

INTERPRETASI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_s) PADA LAPISAN BAWAH PERMUKAAN DAERAH 'X' DENGAN METODE SEISMIK MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE)

¹Anye Gidalti Daud, ²Piter*, ³Adrianus

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman

²Laboratorium Geofisika FMIPA, Universitas Mulawarman

³Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika FMIPA, Universitas Mulawarman

*Email : pit.lepong@gmail.com

ABSTRACT

MASW or *Multichannel Analysis of Surface Wave* is a seismic method that utilizes the dispersive property of surface wave to interpret surface wave velocity which is directly related to the stiffness of a subsurface layer reaching 30 meters depth that beneficial in the *geoengineering* field. The goal of this research is to interpret shear wave velocity of subsurface layer in an area to inform the stiffness level of - subsurface layer through shear wave velocity and depth profiling. The steps of this research are converting seismic raw data into numeric data, generating dispersion image, extracting dispersion curve from dispersion image and analyzing dispersion curve by theoretical and experimental data.

Based on analysis results, shear wave velocity obtained up to 170m/s with 16 meters investigation depth. Whereas *fundamental mode* frequency of Rayleigh wave between 2 – 12 Hz. Low shear wave velocity (<180 m/s) of investigated area indicates that the subsurface layer dominated with soft soil which is an early sediment in the shape of alluvium layer and has high seismic wave amplification that hazardous for building build upon the layer.

Keyword : Rayleigh Wave, Dispersion Curve, Density, Shear Wave.

ABSTRAK

MASW atau *Multichannel Analysis of Surface Wave* adalah suatu metode seismik yang memanfaatkan sifat dispersif dari gelombang permukaan untuk menginterpretasi kecepatan gelombang permukaan yang berhubungan langsung dengan kekakuan dari lapisan bawah tanah yang mencapai kedalaman hingga 30 meter yang bermanfaat dalam bidang geoteknik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menginterpretasi kecepatan gelombang geser dari lapisan bawah tanah pada suatu daerah untuk menjelaskan tingkat kekakuan lapisan bawah tanah tersebut lewat profiling kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman.

Berdasarkan hasil analisa, kecepatan gelombang geser didapatkan hingga 170 m/s dengan kedalaman investigasi sampai 16 meter, dimana frekuensi *fundamental mode* dari gelombang Rayleigh antara 2-12 Hz. Rendahnya kecepatan gelombang geser (<180 m/s) dari daerah investigasi mengindikasikan bahwa lapisan permukaan bawah tanah didominasi dengan tanah lunak yang merupakan sedimen awal dalam bentuk lapisan alluvium dan memiliki amplifikasi gelombang seismik yang besar sehingga sangat berbahaya untuk bangunan yang dibangun diatas lapisan tersebut.

Kata Kunci: Gelombang Rayleigh, Kurva Dispersi, Densitas, Gelombang Permukaan.

1. PENDAHULUAN

Metode seismik memanfaatkan gelombang seismik yang menjalar ke dalam kerak bumi. Dalam prinsipnya, gelombang seismik dihasilkan oleh sumber impulsif atau mekanisme lain yang menembus ke dalam lapisan tanah pada daerah yang akan di analisa sifat sifat fisisnya, dan menghasilkan gelombang yang refraktif dan reflektif yang kemudian diterima oleh geophone. Berdasarkan waktu penjalaran gelombang dari jarak sumber dan geophone, dapat direkonstruksi penggambaran dari lapisan bawah permukaan yang berkaitan dengan kecepatan gelombang didalam medium. Dari informasi yang didapat maka dapat diperkirakan tingkat kekerasan dan kekakuan dari medium tersebut (Santoso, 2002).

Suatu metode yang disebut MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), memeriksa gelombang permukaan pada frekuensi yang lebih rendah berkisar dari 1 sampai 30 Hz, dan mencapai kedalaman dari sepuluh hingga puluhan meter. Metode ini memanfaatkan sifat-sifat dispersi gelombang permukaan yang melewati medium dengan mengekstrak data gelombang Rayleigh kedalam domain frekuensi – kecepatan fasa (Park, 1998).

MASW dapat menjadi suatu metode alternatif untuk investigasi geo-engineering karena keuntungan – keuntungannya, antara lain: biaya yang lebih murah, pemrosesan dan akuisisi data yang lebih mudah, dan menyajikan kecepatan gelombang geser yang secara langsung berhubungan dengan modulus geser elastik tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dan mengklasifikasi lapisan bawah permukaan daerah penelitian.

2. DASAR TEORI

2.1 Teori Elastisitas

Metode seismik memanfaatkan penjalaran gelombang melalui lapisan bumi, dan penjalaran ini bergantung pada sifat sifat elastis dari batuan. Ukuran dan bentuk

medium padat dapat diubah dengan menerapkan gaya pada permukaan eksternal dari medium tersebut. Gaya eksternal ini dilawan oleh gaya internal yang menahan perubahan bentuk dan ukuran medium tersebut. Sehingga, medium tersebut cenderung berubah kembali ke keadaannya semula ketika gaya eksternal tersebut hilang. Mirip dengan fluida yang menahan perubahan ukuran (volume) tetapi tidak dengan bentuk. Sifat sifat melawan perubahan bentuk atau ukuran dan kembali pada keadaan semula saat gaya eksternal hilang ini disebut *elastisitas*.

Teori tentang elastisitas berhubungan dengan gaya yang diterapkan yang menghasilkan perubahan ukuran dan bentuk. Hubungan antara gaya dan deformasi dapat dijelaskan dalam konsep *stress* (tekanan) dan *strain* (tegangan) (Telford, 1990).

2.2 Stress dan Strain

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan area. Saat suatu gaya diterapkan pada suatu medium, rasio gaya tersebut pada suatu area dimana gaya tersebut diterapkan disebut dengan *Stress*. Ketika gaya tegak lurus terhadap area, *stress* ini disebut sebagai *normal stress (pressure)* dan ketika gaya tersebut tangensial terhadap area, *stress* ini disebut sebagai *shearing stress*.

Ketika suatu medium elastik diberikan suatu tekanan (*stress*), maka perubahan pada bentuk dan dimensi terjadi. Perubahan ini, dinamakan *strains* (tegangan). (Telford, 1990).

2.3 Modulus Elastik

Hubungan linear antara tegangan dan regangan dalam bidang elastik untuk setiap jenis material dibedakan oleh bermacam-macam modulus elastik material tersebut, dan masing masing menyatakan rasio dari suatu tegangan terhadap regangan resultannya. Modulus Young (E) adalah rasio antara *stress* dan *strain* secara longitudinal yang didefinisikan dengan:

$$E = \frac{\text{longitudinal stress } F/A}{\text{longitudinal strain } \Delta l/l} \quad (1)$$

Rasio antara regangan lateral dan longitudinal dikenal sebagai *Poisson's ratio* yang didefinisikan dengan:

$$\sigma = \frac{-\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}} = \frac{\lambda'}{2(\lambda' + \mu)} \quad (2)$$

Sementara rasio antara tegangan dan regangan dalam dimensi volume disebut dengan *Bulk Modulus* yang didefinisikan dengan:

$$K = \frac{\text{volume stress } P}{\text{volume strain } \Delta v/v} \quad (3)$$

2.4 Gelombang Seismik

Secara umum, gelombang seismik dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gelombang badan dan gelombang permukaan. Gelombang badan dibagi menjadi 2 jenis; gelombang P dan gelombang S. dimana gelombang P (V_p) merupakan gelombang longitudinal dan gelombang S (V_s) merupakan gelombang transversal yang dapat didefinisikan dengan:

$$v_p = \left[\frac{K + 4/3\pi}{\rho} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$v_s = \left[\frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Sementara gelombang permukaan merupakan gelombang S yang mencapai permukaan tak hingga. (Yilmaz, 2001)

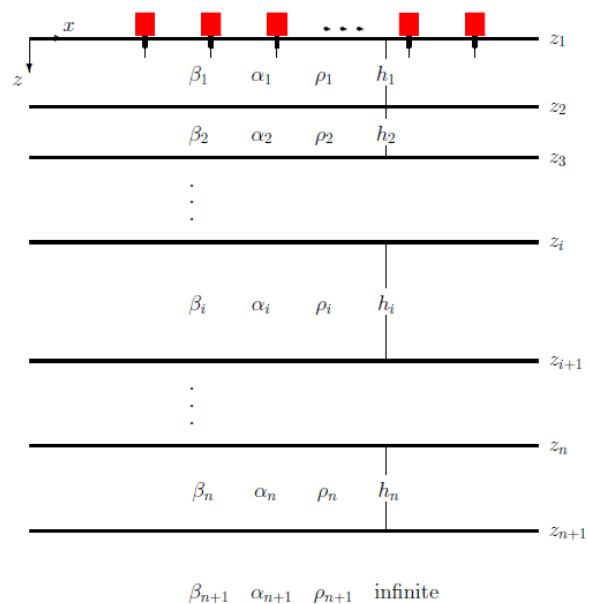
2.5 Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)

Metode ini disebut dengan *Multichannel Analysis of Surface Wave* yang memanfaatkan sifat-sifat dispersi dari gelombang permukaan, khususnya gelombang Rayleigh untuk mendapatkan profil kecepatan bawah permukaan yang digunakan untuk menyelidiki lapisan bawah permukaan pada daerah yang diteliti. (Park, 1998)

Pengolahan data dalam MASW menggunakan metode *phase-shift* (Olafsdottir, 2016) dimana transformasi *Fourier* diterapkan pada rekaman seismik untuk merubah domain waktu kedalam domain frekuensi dan transformasi *Fourier* dapat dituliskan dengan:

$$U(x, \omega) = \int u(x, t) e^{i\omega t} dt \quad (6)$$

Rekaman seismik yang telah ditransformasi kemudian diinversi dengan menggunakan model bumi berlapis yang mengasumsikan struktur bidang berlapis dengan sumbu x - z . Dimana sumbu x positif dianggap paralel dengan arah perambatan gelombang dan sumbu z positif kearah bawah. Selain itu, masing-masing lapisan tanah diasumsikan berbidang rata dan memiliki sifat-sifat homogen dan isotropik. Lapisan tanah yang pertama dan paling atas merupakan permukaan bumi ($z = z_1 = 0$). Jumlah lapisan dinotasikan dengan n . Lapisan terakhir (disebut dengan lapisan $n + 1$) dianggap sebagai *half-space* (Olafsdottir, 2016).



Gambar 1. Model Bumi Berlapis.

Untuk model bumi berlapis (gambar 1), kurva dispersi gelombang Rayleigh dapat dihitung dengan metode Knopoff. Kecepatan fase gelombang Rayleigh, c_q , ditentukan oleh suatu persamaan $F_{R,q}$ dalam bentuk implisit, nonlinear nya (Xia et. Al., 1999):

$$F_{R,q}(k_q, c_q, \beta, \alpha, \rho, h) = 0; q = 1, \dots, Q \quad (8)$$

Dimana

Q = jumlah titik komputasi

n = jumlah lapisan pada model

c_q = kecepatan fase gelombang R

k_q = nomor gelombang pada F_q

$$k_q = \frac{2\pi f_q}{c_q} = \frac{\omega_q}{c_q} \quad (7)$$

ω_q = frekuensi angular pada q

f_q = frekuensi pada titik q

β = vektor kecepatan gelombang S

α = vektor kecepatan gelombang P

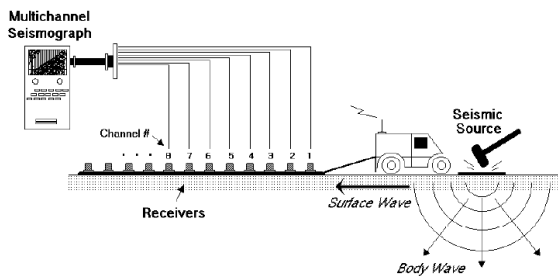
ρ = vektor densitas

h = vektor ketebalan lapisan

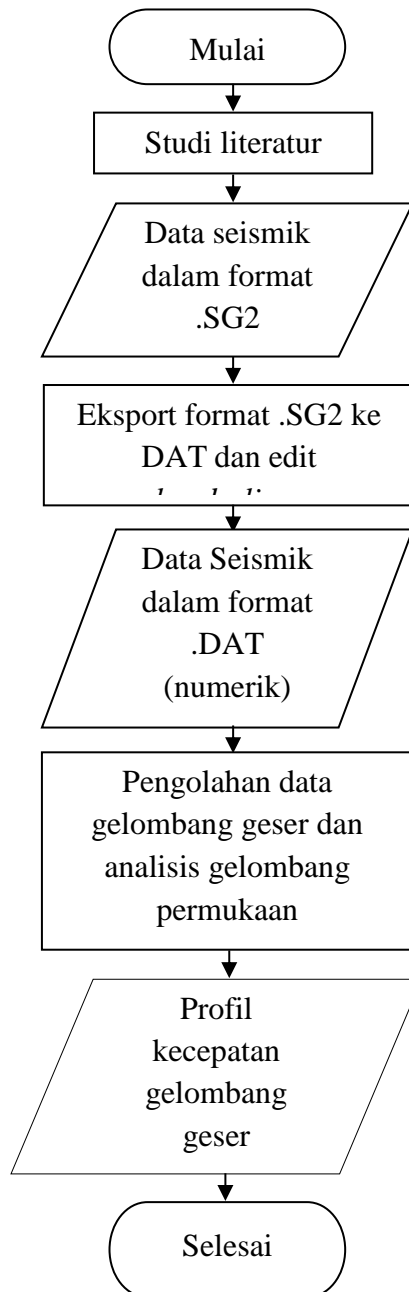
2.6 Metodologi Penelitian

Waktu penelitian ini berlangsung mulai bulan Desember hingga Oktober di Laboratorium Geofisika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika, Universitas Mulawarman.

Beberapa software digunakan untuk mengolah data seismik untuk metode MASW; yaitu: VibraScope yang digunakan untuk meng-*export* data rekaman seismik dari format .SG2 menjadi .CSV; Surfer 14 yang digunakan untuk meng-*export* format data .CSV menjadi .DAT yang merupakan format numerik dan merubah *headerlines*; MASWaves yang digunakan untuk pengolahan data gelombang permukaan. Data yang digunakan diambil merupakan trace trace seismik dengan panjang array 69 meter, 24 *geophone* vertical berfrekuensi 4,5 Hz, jarak antar *geophone* 3 meter dan jarak *offset* 15 meter.



Gambar 3 Ilustrasi akuisisi data MASW

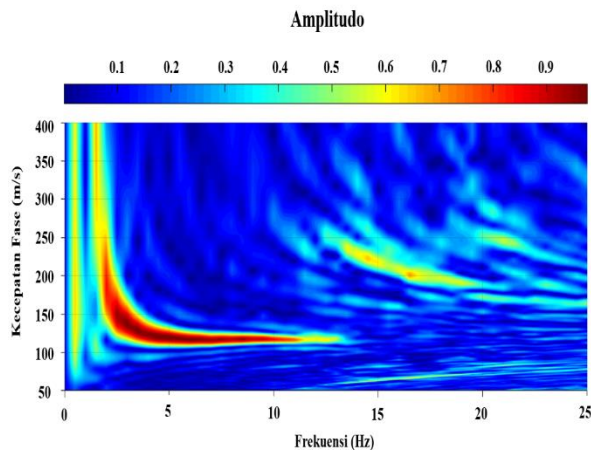


Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penggambaran Dispersi

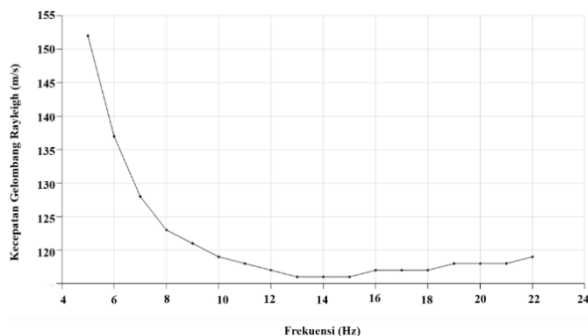
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari daerah X dalam format .sg2. *Trace – trace* seismik dalam domain waktu dikonversi kedalam domain frekuensi-kecepatan fase dengan menerapkan FFT (*Fast Fourier Transform*) kepada sinyal, hal ini memungkinkan *fundamental mode* dari sinyal untuk di-*pick*.



Gambar 4. Gambar dispersi

Gambar dispersi menunjukkan rentang *fundamental mode* (mode dasar) yang berkisar pada frekuensi 2 sampai 12 Hz pada sumbu x dan kecepatan fase gelombang Rayleigh yang berkisar antara 110 hingga 250 m/s pada sumbu y.

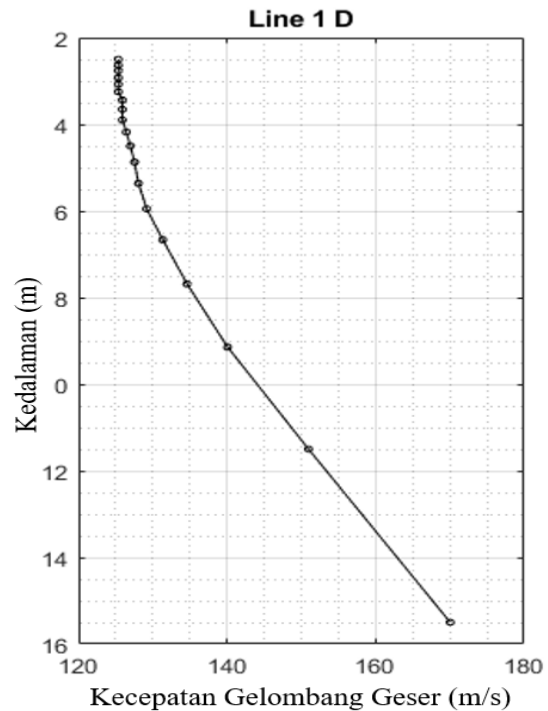
3.2 Kurva Dispersi



Gambar 5. Kurva dispersi

Kurva dispersi merupakan hasil ekstraksi *fundamental mode* dari gambar dispersi gelombang Rayleigh. Dimana pada kurva dispersi terlihat jelas rentang frekuensi *fundamental mode* dan kecepatan fase gelombang Rayleigh, rentang frekuensi menentukan panjang gelombang yang kemudian menentukan kedalaman penetrasi gelombang permukaan dan kecepatan fase gelombang Rayleigh yang menentukan kecepatan penjalaran gelombang geser (V_s).

3.3 Profiling Kecepatan Gelombang Geser Terhadap Kedalaman



Gambar 6. Profil 1D Kecepatan Gelombang Geser Terhadap Kedalaman

Profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman menunjukkan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 16 meter sekitar 170 m/s. Kecepatan meningkat secara konstan mulai dari kedalaman 10 sampai kedalaman 16 meter mengindikasikan lapisan bawah permukaan yang homogen tanpa perbedaan yang signifikan. Berdasarkan standar ASCE 2010, tanah pada daerah ini masuk dalam kategori tanah lunak (SE) yang berumur muda (sedimen) dengan kecepatan penjalaran gelombang geser (V_s) dibawah 175 m/s dan ketebalan ± 16 meter dengan kuat geser < 25 kPa. Hal ini dibuktikan dengan tempat akuisisi data yang berupa daerah sawah yang sudah kering.

4. KESIMPULAN

Dari interpretasi kecepatan gelombang V_s di atas dapat dilihat bahwa daerah akuisisi data merupakan daerah yang memiliki amplifikasi gelombang seismik yang besar, sehingga sangat berbahaya untuk mendirikan bangunan tanpa pondasi yang

sampai pada batuan dasar (*bed rock*). Dalam hal ini, batuan dasar pada daerah penelitian dapat dipastikan berada pada kedalaman >18 meter karena kecepatan gelombang geser (V_s) hingga kedalaman yang terukur tidak mencapai 1500 m/s. Kedalaman penetrasi tidak mencapai target 30 meter yang dapat disebabkan oleh beberapa parameter yang tidak cocok (Park dkk. 2002), yaitu panjang lintasan dan jarak antar *geophone* dengan berat beban impulsif yang digunakan untuk menciptakan gelombang seismik.

Berdasarkan hasil penelitian, daerah penelitian masuk dalam klasifikasi tanah lunak berdasarkan profil kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman dan memiliki nilai amplifikasi gelombang yang tinggi dan *bedrock* (batuan dasar) berada pada kedalaman lebih dari 16 meter.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar besarnya kepada Bapak Drs. Piter Lepong, M.Si sebagai dosen pembimbing I, Bapak Dr. Adrianus Inu Natalisanto, M.Si sebagai dosen pembimbing II, juga kepada Bapak Suhadi Mulyono, M.Si dan Bapak Dr.Eng. Idris Mandang, M.Si sebagai dosen penguji I dan II. Penulis juga tidak lupa mengucapkan banyak terimakasih kepada Bang Ruslan Hasani, S.Si, Suryadi, S.Si, Youvenalis Di'ong Ladjar, S.Si, dan Achmad Fatoni R.,S.Si yang sudah membantu, memberi saran dan juga masukan yang berarti.

6. DAFTAR PUSTAKA

Askari, Roohollah dkk. 2011. *Estimation of phase and group velocities for multi-modal ground roll using the 'phase-shift' and 'slant-stack generalized S transform based' methods*. CREWES Research Report Vol 23

Kearey, Philip dkk. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration 3rd Edition*. Oxford: Blackwell Publishing

Miller, Richard, dkk. 1999. *Multichannel Analysis of Surface Wave to Map Bedrock*. Kansas: Kansas Geological Survey

Olafsdottir, Elin Asta. 2016. *Multichannel Analysis of Surface Waves for assessing soil stiffness*. Reykjavik: Faculty of Civil and Environmental Engineering

Park, Choon B dkk. 2005. *Combined Use of Active and Passive Surface Waves*. Journal of Engineering and Environmental Geophysics

Park, Choon B dkk. 1998. *Multichannel Analysis of Surface Waves*. Geophysics Vol. 64 Society of Exploration Geophysicists

Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: Penerbit ITB

Sheriff, Robert E. 1995. *Exploration Seismology 2nd Edition*. New York: Cambridge University Press

Suto, Koya. 2016. *An Application of MASW Survey to Landslide Risk Area in Valjevo, Serbia*. SEG International Exposition and 86th Annual Meeting

Telford, William Murray, et al. 1990. *Applied Geophysics*. New York: Cambridge University Press

Tipler, Paul A. 2004. *Physics for Scientist and Engineers Volume II 5th Edition*. New York: W.H. Freeman and Company

Xia dkk. 1999. *Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves*. Geophysics Vol 64 Society of Exploration Geophysicists

Yilmaz, Ozdogan. 2001. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data Vol. 1*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists