

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

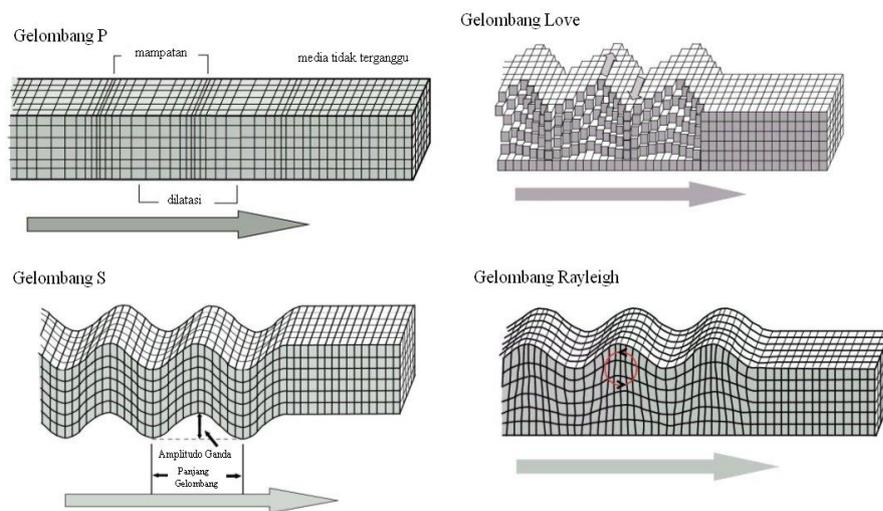
TINJAUAN PUSTAKA

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).

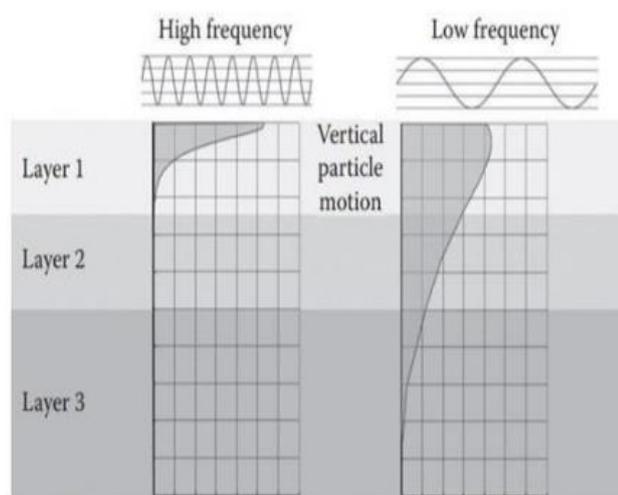
Secara umum, gelombang seismik dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gelombang badan dan gelombang permukaan. Gelombang badan (*body wave*) merupakan gelombang yang menjalar melalui media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam permukaan bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarnya, 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

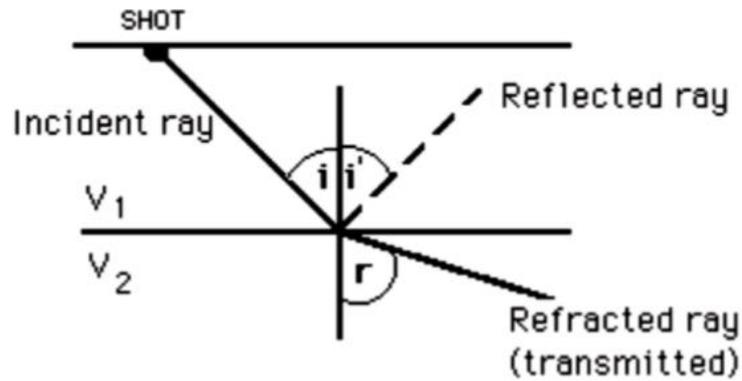
θ_r = sudut bias

v_1 = kecepatan gelombang datang

v_2 = kecepatan gelombang bias

n_1 = indeks bias medium 1

n_2 = indeks bias medium 2

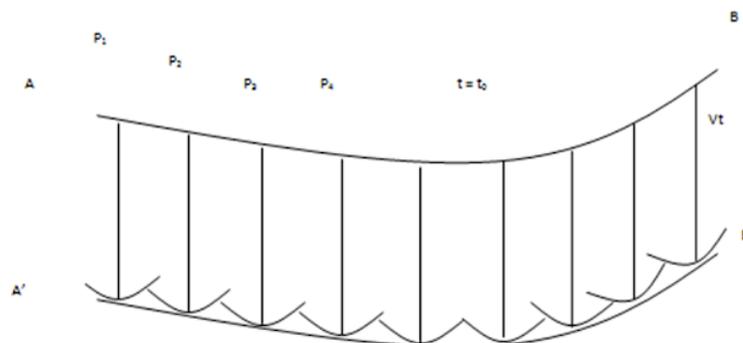


Gambar 2.3. Pemantulan dan pembiasan pada dua medium (Evans, 1997).

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).

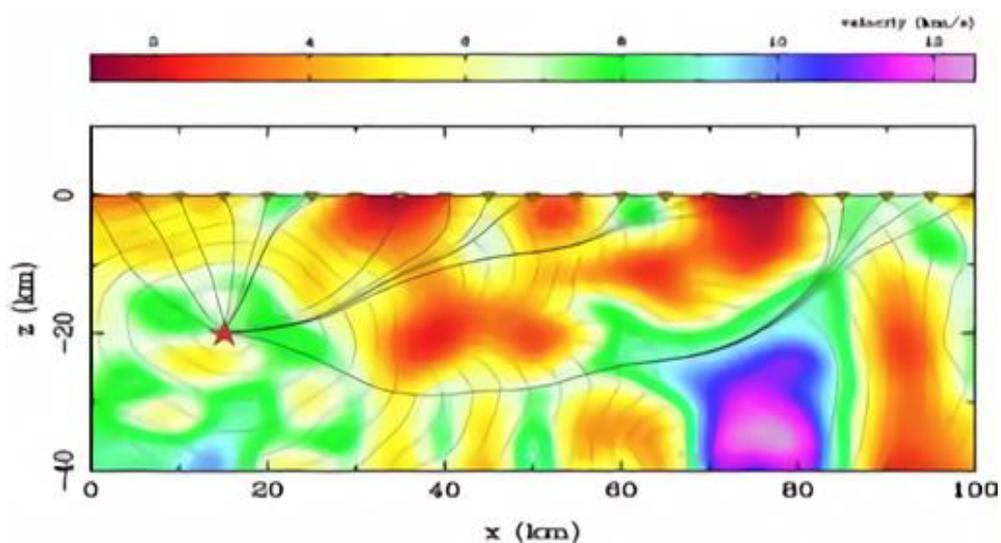
Partikel-partikel bergerak dari keadaan setimbang, maka akan terjadi gaya elastik di daerah sekelilingnya yang menggerakkan partikel lainnya menyebabkan timbul *wavefront* baru. Penjalaran gelombang yang terjadi di medium merupakan interaksi antara gangguan dan reaksi sifat elastik. Pada gambar 2.4 menerangkan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

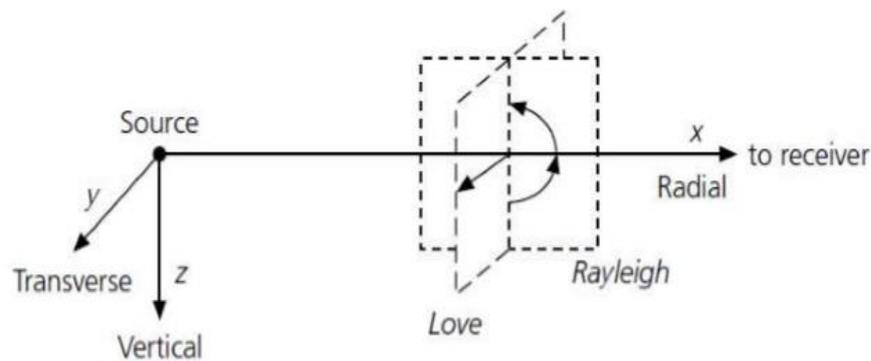
II.2 Gelombang *Rayleigh*

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)

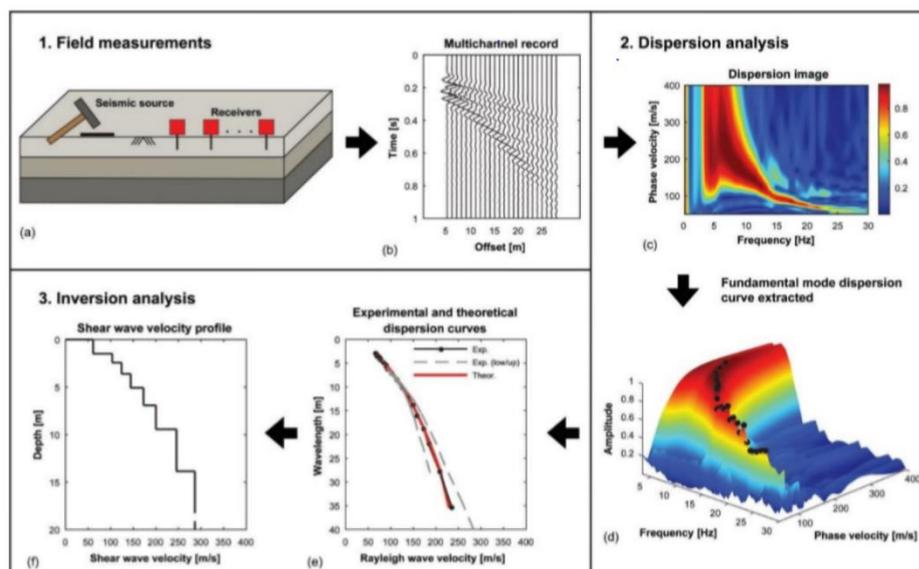
Geomaterial	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson Ratio
<i>Crystalline rocks</i>	4000-6500	2500-3500	0.2-0.3
<i>Calcareous, fractured rocks</i>	1600-3000	1000-1500	0.2-0.3
<i>Soft rocks, very dense gravels</i>	800-2000	500-1000	0.2-0.3
<i>Medium to dense gravels</i>	650-1500	400-800	0.2-0.3
<i>Medium to dense sands</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*.

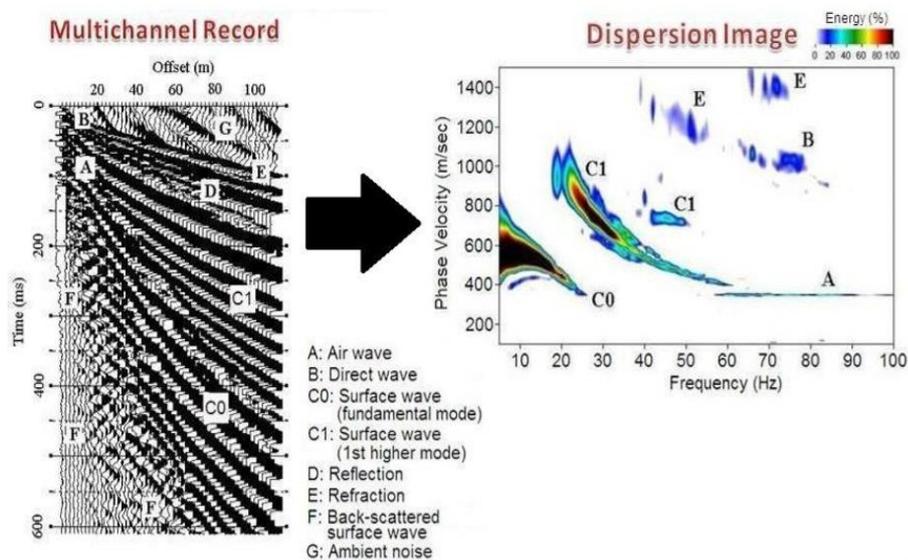
$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, \omega) \cdot e^{\frac{i\omega x}{c}} dx \quad (2.10)$$

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).

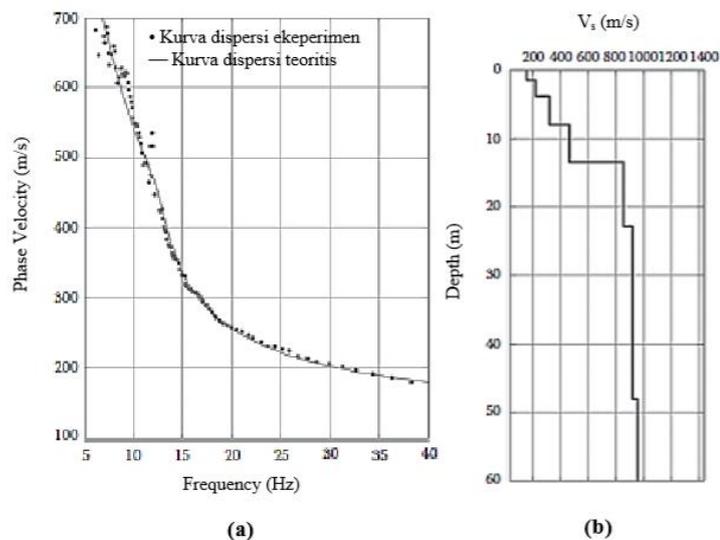
II.4.3.2 Kurva Dispersi Teoritis

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/m³)

V_s = kecepatan gelombang geser (m/s)

qu = Daya dukung batas (kN/m²)

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/m²)

n = faktor keamanan

D = kedalaman (m)

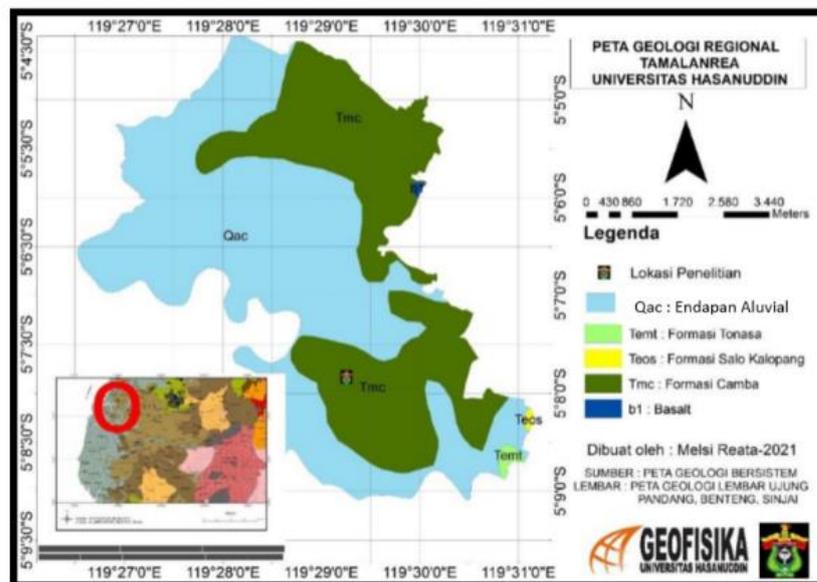
Tabel 2.4 menunjukkan penggunaan faktor keamanan (n) untuk menentukan daya dukung izin (qa) berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Terdapat tiga jenis tanah yang dibedakan berdasarkan nilai V_s .

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,

gelombang geser, metode MASW, dan bahan terkait lainnya hingga analisis daya dukung tanah, serta dilakukan pengumpulan data sekunder sebagai data yang akan digunakan pada proses analisis berupa data gelombang permukaan yang diperoleh dari proses akuisisi dengan menggunakan metode MASW.

III.2.2 Prosedur Pengolahan Data

Adapun prosedur pengolahan data pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Input Data

Data yang diinput dapat berupa data dengan ekstensi SEG2, file dikonversi dalam ekstensi dat. Selanjutnya dilakukan edit geometri, dengan mengatur jumlah, jarak dan posisi *source* serta geofon sesuai dengan prosedur akuisisi data di lapangan.

2. Analisis Sinyal

Pada analisis gelombang *Rayleigh* menggunakan metode MASW dilakukan proses analisis sinyal spektral dengan menggunakan persamaan 2.2 untuk mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi. Setelah itu, didapat hasil kecepatan fasa-frekuensi.

3. Pembuatan Citra Dispersi

Citra dispersi diperoleh melalui analisis spektrum hasil transformasi fourier domain waktu ke domain frekuensi. Setelah citra dispersi kecepatan fasa-frekuensi diperoleh, kemudian dilakukan *picking* citra dispersi untuk mendapatkan kurva eksperimental.

4. Picking Citra Dispersi

Proses *picking* citra dispersi dilakukan dengan menganalisis frekuensi dominan pada kurva antara kecepatan fasa dan frekuensi.

5. Inversi

Inversi dilakukan dengan mengubah parameter model geoteknik sintetis yang diperoleh dari *overlay* terhadap kurva teoritis dan kurva eksperimental. Prosedur dilanjutkan hingga didapatkan tumpang tindih terbaik antara kurva teoritis dan kurva eksperimental dalam rentang yang ditetapkan selama fase *picking*. Inversi berfungsi untuk menentukan profil kecepatan di lingkungan dengan kekakuan yang berbeda. Hasil *overlay* antara kurva teoritis dan kurva eksperimental ditentukan dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) minimum. Jika nilai RMSE minimum yang diperoleh maka proses dapat dilanjutkan, jika tidak maka perlu dilakukan kembali proses *picking* citra dispersi.

6. Penentuan Profil Kecepatan Gelombang Geser

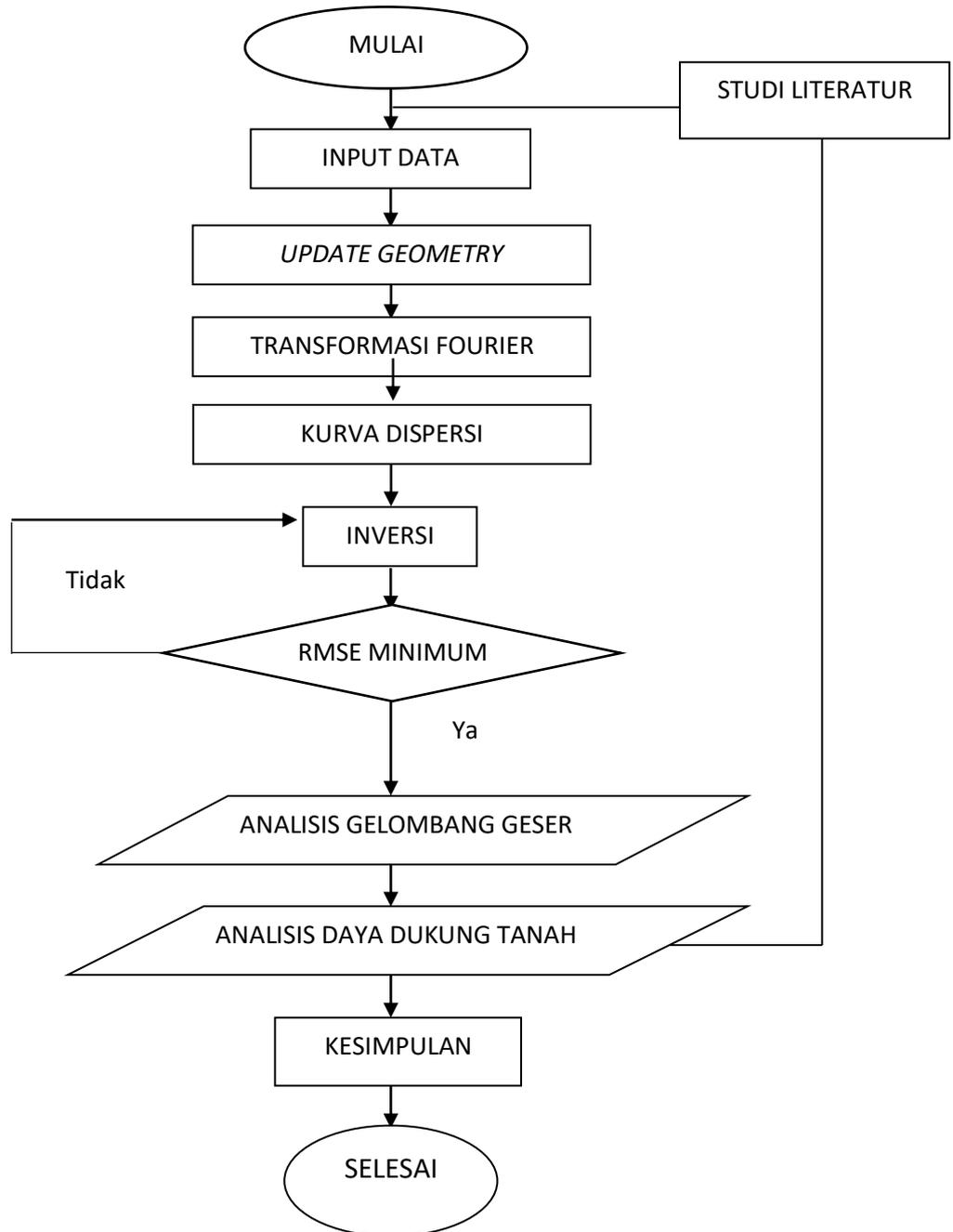
Setelah dilakukan inversi, didapatkan profil kecepatan gelombang geser (V_s) 1D. Profil kecepatan gelombang geser berisi informasi mengenai perubahan kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman. Pada tahap ini memperlihatkan rata-rata kecepatan gelombang geser dan dilakukan penentuan jenis lapisan bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombangnya.

7. Menghitung Nilai Daya Dukung Tanah

Setelah nilai V_s dan kedalaman diketahui, dilakukan perhitungan unit berat (γ) menggunakan persamaan 2.14 kemudian dihitung daya dukung batas (q_u) menggunakan persamaan 2.13. Setelah daya dukung batas dan unit berat diperoleh, tahap selanjutnya menghitung daya dukung izin (q_a) menggunakan

persamaan 2.15, dengan faktor keamanan (n) yang didapatkan dari Tabel 2.4. Kemudian menentukan apakah nilai daya dukung izin sesuai dengan batas aman daya dukung untuk berbagai jenis material pada Tabel 2.3 agar aman dari keruntuhan.

III.3 Bagan Alir



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

BAB IV

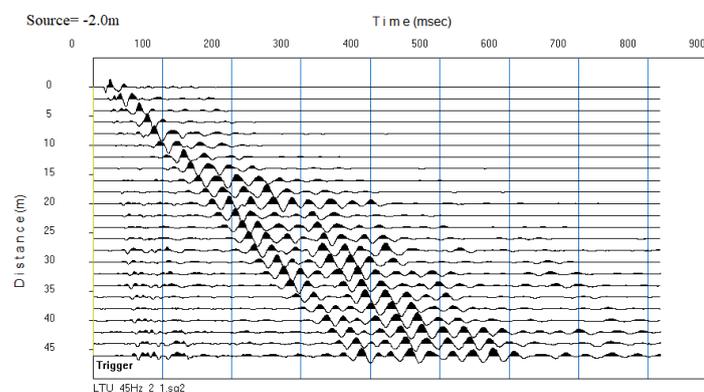
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Analisis Kecepatan Gelombang Geser

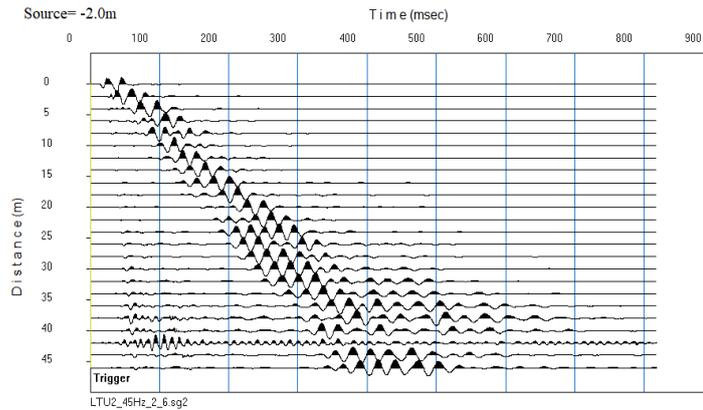
IV.1.1 *Input Data*

Pada metode seismik ada tiga proses utama yang dilakukan, yaitu akuisisi data, pengolahan data dan interpretasi data. Data yang diinput berupa data dengan ekstensi SEG2. Kemudian dilakukan *update* geometri untuk mencocokkan data hasil pengukuran dengan geometri pengukuran atau akuisisi data sebagaimana yang dilakukan di lapangan.

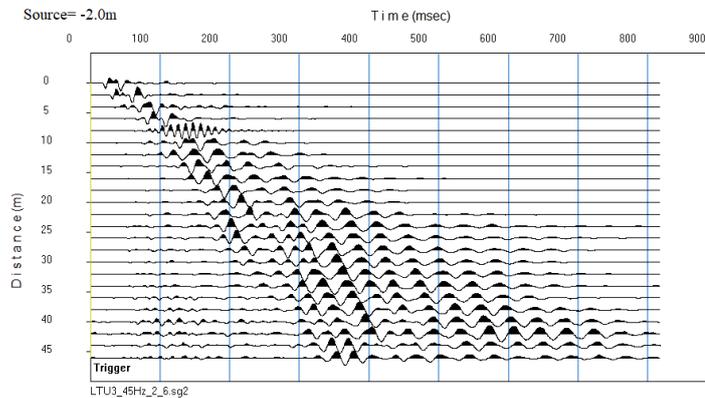
Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang terdiri atas 3 data lintasan, yakni Lintasan Pertama (P1), Lintasan Kedua (P2) dan Lintasan Ketiga (P3) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3. Masing-masing lintasan terdiri atas 1 buah *source* dan 24 buah geofon dengan jarak antar geofon 2 m, dengan panjang keseluruhan lintasan masing-masing adalah 46 m dan panjang perekaman data adalah 0,8192 s, dengan *sampling rate* 0,0002 s.



Gambar 4.1 Data rekaman pada lintasan P1.



Gambar 4.2 Data rekaman pada lintasan P2.

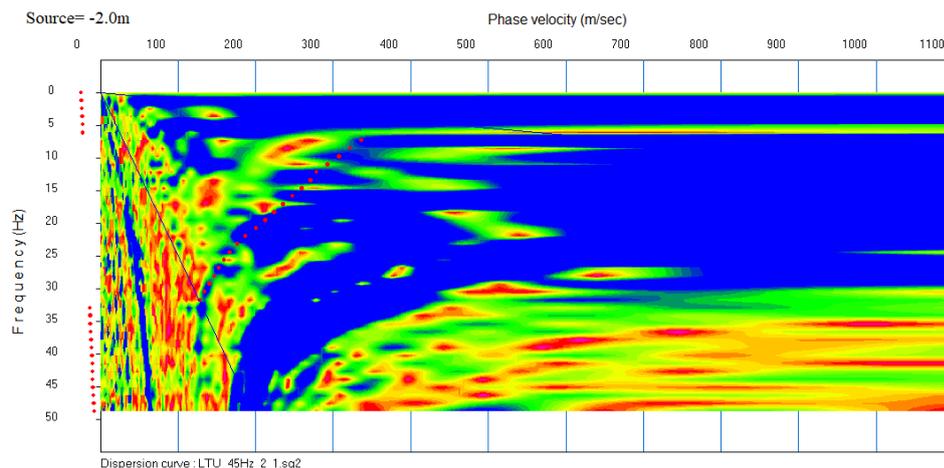


Gambar 4.3 Data rekaman pada lintasan P3.

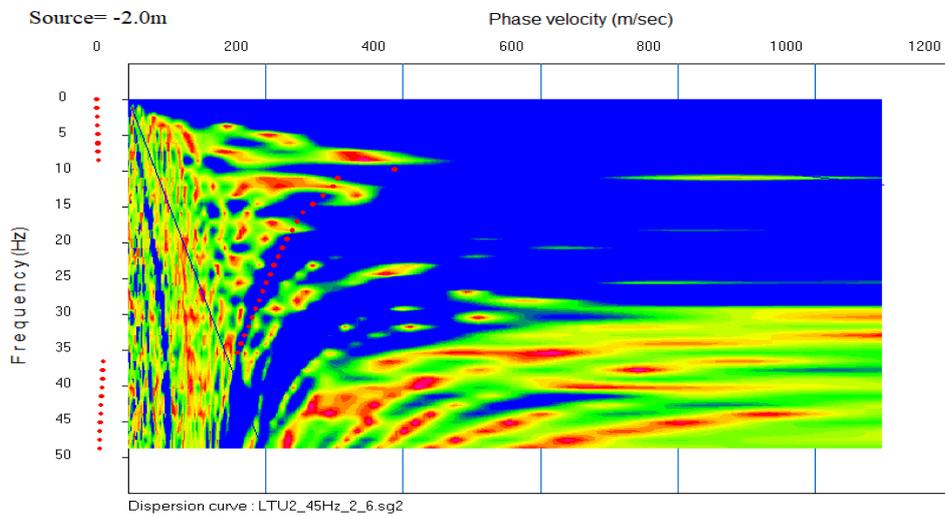
IV.1.2 *Dispersion Image*

Dispersion Image memperlihatkan gambaran sebaran amplitudo dari sinyal-sinyal gelombang yang berasal dari data rekaman *multichannel*. Pembentukan citra dispersi diawali dengan mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan Transformasi Fourier yang dilanjutkan dengan proses transformasi integral menggunakan metode pergeseran fase (*phase-shift method*) (Park dkk., 1998) yang menghasilkan *dispersion image*, seperti terlihat pada Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6.

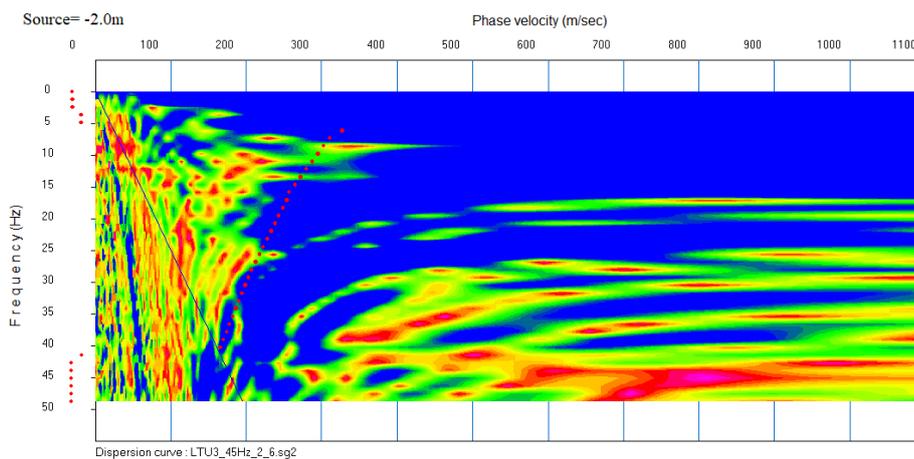
Dispersion image dihasilkan dari analisis spektrum frekuensi-kecepatan fase dengan beberapa parameter, seperti frekuensi minimum dengan 1 Hz, frekuensi maksimum dengan 50 Hz, kecepatan minimum dengan 1 m/s dan kecepatan maksimum dengan 1100 m/s. Setelah *dispersion image* diperoleh, akan dilakukan *picking*. Parameter yang di-*picking* merupakan trend sebaran energi amplitudo gelombang yang ditunjukkan dengan warna biru sebagai amplitudo dominan dari tiap-tiap data rekaman *multichannel*. Berdasarkan penelitian ini, *fundamental mode* memiliki kecenderungan berada rentang frekuensi rendah dengan memiliki energi atau amplitudo yang besar. Berdasarkan penelitian ini, *fundamental mode* memiliki kecenderungan berada pada frekuensi 0-30 Hz dan ditandai memiliki energi atau amplitudo yang besar. Hal inilah yang menjadi acuan untuk parameter nilai frekuensi pada *dispersion image*. Nilai ini berdasarkan klasifikasi jenis trend citra dispersi dari rekaman *multichannel* yang dikemukakan oleh Park (1998) pada Gambar 2.8.



Gambar 4.4 *Dispersion image* lintasan P1.



Gambar 4.5 *Dispersion image* lintasan P2.



Gambar 4.6 *Dispersion image* lintasan P3.

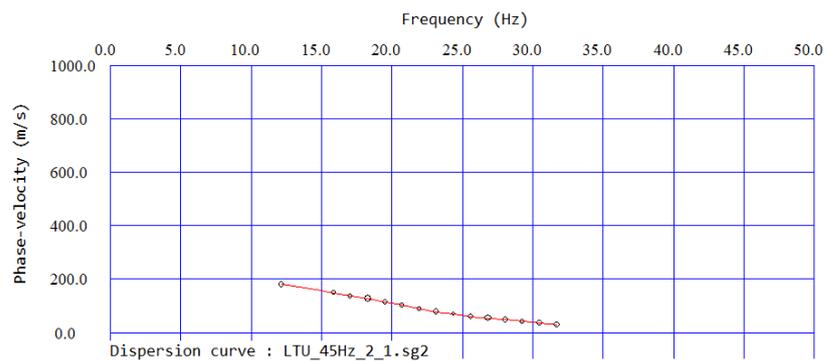
Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat bahwa *fundamental mode* berada pada frekuensi sekitar 7-31 Hz dan kecepatan fase 140-340 m/s. Gambar 4.5, *fundamental mode* berada pada frekuensi sekitar 10-35 Hz dan kecepatan fasa 180-395 m/s. Sedangkan Gambar 4.6, *fundamental mode* berada pada frekuensi sekitar 5-40 Hz dan kecepatan fasa 140-330 m/s.

IV.1.3 Kurva Dispersi

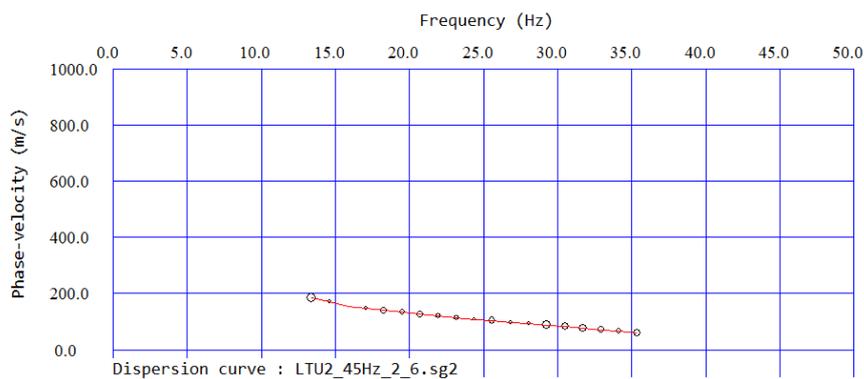
Setelah *dispersion image* diperoleh, selanjutnya adalah pembuatan kurva dispersi. Kurva dispersi terdiri atas dua jenis, yakni kurva dispersi eksperimental dan kurva dispersi teoritis.

IV.1.3.1 Kurva Dispersi Eksperimental

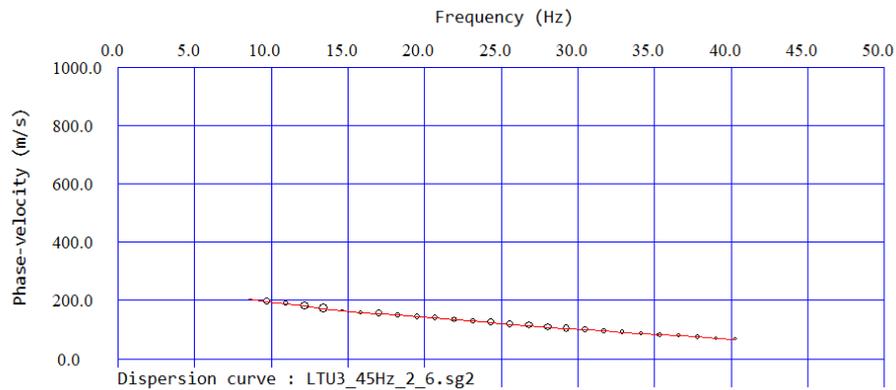
Kurva dispersi eksperimental ditampilkan sebagai grafik hasil *picking* antara frekuensi dan kecepatan fasa yang ditunjukkan oleh garis berwarna merah pada sebaran amplitudo yang berwarna biru dianggap sebagai amplitudo dominan yang merepresentasikan *fundamental mode*, hal ini dapat dilihat seperti pada Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9



Gambar 4.7 Kurva dispersi eksperimental lintasan P1.



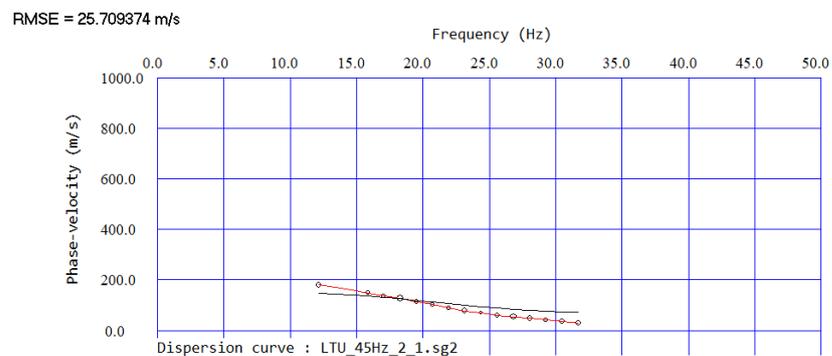
Gambar 4.8 Kurva dispersi eksperimental lintasan P2.



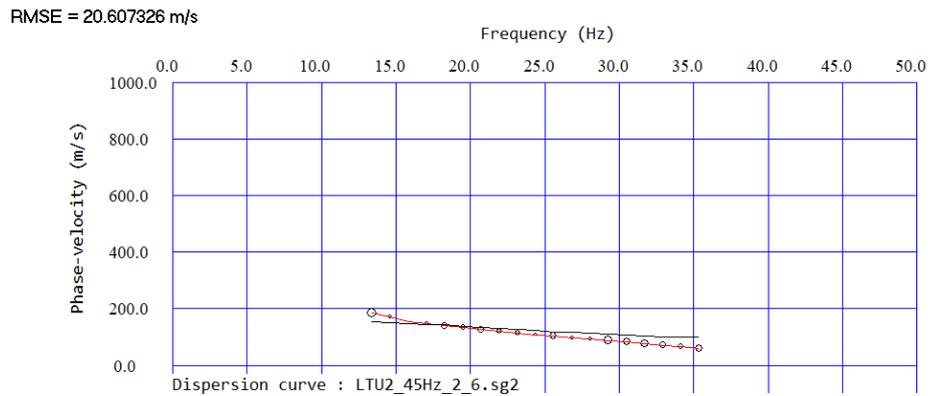
Gambar 4.9 Kurva dispersi eksperimental lintasan P3.

IV.1.3.2 Kurva Dispersi Teoritis

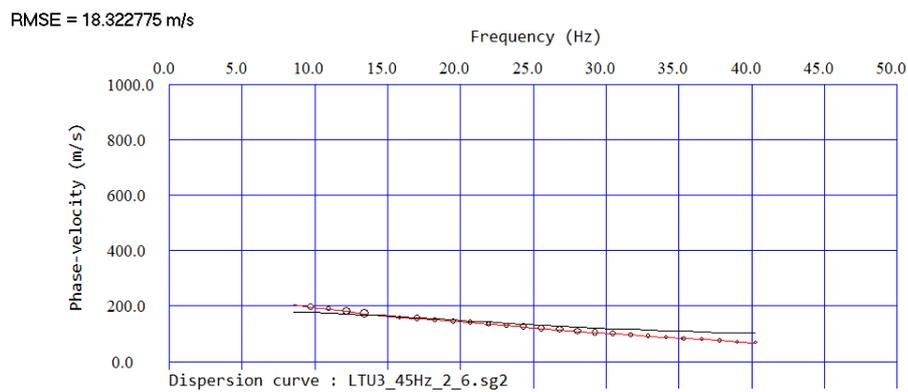
Setelah kurva dispersi eksperimental diperoleh, kemudian dilanjutkan ke tahap pembuatan kurva dispersi teoritis. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa kurva dispersi teoritis menggambarkan perubahan kecepatan gelombang yang terus meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Parameter *initial model* yang dibutuhkan dalam pembangunan kurva dispersi teoritis ini berupa jumlah lapisan, *thickness* (ketebalan lapisan) yang diperkirakan mewakili dan mendekati keadaan sebenarnya di lokasi penelitian. Jumlah lapisan yang dimasukkan pada penelitian ini adalah 10 lapisan dengan kedalaman 30 meter. Kurva dispersi teoritis ditandai dengan garis berwarna hitam, dapat dilihat pada Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12.



Gambar 4.10 Kurva dispersi teoritis lintasan P1.

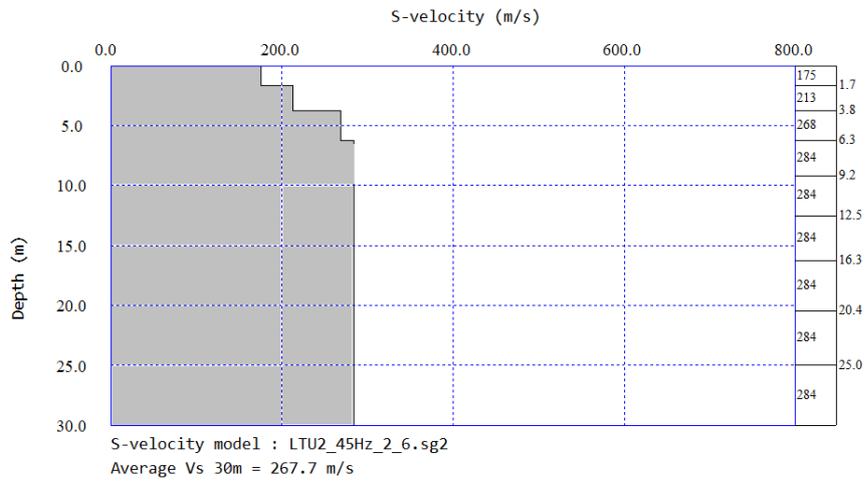


Gambar 4.11 Kurva dispersi teoritis lintasan P2.

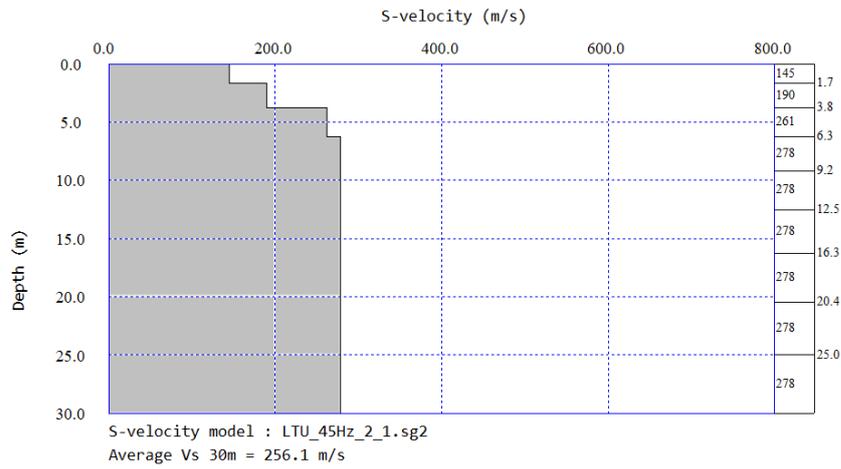


Gambar 4.12 Kurva dispersi teoritis lintasan P3.

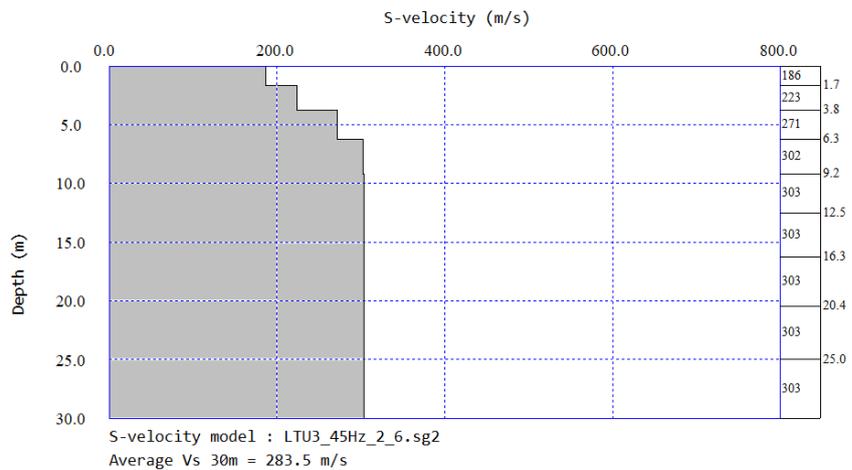
Initial model kemudian diinversi guna mendapatkan profil kecepatan gelombang geser. Pada Gambar 4.13, 4.14, dan 4.15 memperlihatkan asumsi awal profil kecepatan gelombang geser sebelum dilakukan proses inversi. Hasil inversi dengan nilai RMSE terkecil dianggap merepresentasikan nilai kecepatan gelombang geser yang mewakili lokasi penelitian.



Gambar 4.13 *Initial Model* untuk Lintasan P1.



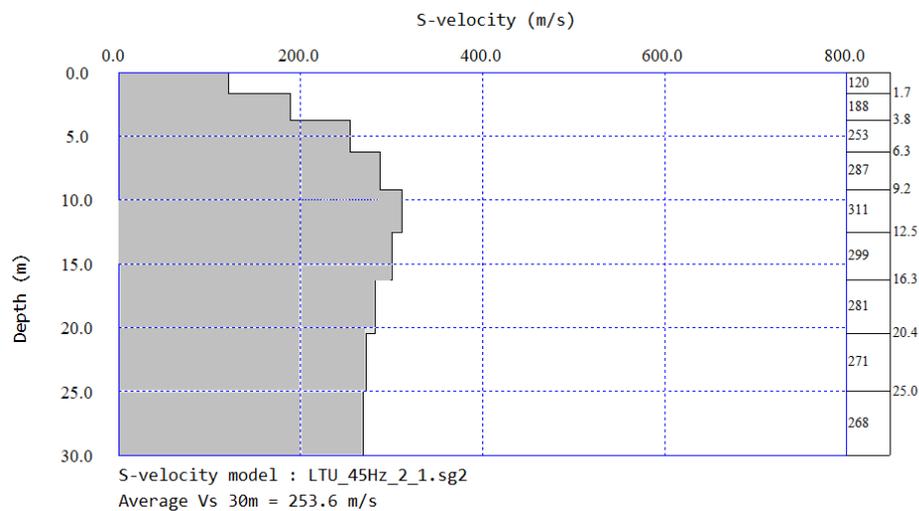
Gambar 4.14 *Initial Model* untuk Lintasan P2.



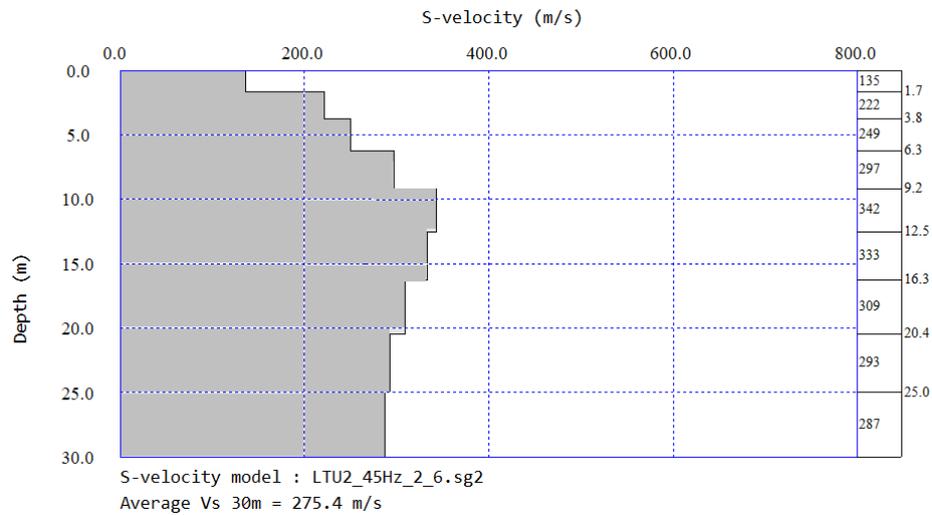
Gambar 4.15 *Initial Model* untuk Lintasan P3.

IV.1.4 Profil Kecepatan Gelombang Geser

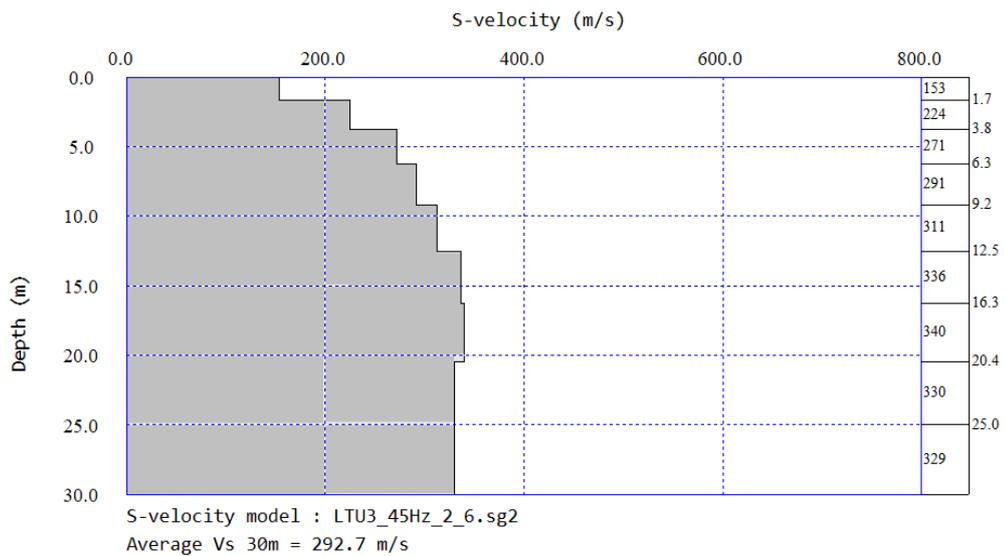
Pada Gambar 4.16, 4.17 dan 4.18 menunjukkan perubahan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman setelah proses inversi. Kedalaman pada penelitian kali ini dibatasi hingga kedalaman 30 m sebagai kedalaman yang ideal dalam investigasi geoteknik. Profil kecepatan gelombang geser tersebut diperoleh dari proses inversi antara kurva dispersi yang sebelumnya diperoleh. Pada penelitian ini dilakukan pendekatan model dengan kedalaman 30 m dan jumlah lapisan terdiri atas 10 lapisan pada masing-masing lintasan. Pada proses inversi yang dilakukan diperoleh nilai RMSE 7,73 %, 6,61 % dan 5,84 % secara berurutan untuk masing-masing lintasan P1, P2 dan P3. Nilai tersebut merupakan nilai yang diperoleh berdasarkan proses inversi dengan 5 iterasi.



Gambar 4.16 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P1.



Gambar 4.17 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P2.



Gambar 4.18 Profil 1D nilai kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman pada lintasan P3.

Perubahan nilai kecepatan gelombang seismik dapat terjadi karena pertambahan jarak maupun pengaruh dari medium yang dilaluinya. Perubahan nilai kecepatan gelombang geser yang terjadi pada kasus lintasan P1, P2, dan P3 diperkirakan oleh pengaruh medium yang dilalui. Nilai kecepatan gelombang geser tiap

lintasan memperlihatkan variasi nilai yang berbeda. Nilai kecepatan gelombang geser pada lintasan P1 berada pada rentang 116-324 m/s, untuk lintasan P2 berada pada rentang 135-342 m/s, sedangkan lintasan P3 berada pada rentang nilai 153-340 m/s.

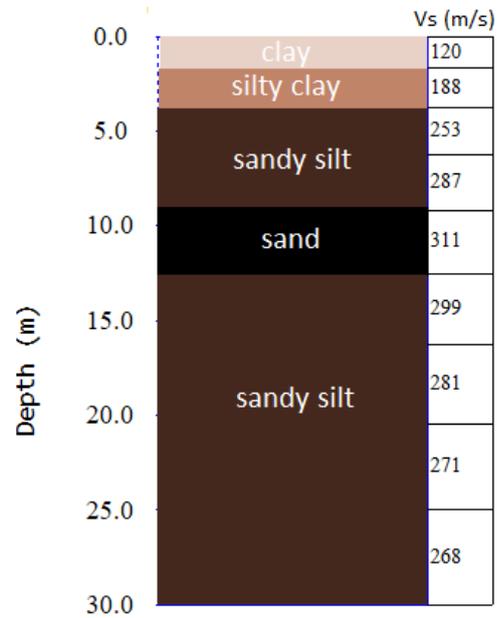
Pada Gambar 4.16, 4.17 dan 4.18 memiliki kesamaan profil kecepatan gelombang geser (V_s) yang berfluktuasi hingga kedalaman 30 m. Sebagaimana ditunjukkan dengan adanya penurunan nilai V_s dari permukaan hingga ke kedalaman sekitar 9,2 m pada lintasan P1, hingga kedalaman 12,5 m pada lintasan P2, serta hingga ke kedalaman 16,3 m pada lintasan P3. Kemudian diperkirakan perbedaan variasi nilai kecepatan gelombang geser tiap lintasan disebabkan oleh jenis material bawah permukaan serta vegetasi lingkungan lokasi daerah penelitian.

Pada proses inversi ini juga diperoleh nilai AVS30 atau disebut juga sebagai Nilai V_{s30} rata-rata. Nilai ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam mengklasifikasikan *site class* lokasi penelitian dari masing-masing lintasan. Lintasan P1, P2 dan P3 secara berurutan memiliki nilai AVS30 261,9 m/s, 275,4 m/s dan 292,7 m/s. Lebih jelasnya masing-masing lintasan diklasifikasikan sebagai *site class* D. Klasifikasi ini berdasarkan NERHP (*Federal Emergency Management Agency*) (2003) pada Tabel 2.2 yang telah banyak digunakan dalam perencanaan bangunan gedung maupun non-gedung. *Site class* D menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian didominasi oleh tanah sedang (*stiff soil*).

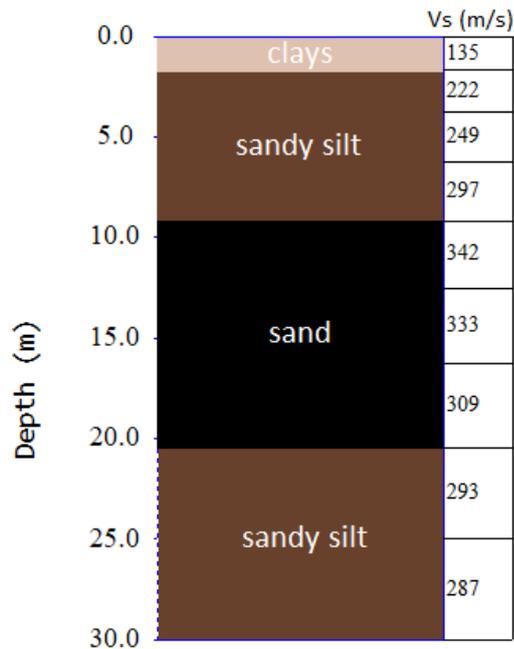
IV.1.5 Profil Bawah Permukaan Tanah

Profil bawah permukaan tanah ditentukan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser yang kemudian disesuaikan dengan Tabel 2.1 tentang nilai V_s pada berbagai jenis material bawah permukaan sebagai acuan. Pada Gambar 4.19, 4.20 dan 4.21

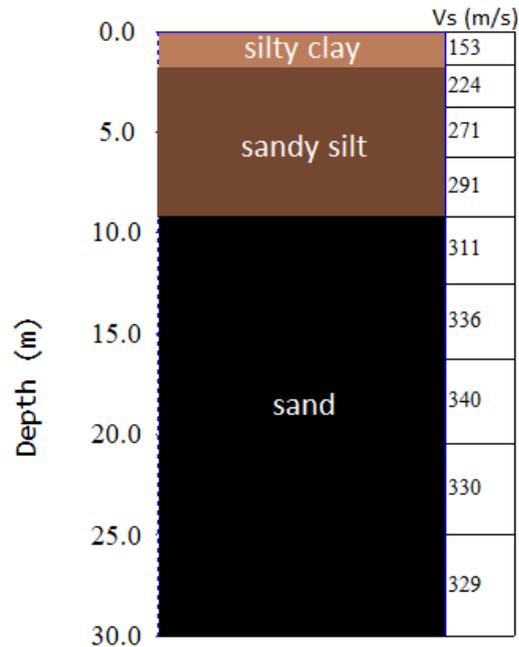
menunjukkan jenis material bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman pada lintasan P1, P2, dan P3.



Gambar 4.19 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan P1.



Gambar 4.20 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan P2.



Gambar 4.21 Profil bawah permukaan tanah pada lintasan P3.

Berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh dapat diketahui bahwa lokasi penelitian memiliki sebaran lapisan material yang beragam. Keberagaman lapisan tersebut dapat dilihat dari perbedaan hasil interpretasi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) bawah permukaan. Hasil interpretasi nilai kecepatan gelombang geser didapatkan jenis material bawah permukaan pada daerah penelitian sesuai dengan geologi regionalnya yakni Formasi Camba.

IV.2 Analisis Nilai Daya Dukung Tanah

Daya dukung (q_u) tanah merupakan kemampuan tanah dalam menopang beban di atasnya berupa gedung maupun non-gedung. Nilai q menjadi salah satu parameter yang digunakan dalam bidang geoteknik untuk dijadikan sebagai pertimbangan dalam membuat perencanaan pembangunan seperti pondasi. Sedangkan, nilai daya dukung izin (q_a) merupakan nilai daya dukung yang diizinkan untuk

dibangun di atas tanah. Secara mendasar q_u merupakan daya dukung yang dimiliki tanah, sedangkan q_a merupakan nilai daya dukung tanah yang telah dibagi dengan faktor keamanan sehingga nilai tersebut dapat menjadi acuan dan pertimbangan dalam bidang geoteknik.

Berdasarkan kecepatan gelombang geser yang diperoleh maka dapat ditentukan besar kapasitas daya dukung tanah berdasarkan Persamaan 2.14 (unit berat), 2.13 (daya dukung batas), dan 2.15 (daya dukung izin). Besar rata-rata kapasitas daya dukung tanah serta bisa atau tidaknya konstruksi bangunan pada masing-masing lintasan ditunjukkan pada Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3 berikut.

Tabel 4.1 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan P1

No.	Jenis Material	Unit Berat (kN/m ³)	Daya dukung Batas (q_u) (kN/m ²)	Daya Dukung Izin (q_a) (kN/m ²)	Ket
1.	<i>Clay</i>	14,11181755	23,99008984	5,997522459	Aman
2.	<i>Silty Clay</i>	15,92237756	33,43699287	8,359248218	Aman
3.	<i>Sandy Silt</i>	17,52652134	94,64321526	23,66080382	Aman
4.	<i>Sand</i>	18,20097754	129,2269405	32,30673513	Rentan
5.	<i>Sandy Silt</i>	17,73446425	242,9621602	60,74054006	Aman

Tabel 4.2 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan P2

No.	Jenis Material	Unit Berat (kN/m ³)	Daya dukung Batas (q_u) (kN/m ²)	Daya Dukung Izin (q_a) (kN/m ²)	Ket
1.	<i>Clay</i>	14,65722983	24,91729071	6,229322677	Aman
2.	<i>Sandy Silt</i>	17,2	129	32,25	Aman

3.	<i>Sands</i>	18,29940279	204,9533112	51,23832781	Rentan
4.	<i>Sandy Silt</i>	17,74467114	170,348843	42,58721074	Aman

Tabel 4.3 Nilai kapasitas daya dukung tanah lintasan P3

No.	Jenis Material	Unit Berat (kN/m ³)	Daya dukung Batas (qu) (kN/m ²)	Daya Dukung Izin (qa) (kN/m ²)	Ket
1.	<i>Silty clay</i>	15,12311704	25,70929897	6,427324743	Aman
2.	<i>Sandy silt</i>	17,2999074	129,7493055	32,43732637	Aman
3.	<i>Sands</i>	18,31611713	380,9752364	95,24380909	Rentan

Nilai daya dukung tanah yang diperoleh dari hasil identifikasi dan analisis gelombang geser yaitu Lintasan P1 dengan variasi nilai qa: 5,99- 60,74 kN/m². Lintasan P2 dengan variasi nilai qa: 6,22-51,63 kN/m². Lintasan P3 dengan variasi nilai qa: 6,42-95,24 kN/m².

Berdasarkan hasil interpretasi nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh untuk lintasan P1 sampai lintasan P3 pada tabel diatas, diperlihatkan bahwa nilai kapasitas daya dukung tanah untuk masing-masing lintasan hingga kedalaman 9,2 m yang terdiri dari lapisan lempung (*clay*), lempung berlanau (*silty clay*), serta lanau berpasir (*sandy silt*) memiliki variasi nilai mulai dari 5,99-32,43 kN/M². Secara teori berdasarkan Tabel 2.3, nilai batas aman daya dukung untuk berbagai jenis material minimal untuk endapan *clay* dan *silts* sebesar 1 kN/m² dan nilai kapasitas daya dukung tanah maksimal sebesar 75 kN/m². Sehingga kapasitas daya dukung tanah pada daerah penelitian tersebut hingga kedalaman 9,2 m bisa dikatakan aman terhadap keruntuhan.

Berdasarkan hasil interpretasi nilai kapasitas daya dukung tanah tersebut, disarankan untuk membangun sebuah bangunan dengan dibatasi hingga kedalaman 9,2 m sebagai kedalaman yang ideal dalam investigasi geoteknik pada lokasi penelitian. Dikarenakan kedalaman lebih dari 9,2 m dijumpai material pasir (*sand*) yang memiliki variasi nilai mulai dari 32,3-95,24 kN/M². Secara teori berdasarkan Tabel 2.3, nilai batas aman daya dukung untuk berbagai jenis material minimal untuk endapan *sand* sebesar 100 kN/m² dan nilai kapasitas daya dukung tanah maksimal sebesar 300 kN/m². Sehingga pada kedalaman lebih dari 9,2 m yang bermaterial *sand* dianggap kurang baik atau rentan untuk menunjang kapasitas daya dukung tanah kondisi keamanan bangunan terhadap keruntuhan.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser diperoleh hasil identifikasi struktur per lapisan bawah permukaan tanah pada lintasan P1 terdiri dari *clay; silty clay; sandy silt & sands* dengan nilai Vs berada pada rentang 116-324 m/s. Kemudian pada lintasan P2 terdiri dari Sedangkan Pada Lintasan P2 *clay; sandy silt & sands* dengan nilai Vs berada pada rentang 135-342 m/s. Sedangkan pada lintasan P3 terdiri dari *silty clay; sandy silt & sand* dengan nilai Vs berada pada rentang 153-340 m/s hingga kedalaman 30 m.
2. Nilai daya dukung tanah yang diperoleh dari hasil identifikasi dan analisis gelombang geser yaitu Lintasan P1 dengan variasi nilai q_a : 5,99-60,74 kN/m², Lintasan P2 dengan variasi nilai q_a : 6,22-51,63 kN/m², dan Lintasan P3 dengan variasi nilai q_a : 6,42-95,24 kN/m². Dengan nilai tersebut, lokasi penelitian dianggap layak untuk membangun (aman dari keruntuhan) hingga kedalaman 9,2 m.

V.2 Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya ialah:

1. *Picking* dispersi sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh dalam analisis gelombang geser. Sehingga perlu kajian lebih mendalam mengenai proses penentuan titik *picking* dalam menunjang hasil yang ingin dicapai dengan membandingkan hasil data dengan menggunakan *software* yang lain.
2. Dalam tahap persiapan konstruksi diperlukan beberapa parameter untuk dapat melanjutkan tahap pembangunan, oleh karena itu perlu data penunjang lainnya yang dapat mendukung data daya dukung tanah yang telah diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Akyas. (2007). *Pemodelan Gelombang Seismik Untuk Memvalidasi Interpretasi Data Seismik Refraksi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Bathia, A. D. (1986). *Mechanics Of Deformable Media*. Bristol, England: University of Sussex Press.
- Bundang, S. (2020). *Analisis Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Mekanika Tanah Dan Geofisika Untuk Pengembangan Area Pemukiman Di Desa Watang Pulu, Kecamatan Suppa, Kabupaten Pinrang*. Gowa: *Universitas Hasanuddin*.
- Das, B. M., & Ramana, G. V. (2010). *Principles of Soil Dynamics (Second Edi)*. Cengage Learning.
- Daud, A. G., Piter, & Andrianus. (2021). Interpretasi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Pada Lapisan Bawah Permukaan Daerah 'X' Dengan Metode Seismik Masw (Multichannel Analysis of Surface Wave). *Jurnal Geofisika Kutai Basin*, 4(1), 1-6.
- Evans, B. J. (1997). *A Handbook for Seismic Data Acquisition in Exploration*. Tulsa, U.S.A: Society of Exploration Geophysicists
- Federal Emergency Management Agency. (2003). *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450)*. In Part 1 (Issue Fema 450). FEMA. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2013.09.005>
- Ferdian, F., Jafri, M, & Iswan. (2015). Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan dan Daya Dukung Tanah Lempung Organik. *JRSDD*, 3(1), 145-156
- Foti, S. (2000). Multistation methods for geotechnical characterization using surface waves. Politecnico Di Torino Ph D Dissertation, 42, 315–323. http://www2.polito.it/ricerca/soilmech/sasw/SF_PhD_diss.pdf

- Foti, S., Lai, C., Rix, G. J., & Strobbia, C. (2014). Surface Wave Methods for Near-Surface Site Characterization. In Surface Wave Methods for NearSurface Site Characterization. <https://doi.org/10.1201/b17268>
- Hartantyo, E. D. (2010). Analysis On MASW Near and Far Offset at High Vs Velocity Limestone. International Conferences Of HAGI-SEG Joint Convention. Bali: HAGI-SEG.
- Heraclio, B., Lopez, P., & Salgado, R. (2009). *Geotechnical Engineering Related papers A Method For Accounting For Pile Set up and Relaxation in Pile Design and Quality Assurance.*
- Kuo, Y. L., Jaksa, M. B., Scott, B. T., Bradley, A. C., Power, C. N., Crisp, A. C., & Jiang, J. H. (2013). Assessing the effectiveness of rolling dynamic compaction. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovations in Geotechnics, ICSMGE 2013, 2(April 2015), 1309–1312.
- Laksono, A., Rasimeng, S., & Rustadi. (2018). Interpretasi Nilai Kecepatan Gelombang Geser (Vs30) Menggunakan Metode Seismik Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Untuk Memetakan Daerah Rawan Gempa Bumi di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* Vol. 3/No. 3.
- Maemunah. (2018). Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pondasi Jembatan di Desa Lembar Kecamatan Lembar (NTB) Menggunakan Metode Seismik. Universitas Mataram.
- Nasri, M. (2020). Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (Masw). *Makassar: Universitas Hasanuddin*
- Olafsdottir, E. A., Bessason, B., & Erlingsson, S. (2018). Combination of dispersion curves from MASW measurements. *Soil Dynamics and*

Earthquake Engineering, 113(May), 473–487.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.05.025>

Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1998). Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record. 1998 SEG Annual Meeting. <https://doi.org/10.1190/1.1820161>

Park, C., Miller, R., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 800-808.

Park, C. B., Miller, R. D., & Miura, H. (2002). Optimum Field Parameters of An MASW Survey. *Proceeding Society of Exploration Geophysics*, (pp. 2223). Tokyo, Japan.

Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW) - active and passive methods. *The Leading Edge*.

Reata, M. (2021). Studi Stratigrafi Bawah Permukaan Kampus Universitas Hasanuddin Menggunakan Data Geofisik. *Makassar: Universitas Hasanuddin*

Rosyidi. (2004). Modul I Aplikasi Teknologi Bidang Transportasi Prosedur Pengukuran Lapangan Metode Spectral Analysis of Surface Waves (SASW) Pada Perkerasan Jalan. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Rosyidi, S. A. (2005). Analisis Parameter Kecepatan Teoritik Dan Nilai Beda Fase Gelombang *Rayleigh* Lapisan Aspal Perkerasan Jalan Berdasarkan Teori Perambatan Gelombang Pada Media Yang Homogen Dan Isotropik. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 8 (1), 88 –101.

Rosyidi, S. A. (2013). Analisis Gelombang Permukaan. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

- Rosyidi, S. A. (2015). Pemetaan Daya Dukung Tanah Dan Diskontinuitas Struktur Tanah Dasar Menggunakan Metode Multi Channel Analysis of Surface Waves (MASW). Seminar Nasional Teknik Sipil V, 161–169.
- Roy, S., & Kumar Bhalla, S. (2017). *Role of Geotechnical Properties of Soil on Civil Engineering Structures Assessment of plant species for the reclamation of gold mill tailings dumps and impacts of mill tailings on agriculture lands at Kolar Gold Fields View project Role of cement and fly ash in soil stabilization View project Role of Geotechnical Properties of Soil on Civil Engineering Structures*. 7(4), 103–109.
- Rusydy, I., Jamaluddin, K., Fatimah, E., Syafrizal, & Andika, F. (2016). Studi Awal: Analisa Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Pada Cekungan Takengon Dalam Upaya Mitigasi Gempa Bumi. *Jurnal Teknik Sipil*, 6, 1-12.
- Saenger, E. H., Schmalholz, S. M., Lambert, M.-A., Nguyen, T. T., Torres, A., Metzger, S., . . . Mendez-Hernandez, E. (2009). A Passive Seismic Survey Over A Gas Field: Analysis Of Low-Frequency Anomalies. *Geophysics*, 74, 29-40.
- Samsuddin, E., P. (2021). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (Masw). *Makassar: Universitas Hasanuddin*.
- Shearer, P. M. (2009). *Introduction To Seismology 2nd Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell Publishing.
<http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=-z80yrwFsqoC&pgis=1>
- Sheriff, R. E., & Geldart, L. P. (1995). *Exploration Seismology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Susilawati. (2008). Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi. Universitas Sumatera Utara.

- Syihab, M., F. (2021). Evaluasi Kompaksi Tanah Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (Masw). *Makassar: Universitas Hasanuddin*.
- Tezcan, S. S., & Ozdemir, Z. (2012). Allowable Bearing Pressure in Soils and Rocks through Seismic Wave Velocities. *Earth Science Research*, 1(1), 98–108. <https://doi.org/10.5539/esr.v1n1p98>
- Utami, H. A. (2016). Perbandingan Pre Stack Depth Migration dan Post Stack Depth Migration Data Seismik Marine di Wilayah Perairan Vietnam. Universitas Lampung.
- UWE Bristol Environment. (2015). *Presumed bearing values*. Retrieved Mei 30, 2022, from UWE Bristol UK Environment: <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/foundations/founbear.htm>
- Valeria, R., Zaenudin, A., & Sulaeman, C. (2019). Karakteristik Tanah di Daerah Cekungan Bandung berdasarkan Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30}) dengan Metode MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave). *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 3(1), 1–12.
- Xia, J., Miller, R. D., Park, C. B., Harris, J. B., & Hunter, J. A. (2000). Comparing Shear-wave Velocity Profiles From MASW Technique With Borehole Measurements In Unconsolidated Sediments Of The Fraser River Delta. *Journal Environment Engineers Geophysics*, 848-870.
- Yuspancana, B. D., Purwanto, M. S., Bahri, A. S., & Utama, W. (2019). Integrasi Data Resistivitas 2D Dengan Parameter Fisis Dan Mekanis Tanah Untuk Evaluasi Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Ruas Jalan Kawasan Jiipe, Manyar, Gresik). *Jurnal Geosaintek*, 5(2), 84.

LAMP IRAN

Lampiran Hasil Pengolahan Data

Tabel 1. Data Hasil Penelitian Lintasan P1

No.	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Vs (m/s)	Unit berat (kN/m ³)	Daya Dukung Batas (Qu) (kN/m ²)	Faktor Keamanan (n)	Daya Dukung Izin (Qa) (kN/M ²)
1.	1,7	1,7	120	14,23192895	24,19427922	4	6,048569806
2.	3,8	2,1	188	15,92237756	33,43699287	4	8,359248218
3.	6,3	2,5	253	17,52652134	94,64321526	4	23,66080382
4.	9,2	2,9	287				
5.	12,5	3,3	311	18,20097754	129,2269405	4	32,30673513
6.	16,3	3,8	299	17,73446425	242,9621602	4	60,74054006
7.	20,4	4,1	281				
8.	25,0	4,6	271				
9.	30	5	268				

Tabel 2. Data Hasil Penelitian Lintasan P2

No.	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Vs (m/s)	Unit berat (kN/m ³)	Daya Dukung Batas (Qu) (kN/m ²)	Faktor Keamanan (n)	Daya Dukung Izin (Qa) (kN/M ²)
1.	1.7	1.7	135	14.65722983	24.91729071	4	6.229322677
2.	3.8	2.1	222	17.2	129	4	32.25
3.	6.3	2.5	249				
4.	9.2	2.9	297				
5.	12.5	3.3	342	18.29940279	204.9533112	4	51.23832781
6.	16.3	3.8	333				
7.	20.4	4.1	309				
8.	25	4.6	293	17.74467114	170.348843	4	42.58721074
9.	30	5	287				

Tabel 3. Data Hasil Penelitian Lintasan P3

No.	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Vs (m/s)	Unit berat (kN/m ³)	Daya Dukung Batas (Qu) (kN/m ²)	Faktor Keamanan (n)	Daya Dukung Izin (Qa) (kN/M ²)
1.	1.7	1.7	153	15.12311704	25.70929897	4	6.427324743
2.	3.8	2.1	224	17.2999074	129.7493055	4	32.43732637
3.	6.3	2.5	271				
4.	9.2	2.9	291				
5.	12.5	3.3	311	18.31611713	380.9752364	4	95.24380909
6.	16.3	3.8	336				
7.	20.4	4.1	340				
8.	25	4.6	330				
9.	30	5	329				