



Karakteristik Kecepatan Gelombang Geser (V_s) Menggunakan Metode *Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)* di Bandara Internasional Yogyakarta

Tisar Dewi Pratiwi^{1*}, Mitranikasih Laia², Rohmawati Metaningrum³

¹ Tisar Dewi Pratiwi, Prodi Fisika, Institut Teknologi dan Sains Nahdaltul Ulama Lampung, Bandar Lampung, Indonesia.

² Mitranikasih Laia, Prodi Ilmu Komputer, Universitas Nias Raya, Sumatera Utara, Indonesia.

³ Rohmawati Metaningrum, Prodi D3 Radiologi, Akademik Teknik Radioagnostik Dan Radioterapi, Yogyakarta, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i3.2766>

Article Info:

Received : 18 Juni 2026

Revised : 26 Juni 2026

Accepted : 25 Juli 2026

Published : 31 Juli 2026

Correspondence:

Tisar Dewi Pratiwi

Phone: +6285768688117

Abstract: Reliable information on subsurface conditions is essential during the planning and development of airport infrastructure, as variations in soil properties can significantly affect foundation stability and construction performance. Shear wave velocity (V_s) is an important geophysical parameter for assessing the mechanical behavior and lithological characteristics of near-surface materials. This study aims to analyze shear wave velocity (V_s) as an indicator of subsurface lithological characteristics at Yogyakarta International Airport using the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method. The MASW technique was applied due to its effectiveness as a non-destructive method for obtaining V_s profiles relevant to geotechnical evaluation. The results indicate that at depths of 1–4 m, shear wave velocities range from 220.2 m/s to 315.7 m/s, corresponding to loose sand lithology. At greater depths of 5–15 m, the V_s values increase to between 370 m/s and 390 m/s, indicating more compact sand layers. These findings suggest that the shallow subsurface is dominated by weathered, loose, and soft materials, which are less favorable for supporting heavy infrastructure such as airport runways.

Keywords: MASW; Shear Wave Velocity; Lithology; Subsurface Structure; Geotechnical Characterization.

Citation: Pratiwi, T. D., Laia, M., & Metaningrum, R. (2026). Karakteristik Kecepatan Gelombang Geser (V_s) Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) di Bandara Internasional Yogyakarta. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(3), 4664–4673. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i3.2766>

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur di Indonesia akan menjadi suatu perubahan sosial di kalangan masyarakat yang dapat dilihat dalam perubahan lingkungan. Salah satu transportasi yang menjadi titik fokus dalam berembangan dan akan menjadi pusat perhatian yaitu transportasi udara (Pratiwi et al., 2025).

Didukung oleh jumlah penduduk sekitar 240 juta jiwa dan volume perjalanan udara domestik serta internasional sebanyak 83,7 juta. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia termasuk kategori sebagai pasar penerbangan yang sangat besar dengan pertumbuhan dan lalu lintas udara yang tergolong paling tinggi

didunia. Pada periode Januari-Desember 2016, jumlah penumpang penerbangan domestik tercatat mencapai 80,4 juta orang, meningkat sebesar 16,97% dibandingkan periode yang sama pada tahun 2015. Peningkatan tersebut mendorong kebutuhan pembangunan maupun pengembangan bandara udara yang didukung oleh informasi kondisi bawah permukaan secara akurat sebagai dasar perencanaan konstruksi yang aman.

Tingginya permintaan tersebut menyebabkan bandara-bandara di Indonesia mengalami tekanan kapasitas yang signifikan, sehingga sebagian besar bandara yang dikelola oleh PT Angkasa Pura I (Persero) dan PT Angkasa Pura II (Persero) berada dalam kondisi

melebihi kapasitas layanan (*over capacity*). Kondisi serupa juga terjadi di Bandara Adisutjipto Yogyakarta, dimana jumlah penumpang pada Tahun 2016 mencapai sekitar 7,2 juta orang atau mengalami peningkatan kurang lebih 14% dibandingkan tahun 2015 yang mencatat 6,3 juta penumpang. Kawasan Bandara Internasional Yogyakarta merupakan wilayah yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan cukup tinggi, baik yang dipengaruhi oleh keberadaan Sesar Opak maupun oleh zona subduksi di sekitarnya (M. Muzli Sativa et al., 2016). Kondisi tersebut menyebabkan pembangunan dan pengoperasian bandara memerlukan kajian geoteknik yang dapat menjamin keselamatan serta keberlanjutan infrastruktur. *Underpass* YIA terletak di daerah dekat dengan pertemuan lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Pergerakan antara lempeng tersebut menciptakan jalur tubrukan aktif, sehingga jarak lokasi *Underpass* YIA yang relative dekat dengan pertemuan lempeng tektonik di selatan Pulau Jawa (Teknik et al., 2021).

Pembangunan infrastruktur yang andal perlu diawali dengan perencanaan geoteknik, karena ketahanan bangunan terhadap gempa tidak hanya ditentukan oleh mutu struktur, tetapi juga oleh kondisi tanah dan geologi permukaan tempat bangunan tersebut didirikan. Pemahaman terhadap respons tanah akibat guncangan gempa menjadi penting, mengingat respons tersebut turut memengaruhi perilaku dan keamanan bangunan di atasnya (Usman et al., 2024).

Berbagai penelitian telah mampu terbukti bahwa investigasi geoteknik berbasis metode geofisika mampu menyediakan informasi penting mengenai karakteristik bawah permukaan. Metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) sebagai teknik non-invasif yang dapat menghasilkan profil kecepatan bawah permukaan secara efisien untuk keperluan geoteknik. Hasil pengukuran Vs menggunakan MASW memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan data pengeboran dan pengujian geoteknik, sehingga metode ini banyak diterapkan dalam karakteristik kondisi tanah (Park et al., 1999).

Oleh karena itu, infrastruktur strategis seperti bandara sering kali dibangun pada wilayah dengan kondisi geologi dan dinamika tektonik yang kompleks, sehingga evaluasi karakteristik tanah bawah permukaan menjadi aspek yang sangat penting. Salah satu parameter utama dalam kajian geoteknik dan rekayasa gempa adalah kecepatan gelombang geser (Vs). Nilai Vs merepresentasikan tingkat kekakuan dan elastisitas tanah yang berpengaruh terhadap respons tanah terhadap beban dinamis, termasuk getaran akibat aktivitas operasional bandara maupun gelombang gempa bumi (Bustari & Wibowo, 2023b). Parameter ini

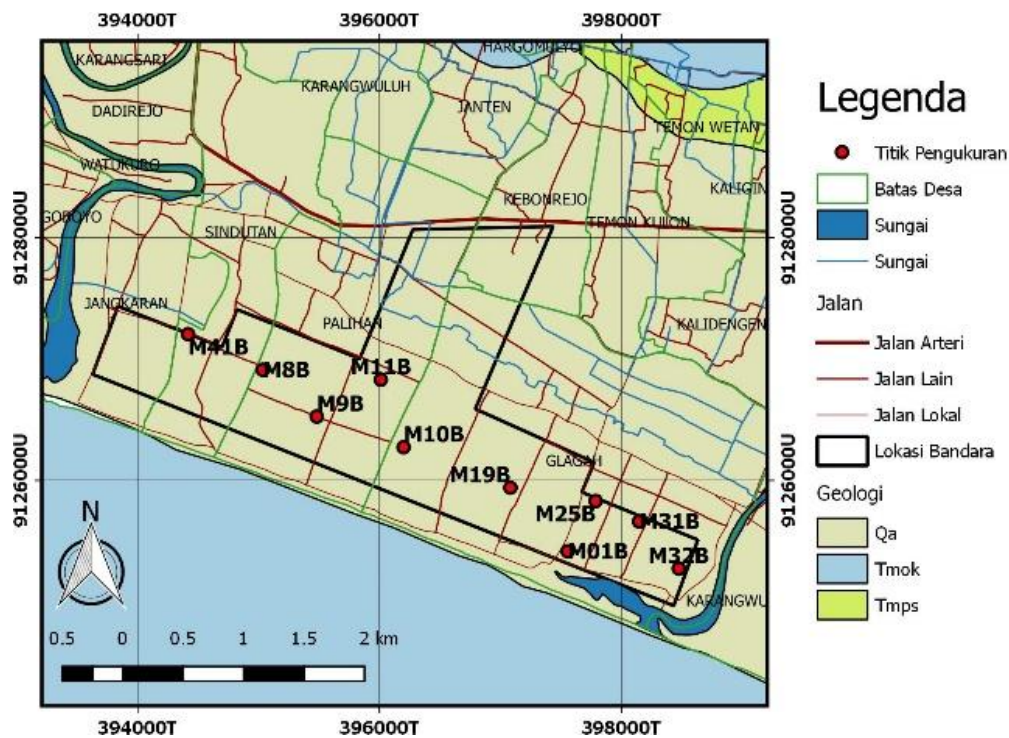
juga banyak digunakan dalam klasifikasi situs tanah serta analisis potensi amplifikasi gelombang seismik, khususnya melalui penentuan nilai V_s^{30} (Sururiyah et al., 2025).

Dalam konteks kawasan bandara, penerapan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) menjadi relevan mengingat keterbatasan ruang dan tingginya intensitas aktivitas operasional. Informasi kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari metode MASW sangat penting dalam mendukung evaluasi kondisi tanah, perencanaan pengembangan infrastruktur, serta upaya mitigasi risiko kegempaan. Selain itu, pemahaman karakteristik dinamis tanah berdasarkan parameter Vs berkaitan erat dengan sifat mekanik tanah terhadap pembebanan dinamis (Handoyo et al., 2025).

Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji kecepatan gelombang geser di kawasan Bandara Internasional Yogyakarta sangat terbatas. Sebagaimana besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada aspek geologi regional, klasifikasi situs seismik, atau analisis bahaya gempa, sementara informasi mengenai karakteristik litologi bawah permukaan berdasarkan profil Vs pada kawasan bandara belum tersedia secara rinci. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik litologi bawah permukaan melalui analisis kecepatan gelombang geser menggunakan metode MASW di Bandara Internasional Yogyakarta. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi hasil profil Vs dengan interpretasi litologi bawah permukaan pada kawasan bandara sebagai dasar evaluasi geoteknik, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih spesifik dalam mendukung perencanaan, pengembangan, serta mitigasi risiko terhadap infrastruktur transportasi udara.

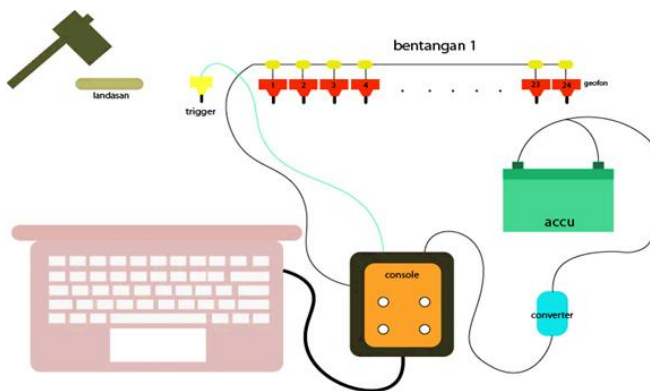
Metode

Akuisisi data dilakukan pada area rencana pembangunan landasan pacu yang mencakup Desa Palihan, Desa Sindutan, Desa Glagah, dan Desa Jangkran di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan mengaplikasikan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) untuk memperoleh parameter kecepatan gelombang geser (Vs) bawah permukaan. Lintasan pengukuran berorientasi pada arah N120°E atau barat laut-tenggara (NW-SE), dengan jarak antar titik pengukuran sebesar 565 meter. Secara keseluruhan terdapat 10 lintasan pengukuran, masing-masing memiliki panjang lintasan 92 meter, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Peta sebaran rencana survei MASW pada Kawasan Bandara Internasional, Yogyakarta.

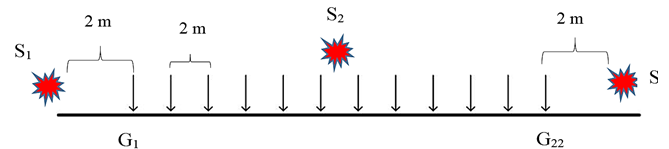
Penelitian ini memanfaatkan seismograf DOREMI sebagai perangkat utama dalam akuisisi data. Proses perekaman dan pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Source Code* dan *SeisImager*. Peralatan yang digunakan meliputi 22 unit geofon, empat kabel multikanal, seismograf DOREMI, kompas, GPS, aki, meteran, kabel pemicu (*trigger*), palu dengan pelat besi sebagai sumber gelombang, *headphone*, serta laptop. Konfigurasi peralatan pada saat akuisisi data di lapangan ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skema susunan peralatan penelitian selama proses akuisisi data di lapangan

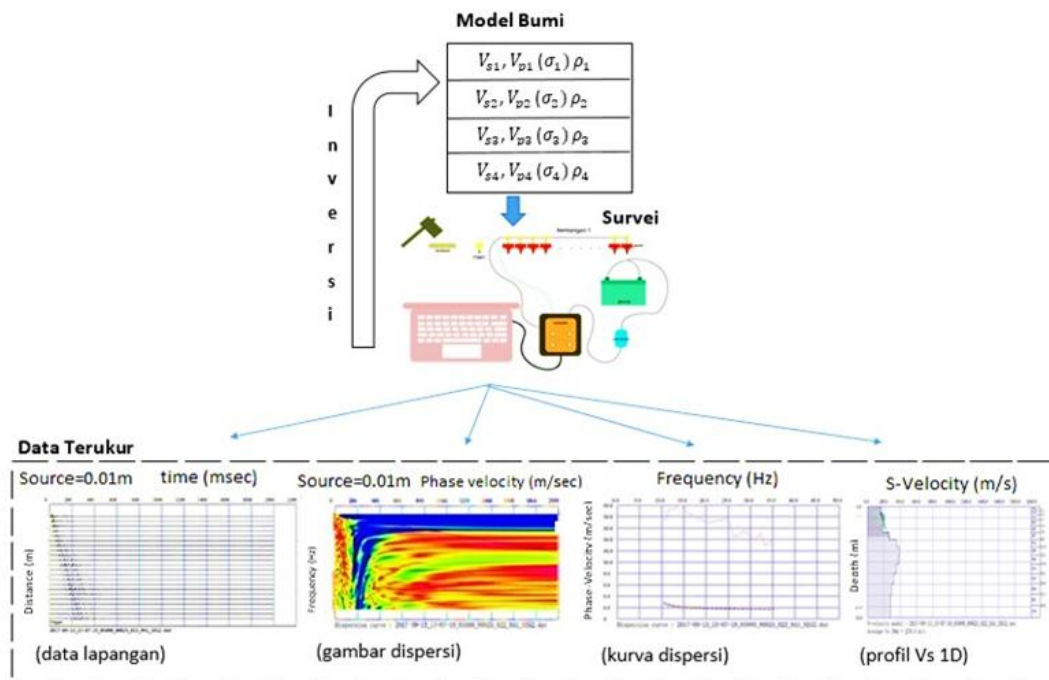
Berdasarkan target dan rancangan survei penelitian, akuisisi data MASW dilakukan pada lintasan berbentuk garis lurus. Spasi antar geofon dan jarak

geofon ke sumber gelombang masing-masing ditetapkan sebesar 2 meter. Setiap lintasan terdiri atas dua *spread* dengan lima kali tembakan (*shot*) yang dilakukan pada posisi *end spread* dan *mid spread*. Arah lintasan pengukuran mengikuti garis pantai dan sejajar dengan arah perlapisan batuan (*strike*). Skema akuisisi data MASW ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Skema tata letak konfigurasi akuisisi data *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW)

Pemodelan pada analisis ini dilakukan menggunakan metode analisis gelombang permukaan melalui proses inversi kurva dispersi. Inversi gelombang Rayleigh diterapkan untuk memperoleh parameter elastik dari kurva dispersi yang selanjutnya digunakan dalam pemodelan struktur bawah permukaan. Apabila parameter medium telah diketahui, maka dilakukan pemodelan ke depan (*forward modeling*). Sebaliknya, jika yang diketahui adalah kurva dispersi, maka proses pemodelan bertujuan untuk menentukan parameter medium, yang dikenal sebagai pemodelan balik (*inverse problem*). Skema proses pemodelan tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Skema tahapan inverse modeling yang meliputi data lapangan, citra dispersi, kurva dispersi, dan profil kecepatan gelombang satu dimensi (Vs 1D) (modifikasi dari www.masw.com)

Kurva dispersi pada model medium berlapis dapat dihitung menggunakan pendekatan metode *Kennopff*. Dalam metode ini, kecepatan gelombang *Rayleigh* (CRi) diperoleh dari penyelesaian persamaan karakteristik *F* yang bersifat nonlinier dan dinyatakan dalam bentuk implisit. Hubungan matematis tersebut menggambarkan keterkaitan antara parameter elastik lapisan dan frekuensi gelombang, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 5** (Park et al., 1999).

$$F(f_j, C_{RJ}, V_s, \rho, h) = 0 \quad (= 1, 2, 3, \dots, m)$$

v_{s1}	v_{p1}	ρ_1	h_1
v_{s2}	v_{p2}	ρ_2	h_2
.	.	.	.
v_{si}	v_{pi}	ρ_i	h_i
.	.	.	.
v_{sn}	v_{pn}	ρ_n	infinite

Gambar 5. Inversi kurva dispersi untuk menghasilkan model bumi berlapis dengan parameter, kecepatan gelombang S (V_s), kecepatan gelombang P (V_p), ketebalan (h), dan densitas (ρ).

Kecepatan gelombang S awal dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut ini (EC-8, 2004),

$$v_{s1} = C_R(\text{tinggi}) / \beta \quad (\text{lapisan pertama})$$

$$v_{sn} = C_R(\text{rendah}) / \beta \quad \text{setengah-ruang/half-space}$$

$$v_{si} = C_R(f_i) / \beta \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n - 1)$$

Dengan, β adalah konstanta dari 0,87 sampai 0,955 untuk rasio poisson antara 0,0 sampai 0,5. Berdasarkan studi model yang dilakukan (Park et al., 1999), nilai β yang dipilih adalah nilai 0,88. Pada kajian geoteknik, karakteristik tanah diklasifikasikan menggunakan parameter V_{s30} , yaitu kecepatan gelombang geser rata-rata pada lapisan tanah hingga kedalaman 30 meter dari permukaan. Perhitungan nilai V_{s30} dirumuskan sebagai berikut (NEHRP, 2003):

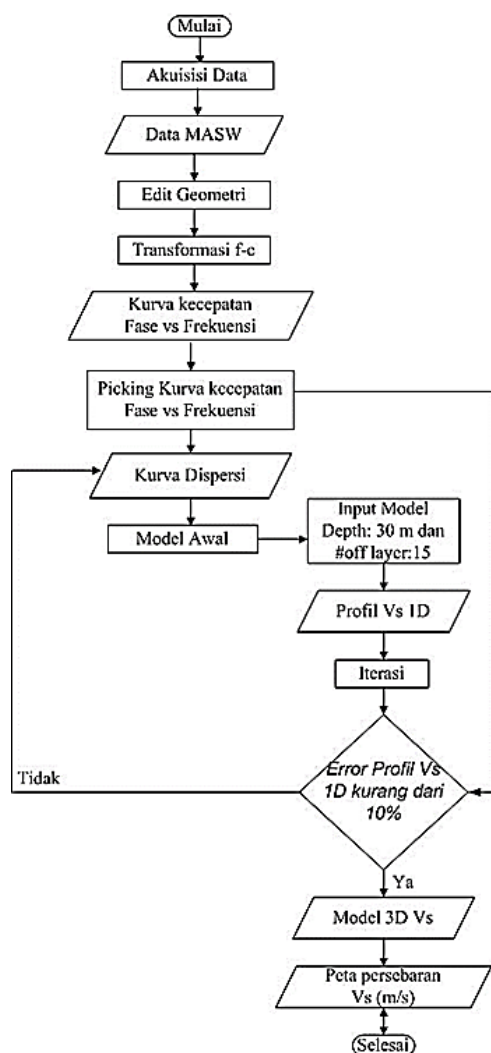
$$\bar{V}_{s30} = \frac{\sum d_i}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i}{v_i} \right)}$$

Dengan menyatakan ketebalan lapisan ke- i pada rentang kedalaman 0–30 meter, dan V_i merupakan

kecepatan gelombang geser (S) dalam satuan meter per detik (m/s) pada lapisan ke-i.

Pada tahap akuisisi data, parameter yang digunakan meliputi *sampling rate* sebesar 0,001 s dan *recording time/delay* selama 2 s, dengan frekuensi geofon 4,5 Hz. Perekaman data dilakukan menggunakan metode MASW aktif dengan sumber gelombang berupa palu seberat 10 kg. Selanjutnya, pengolahan data untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (Vs) satu dimensi dilakukan menggunakan perangkat lunak *SeisImager*, khususnya modul *Pickwin* dan *WaveEq*.

Tahapan pengolahan data ditunjukkan pada **Gambar 6**. Data hasil pengukuran lapangan yang awalnya tersimpan dalam format *.drm* terlebih dahulu dikonversi menjadi format *SEG-2* sebelum dilakukan proses pengolahan lebih lanjut.



Gambar 6. Bagan tahapan dalam proses pengolahan data MASW

Data yang diperoleh berupa rekaman gelombang permukaan (*ground roll*) pada domain waktu, yang selanjutnya ditransformasikan ke dalam domain

kecepatan fase (*phase velocity*). Proses transformasi tersebut menghasilkan kurva dispersi yang mempresentasikan hubungan antara frekuensi dan kecepatan gelombang *Rayleigh*. Kurva dispersi kemudian digunakan sebagai masukan dalam proses inversi untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (Vs) terhadap kedalaman hingga sekitar 15 meter.

Hasil inversi menunjukkan bahwa setiap lintasan pengukuran memiliki variasi nilai kecepatan gelombang geser (Vs) yang berbeda, yang mengindikasikan bahwa adanya perubahan karakteristik material bawah permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Variasi nilai kecepatan gelombang geser (Vs) tersebut berkaitan erat dengan perubahan tingkat kepadatan, kekompakan dan jenis litologi penyusun bawah permukaan. Semakin tinggi nilai kecepatan gelombang geser (Vs), maka material bawah permukaan memiliki tingkat kekompakan dan kepadatan yang lebih besar. Sebaliknya, nilai Vs yang diperoleh relatif rendah maka material yang berada dibawah permukaan akan lebih lunak dan kurang terkonsolidasi.

Profil kecepatan gelombang geser (Vs) yang diperoleh selanjutnya diinterpretasikan untuk menggambarkan kondisi geologi bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter pada wilayah penelitian dengan mengacu pada klasifikasi litologi (SNI 1726:2019, 2019). Interpretasi tersebut memberikan informasi mengenai distribusi lapisan sedimen, tingkat kekerasan batuan, serta variasi sifat fisik material bawah permukaan di area penelitian.

Proses inversi dilakukan dengan cara mencocokkan kurva dispersi hasil pengukuran di lapangan terhadap kurva dispersi teoritis menggunakan metode iteratif. Proses iterasi dilakukan sebanyak 30 kali untuk memperoleh tingkat kesesuaian terbaik antara data observasi dan model teoritis, sehingga dihasilkan nilai kesalahan (*error*) yang minimum. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan model bawah permukaan yang mampu mempresentasikan kondisi geologi secara akurat berdasarkan karakteristik rambat gelombang permukaan.

Tingkat ketelitian hasil inversi dievaluasi menggunakan parameter dari Nilai *Root Mean Square* (RMS) error sebagai indikator kualitas kesesuaian model inversi. Nilai RMS error menunjukkan besarnya deviasi antara kurva dispersi hasil pengamatan dengan kurva dispersi hasil perhitungan teoritis. Semakin kecil nilai RMS error yang diperoleh, maka semakin baik tingkat kecocokan model kecepatan gelombang geser (Vs) yang dihasilkan terhadap data lapangan.

Berdasarkan hasil pengolahan data, rata-rata RMS error kecepatan gelombang geser (Vs) yang diperoleh mencapai sekitar 0,8% hingga kedalaman 30 meter. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses inversi yang

dilakukan memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan mampu menghasilkan model bawah permukaan yang representatif. Dengan demikian, profil kecepatan gelombang geser yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar interpretasi kondisi litologi dan karakteristik geoteknik bawah permukaan pada wilayah penelitian.

Hasil inversi menunjukkan bahwa profil kecepatan gelombang geser (V_s) hanya mampu mempresentasikan kondisi bawah permukaan hingga kedalaman sekitar 15 meter. Keterbatasan kedalaman investigasi tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik litologi bawah permukaan di daerah penelitian yang didominasi oleh endapan aluvial pantai dan gumuk pasir, yang bersifat lepas serta memiliki tingkat homogenitas relatif tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan energi gelombang permukaan mengalami pelemahan yang signifikan sehingga penetrasi dari

gelombang ke lapisan yang lebih dalam menjadi terbatas. Selain itu, keterbatasan dari penetrasi gelombang juga dipengaruhi oleh kondisi saat akuisisi data dilapangan, khususnya posisi geofon yang tidak tertanam hingga mencapai tanah dasar, melainkan hanya berada pada lapisan pasir atau timbunan pasir dipermukaan. Kondisi tersebut dapat mengurangi kualitas rekaman data yang diperoleh. Akibatnya informasi mengenai variasi kecepatan gelombang geser (V_s) pada lapisan yang lebih dalam tidak dapat merekam secara optimal.

Meskipun demikian, hasil dari inversi yang diperoleh masih mampu memberikan gambaran yang representatif mengenai kondisi geologi bawah permukaan dangkal pada wilayah penelitian, terutama terkait distribusi lapisan sedimen dan variasi tingkat kekompakan material penyusun bawah permukaan yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil analisis kecepatan gelombang geser (V_s) berdasarkan metode MASW yang dilakukan pada lokasi landasan pacu Bandara Internasional, Yogyakarta.

No	Titik Pengukuran	Kedalaman	V_s	Kelas	Jenis Tanah
1	Lintasan 1 (M01)	12 meter	114-344 m/s	C	Endapan pasir padat atau setengah padat dengan ketebalan beberapa puluh hingga ratusan meter
2	Lintasan 2 (M11)	5 meter	114-222 m/s	E	Lapisan aluvial dengan ketebalan lapisan sedimen
3	Lintasan 3 (M41)	9 meter	158-285 m/s	C	Endapan pasir padat atau setengah padat dengan ketebalan beberapa puluh hingga ratusan meter
4	Lintasan 4 (M32)	9 meter	172-252 m/s	C	Endapan pasir padat atau setengah padat dengan ketebalan beberapa puluh hingga ratusan meter
5	Lintasan 5 (M8)	3,7 meter	150-364 m/s	C	Endapan pasir padat atau setengah padat dengan ketebalan beberapa puluh hingga ratusan meter
6	Lintasan 6 (M9)	5,3 meter	135-332 m/s	E	Lapisan aluvial dengan ketebalan lapisan sedimen
7	Lintasan 7 (M10)	7 meter	145-350 m/s	C	Endapan pasir padat atau setengah padat dengan ketebalan beberapa puluh hingga ratusan meter
8	Lintasan 8 (M31)	11 meter	145-350 m/s	C	Endapan pasir padat atau setengah padat dengan ketebalan beberapa puluh hingga ratusan meter
9	Lintasan 9 (M25)	6 meter	157-223 m/s	E	Lapisan aluvial dengan ketebalan lapisan sedimen
10	Lintasan 10 (M19)	9 meter	153-264 m/s	E	Lapisan aluvial dengan ketebalan lapisan sedimen

Berdasarkan hasil klasifikasi pada **Gambar 7**, nilai kecepatan gelombang geser (V_s) di lokasi penelitian berkisar 114-364 m/s dengan kedalaman mencapai sekitar 3,7-12 meter. Variasi nilai V_s tersebut menunjukkan adanya perbedaan karakteristik material penyusun bahwa permukaan pada setiap lintasan

pengukuran. Secara umum, lapisan bawah permukaan di daerah penelitian didominasi oleh endapan pasir padat hingga setengah padat serta lapisan aluvial yang memiliki ketebalan sedimen bervariasi.

Lintasan yang termasuk dengan kategori kelas C memiliki nilai kecepatan gelombang geser (v_s) relatif

lebih tinggi, yaitu berkisar 135-364 m/s. Kondisi ini mengindikasikan keberadaan material berupa endapan pasir padat atau setengah padat dengan tingkat kekompakan yang cukup baik. Lapisan tersebut diperkirakan memiliki kemampuan dukung yang lebih tinggi dibandingkan lapisan dengan nilai Vs yang lebih rendah. Selain itu, ketebalan endapan pasir pada beberapa lintasan mencapai puluhan meter, yang menunjukkan dominasi material sedimen pantai pada wilayah penelitian.

Sementara itu, lintasan yang termasuk dalam kategori kelas E memiliki nilai Vs yang relatif lebih rendah, yaitu berkisar antara 114-264 m/s. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa adanya lapisan aluvial yang tersusun data material sedimen lepas dan kurang terkonsolidasi. Karakteristik ini menunjukkan bahwa lapisan bawah permukaan pada beberapa lokasi masih didominasi oleh sedimen lunak dengan tingkat kepadatan yang rendah. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi respon dinamik tanah terhadap getaran maupun pembebanan dipermukaan.

Oleh karena itu, secara keseluruhan hasil dari analisis kecepatan gelombang geser (Vs) menunjukkan bahwa kondisi geologi bawah permukaan pada wilayah penelitian tersusun atas komposisi endapan aluvial dan sedimen pasir pantai dengan tingkat kekompakan yang bervariasi. Variasi litologi tersebut mencerminkan proses sedimentasi lingkungan pantai dan aluvial yang berada dikawasan penelitian.

Tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah melakukan pemetaan nilai kecepatan gelombang geser dengan melakukan plot seluruh titik pengukuran berdasarkan nilai Vs (m/s) dan kedalaman menggunakan perangkat lunak yaitu QGIS. Proses pemetaan tersebut bertujuan untuk menggambarkan pola sebaran spasial kecepatan gelombang geser (Vs) pada wilayah penelitian, sehingga variasi dari karakteristik material bawah permukaan dapat diidentifikasi secara lebih jelas. Hasil dari proses pengolahan data kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta distribusi kecepatan gelombang geser (Vs) yang dapat merepresentasikan perbedaan kondisi dari geologi bawah permukaan pada lokasi pengukuran.

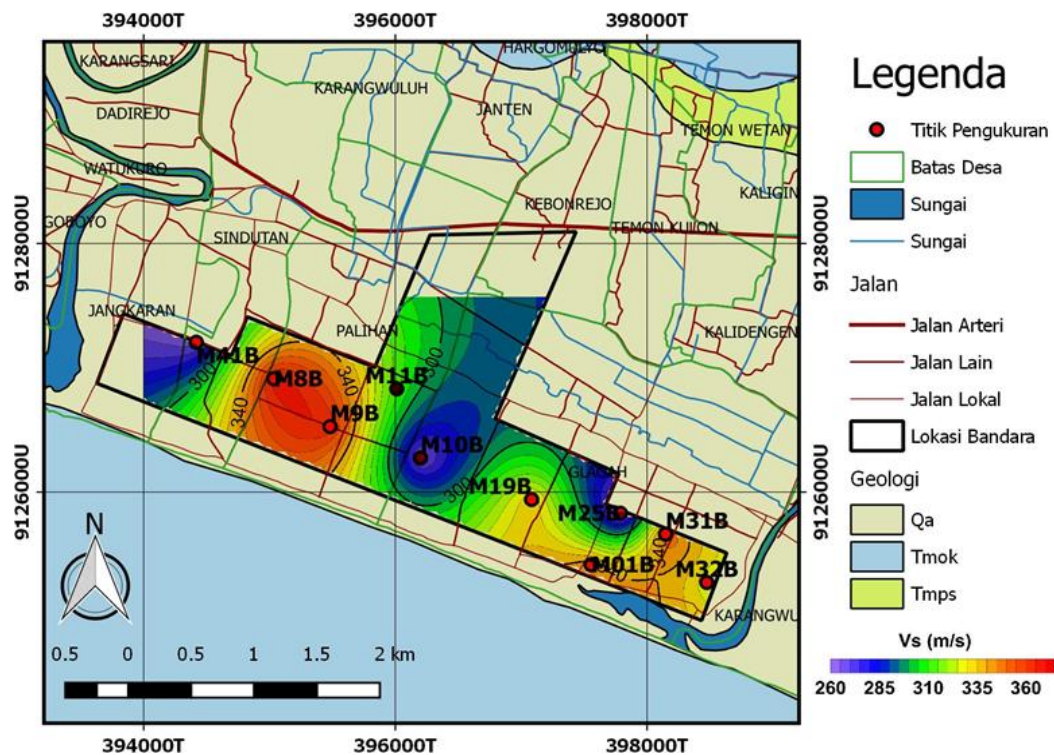
Berdasarkan peta distribusi Vs, zona dengan gradasi warna ungu hingga biru menunjukkan daerah yang memiliki nilai kecepatan gelombang geser rendah, yaitu berkisar antara 260–285 m/s. Zona tersebut teridentifikasi pada titik M41, M10, dan M25B di Desa Glagah dan Sindutan. Nilai kecepatan gelombang geser

(Vs) rendah mengindikasikan bahwa daerah tersebut didominasi oleh material sedimen yang bersifat lebih lunak, kurang padat, dan belum terkonsolidasi secara optimal. Kondisi ini umumnya berkaitan dengan keberadaan endapan aluvial muda atau pasir lepas yang memiliki porositas tingkat dan daya dukung relatif rendah. Selain itu, keberadaan sedimen lepas pada wilayah pesisir dapat mempengaruhi proses sedimentasi pantai yang masih aktif.

Sedangkan Zona berwarna merah merepresentasikan nilai Vs tertinggi, yaitu sekitar 360 m/s, yang terdapat di Desa Sindutan pada titik pengukuran M8B. Nilai kecepatan gelombang geser (vs) yang tinggi menunjukkan bahwa material bawah permukaan pada lokasi tersebut memiliki tingkat kepadatan dan kekompakan yang lebih baik dibandingkan lokasi lainnya. Kondisi tersebut mengidentifikasi bahwa daerah penelitian di dominasi oleh endapan pasir yang padat atau material sedimen yang telah mengalami proses kompaksi lebih lanjut akibat pengaruh tekanan overburden maupun proses geologi. Material dengan nilai kecepatan gelombang geser (Vs) yang lebih stabil dan kemampuan dukung tanah yang lebih baik.

Sementara itu, zona berwarna hijau hingga kuning tua menunjukkan daerah dengan nilai Vs sedang, berkisar antara 310–335 m/s, yang tersebar pada titik M19B, M11B, M31B, dan M32 di Desa Jangkar, Palihan, Sindutan, dan Glagah. Hasil nilai secepatan gelombang geser (Vs) pada wilayah penelitian menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan tersusun atas material sedimen dengan tingkat kekompakan sedang hingga cukup padat. Variasi nilai tersebut menunjukkan adanya transisi litologi antara lapisan sedimen lunak dan lapisan yang lebih terkonsolidasi.

Secara keseluruhan, hasil pemetaan distribusi kecepatan gelombang geser (Vs) pada wilayah penelitian menunjukkan adanya variasi lateral karakteristik litologi bawah permukaan yang dipengaruhi oleh proses sedimentasi pantai dan aluvial. Variasi nilai Vs tersebut mencerminkan perbedaan sifat fisik material penyusun bawah permukaan, terutama tingkat kepadatan, kekompakan, dan ketebalan lapisan sedimen. Hasil pemetaan ini memberikan informasi penting dalam memahami kondisi geologi teknik wilayah penelitian, khususnya yang berkaitan dengan stabilitas tanah dan respon dinamik bawah permukaan sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Peta sebaran kecepatan gelombang geser (V_s) pada area landasan pacu (runway) di Kecamatan Temon, Yogyakarta

Hasil analisis yang berdasarkan pada peta persebaran kecepatan gelombang geser (V_s) diatas, menunjukkan bahwa nilai kecepatan gelombang geser yang diperoleh relatif rendah hingga kedalaman sekitar 15 meter. Kondisi ini diinterpretasikan sebagai material pasir lepas dengan ukuran butiran halus, mengacu pada klasifikasi yang dikemukakan oleh (Pacchi, 2018), serta didominasi oleh tanah tipe C. Dalam upaya mitigasi bencana kegempaan, kondisi tersebut mengindikasikan bahwa perencanaan dan pembangunan bangunan, baik gedung maupun non-gedung, perlu menerapkan prinsip desain tahan gempa. Hal ini disebabkan oleh karakteristik tanah pada kawasan landasan pacu yang tergolong lemah dan berpotensi memperbesar dampak getaran gempa.

Tahap selanjutnya dilakukan pemodelan tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak *RockWorks* untuk memvisualisasikan distribusi kecepatan gelombang geser (V_s) bawah permukaan secara spasial. Pada proses pemodelan 3D menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW), data masukan yang digunakan meliputi kedalaman serta nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dalam satuan m/s yang diperoleh dari hasil inversi kurva dispersi. Selain itu, koordinat lokal setiap geofon dimasukkan ke dalam sistem pemodelan untuk menghasilkan representasi kondisi bawah permukaan yang lebih komperhensif.

Arah pemodelan 3D disesuaikan mengikuti garis pantai dan sejajar dengan arah pelapisan (*strike*), yaitu N

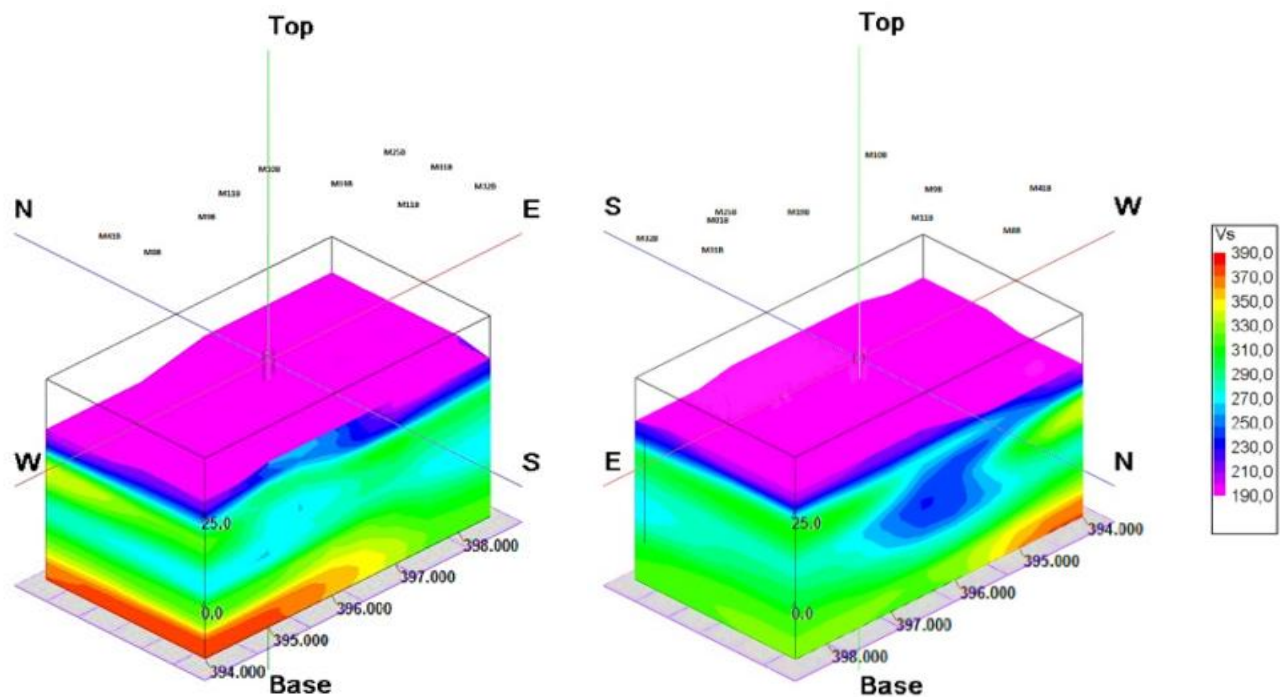
120° E dari arah NW-SE (barat laut-tenggara). Dengan pengaturan tersebut, proses pembuatan sayatan pada model 3D dilakukan searah dengan lintasan pengukuran. Dengan demikian, model tiga dimensi yang dihasilkan mampu menggambarkan variasi lateral maupun vertikal kecepatan gelombang geser pada wilayah penelitian.

Hasil akhir berupa model 3D bawah permukaan lokasi penelitian digunakan untuk memperkuat interpretasi distribusi nilai kecepatan gelombang geser. Model tersebut menunjukkan bahwa nilai V_s cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Nilai kecepatan gelombang geser (V_s) yang tinggi mengindikasikan bahwa material tanah di bawah permukaan memiliki tingkat kepadatan yang lebih besar.

Berdasarkan hasil pengukuran, profil kecepatan gelombang S hingga kedalaman sekitar 5 meter di lokasi penelitian menunjukkan adanya lapisan pertama yang diduga berupa pasir lepas atau endapan pasir atau sedimen pasir pantai yang kurang terkonsolidasi, dengan nilai V_s berkisar antara 220,2 m/s hingga 315,7 m/s (Burger, 1992). Material tersebut memiliki porositas yang tinggi dan tingkatan kepadatan yang relatif rendah sehingga menghasilkan nilai V_s yang lebih kecil. Sebaran lapisan ini tampak mendominasi bagian atas model bawah permukaan, terutama pada area yang berdekatan dengan zona pasir. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai material pasir yang lebih

kompak, memiliki tingkat kejenuhan air yang lebih tinggi, serta mengandung campuran material lempung. Keberadaan campuran lempung dan meningkatnya tingkat kompaksi menyebabkan nilai Vs pada lapisan ini menjadi lapusan lebih besar dibandingkan lapisan di atasnya. Selain itu, lapisan yang cukup tebal pada daerah penelitian menyebabkan energi gelombang permukaan mengalami atenuasi hingga penetrasi pengukuran menjadi terbatas. Kondisi tersebut mengakibatkan kedalaman kecepatan gelombang geser (Vs) mencapai sekitar 5 meter hingga 11 meter meskipun model divisualisasikan hingga kedalam 30 meter.

Berdasarkan visualisasi model tiga dimensi, terlihat bahwa distribusi nilai Vs tidak bersifat homogen, melainkan menunjukkan heterogenitas lateral yang dipengaruhi oleh variasi litologi bawah permukaan. Zona dengan nilai Vs rendah ditunjukkan oleh warna biru hingga hijau, sedangkan zona dengan nilai Vs tinggi direpresentasikan oleh warna kuning hingga merah muda. Perubahan warna pada model mencerminkan variasi tingkat kekompakan sedimen, perubahan ukuran butir material, serta kemungkinan pengaruh kandungan air tanah pada lapisan bawah permukaan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Model tiga dimensi (3D) distribusi kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter di kawasan landasan pacu ditinjau dari arah barat laut-tenggara (NW-SE).

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa analisis menggunakan MASW menunjukkan bahwa lapisan tertentu dicirikan oleh nilai kecepatan gelombang geser yang relatif tinggi, yaitu berkisar antara 370 m/s hingga 390 m/s (Burger, 1992). Berdasarkan analisis data pada kawasan rencana pembangunan Bandara Internasional di Kecamatan Temon, Yogyakarta, nilai kecepatan gelombang geser pada area landasan pacu mengindikasikan keberadaan litologi pasir lepas (*loose sand*) dengan kisaran Vs antara 220,2 m/s hingga 315,7 m/s pada kedalaman 1–4 meter. Adapun pada kedalaman sekitar 5–15 meter, teridentifikasi litologi pasir (*sand*) yang ditandai oleh peningkatan nilai kecepatan gelombang geser, yaitu berkisar antara 370 m/s hingga 390 m/s.

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa lapisan tanah pada lokasi pembangunan *runway* didominasi

oleh material yang bersifat lapuk, lepas, dan relatif lunak pada lapisan dangkal, dengan posisi tanah dasar yang berada pada kedalaman cukup besar. Karakteristik geoteknik tersebut menunjukkan bahwa daya dukung tanah pada beberapa bagian wilayah penelitian masih tergolong rendah dan berpotensi mengalami penurunan tanah (*settlement*) apabila menerima beban konstruksi yang besar secara terus-menerus.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada kawasan rencana pembangunan Bandara Udara Internasional di Kulon Progo, Yogyakarta, dapat disimpulkan bahwa karakteristik litologi bawah permukaan yang ditinjau dari kecepatan gelombang geser (S) menunjukkan variasi tertentu. Pada kedalaman 1–4 meter, nilai kecepatan gelombang S berkisar antara 220,2 m/s

hingga 315,7 m/s yang mengindikasikan litologi berupa pasir lepas (*loose sand*). Sementara itu, pada kedalaman 5–15 meter, litologi didominasi oleh pasir yang lebih kompak (*compact sand*) dengan nilai kecepatan gelombang S berkisar antara 370 m/s hingga 390 m/s. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun area pembangunan landasan pacu relatif datar secara litologi, karakteristik tanah yang cenderung lapuk, lepas, dan lunak serta kedalaman tanah dasar yang relatif dangkal menjadikan kondisi tersebut kurang mendukung untuk pembangunan. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan tanah melalui pengerasan dengan kualitas tinggi dalam proses konstruksi landasan pacu.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penelitian ini, khususnya kepada dosen pembimbing, masyarakat sekitar, dan teman sejawat, yang telah memberikan dukungan, arahan, bimbingan, masukan dan semangat selama proses penelitian.

Referensi

- Burger, H. R. (1992). Introduction to applied geophysics: Exploring the shallow subsurface. 660.
- Bustari, A. A., & Wibowo, N. B. (2023a). peak ground acceleration wilayah Bantul Timur. 7281, 73–80. <https://doi.org/10.28989/cakrawala.v1i2.1436>
- Bustari, A. A., & Wibowo, N. B. (2023b). Pemetaan sebaran nilai Vs30, faktor amplifikasi tanah, dan peak ground acceleration wilayah Bantul timur. Cakrawala Jurnal Ilmiah Bidang Sains, 1(2), 73–80. <https://doi.org/10.28989/cakrawala.v1i2.1436>
- EC-8. (2004). Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1, European Committee for Standardization. 3(6), 55–60.
- Handoyo, H., Alfatih, Z. Z. P., 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 Journal), 6(3), 1369–1372. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v6i3.1187>
- M. Muzli Sativa, R. Pandhu Mahesworo, R. Madijono, Siswoyo, S. Pramono, K.R. Dewi, Budiarta, B. Sulisty, R. Swastikarani, N. Oktavia, Moehajirin, N. Efendi, T.A. Wijaya, B. Subadyo, Suwanto, & S. Pramono. (2016). Pengukuran Vs30 Menggunakan Metode Masw Untuk Wilayah Yogyakarta Mapping of Vs30 Using Masw Method for Yogyakarta Region. Jurnal Meteorologi Dan Geofisika, 17(1), 25–31. <http://www.masw.com>
- NEHRP. (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450). Part 1, Fema 450, 338.
- Pacchi, C. (2018). Epistemological critiques to the technocratic planning model: the role of Jane Jacobs, Paul Davidoff, Reyner Banham and Giancarlo De Carlo in the 1960s. City, Territory and Architecture, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40410-018-0095-3>
- 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>
- Pratiwi, T. D., Laia, M., Rohmawati, R., & Metaningrum, M. (2025). Analisis Kawasan Pembangunan Bandara Udara Internasional Yogyakarta dalam Kajian Seismik Refraksi. Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika, 13(02), 141–150. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v13i02.461>
- SNI 1726:2019. (2019). SNI 1726:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Sni 1726-2019, 8, 1–254.
- Sururiyah, S., Budi, A. S., & Habibah, N. F. (2025). IDENTIFIKASI KLASIFIKASI JENIS TANAH DI WILAYAH SERANG MENGGUNAKAN DATA Vs 30 GEOMORFOLOGI. XIII, 231–237.
- Teknik, F., Mada, U. G., Teknik, D., Teknik, F., & Mada, U. G. (2021). <http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL>. 4(1), 17–32.
- Usman, E., Triana, Y. D., Purnomo, B. J., Suyono, Wahyudin, Gussyak, S., Hidayat, T., Hermawan, W., Daryanto, A., Wiyanto, Hadiyanti, N. A., & Asghaf, N. M. A. (2024). Peran Geologi Tata Lingkungan.