

Penerapan Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) untuk Interpretasi Bawah Permukaan sebagai Kontribusi Pembangunan Infrastruktur di Ibu Kota Nusantara (IKN)

Zhilan Zhalilla Puti Alfatih¹, Handoyo Handoyo^{1*}, Acep Ruchimat², Wiyono Wiyono², Özgenc Akin³, Putu Pradnya Andika¹

¹Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

²Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

³Department of Geophysical Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, Turkey

DOI: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i3.1187>

Article Info

Received: 23 June 2025

Revised: 10 August 2025

Accepted: 13 August 2025

Correspondence:

handoyo.geoph@tg.itera.ac.id

Phone: +6285295400039

Abstrak: Ibu Kota Nusantara (IKN), yang akan ditetapkan sebagai pusat pemerintahan baru Indonesia di Kalimantan Timur, saat ini berada dalam tahap awal pengembangan infrastruktur yang mencakup kebutuhan mendasar seperti transportasi, utilitas publik, dan fasilitas penunjang lainnya. Kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) menuntut kajian geoteknik yang komprehensif untuk menjamin daya dukung tanah dan stabilitas struktur jalan tol. Untuk mendukung perencanaan dan pelaksanaan konstruksi secara aman dan efisien, pemahaman mengenai karakteristik geoteknik lapisan bawah permukaan menjadi sangat penting. Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) merupakan salah satu pendekatan geofisika non-destruktif yang efektif dalam mengidentifikasi distribusi kecepatan gelombang geser (V_s). Prosedur MASW mencakup akuisisi data seismik, transformasi Fourier, pembentukan kurva dispersi frekuensi-kecepatan, serta inversi untuk menghasilkan distribusi V_s secara vertikal dan lateral. Berdasarkan distribusi nilai V_s , hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan gelombang geser di lokasi penelitian terdiri dari 4 lapisan utama, yaitu *clay* atau tanah lempung lunak (140-150 m/s), *silty clay* (150-200 m/s), *medium to dense sands* (200-400 m/s) dan *gravels* (>400 m/s). Analisis V_s yang dihasilkan memberikan informasi kritis untuk menentukan fondasi dapat dibangun sekiranya pada kedalaman >10 m. Dengan demikian, penerapan MASW diproyeksikan mampu menjembatani kesenjangan data geoteknik dan mendukung perencanaan konstruksi jalan tol di IKN secara lebih efektif dan efisien.

Kata kunci: Ibu Kota Nusantara (IKN), *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW), Kecepatan gelombang geser (V_s), Infrastruktur

Citation: Alfatih, Z, Z, P., Handoyo, H., Ruchimat, A., Wiyono, W., Akin, Ö & Andika, P, P. (2025). Penerapan Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) untuk Interpretasi Bawah Permukaan sebagai Kontribusi Pembangunan Infrastruktur di Ibu Kota Nusantara (IKN). *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika*(GeoScienceEd), 6(3), 1369-1376. DOI: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i3.1187>

Pendahuluan

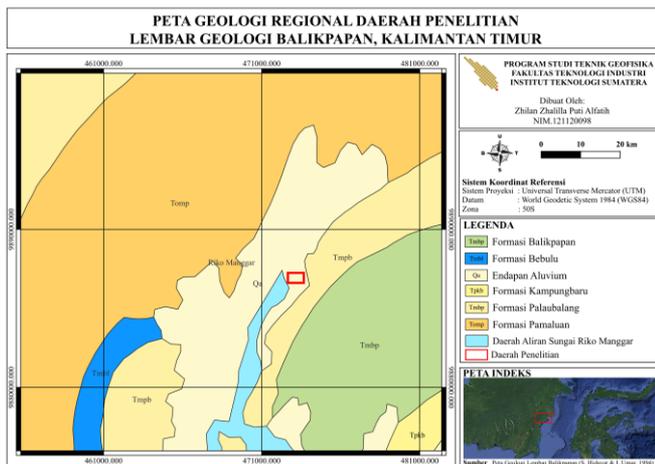
Pemindahan pusat pemerintahan ke Kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) memerlukan landasan geoteknik yang kuat untuk memastikan keberlanjutan dan ketahanan infrastruktur terhadap beban jangka panjang. Stabilitas tanah menjadi faktor utama dalam

mendukung desain pondasi bangunan maupun jaringan transportasi, khususnya jalan tol. Selama ini, kajian bawah permukaan umumnya mengandalkan metode konvensional seperti uji bor dan SPT (*Standard Penetration Test*), yang meskipun bermanfaat, hanya memberikan informasi secara vertikal di titik tertentu serta terbatas dalam cakupan lateral (Foti dkk., 2014).

Email: zhilanzhalilla.pa@gmail.com

Keterbatasan ini dapat menyebabkan kekeliruan dalam pemahaman distribusi sifat tanah, yang berpotensi menimbulkan permasalahan teknis seperti penurunan diferensial atau retak dini pada struktur.

Di sisi lain, secara geologis, kawasan IKN yang terletak di Kalimantan Timur termasuk dalam bagian selatan Cekungan Kutai yang tersusun atas batuan sedimen berumur Tersier hingga Kuartar (Hidayat & Umar, 1994). Lokasi penelitian (Gambar 1) berada pada zona endapan aluvium (Qa) yang didominasi oleh lempung, pasir, dan lanau, hasil proses deposisi dalam lingkungan fluvial hingga estuari. Lapisan permukaan di wilayah ini umumnya bersifat lunak dan memiliki variasi lateral yang tinggi, dipengaruhi oleh struktur geologi aktif seperti Sesar Mangkalihat dan Sesar Paternoster, yang berkontribusi terhadap perbedaan fasies batuan di bawah permukaan.



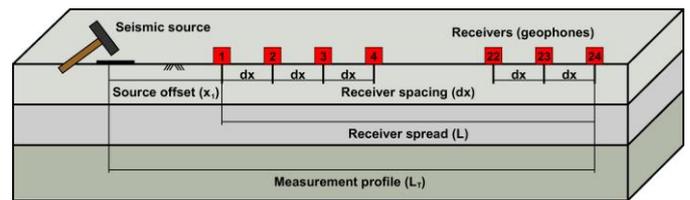
Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian (Hidayat & Umar, 1994)

Pada konteks tersebut, metode geofisika seperti *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) menjadi solusi alternatif yang efisien dan non-destruktif untuk memetakan kondisi bawah permukaan secara lateral dan vertical (Park dkk., 1999; Handoyo dkk., 2022; Handoyo, 2024). Dengan memanfaatkan sifat dispersi gelombang Rayleigh, MASW memungkinkan pemodelan kecepatan gelombang geser (V_s) sebagai indikator kekakuan dan konsistensi tanah. Metode MASW telah terbukti sangat efektif dalam mengungkap struktur stratigrafi bawah permukaan secara rinci, sebagaimana ditunjukkan oleh sejumlah studi terkini. Proses pemodelan lapisan-lapisan batuan melalui inversi kurva dispersi memungkinkan reduksi nilai *misfit* minimum, yang mencerminkan akurasi tinggi dalam representasi stratigrafi. Berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yang diperoleh, karakteristik tiap lapisan batuan dapat diestimasi dan dikaitkan dengan jenis material penyusunnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan

distribusi kecepatan V_s dan mengevaluasi kedalaman serta sebaran lateral lapisan keras, yang dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan pondasi infrastruktur jalan tol di wilayah IKN.

Metode

Menurut Park dkk. (1999), metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) merupakan metode seismik yang memanfaatkan karakteristik dispersi gelombang permukaan, khususnya gelombang Rayleigh, untuk memperoleh informasi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dari perlapisan tanah sebagai dasar interpretasi geoteknik. Dalam metode ini, panjang gelombang diasosiasikan dengan kedalaman penetrasi, dimana semakin dalam lapisan yang dituju, maka semakin pendek panjang gelombang yang terlibat.



Gambar 2. Proses akuisisi data metode MASW (Olafsdottir dkk., 2017)

Akuisisi data dilakukan menggunakan 48 *channel geophone* dengan spasi antar kanal 1 meter, serta sumber getaran berupa palu seismik. Setiap geofon merekam respons getaran pada berbagai jarak dari sumber, dan menangkap gelombang permukaan dengan beragam panjang gelombang. Skema konfigurasi akuisisi serta luaran data dari metode MASW disajikan pada Gambar 2. Data direkam pada beberapa titik lintasan di wilayah Pelabuhan Mentawir. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SeisImager. Tahapan meliputi transformasi data waktu-jarak ke domain frekuensi menggunakan transformasi Fourier, ekstraksi kurva dispersi, dan proses inversi untuk mendapatkan profil kecepatan V_s terhadap kedalaman. Hasil pengolahan data selanjutnya diinterpretasikan dalam bentuk profil kecepatan gelombang geser satu dimensi (1-D) yang diperoleh melalui proses inversi kurva dispersi. Inversi ini dilakukan dengan menggunakan algoritma genetika yang bertujuan untuk mendapatkan model bawah permukaan terbaik, yaitu model yang mendekati kondisi aktual dengan nilai misfit seminimal mungkin.

Menurut Dentith & Mudge (2014), nilai V_s dihitung dari kurva dispersi gelombang Rayleigh, dengan formula dasar:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Dimana μ adalah modulus geser dan ρ adalah densitas medium. Klasifikasi kecepatan Vs berdasarkan NEHRP (1998) digunakan untuk interpretasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi kecepatan gelombang geser menurut NEHRP (1998)

| Klasifikasi | Nama profil | Vs (m/s) |
|-------------|-------------------------------------|----------|
| A | Batuan Keras | >1500 |
| B | Batuan | 760-1500 |
| C | Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak | 360-760 |
| D | Tanah Kaku | 180-360 |
| E | Tanah Lempung Lunak | <180 |

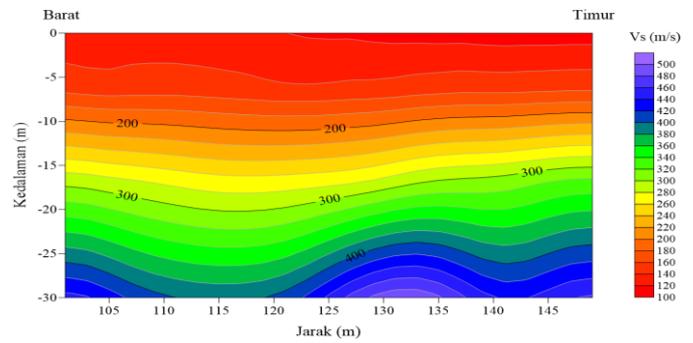
Serta klasifikasi jenis material bawah permukaan menurut Foti dkk. (2014) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi jenis material bawah permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser

| Geomaterial | Vs (m/s) |
|--------------------------------|----------|
| Very soft clays | 50-150 |
| NC clays and silts | 150-200 |
| Medium to dense sands | 200-400 |
| Medium to dense gravels | 400-800 |
| Soft rocks, very dense gravels | 800-1000 |

Hasil dan Diskusi

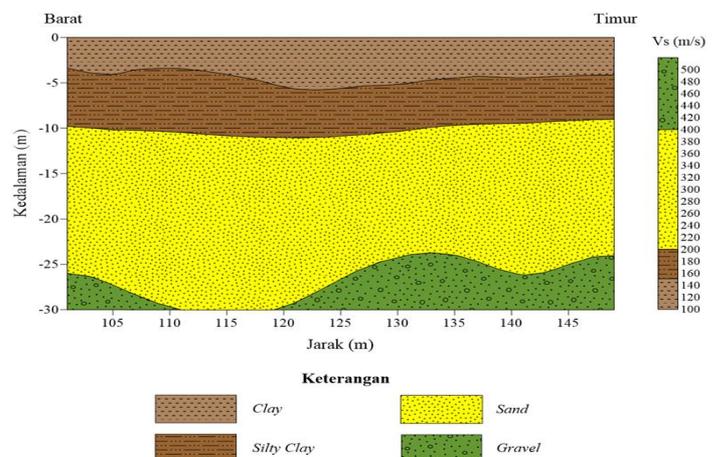
Visualisasi hasil inversi data MASW disajikan dalam bentuk penampang dua dimensi kecepatan gelombang geser (Vs), yang menggambarkan distribusi nilai Vs secara vertikal dan lateral sepanjang lintasan pengukuran. Penampang ini diperoleh dari hasil interpolasi dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 5,2%, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Representasi ini memberikan informasi mengenai variasi kekakuan lapisan bawah permukaan dan menjadi dasar dalam mengidentifikasi perubahan sifat geoteknik tanah terhadap kedalaman.



Gambar 3. Penampang 2D kecepatan gelombang geser

Penampang kecepatan gelombang geser (Vs) pada Gambar 2 menyajikan variasi karakteristik bawah permukaan secara vertikal dan lateral hingga kedalaman mencapai 30 meter. Pada lapisan paling atas, yaitu kedalaman 0 hingga sekitar 4 meter, nilai Vs yang dominan berada di bawah 150 m/s, menunjukkan kondisi tanah yang lunak. Seiring bertambahnya kedalaman antara 5 hingga 10 meter, nilai Vs mengalami peningkatan ke kisaran 150-200 m/s. Pada interval kedalaman 11 hingga 27 meter, nilai Vs berada dalam rentang 200-400 m/s. Di bawah kedalaman 27 meter, terjadi peningkatan signifikan pada nilai Vs yang mencapai lebih dari 400 m/s. Pola distribusi ini mengindikasikan bahwa kekakuan lapisan tanah meningkat secara bertahap seiring bertambahnya kedalaman. Berdasarkan klasifikasi NEHRP pada Tabel 1, nilai rata-rata Vs sebesar 265.586 m/s termasuk ke dalam tipe kelas D yang mengindikasikan jenis tanah berupa *stiff soil* atau tanah kaku. Tanah dalam klasifikasi ini bersifat cukup kaku, namun belum mencapai karakteristik batuan keras, dan masih dapat mengalami amplifikasi gelombang gempa yang signifikan.

Untuk memperkuat interpretasi, penampang Vs tersebut kemudian ditransformasi menjadi penampang litologi berdasarkan klasifikasi nilai Vs terhadap jenis material, sebagaimana dijabarkan dalam Tabel 2 dan ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar 4. Penampang 2D litologi berdasarkan kecepatan gelombang geser

Mengacu pada Tabel 2 serta kondisi geologi regional di sekitar lokasi penelitian, interpretasi penampang litologi dua dimensi pada Gambar 3 menunjukkan bahwa lapisan pada kedalaman 0 hingga 4 meter diklasifikasikan sebagai litologi *clay* yang didominasi oleh kandungan mineral lempung. Selanjutnya, pada kedalaman 5 hingga 10 meter, teridentifikasi lapisan *silty clay* yang terdiri atas campuran mineral lempung (*clay*) dan lanau (*silt*), dengan dominasi kandungan lempung. Pada rentang kedalaman 11 hingga 27 meter, litologi yang muncul berupa *sand*, yaitu pasir dengan ukuran butiran sedang hingga kasar dan tingkat kerapatan sedang hingga padat. Sementara itu, pada kedalaman lebih dari 28 meter, jenis litologi yang teridentifikasi adalah *gravel*, yang tersusun atas material kerikil berukuran sedang hingga besar dengan konsistensi yang padat.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memodelkan profil kecepatan gelombang geser (V_s) di kawasan Pelabuhan Mentawir, IKN, menggunakan metode MASW. Zona permukaan didominasi oleh lapisan dengan nilai V_s rendah (<250 m/s) yang diasosiasikan dengan litologi lempung dan lanau, sedangkan zona dengan nilai V_s tinggi diinterpretasikan sebagai lapisan *hardrock* yang berpotensi sebagai dasar pondasi terletak pada kisaran kedalaman 15–30 meter dengan litologi berupa *alluvial sand* padat hingga kerikil yang lebih kaku. Diperlukan studi lanjutan dengan analisis parameter geoteknik serta integrasi dengan metode investigasi tanah konvensional untuk verifikasi lebih lanjut. Langkah ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi interpretasi litologi bawah permukaan dan memperkuat dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan rekayasa fondasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan (PATGTL) yang telah memberikan bantuan, izin, serta akses data dan informasi teknis yang sangat berguna dalam proses akuisisi dan analisis data geofisika di wilayah studi serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan dan penyusunan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Dentith, M., & Mudge, S. T. (2014). *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist* (Vol. 4, Nomor 1). Cambridge University Press.

- Foti, S., Lai, C. G., Rix, G. J., & Strobbia, C. (2014). *Surface wave methods for near-surface site characterization*. CRC Press.
- Handoyo, H., Alcalde, J., DeFelipe, I., Palomeras, I., Martín-Banda, R., García-Mayordomo, J., ... & Carbonell, R. (2022). Geophysical imaging of the critical zone along the Eastern Betic Shear Zone (EBSZ), SE Iberian Peninsula. *Applied Sciences*, 12(7), 3398. <https://doi.org/10.3390/app12073398>
- Handoyo, H. (2024). Metode Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW): Teori dan Aplikasi pada Identifikasi Sesar Dangkal di Dekat Permukaan (Near Subsurface). *Jurnal Geofisika*, 21(2), 27 - 37. <https://doi.org/10.36435/jgf.v21i2.581>
- Handoyo, H. (2024). The Multichannel Analysis of Surface Waves Method (MASW): Brief Theory and Application to Near Fault Zone Identification. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 15(1). <http://dx.doi.org/10.34126/jlbg.v15i1.493>
- Hidayat, S., & Umar, H. (1994). *Peta geologi lembar Balikpapan, Kalimantan Timur*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP). (1998). *Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures* (1997 ed.). FEMA 302. Federal Emergency Management Agency.
- Ólafsdóttir, E. Á., Erlingsson, S., & Bessason, B. (2018). Tool for analysis of multichannel analysis of surface waves (MASW) field data and evaluation of shear wave velocity profiles of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 55(2), 217–233. doi: <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0302>.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800–808. <https://doi.org/10.1190/1.1444590>