

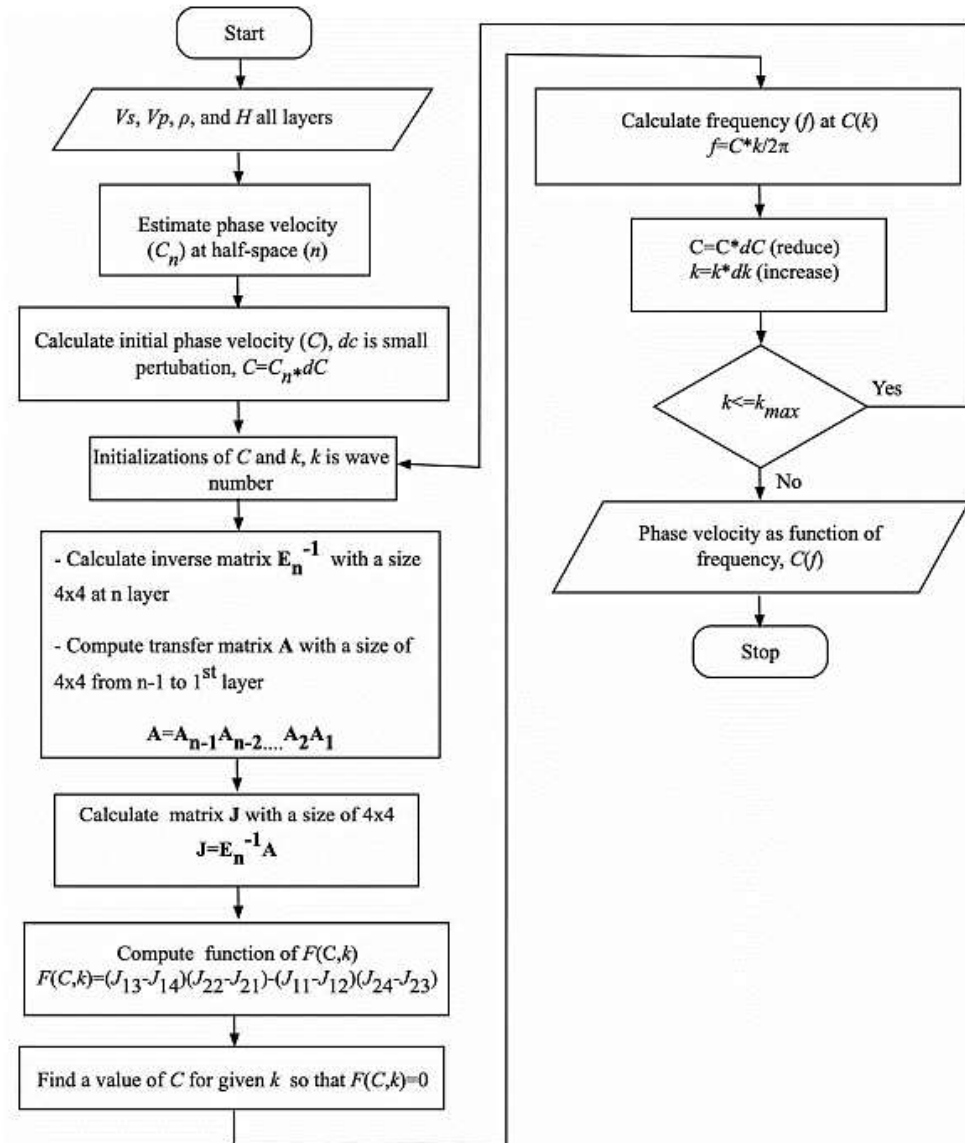
DAFTAR PUSTAKA

- Arifuddin, A. M. (2021). Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Dan Ketebalan Sedimen (H) Di Kabupaten Klaten Dari Data Mikrotremor. *Teknisia*, 52-60.
- Arimuko A., Santoso E., dan Sunardi, B. (2019). *Investigasi Kondisi Wilayah Menggunakan Studi Microtremor dan Inversi Kurva Elips dari Perbandingan Spektral Horizontal dan Vertikal (HVSR) di Sleman, Yogyakarta*. Prosiding Seminar Nasional Bumi dan Atmosfer.
- Cristanty, I. N. (2011). Slopes Stability Analysis Based On Microzonation In Bumiaji District, Batu Malang. Surabaya: Final Project Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dal Moro, G., 2014. *Surface Wave Analysis for Near Surface Applications*. Elsevier Inc.
- Dal Moro, G., Pipan. M., Gabrielli, P., 2007. *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion Via Genetic Algorithms and Marginal Posterior Probability Density Estimation*. *Jurnal Appl. Geophys.* 61, 39-55.
- Das, B. M., & Ramana, G. V. (2010). *Principles of Soil Dynamics (Second Edi)*. Cengage Learning.
- Foti, S., Lai, C. G., Rix, G. J., & Strobbia, C. (2014). *Surface wave methods for near-surface site characterization*. CRC press.
- Giancoli, D. C., Yuhilda Hanum, Irwan Arifin, translator: Hilarius Wibi Hardani, Sylvester L., Simarmata. *Fisika Jilid 2*. Editor (Erlangga, 2001).
- Grandis, H., (2009). Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Jakarta.
- Haerudin, N. H., ALAMI, F., & Rustadi, R. (2019). Mikroseismik, Mikrotremor dan *Microearthquake* dalam Ilmu Kebumihan.
- Hartantyo, E. (2004). *Metode Seismik Bias dan Pantul*. Universitas Gajah Mada.
- 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.
- Herak, M. (2008). Model HVSR—A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computers & Geosciences*, 34(11), 1514-1526.
- Ibrahim, G., & Subardjo. (2005). *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration (3rd ed.)*. London: Wiley-Blackwell.

- Kitsunezaki, C., Goto, N., Kobayashi, Y., Ikawa, T., Horike, M., Saito, T., Kurota, T., Yamane, K., & Okuzumi, K. (1990). *Estimation of P- and S-wave velocities in deep soil deposits for evaluating ground vibrations in earthquake*. *Journal of Japan Society for Natural Disaster Science*, 9(3), 1-17.
- Lowrie W., 2007. *Fundamental of Geophysics, 2 Edition*. Ed. Cmbridge University Prss, Cambridge : New York.
- Maemunah, M. (2018). *Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pondasi Jembatan Di Desa Lembar Kecamatan Lembar (NTB) Menggunakan Metode Seismik Refraksi* (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Mayne, P. W., & Rix, G. J. (1995). Correlations between shear wave velocity and cone tip resistance in natural clays. *Soils and foundations*, 35(2), 107-110.
- Nakamura, Y., (2000). Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation. JAPAN: Quarterly Report of RTRI.
- Okada, H., & Suto, K. (2003). The microtremor survey method. *Society of Exploration Geophysicists*.
- Park, C. B., Miller, R. D., Rydén, N., Xia, J., & Ivanov, J. (2005). Combined use of active and passive surface waves. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, 10(3), 323-334.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel Analysis of Surface Waves. *Geophysics*, 64(3), 800–808.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1998) *Imaging Dispersion Curves of Surface Waves On Multi-Channel Record*. 1998 SEG Annual Meeting.
- Pramatadie, A. M., Yamanaka, H., dan Chimoto, K. (2018). Determination of Shallow S-Wave Velocity Profile Using Microtremor Horizontal to Vertical Spectral Ratio and Surface S-Wave Velocity With Assumption of Linear Velocity Increase. In The 13th SEGJ International Symposium, Tokyo, Japan, 12-14 November 2019. (pp. 483-486). Society of Exploration Geophysicist and Society of Exploration Geophysicist of Japan.
- 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.
- Rosyidi, S. A. P. (2015). Pemetaan Daya Dukung Tanah Dan Diskontinuitas Struktur Tanah Dasar Menggunakan Metode Multi Channel Analysis of Surface Waves (MASW). *Seminar Nasional Teknik Sipil V*. Tahun, 2004, 161–169.

- Saifuddin. (2019). Uncertainty in Shallow S-Wave Velocity Model From Surface-wave Inversion using The Markov-chain Monte Carlo Method For Estimation of Variability in Soil Amplification. [Disertasi Doktoral, Tokyo Institute of Technology]. Tokyo Tech Research Repository. <https://t2r2.star.titech.ac.jp/rrows/file/CTT100846585/ATD100000413/>
- Scherbaum, F., Hinzen, K. G., & Ohrnberger, M. (2003). *Determination of shallow shear wave velocity profiles in the Cologne, Germany area using ambient vibrations*. *Geophysical Journal International*, 152(3), 597-612.
- SESAME. (2004). *Site Effects Assessment Using Ambient Excitations*. Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000- 00026 SESAME. Report of the WP04 H/V Technique : Empirical Evaluation.
- Shearer, P. M. (2009). *Introduction To Seismology 2nd Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Sholihan, Ahmad. 2010. *Analisis Dispersi Gelombang Rayleigh Struktur Geologi Bawah Permukaan Studi Kasus: Daerah Pasir Putih Dalegan Gresik, Surabaya* : Jurusan Fisika FMIPA.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., & Keys, D. A. (1990). *Applied Geophysics (2nd ed.)*. Cambridge University Press.
- Thompson, G. R., & Turk, J. (1997). *Introduction To Physical Geology*. Brooks Cole.
- Wang, S. Y., Shi, Y., Jiang, W. P., Yao, E. L., & Miao, Y. (2018). *Estimating Site Fundamental Period From Shear-Wave Velocity Profile*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(6), 3431–3445.
- 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.

Lampiran 1. Program Workflow



Gambar 13. Prosedur Komputasi Pemodelan Kedepan dalam Kurva Dispersi Kecepatan Fase untuk Lapisan Berlapis. Sumber : Saifuddin, 2019.

Lampiran 2. Model Teoritis Sintetik

1. Profil dua lapisan dengan kontras kecepatan tinggi

Vp	Vs	ρ	H
1512 m/s	100 m/s	2.0 kg/m ³	0 m
2178 m/s	500 m/s	2.2 kg/m ³	20 m

2. Profil tiga lapisan dengan kecepatan yang meningkat seiring kedalaman

Vp	Vs	ρ	H
1512 m/s	100 m/s	2.0 kg/m ³	10 m
2178 m/s	220 m/s	2.2 kg/m ³	20 m
1820 m/s	500 m/s	2.4 kg/m ³	0 m

3. Profil tiga lapisan yang mengandung lapisan kedua yang tebal

Vp	Vs	ρ	H
1512 m/s	100 m/s	2.0 kg/m ³	10 m
2178 m/s	220 m/s	2.2 kg/m ³	100 m
1820 m/s	500 m/s	2.4 kg/m ³	0

4. Profil tiga lapisan dengan inversi kecepatan pada lapisan kedua yang lunak

Vp	Vs	ρ	H
1512 m/s	100 m/s	2.0 kg/m ³	0 m
2178 m/s	500 m/s	2.2 kg/m ³	20 m

5. Profil yang diwakili oleh dua gradien kecepatan linear (yaitu, model bi-linear)

V ₁	V _{mid}	b ₁	b ₂	Z _{mid}	Z _B	ρ	H
100 m/s	300 m/s	10 s ⁻¹	4 s ⁻¹	20 m	70 m	1.5 kg/m ³	0.2 m

6. Profil dengan gradien kecepatan *power-law*

$$V_{s(z)} = V_1 (1+z)^{b_{pow}}$$

$$b_{pow} = 0.41$$

7. Profil dengan gradien kecepatan eksponensial

$$V_{s(z)} = V_1 \exp(bz)$$

$$b = 0.032$$

Lampiran 3. Forward Modelling Haskell 1958

Prosedur komputasi yang digunakan untuk mengestimasi kecepatan fase teoritis adalah dengan mencari nilai nol dari persamaan karakteristik (F(C,k)). Hal ini bergantung pada kecepatan fase, bilangan gelombang dan konstanta elastis (α_i , β_i , ρ_i , dan H_i) sebagaimana persamaan berikut.

$$F(C,k) = (J_{13} - J_{14})(J_{22} - J_{21}) - (J_{11} - J_{12})(J_{24} - J_{34})$$

Elemen dari matriks \mathbf{J} dengan ukuran 4×4 dibentuk dari matriks transfer ukuran 4×4 (\mathbf{A}_i) dari lapisan $n-1$ hingga lapisan pertama kemudian dikalikan dengan matriks pada lapisan *Half-space* dengan ukuran 4×4 (\mathbf{E}_n^{-1}). Hubungan matriks \mathbf{J} dengan matriks \mathbf{A} dan \mathbf{E}_n^{-1} dinyatakan oleh:

$$\mathbf{J} = \mathbf{E}_n^{-1} \mathbf{A}_{n-1} \mathbf{A}_{n-2} \dots \mathbf{A}_2 \mathbf{A}_1$$

Dimana invers matriks pada lapisan *Half-space* adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{A}_m = \begin{bmatrix} \gamma_m \cos P_m - (\gamma_m - 1) \cos Q_m & -[\gamma_m r_{\beta m} \sin P_m + (\gamma_m - 1) r_{\beta m}^{-1} \sin Q_m] & \rho_m C^2 \gamma_m (\gamma_m - 1) (\cos P_m - \cos Q_m) & i \rho_m C^2 \gamma_m r_{\beta m} \sin P_m + \gamma_m^2 r_{\beta m} \sin Q_m \\ i[(\gamma_m - 1) r_{\alpha m}^{-1} \sin P_m + \gamma_m r_{\beta m} \sin Q_m] & -(\gamma_m - 1) \cos P_m + \gamma_m \cos Q_m & i \rho_m C^2 (\gamma_m - 1) r_{\alpha m}^{-1} \sin P_m - \gamma_m^2 r_{\beta m} \sin Q_m & -(\rho_m C^2)^{-1} (\cos P_m - \cos Q_m) \\ -(\rho_m C^2)^{-1} (\cos P_m - \cos Q_m) & i[\rho_m C^2]^{-1} [\gamma_m \cos P_m - r_{\beta m}^{-1} \sin Q_m] & -(\gamma_m - 1) \cos P_m + \gamma_m \cos Q_m & i[(\gamma_m - 1) r_{\alpha m}^{-1} \sin P_m + \gamma_m r_{\beta m} \sin Q_m] \\ i[\rho_m C^2]^{-1} [\gamma_m \cos P_m - r_{\beta m} \cos Q_m] & -(\rho_m C^2)^{-1} (\cos P_m - \cos Q_m) & i[(\gamma_m - 1) r_{\alpha m}^{-1} \sin P_m + \gamma_m r_{\beta m} \sin Q_m] & \gamma_m \cos P_m - (\gamma_m - 1) \cos Q_m \end{bmatrix}$$

dan transfer matriks pada lapisan m adalah :

$$\mathbf{E}_m^{-1} = \begin{bmatrix} -2(\gamma_m/C)^2 & 0 & (\rho_m \alpha_m)^{-1} & 0 \\ 0 & C^2 (\gamma_m - 1) / \alpha_m r_{\beta m} & 0 & (\rho_m \alpha_m^2 r_{\beta m})^{-1} \\ (\gamma_m - 1) / \gamma_m r_{\beta m} & 0 & -(\rho_m C^2 \gamma_m r_{\beta m})^{-1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & (\rho_m C^2 \gamma_m)^{-1} \end{bmatrix}$$

dimana,

$$\gamma_m = 2 \left(\beta_m / C \right)^2$$

$$r_{\alpha m} = \begin{cases} +\sqrt{(C/\alpha_m)^2 - 1} & C > \alpha_m \\ -i\sqrt{1 - (C/\alpha_m)^2} & C < \alpha_m \end{cases}$$

$$r_{\beta m} = \begin{cases} +\sqrt{(C/\beta_m)^2 - 1} & C > \beta_m \\ -i\sqrt{1 - (C/\beta_m)^2} & C < \beta_m \end{cases}$$

$$P_m = kr_{\alpha m} H_m$$

$$Q_m = kr_{\beta m} H_m$$

Untuk mendapatkan $C(k)$ atau $C(f)$ yang diberikan oleh bilangan gelombang atau frekuensi dari fungsi $F(C,k) \approx 0$, initial fase kecepatan dan initial bilangan gelombang diberikan oleh iterasi pertama. Sebagai contoh, initial fase kecepatan diperoleh dari akar C_n pada persamaan berikut dari fase kecepatan terkait kecepatan gelombang P (α_n) dan kecepatan gelombang S (β_i) pada model setengah ruang sebagai berikut.

$$\left(\frac{C_n}{\beta_n}\right)^6 - 8\left(\frac{C_n}{\beta_n}\right)^4 + 8\left(\frac{C_n}{\beta_n}\right)^2 \left[1 + 2\left(1 - \frac{\beta_n^2}{\alpha_n^2}\right)\right] - 16\left(1 - \frac{\beta_n^2}{\alpha_n^2}\right) = 0$$

Evaluasi berulang dilakukan untuk bilangan gelombang yang berbeda sehingga dapat diperoleh kecepatan fase untuk frekuensi yang berbeda ($C(f)$). Digunakan juga prosedur komputasi ini untuk menghasilkan kecepatan fase sintetik dengan asumsi mode fundamental (Saifuddin, 2019).