Tater, Tara, Justin, Kalomang, Saweri, Lius, Goul, Mutas, Goku, Bonca, Iis, Zepa, Sri, Aini, Fira, Micin, Jojo, Jihan,**

Inul, Fiya, Onding, Irma, Yuyun, Ilmi, Dena, yesi, Suci, Evy, Fiskah, Juni, Risda, Fatim, Dhea, Cunnits, Kiki, Innah, Nilam, Dilla, Acam, Ayu, Nisa, Oca, Windy, Faika, Fina, Yeni, Milen, Sheren, Sorong, Shana, Wibu, Firda, Fika, Afni, Rahma Sari, Feny, Gebi, Azmi, Azizah, Izzah, Rana.

12. Adik-Adik **HMGF 2019, Haikal, Haidir, Akbar, Alif, Mawang, Herul, Arsyi, Christine, Ita, Patio, Cindy, Ismi, Ita, Devi, Nude, Nismul, Reika, Sarni, Afikah, Lida, Indah, Dahlia, Suleha, Jinaan, Kiya, Habib, Asyifah, Pipit, Ayul, Risda, Caca, Sindi, Dian, fausta, Jack, Nanda, Yuli, Ashar, Tiara, Dominikus, William, Riman, Muly, Mulki, Nur.** Serta Adik **Himafi 2019, Galib, Jimbo, Yusri, Alya, Rinan, Nurul, dll.**
13. **Board dan Staff SPE Unhas SC,** terkhusus presiden pada masanya, **Khusnul.**
14. Kawan-kawan sekampung halaman, **Faishal, Busran, Aliafid, Acci, Nugi, Zul, Shidiq, Ajo, Cimol,** dan kawan-kawan yang lain.
15. **Nini, Ila, Hasbi, Dewa, Melati, Ayu, Mj, Ica, Ija, Taufik, Iwan, Fatjan.**
16. Kawan kawan **XII IPA 5, Viberous 17,** dan **IX.6.**
17. Kawan-kawan **KKN Regular** gelombang 106 **Tamlan 10,** dan **Tamlan 16, Timo, Mimi. Ayu, Zahari, Dicky, Hardi, Zul, Jamal, dll** yang menemani selama sebulan KKN.
18. Saudara **Angga Sanda Bunga** yang telah menemani selama menajdi mahasiswa hingga memperbaiki mesin air dirumah.

19. Saudara Tsaqif Razin, yang telah membersamai selama kuliah hingga hal-hal yang terjadi sebulan selama KP.
20. **Titien Haryani**, yang telah membantu, emndukung selama pengerjaan skripsi.
21. Serta kepada seluruh pihak, tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang ikut serta membantu hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga apa yang telah dituliskan oleh penulis pada skripsi ini dapat bermanfaat bagi sesama dan berguna untuk semua pihak.

Makassar, 23 Agustus 2022

Azhardi Hamzah

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRCT	v
KATA PENGANTAR	vi
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 Penelitian	4
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Gelombang Seismik	5
II.1.1 Hukum Snellius	7
II.1.2 Prinsip <i>Huygens</i>	8
II.1.3 Asas Fermat.....	9
II.2 Gelombang <i>Rayleigh</i>	9
II.3 Gelombang Geser	12
II.4 Metode MASW (<i>Multichannel Analysis of Surface Waves</i>).....	13
II.4.1 Metode MASW Pasif dan Aktif.....	15
II.4.2 Transformasi Fourier	15
II.4.3 Kurva Dispersi	17
II.4.3.1 Kurva Dispersi Eksperimental.....	18
II.4.3.2 Kurva Dispersi Teoritis	19

II.4.4 Inversi	19
II.4.5 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	20
II.5 Kecepatan Gelombang Geser Vs30	21
II.6 Daya Dukung Tanah	22
II.7 Geologi Regional	26
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	28
III. 1 Data dan Perangkat Penelitian.....	28
III.1.1 Data Penelitian	28
III.1.1 Perangkat Penelitian.....	28
III. 2 Tahapan Penelitian.....	28
III.2.1 Tahap Persiapan	28
III.2.2 Prosedur Pengolahan Data.....	29
III. 3 Bagan Alir	32
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
IV.1 Analisis Kecepatan Gelombang Geser	33
IV.1.1 <i>Input Data</i>	33
IV.1.2 <i>Dispersion Image</i>	34
IV.1.3 Kurva Dispersi	36
IV.1.3.1 Kurva Dispersi Eksperimental	37
IV.1.3.2 Kurva Dispersi Teoritis	38
IV.1.4 Profil Kecepatan Gelombang Geser.....	41
IV.1.5 Profil Bawah Permukaan Tanah	43
IV.2 Analisis Nilai Daya Dukung Tanah.....	45
BAB V. PENUTUP	49
V.1 Kesimpulan.....	49
V.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembagian gelombang seismik pada media padat menurut arah perambatannya	6
Gambar 2.2 Dispersi gelombang permukaan medium berlapis.....	6
Gambar 2.3 Pemantulan dan pembiasan pada dua medium.....	8
Gambar 2.4 Prinsip <i>Huygens</i> dalam menentukan <i>wavefront</i> baru.....	8
Gambar 2.5 Asas Fermat.....	9
Gambar 2.6 Gerak partikel gelombang <i>Rayleigh</i>	11
Gambar 2.7 Prosedur metode MASW	14
Gambar 2.8 Jenis-jenis gelombang pada citra dispersi.	18
Gambar 2.9 (a) grafik kecepatan fase-frekuensi; (b) profil nilai Vs.....	20
Gambar 2.10 Peta geologi regional Tamalanrea Universitas Hasanuddin.....	26
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian.	32
Gambar 4.1 Data rekaman pada lintasan P1.....	33
Gambar 4.2 Data rekaman pada lintasan P2.....	34
Gambar 4.3 Data rekaman pada lintasan P3.....	34
Gambar 4.4 <i>Dispersion image</i> lintasan P1.	35
Gambar 4.5 <i>Dispersion image</i> lintasan P2.	36
Gambar 4.6 <i>Dispersion image</i> lintasan P3.	36
Gambar 4.7 Kurva dispersi eksperimental lintasan P1.	37
Gambar 4.8 Kurva dispersi eksperimental lintasan P2.	37
Gambar 4.9 Kurva dispersi eksperimental lintasan P3.	38
Gambar 4.10 Kurva dispersi teoritis lintasan P1.	38
Gambar 4.11 Kurva dispersi teoritis lintasan P2.	39
Gambar 4.12 Kurva dispersi teoritis lintasan P3.	39
Gambar 4.13 <i>Initial Model</i> lintasan P1.	40
Gambar 4.14 <i>Initial Model</i> lintasan P2.	40
Gambar 4.15 <i>Initial Model</i> lintasan P3.	40
Gambar 4.16 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P1.	41
Gambar 4.17 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P2.	42
Gambar 4.18 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P3.	42
Gambar 4.19 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan P1.	44
Gambar 4.20 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan P2.	44

Gambar 4.21 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan P3. 45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Vp dan Vs berbagai material dekat permukaan	13
Tabel 2.2 Klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai Vs30 berdasarkan NERHP	22
Tabel 2.3 Batas Aman Daya Dukung Untuk Berbagai Jenis Material	24
Tabel 2.4 Faktor keamanan (n).....	26
Tabel 4.1 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan P1	46
Tabel 4.2 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan P2	46
Tabel 4.3 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan P3	47

BAB I

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. Konstruksi pembangunan membutuhkan tanah dasar yang baik untuk meletakkan material penyusun bangunan yang diletakkan di atas tanah tersebut. Kekuatan dan keawetan dari konstruksi jalan dan bangunan sangat tergantung dari sifat tanah dasar ini (Ferdian dkk., 2015).

Tanah memiliki sifat dan karakteristik yang bervariasi. Sifat yang berbeda dari tanah mempengaruhi struktur dalam konstruksi bangunan. Sifat-sifat tanah mencakup tentang indeks densitas, batas konsistensi, pemadatan permeabilitas, kekuatan geser dll. (Roy & Kumar Bhalla, 2017). Ini memberikan tanah karakter heterogen dan anisotropi, dan parameter dasar, seperti: sebagai kekuatan, kekakuan, dan konduktivitas hidrolis, dan dapat bervariasi dalam rentang yang luas (Heraclio dkk., 2009). Hal ini mempengaruhi kemampuannya dalam menopang beban, yang kemudian disebut sebagai daya dukung tanah.

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menopang beban yang berada di atasnya. Pembebanan yang melampaui batas daya dukung tanah akan mengakibatkan konstruksi di atas tanah tersebut roboh. Oleh karena itu, pentingnya perencanaan pembangunan untuk memahami karakteristik bawah

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

Metode seismik adalah metode geofisika yang memanfaatkan penjalaran gelombang melalui lapisan bumi, dan penjalaran ini bergantung pada sifat elastis batuan. Gelombang seismik pertama kali dimanfaatkan oleh Terzaghi (1943) dan Hvorslev (1949) untuk keperluan geoteknik dengan memanfaatkan prinsip kerja gelombang permukaan (Nasri, 2020). Dari informasi yang didapat maka dapat diperkirakan tingkat kekerasan dan kekakuan dari medium tersebut. Pengukuran metode seismik untuk konstruksi bangunan dapat menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) (Daud dkk., 2021).

Williams (1981) dan Heisey (1982) mulai memperkenalkan metode yang dikenal sebagai metode *Spectral Analysis of Surface Waves* (SASW) dengan menggunakan palu mekanik sebagai sumber pembangkit gelombang (Nasri, 2020). Kemudian dikembangkan oleh Park dkk., (1999) dalam investigasi bawah permukaan menggunakan metode MASW (Syihab, 2021). Metode MASW memanfaatkan sifat dispersi gelombang permukaan (*Ground-roll*). Gelombang permukaan yang digunakan adalah gelombang *Rayleigh* berdasarkan kecepatan gelombang geser dari perlapisan batuan yang berada di dekat permukaan. kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 meter dari permukaan

tanah disebut Vs30. Nilai Vs30 dipergunakan dalam menentukan standar bangunan (Valeria dkk., 2019).

Pada penggunaannya dalam investigasi bawah permukaan dan kapasitas daya dukung tanah, metode MASW telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebagai referensi untuk penelitian kali ini yakni Reata (2021) Studi Stratigrafi Bawah Permukaan Kampus Universitas Hasanuddin Menggunakan Data Geofisika, Nasri (2020) Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Metode *Multichannel Analysis Of Surface Waves* (MASW), dan Syihab (2021) Evaluasi Kompaksi Tanah Menggunakan Metode *Multichannel Analysis Of Surface Waves* (MASW). Secara garis besar metode ini mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan terhadap kedalaman, yang dimana berhubungan dengan sifat kekakuan tanah.

Dalam persiapan konstruksi, perlu dilakukan investigasi kondisi geologi pada daerah pembangunan. Berdasarkan penggunaan biaya yang lebih murah daripada pengeboran dan uji sampel tanah, Metode MASW dipilih sebagai metode non-destruktif yang efektif dan efisien, serta ramah lingkungan. Maka dari itu, dilakukan penelitian ini untuk melakukan analisis daya dukung tanah berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser pada suatu daerah menggunakan metode MASW. Hal ini dilakukan untuk mengetahui struktur per lapisan bawah permukaan sebagai pertimbangan dalam kegiatan konstruksi suatu daerah.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana struktur bawah permukaan melalui analisis kecepatan gelombang geser Vs30 menggunakan data metode MASW?
2. Bagaimana penerapan metode MASW dalam menentukan daya dukung tanah pada tahap persiapan konstruksi?

I.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini berfokus pada analisis data gelombang permukaan yang diperoleh dengan menggunakan metode MASW untuk mengetahui daya dukung dan struktur perlapisan pada bawah permukaan tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser Vs30 menggunakan data sekunder sebagai persiapan sebelum melakukan konstruksi.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini ialah:

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

BAB II

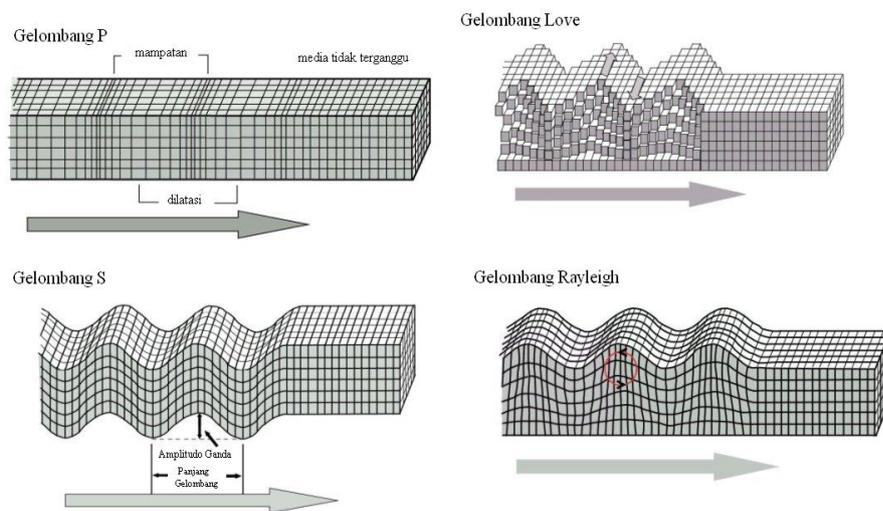
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi disebabkan oleh adanya deformasi struktur berupa tekanan ataupun tarikan karena salah satu sifat kerak bumi yaitu keelastisan. Gelombang ini kemudian menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi dengan membawa energi dan mampu dicatat oleh seismograf (Valeria dkk., 2019).

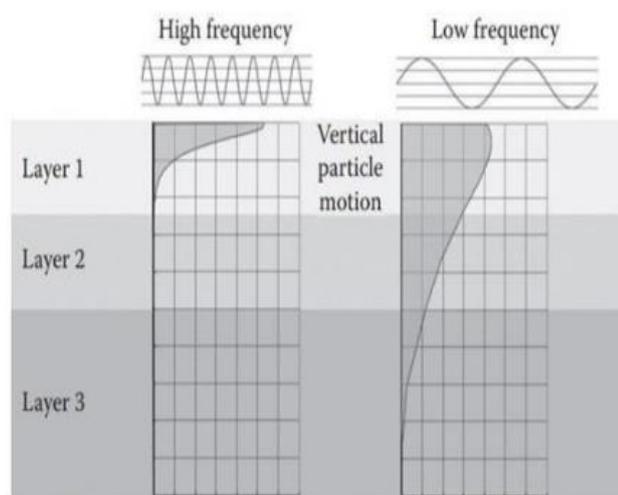
Secara umum, gelombang seismik dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gelombang badan dan gelombang permukaan. Gelombang badan (*body wave*) merupakan gelombang yang menjalar melalui media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam permukaan bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya, gelombang dapat dibedakan atas gelombang primer (P) dan gelombang sekunder atau geser (S).

Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang merambat di permukaan bumi tanpa adanya penyebaran energi ke dalam interior bumi. Amplitudo gelombang ini akan semakin melemah jika menjalar masuk ke dalam inti bumi dan kebanyakan energi merambat pada daerah dangkal (Ariestianty dkk., 2009). Didasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik terdapat dua tipe gelombang permukaan, yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love* (Maemunah, 2018).



Gambar 2.1: Pembagian gelombang seismik pada media padat menurut arah perambatannya (Rosyidi, 2013).

Karakteristik khusus dari gelombang permukaan adalah kombinasi rambatan gelombang dengan frekuensi tinggi dan panjang gelombang pendek dapat mendeteksi lapisan bawah 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 (Samsuddin, 2021).



Gambar 2.2 Dispersi gelombang permukaan medium berlapis (Foti dkk., 2014)

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 (Syihab, 2021).

II.1.1 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

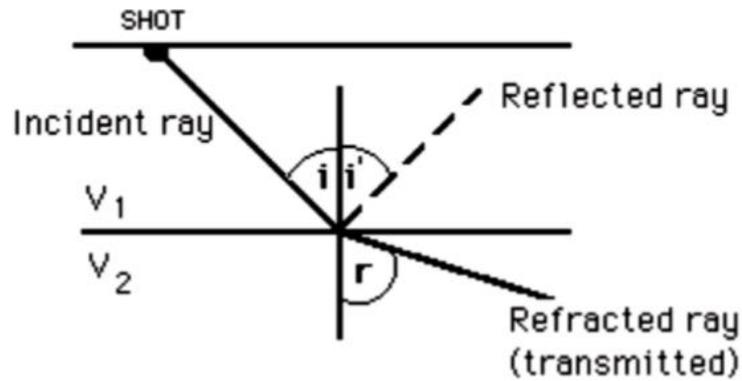
θ_r = sudut bias

v_1 = kecepatan gelombang datang

v_2 = kecepatan gelombang bias

n_1 = indeks bias medium 1

n_2 = indeks bias medium 2

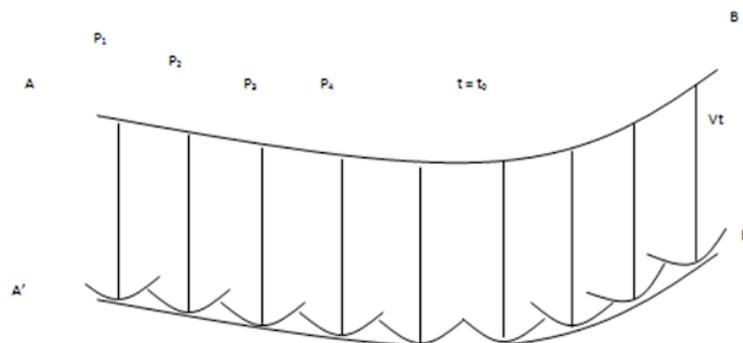


Gambar 2.3. Pemantulan dan pembiasan pada dua medium (Evans, 1997).

II.1.2 Prinsip Huygens

Prinsip *Huygens* menyatakan bahwa gelombang menyebar dari sebuah titik sumber gelombang ke segala arah dan 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).

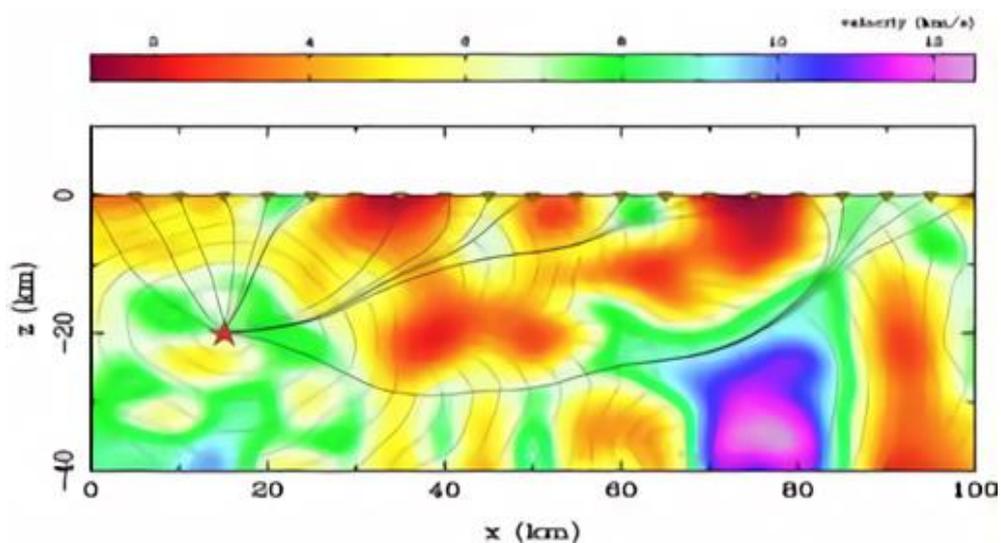
Partikel-partikel bergerak dari keadaan setimbang, maka akan terjadi gaya elastik di daerah sekelilingnya yang menggerakkan partikel lainnya menyebabkan timbul *wavefront* baru. Penjalaran gelombang yang terjadi di medium merupakan interaksi antara gangguan dan reaksi sifat elastik. Pada gambar 2.4 menerangkan fenomena fisik pada pergerakan vertikal yang terjadi pada *wavefront* (Akyas, 2007).



Gambar 2.4 Prinsip *Huygens* dalam menentukan *wavefront* baru (Sheriff, 1995).

II.1.3 Asas Fermat

Asas Fermat mengatakan bahwa perambatan cahaya yang bergerak tegak lurus terhadap *wavefront* bergerak dari titik sumber menuju titik penerima mengikuti suatu alur yang mempunyai waktu yang paling minimum. Bila berkas tersebut menembus suatu medium yang berbeda sifat fisiknya maka berkas tersebut tidak menjalar mengikuti garis lurus akan tetapi memilih alur dengan waktu yang minimum (Akyas, 2007).



Gambar 2.5 Asas Fermat (Utami, 2016)

Dengan z adalah kedalaman (km) dan x adalah jarak, dalam hal ini x adalah jarak antar *geophone* (km). Gambar 2.5 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 (Susilawati, 2008).

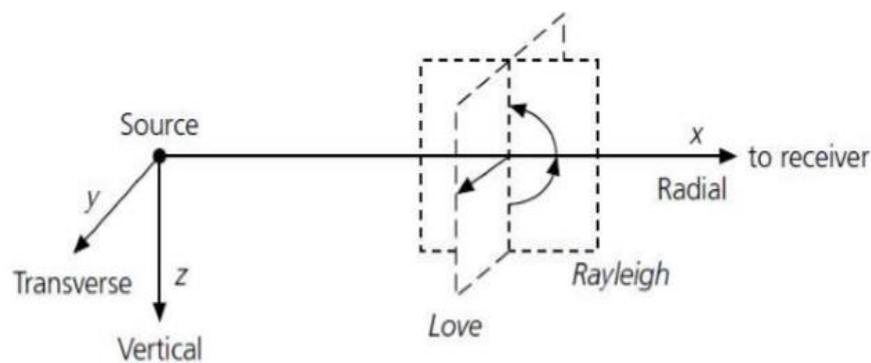
II.2 Gelombang *Rayleigh*

Gelombang permukaan *Rayleigh* (*Ground-roll*) merupakan salah satu gelombang seismik yang dihasilkan dari suatu sumber pergerakan mekanik baik yang terjadi secara alamiah maupun buatan, seperti longsor tanah, gempa bumi, ledakan, getaran lalu lintas, getaran akibat mesin berat dan lain sebagainya. Hampir 70 % energi perambatan yang dihasilkan oleh sumber mekanik gelombang merupakan energi gelombang *Rayleigh* (Rosyidi, 2005). Sejak tahun 1980-an, gelombang permukaan dimanfaatkan untuk mencitrakan struktur bawah permukaan karena mudah dan diaplikasikan pada karakterisasi geoteknik, yaitu gelombang *Rayleigh*. Sebab gelombang *Rayleigh* mempunyai sifat yang unik, dimana gelombang akan mengalami *disperse* pada setiap perambatan gelombangnya yang melewati batas lapisan material bumi (Valeria dkk., 2019).

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. Dalam geometri secara umum (Gambar 2.6), gelombang merambat di bidang $x-z$, propagasi gelombang *Rayleigh* berada di bidang ini, dan propagasi gelombang *Love* sejajar sumbu y . Gelombang *Rayleigh* (P-SV) muncul pada komponen vertikal dan radial, sedangkan Gelombang *Love* (SH) muncul pada komponen transversal (Stein & Wysession, 2003).

Gelombang *Rayleigh* dapat membuat citra dan struktur bawah permukaan dengan mudah, dan dapat diterapkan langsung diaplikasikan pada disiplin ilmu geoteknik.

Gelombang ini mempunyai sifat yang unik, dimana setiap perambatan gelombang yang melewati batas lapisan bumi akan mengeluarkan sifat dispersi. Bila kekuatan sumber (*source*) diterapkan di permukaan tanah, maka efek yang ditimbulkan sangatlah besar (Hartantyo, 2010). Gelombang *Rayleigh* dianggap sangat baik digunakan dalam identifikasi struktur tanah pada lapisan yang dangkal, karena dalam perambatannya mengalami pengurangan energi yang lebih rendah dari jenis gelombang seismik lainnya (Shearer, 2009).



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

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 bawah 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.3 Gelombang Geser

Gelombang geser merupakan gelombang S (sekunder atau *shear*), karena kecepatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan gelombang P (primer). Pada medium yang padat, gelombang geser merambat dengan kecepatan rata-rata 3 - 4 km/s. Ketika gelombang merambat di bawah permukaan, akan menimbulkan regangan geser pada material yang dilaluinya, sehingga dinamakan gelombang geser (Rusydy dkk, 2016). Menurut Birkhauser, gelombang S dipisahkan menjadi 2, yaitu gelombang S horizontal (SH) dan gelombang S vertikal (SV).

Penelitian ini menggunakan gelombang permukaan (dalam hal ini gelombang *Rayleigh*) untuk mendapatkan kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman. Valeria dkk., (2019) mengemukakan bahwa nilai kecepatan gelombang geser dapat digunakan untuk mengetahui sifat struktur bawah permukaan, misalnya jenis batuan. Hal ini dikarenakan gelombang *Rayleigh* akan mengalami dispersi pada setiap perambatan gelombangnya yang melewati batas lapisan material bumi.

Gelombang geser merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam menentukan kekuatan gempa, amplifikasi tanah, likuifaksi tanah dan pemetaan kondisi bawah permukaan dalam bidang rekayasa (Xia dkk., 2000). Nilai kecepatan gelombang geser yang semakin besar, maka akan semakin besar juga nilai kekakuan tanahnya yang mengidentifikasikan semakin keras dan padat lapisannya. Kecepatan gelombang geser (V_s) hanya berkaitan dengan kekakuan dari struktur tanah, sedangkan untuk pengaruh tingkat kejenuhan tanahnya lebih berkaitan dengan kepadatan tanah. Semakin rendah tingkat kejenuhan tanah, maka

akan semakin tinggi nilai Vs (Valeria dkk., 2019). Tabel 2.1 yang memperlihatkan nilai kecepatan gelombang kompresi (Vp) dan kecepatan gelombang geser (Vs) untuk beberapa jenis material.

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

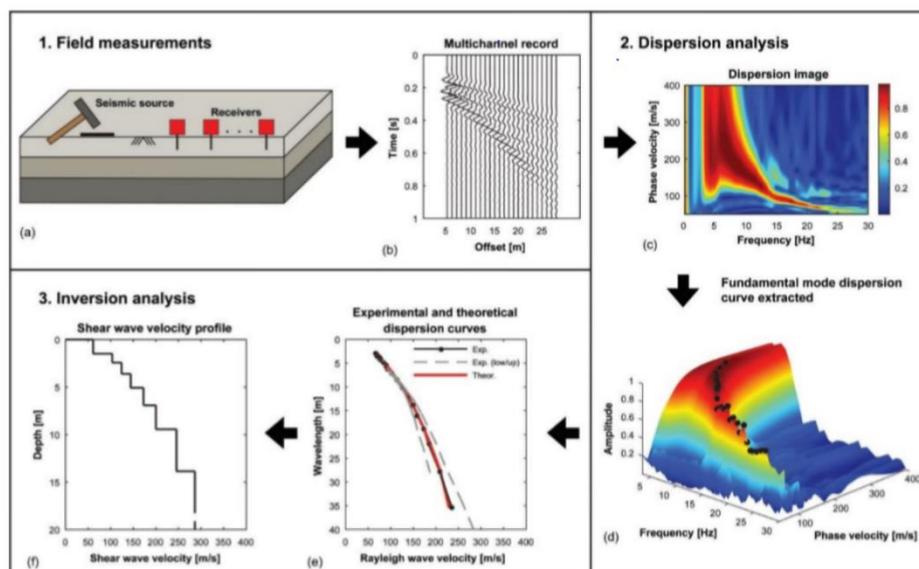
Geomaterial	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson Ratio
<i>Crystalline rocks</i>	4000-6500	2500-3500	0.2-0.3
<i>Calcareous, fractured rocks</i>	1600-3000	1000-1500	0.2-0.3
<i>Soft rocks, very dense gravels</i>	800-2000	500-1000	0.2-0.3
<i>Medium to dense gravels</i>	650-1500	400-800	0.2-0.3
<i>Medium to dense sands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

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

MASW (*Multi-Channel Analysis of Surface Waves*) merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan gelombang permukaan untuk mempelajari kondisi bawah permukaan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Park dkk. (1996), dikembangkan di KGS (*Kansas Geological Survey*). Gelombang permukaan *Rayleigh* mudah diamati menggunakan peralatan seismik dengan *geophone* vertikal. Sebanyak 2/3 energi seismik yang dibuat akan membentuk gelombang *Rayleigh* sehingga gelombang seismik menampung sebagian besar energi seismik (Rusydy dkk., 2016).

Metode MASW merupakan salah satu metode seismik untuk pemodelan struktur geologi bawah permukaan bumi dengan ketepatan dan resolusi yang tinggi pada struktur dekat permukaan (Park dkk., 2002). Metode MASW memanfaatkan fenomena sifat dispersi gelombang permukaan, yaitu gelombang *Rayleigh* untuk investigasi geoteknik berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (*shear wave*) dari per lapisan batuan dekat permukaan (Laksono dkk., 2018).

Metode ini mengukur variasi perubahan kecepatan gelombang geser seiring dengan bertambahnya kedalaman. Dimana semakin bertambahnya kedalaman maka panjang gelombang akan berkurang. 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. 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)

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, 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 (Nasri, 2020).

II.4.1 Metode MASW Pasif dan Aktif

Berdasarkan sumber seismiknya, metode MASW dibagi menjadi dua yaitu MASW aktif dan MASW pasif (Park dkk., 2007). MASW aktif menggunakan sumber luar seperti palu atau dinamit untuk membangkitkan gelombang seismik yang kemudian direkam oleh *geophone*. 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.

II.4.2 Transformasi Fourier

Transformasi fourier merupakan metode analisis spektral dengan tujuan untuk domain sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Hal ini dilakukan karena perhitungan lebih mudah dalam domain frekuensi dibandingkan dengan domain waktu. Selain itu, fenomena geofisika berkaitan erat dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi parameter penting dalam menjelaskan fenomena

tersebut (Laksono dkk., 2018). Pada persamaan 2.2 dan 2.3 diperlihatkan transformasi fourier pada fungsi $f(t)$.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.2)$$

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

Persamaan (2.2) disebut sebagai *forward fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain waktu ke domain frekuensi. Sedangkan persamaan (2.3) disebut *invers fourier transform* yang mentransformasikan sinyal domain frekuensi ke domain waktu (Park dkk., 1998).

Data seismik yang telah direkam oleh geofon 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 *Forward Fourier Transform* (FFT). Data rekaman *multichannel* berdomain waktu-jarak (x,t) ditransformasikan ke dalam domain jarak-frekuensi (x, ω) pada setiap *trace* menggunakan persamaan 2.2.

Gelombang seismik yang terekam dari dua geofon kemudian dianalisis pada kecepatan fase (C_f) berdasarkan beda waktu tempuh (Δt_f) untuk frekuensi (f) yang berbeda, dapat dilihat pada persamaan 2.59 (Park et al., 1999):

$$C_f = \frac{dx}{\Delta t_f} \quad (2.4)$$

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

$$F(\omega) = A_f(\omega)e^{-i\phi_f(\omega)} \quad (2.5)$$

$$G(\omega) = A_g(\omega)e^{-i\phi_g(\omega)} \quad (2.6)$$

Beda fasa antara keduanya dapat dituliskan :

$$\Delta\phi(\omega) = \phi_f(\omega) - \phi_g(\omega) \quad (2.7)$$

Sehingga diperoleh kecepatan fase :

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta\phi_f(\omega)} \quad (2.8)$$

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta\phi_f(\omega) + 2n\pi} \quad (2.9)$$

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

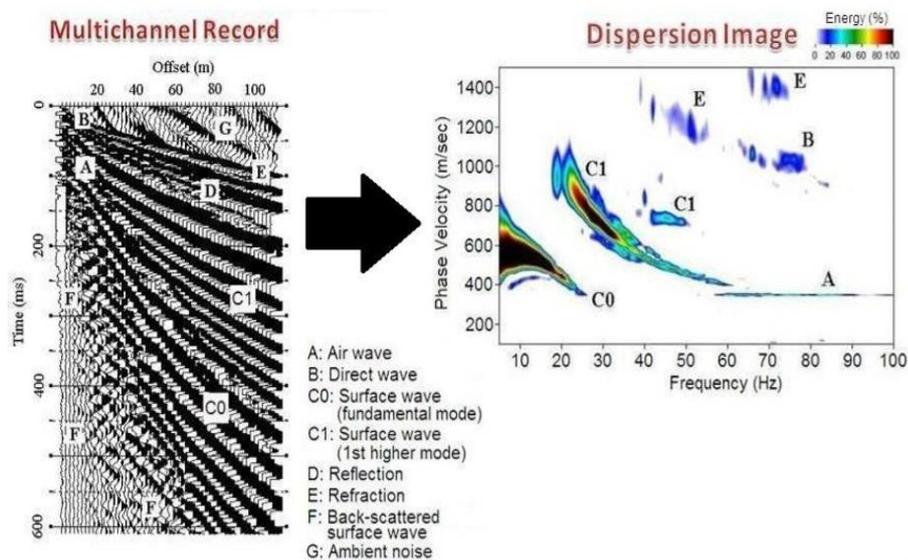
$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, \omega) \cdot e^{\frac{i\omega x}{c}} dx \quad (2.10)$$

Dari persamaan (2.10), didapatkan citra dispersi yang menunjukkan perubahan kecepatan fase (C) terhadap frekuensi (ω) seperti yang ditampilkan pada gambar 2.8.

II.4.3 Kurva Dispersi

Kurva dispersi menjelaskan hubungan antara perubahan kecepatan fase terhadap

nilai frekuensi dan panjang gelombangnya. Kurva ini mencerminkan model-model kecepatan rata-rata di bawah permukaan. Kurva ini juga dapat memberikan informasi mengenai karakteristik atau sifat kekakuan bahan di bawah lapisan permukaan (Nasri, 2020). Kurva dispersi dibagi menjadi dua jenis, yaitu kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritis.



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

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

II.4.3.1 Kurva Dispersi Eksperimental

Kurva dispersi eksperimental diperoleh dari hasil *picking* antara frekuensi dan kecepatan fasa (Nasri, 2020). Parameter *picking fundamental mode* yaitu trend sebaran amplitudo yang ditandai dengan warna merah sebagai amplitudo dominan dari tiap-tiap data rekaman untuk membuat kurva dispersi eksperimental sampai menghasilkan grafik yang tumpang tindih dengan kurva dispersi teoritis, agar menghasilkan model yang sesuai dengan data hasil pengukuran (Samsuddin, 2021).

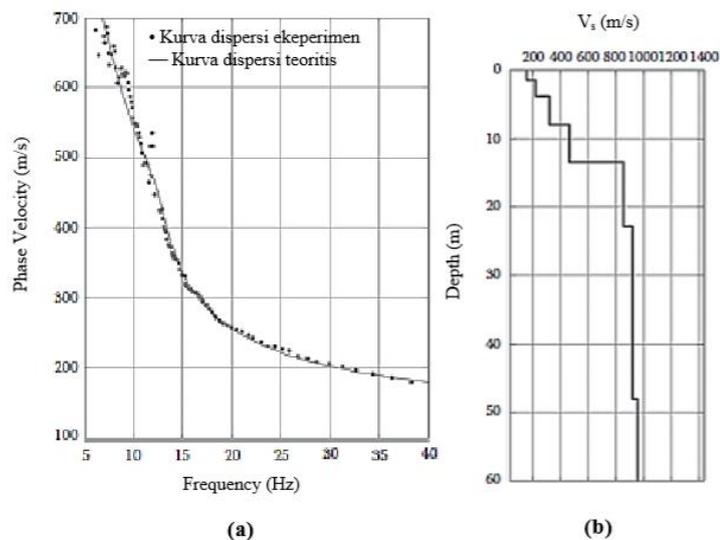
II.4.3.2 Kurva Dispersi Teoritis

Kurva dispersi teoritis dihasilkan dari pembuatan *initial model*. Kurva dispersi teoritis merupakan tahap dilakukan dengan memasukkan beberapa parameter-parameter seperti jumlah dan ketebalan lapisan. Nilai dari parameter lainnya akan mengikuti nilai kedalaman dan ketebalan lapisan yang dimasukkan. Kurva dispersi teoritis dibuat berdasarkan teori yang menyebutkan bahwa idealnya nilai kecepatan gelombang akan terus meningkat seiring penambahan kedalaman. Kurva dispersi teoritis akan dihitung dan dibandingkan dengan kurva dispersi eksperimental (Samsuddin, 2021).

II.4.4 Inversi

Inversi *Rayleigh* merupakan tahapan akhir dalam proses interpretasi perlapisan tanah. Dalam proses inversi ini 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). Jika kurva dispersi teoritis belum mendekati kurva

eksperimental, maka akan dilakukan perhitungan ulang hingga didapatkan nilai RMSE yang rendah. Dari hasil inversi ini didapatkan profil kecepatan gelombang geser bawah permukaan yang menunjukkan perubahan nilai Vs terhadap kedalaman (Syihab, 2021).



Gambar 2.9 (a) grafik kecepatan fase-frekuensi; (b) profil nilai Vs (Kuo dkk., 2013).

II.4.5 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Rosyidi, 2004) :

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|^2} \quad (2.11)$$

Dengan :

n = jumlah data

II.5 Kecepatan Gelombang Geser Vs30

Vs30 adalah kecepatan gelombang geser hingga pada kedalaman 30 meter dari permukaan tanah. Nilai Vs30 dipergunakan dalam menentukan standar bangunan tahan gempa dan digunakan untuk penentuan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran dari gempabumi akibat efek lokal. Hal tersebut karena lapisan-lapisan batuan sampai kedalaman 30 meter saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa (Valeria dkk., 2019).

Nilai Vs30 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$Vs30 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i/V_{si}} \quad (2.12)$$

Dengan:

i = indeks per lapisan

m = banyaknya lapisan hingga kedalaman 30 m

t = ketebalan lapisan (m)

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

Vs = 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 2.2.

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

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

II.6 Daya Dukung Tanah

Tanah adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Ferdian dkk., 2015). Bila rongga dalam tanah terisi air seluruhnya, maka tanah ini dikatakan dalam kondisi jenuh. Sedangkan bila rongga terisi oleh air dan udara, tanah berada pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Jika tanah tak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol, maka tanah tersebut dikatakan tanah kering (Nasri, 2020).

Tanah merupakan material dasar yang sangat berpengaruh dalam hal konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Konstruksi jalan membutuhkan tanah dasar yang baik untuk meletakkan bagian-bagian perkerasan jalan yang diletakkan di atas tanah dasar tersebut. Kekuatan lapisan bawah permukaan dalam konstruksi

perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar ini (Ferdian dkk., 2015).

Kapasitas/daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Kapasitas/daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas saat tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan.(Yuspancana dkk, 2019).

Massa tanah yang akan dibebani pondasi ataupun bangunan hendaknya memiliki sifat-sifat yang sedemikian rupa sehingga proyek bersangkutan dapat dibangun dengan aman dan ekonomis dan struktur yang dihasilkan dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya dampak dari pembangunan tersebut. Daya dukung yang aman terhadap keruntuhan tidak berarti bahwa penurunan pondasi akan berada dalam batas-batas yang diizinkan. Oleh karena itu, analisis penurunan harus dilakukan karena umumnya bangunan peka terhadap penurunan yang berlebihan. Kapasitas nilai daya dukung dari suatu tanah didasarkan pada karakteristik tanah dasar dan dipertimbangkan terhadap kriteria penurunan dan stabilitas yang diisyaratkan, termasuk faktor keamanan terhadap keruntuhan. Secara umum analisis daya dukung tanah ditentukan dari daya dukung *ultimate* dibagi faktor aman yang sesuai dan dilakukan dengan cara pendekatan empiris untuk memudahkan perhitungan (Bundang 2020).

Tabel 2.3 Batas Aman Daya Dukung Untuk Berbagai Jenis Material (UWE Bristol *Environment*, 2015)

Jenis Material	Daya Dukung
Batu Sangat Keras	10.000 kN/m ²
Batu Kapur	4.000 kN/m ²
Kerikil padat sedang, atau pasir dan kerikil dengan kepadatan sedang (<i>Medium dense gravel, or medium dense sand and gravel</i>)	200-600 kN/m ²
Kerikil lepas, atau pasir lepas dan kerikil (<i>Loose gravel, or loose sand and gravel</i>)	<200 kN/m ²
Pasir kompak (<i>Compact sand</i>)	>300 kN/m ²
Pasir padat sedang (<i>Medium dense sand</i>)	100 to 300 kN/m ²
pasir lepas (<i>Loose sand</i>)	<100 kN/m ² tergantung tingkat kelonggaran
Tanah liat tebal yang sangat kaku & tanah liat keras (<i>Very stiff bolder clays & hard clays</i>)	300-600 kN/m ²
Tanah liat kaku (<i>Stiff clays</i>)	150-300 kN/m ²
Tanah liat yang kokoh (<i>Firm clay</i>)	75-150 kN/m ²
Tanah liat dan lanau lunak (<i>Soft clays and silts</i>)	1 - 75 kN/m ²
Tanah liat sangat lunak (<i>Very soft clay</i>)	Tidak berlaku

Secara umum, analisis daya dukung tanah ditentukan berdasarkan daya dukung batas (q_u) yang dibagi dengan faktor keamanan (n). Daya dukung batas (q_u) didapatkan melalui persamaan 2.13 (Tezcan & Ozdemir, 2012):

$$qu = \gamma D \quad (2.13)$$

Untuk nilai unit berat (γ) didapatkan dari persamaan empiris menggunakan nilai V_s (Tezcan & Ozdemir, 2012).

$$\gamma = 4.3 V_s^{0.25} \quad (2.14)$$

Dengan:

γ = unit berat (kN/m^3)

V_s = kecepatan gelombang geser (m/s)

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

D = Kedalaman (m)

Setelah didapatkan nilai qu , selanjutnya yang perlu dilakukan ialah menghitung daya dukung izin (qa). Daya dukung izin merupakan beban per satuan luas yang diizinkan untuk dibebankan pada tanah agar terhindar dari kemungkinan terjadinya keruntuhan (Syihab, 2021).

$$q_a = \frac{qu}{n} = \frac{\gamma D}{n} \quad (2.15)$$

Dimana:

qa = daya dukung izin tanah (kN/m^2)

n = faktor keamanan

D = kedalaman (m)

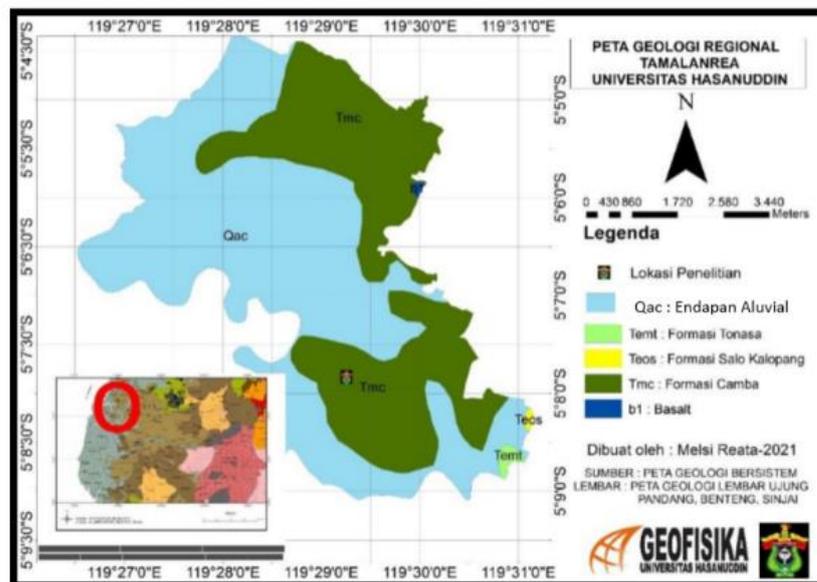
Tabel 2.4 menunjukkan penggunaan faktor keamanan (n) untuk menentukan daya dukung izin (qa) berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Terdapat tiga jenis tanah yang dibedakan berdasarkan nilai V_s .

Tabel 2.4 Faktor keamanan (n) (Tezcan & Ozdemir, 2012)

Jenis Tanah	V_{s30} (m/s)	n	q_a (kN/m ²)
Batuan Keras (<i>Hard Rock</i>)	≥ 4000	1.4	$0.071 \gamma V_s$
Batuan Lunak (<i>Soft Rock</i>)	750 – 4000	$4.6 - 8.10^{-4} V_s$	$0.1 \gamma V_s / n$
Tanah (<i>Soil</i>)	≤ 750	4.0	$0.025 \gamma V_s$

II.7 Geologi Regional

Daerah penelitian berada di area Kampus Universitas Hasanuddin Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar.



Gambar 2.10 Peta geologi regional Tamalanrea Universitas Hasanuddin (Reata, 2021).

Pada Gambar (2.10) merupakan peta geologi daerah penelitian yang mencakup beberapa Formasi batuan sebagai berikut: basalt (b), endapan alluvial, formasi salo kalupang, formasi tonasa, dan formasi camba. Berdasarkan peta tersebut, daerah penelitian berada pada formasi camba.

Formasi Camba (Tmc) merupakan batuan sedimen laut berselingan dengan batuan gunungapi. Terdapat pula batu pasir tufaan, batupasir, batulanau dan batulempung. Batuan pada formasi ini bersisipan dengan napal, batugamping, konglomerat dan breksi gunungapi, dan batubara. Warna beraneka dari putih, coklat, merah, kelabu muda sampai kehitaman, umumnya mengeras kuat dan berlapis-lapis dengan tebal antara 4 cm dan 100 cm. Tufa berbutir halus hingga lapilli, tufa lempungan berwarna merah mengandung banyak mineral biotit, konglomerat dan breksinya terutama berkomponen andesit dan basal dengan ukuran antara 2 cm dan 30 cm, batugamping pasiran mengandung koral dan moluska, batulempung kelabu tua dan napal mengandung fosil foram kecil (Reata, 2021).

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 Wave (MASW)* di Lapangan TNR Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan 10 Kec. Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan. Data diperoleh melalui proses akuisi menggunakan masing-masing 1 sumber dan 24 *geophone* dengan jumlah lintasan sebanyak 3 lintasan pengukuran dengan format data yaitu SEG2.

III.1.2 Perangkat Penelitian

Adapun peralatan atau perangkat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer yang di dalamnya telah termuat beberapa program berupa *SeisImager* untuk mengolah data hasil pengukuran menggunakan metode MASW hingga menghasilkan data berupa profil kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m, serta *Microsoft Excel* untuk menghitung daya dukung tanah.

III.2 Tahapan Penelitian

III.2.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini berupa studi literatur, dengan mengumpulkan bahan bacaan sebagai referensi mengenai gelombang permukaan,