

KORELASI NILAI RESISTIVITAS DENGAN NILAI N-SPT STUDI KASUS PADA ENDAPAN ALUVIAL, JAKARTA UTARA, INDONESIA

Tim Abhinaya Mappindo Bumitala

cs@abhinaya-mb.com

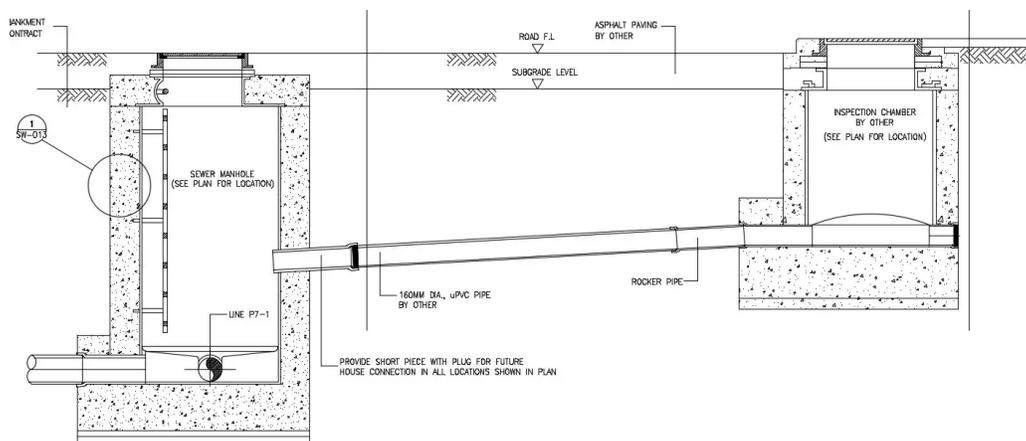
ABSTRAK

Upaya pemerataan fasilitas dan pelayanan kepada masyarakat salah satunya adalah dengan pemasangan pipa limbah dengan menggunakan metode *Pipe Jacking*. Namun terdapat permasalahan yang mungkin dihadapi seperti mata bor yang patah (*stuck*) ataupun terjadinya amblasan yang dapat menghambat aktivitas di lapangan. Permasalahan yang mungkin timbul dapat dihindari dengan melakukan survei pendahuluan, seperti survei geolistrik dan uji *Standard Penetration Test* (SPT). Kedua survei tersebut saling berkorelasi dan memvalidasi, dan sebagai referensi hal tersebut dilakukan penelitian dengan menggunakan 5 titik sampel survei geolistrik dan uji SPT. Korelasi data survei geolistrik yang menghasilkan nilai resistivitas dan uji SPT yang menghasilkan nilai N-SPT diidentifikasi dengan menggunakan metode pendekatan regresi linear dengan melihat nilai koefisien determinasi (R^2). Berdasarkan metode tersebut, didapatkan nilai sebesar 0,9739 pada Titik 1, 0,9052 pada Titik 2, 0,5463 pada Titik 3, 0,6614 pada Titik 4, dan 0,9903 pada Titik 5. Nilai koefisien determinan yang paling mendekati 1 menunjukkan similaritas data yang semakin baik. Sehingga, analisa yang telah dilakukan menunjukkan bahwa adanya korelasi yang baik antara nilai resistivitas dengan nilai N-SPT pada Formasi Aluvial di Jakarta. Korelasi yang baik ini membuat survei geolistrik dan uji SPT menjadi kombinasi yang tepat untuk dijadikan sebagai survei pendahuluan sebelum dilakukannya perkerjaan proyek bawah tanah.

Kata Kunci : Geolistrik, SPT, Endapan Aluvial, Korelasi.

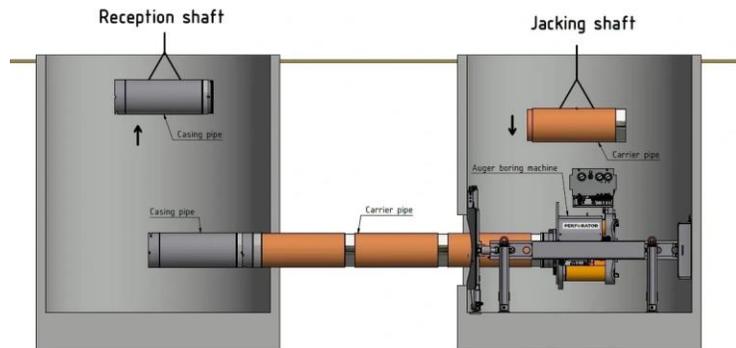
1. PENDAHULUAN

Sebagai pusat pemerintahan, industri, dan bisnis, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta terus berbenah dan meningkatkan fasilitas serta pelayanan untuk masyarakat yang berdiam atau sekadar beraktivitas di Jakarta. Sebagai salah satu bentuk upaya peningkatan pelayanan untuk masyarakat, Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas (KPPPIP) menyediakan investasi untuk mengolah salah satu permasalahan yang cukup besar di Jakarta, yakni air limbah dengan mengadakan proyek *Jakarta Sewerage System* (JSS) yang akan dilaksanakan pada Zona 1 dan Zona 6 yang mencakup wilayah Pusat, Utara, dan Barat dengan nilai investasi Rp2 Triliun, Rp5,5 Triliun, dan Rp4,3 Triliun. Proyek ini merupakan proyek pemasangan pipa limbah bawah tanah yang diperkirakan selesai pada tahun 2027 [1].



Gambar 1. Desain Sewerage System

Pekerjaan konstruksi bawah tanah dapat dilakukan dengan metode *Jacking* di mana metode ini merupakan salah satu teknik pemasangan jaringan pipa yang memanfaatkan *hydraulic jack* yang sangat kuat untuk mendorong pipa yang sudah didesain untuk masuk ke bawah tanah. *Pipe jacking* merupakan metode pemasangan *utility tunnel* dengan menancapkan *pile* ke bawah tanah yang dikontrol oleh ekskavasi dari atas permukaan. Standar diameter pipa yang digunakan bervariasi, mulai dari 150 mm hingga 2.400 mm atau bahkan lebih besar yang bergantung pada kebutuhan. Komponen yang digunakan pada metode *pipe jacking* antara lain adalah *tunnel boring machine*, *cutter boom*, *backacter*, *earth pressure balance*, dan *pressurized slurry* [2]. Kondisi litologi tanah menjadi parameter krusial yang harus diketahui sebelum melakukan *pipe jacking*.



Gambar 2. Desain Bor *Jacking*

Kondisi bawah tanah yang tidak diketahui dapat menimbulkan beberapa permasalahan. Beberapa permasalahan yang timbul saat melakukan pemasangan pipa contohnya:

- Mesin bor dan peralatan *jacking* yang rusak yang diakibatkan dari kondisi tanah yang sangat keras yang menyebabkan *cutter head* mesin bor tertekan dengan keras dan *stuck*.
- Proses pembuatan pondasi shaft (sewer manhole) pada tanah yang terlalu lunak dapat menyebabkan amblesan secara langsung pada pondasi tersebut.
- Pada pemasangan pipa horizontal yang mana pembebanannya merata di tanah lunak akan menyebabkan tanah amblas (turun) secara bertahap.
- Permasalahan teknis yang timbul dapat menyebabkan peningkatan *project cost* dan penambahan waktu pengerjaan proyek (*project delayed*) [3].

Beberapa permasalahan di atas dapat dihindari dengan melakukan penyelidikan daya tahan tanah dan keras-lunaknya tanah yang dapat dilakukan dengan melakukan survei pendahuluan, yakni uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan survei geolistrik.

Standart Penetration Test (SPT) merupakan suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui sampel tanah dan daya tahan tanah akan tumbukan yang menghasilkan data kuat-lunak tanah pada lokasi pengambilan sampel uji SPT. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m) [4]. Uji SPT memiliki beberapa keunggulan seperti uji yang singkat dan relatif murah, serta mampu mendapatkan sampel tanah untuk dapat diidentifikasi secara langsung. Namun demikian, terdapat beberapa kelemahan SPT yang tidak bisa dipungkiri seperti sampel yang tidak bisa dijadikan acuan kondisi bawah tanah secara keseluruhan dan sulit

untuk mendapatkan hasil maksimal jika mendapati batuan keras di bawah permukaan karena keterbatasan peralatan yang digunakan [5].

Alternatif lainnya adalah survei geolistrik yang merupakan salah satu metode geofisika non-destruktif yang memanfaatkan sifat kelistrikan batuan di bawah permukaan. Survei geolistrik umum digunakan pada bidang geoteknik karena dapat memberikan informasi mengenai kondisi batuan di bawah permukaan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas. Nilai resistivitas didapatkan dengan mengukur beda potensial pada setiap titik elektroda yang merupakan media penghantar listrik [6]. Metode geolistrik resistivitas atau tahanan jenis adalah salah satu dari kelompok metode geolistrik yang digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan dengan cara mempelajari sifat aliran listrik di dalam batuan di bawah permukaan bumi. Metode resistivitas umumnya digunakan untuk eksplorasi dangkal, sekitar 300 – 500 m. Prinsip dalam metode ini yaitu arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, sedangkan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial listrik dapat diperoleh variasi nilai resistivitas listrik pada lapisan di bawah titik ukur [7]. Kelebihan dari metode geolistrik adalah kemampuannya untuk menunjukkan kondisi bawah tanah yang lebih kompleks dibandingkan informasi uji bor dan dapat digunakan untuk investigasi pada area yang luas secara cepat dan efisien. Sedangkan keterbatasan dalam penggunaan metode geolistrik yakni membutuhkan referensi kondisi geologi yang tematik dalam proses interpretasi data dengan melihat nilai resistivitas yang didapatkan dan kemudian dikorelasikan dengan litologi batuan pada kondisi geologi daerah tersebut [8].

Nilai N-SPT merupakan nilai perekaman jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk beban penumbuk mencapai kedalaman 15 cm dengan satuan pukulan per kaki (*blow per foot*), jumlah pukulan (nilai N-SPT) dapat menjadi cerminan kekerasan tanah di mana semakin banyak jumlah pukulan yang dibutuhkan, maka tanah tersebut akan semakin keras pula [9]. Tanah yang tersusun atas litologi batuan yang variatif akan menunjukkan sifat keras-lunak tanah yang bervariasi pula bergantung pada titik dan kedalamannya. Susunan litologi batuan dapat diketahui dari nilai resistivitas yang dicerminkan pada saat survei geolistrik. Nilai resistivitas batuan menunjukkan respon unik batuan terhadap arus listrik yang diinjeksikan ke bawah permukaan. Nilai ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti komposisi mineral, umur batuan, konten elektrolit, densitas batuan, porositas, permeabilitas, dan lainnya [10].

Korelasi antara nilai N-SPT dan nilai resistivitas dibutuhkan untuk menjadi data yang saling memvalidasi dan memberikan informasi yang lebih akurat terkait kondisi di bawah permukaan. Terdapat beberapa penelitian yang telah melakukan penelitian tersebut, di antaranya *Geological and Climatic Factors Affecting the Correlation between Electrical Resistivity and SPT N-Value in Sandy Soils of Phuket, Thailand* [11], *Correlation of Resistivity Value with Geotechnical N-Value of Sedimentary Area in Nusajaya, Johor, Malaysia* [12], *Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts at tropical soils in Brazil* [13], *Correlation of Electrical Resistivity and SPT-N value from Standard Penetration Test (SPT) of Sandy Soil* [14]. Penelitian tersebut sangat penting sebagai data pendukung untuk memvalidasi penelitian korelasi nilai N-SPT dengan nilai resistivitas di daerah aluvium di Jakarta. Penelitian korelasi nilai N-SPT dengan nilai resistivitas ini sangat bermanfaat untuk para kontraktor di Indonesia dalam melakukan pembangunan infrastruktur bawah tanah.

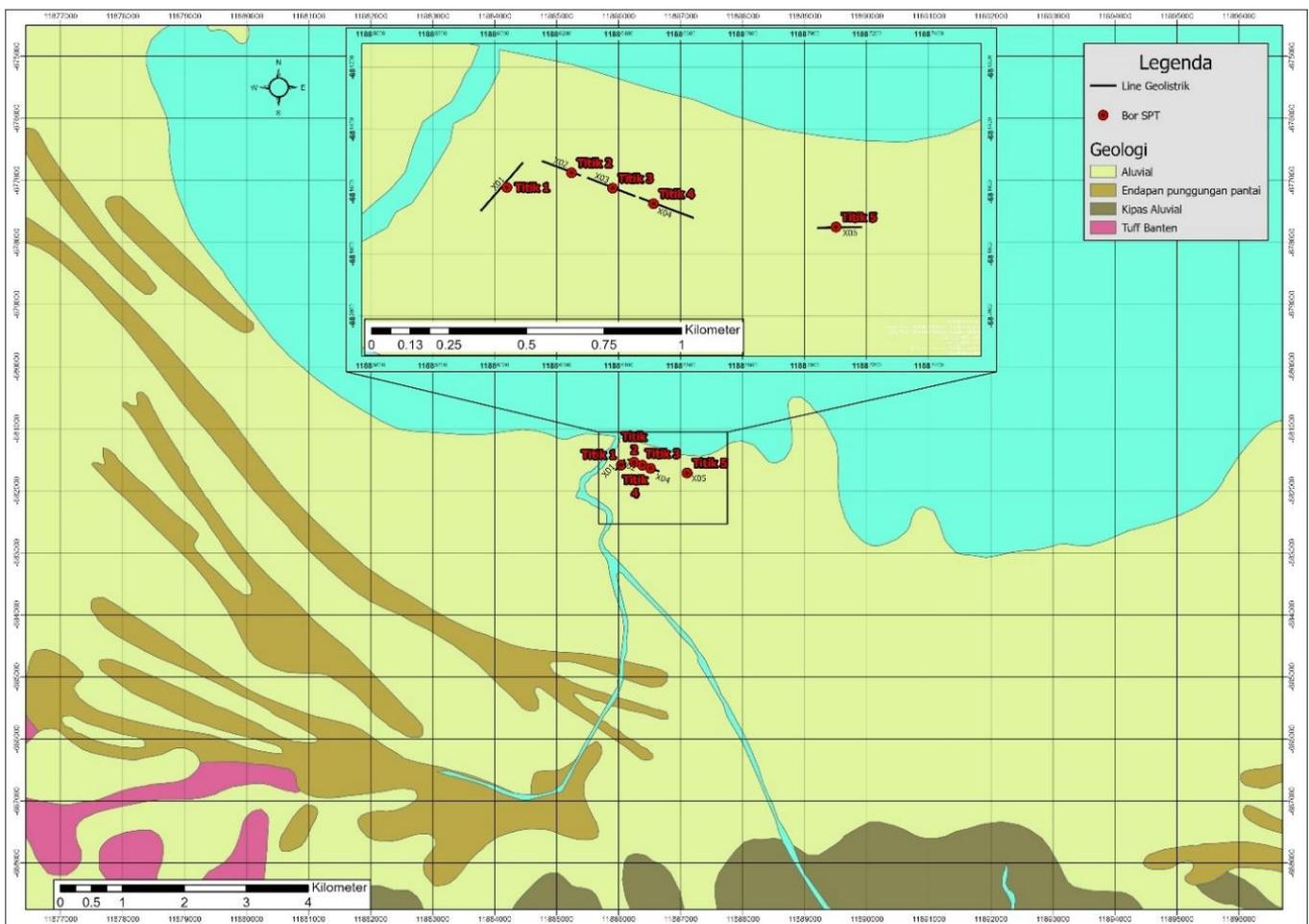
2. AREA PENELITIAN DAN GEOLOGI REGIONAL

Daerah Ibukota Jakarta terletak di pesisir barat laut Pulau Jawa dan memiliki luas sekitar 661,52 km² [15]. Menurut Dinas Cipta Karya, Tata Ruang dan Pertanahan Provinsi DKI Jakarta, DKI Jakarta berada di Pulau Jawa yang secara geografis terletak di antara 5° 10' 00" LS – 6° 22' 21,5" LS dan 106° 41' 12,5" BT – 106° 58' 24,2" BT dengan titik tertingginya berada pada ketinggian 79 meter di atas permukaan laut (mdpl) [15]. Daerah Jakarta memiliki kondisi geologi yang sangat bervariasi. Secara regional, struktur geologi yang berkembang memperlihatkan adanya 3 arah dominan yaitu arah barat laut – Tenggara – timur laut – barat daya, dan barat - timur.

Menurut Peta Geologi Dinas Perindustrian dan Energi Provinsi DKI Jakarta, sebagian besar wilayah Jakarta dibangun oleh tanah aluvium yang sangat bervariasi sifat keteknikannya baik pada sebaran ke arah vertikal maupun horizontal. Di bagian utara tersusun oleh aluvium pantai, pematang pantai, sungai, dan rawa dengan ketebalan hingga mencapai 50 m [16] sedangkan di bagian selatan umumnya tersusun oleh aluvium vulkanik yang berasal dari aktivitas gunung api ¹.

Kondisi morfologi pada daerah Jakarta dapat diidentifikasi dari garis pantai purba DKI Jakarta 5000 tahun yang lalu berada di sepanjang Jl. Daan Mogot - Grogol - Monas - Senen - Pulo Gadung, sehingga di beberapa tempat di sepanjang jalan tersebut dijumpai tanah endapan pematang pantai dan di belakangnya dijumpai tanah endapan rawa yang bersifat lunak [17].

Berdasarkan peta geologi lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Endapan Aluvium (Qa) yang terletak di Jalan Pluit Karang Barat. Formasi aluvium (Qa) merupakan batuan yang diendapkan oleh air yang mengalir di dasar sungai, di dataran banjir, di daerah pantai, atau dalam pengaturan serupa yang memiliki sifat tidak padu. Pada daerah pengambilan data, formasi aluvium ini tersusun atas lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal [17]. Lokasi pengambilan data dan area penelitian ditunjukkan pada Gambar 3. Lokasi kelima lintasan geolistrik dan 5 titik SPT di Jakarta yang digunakan dalam ini penelitian ini juga digambarkan pada gambar 4. Tabel 1 memberikan informasi tentang jumlah data, urutan pengukuran, dan kedalaman untuk setiap profil.



Gambar 3. Peta Geologi Regional Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu [18]

3. METODE PENELITIAN

3.1. SPT

Metode *Standard Penetration Test* (SPT) adalah teknik uji geoteknik yang umum digunakan untuk menentukan kekuatan dan karakteristik tanah di lokasi konstruksi [19]. Dalam uji ini, sebuah bor tanah ditempatkan di dalam tanah dengan bantuan mesin bor, dan kemudian sebuah palu berat standar dengan berat 63,5 kg dijatuhkan dari ketinggian tetap ke bor tersebut. Jumlah pukulan yang diperlukan untuk mengebor setiap kedalaman 30 cm terakhir dicatat sebagai nilai N (Nilai Penetrasi Standar) [20]. Nilai N mencerminkan ketahanan tanah terhadap penetrasi dan memberikan petunjuk tentang jenis dan kekuatan tanah. Semakin tinggi nilai N, semakin keras tanahnya [21]. Hasil uji SPT digunakan oleh insinyur geoteknik untuk merencanakan pondasi, menilai risiko likuifaksi tanah, dan membuat keputusan desain lainnya dalam proyek konstruksi. Uji SPT adalah alat penting dalam evaluasi tanah dan membantu memastikan keamanan serta kestabilan struktur bangunan di atasnya. [22]

Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dilakukan pada 5 lokasi yang ditunjukkan pada gambar 4 pada bulan Juli hingga Agustus 2023. Jarak antar titik pengujian SPT sekitar 100 meter pada titik SPT 1 sampai 4. Pengujian SPT dilakukan dengan kedalaman maksimal yang bervariasi dari 12,5 – 16 meter dengan spasi pengukuran kedalaman pada setiap titik dilakukan setiap 1 meter. Detail masing-masing titik SPT ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Peta GPS Lokasi Penelitian

3.2. Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu teknik geofisika non-invasif yang banyak digunakan dalam eksplorasi geologi, eksplorasi mineral, dan studi lingkungan. Pada penelitian ini, metode konfigurasi yang digunakan adalah metode dipole-dipole. Dalam metode ini, arus listrik diinjeksikan ke dalam tanah melalui dua elektroda (dipole positif), sementara dua elektroda lainnya digunakan untuk mengukur potensial listrik

(dipole negatif) pada jarak tertentu. Variasi jarak antara elektroda injeksi arus dan elektroda pengukur potensial memungkinkan pemetaan distribusi resistivitas bawah permukaan tanah. Perubahan nilai resistivitas dapat memberikan informasi tentang batuan, air tanah, dan struktur geologi di bawah permukaan [23].

Metode ini telah berkembang dengan berbagai teknik inversi dan pemodelan untuk meningkatkan akurasi interpretasi data. Penggunaan perangkat lunak komputer dan algoritma matematis memungkinkan para peneliti untuk mendapatkan model resistivitas yang lebih kompleks dari data yang diukur [24]. Selain itu, penggabungan data geolistrik dengan teknik geofisika dan geoteknik lainnya seperti seismik atau *Standard Penetration Test* (SPT) dapat meningkatkan pemahaman tentang subsurface geologi [25]. Penerapan metode geolistrik dengan konfigurasi dipole-dipole tidak hanya terbatas pada eksplorasi sumber daya alam, tetapi juga digunakan dalam studi geoteknik untuk evaluasi stabilitas lereng dan penentuan struktur lapisan tanah [26]. Penelitian terus berlanjut untuk mengembangkan teknik ini guna meningkatkan resolusi spasial dan interpretasi hasil pengukuran, sehingga metode geolistrik dengan konfigurasi dipole-dipole tetap menjadi alat yang sangat berharga dalam penelitian geosains modern.

Pada penelitian ini, digunakan 5 lintasan geolistrik dengan detail lintasan ditunjukkan pada tabel 1. Kelima lintasan berada pada kondisi geologi endapan aluvial. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat *Resistivitymeter GD-10* dengan spasi elektroda sebesar 10 meter. Pengolahan data geolistrik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Res2DInv* dengan parameter inversi yang telah disesuaikan untuk masing-masing lintasan.

Tabel 1. Data Pengukuran SPT dan geolistrik pada Lokasi Penelitian

Titik	SPT		Geolistrik	
	Kedalaman (m)	Jumlah Data	Panjang Bentangan (m)	Kedalaman Maksimal (m)
1	3,5 - 12,5	10	200	40
2	1 - 16	16	120	24
3	1 - 16	16	150	30
4	1 - 16	16	170	34
5	1 - 15	17	130	26

3.3. Korelasi SPT dengan Geolistrik

SPT dan Geolistrik memiliki similaritas di mana keduanya mampu menjadi informasi referensi terkait daya tahan tanah yang merujuk pada keras-lunaknya tanah. Metode SPT menghasilkan nilai N-SPT dengan rentang 1 – 60 di mana nilai N yang semakin kecil mendekati 1 menunjukkan bahwa daya tahan tanah yang buruk terhadap tekanan (penetrasi), sehingga dapat disimpulkan bahwa litologi pada kedalaman titik tersebut adalah lunak. Sedangkan, nilai N yang semakin tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut mampu menahan tekanan dengan baik yang menunjukkan bahwa litologi pada kedalaman titik tersebut adalah keras. Metode Geolistrik menunjukkan sebaran nilai resistivitas batuan di bawah permukaan secara lateral dan vertikal. Nilai resistivitas dapat menjadi referensi keras-lunak litologi pada kedalaman titik tertentu di mana nilai resistivitas memiliki rentang 0 hingga ribuan ohm.m yang merujuk pada batuan tertentu. Besar kecil nilai resistivitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kandungan air dan mineral ataupun porositas batuan tersebut.

Masing-masing nilai N-SPT dan nilai resistivitas dilakukan *plotting* pada grafik dan dilakukan analisa regresi linear dengan melihat koefisien determinasi (R^2) kedua nilai tersebut. Koefisien determinasi

merupakan perhitungan statistik yang menunjukkan seberapa baiknya kecocokan data tersebut. Angka yang ditunjukkan oleh koefisien determinasi terletak pada rentang 0 hingga 1, di mana angka 1 menunjukkan bahwa kecocokan data sangat baik, dengan ambang batas korelasi baik adalah jika $>0,5$.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan koefisien determinasi adalah sebagai berikut :

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$$

di mana SS_{res} merupakan jumlah residual kuadrat dan SS_{tot} adalah jumlah keseluruhan kuadrat.

4. Hasil dan Pembahasan

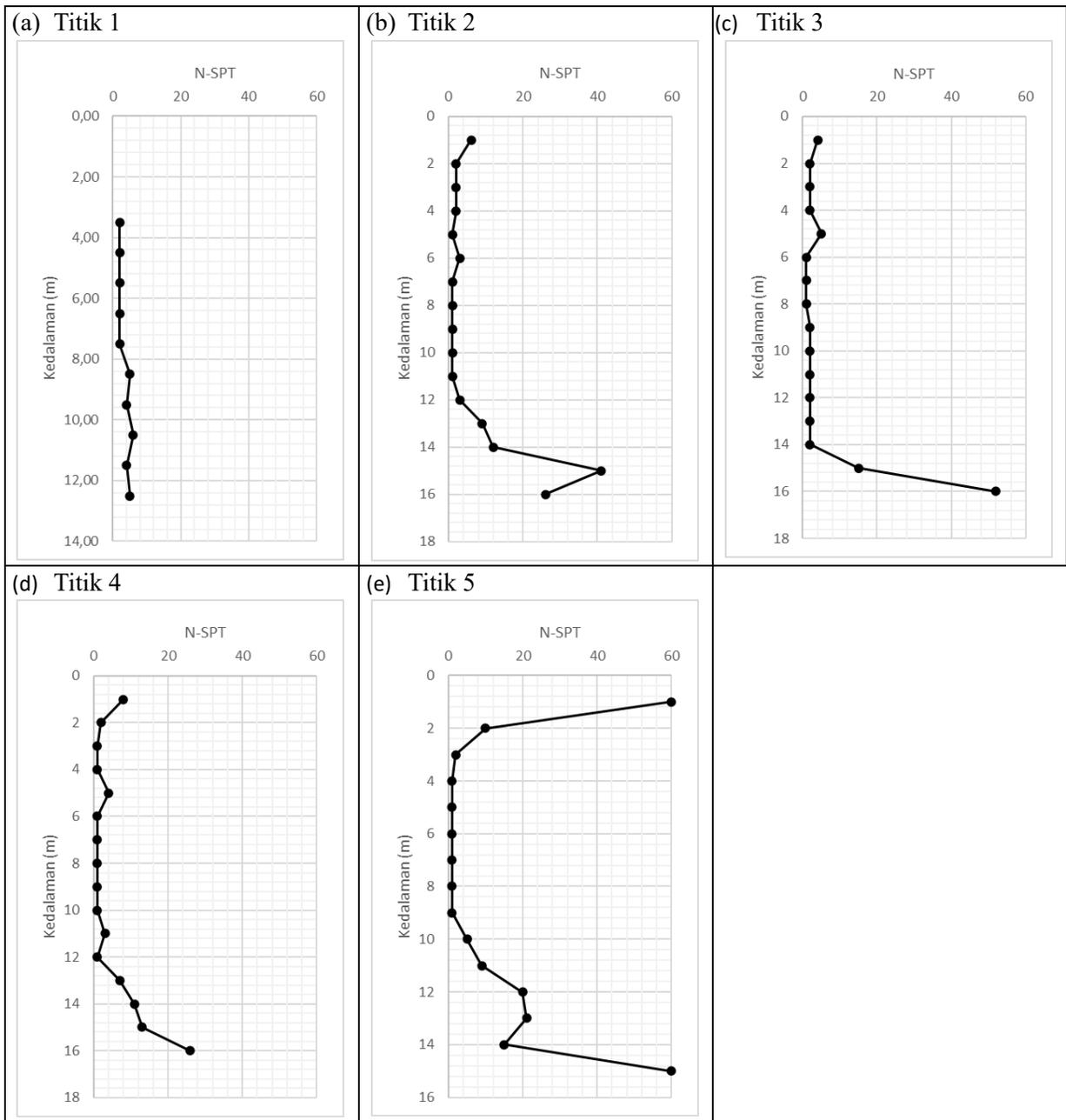
1. SPT

Pengambilan data SPT dilakukan pada lima titik lokasi pada daerah yang berdekatan. Hasil dari nilai SPT ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 5 di bawah ini. Titik 1, titik 2, titik 3 dan titik 4 diambil pada jarak 100 m antar titik satu sama lainnya serta kelima titik SPT diambil datanya pada sepanjang poros tengah jalan. Data SPT yang diperoleh mencapai kedalaman maksimum mendekati 16 m.

Nilai SPT yang diperoleh rata-rata menunjukkan nilai yang sangat rendah yaitu berkisar 1 – 8 tumbukkan yang mengartikan bahwa lokasi penelitian didominasi oleh litologi lunak seperti lempung. Nilai N-SPT untuk litologi lempung biasanya berkisar antara 1 sampai 5 serta nilai ini konsisten terdapat pada titik SPT 1 hingga titik SPT 5. Hal ini sesuai dengan geologi regional pada daerah tersebut yang berada pada satuan geologi Endapan Aluvium (Qa) yang mana umumnya terdiri dari tanah lunak seperti lempung dan lanau. Pada kedalaman yang dangkal, di beberapa titik SPT (Titik 2, 3, 4 dan 5) nilai SPT yang terukur lebih tinggi daripada nilai SPT pada kedalaman di bawahnya. Hal ini dikarenakan titik pengambilan SPT yang berada pada tengah jalan sehingga tingginya nilai N-SPT pada permukaan dangkal tersebut diakibatkan oleh pengerasan jalan. Pada kelima titik SPT juga terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai N-SPT yang cukup signifikan pada kedalaman 15 – 16 meter yang menandakan adanya perubahan litologi pada bawah permukaan dari litologi lunak menjadi litologi keras.

Tabel 2. Data Pengukuran SPT pada Lokasi Penelitian

Titik 1		Titik 2		Titik 3		Titik 4		Titik 5	
Kedalaman (m)	N-SPT								
3,5	2	1	6	1	4	1	8	1	60
4,5	2	2	2	2	2	2	2	2	10
5,5	2	3	2	3	2	3	1	3	2
6,5	2	4	2	4	2	4	1	4	1
7,5	2	5	1	5	5	5	4	5	1
8,5	5	6	3	6	1	6	1	6	1
9,5	4	7	1	7	1	7	1	7	1
10,5	6	8	1	8	1	8	1	8	1
11,5	4	9	1	9	2	9	1	9	1
12,5	5	10	1	10	2	10	1	10	5
		11	1	11	2	11	3	11	9
		12	3	12	2	12	1	12	20
		13	9	13	2	13	7	13	21
		14	12	14	2	14	11	14	15
		15	41	15	15	15	13	15	60
		16	26	16	52	16	26		



Gambar 5. Grafik N-SPT pada Daerah Pengukuran

2. Geolistrik

Hasil survei geolistrik yang telah dilakukan dalam penelitian ini dianalisis secara menyeluruh dan saling berkorelasi untuk setiap lintasan dan selanjutnya diinterpretasikan untuk memperoleh nilai resistivitas tanah dan batuan. Hasil inversi resistivitas ditunjukkan pada Gambar 6. Rentang nilai resistivitas ditentukan dengan warna berbeda untuk setiap lapisan dan dirangkum dalam Tabel 3. Tabel ini dapat dibuat karena kelima lintasan berada pada geologi regional yang sama, yaitu endapan aluvium (Qa), sehingga rentang nilai resistivitas pada kelima lintasan hampir sama.

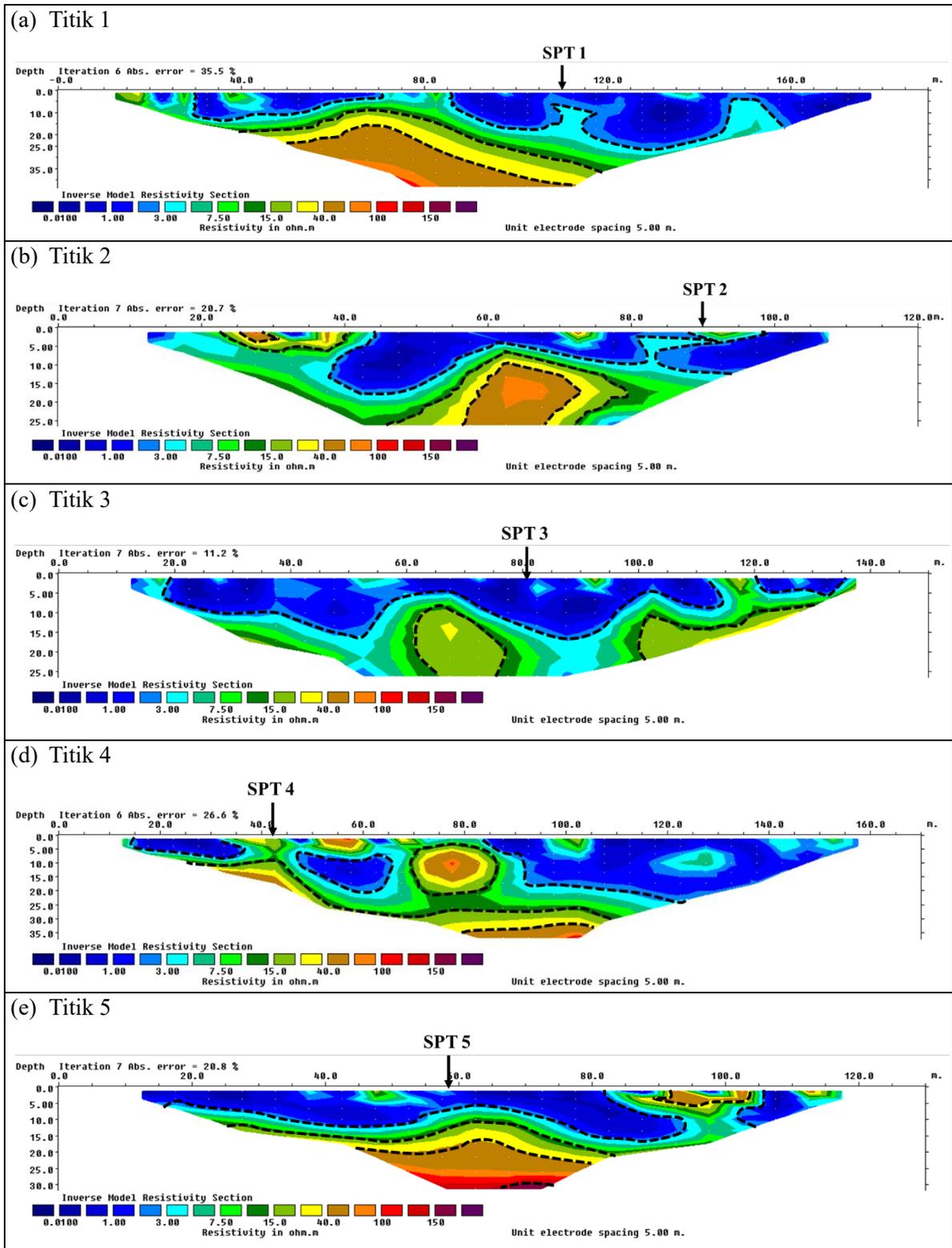
Tabel 3. Deskripsi Rentang Nilai Resistivitas Pada Daerah Penelitian [27][28]

Rentang Resistivitas (Ωm)	Deskripsi Litologi	Warna
0 - 3	Lempung	
3 - 15	Lanau	
15 - 40	Lanau Pasiran	
40 - 150	Pasir Lanauan	
>150	Pasir	

Berdasarkan gambar 6, dari kelima lintasan dapat diketahui bahwa pada lapisan permukaan (kedalaman hingga 10 m) menunjukkan kesamaan litologi yang umumnya didominasi oleh lapisan lunak, yaitu lempung yang mana ditandai oleh nilai resistivitas yang rendah (warna biru). Pada kedalaman permukaan juga terdapat beberapa litologi lanau yang muncul sebagai sisipan pada beberapa titik lintasan dan bersifat sebagai lapisan sedimen pada kedalaman 10 meter ke bawah. Beberapa litologi, seperti lanau pasiran dan pasir lanauan konsisten ditemukan pada kedalaman yang lebih dalam (>10 meter) yang berbentuk sebagai sisipan maupun sebagai lapisan sedimen. Distribusi resistivitas pada daerah penelitian (Gambar 6) menunjukkan adanya tanah jenuh di dekat permukaan yang diwakili oleh nilai resistivitas yang sangat rendah (< 3 Ωm). Pada kedalaman di bawah 15 m, nilai resistivitas meningkat secara gradasi dari litologi lempung yang lunak menuju litologi pasir lanauan yang memiliki nilai resistivitas tinggi. Adanya perlapisan litologi juga terlihat dengan cukup jelas pada beberapa lintasan seperti pada lintasan 1 dan lintasan 5.

Tabel 4 menunjukkan sebaran nilai resistivitas berdasarkan kedalaman pada titik dilakukannya pengambilan data SPT. Berdasarkan pada data yang disajikan pada gambar 6 dan dengan dukungan data pada tabel 3, menunjukkan bahwa distribusi resistivitas di daerah penelitian cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Pada kedalaman dangkal, terdapat lapisan di dekat permukaan yang kurang padat (0 – 15 Ωm) dengan ditemukannya sisipan resistivitas sedang yang bersifat lokal (15–40 Ωm), yang disebabkan oleh adanya sisipan litologi lanau pasiran dan pasir lanauan. Pada kedalaman di bawah 15 m, resistivitas meningkat seiring dengan berkurangnya kandungan lempung hingga mencapai lapisan yang lebih kompak dan padat seperti lapisan pasir lanauan (40 – 150 Ωm) dan lapisan pasir (>150 Ωm).

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, metode geolistrik dapat mengetahui keberadaan anomali-anomali yang bersifat lokal pada beberapa titik lintasan. Selain itu, dengan cakupan yang lebih luas, metode geolistrik mampu untuk mengetahui persebaran litologi batuan dengan lebih baik dibandingkan dengan metode SPT yang hanya melakukan sampling pada beberapa titik pengambilan data. Hal ini memungkinkan untuk bisa mendapatkan data bawah permukaan yang lebih lengkap dan akurat.



Gambar 6. Hasil Inversi Nilai Resistivitas Pada Setiap Lintasan

Tabel 4. Data Pengukuran Survei Geolistrik pada Lokasi Penelitian

Lokasi	Letak SPT (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)
Titik 1	112,5	3,5	0,488
		6,5	3,728
		9,5	13,341
		12,5	18,313
		17	15,574
		21,5	14,465
		26	20,215
		31	33,036
		36,5	31,326
		43	28,135
Titik 2	90	2	2,217
		4	3,895
		7	2,206
		10	2,08
		12	4,754
		16	9,817
Titik 3	82,5	2	2,064
		4	4,461
		7	1,66
		10	0,87
		12	2,054
		16	5,421
		21,5	8,042
26	6,726		
Titik 4	42,5	2	19,624
		4	20,22
		7	11,73
		10	17,213
		13,5	27,922
		17	64,596
Titik 5	87,5	1	3,475
		4	1,245
		7	2,097
		10	5,777
		12	15,823
		17	34,365
		21,5	57,312
		26	85,674
31	151,3		

3. Korelasi nilai N-SPT dan Resistivitas Geolistrik

Tabel 5. Data Pengukuran SPT pada Lokasi Penelitian

	Kedalaman (m)	Resistivitas (Ohm.m)	N-SPT (Blow Count)	R²
Titik 1	3,5	0,488	2	0,9739
	6,5	3,728	2	
	9,5	13,341	4	
	12,5	18,313	5	
Titik 2	2	2,217	2	0,9052
	4	3,895	2	
	7	2,206	1	
	10	2,08	1	
	12	4,754	3	
	16	9,817	26	
Titik 3	2	2,064	2	0,5463
	4	4,461	2	
	7	1,66	1	
	10	0,87	2	
	12	2,054	2	
	16	5,421	52	
Titik 4	2	19,624	2	0,6614
	4	20,22	2	
	7	11,73	1	
	10	17,213	1	
Titik 5	4	1,245	1	0,9903
	7	2,097	1	
	10	5,777	5	
	12	15,823	20	

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan 5 titik SPT dan 5 lintasan pengukuran geolistrik memiliki hasil yang variatif, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5 di atas yang menunjukkan hasil sebagai berikut:

a) **Titik 1**

Terdapat empat data perbandingan uji SPT dan survei geolistrik. Mulai dari kedalaman yang dangkal yakni 2 m hingga 12,5 m memiliki nilai resistivitas yang semakin meningkat diikuti dengan nilai N-SPT yang semakin besar. Peningkatan nilai resistivitas dan kenaikan nilai N-SPT ini menunjukkan bahwa keduanya berbanding lurus. Gambar 7 juga menunjukkan sebaran data yang berada di dekat garis regresi linear dengan nilai koefisien determinan (R²) mencapai 0,9739 atau memiliki tingkat korelasi sebesar 97%.

b) **Titik 2**

Menggunakan enam data SPT dan enam data geolistrik, Titik 2 memiliki enam data dengan nilai resistivitas terendah pada kedalaman 10 m dan nilai resistivitas tertingginya pada kedalaman 16 m memiliki nilai N-SPT masing-masing 1 dan 26. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai resistivitas selaras dengan peningkatan nilai N-SPT yang ditunjukkan dengan nilai R² sebesar 90%.

c) **Titik 3**

Litologi lempung dengan nilai resistivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan lanau memiliki nilai N-SPT yang dimulai dari 1 hingga 2, sedangkan litologi lanau yang merupakan litologi sedikit lebih keras dibandingkan dengan lempung memiliki nilai N-SPT yang dimulai dari 2 hingga 52. Kenaikan nilai resistivitas ini menunjukkan adanya kenaikan kompaksi litologi yang divalidasi dengan nilai N-SPT yang semakin tinggi juga. Nilai koefisien determinan pada Titik 3 (gambar 7) hanya menunjukkan nilai mencapai 0,5463 yang menunjukkan kecocokan sebesar 54% disebabkan oleh adanya lonjakan nilai N-SPT pada kedalaman 16 meter, namun demikian hal ini tetap menunjukkan bahwa nilai resistivitas yang semakin tinggi berbanding lurus dengan nilai N-SPT yang semakin besar pula.

d) **Titik 4**

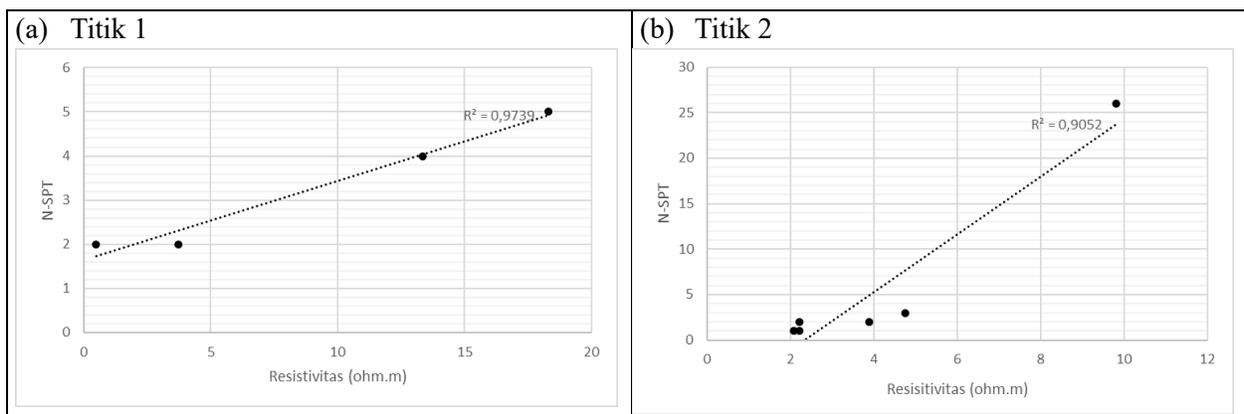
Tersusun atas nilai resistivitas tinggi pada kedalaman dangkal yang diikuti dengan penurunan nilai resistivitas rendah pada kedalaman yang semakin dalam memiliki nilai N-SPT yang mengecil juga dari kedalaman dangkal ke kedalaman yang semakin dalam dengan kecocokan data sebesar 66%.

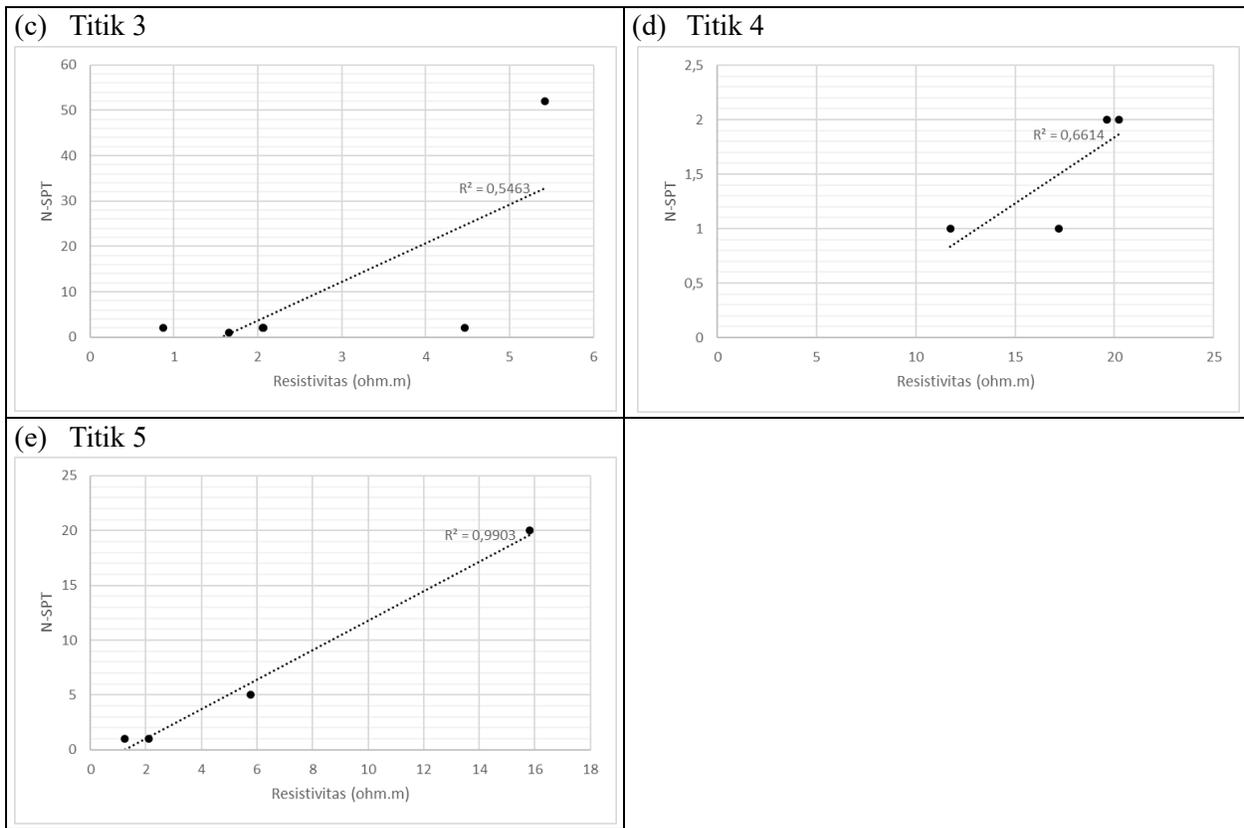
e) **Titik 5**

Merupakan titik terakhir penelitian memiliki kecocokan data nilai resistivitas dan nilai N-SPT mencapai 99% berdasarkan dari gambar 7 dengan sebaran data yang baik di mana nilai resistivitas meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman ini berbanding lurus pula dengan peningkatan nilai N-SPT.

Berdasarkan penelitian 5 titik tersebut, masing-masing koefisien determinan dan keselarasan data antara nilai resistivitas dan nilai N-SPT menunjukkan bahwa kedua metode ini saling berbanding lurus dan saling memberikan validasi satu sama lain.

Gambar 7. Grafik Korelasi N-SPT dengan Nilai Resistivitas





5. Kesimpulan

Pelaksanaan pekerjaan *pipe jacking* rentan terhadap hambatan yang disebabkan oleh kondisi bawah permukaan yang tidak bisa dilihat secara langsung, dengan demikian dibutuhkan survei pendahuluan bawah tanah seperti yang dilakukan pada penelitian ini. Kesimpulan penelitian dijabarkan sebagai berikut:

- Pengukuran survei geolistrik dan uji SPT cocok dilakukan pada Formasi Aluvium yang tersusun atas litologi tanah yang sangat lunak seperti lempung hingga litologi tanah yang keras seperti pasir untuk mengetahui tingkat kekerasan litologi tanah pada kedalaman tertentu.
- Berdasarkan hasil pengukuran survei geolistrik dan uji SPT pada titik 1 hingga titik 5, keduanya menunjukkan korelasi yang baik dengan nilai koefisien determinasi (R^2) pada titik 1 hingga titik 5 secara berturut-turut adalah 0,9739 , 0,9052 , 0,5463 , 0,6614 , dan 0,9903. Kelima nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi yang berada di atas batas ambang 0,5 dengan tiga titik menunjukkan hasil yang mendekati 1, sehingga hasil pengukuran survei geolistrik memiliki korelasi yang sangat baik dengan nilai N yang dihasilkan dari uji SPT.
- Pengukuran survei geolistrik dan uji SPT sangat baik untuk digabungkan sebagai satu kesatuan survei pendahuluan proyek bawah tanah, seperti *pipe jacking* untuk meminimalisir kerusakan ataupun kecelakaan kerja.

Pengukuran survei geolistrik sebagai survei pendahuluan sebelum dilakukan proses *pipe jacking* menjadi hal yang krusial untuk mengetahui sebaran nilai resistivitas batuan secara lateral dan vertikal di mana data tersebut mampu untuk memberikan informasi mengenai keras-lunak litologi secara menyeluruh. Namun dikarenakan hasil dari survei geolistrik masih berupa *suspect* maka harus dilakukan validasi dengan melakukan uji SPT untuk mendapatkan nilai tingkat kekerasan serta sampel litologi hingga kedalaman yang dibutuhkan pada titik-titik tertentu berdasarkan hasil survei geolistrik, sehingga kedua metode tersebut akan saling melengkapi satu sama lain untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Referensi

- [1] Lingkungan Hidup Jakarta. 2019. *DKI Berencana Membangun Delapan Zona Jakarta Sewerage System di Tahun 2020*. Lingkungan Hidup Jakarta
[<https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/jakartaberketahanan/>], diakses pada Kamis, 5 Oktober 2023 11:55 WIB.
- [2] Pipe Jacking Association. 2017. *An Introduction to Pipe Jacking and Microtunneling*. London: Pipe Jacking Association.
- [3] Tajuk. 2020. *Saat Memasang Pipa dengan Metode Jacking Pipe, Masalah Ini Kerap Muncul!*
[<https://www.tajuk.id/saat-memasang-pipa-dengan-metode-jacking-pipe-masalah-ini-kerap-muncul/>], diakses pada Kamis, 5 Oktober 13:17 WIB
- [5] Civil Today. 2023. *Advantages and Disadvantages of Standard Penetration Test*
[<https://civiltoday.com/geotechnical-engineering/site-investigation/376-advantages-disadvantages-spt/>], diakses pada Kamis, 5 Oktober 13:25
- [6] Syed, B.A., Siddiqui, F.I. 2012. Use of Vertical Electrical Sounding (VES) Method as An Alternative to Standard Penetration Test (SPT). *Proceedings of the Twenty-Second International Offshore and Polar Engineering Conference Rhodes*.
- [7] Santoso, B. 2018. Identifikasi Akuifer Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Di Daerah bebandedem, Karang Asem, bali. *EKSATA 1 (19)*.
- [8] Okpolo, C.C. 2013. Sensitivity and Resolution Capacity of Electrode Configurations. *International Journal of Geophysics*.
- [9] Alel, M.N.A., Upom, M.R.A., Abdullah, R.A., Abidin, M.H.Z. 2017. Estimating SPT-N Value Based on Soil Resistivity using Hybrid ANN-PSO Algorithm. *Journal of Physics, 995*.
- [10] Octova, A., Muji, A.S., Raeis, M., Putra, R.R. 2019. Identification of Aquifer using Geoelectrical Resistivity Method with Schlumberger Array in Koto Panjang Area, Nagari Tigo Jangko, Lintau Buo Sub-District, Tanah Datar Regency. *Journal of Physics: Conf. Series 1185*, 012009.
- [11] Puttiwongrak, A., Keo, S., Vann, S., Arpornthip, T., Suteerasak, T., Sukontasukkul, P. 2023. Geological and Climatic Factors Affecting the Correlation between Electrical Resistivity and SPT N-Value in Sandy Soils of Phuket, Thailand. *Geosciences, 13(6)*, 185.
- [12] Tan, S.N., Tonnizam, M.E., Saad, R., Dan, M.F., Nordiana, M.M., Hazreek, Z.A., Madun, A. 2018. Correlation of Resistivity Value with Geotechnical N-Value of Sedimentary Area in Nusajaya, Johor, Malaysia. *Journal of Physics: Conf. Series 995*, 012079.
- [13] Goncalves, J.T., Botelho, M.A., Machado, S.L. Netto, L.G. 2021. Correlation Between Field Electrical Resistivity and Geotechnical SPT Blow Counts at Tropical Soils in Brazil. *Environmental Challenges 5*.
- [14] Hatta, K.A., Osman, S.B. 2015. Correlation of Electrical Resistivity and SPT-N Value from Standard Penetration Test (SPT) of Sandy Soil. *Applied Mechanics and Materials, 785*, 702-706.
- [15] Statistik Sektor Provinsi DKI Jakarta. 2020. Geografis DKI Jakarta Tahun 2020. Unit Pengelola Statistik. <https://statistik.jakarta.go.id/geografis-dki-jakarta-tahun-2020/>.
- [16] Dinas Perindustrian dan Energi Provinsi DKI Jakarta. 2023. Sistem Data Informasi Geologi dan Air Tanah. <https://siga.jakarta.go.id/peta/geologi>.
- [17] Badan Geologi Indonesia. 2023. Layanan Informasi Data Geologi Indonesia. <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-indonesia-lembar-jakarta>.

- [18] Turkandi, T., Sidarto, D.A., Agustiyanto, Hadiwidjoyo, M.M.P. 1992. Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Jawa. Pusat Survey Geologi.
- [19] Das, M. Braja. 1995. Principles of Geotechnical Engineering.
- [20] Terzaghi, Karl. Peck, Ralph B. Mesri, Gholamreza. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice
- [21] Day, Robert W.. 1991. Foundation Engineering Handbook.
- [22] Coduto, Donald P., Yeung, Man-chu Ronald, Kitch, William A. 2011. Geotechnical Engineering: Principles and Practices.
- [23] Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., & Keys, D. A. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press.
- [24] Oldenburg, D. W. 2005. An inversion algorithm for electrical imaging data. Geophysics, 70(1), GEB19-GEB26.
- [25] Dahlin, T., & Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. Geophysical Prospecting, 52(5) 379-398.
- [26] Loke, M. H. (2019). Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Penang: Geotomo Software.
- [27] Hanani, I.H., Hidajat, W.K., Santi, N. 2017. Kajian Penyebaran Akuifer Menggunakan Geolistrik Dengan Metode Schlumberger Kompleks RRI Cisalak, Sukmajaya, Kota Depok, Jawa Barat. Schlumberger Kompleks RRI Cisalak, Sukmajaya, Kota Depok, Jawa Barat. Promine Journal.
- [28] Septyanto, B., Nafian, M., Isnaini, N. 2018. Identifikasi Lapisan Batuan di Daerah Bojongsari Depok Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. AL-FIZIYA, 1(2).