



PENTINGNYA SOIL INVESTIGASI DENGAN METODE GEOLISTRIK PADA PROJECT PIPANISASI BAWAH TANAH

U. N. Oktaviani¹, A. K. Aziz¹, R. N. Nababan¹

¹PT. Abhinaya Mappindo Bumitala

PT. Abhinaya Mappindo Bumitala

cs@abhinaya-mb.com

Abstrak

Pipanisasi bawah tanah merupakan infrastruktur penting untuk distribusi air bersih, gas, minyak, dan utilitas lainnya, dengan keberhasilan yang sangat dipengaruhi kondisi geologi dan sifat tanah sepanjang trase. Ketidaksesuaian antara desain dan kondisi aktual dapat memicu *settlement*, pergeseran pipa, hingga kegagalan konstruksi, terutama pada trase yang melintasi perubahan litologi, zona lemah, batuan keras, dan lainnya. Pengujian geoteknik yang umum digunakan seperti SPT, CPT, CBR, dan geolistrik diperlukan untuk mendapatkan parameter tanah. Namun, metode geolistrik sering kali terabaikan dalam tahap investigasi. Padahal untuk memahami kemenerusan kondisi bawah permukaan secara kontinu, metode geolistrik sangat efektif digunakan sebagai investigasi awal untuk memetakan kondisi bawah permukaan secara lateral–vertikal. Selanjutnya hasilnya dapat dikonfirmasi melalui SPT pada lokasi representatif atau area anomali sebagai kontrol kualitas (QC), sehingga perencanaan lebih akurat, metode konstruksi lebih tepat, dan risiko kegagalan dapat ditekan.

Kata kunci: pipanisasi bawah tanah; soil investigation; geolistrik resistivitas; SPT.

Abstract

Underground pipeline systems are essential infrastructure for the distribution of clean water, gas, oil, and other utilities, and their performance is highly influenced by geological conditions and soil properties along the alignment. Any discrepancy between design assumptions and actual field conditions may lead to settlement, pipe displacement, or even construction failure, particularly along routes that traverse lithological changes, weak zones, hard rock layers, and other subsurface variations. Common geotechnical investigations such as SPT, CPT, CBR, and geoelectrical surveys are required to obtain soil parameters. However, the geoelectrical method is often overlooked during the investigation stage. In fact, to understand the continuous subsurface conditions, geoelectrical resistivity surveys are highly effective as a preliminary investigation method for mapping subsurface conditions both laterally and vertically. The results can then be verified through SPT testing at representative locations or anomaly zones as part of quality control (QC), thereby improving planning accuracy, ensuring more appropriate construction methods, and reducing the risk of failure.

Keywords: underground pipeline; soil investigation; geoelectrical resistivity; SPT

1. LATAR BELAKANG

Pembangunan infrastruktur pipanisasi bawah tanah merupakan komponen penting dalam distribusi air bersih, gas, minyak, maupun utilitas lainnya, dan keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi serta karakteristik tanah di sepanjang trase. Ketidakesesuaian antara desain dan kondisi tanah aktual dapat memicu penurunan tanah (*settlement*), pergeseran pipa, kebocoran, hingga kegagalan konstruksi yang berdampak pada kerugian ekonomi dan gangguan layanan, terutama karena jalur pipa umumnya melintasi kondisi bawah permukaan yang bervariasi seperti perubahan litologi, muka air tanah dangkal, tanah lunak, batuan keras, tanah timbunan, maupun rongga atau zona lemah yang tidak teridentifikasi sejak awal. Oleh karena itu, soil investigation menjadi tahapan krusial untuk memperoleh data yang representatif sebagai dasar perencanaan dan mitigasi risiko. Metode investigasi geoteknik yang umum digunakan seperti SPT, CPT, dan CBR tetap diperlukan untuk mendapatkan parameter tanah, namun karena bersifat pengujian titik (*spot test*), cakupannya perlu dilengkapi dengan metode pemetaan kontinu pada proyek linear. Dalam konteks ini, geolistrik resistivitas dapat digunakan sebagai pemetaan awal untuk menggambarkan variasi kondisi bawah permukaan secara vertikal dan lateral melalui penampang resistivitas sehingga membantu mengidentifikasi perubahan material, zona jenuh air, potensi zona lemah, dan ketidakseragaman tanah yang berisiko terhadap stabilitas pipa. Selanjutnya, interpretasi geolistrik dapat dikonfirmasi melalui pengujian geoteknik seperti SPT pada lokasi representatif atau area anomali sebagai kontrol kualitas (QC) guna memverifikasi kesesuaian interpretasi dengan kondisi tanah aktual, sehingga perencanaan lebih akurat, pelaksanaan lebih efisien, dan risiko kegagalan dapat ditekan.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

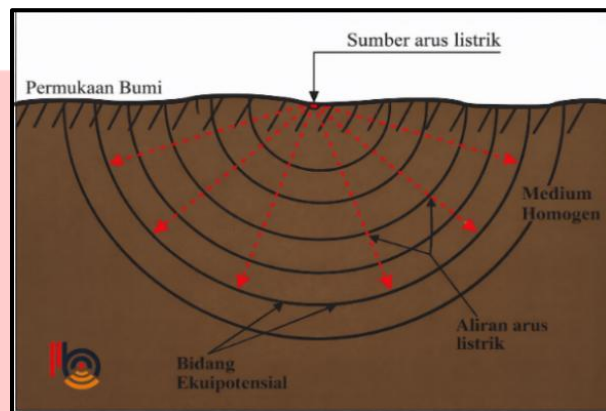
2.1. Geologi Regional

Geologi regional merupakan kajian mengenai kondisi geologi suatu wilayah dalam skala luas yang mencakup aspek stratigrafi, struktur geologi, dan sebaran satuan batuan secara umum. Informasi ini biasanya diperoleh dari peta geologi regional yang menggambarkan jenis dan umur satuan litologi pada suatu area. Namun demikian, peta geologi regional bersifat makroskopis dan representatif dalam skala regional, sehingga deskripsi litologinya masih umum dan belum menggambarkan variasi kondisi bawah permukaan secara detail pada skala proyek.

Dalam praktik perencanaan teknik, terutama untuk trase utilitas atau konstruksi bawah tanah, informasi regional tersebut perlu dilengkapi dengan investigasi yang mampu menggambarkan variasi litologi secara lebih rinci dan kontinu. Salah satu metode yang efektif untuk tujuan tersebut adalah metode geolistrik resistivitas. Metode ini dapat memetakan perubahan kondisi bawah permukaan secara menyeluruh sepanjang lintasan survei, sehingga variasi material, zona lemah, maupun lapisan yang lebih padat dapat teridentifikasi sejak tahap awal. Dengan demikian, data geolistrik berperan sebagai jembatan antara informasi geologi regional yang bersifat umum dan kebutuhan data detail untuk perencanaan teknis yang lebih akurat.

2.2. Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki sifat kelistrikan batuan di bawah permukaan tanah melalui pengukuran tahanan jenis/resistivitas (Telford et al., 1990). Prinsip dasar metode ini adalah mengalirkan arus listrik ke dalam tanah melalui elektroda arus, dan mengukur beda potensial yang terjadi menggunakan elektroda potensial. Nilai resistivitas yang diukur mencerminkan karakteristik fisik bawah permukaan. Metode ini banyak digunakan dalam eksplorasi geologi teknik, hidrologi, pertambangan, serta perencanaan infrastruktur karena bersifat *non-destruktif*, relatif cepat, dan ekonomis (Loke, 2004).

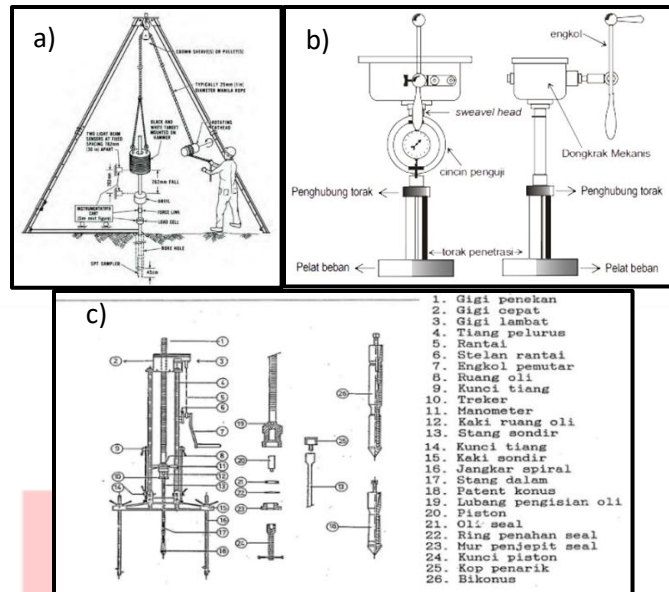


Gambar 1. Ilustrasi Penjalaran Arus Dalam Bumi

Metode geolistrik resistivitas memiliki sejumlah keunggulan dalam investigasi bawah permukaan, terutama untuk kebutuhan proyek linear seperti pipanisasi. Metode ini mampu membedakan jenis litologi atau lapisan batuan berdasarkan kontras nilai resistivitas tanpa perlu pengeboran langsung, serta bersifat *non-destruktif* sehingga tidak merusak lingkungan maupun area survei. Dari sisi pelaksanaan, biaya relatif lebih ekonomis untuk survei awal dan akuisisi data dapat dilakukan dengan cepat sehingga efektif untuk cakupan area luas dalam waktu terbatas. Selain itu, geolistrik bersifat fleksibel untuk berbagai tujuan mulai dari identifikasi zona lemah, potensi likuifaksi, indikasi batuan keras, hingga kebutuhan investigasi geoteknik serta dapat diaplikasikan pada beragam kondisi medan dengan penyesuaian lintasan dan konfigurasi elektroda.

2.3. Investigasi Tanah (Soil Investigation)

Investigasi Tanah (*Soil investigation*) adalah serangkaian metode investigasi geoteknik yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah sebagai dasar perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.

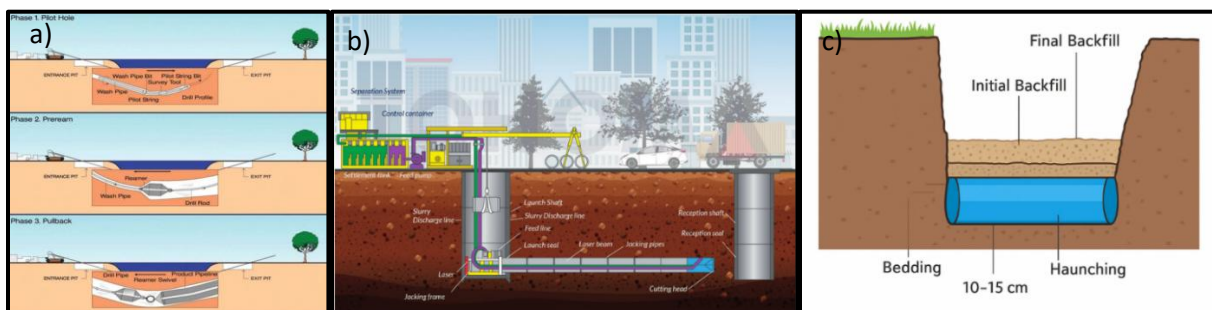


Gambar 2. a) Skema Alat Pengukuran SPT; b) Skema Alat Pengukuran CBR; c) Skema Alat Pengukuran CPT (Sondir)

Standard Penetration Test (SPT), *Cone Penetration Test (CPT)*, dan *California Bearing Ratio (CBR)* merupakan metode pengujian tanah *in-situ* yang umum digunakan dalam investigasi geoteknik. SPT memberikan indikasi kepadatan dan kekuatan tanah melalui nilai pukulan (N-value) pada kedalaman tertentu dan efektif untuk perencanaan struktur terpusat seperti pondasi. CPT (sondir) menawarkan resolusi vertikal yang lebih kontinu terhadap kedalaman melalui pengukuran tahanan ujung dan gesekan selimut, sehingga mampu menggambarkan profil stratigrafi dengan lebih detail pada satu titik lokasi. Sementara itu, CBR digunakan untuk menilai daya dukung tanah, khususnya pada pekerjaan perkerasan dan evaluasi tanah dasar (*subgrade*).

2.4. Metode Pemasangan/Pengeboran Bawah Tanah

Pemilihan metode pemasangan atau pengeboran pipa bawah tanah harus disesuaikan dengan kondisi lapangan dan karakteristik trase, karena setiap metode memiliki risiko dan kebutuhan teknis yang berbeda, terutama terkait kondisi geoteknik bawah permukaan. Berikut merupakan metode yang umum digunakan pada pekerjaan utilitas bawah tanah, seperti;



Gambar 3. Skema Metode HDD; b) Metode Jacking; c) Metode Galian Terbuka

Metode *Horizontal Directional Drilling* (HDD), Metode *Jacking* (*Pipe Jacking*), dan Metode Galian Terbuka (*Open Trench*) merupakan metode yang umum digunakan dalam pembangunan pipa bawah tanah. Meskipun karakteristik pelaksanaannya berbeda, ketiganya sama-sama sangat dipengaruhi oleh kondisi geoteknik bawah permukaan. Metode *HDD* dan *Jacking* efektif untuk melintasi sungai/jalan, namun rentan terhadap perubahan litologi, zona jenuh air, batuan keras, atau rongga yang dapat memicu deviasi bor, *stuck*, hingga *frac-out*. Sedangkan metode galian terbuka berisiko mengalami runtuhnya dinding galian, rembesan air tanah dan *settlement* bila kondisi tanah tidak dipahami dengan baik. Oleh karena itu, pada ketiga metode tersebut survei geolistrik resistivitas sangat disarankan karena mampu memetakan kondisi bawah permukaan secara kontinu (lateral dan vertikal), sehingga variasi litologi, zona lemah, indikasi batuan keras, dan muka air tanah dapat diidentifikasi lebih dini untuk mendukung pemilihan metode kerja dan mitigasi risiko konstruksi sepanjang trase pipa.

3. STUDI KASUS GEOLISTRIK

3.1. Studi Kasus Amblesan Tanah pada Proyek Infrastruktur Bawah Tanah



Gambar 4. Sumber Berita (<https://www.sapos.co.id/metropolis/2457030627/truk-kontainer-ambblas-di-bekas-galian-proyek-macet-parah-di-jalan-pembangunan>)

Peristiwa amblesnya truk kontainer di atas bekas galian proyek air tersebut menunjukkan betapa berbahayanya pekerjaan bawah tanah apabila tidak didukung oleh pemahaman kondisi geologi dan litologi bawah permukaan yang memadai. Ketidakstabilan tanah, adanya zona lemah, tanah timbunan yang belum terkonsolidasi sempurna, maupun kondisi jenuh air dapat memicu penurunan tanah secara tiba-tiba yang berisiko terhadap keselamatan pengguna jalan dan menimbulkan kerugian ekonomi. Oleh karena itu, setiap proyek infrastruktur bawah tanah sebaiknya diawali dengan investigasi kondisi bawah permukaan yang komprehensif untuk mengidentifikasi potensi zona lemah atau ketidakseragaman material tanah. Dalam konteks ini, metode geolistrik resistivitas menjadi sangat penting sebagai tahap awal karena mampu memetakan variasi kondisi tanah secara lateral dan vertikal sepanjang trase pekerjaan, sehingga potensi amblesan dapat diantisipasi sejak tahap perencanaan sebelum konstruksi dimulai.

3.2. Studi Kasus Hambatan Pengeboran HDD pada Lapisan Batuan Keras



Gambar 5. Sumber (<https://karawangbekasi.disway.id/kota-bekasi/read/27210/proyek-spam-jaringan-perpipaan-di-jalan-sudirman-kota-bekasi-diduga-gunakan-besi-bekasi>)

Berita mengenai proyek SPAM jaringan perpipaan di Jalan Sudirman, Kota Bekasi yang diduga menggunakan metode (HDD) dan mengalami kendala hingga memerlukan reboring menunjukkan bahwa pekerjaan bawah tanah juga dapat berisiko tinggi ketika kondisi litologi bawah permukaan tidak teridentifikasi dengan baik sejak awal. Kehadiran batuan keras atau lapisan tanah yang sangat kompak dapat menyebabkan hambatan signifikan pada proses pengeboran, mulai dari laju bor yang melambat, keausan alat, hingga kondisi paling kritis seperti mata bor tersangkut (*stuck*) atau macet yang berpotensi memicu kegagalan pekerjaan, keterlambatan proyek, dan pembengkakan biaya. Karena itu, setiap pekerjaan bawah tanah sebaiknya diawali dengan investigasi litologi yang memadai untuk mengetahui variasi material sepanjang trase terutama indikasi batuan keras atau perubahan lapisan sehingga metode pelaksanaan, pemilihan alat bor, dan strategi mitigasi dapat ditentukan lebih tepat serta risiko gangguan konstruksi dapat diminimalkan.

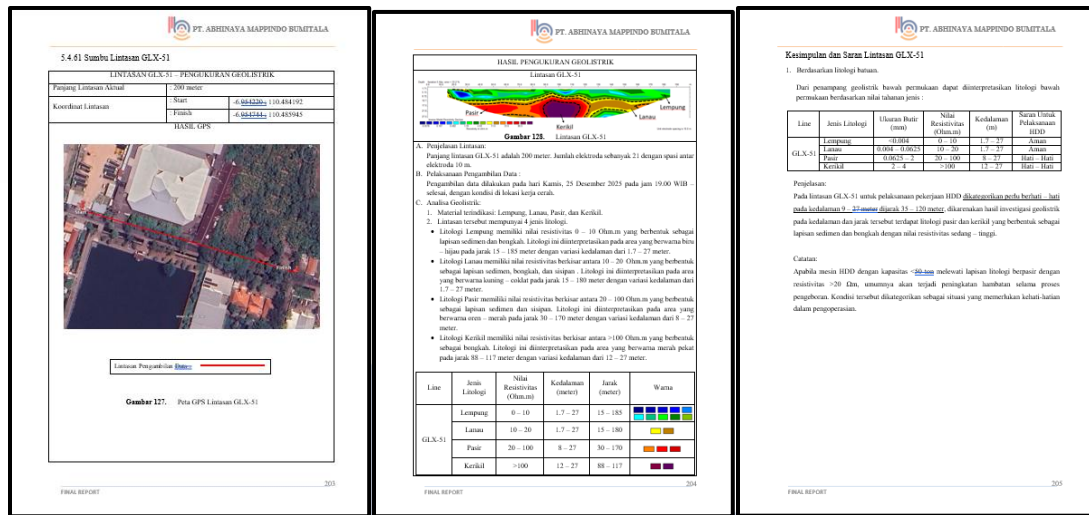
4. OUTPUT DATA

4.1. Survey Soil Investigation Menggunakan Metode Geolistrik Untuk Proyek Main Trunk Sewer Installation CWIS-02 Kota Semarang

Survey Soil Investigation untuk proyek main trunk sewer installation cwis-02 kota semarang merupakan kegiatan investigasi bawah permukaan yang dilaksanakan guna mendukung perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan pemasangan pipa utama (*main trunk sewer*) pada program *Citywide Inclusive Sanitation (CWIS)*. Mengingat karakter proyek yang bersifat linear dan melintasi kawasan perkotaan dengan kondisi geologi yang bervariasi, diperlukan pemahaman menyeluruh terhadap kondisi tanah di sepanjang trase rencana. Variasi litologi, muka air tanah dangkal, lapisan tanah lunak, hingga kemungkinan keberadaan material keras menjadi faktor penting yang dapat mempengaruhi metode konstruksi serta stabilitas instalasi pipa. Metode geolistrik resistivitas dipilih sebagai pendekatan investigasi karena mampu memetakan kondisi bawah permukaan secara kontinu, baik secara lateral maupun vertikal, tanpa merusak lingkungan sekitar. Hasil survei ini diharapkan memberikan gambaran detail mengenai distribusi lapisan tanah, zona jenuh air, indikasi batuan keras, serta potensi zona lemah yang berisiko terhadap



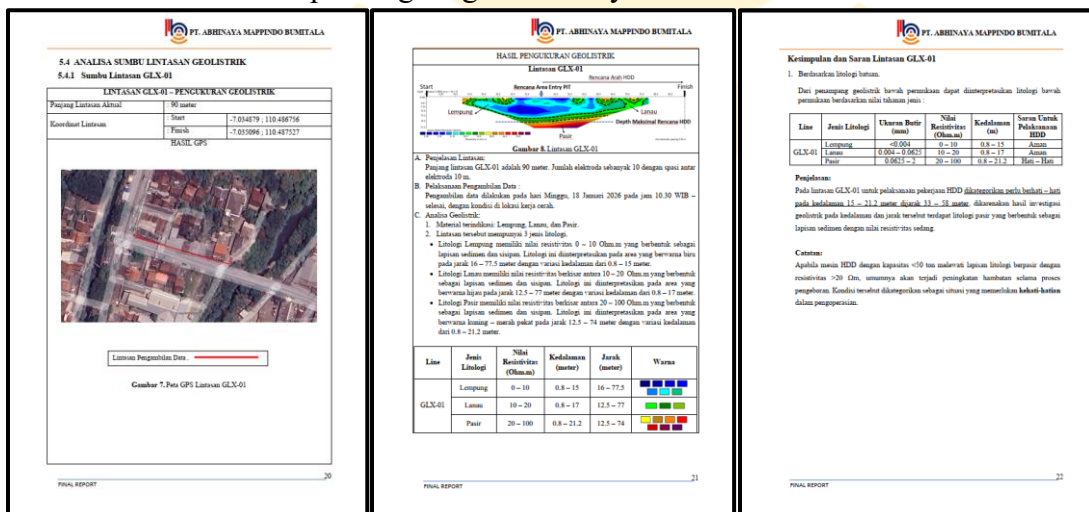
pekerjaan galian maupun metode *trenchless*. Informasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi teknis dalam menentukan strategi konstruksi yang aman, efisien, dan sesuai dengan kondisi geoteknik setempat.



Gambar 6. Output Laporan Geolistrik Project Semarang

4.2. Survey Soil Investigation Menggunakan Metode Geolistrik Untuk Proyek Horizontal Directional Drilling Jaringan Gas di Kabupaten Demak

Survey *soil investigation* untuk proyek *horizontal directional drilling (HDD)* Jaringan Gas di Kabupaten Demak dilakukan sebagai tahapan awal untuk mendukung perencanaan dan mitigasi risiko sebelum pengeboran terarah dilaksanakan. Metode HDD dipilih karena bersifat *trenchless* sehingga meminimalkan gangguan permukaan, terutama saat melintasi hambatan seperti jalan, saluran, atau area terbangun. Namun, keberhasilan HDD sangat dipengaruhi kondisi bawah permukaan; perubahan litologi yang tidak teridentifikasi dapat memicu deviasi bor, *stuck* pada *drill head*, ketidakstabilan lubang bor, kehilangan lumpur bor, hingga kejadian *frac-out* yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dan biaya tambahan.



Gambar 7. Output Laporan Geolistrik Project Demak



Kondisi geologi Kabupaten Demak yang umumnya didominasi endapan aluvial menyebabkan lapisan tanah bersifat heterogen dan dapat berubah cepat secara vertikal maupun lateral. Variasi ini sangat berpengaruh terhadap pengendalian arah bor, stabilitas lubang bor, serta gaya tarik saat proses *reaming* dan *pullback*. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan bawah permukaan yang mampu menggambarkan perubahan kondisi tanah di sepanjang lintasan rencana jalur *HDD*. Metode geolistrik resistivitas dipilih karena mampu memetakan kondisi bawah permukaan secara kontinu melalui interpretasi nilai resistivitas untuk mengidentifikasi variasi litologi, zona jenuh air, tanah lunak, indikasi material kasar/padat hingga lapisan keras, serta potensi zona lemah. Hasil survei digunakan sebagai dasar penentuan kedalaman dan trase pengeboran yang lebih aman, serta sebagai acuan dalam penyusunan strategi pelaksanaan *HDD* agar pekerjaan lebih efisien dan risiko gangguan konstruksi dapat diminimalkan.

5. PENGALAMAN PT. ABHINAYA DALAM BERBAGAI PROJECT STRATEGIS NASIONAL

PT. Abhinaya memiliki pengalaman dalam mendukung sejumlah Proyek Strategis Nasional melalui pelaksanaan survei geolistrik resistivitas untuk investigasi kondisi bawah permukaan pada proyek infrastruktur energi, air bersih, dan sanitasi. Pada sektor energi, PT. Abhinaya terlibat dalam survei geolistrik untuk pemasangan jalur pipa gas CISEM Tahap 1 dengan panjang lintasan kurang dari 5 km serta CISEM Tahap 2 dengan total panjang ± 245 km. Pada proyek berskala besar tersebut, investigasi dilakukan untuk memetakan kondisi bawah permukaan secara kontinu sebagai dasar penentuan metode konstruksi dan mitigasi risiko teknis sepanjang jalur pipanisasi gas. Selain itu, PT. Abhinaya juga berkontribusi pada proyek PIPA CY-III (Lomanis–Rewulu) bersama PT Nindya Karya, yang memerlukan pemetaan kondisi geoteknik guna mendukung kelancaran pekerjaan instalasi pipa transmisi.

Di sektor air bersih dan sanitasi, PT. Abhinaya terlibat dalam proyek Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Bandar Lampung, SPAM Regional Jatiluhur, serta Jakarta *Sewerage System (JSS)*. Pada proyek-proyek tersebut, metode geolistrik digunakan untuk mengidentifikasi distribusi lapisan tanah, zona jenuh air, indikasi material keras, serta potensi zona lemah yang dapat memengaruhi metode galian maupun pekerjaan *trenchless*. Pengalaman pada berbagai proyek strategis ini menunjukkan kapasitas PT. Abhinaya dalam menyediakan data investigasi bawah permukaan yang komprehensif dan andal guna mendukung perencanaan infrastruktur nasional yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

6. KESIMPULAN

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang memanfaatkan injeksi arus listrik ke dalam tanah untuk memperoleh nilai tahanan jenis/resistivitas material bawah permukaan. Keunggulan geolistrik untuk soil investigation proyek pipanisasi seperti:

1. Lebih efisien untuk trase pipa yang panjang dan kontinu karena mampu memetakan kondisi bawah permukaan secara menyeluruh sepanjang lintasan (lateral–vertikal), sedangkan metode investigasi geoteknik yang umum digunakan hanya bersifat spot saja.



2. Mengurangi “*blind zone*” di antara titik uji sehingga perubahan lapisan tanah antar segmen trase lebih cepat terdeteksi tanpa harus menambah banyak titik bor/uji.
3. Mampu membedakan litologi/lapisan tanah batuan berdasarkan kontras resistivitas tanpa pengeboran langsung di setiap lokasi.
4. Mendeteksi zona kritis seperti zona lemah, indikasi rongga, tanah lunak jenuh air/muka air tanah, serta lapisan/batuan keras yang dapat menghambat galian, *HDD*, maupun *jacking*.
5. Non-destruktif dan cepat, sehingga cocok sebagai survei awal untuk area luas.
6. Mendukung keputusan desain dan metode kerja (trase, kedalaman pipa, kebutuhan perkuatan, strategi galian/bor) agar lebih aman dan efisien sejak tahap perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1996. *Foundation Analysis and Design* (Edisi 5). McGraw-Hill. New York.
- Craig, R.F. 2004. *Craig's Soil Mechanics* (Edisi 7). Spon Press. London.
- Das, B.M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering* (Edisi 7). Cengage Learning. Boston.
- Loke, M.H. 2004. *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo Software. Malaysia.
- Reynolds, J.M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics* (Edisi 2). Wiley-Blackwell. Oxford.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics* (Edisi 2). Cambridge University Press. Cambridge.