



Identifikasi Struktur Akuifer Dangkal Berdasarkan Integrasi Kecepatan Gelombang Seismik dan Resistivitas Listrik: Studi Kasus Kawasan Terintegrasi Kemayoran

Fastaqima Syifa¹, Dimas Salomo Januario Sianipar¹, Dzikrullah Akbar^{1*}, Muhammad Lutfi Hakim¹

¹Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Kota Tangerang, Banten, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.2978>

Article Info:

Received : 26 Juli 2026
Revised : 18 Agustus 2026
Accepted : 25 Agustus 2026
Published : 16 September 2026

Correspondence:

Dzikrullah Akbar

Phone:

Abstract: Access to clean water in Indonesia still relies heavily on groundwater, making accurate mapping of aquifer structures essential, particularly in densely populated urban areas such as the Kemayoran Integrated Zone. Aquifer interpretation based on a single geophysical method, especially resistivity, has the potential to introduce ambiguity, since resistivity values are influenced by lithology, clay content, and fluid salinity. This study aims to identify shallow aquifer structures at two representative locations, namely Pademangan and Kemayoran, through the integration of shear wave velocity (V_s) and primary wave velocity (V_p) obtained from Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) and Seismic Refraction Tomography, the V_p/V_s ratio, and electrical resistivity from Electrical Resistivity Tomography (ERT) using dipole-dipole and Schlumberger configurations. The data were analyzed qualitatively based on the similarity of patterns, depths, and layer thicknesses. The results show that a shallow unconfined aquifer zone was consistently identified at depths of 15 to 45 meters, with a groundwater table at depths of 5 to 15 meters. Both locations are dominated by water-saturated clay and clayey sand with very low resistivity ($<6 \Omega m$), indicating a possible influence of brackish water or seawater intrusion due to the proximity of the Kemayoran Integrated Zone to Jakarta's coastal area. The integration of seismic and resistivity parameters proved effective in reducing the ambiguity of single-method interpretation and provided a more comprehensive picture of aquifer structure.

Keywords: Aquifer; MASW; Seismic Refraction; ERT; Kemayoran

Citation: Syifa, F., Sianipar, D. S. J., Akbar, D., & Hakim, M. L. (2026). Identifikasi Struktur Akuifer Dangkal Berdasarkan Integrasi Kecepatan Gelombang Seismik dan Resistivitas Listrik: Studi Kasus Kawasan Terintegrasi Kemayoran. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(4), 5482–5489. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.2978>

Pendahuluan

Air bersih merupakan kebutuhan mendasar yang berperan penting dalam menjaga kesehatan dan kesejahteraan manusia (WHO & UNICEF, 2020). Di Indonesia, pemenuhan sumber air bersih mayoritas masih bergantung pada air tanah. Secara hidrogeologi, air tanah tersimpan dalam suatu sistem geologi yang disebut akuifer, yaitu lapisan bawah permukaan (seperti pasir atau kerikil) yang mampu menyimpan dan meloloskan air dalam jumlah signifikan (Heath, 1983). Pemetaan hidrogeologi wilayah Jakarta menunjukkan

adanya sistem akuifer berlapis yang kompleks, yang mana Zona I merupakan akuifer tak tertekan (*unconfined aquifer*) produktif pada kedalaman 10–40 meter yang disusun oleh endapan vulkanik dan pasir berlempung (Fachri dkk., 2002). Eksplorasi geofisika, khususnya metode geolistrik resistivitas, merupakan teknik yang umum digunakan dalam studi hidrogeologi karena sensitivitasnya terhadap keberadaan fluida di dalam pori batuan (Kirsch, 2008; Reynolds, 2011). Namun, penggunaan metode resistivitas secara tunggal berpotensi menimbulkan ambiguitas tinggi karena nilai

resistivitas yang rendah tidak hanya dipengaruhi oleh air, melainkan juga oleh tingginya kandungan lempung atau salinitas fluida, yang sangat rentan terjadi di kawasan pesisir (Loke dkk., 2013). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pelengkap seperti metode seismik untuk mereduksi ambiguitas tersebut.

Metode seismik dangkal seperti *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) memanfaatkan sifat dispersi gelombang Rayleigh untuk memperoleh model kecepatan gelombang geser (V_s), dan juga mampu mengekstrak kecepatan gelombang primer (V_p) dengan metode seismik refraksi (Park dkk., 1999). Perhitungan rasio V_p/V_s dan Rasio Poisson memiliki sensitivitas tinggi terhadap transisi kejenuhan fluida dan bebas dari ambiguitas efek densitas, menjadikannya indikator andal untuk mendelineasi batas muka air tanah (Pasquet dkk., 2015; Gao dkk., 2022).

Pendekatan integratif antara parameter kecepatan gelombang seismik dan resistivitas telah terbukti efektif dalam karakterisasi akuifer di berbagai wilayah, misalnya integrasi MASW dan ERT yang berhasil mendelineasi batas akuifer aluvial tak tertekan di kawasan pesisir Portugal (Paz dkk., 2020). Meskipun demikian, penerapan pendekatan serupa di Indonesia, khususnya Jakarta, masih sangat terbatas; penelitian hidrogeologi yang ada umumnya hanya mengandalkan data geolistrik tunggal atau pemetaan stratigrafi regional (Fachri dkk., 2002) tanpa validasi silang menggunakan parameter seismik.

Kekosongan ini menjadi krusial khususnya di Kawasan Terintegrasi Kemayoran, yang mencakup titik Pademangan dan Kemayoran, karena kedua lokasi berada pada endapan aluvium berlapis dengan variasi litologi lempung-pasir yang kompleks serta berjarak dekat dengan garis pantai utara Jakarta, sehingga rentan terhadap intrusi air laut dan penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang dapat mengaburkan interpretasi akuifer bila hanya mengandalkan resistivitas tunggal. Ambiguitas ini berisiko tinggi menyebabkan kesalahan estimasi kedalaman dan ketebalan akuifer, yang berdampak langsung pada perencanaan eksploitasi air tanah di kawasan padat perkantoran tersebut.

Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengisi celah tersebut dengan menjadi studi pertama yang mengintegrasikan V_p , V_s , rasio V_p/V_s , dan resistivitas listrik 2D secara khusus untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi struktur akuifer dangkal di wilayah aluvial perkotaan pesisir Jakarta, dengan tujuan mereduksi ambiguitas interpretasi tunggal dan memberikan gambaran struktur akuifer yang lebih komprehensif.

Metode

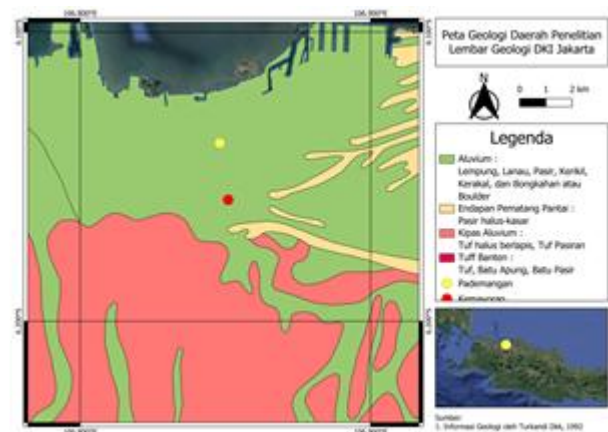
Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Terintegrasi Kemayoran yang berada di bawah naungan Pusat Pengelolaan Komplek (PPK) Kemayoran, dengan mengambil dua titik pengukuran representatif, yaitu Pademangan dan Kemayoran. Pemilihan kedua lokasi ini didasarkan pada posisi strategisnya sebagai pusat perkantoran, bisnis, dan kawasan padat penduduk yang memiliki tingkat ketergantungan tinggi terhadap air tanah. Selain itu, letak Pademangan yang berbatasan dengan pesisir utara dan Kemayoran di bagian tengah menjadikannya lokasi ideal untuk mengidentifikasi perubahan karakter akuifer serta batas intrusi air laut secara lateral.

Secara geologi, berdasarkan Peta Geologi Lembar Jakarta (Turkandi dkk., 1992), kedua titik pengukuran ini berada pada kelurusan struktur geologi aluvium yang sama (Gambar 1). Hal ini memungkinkan pengamatan korelasi lapisan bawah permukaan secara lebih berkesinambungan. Rincian koordinat dan panjang lintasan pengukuran pada masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Informasi lokasi penelitian

Lokasi	Panjang Lintasan	Koordinat
Kemayoran, Jakarta Pusat	± 380 meter	6°09'29"S 106°51'03"E
Pademangan, Jakarta Utara	± 320 meter	6°08'13"S 106°50'52"E

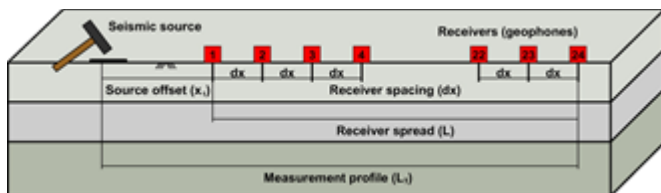


Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian (Turkandi dkk., 1992)

Penelitian ini menggunakan pendekatan multi-metode geofisika untuk memetakan struktur akuifer secara komprehensif. Tiga metode utama yang digunakan adalah: *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW), Tomografi Seismik Refraksi, dan *Electrical Resistivity Tomography* (ERT).

Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

Metode MASW diterapkan untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (V_s) 1D maupun 2D dengan memanfaatkan sifat dispersi gelombang permukaan, khususnya gelombang Rayleigh (Park dkk., 1999). Dalam proses pengambilan datanya (akuisisi), metode ini menggunakan serangkaian geophone yang dibentangkan dalam satu lintasan untuk merekam perambatan gelombang seismik buatan dari sumber getar di permukaan. Ilustrasi susunan akuisisi data MASW di lapangan ditunjukkan pada Gambar 2.



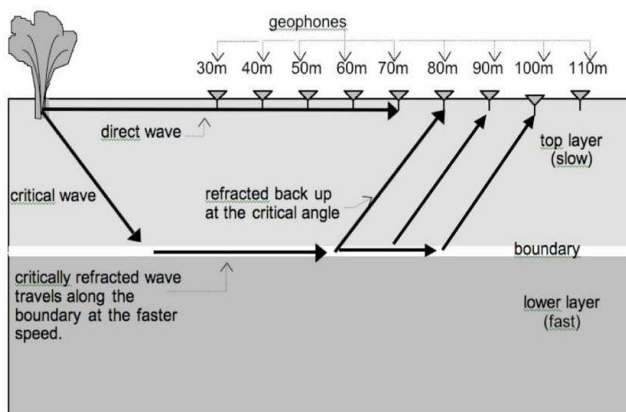
Gambar 2. Ilustrasi sederhana proses akuisisi data Metode MASW (Olafsdottir dkk., 2017)

Secara fisis, kecepatan gelombang geser (V_s) merepresentasikan tingkat kekakuan material yang sangat bergantung pada modulus geser (G) dan densitas (ρ) (Telford dkk., 1990; Kramer, 1996; Elnashai dan Sarno, 2008), dengan rumusan utama:

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

Tomografi Seismik Refraksi

Metode ini bertujuan memodelkan kecepatan gelombang primer (V_p) berdasarkan waktu tiba pertama (*first-break*) dari penjalaran gelombang bias. Prinsip dasarnya mengacu pada Hukum Snellius untuk refraksi kritis, yakni saat gelombang dibiaskan sejajar dengan bidang batas lapisan (Reynolds, 2011). Gambar 3 menggambarkan bagaimana metode seismik refraksi bekerja.



Gambar 3. Ilustrasi sederhana metode seismik refraksi (Elhaj, 2016)

Kecepatan gelombang primer sendiri bergantung pada sifat elastik batuan melalui persamaan:

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}}$$

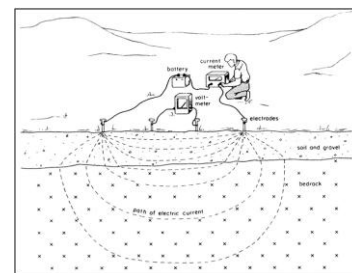
Yang mana K adalah modulus Bulk. Pemodelan V_p diselesaikan menggunakan pendekatan inversi waktu tempuh non-linier secara iteratif pada matriks grid (tomografi).

Electrical Resistivity Tomography (ERT)

Metode ERT digunakan untuk memetakan variasi nilai tahanan jenis bawah permukaan yang sangat sensitif terhadap kandungan fluida, litologi, dan salinitas pori batuan (Telford dkk., 1990). Pada penerapannya, perhitungan utamanya didasarkan pada perluasan Hukum Ohm melalui persamaan resistivitas semu (Loke, 2021):

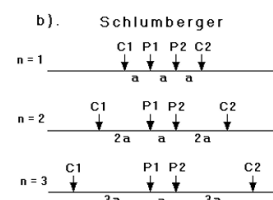
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Yang mana ΔV adalah beda potensial yang terukur, adalah arus listrik yang diinjeksikan, dan merupakan faktor geometri yang nilainya bergantung pada susunan jarak antar elektroda. Gambar 4. Menggambarkan bagaimana metode geolistrik bekerja.

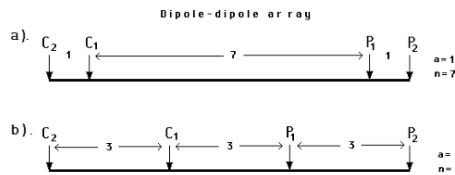


Gambar 4. Ilustrasi alur kerja metode geolistrik (Aizebeokhai, 2010)

Pada penelitian ini, konfigurasi elektroda yang digunakan adalah Schlumberger dan Dipol-dipol, yang data resistivitas semuanya kemudian diinversi secara numerik untuk mendapatkan model resistivitas sejati bawah permukaan (Loke, 2021).



Gambar 5. Susunan electrode Schlumberger. (Loke M. H., 2021)



Gambar 6. Susunan electrode Schlumberger. (Loke M. H., 2021)

Integrasi Parameter (Rasio V_p/V_s)

Untuk mendelineasi batas muka air tanah secara lebih presisi dan mereduksi ambiguitas interpretasi litologi, matriks V_p dan V_s yang telah dikalkulasi diintegrasikan menjadi rasio V_p/V_s . Rumusan rasio ini secara fisis mengeliminasi variabel densitas (ρ) sehingga bebas dari *density effect ambiguity* (ambiguitas efek densitas) (Mavko, Mukerji dan Dvorkin, 2020). Persamaan rasio V_p/V_s dirumuskan sebagai:

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{K + \frac{3}{4}G}{G}} \text{ atau } \frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{2-2\nu}{1-2\nu}}$$

Yang mana ν melambangkan Rasio Poisson (Mavko, Mukerji dan Dvorkin, 2020). Peningkatan ekstrem pada nilai rasio ini merupakan indikator utama dari transisi zona tak jenuh menuju akuifer yang tersaturasi fluida secara penuh.

Klasifikasi Material Setiap Parameter

Interpretasi litologi dan kondisi saturasi fluida bawah permukaan dilakukan dengan mengacu pada rentang nilai acuan tiap parameter yang telah dipublikasikan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi material

Parameter	Material	Rentang Nilai	Sumber
V_p (m/s)	Tanah (umum)	100–500	Reynolds (2011)
V_p (m/s)	Pasir kering, longgar	200–1000	Reynolds (2011)
V_p (m/s)	Lempung	1000–2500	Reynolds (2011)
V_s (m/s)	Lempung lunak	80–200	Paz dkk. (2020)
V_s (m/s)	Pasir longgar	80–250	Paz dkk. (2020)
V_s (m/s)	Pasir dan kerikil longgar	100–200	Paz dkk. (2020)
V_s (m/s)	Pasir padat	150–500	Paz dkk. (2020)
V_s (m/s)	Pasir semen	500–900	Paz dkk. (2020)

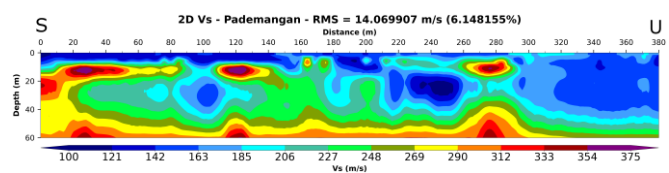
Parameter	Material	Rentang Nilai	Sumber
V_s (m/s)	Kerikil keras	300–600	Paz dkk. (2020)
Rasio V_p/V_s	Sedimen tak jenuh	~1.5–2.5	Pasquet dkk. (2015)
Rasio V_p/V_s	Sedimen jenuh air penuh	>3.0	Pasquet dkk. (2015)
Resistivitas (Ωm)	Pasir lempungan / lempung pasiran	30–215	Reynolds (2011)
Resistivitas (Ωm)	Aluvium dan pasir	10–800	Reynolds (2011)
Resistivitas (Ωm)	Lempung	1–100	Reynolds (2011)
Resistivitas (Ωm)	Air payau / intrusi air laut	<10	Yunus dkk. (2025)

Hasil dan Diskusi

Hasil pengolahan data ditampilkan berurutan mulai dari lokasi Pademangan kemudian Kemayoran, meliputi penampang 2D kecepatan gelombang geser (V_s), kecepatan gelombang primer (V_p), rasio V_p/V_s , dan resistivitas, sebagai dasar identifikasi struktur akuifer dangkal di Kawasan Terintegrasi Kemayoran.

Pademangan

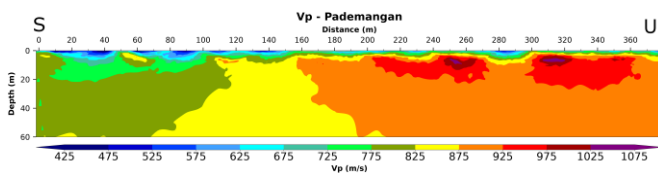
Struktur V_s di Pademangan menunjukkan pola berlapis yang cukup jelas (Gambar 7). Lapisan permukaan (0–5 m) memiliki V_s sangat rendah (100–140 m/s), sesuai kategori tanah urugan. Pada kedalaman 5–20 m dijumpai anomali V_s tinggi setempat (270–375 m/s) yang diinterpretasikan sebagai pasir padat hingga pasir semen. Zona yang paling menonjol secara hidrogeologis berada pada kedalaman 20–45 m, yang mana V_s turun signifikan menjadi 185–250 m/s dan bahkan mencapai nilai sangat rendah (<165 m/s) pada beberapa segmen. Rentang ini sesuai klasifikasi pasir longgar hingga pasir dan kerikil longgar (Paz dkk., 2020) dan mengindikasikan zona akuifer potensial pada kedalaman ±20–45 m. Pada kedalaman >45 m, V_s meningkat kembali ke 270–330 m/s, menunjukkan lapisan pasir padat sebagai batas bawah akuifer.



Gambar 7. Penampang 2D V_s Pademangan

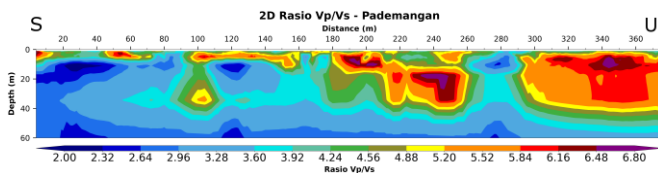
Penampang V_p Pademangan didominasi oleh zonasi lateral ketimbang transisi vertikal yang tajam

(Gambar 8). Pada jarak 0–100 m nilai V_p relatif rendah dan seragam (775–825 m/s), sedangkan pada jarak >160 m V_p meningkat ke 875–1075 m/s, dengan anomali tertinggi terkonsentrasi pada kedalaman dangkal 5–20 m. Pola ini mengindikasikan muka air tanah di Pademangan bervariasi secara lateral, dengan kondisi lebih jenuh pada segmen utara lintasan.



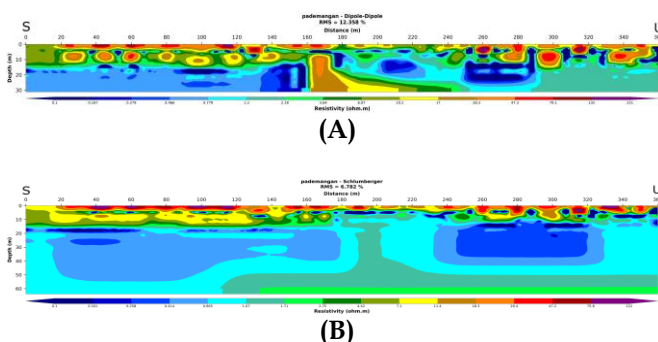
Gambar 8. Penampang 2D V_p Pademangan

Penampang rasio V_p/V_s Pademangan (Gambar 9) menunjukkan rentang terluas di antara kedua lokasi (hingga >6,8). Rasio rendah (2,0–2,6) mendominasi segmen selatan pada kedalaman >8 m, sementara anomali rasio ekstrem (5,2–6,8+) terkonsentrasi pada kedalaman 15–40 m di segmen utara lintasan. Pola ini mengonfirmasi bahwa zona akuifer paling signifikan dan paling jenuh air di Pademangan berada pada segmen utara lintasan, pada kedalaman ± 15 –40 m.



Gambar 9. Penampang 2D rasio V_p/V_s Pademangan

Resistivitas Pademangan (Gambar 10) menunjukkan pola zonasi lateral yang konsisten dengan hasil V_p dan rasio V_p/V_s . Lapisan permukaan (0–5 m) memiliki resistivitas tinggi bervariasi (10–130+ Ωm). Pada kedalaman 5–17 m resistivitas menurun ke 3–17 Ωm , sesuai pasir lempungan.



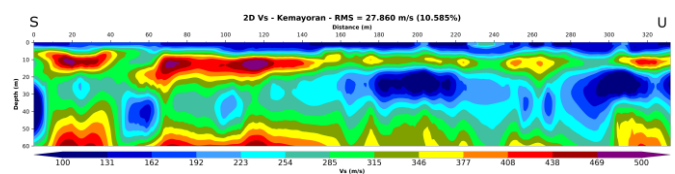
Gambar 10. Penampang 2D resistivitas Pademangan.
(A) konfigurasi dipol-dipol, (B) konfigurasi Schlumberger

Zona paling menonjol berada pada kedalaman >17 m, dengan resistivitas turun signifikan hingga 0,4–

1,3 Ωm dan menerus luas di sepanjang lintasan. Nilai rendah ini sangat konsisten dengan lempung jenuh air, bahkan mendekati nilai air payau, mengingat Pademangan berada di pesisir utara Jakarta yang rentan terhadap intrusi air laut.

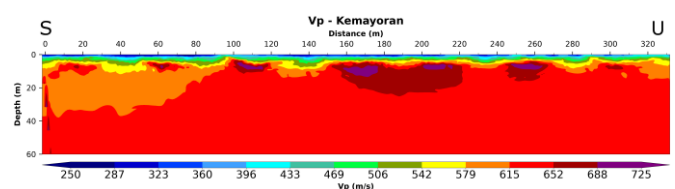
Kemayoran

Penampang V_s Kemayoran (Gambar 11) memperlihatkan struktur yang lebih kompleks dibandingkan Pademangan. Lapisan teratas (0–5 m) memiliki V_s sangat rendah (100–130 m/s), konsisten dengan tanah urugan. Pada kedalaman 5–20 m muncul anomali V_s sangat tinggi (400–500 m/s) yang tersebar tidak menerus, diinterpretasikan sebagai material kerikil semen atau lapisan laterit dangkal. Zona paling signifikan secara hidrogeologis adalah zona luas dengan V_s rendah (130–250 m/s) yang mendominasi kedalaman 20–45 m di sepanjang lintasan, menjadikannya kandidat akuifer utama. Pada kedalaman >45 m, V_s kembali meningkat (320–440 m/s), mengindikasikan lapisan pasir padat hingga kerikil keras sebagai lapisan dasar.



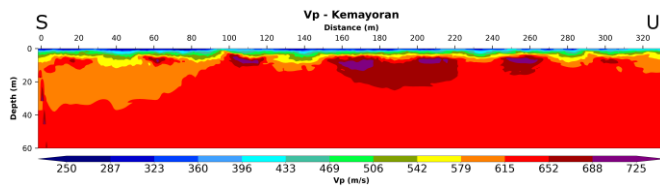
Gambar 11. Penampang 2D V_s Kemayoran

Pola zonasi V_p Kemayoran (Gambar 12) serupa dengan Pademangan meski rentang skalanya relatif lebih rendah (250–725 m/s). Lapisan permukaan (0–5 m) memiliki V_p rendah (250–400 m/s), dengan transisi cepat menuju V_p tinggi (>580 m/s) pada kedalaman 5–10 m yang mendominasi seluruh lintasan di bawahnya. Zona transisi ini mengindikasikan muka air tanah pada kedalaman ± 5 –10 m.



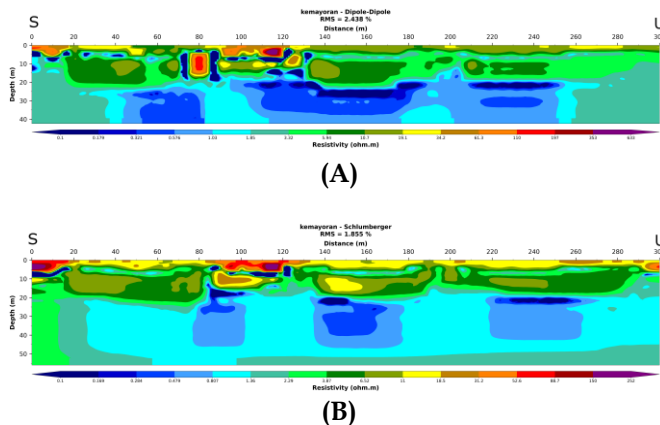
Gambar 12. Penampang 2D V_p Kemayoran

Rasio V_p/V_s Kemayoran (Gambar 13) menunjukkan pola yang lebih heterogen dibandingkan Pademangan. Rentang rasio terendah 1,2–1,7 tersebar pada jarak 0–120 m di kedalaman 5–25 m, sedangkan anomali rasio sangat tinggi (3,7–5,0) muncul spesifik pada kedalaman 15–40 m. Kontras ini menegaskan bahwa zona akuifer paling prospektif di Kemayoran terkonsentrasi secara lateral, sejalan dengan kantong V_s rendah yang teridentifikasi.



Gambar 13. Penampang 2D rasio Vp/Vs Kemayoran

Penampang resistivitas Kemayoran (Gambar 14) menunjukkan pola tiga lapis yang jelas. Lapisan atas (0–3 m) memiliki resistivitas tinggi (19–110 Ω m). Pada kedalaman 3–17 m terdapat zona resistivitas sedang (3–19 Ω m) yang mengindikasikan pasir dan kerikil atau tanah bercampur lempung. Zona paling signifikan berada pada kedalaman >17–20 m, yang mana resistivitas turun drastis hingga <1–1,85 Ω m, konsisten dengan lempung yang sangat jenuh air atau bahkan berasosiasi dengan air payau/asin mengingat posisi Kemayoran yang masih berada dalam sistem akuifer dataran aluvial Jakarta yang berdekatan secara regional dengan kawasan pesisir.



Gambar 14. Penampang 2D resistivitas Kemayoran. (A) konfigurasi dipol-dipol, (B) konfigurasi Schlumberger

Integrasi parameter kecepatan gelombang seismik (Vp, Vs, dan rasio Vp/Vs) serta resistivitas listrik di Pademangan dan Kemayoran menunjukkan bahwa struktur akuifer dangkal di kedua lokasi secara konsisten berada pada rentang kedalaman 15 hingga 45 meter. Temuan ini dikorelasikan dengan kerangka hidrostratigrafi regional Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta yang dipetakan oleh Fachri dkk. (2002), yaitu Zona I (akuifer tak tertekan pada kedalaman 10–40 meter yang tersusun oleh Formasi Citalang dan endapan vulkanik Kuartar).

Batas atas akuifer (muka air tanah) teridentifikasi secara konsisten pada kedalaman 5–15 m, ditandai oleh penurunan resistivitas dan lonjakan nilai Vp, sedangkan batas bawah akuifer terdeteksi pada kedalaman >40–45 m melalui peningkatan kembali nilai Vs yang mencerminkan transisi menuju lapisan yang lebih

kompak. Kedua lokasi di Kawasan Terintegrasi Kemayoran ini dicirikan oleh penurunan resistivitas yang sangat ekstrem (<1 Ω m hingga 6 Ω m) pada zona akuifer, jauh di bawah ambang batas air tawar normal pada sedimen aluvial (1–300 Ω m) menurut klasifikasi Yunus dkk. (2025).

Kondisi ini mengonfirmasi bahwa rendahnya resistivitas di Pademangan dan Kemayoran dipengaruhi oleh dominasi mineral lempung konduktif atau adanya intrusi air laut atau air payau, mengingat kedua lokasi masih berada dalam sistem akuifer aluvial Jakarta yang berdekatan secara regional dengan kawasan pesisir. Hal ini membuktikan bahwa metode resistivitas tunggal memiliki ambiguitas tinggi dalam membedakan litologi pasir jenuh, lempung, atau salinitas fluida, sehingga validasi silang dengan parameter seismik menjadi langkah penting untuk mendelineasi struktur akuifer secara lebih pasti (Yunus dkk., 2025).

Penguatan interpretasi keberadaan zona jenuh air divalidasi lebih lanjut oleh perilaku elastik batuan yang tercermin dari rasio Vp/Vs. Pada kedua lokasi, zona akuifer mencatatkan anomali peningkatan rasio Vp/Vs yang signifikan dibandingkan lapisan kering di atasnya maupun lapisan lebih kompak di bawahnya. Kondisi ini konsisten dengan mekanisme fisik yang mana keberadaan fluida pori pada sedimen jenuh air penuh meningkatkan modulus kompresional (Vp) secara mendadak akibat resistansi air terhadap kompresi, sementara modulus geser (Vs) tetap rendah karena minimnya pengikatan antar-butir, sehingga rasio Vp/Vs melonjak naik. Temuan ini selaras dengan hasil observasi multi-parameter oleh Gao dkk. (2022) pada akuifer aluvial dangkal di Krauthausen, Jerman, yang memvalidasi bahwa kenaikan rasio Vp/Vs mengindikasikan perubahan dari kondisi tak jenuh menjadi jenuh fluida.

Secara keseluruhan, integrasi multi-parameter antara kecepatan gelombang seismik, rasio Vp/Vs, dan resistivitas listrik terbukti berhasil mengatasi keterbatasan dan ambiguitas metode tunggal di Pademangan dan Kemayoran. Metode seismik memberikan kontrol tegas terhadap batas mekanik dan tingkat kejenuhan fluida, sementara metode geolistrik memberikan sensitivitas langsung terhadap kualitas fluida dan jenis litologi pori. Kesesuaian antara model hidrogeofisika yang dihasilkan dengan kerangka hidrostratigrafi regional menegaskan bahwa pendekatan integratif ini cukup efektif untuk memetakan struktur akuifer dangkal di lingkungan aluvial perkotaan yang kompleks seperti Kawasan Terintegrasi Kemayoran.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan, interpretasi, dan integrasi data kecepatan gelombang geser, kecepatan

gelombang primer, rasio V_p/V_s , serta resistivitas di Pademangan dan Kemayoran, dapat disimpulkan bahwa struktur akuifer dangkal tak tertekan (unconfined aquifer) di kedua lokasi secara konsisten berada pada rentang kedalaman 15 hingga 45 meter, dengan muka air tanah pada kedalaman 5 hingga 15 meter. Nilai rasio V_p/V_s yang tinggi, sebagai indikator zona jenuh air, ditemukan pada kedalaman sekitar 15 sampai 40 meter di kedua lokasi. Hasil resistivitas menunjukkan bahwa Pademangan dan Kemayoran didominasi resistivitas sangat rendah ($<6 \Omega m$) yang mengindikasikan lempung atau pasir berlempung jenuh air, dengan kemungkinan pengaruh air payau atau air asin mengingat kedua lokasi berada dalam sistem akuifer aluvial Jakarta yang berdekatan secara regional dengan kawasan pesisir. Integrasi seluruh parameter mengonfirmasi keberadaan sistem akuifer dangkal yang potensial di Kawasan Terintegrasi Kemayoran sekaligus menegaskan bahwa integrasi metode seismik dan geolistrik memberikan hasil interpretasi yang lebih kuat dibandingkan penggunaan satu parameter saja, karena mampu membedakan pengaruh kekakuan material, tingkat kejenuhan, kandungan lempung, dan kemungkinan salinitas air tanah. Validasi lanjutan berupa data sumur bor maupun uji hidrokimia/salinitas air tanah disarankan untuk memastikan secara empiris sumber penurunan resistivitas ekstrem yang ditemukan di kedua Lokasi.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) atas bimbingan, izin, serta akses alat dan informasi teknis yang sangat berguna dalam proses akuisisi dan analisis data, serta Pusat Pengelolaan Komplek (PPK) Kemayoran yang telah memberikan izin untuk mealakukan penelitian di wilayah studi, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan dan penyusunan penelitian ini.

Referensi

- Aizebeokhai, A. P. (2010). 2D and 3D geoelectrical resistivity imaging: Theory and field design. *Scientific Research and Essays*, 5(23), 3592–3605.
- Elhaj, K. G. E. M. K. (2016). Subsurface delineation and cavity investigation using geophysical methods in Gua Musang, Kelantan, Malaysia [Master's thesis, Universiti Sains Malaysia]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33212.85129>
- Elnashai, A. S., & Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of earthquake engineering*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470024867>
- Fachri, M., Delinom, R., & Martodjojo, S. (2002). Stratigrafi dan hidrostratigrafi Cekungan Airtanah Jakarta. *Buletin Geologi*, 34(3). <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/2491>
- Gao, L., Pan, Y., Rieder, A., Bohlen, T., & Mao, W. (2023). Multiparameter 2-D viscoelastic full-waveform inversion of Rayleigh waves: A field experiment at Krauthausen test site. *Geophysical Journal International*, 234(1), 297–312. <https://doi.org/10.1093/gji/ggad072>
- Heath, R. C. (1983). *Basic ground-water hydrology* (U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/wsp2220>
- Kirsch, R. (Ed.). (2009). *Groundwater geophysics: A tool for hydrogeology* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88405-7>
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall.
- Loke, M. H., Chambers, J. E., Rucker, D. F., Kuras, O., & Wilkinson, P. B. (2013). Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics*, 95, 135–156. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.02.017>
- Loke, M. H. (2021). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. *Geotomo Software*. <https://www.geotomosoft.com/downloads.php>
- Mavko, G., Mukerji, T., & Dvorkin, J. (2020). *The rock physics handbook* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108333016>
- 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. <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>
- Pasquet, S., Bodet, L., Longuevergne, L., Dhemaied, A., Camerlynck, C., Rejiba, F., & Guérin, R. (2015). Detecting different water table levels in a shallow aquifer with combined P-, surface and SH-wave surveys: Insights from V_p/V_s or Poisson's ratios. *Journal of Applied Geophysics*, 113, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.12.005>
- Paz, C., Alcalá, F. J., Carvalho, J. M., & Ribeiro, L. (2020). Integrated MASW and ERT imaging for geological definition of an unconfined alluvial aquifer sustaining a coastal groundwater-dependent ecosystem in southwest Portugal. *Applied Sciences*, 10(17), 5905. <https://doi.org/10.3390/app10175905>
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Turkandi, T., Agustyanto, D. A., & Hadiwijoyo, M. M. P. (1992). *Peta geologi lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- World Health Organization & United Nations Children's Fund. (2020). *Global progress report on WASH in health care facilities: Fundamentals first*. WHO & UNICEF.

<https://washdata.org/sites/default/files/2020-12/WHO-UNICEF-2020-wash-in-hcf.pdf>

Yunus, N., Rahman, A., & Ismail, N. (2025). Assessment of subsurface features and potential of groundwater delineation using 2-dimensional electrical resistivity imaging method. *Journal of Sustainability Science and Management*, 20(6), 1122–1139.
<https://doi.org/10.46754/jssm.2025.06.001>