

Rancang Bangun Mitigasi Gerakan Tanah Berbasis Data *Vertical Electrical Sounding*: Studi Kasus Kelurahan Tawang Sari, Kota Semarang

Michael Adrian Abimanyu Indrajati^{*1}, Dwiyanto JS², dan Mochamad Aryono Adhi³

¹Program Studi Magister Teknik Geologi, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN “Veteran” Yogyakarta, Jl. Ring Road Utara No.104, Ngropoh, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283

²PT Selimut Bumi Adhi Cipta, Jl. Karanganyar Gunung No. 267, Semarang

³Program Studi Magister Informatika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Jl. Raya Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

*211232003@student.upnyk.ac.id

Abstrak - Penyelidikan ketidakstabilan tanah merupakan langkah penting dalam mitigasi risiko geoteknik terhadap infrastruktur, terutama di kawasan yang berkembang pesat seperti Kota Semarang. Kelurahan Tawang Sari, Kota Semarang, yang berada di wilayah dataran aluvial dengan potensi ketidakstabilan tanah akibat komposisi litologi dan aktivitas antropogenik. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi potensi ketidakstabilan tanah serta menentukan metode mitigasi yang tepat untuk mengurangi risiko pergerakan tanah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah geolistrik konfigurasi Schlumberger dengan pendekatan Vertical Electrical Sounding (VES). Penyelidikan dilakukan pada tiga titik dengan kedalaman sekitar 30 meter. Hasil analisis menunjukkan adanya lapisan tanah dengan resistivitas rendah yang berpotensi menyebabkan ketidakstabilan tanah pada kedalaman 14,03 - 23,08 meter. Lapisan ini didominasi oleh lempung dengan sifat fisik yang kurang mendukung beban bangunan di atasnya, sehingga meningkatkan risiko pergerakan tanah. Berdasarkan hasil interpretasi geolistrik, metode mitigasi yang direkomendasikan adalah perbaikan stabilitas tanah menggunakan metode grouting dan pemasangan ankur pada lapisan pasir kelempungan untuk memperkuat daya dukung tanah. Selain itu, pemasangan tiang pancang pada pinggir kali di sekitar lokasi penelitian juga disarankan untuk mengurangi risiko keruntuhan lereng akibat pergerakan tanah. Metode ini dipilih karena lebih ekonomis dan dapat diterapkan tanpa harus membongkar struktur bangunan yang telah berdiri.

Kata kunci: geolistrik, *vertical electrical sounding*, ketidakstabilan tanah.

Abstract - Investigating soil instability is crucial in mitigating geotechnical risks to infrastructure, particularly in rapidly developing regions such as Semarang City. Tawang Sari Village, situated within an alluvial plain, exhibits potential soil instability due to its lithological composition and anthropogenic influences. This study aims to assess the soil instability potential and identify appropriate mitigation strategies to reduce the risk of ground movement.

The research employs the Schlumberger geoelectric configuration using the Vertical Electrical Sounding (VES) method. Measurements were conducted at three locations, each reaching a depth of approximately 30 meters. Analysis results reveal a low-resistivity soil layer at depths ranging from 14.03 to 23.08 meters, indicating a high susceptibility to instability. This layer is predominantly composed of clay, whose physical properties are inadequate to support structural loads, thereby increasing the likelihood of soil movement.

Based on geoelectric interpretation, the recommended mitigation approach includes soil stabilization via grouting and the installation of anchors within the clay-sand layer to enhance its bearing capacity. Additionally, pile installation along the nearby riverbank is advised to minimize slope failure risks associated with ground movement. These mitigation strategies are favored due to their cost-effectiveness and feasibility, allowing implementation without necessitating the dismantling of existing structures.

Keywords: geoelectric, *vertical electrical sounding*, soil instability.

PENDAHULUAN

Kota Semarang merupakan wilayah urban pesisir utara Pulau Jawa yang berkembang pesat secara demografis dan infrastruktur. Peningkatan jumlah penduduk memaksa ekspansi pemukiman ke daerah-daerah yang secara geologis rawan bencana. Salah satu kawasan yang terdampak adalah Kelurahan Tawangsari, yang berada di atas tanah urugan dan endapan aluvium pantai.

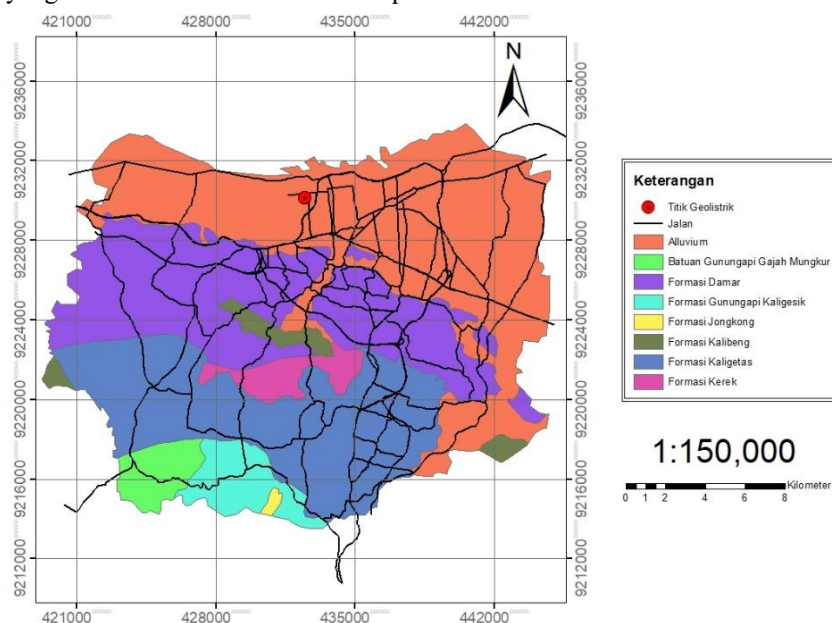
Penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi litologi bawah permukaan tanah di lokasi penyelidikan. Metode yang digunakan adalah geolistrik vertical electrical sounding, dengan pengambilan data dilakukan di tiga titik lintasan. Data lapangan yang diperoleh kemudian diproses menjadi penampang geolistrik untuk memperoleh informasi litologi bawah permukaan.

Metode Geolistrik Vertical Electrical Sounding (VES) digunakan karena bersifat non-destruktif, ekonomis, dan efisien. Geolistrik VES mampu mengidentifikasi perbedaan resistivitas antar lapisan tanah yang mencerminkan kondisi litologi bawah permukaan. Penggunaan metode ini dapat diterapkan untuk penyelidikan awal, sebelum dilakukan penyelidikan lanjutan.

Keluaran dari penelitian ini adalah rancangan mitigasi sementara berupa pemasangan grouting, angkur, dan tiang pancang yang didasarkan pada hasil interpretasi penampang geolistrik VES.

Tatanan Geologi Regional

Kota Semarang terbagi menjadi dua morfologi yang berbeda antara bagian utara dan selatan. Bagian selatan terdiri dari dataran tinggi terjal yang tersusun dari batuan vulkanik. Sementara itu, bagian utara terdiri dari bukit gelombang lemah yang tersusun oleh breksi dan ditutupi oleh aluvium.



Gambar 1. Peta geologi regional dan lokasi daerah penelitian.

Wilayah penelitian terletak di Semarang bagian utara yang tersusun atas satuan geologi aluvium (Qa). Endapan ini terdiri dari lempung, pasir, lanau, dan kerikil yang berasal dari proses sedimentasi sungai dan laut. Morfologi kawasan ini berupa dataran bergelombang lemah hingga datar, dengan elevasi rendah dan sangat dipengaruhi oleh aktivitas pasang surut air laut serta curah hujan tinggi (Thanden, 1996).

METODE PENELITIAN

Vertical Electrical Sounding (VES) menerapkan geolistrik metode resistivitas dalam mendapatkan informasi lapisan horizontal (El Makrini dkk., 2022). Secara perlahan batang elektroda A dan B dipindahkan dengan jarak tertentu untuk menambah penetrasi garis arus agar jangkaunnya semakin dalam. Dari pengambilan data kemudian didapatkan resistivitas semu, yang secara teoritis dipengaruhi oleh sifat kelistrikan batuan. Data resistivitas semu yang didapat kemudian diolah untuk memperoleh struktur bawah permukaan (Kirsch, 2011).

Penyelidikan berbasis Vertical Electrical Sounding (VES) memiliki jangkauan kedalaman relative lebih dangkal. Berbeda dengan metode penyelidikan geofisika lainnya, penggunaan geolistrik dengan metode VES menargetkan

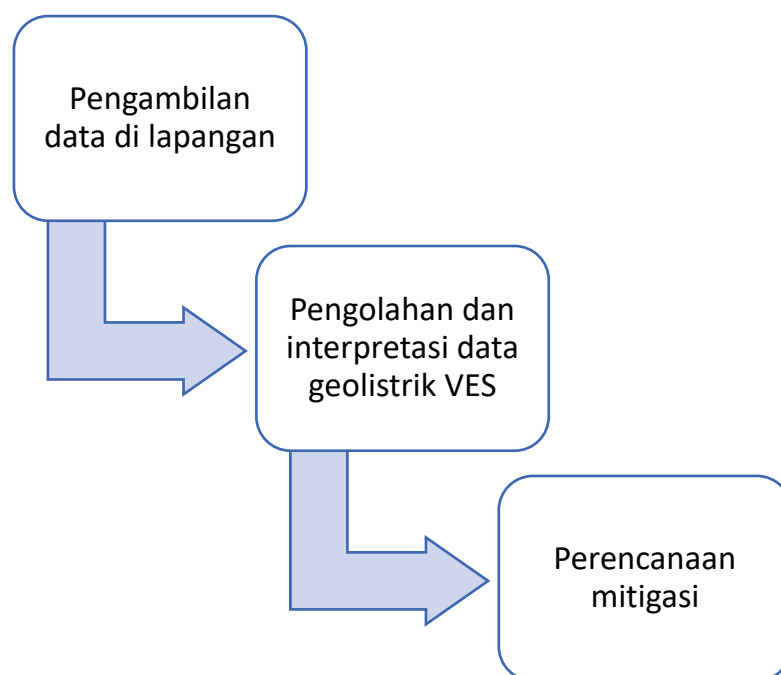
pencarian objek bawah permukaan dangkal. Mengakibatkan metode ini kurang tepat jika digunakan untuk mencari objek yang memerlukan jangkauan dalam.

Kedalaman efektif yang diperoleh dari *vertical electrical sounding* (VES) adalah 100 meter, dengan toleransi kedalaman tindak lebih dari 200 meter. Ketika geolistrik *vertical electrical sounding* ditargetkan pada kedalaman > 200 m, maka data resistivitas yang didapat tidak akurat (Deshcherevskii dkk., 2018). Hal ini dikarenakan arus pada kedalaman lebih dari 200 meter mengalami pelemahan, dalam beberapa kasus penetrasi arus tidak dapat penjangkau kedalaman tersebut.

Pemasangan batang elektroda pada konfigurasi Schlumberger terdiri dari batang AB dan MN. Batang elektroda AB yang berfungsi untuk menginjeksikan listrik kedalam tanah dan batang elektroda MN yang berfungsi untuk menerima arus listrik. Dalam penelitian, data yang diterima berupa resistivitas semu yang dipengaruhi oleh panjang kabel dan jarak antar batang elektroda (Georgieva dkk., 2022).

Dalam interpretasi geolistrik, nilai resistivitas semu, MN, dan AB/2 diinputkan ke dalam software IPI2WIN untuk dikonversi menjadi kurva VES, di mana setiap titik mewakili nilai resistivitas semu dan AB/2. Hasil yang diperoleh dari pengolahan data mencakup informasi tentang ketebalan, kedalaman, resistivitas, serta jumlah lapisan bawah permukaan. Selain itu, faktor kondisi geologi lapangan, seperti jumlah lapisan pada kedalaman tertentu, perlu diperhatikan selama proses inversi di software IPI2WIN, mengingat sifat kualitatif inversi yang didasarkan pada kelayakan data sesuai dengan nilai RMS (Mirzaei dkk., 2021; Rowland dkk., 2021).

Sesudah diolah dengan menggunakan IPI2WIN, data geolistrik yang diperoleh diolah menggunakan Software Progress. Penggunaan Software Progress adalah untuk mengurangi persentase RMS. Data yang diolah juga diubah oleh Software Progress menjadi litologi bawah permukaan (Wardani dkk., 2023).



Gambar 2 Diagram alir penelitian.

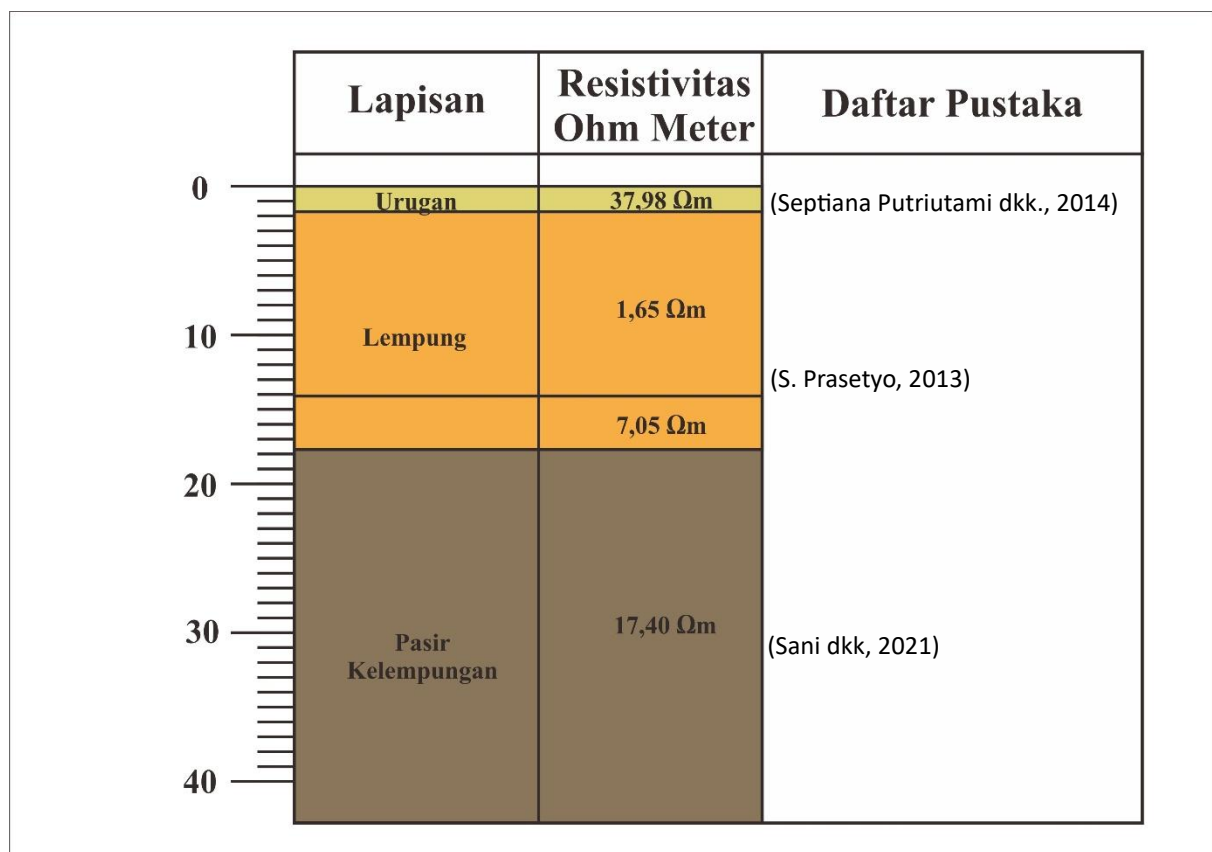
Perencanaan mitigasi dilakukan dengan cara menganalisa penampang geolistrik dengan kebutuhan yang sesuai dengan kondisi dilapangan. Metode mitigasi dikelompokkan menjadi geometri, hidrologi, dan kimia-mekanis. Metode geometri merupakan mitigasi yang menerapkan perubahan bentuk lereng atau topografi untuk meningkatkan faktor keamanan (Miura dan Atefi, 2021). Metode hidrologi merupakan metode yang menerapkan penyedotan atau *dewatering* guna mengurangi jumlah air di bawah tanah (Rotaru, 2020). Metode kimia – mekanis merupakan metode yang menerapkan penempatan material fisik atau kimia berupa sejenis semen, tujuan dari metode ini adalah untuk menahan pergerakan tanah (Guo dkk., 2022; Montgomery dkk., 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

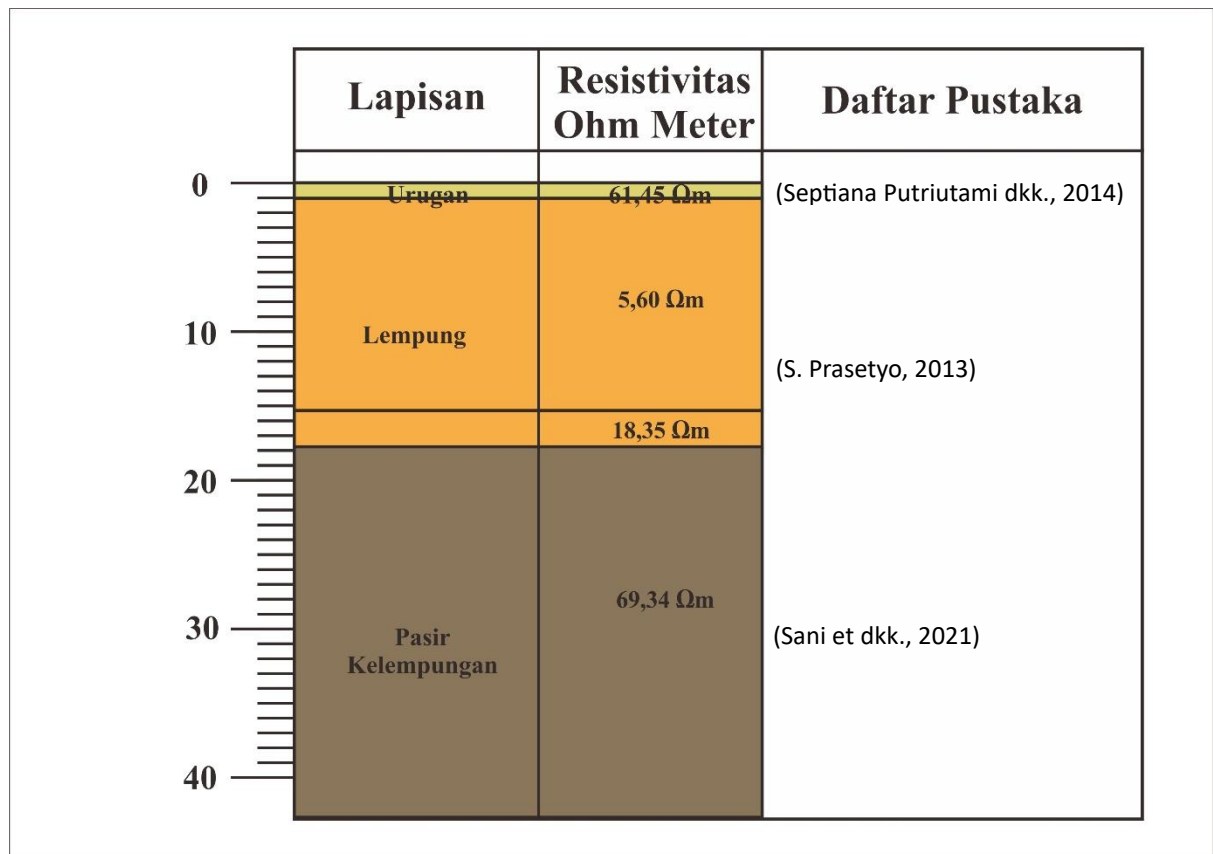
Data dari tiga titik sounding mengonfirmasi bahwa susunan litologi bawah permukaan secara umum didominasi oleh tanah urugan, lapisan lempung, dan pasir kelepungan. Berdasarkan hasil interpretasi geolistrik, terdeteksi adanya anomali resistivitas rendah hingga menengah $< 20 \Omega\text{m}$ pada rentang kedalaman 14 hingga 23 meter yang diidentifikasi kuat sebagai bidang gelincir. Di titik GL-1, zona pelemahan muncul pada kedalaman 14,03 sampai 17,73 meter dengan nilai resistivitas $7,05 \Omega\text{m}$. Angka tersebut menunjukkan zona transisi yang mengalami peningkatan kadar air dan deformasi material, di mana penurunan kuat geser terjadi akibat proses *remolding*, sehingga secara mekanis lapisan ini berpotensi besar berkembang menjadi bidang geser.

Analisis pada titik GL-2 menunjukkan karakteristik yang sedikit berbeda, di mana bidang gelincir teridentifikasi pada kedalaman 15,93 hingga 18,82 meter dengan nilai resistivitas $18,35 \Omega\text{m}$. Meskipun nilai resistivitasnya relatif lebih tinggi dibandingkan GL-1, lapisan tersebut menunjukkan kandungan lempung dan air pori yang signifikan pada material pasir kelepungan yang telah mengalami konsentrasi tegangan geser di batas bawah lapisan lempung. Secara geoteknik, kontras resistivitas yang jelas ini menandai adanya bidang diskontinuitas mekanik yang menjadi tempat akumulasi tekanan air pori serta penurunan kuat geser efektif yang krusial bagi kestabilan lereng.

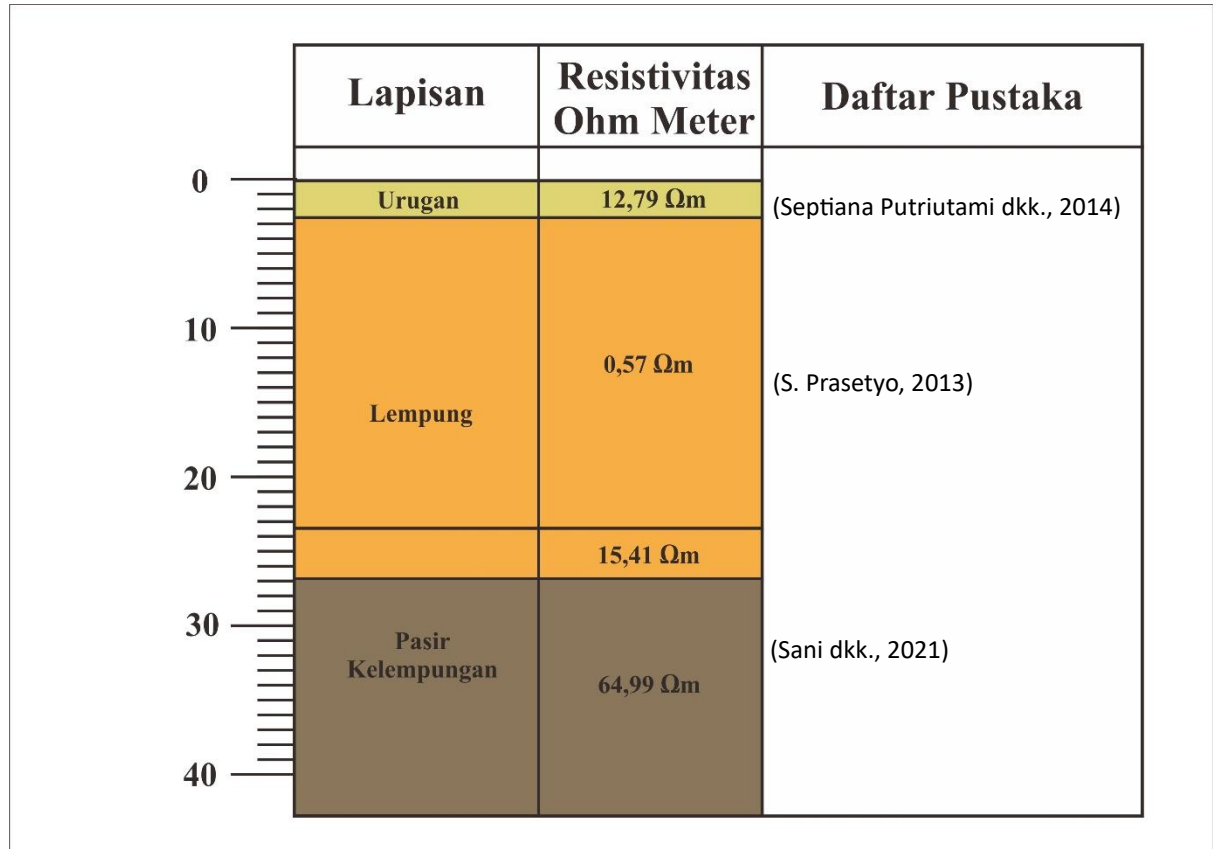
Kondisi yang paling kritis teramati pada titik GL-3, di mana bidang gelincir ditemukan pada kedalaman 23.2 hingga 26.9 meter dengan nilai resistivitas sangat rendah, yakni $15,41 \Omega\text{m}$. Rendahnya nilai ini mengindikasikan keberadaan lempung yang sangat jenuh air dan telah mengalami degradasi struktur akibat deformasi berulang, yang berdampak langsung pada rendahnya permeabilitas serta tingginya tekanan air pori. Fenomena tersebut memicu penurunan drastis pada kuat geser residual, sehingga menjadikan lapisan ini sebagai zona paling lemah secara mekanis yang sangat rentan tergelincir. Secara keseluruhan, konsistensi kemunculan zona resistivitas rendah pada kedalaman yang setara di ketiga titik sounding memperkuat kesimpulan bahwa lapisan tersebut merupakan bidang gelincir regional yang dikendalikan oleh faktor litologi dan kondisi hidro-mekanis bawah permukaan.



Gambar 3 Litologi bawah permukaan titik GL 1.

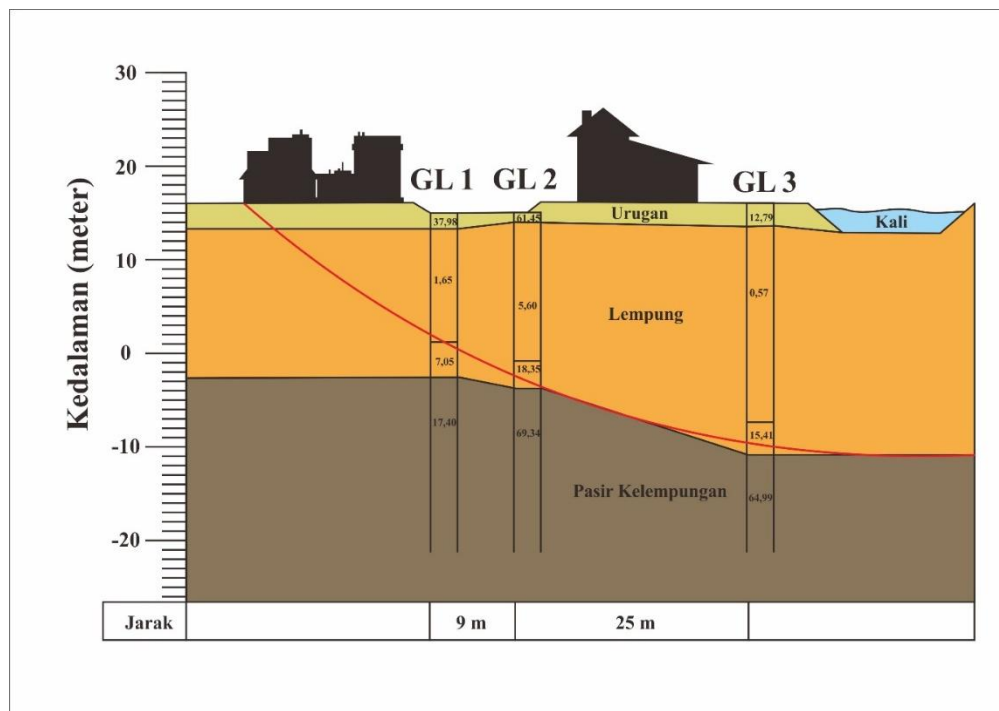


Gambar 4 Litologi bawah permukaan titik GL 2.



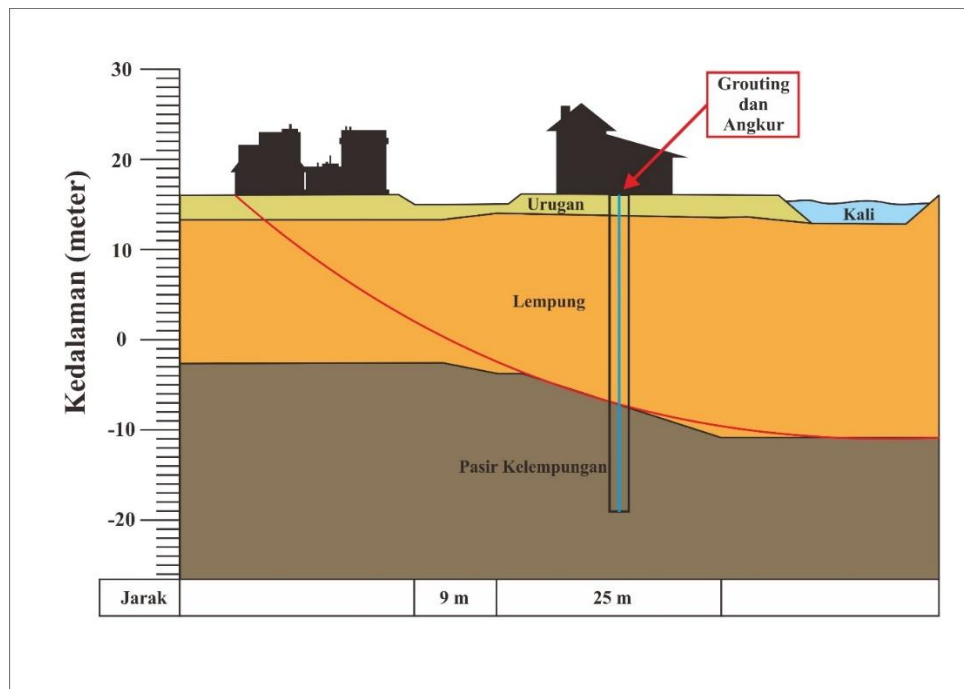
Gambar 5 Litologi bawah permukaan titik GL 3.

Berdasarkan litologi bawah permukaan, menunjukkan daerah penelitian terdiri dari lapisan urugan, lapisan lempung, dan lapisan pasir kelepungan. Urugan memiliki nilai $12,79 \Omega\text{m}$ - $61,45 \Omega\text{m}$, lempung memiliki nilai $0,57 \Omega\text{m}$ - $5,60 \Omega\text{m}$, serta pasir kelepungan memiliki nilai $17,40 \Omega\text{m}$ - $69,34 \Omega\text{m}$ (S. Prasetyo, 2013; Sani dkk., 2021; Septiana Putriutami dkk., 2014).

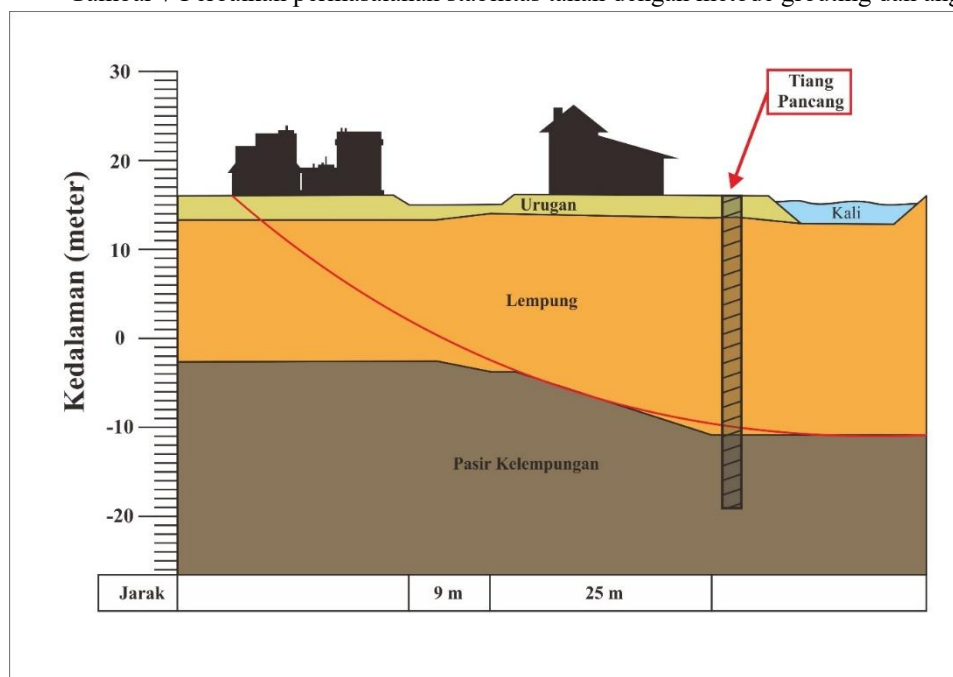


Gambar 6 Penampang geolistrik dengan garis merah menandakan potensi permasalahan stabilitas tanah.

Rancangan mitigasi sementara yang diusulkan berdasarkan hasil interpretasi adalah pemasangan grouting dan ankur di bawah fondasi bangunan untuk memperkuat massa tanah dan mengurangi risiko pergerakan horizontal. Selain itu, pada sisi bangunan yang berbatasan langsung dengan saluran air, direkomendasikan pemasangan tiang pancang untuk meningkatkan daya dukung tanah dan mencegah longsoran tebing sungai. Pemilihan metode ini mempertimbangkan efektivitas teknis dan kemudahan implementasi di kawasan pemukiman padat tanpa perlu melakukan pembongkaran struktur yang ada.



Gambar 7 Perbaikan permasalahan stabilitas tanah dengan metode grouting dan angkur.



Gambar 8 Perbaikan permasalahan stabilitas tanah dengan pemasangan tiang pancang.

PEMBAHASAN

Analisis terhadap data Vertical Electrical Sounding (VES) mengungkap adanya risiko gerakan tanah yang dipicu oleh keberadaan bidang gelincir pada rentang kedalaman 14 hingga 26 meter. Di ketiga titik pengamatan, zona ini secara konsisten terdeteksi sebagai lapisan dengan nilai hambat jenis (resistivitas) yang sangat rendah, yang dalam perspektif geofisika mengindikasikan dominasi material berbutir halus dengan tingkat saturasi air yang tinggi. Jika dikorelasikan dengan tatanan geologi regional, lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai deposit lempung jenuh hingga lempung pasir yang sifat mekaniknya telah mengalami degradasi signifikan. Mitigasi direkomendasikan berupa kombinasi grouting, angkur, dan tiang pancang berdasarkan kondisi resistivitas dan kedalaman lapisan. Pendekatan ini bersifat sementara dan memerlukan studi lanjutan geoteknik untuk perencanaan permanen.

Keberadaan bidang gelincir pada kedalaman menengah hingga dalam ini menunjukkan bahwa mekanisme ketidakstabilan tanah di area studi tidak bersifat dangkal (shallow landslide), melainkan dikontrol oleh kondisi litologi dan interaksi hidro-mekanis bawah permukaan. Mengingat karakteristik resistivitas yang serupa ditemukan di seluruh titik sounding, bidang lemah ini diyakini memiliki kontinuitas lateral secara lokal. Fenomena tersebut berpotensi memicu kegagalan lereng berskala luas apabila terdapat faktor pemicu eksternal seperti curah hujan ekstrem atau perubahan beban mekanis di permukaan secara mendadak.

Meskipun metode VES terbukti efektif sebagai instrumen investigasi awal untuk memetakan lapisan lemah di lingkungan aluvial, interpretasi geofisika memiliki batasan dalam mendefinisikan parameter geoteknik secara kuantitatif, seperti nilai kuat geser atau koefisien permeabilitas. Oleh karena itu, hasil studi VES dalam laporan ini diposisikan sebagai kerangka model konseptual bawah permukaan. Model ini memerlukan validasi lebih lanjut melalui pengujian geoteknik langsung, termasuk pengeboran inti dan uji laboratorium, guna memastikan akurasi data sebelum diimplementasikan ke dalam rancangan mitigasi bencana yang bersifat permanen.

DAFTAR PUSTAKA

- Broto, S. dan Afifah, S. R., 2008, Pengolahan Data Geolistrik dengan Metode Schlumberger, *Teknik UNDIP*, Vol. 2, pp 120–128
- Deshcherevskii, A. V., Modin, I. N., dan Sidorin, A. Ya., 2018, Constructing the Optimal Model of the Geoelectric Section Using Vertical Electrical Sounding Data: Case Study of the Central Part of the Garm Research Area, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, Vol. 54, no. 10, pp 1490–1511
- Georgieva, G., Tzankov, C., dan Kisiov, A., 2022, Geophysical Measurements of the Southernmost Microglacier in Europe Suggest Permafrost Occurrence in the Pirin Mountains (Bulgaria), *The Cryosphere*, Vol. 16, no. 12, pp 4847–4863
- Guo, K., Zheng, M., dan Ren, Y., 2022, Data Analysis of the Effect of Different Nanomaterials on Antislid Pile Performance in Railway Landslides, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2022, pp 13
- Kirsch, R., 2011, *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology*, (Kirsch, Ed.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- El Makrini, S., Boualoul, M., Mamouch, Y., El Makrini, H., Allaoui, A., Randazzo, G., Roubil, A., El Hafyani, M., Lanza, S., dan Muzirafuti, A., 2022, Vertical Electrical Sounding (VES) Technique to Map Potential Aquifers of the Guigou Plain (Middle Atlas, Morocco): Hydrogeological Implications, *Applied Sciences (Switzerland)*, Vol. 12, no. 24
- Mirzaei, L., Hafizi, M. K., dan Riahi, M. A., 2021, Application of Dipole–Dipole, Schlumberger, and Wenner–Schlumberger Arrays in Groundwater Exploration in Karst Areas Using Electrical Resistivity and IP Methods in a Semi-arid Area, Southwest Iran, (A. Al-Maktoumi, O. Abdalla, A. Kacimov, S. Zekri, M. Chen, T. Al-Hosni, dan K. Madani, Ed.), *Water Resources in Arid Lands: Management and Sustainability*, pp 81–89
- Miura, H. dan Atefi, M. R., 2021, Volumetric Analysis of the Landslide in Abe Barek, Afghanistan Based on Nonlinear Mapping of Stereo Satellite Imagery-Derived DEMs, *Remote Sensing*, Vol. 13, no. 3
- Montgomery, J., Knights, M., Xuan, M., dan Carcamo, P., 2019, Evaluation of Landslides along Alabama Highways:, diakses pada Highway Research Center
- Rotaru, A., 2020, Some Considerations upon Landslides Repair and Correction, *International PIARC Seminar “Adapting Road Earthworks to the Local Environment”*, Vol. 31
- Rowland, E. D., Omonefe, F., dan Ejaita, E., 2021, Estimation of Volume of Sand Using Vertical Electrical Resistivity Imaging: A Case Study in Tombia, Yenagoa, Bayelsa State, Nigeria, *United International Journal for Research & Technology*, Vol. 2, no. 12
- S. Prasetyo, 2013, Identifikasi Struktur Geologi di Sisi Utara Kampus Universitas Diponegoro Tembalang dengan Metode Geolistrik Schlumberger, *Geological Engineering E-Journal*, Vol. 5, no. 1, pp 265–274
- Sani, N. M., Setyawan, A., dan Gernowo, R., 2021, Identification of Landslide with Resistivity Method at Candi Industrial Area, Ngaliyan, Semarang, *Journal of Physics and Its Applications*, Vol. 3, no. 2, pp 142–147
- Septiana Putriutami, E., Harmoko, U., dan Widada, S., 2014, Interpretasi Struktur Bawah Permukaan di Area Panas Bumi Gunung Telomoyo, Kabupaten Semarang dengan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger, *Youngster Physics Journal*, Vol. 3, no. 2, pp 97–106
- Thanden, R., 1996, Geological Map of The Magelang and Semarang Sheets