

PERBANDINGAN PARAMETER TAHANAN KONUS DAN NILAI NSPT DENGAN RESISTIVITAS TANAH BERDASARKAN METODE GEOLISTRIK 3D DAN 2D DALAM UPAYA PEMODELAN STRATIFIKASI BAWAH PERMUKAAN UNTUK ANALISIS GEOTEKNIK

Daru Jaka Sasangka¹, Pranu Arisanto¹, Abdurrahman Wafi²

¹Politeknik Pekerjaan Umum, Jl. Soekarno Hatta No.100, Gayamsari, Semarang

²PT. Andalan Tunas Mandiri, Jl. Raya Penggilingan, Cakung, Jakarta

e-mail : darujakasasangka@gmail.com

Abstrak. Pemodelan kondisi bawah permukaan tanah sangat membantu dalam pekerjaan infrastruktur. Informasi di bawah permukaan bisa didapatkan dengan pengujian geolistrik dan penyelidikan geoteknik di lokasi proyek. Tujuan dari pemodelan ini untuk mendapatkan korelasi resistivitas tanah dengan parameter geoteknik (tahanan konus dan NSPT) di Kampus I Politeknik Pekerjaan Umum, Tembalang, Semarang berdasarkan informasi kondisi bawah permukaan dari data geolistrik dan pengujian geoteknik. Pengukuran geolistrik menggunakan prinsip sifat kelistrikan material, menggunakan peralatan MAE X612-EM+ sebanyak 48 elektroda dengan konfigurasi 3D berbentuk kotak 50 m x 50 m. Lintasan geolistrik 2D dilakukan membujur di tengah lokasi survei geolistrik 3D. Pengujian bor geoteknik dan sondir dilakukan di lintasan geolistrik 2D. Nilai resistivitas dari pengukuran geolistrik didapatkan nilai resistivitas 1 – 50 Ωm dengan kedalaman sampai 7 meter. Hasil analisa geolistrik kondisi bawah permukaan tanah di lokasi didominasi nilai resistivitas 1 - 25 Ωm yang merupakan tanah lempung. Pengujian data *Standard Penetration Test (SPT)* dilakukan di bagian utara lokasi penelitian dengan kedalaman 5 meter dengan nilai yang didapatkan NSPT 7 hingga NSPT 35. Analisis korelasi menyimpulkan bahwa resistivitas 1 - 25 Ωm berkorelasi dengan nilai 7 - 35 NSPT berasosiasi dengan tanah lempung dengan konsistensi sangat lunak hingga agak lunak. Sedangkan resistivitas 25 - 50 Ωm berkorelasi dengan nilai tahanan konus >250 kg/cm² atau setara dengan >60 NSPT. Berdasarkan analisis bawah permukaan data resistivitas juga dapat menyempurnakan model geometri bawah permukaan yang sangat dibutuhkan dalam analisis geoteknik seperti stabilitas lereng dan perancangan fondasi di lokasi tersebut.

Kata Kunci: resistivitas; geolistrik 3D; SPT

Abstract. Modelling subsurface conditions is very helpful in infrastructure work. Subsurface information can be obtained through geoelectric testing and geotechnical investigations at the project site. The purpose of this modelling is to obtain the correlation between soil resistivity and geotechnical parameters (cone resistance and NSPT) at the Public Works Polytechnic campus, Tembalang, Semarang, based on subsurface condition information from geoelectric testing and geotechnical testing data. Electrical resistivity measurements utilize the electrical properties of materials, using MAE X612-EM+ equipment with 48 electrodes in a 3D box configuration measuring 15m x 55m. The drilling data used the principle of material physical parameters with material treatment at the 3D geoelectric survei location. The resistivity values obtained from the geoelectric measurements were 1-50 Ωm with a depth of up to 7 meters. The results of the geophysical analysis of the subsurface conditions at the location were dominated by soft materials with resistivity values of 1-25 Ωm , which is clay soil. The Standard Penetration Test (SPT) data testing was carried out in the northern part of the research location at a depth of 5 meters with values ranging from NSPT 7 to NSPT 35. Correlation analysis concluded that resistivity of 1-25 Ωm correlates with a value of 7-35 NSPT associated with clay soil with a consistency ranging from very soft to moderately soft. Meanwhile, resistivity of 25-50 Ωm correlates with a cone resistance value >250 k or equivalent to >60 NSPT. Based on subsurface analysis, resistivity data can also refine the subsurface geometry model, which is essential in geotechnical stability analysis.

Keywords: resistivity; geoelectricity 3D; SPT

PENDAHULUAN

Tanah dan batuan merupakan penyusun kondisi bawah permukaan yang harus sangat diperhatikan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur. Kondisi bawah permukaan sangat penting untuk diketahui dan dimodelkan pada pembangunan infrastruktur dan telah menjadi komponen krusial dalam perancangan geoteknik modern sebagai pertimbangan dalam membuat desain atau melakukan penanganan (Aizebeokhai, 2017). Kegagalan perencanaan dapat diantisipasi, salah satunya dengan mengetahui kondisi bawah permukaan yang tepat. Informasi mengenai struktur bawah permukaan tanah sangat krusial dalam bidang geoteknik dan

perencanaan pembangunan, karena menentukan perilaku tanah terhadap beban dan kondisi lingkungan. Parameter yang memengaruhi stabilitas fondasi terdiri dari dua parameter yaitu kondisi tanah atau batuan dasar dan penggunaan lahan (Salata dan Uzelli, 2023).

Struktur bawah permukaan tanah dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama, yaitu struktur homogen dan struktur heterogen. Struktur homogen merupakan kondisi di mana lapisan tanah tersusun oleh material yang relatif seragam, baik dari segi sifat fisik maupun komposisi mineralnya. Sebaliknya, struktur heterogen adalah kondisi yang lebih umum dijumpai di alam, di mana lapisan bawah permukaan tersusun oleh berbagai jenis material dengan sifat dan ketebalan yang bervariasi, seperti campuran lempung, lanau, pasir, kerikil, atau batuan lapuk (Prosperi *dkk.*, 2025). Pemahaman yang baik terhadap kondisi ini memungkinkan perencanaan untuk menentukan perlakuan teknis yang tepat, seperti pemilihan jenis fondasi, perkuatan tanah, atau sistem drainase. Potensi gangguan dan kerusakan pada bangunan akibat penurunan tanah, kelongsoran, maupun ketidakstabilan lereng dapat diminimalkan secara signifikan (Prosperi *dkk.*, 2025).

Penyelidikan lapangan sangat penting untuk dilakukan dalam perancangan geoteknik. Salah satu yang paling sering dilakukan dalam perancangan geoteknik adalah pengeboran geoteknik. Pengeboran memberikan data yang lengkap yaitu sampel uji dan data pengujian in situ NSPT. Sampel uji dari pengeboran geoteknik didapatkan data tanah yang dapat diamati dan diperiksa di laboratorium. Penyelidikan lapangan seperti pengeboran sering kali terbatas jumlahnya. Keterbatasan tersebut juga berdampak pada keterbatasan akurasi model bawah permukaan yang dibuat. Untuk meminimalkan keterbatasan tersebut data geofisika memiliki jangkauan yang lebih luas secara lateral dan lebih dalam secara vertikal dapat digunakan (Isbiantoro dan Zulfian, 2021). Teknologi 2D dan 3D *electrical resistivity imaging (ERI)* memungkinkan karakterisasi bawah permukaan yang komprehensif dengan resolusi tinggi (Wahyuni *dkk.*, 2021). Data resistivitas dapat membantu membuat model bawah permukaan selama memiliki korelasi terhadap parameter tanah/batuan di lokasi tersebut. Data Geofisika khususnya data resistivitas dapat membantu dalam menentukan geometri lapisan bawah permukaan berdasarkan beberapa data geoteknik (Sasangka, Arisanto, Dhanardono, Puji, *dkk.*, 2024). Data geoteknik yang dapat dijadikan dasar dalam korelasi diantaranya stratifikasi tanah, data tahanan konus maupun data NSPT. Data tersebut menyajikan informasi yang detail secara vertikal. Sampel tanah dapat dilihat secara fisik sehingga memudahkan dalam membagi lapisan. Data tahanan konus dan NSPT merupakan nilai sebenarnya bukan pendugaan, yang tercatat dari hasil pengukuran dan perhitungan langsung di lapangan. Oleh karena itu data tersebut dijadikan dasar korelasi lapisan bawah permukaan.

Secara umum model bawah permukaan dari hasil korelasi data geofisika dengan jenis material dapat dilakukan dengan dasar penelitian terdahulu, hanya saja sering kali tidak dapat memberikan hasil yang detail dan yang dibutuhkan untuk perancangan geoteknik. Selain batuan serpih, umumnya batuan yang relatif lebih keras memiliki resistivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah. Nilai resistivitas tanah dan sedimen yang tidak terkonsolidasi memiliki nilai resistivitas di bawah 200 (Ωm) (Gonçalves *dkk.*, 2021) (Sasangka, Arisanto, Dhanardono, Riyanto, *dkk.*, 2024) (Tabel 1). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa korelasi empiris antara resistivitas tanah dengan parameter geoteknik dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penyempurnaan model geometri bawah permukaan (Asif *dkk.*, 2016) (Tabel 2). Kepercayaan pada korelasi ini didukung oleh temuan bahwa resistivitas tanah dipengaruhi oleh jenis material, tingkat kejenuhan air, dan komposisi mineral (Park *dkk.*, 2016)

Tabel 1. Nilai resistivitas tanah dan jenis tanahnya

Resistivitas (Ωm)	Jenis Lapisan
0–15	Serpih atau lempuk dengan material organik
15–45	Batu serpih
45–75	Sedimen tidak terkonsolidasi
75–200	<i>Sandy silt with clay to clayey silt</i>
200–2000	<i>Granulite rock alteration</i>
>2000	<i>Granulite rock</i>

Tabel 2. Jenis material berdasarkan nilai resistivitas (Asif dkk., 2016)

Material	Resistivitas (Ωm)
Air tanah	0,5 – 150
Lempung	1 – 100
Pasir	1 – 1000
Andesit	100 – 200
Aluvium	10 – 800
Brekasi	75 – 200
Kerikil	100 – 600
Batu pasir	200 – 8000
Gamping	50 – (1×10^7)
Granit	5×10^3 – 10^6
Basalt	10^3 – 10^6
Slate	6×10^2 – 4×10^7
batupasir	$8 - 4 \times 10^3$
Serpih	$20 - 2 \times 10^3$
batugamping	$5 - 4 \times 10^2$
Tufa vulkanik	20 – 100
Lava	$100 - 5 \times 10^4$
Konglomerat	2×10^3 – 2×10^4

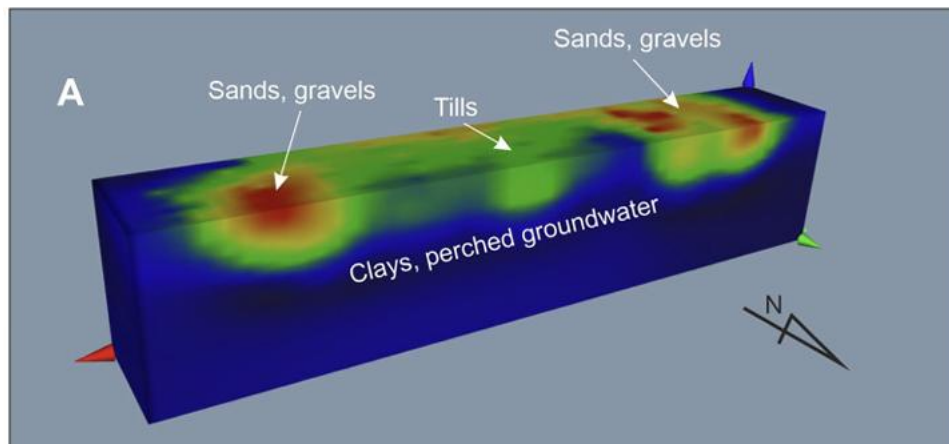
Pada penelitian ini bertujuan mengkorelasikan data dari metode geofisika dan penyelidikan geoteknik yaitu stratifikasi tanah dan data NSPT di lokasi Kampus Politeknik Pekerjaan Umum di Tembalang Semarang. Dari data korelasi tersebut maka pemodelan struktur bawah permukaan tanah dapat diketahui secara lebih detail di seluruh lokasi.

METODOLOGI

Metode geolistrik memanfaatkan parameter kelistrikan material yang diintegrasikan dengan informasi geologis untuk karakterisasi bawah permukaan (Lowrie, 2007). Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis dari data primer berupa data metode geofisika dan data penyelidikan geoteknik. Metode geofisika yang dilakukan adalah penyelidikan geolistrik yang menghasilkan data resistivitas. Metode geofisika adalah metode yang memanfaatkan parameter fisika yang digabungkan dengan parameter geologi. Salah satu metode geofisika yang akan digunakan adalah metode geolistrik. Metode geolistrik terdiri dari metode *Sounding* (1D), *Mapping* (2D), dan *Volumetric* (3D) (Telford, Geldart dan Sheriff, 1990). Penggunaan geolistrik *Sounding* (1D) biasanya dipergunakan untuk mencari potensi air tanah. Geolistrik 2D dan 3D biasanya dipergunakan untuk mencari sebaran, titik-titik rembesan, lapisan tanah, dll (Isbiantoro dan Zulfian, 2021). Metode geolistrik 3D adalah pengembangan dari metode geolistrik 1D dan 2D. Pada model geolistrik 3D yang dihasilkan, terdiri dari blok-blok berbentuk tiga dimensi (3D) (Gambar 1). Hasil pengolahan metode geolistrik 3D dapat memberikan informasi struktur bawah permukaan secara horizontal dan vertikal. Sehingga metode ini diharapkan mampu memberikan informasi lebih akurat dibanding dengan metode geolistrik 1D dan 2D (Isbiantoro dan Zulfian, 2021). Sebaran arus listrik yang diinjeksikan kedalam tanah melalui instrumentasi, mempunyai pola sebaran setengah bola. Hal tersebut dikarenakan terdapat 2 pasak yang berfungsi mengalirkan arus sedangkan 2 pasak lagi berfungsi sebagai penangkap beda potensial. Hasil arus dan beda potensial dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai resistivitas material. Untuk penelitian ini digunakan menggunakan metode geolistrik 2D dan geolistrik 3D. Metode geolistrik 2D dan 3D telah berkembang signifikan dan digunakan untuk pemetaan sebaran material, identifikasi zona rembesan, delineasi lapisan tanah, dan deteksi anomali bawah permukaan lainnya (Loke, 2013). Kombinasi data ERT baik itu 2D atau 3D dan data geoteknik memberikan interpretasi yang andal untuk karakterisasi lereng dan lapisan tanah, terutama untuk identifikasi sebaran lapisan yang dangkal (Friedel, Thielen dan Springman, 2006).

Akuisisi data dilakukan dengan alat Resistivitymeter Mae X612-Em+ dengan konfigurasi Wenner Schlumberger. Dari sisi ketepatan, hasil pemodelan sintesis maupun studi lapangan menunjukkan bahwa konfigurasi Wenner–Schlumberger mampu merepresentasikan struktur bawah permukaan yang mengandung kombinasi kontak horizontal dan vertikal secara lebih akurat dibandingkan dengan konfigurasi Wenner atau Dipole–Dipole secara tunggal (M. Thabit J dan S. Al-Zubedi A, 2015). Hal tersebut juga diperkuat oleh fakta bahwa konfigurasi ini menghasilkan pengukuran yang stabil dan memiliki rasio sinyal terhadap noise yang tinggi, sehingga cocok untuk kondisi lapangan yang menantang terutama di dekat permukaan (Ohaegbuchi dkk., 2019). Konfigurasi Wenner–Schlumberger merupakan salah satu pilihan yang paling efektif karena

memberikan hasil optimal antara kedalaman investigasi dan resolusi citra bawah permukaan sehingga sangat cocok tidak hanya untuk eksplorasi air tanah, identifikasi rongga namun juga untuk keperluan penyelidikan geoteknik (Hermawan dan Eka Putra, 2016).



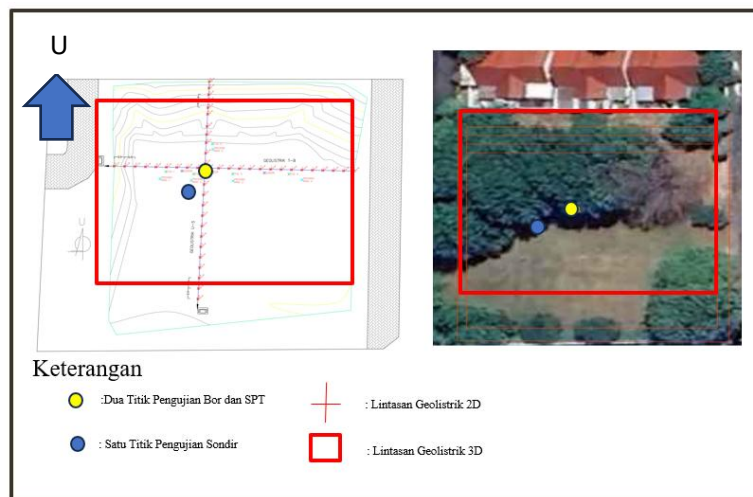
Gambar 1. Contoh penampang pengukuran geolistrik 3D untuk mitigasi longsor (Kamiński, Zientara dan Krawczyk, 2023)

Penyelidikan geoteknik dilakukan dengan melakukan pengeboran dan melakukan uji *Standart Penetration Test (SPT)* untuk mendapatkan nilai NSPT. Supaya data NSPT dapat diambil lebih rapat maka pengeboran dilakukan pada dua titik yang saling berdekatan dengan jarak ± 0.5 m (Bowles, 1978). Metode uji SPT terdiri atas penumbukan *split barrel sampler* ke dalam tanah disertai pengukuran jumlah tumbukan untuk memasukkan secara vertikal tabung belah sedalam 300 mm. Uji beban jatuh ini menggunakan palu seberat 63.5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan jarak setinggi 75 cm dari tempat palu dijatuhkan. Pelaksanaan metode dibagi dalam tiga tahap dengan setiap tahapannya setebal 150 mm (ASTM, 2018). Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah tumbukan yang termasuk tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan / 0.3 m). SPT adalah salah satu metode uji tanah yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dari lapisan tanah. Nilai NSPT yang diperoleh memberikan indikasi kuat tentang densitas tanah, khususnya untuk tanah *granular*, dan dapat dikaitkan dengan sifat-sifat tanah lainnya seperti sudut geser internal dan daya dukung (Robertson dan Campanella, 1983). Pengeboran ini menghasilkan sampel tanah yang langsung dapat diidentifikasi. Selain SPT, dilakukan penyelidikan *Cone Penetration Test (CPT)* atau yang dikenal sebagai uji sondir, untuk mendapatkan nilai perlawanan konus tanah ke arah vertikal setiap 20 cm, nilai tahanan konus dinyatakan dalam kg/cm^2 (ASTM, 2012). Nilai tahanan konus digunakan untuk membantu dalam melakukan korelasi empiris resistivitas tanah dan nilai NSPT. Pada penelitian ini jarak antara uji sondir dan uji pengeboran berdekatan dan titik bor berada pada lintasan geolistrik 2D (Gambar 2).

Korelasi antara parameter pengujian tanah di lapangan seperti NSPT dan CPT akan membantu dalam membuat stratifikasi tanah secara lebih akurat, terutama jika data pengujian tanah di lapangan terbatas. Pembuatan stratifikasi geoteknik didasarkan pada integrasi sifat mekanis, sifat fisik, deskripsi litologi, dan interpretasi geologi teknik. Pendekatan stratifikasi tanah tidak dapat sepenuhnya sama dengan pembuatan stratigrafi lapisan batuan sedimen yang menggunakan prinsip dalam geologi seperti kemenerusan lapisan dan pembagian lapisan berdasarkan kesamaan jenis batuan. Pembuatan stratifikasi tanah lebih didasarkan pada sifat-sifat mekanis tanah yang terlihat dari hasil uji penyelidikan tanah di lapangan seperti CPT atau NSPT (Marzouk dkk., 2024)(Sudha dkk., 2009).

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat hubungan data dari metode geofisika dan penyelidikan geoteknik yaitu stratifikasi tanah dan data SPT sehingga dengan korelasi tersebut maka pemodelan struktur bawah permukaan tanah dapat diketahui secara lebih detail di seluruh lokasi dan dapat dijadikan dasar pada lokasi proyek lain yang memiliki kesamaan karakteristik. Pemodelan bawah permukaan yang presisi dan tepat

akan sangat berpengaruh terhadap stabilitas dan daya dukung tanah yang didapatkan setelah melakukan analisis geoteknik seperti daya dukung fondasi dan stabilitas lereng.



Gambar 2. Denah lokasi penyelidikan lapangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

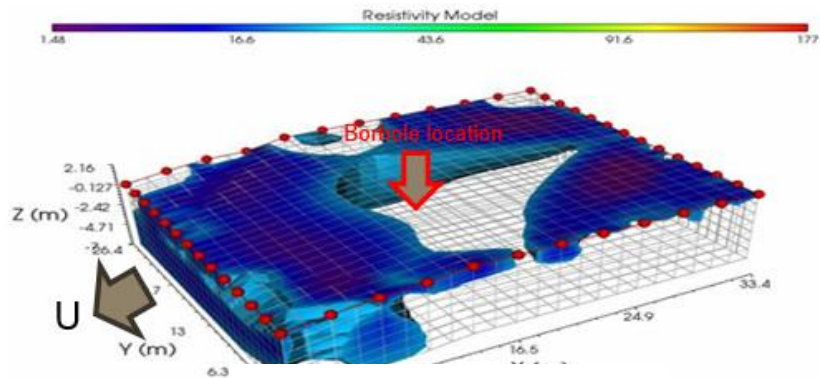
Berdasarkan posisi geologi regional lokasi penelitian berada pada Formasi Kaligetas (Qpkg) di mana formasi ini terdiri dari breksi vulkanik, lava, tuff, batupasir tuffan, batulempung (Thaden, Sumardirdja dan Richards, 1975). Penelitian ini tidak menargetkan korelasi pada batuan dasar seperti yang disebutkan sebelumnya namun objek dari penelitian ini adalah tanah lapukan formasi batuan vulkanik dari Formasi Kaligetas. Diharapkan korelasi ini nantinya dapat dijadikan acuan pada lokasi proyek di tempat lain dengan karakteristik serupa.

Hasil Pengukuran Geolistrik 3D dan Korelasi dengan Data NSPT

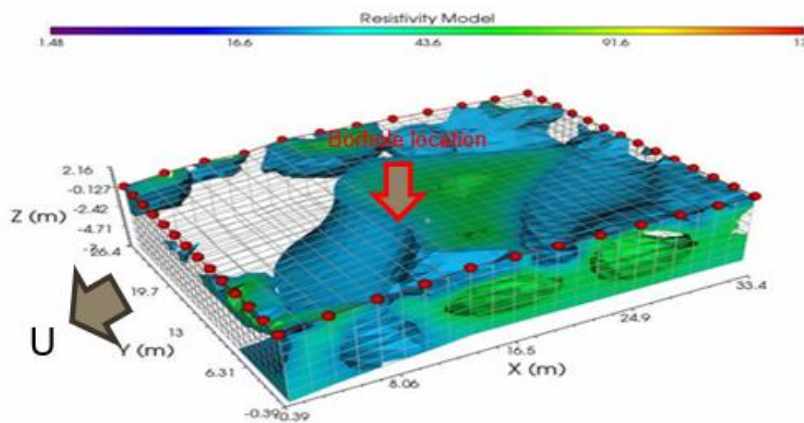
Dari hasil pengukuran geolistrik didapatkan bahwa lokasi penelitian secara umum memiliki resistivitas di bawah 50 Ωm . Dari data tersebut dilakukan analisis lebih dalam dengan membagi pola bawah permukaan menjadi dua pola umum, yaitu zona dengan resistivitas di bawah 25 Ωm dan zona dengan resistivitas antara 25 – 50 Ωm (Gambar 3). Dari pola tersebut dapat dilihat resistivitas yang lebih rendah berada pada bagian utara lokasi penelitian dan menempati bagian permukaan pada sebagian lokasi di bagian selatan (Gambar 3).

Di dalam grid penyelidikan geolistrik 3D dilakukan pengeboran geoteknik untuk mengambil sampel tanah dan juga dilakukan uji SPT. Pengeboran dilakukan sampai kedalaman 5 meter. Dari data deskripsi tanah didapatkan bahwa semua tanah merupakan tanah lempung dengan konsistensi agak lunak hingga sangat lunak (Gambar 4). Perbandingan antara model resistivitas 3D dengan data pengeboran menunjukkan bahwa kedalaman 0-5 m di mana pengeboran dilakukan termasuk ke dalam zona dengan resistivitas di bawah 25 Ωm , ini berarti data NSPT di lokasi pengeboran yang bervariasi antara 7 – 35 sebanding dengan resistivitas di bawah 25 Ωm (Tabel 3). Hasil NSPT dapat menunjukkan adanya lensa lempung sangat lunak dengan nilai NSPT yang sangat rendah, namun data 3D tidak dapat membaca fenomena tersebut. Hal ini disebabkan oleh seluruh lapisan penyusun yang merupakan material lempung yang memiliki rentang resistivitas relatif sempit sehingga kontras resistivitas antarlapisan menjadi rendah. Pada kondisi demikian, proses inversi ERT cenderung menghasilkan model yang lebih halus, sehingga anomali berukuran kecil dengan kontras resistivitas rendah akan tereduksi atau bahkan hilang (Dahlin dan Zhou, 2004). Selain itu, ukuran hasil inversi yang lebih besar dibandingkan dengan dimensi lensa lempung menyebabkan terjadinya efek *volume averaging*, sehingga nilai resistivitas yang diperoleh merupakan nilai rata-rata beberapa material di dalam satu sel model (Loke,

Acworth dan Dahlin, 2003). Oleh karena itu, untuk mengidentifikasi lensa lempung sangat lunak diperlukan pembagian kelas resistivitas yang lebih rinci serta akuisisi dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, misalnya melalui pengurangan jarak antar-elektroda atau penggunaan inversi dengan kendala yang mempertahankan batas yang tajam. Integrasi dengan data pengeboran dan SPT tetap diperlukan untuk memvalidasi keberadaan lensa tanah lunak tersebut.

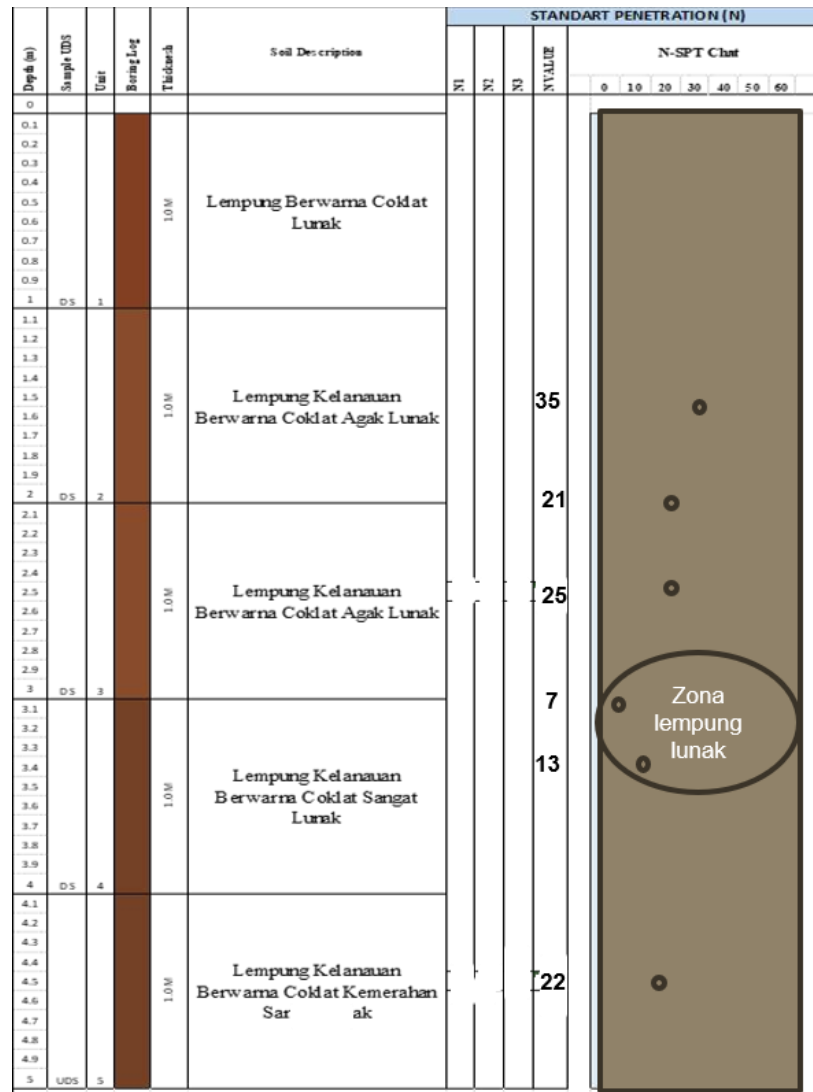


Peta Resistivitas $< 25 \Omega\text{m}$



Peta Resistivitas 25 - 50 Ωm

Gambar 3. Model 3D geolistrik lokasi penelitian



Gambar 4. Hasil pengujian NSPT dan perbandingan pada lokasi akuisisi data Geolistrik 3D

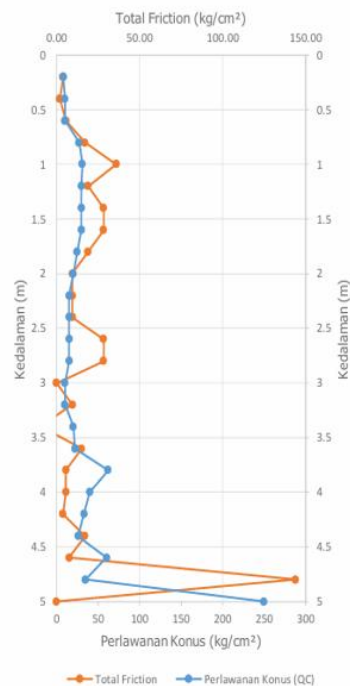
Tabel 3. Perbandingan Nilai Resistivitas dan NSPT

Kedalaman (m)	NSPT (Tumbukan/30cm)	Resistivitas (Ω m)
1.5	35	< 25
2	21	< 25
2.4	25	< 25
3	7	< 25
3.5	13	< 25
4.5	22	< 25

Hasil Pengukuran Geolistrik 3D dan Korelasi dengan Data Tahanan Konus

Pengujian sondir dan pengeboran dilakukan di bagian utara lokasi penelitian. Dari pengujian sondir nilai tahanan konus < 10 kg/cm² didapatkan pada kedalaman 0 – 0.6 m dan 2.4 – 3.4m. Tahanan konus 10 – 50 kg/cm² dijumpai pada kedalaman 0.6 – 2.4 m dan 3.4 – 4.8 m di bawah permukaan tanah. Nilai resistivitas tanah dari kedalaman 0 – 4.8 m di bawah permukaan tanah memiliki nilai resistivitas < 25 Ω m (Gambar 5). Sedangkan kedalaman lebih dari 4.8 m di bawah permukaan tanah nilai tahanan konus langsung naik drastis hingga > 250 kg/cm² setara dengan > 60 NSPT. Berdasarkan penampang geolistrik 3D, pada kedalaman > 4.8 m didapatkan nilai resistivitas antara 25 – 50 Ω m (Tabel 4). Kenaikan tahanan konus secara signifikan mengindikasikan dijumpainya jenis lapisan tanah yang berbeda atau tanah sudah berada pada horizon pelapukan batuan yang berbeda. Namun, melihat kenaikan yang sangat signifikan, diindikasikan adanya jenis

lapisan tanah yang berbeda atau telah sampai pada batuan atau fragmen keras pada zona saprolite (Gonçalves *dkk.*, 2021).



Gambar 5. Hasil pengujian CPT dan perbandingan pada lokasi akusisi data Geolistrik 3D

Tabel 4. Perbandingan Nilai Resistivitas, Tahanan Konus dan NSPT

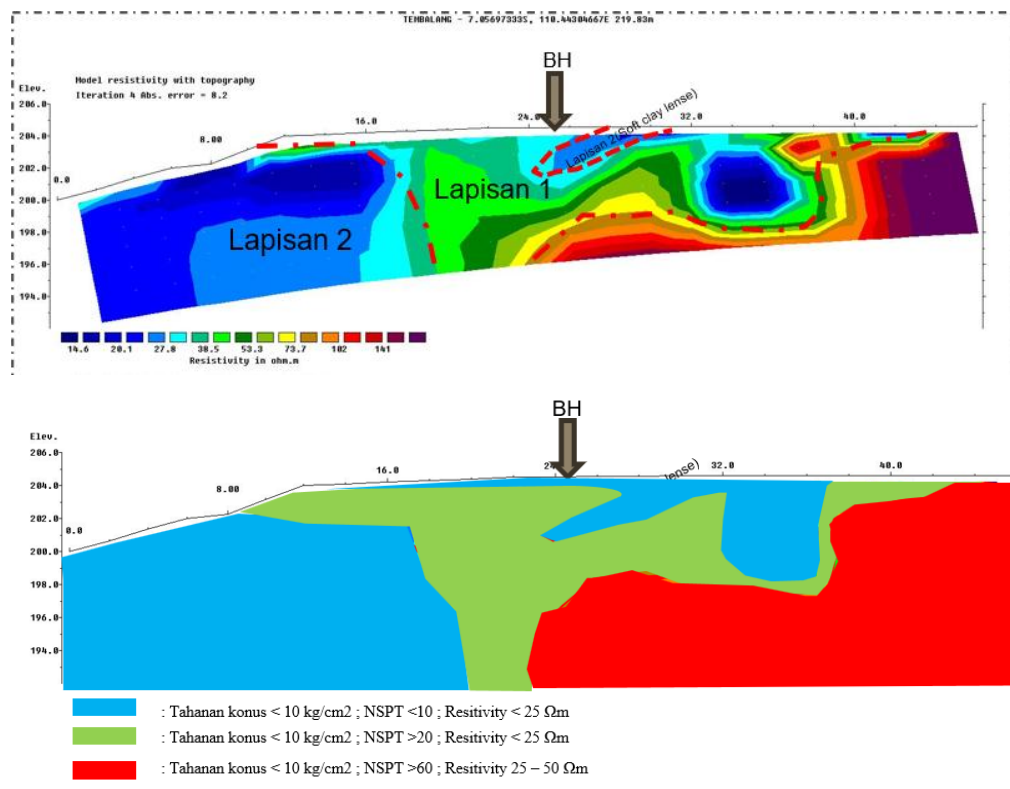
Kedalaman (m)	Nilai Tahanan Konus (kg/cm ²)	Rata - rata NSPT (tumbukan/30cm)	Resistivitas (Ωm)
0 - 0.6	< 10	-	< 25
0.6 - 2.4	10 - 50	27	< 25
2.4 - 3.4	< 10	10	< 25
3.4 - 4.8	10 - 50	22	< 25
5	> 250	> 60	25 - 50

Berdasarkan data korelasi uji tahanan konus, NSPT dan resistivitas, maka nilai tahanan konus kurang dari 10 kg/cm² berasosiasi dengan nilai NSPT kurang dari 10. Nilai tahanan konus di bawah 50 menunjukkan nilai resistivitas <25 Ωm dan nilai resistivitas 25 – 50 Ωm menunjukkan nilai tahanan konus lebih dari 250 kg/cm². Hasil korelasi menunjukkan bahwa nilai tahanan konus, NSPT, dan resistivitas memiliki kecenderungan hubungan yang positif. Zona dengan resistivitas kurang dari 25 Ωm berasosiasi dengan nilai tahanan konus yang rendah (<50 kg/cm²) serta nilai NSPT kurang dari 10, yang mengindikasikan tanah lempung berkonsistensi lunak hingga sedang dengan kadar air relatif tinggi dan kuat geser rendah. Sebaliknya, zona dengan resistivitas 25–50 Ωm berkorelasi dengan nilai tahanan konus yang jauh lebih tinggi (>250 kg/cm²), yang menunjukkan material bawah permukaan yang lebih padat dan memiliki ketahanan penetrasi yang lebih besar.

Hasil Pengukuran Geolistrik 3D dan Model Stratifikasi

Lensa lempung sangat lunak yang dijumpai saat pengukuran SPT tidak dapat dijumpai dari model 3D yang dibuat dengan membagi dua pola resistivitas (1 - 25 Ωm dan 25 - 50 Ωm). Pengukuran pendugaan geolistrik 2D didapatkan indikasi adanya lensa lempung sangat lunak yang bersesuaian dengan data NSPT (Gambar 6). Data ikat yang didapat dari penyelidikan geoteknik kemudian dapat dijadikan dasar dalam

pembuatan stratifikasi tanah. Kombinasi data resistivitas 2D dengan data geoteknik dapat membuat stratifikasi tanah lebih baik, di mana nilai resistivitas berperan sebagai pembagi zona stratifikasi tanah (Gambar 6). Stratifikasi tanah tersebut merupakan hasil pendekatan perbandingan nilai resistivitas dan hasil pengujian geoteknik di lapangan. Seluruh area bawah permukaan yang dapat diidentifikasi nilai resistivitasnya, sebagian besar merupakan tanah residual dari batuan vulkanik formasi kaligetas. Berdasarkan hal tersebut maka prinsip dalam pembagian lapisan 1 dan lapisan 2 didasarkan pada nilai parameter geoteknik dan resistivitasnya, bukan berdasarkan prinsip kemenerusan perlapisan batuan sedimen (Sudha dkk., 2009). Lapisan 1 dan lapisan 2 merupakan tanah residual dari batuan dasar yang telah lapuk di bagian bawahnya (warna merah). Ketika tidak memiliki data geolistrik, kemungkinan dengan satu data penyelidikan geoteknik, stratifikasi akan dibuat datar dibandingkan jika memiliki data korelasi metode geofisika, dan ini bertentangan dengan prinsip geoteknik.



Gambar 6. Model pendekatan stratifikasi tanah

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan pada lokasi tanah residual dari formasi vulkanik. Dari hubungan yang didapat, nilai resistivitas 1- 25 Ωm, bersesuaian dengan nilai NSPT <35 pada tanah lempung dengan konsistensi agak lunak hingga sangat lunak. Nilai resistivitas 1- 25 Ωm juga bersesuaian dengan nilai konus resisten < 50 kg/cm². Untuk tanah lempung dengan resistivitas 25 – 50 Ωm, bersesuaian dengan nilai tahanan konus > 250 kg/cm² atau setara dengan NSPT > 60. Data stratifikasi tanah sangat penting untuk analisis geoteknik, stratifikasi yang baik dapat dibuat dengan melengkapi data penyelidikan geoteknik dengan data metode geofisika (geolistrik) dan membuat korelasi nilai resistivitas dengan parameter geotekniknya.

Integrasi antara data geolistrik 3D, CPT, SPT, dan data pengeboran mampu menghasilkan model stratifikasi tanah yang lebih representatif dibandingkan dengan hanya menggunakan data pengeboran atau pengujian geoteknik secara terpisah. Informasi resistivitas memberikan gambaran kemenerusan lateral lapisan sehingga mengurangi ketidakpastian dalam penentuan batas lapisan tanah, khususnya pada lokasi dengan jumlah titik investigasi yang terbatas. Dengan demikian, metode geolistrik 3D dapat dimanfaatkan sebagai metode pendukung untuk membangun model geoteknik bawah permukaan yang lebih realistis.

Namun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa model resistivitas 3D belum mampu mengidentifikasi lensa lempung sangat lunak yang terdeteksi oleh data SPT. Keterbatasan tersebut disebabkan oleh rendahnya kontras resistivitas antar lapisan lempung, efek penghalusan pada proses inversi, serta resolusi spasial model yang lebih besar dibandingkan dengan dimensi lensa tanah lunak. Oleh karena itu, interpretasi geolistrik tetap memerlukan validasi menggunakan data pengeboran dan pengujian geoteknik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aizebeokhai, A.P. (2017) "Goelectrical resistivity data sets for subsurface characterization: A case history from South-Western Nigeria," *Journal of Geophysics and Engineering*, 14(5), hal. 1189–1203.
- Asif, A.R. dkk. (2016) "Correlation of electrical resistivity of soil with geotechnical engineering parameters at Wattar area district Nowshera, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan," *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 49(1), hal. 124–130.
- ASTM (2012) "ASTM D3641-90 Standard Test Method for Cone Penetration Test (CPT) and Cone Resistance Value." ASTM International.
- ASTM (2018) "ASTM D1586/D1586M-18 Standard Test Method for the Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils." ASTM International.
- Bowles, J.E. (1978) "Engineering Properties of Soil and Their Measurement."
- Dahlin, T. dan Zhou, B. (2004) "A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays," *Geophysical Prospecting*, 52(5), hal. 379–398. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2004.00423.x>.
- Friedel, S., Thielen, A. dan Springman, S.M. (2006) "Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing," *Journal of Applied Geophysics*, 60(2), hal. 100–114. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.01.001>.
- Gonçalves, J.T.D. dkk. (2021) "Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts at tropical soils in Brazil," *Environmental Challenges*, 5(May). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>.
- Hermawan, O.R. dan Eka Putra, D.P. (2016) "The Effectiveness of Wenner-Schlumberger and Dipole-dipole Array of 2D Goelectrical Survey to Detect The Occurring of Groundwater in the Gunung Kidul Karst Aquifer System, Yogyakarta, Indonesia," *Journal of Applied Geology*, 1(2), hal. 71. Tersedia pada: <https://doi.org/10.22146/jag.26963>.
- Isbiantoro, R. dan Zulfian, Z. (2021) "Aplikasi Metode Geolistrik 3D untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan (Studi Kasus: Lingkungan Universitas Tanjungpura Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat)," *Prisma Fisika*, 9(2), hal. 132–137. Tersedia pada: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/49463>.
- Kamiński, M., Zientara, P. dan Krawczyk, M. (2023) "Application of airborne laser scanning and electrical resistivity tomography in the study of an active landslide and geology of the cliff, Jastrzębia Góra, Poland," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82(4). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03153-z>.
- Loke, M.H. (2013) "Recent developments in the low-frequency electromagnetic imaging and applications," *Journal of Applied Geophysics*, 95, hal. 1–11.
- Loke, M.H., Acworth, I. dan Dahlin, T. (2003) "A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys," *Exploration Geophysics*, 34(3), hal. 182–187. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1071/EG03182>.
- Lowrie, W. (2007) *Fundamentals of Geophysics*. 2 ed. Cambridge University Press.
- M. Thabit J dan S. Al-Zubedi A (2015) "Evaluation of Three Important Electrode Arrays in Defining the Vertical and Horizontal Structures in 2D Imaging Surveys," *Iraqi Journal of Science*, 56(2B), hal. 1465–1470. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/281062780>.
- Marzouk, I. dkk. (2024) "A Case Study on Advanced CPT Data Interpretation: From Stratification to Soil Parameters," *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(5), hal. 4087–4113. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02774-9>.
- Ohaegbuchi, H.E. dkk. (2019) "Review of top notch electrode arrays for goelectrical resistivity surveys," *Journal of the*

- Nigerian Society of Physical Sciences*, 1(4), hal. 147–155. Tersedia pada: <https://doi.org/10.46481/jnsps.2019.34>.
- Park, S.G. *dkk.* (2016) “Relationship between electrical resistivity and physical properties of rocks,” *22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Near Surface Geoscience 2016* [Preprint], (September). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602101>.
- Prosperi, A. *dkk.* (2025) “Lithological Heterogeneity and Its Impact on Soil Settlements at the Building Scale,” *Geotechnical and Geological Engineering*, 43(5), hal. 1–23. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s10706-025-03157-4>.
- Robertson, P.K. dan Campanella, R.G. (1983) “Interpretation of cone penetration tests. Part I: Sand,” *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), hal. 718–733. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1139/t83-078>.
- Salata, S. dan Uzelli, T. (2023) “Are Soil and Geology Characteristics Considered in Urban Planning? An Empirical Study in Izmir (Türkiye),” *Urban Science*, 7(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/urbansci7010005>.
- Sasangka, D.J., Arisanto, P., Dhanardono, B., Puji, D., *dkk.* (2024) “Pola Resistivitas Tanah Ekspansif Pada Musim Kering dan Awal Musim Hujan Berdasarkan Survey Multichannel Resistivitymeter Pada Jalan Akses Proyek Bendungan Jragung.”
- Sasangka, D.J., Arisanto, P., Dhanardono, B., Riyanto, D.P., *dkk.* (2024) “Resistivity Model of Clayshale Layers in Dry Season and Early Rainy Season Conditions Case Study of the Jragung Dam Project,” *Bentang : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 12(2), hal. 191–201. Tersedia pada: <https://doi.org/10.33558/bentang.v12i2.9576>.
- Sudha, K. *dkk.* (2009) “Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations,” *Journal of Applied Geophysics*, 67(1), hal. 74–79. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.09.012>.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990) *Applied Geophysics*. 2 ed. Cambridge University Press. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932>.
- Thaden, R., Sumardirdja, H. dan Richards, P. (1975) “26-1408-5-1409-2-Magelang dan Semarang.” Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Wahyuni, A. *dkk.* (2021) “Engineering , Environment , and Technology Vol xx No xx 20xx Resistivity Method for Characterising Subsurface Layers of Coastal Areas In South Sulawesi , Indonesia,” xx(4), hal. 217–225. Tersedia pada: <https://doi.org/10.25299/jgeet.2021.6.4.6242>.