

KORELASI HASIL UJI PENDUGAAN GEOLISTRIK TERHADAP HASIL STANDARD PENETRATION TEST

Ridiansyah Sepliza^{1*}, Agus Darmawan Adi² dan Fikri Faris³

¹ Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

^{2,3} Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Test
Result
Method
Pearson

Corresponding Author:

Agus Darmawan Adi
agusdadi1@ugm.ac.id

Abstract

A This study aims to find a correlation between the results of the geoelectrical prediction test and the results of the standard penetration test (SPT). The geoelectrical prediction test in this study uses the Wenner method, and the standard penetration test (SPT) used is in accordance with ASTM D 1586-84. The method used in this study to obtain a correlation from the results of the geoelectrical prediction test to the results of the standard penetration test (SPT), namely the standard score using the Z-score and T-score and the Pearson correlation test method. The results obtained from this study are the correlation of the results of the geoelectrical prediction test with the results of the standard penetration test (SPT). With the correlation of the results of the geoelectrical prediction test with the results of the standard penetration test (SPT), it is hoped that in the future the results of the geoelectric test can be used as a substitute for the standard penetration test (SPT) so as to streamline time and costs in soil investigation works. The correlation obtained from the results of the geoelectrical prediction test and the results of the standard penetration test using the Pearson method is 0.88 with a significance level of 7.83.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Lapisan tanah adalah formasi yang terbentuk oleh berbagai lapisan tanah dan batuan, yang secara spesifik proses pembentukan lapisan tanah tersebut dipengaruhi oleh faktor geologi, waktu dan lingkungan. Lapisan tanah

yang terbentuk bisa dibedakan berdasarkan kondisi fisiknya, yaitu warna dan tekstur dari tanah tersebut. Menurut Bowles, (1991), tekstur tanah bisa dikelompokkan lagi menjadi barangkal (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) dan koloid (*colloids*). Selain itu tanah juga bisa dikelompokkan

berdasarkan kemampuan tanah untuk mengalirkan air. Volume Tanah merupakan gabungan dari volume tanah kering, dan volume rongga. Adapun volume rongga ini dapat diuraikan menjadi volume air dan volume udara (Hardiyatmo, 2017). Perbandingan kekuatan antara tanah yang baru saja mengalami proses penimbunan dengan tanah yang telah lama mengalami proses penimbunan akan berbeda tingkat kekerasannya. Semakin keras formasi dari tanah yang terbentuk akan semakin mudah untuk diamati karena secara kasat mata tanah tersebut sudah cukup stabil.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, macam-macam material yang terkandung di dalam bumi ini memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam mengalirkan arus listrik. Salah satu penyebabnya adalah adanya volume air pada volume rongga yang ada pada suatu lapisan tanah/batuan. Air merupakan konduktor yang sangat baik untuk menghantarkan arus listrik. Adapun bebatuan yang keras dan pori-porinya tidak terisi oleh air akan sangat sulit untuk menghantarkan arus listrik. Kemampuan material-material tersebut dalam menghantarkan arus listrik tanpa mempertimbangkan geometri dari benda tersebut sering kita kenal dengan istilah resistivitas (kearey, dkk., 2002).

Di dalam keilmuan geoteknik, teori resistivitas bisa diterapkan untuk mengetahui formasi lapisan-lapisan tanah, baik berupa jenis tanah, ketebalan suatu jenis tanah, menentukan *discountinuitas* tanah, menentukan letak tanah keras dan muka air tanah. Hal ini sejalan dengan data tanah hasil pemboran yang juga hanya menghasilkan jenis lapisan tanah tanpa diketahui kekuatan (*strength*) dari lapisan itu sendiri. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya tentang kaitan/hubungan antara hasil pemboran dengan hasil uji penetrasi standar (*standard penetration test*), maka dalam penelitian ini akan mengungkapkan nilai korelasi dari hasil uji pendugaan geolistrik terhadap hasil uji penetrasi standar (*standard penetration test*).

Tinjauan Pustaka

Proses pembentukan tanah secara geologi dipengaruhi oleh faktor waktu dan lingkungan. Faktor waktu dan lingkungan yang mempengaruhi proses pembentukan tanah, sifat-sifat fisis dan indeks properties tanah, antara lain: cuaca, curah hujan, gravitasi dan kimiawi (Das, 2014)

Cabang dari ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat fisik dari tanah dan kelakuan massa tanah tersebut bila menerima bermacam-macam gaya adalah mekanika tanah (*soil mechanics*). Adapun pengaplikasian prinsip-prinsip mekanika tanah dalam masalah praktisnya dipelajari di ilmu Rekayasa Tanah (*soil engineering*).

Di bidang teknik sipil terutama bidang geoteknik, untuk membedakan jenis-jenis tanah maka dikenal istilah-istilah seperti lempung, lanau, pasir, dan kerikil. Dikarenakan susunan tanah tidak selalu homogen, bahkan kebanyakan bersifat heterogen maka penyebutan untuk jenis-jenis tanah tersebut di urutkan berdasarkan material utama penyusun tanah dan dilanjutkan dengan material yang mengikutinya (campurannya), contoh pasir berlempung adalah material utama penyusunnya adalah pasir dan lempung merupakan material campurannya, lempung berlanau adalah lempung yang mengandung lanau, dimana material utamanya adalah lempung dan lanau sebagai material campurannya, begitu juga dengan beberapa contoh yang lainnya (Hardiyatmo, 2017).

Menurut Peck, dkk. (1953), salah satu cara untuk membedakan antara lempung dan lanau adalah dengan mengambil contoh tanah, cetak dengan ukuran 3,1 mm (0,118 in), lalu dikeringkan. Setelah contoh tanah tersebut kering, coba tekan tanah tersebut di antara ibu jari dan jari telunjuk. Jika tanah tersebut mudah pecah, maka tanah tersebut disebut lanau, akan tetapi jika dibutuhkan tenaga yang cukup besar untuk memecahkan tanah tersebut maka tanah tersebut disebut lempung. Untuk lebih jelasnya, ukuran dari berbagai golongan tanah dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Batasan ukuran golongan tanah

Nama golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT) U.S. Departement of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,075	

Selain berdasarkan klasifikasi ukuran-ukuran butir, tanah dapat dibedakan berdasarkan sifat-sifat dari tanah itu sendiri, antara lain :

a. Kohesi

Gaya tarik menarik antar partikel tanah sering juga dikenal dengan istilah kohesi. Salah satu yang menjadi parameter kuat geser tanah yang sangat berpengaruh dalam menentukan kemampuan/ketahanan tanah dalam menerima gaya lateral sehingga tidak terjadi deformasi adalah kohesi (Brooker, dkk., 1965). Kohesi juga berpengaruh terhadap sifat lempung, yaitu indeks plastisitas (*PI*).

b. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam (ϕ) merupakan salah satu sifat dasar tanah yang sangat diperlukan baik pada perencanaan pekerjaan pondasi baik desain maupun analisis. Daya dukung tanah sangat dipengaruhi oleh sudut geser dalam (ϕ) (Das, 2014). Salah satu penyebab berkurangnya nilai sudut geser dalam (ϕ) adalah gempa bumi. Tanah yang memiliki nilai sudut geser (ϕ) dalam cenderung kecil antara lain lempung. Hal-hal yang mempengaruhi besar kecilnya nilai dari sudut geser dalam diantaranya distribusi ukuran butir, bentuk partikel butiran, kandungan air (*w*), kepadatan relatif (*D_r*), kekasaran permukaan butiran, angka pori (*v*). Nilai sudut

geser dalam (ϕ) untuk berbagai jenis tanah seperti yang diungkapkan oleh Das (2014).

c. Poisson's Ratio

Rasio regangan secara lateral terhadap regangan secara aksial yang menggambarkan sifat fisik batuan biasanya dikenal dengan istilah *Poisson's ratio* (μ) (Das, 2014).

d. Modulus Geser Tanah

Menurut Das (2014) yang dimaksud dengan modulus geser tanah adalah perbandingan antara tegangan geser dengan regangan geser tanah. Hasil studi yang dilakukan Vucetic dan Dobry (1991) menunjukkan bahwa nilai modulus geser ini akan menurun pada saat regangan geser meningkat dengan indeks plastisitas (*PI*) yang semakin besar.

Menurut Das (2014) yang dimaksud dengan modulus geser tanah adalah perbandingan antara tegangan geser dengan regangan geser tanah. Hasil studi yang dilakukan Vucetic, dkk dan Dobry (1991) menunjukkan bahwa nilai modulus geser ini akan menurun pada saat regangan geser meningkat dengan indeks plastisitas (*PI*) yang semakin besar.

Uji Penetrasi Standar

Pengujian tanah dalam proyek konstruksi sangatlah diperlukan dan harus dilakukan, karena dengan adanya pengujian tanah tersebut maka kita dapat mengetahui seberapa daya dukung tanah tersebut untuk menerima beban di atasnya. Sejumlah tipe pengujian tanah telah banyak dikembangkan, baik dari yang bersifat sederhana, kompleks, dan efektif. Selain itu, hal yang tidak kalah pentingnya adalah pengalaman dari para teknisi dilapangan dalam menentukan jenis lapisan tanah, dan layak tidaknya tanah tersebut dimanfaatkan untuk membuat suatu konstruksi, serta dengan adanya pengujian tanah tersebut dapat ditentukan tipe treatment apa yang harus dilakukan untuk memenuhi kapasitas daya dukung tanah sesuai dengan yang diharapkan.

Berdasarkan karakteristik pelaksanaan pengujian, metode yang digunakan untuk menentukan jenis-jenis lapisan tanah dilapangan, ketebalan setiap lapisan,

pendugaan muka air tanah, dan letak tanah keras terbagi kedalam 2 (dua) metode, yaitu *non-destructive testing (NDT)* dan *Destructive testing (DT)*. *Non-destructive testing (NDT)* didefinisikan oleh *American Society for Nondestructive Testing (ASNT)* sebagai penentuan kondisi fisik suatu objek tanpa mempengaruhi kemampuan objek tersebut untuk memenuhi fungsi yang dimaksud. Pengujian tak merusak (*NDT*) mengacu pada teknik yang digunakan untuk mendeteksi, menemukan dan menilai cacat pada bahan atau struktur atau komponen buatan tanpa mempengaruhi kegunaannya atau kemampuan melayani (IAEA-TCS-67, 2018).

Berdasarkan definisi tersebut, maka pengujian menggunakan teknik Boring dan uji penetrasi standar (*standard penetration test*) termasuk kedalam pengujian yang merusak (*Destructive Test*) karena akan menyisakan lubang yang berukuran 3 - 4 in pada tanah dan mungkin saja ini akan mempengaruhi kemampuan layanan tanah karena telah terjadinya discontinuitas. Adapun pengujian yang termasuk dalam kategori tidak merusak (*Non-Destructive Test*) pada tanah antara lain pengujian menggunakan teknik geolistrik.

Uji penetrasi standar (*standard penetration test*) biasa dilakukan untuk tanah yang bersifat granular. Hal ini disebabkan karena sulitnya mendapatkan tanah tak terganggu dari tanah granular itu sendiri. Yang termasuk kedalam tanah granular itu sendiri, antara lain: pasir, kerikil dan campurannya. Sifat-sifat tanah pasir ditentukan berdasarkan pengukuran kerapatan relatif. Berdasarkan ASTM D1586-84, pengukuran yang sering digunakan untuk mengukur kerapatan relatif adalah uji penetrasi standar (*standard penetration test*).

Uji Geolistrik

Nama listrik berasal dari kata Yunani yaitu *ambar* ("elektron"). Filsuf Yunani Thales of Miletus (sekitar 600 SM) pertama kali menemukan kekuatan *ambar*, dimana dia menggosok kain dengan resin fosil potongan

pohon konifera untuk menarik benda-benda ringan. Hukum tarik-menarik elektrostatik dan tolakan ditetapkan pada 1785 sebagai hasil dari percobaan yang cermat oleh seorang ilmuwan Prancis, Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), yang juga menetapkan hukum gaya magnetostatik. Coulomb menetapkan bahwa gaya tarik atau tolakan antara dua bola bermuatan sebanding dengan produk dari muatan listrik individu dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat bola. Hukum ini biasa ditulis dalam bentuk persamaan berikut:

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$

di mana Q_1 dan Q_2 adalah muatan listrik, r adalah pemisahannya dan K adalah konstanta (Lowrie, 2007).

Ilmuwan Jerman, Georg Simon Ohm menetapkan pada tahun 1827 bahwa arus listrik I dalam kawat konduktor sebanding dengan potensi perbedaan V di atasnya. Hubungan linier untuk hukum *ohm* ini dituliskan dalam bentuk persamaan berikut :

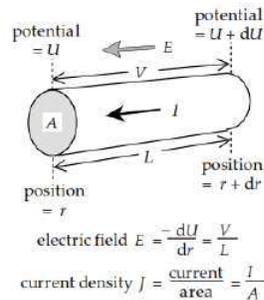
$$V = IR \quad (2)$$

di mana R adalah hambatan konduktor. Unit perlawanan adalah *ohm* (Ω). Kebalikan dari resistansi disebut konduktansi dari suatu rangkaian, satuannya adalah ohm penerima (Ω^{-1}), yang juga disebut *mho* atau *siemens* (S). Pengamatan eksperimental pada kabel yang berbeda dari bahan yang sama menunjukkan bahwa kawat panjang memiliki resistansi yang lebih besar daripada kawat pendek, dan kawat tipis memiliki resistansi yang lebih besar daripada kawat tebal. Diformulasikan lebih tepat, untuk bahan yang diberikan hambatan sebanding dengan panjang L dan berbanding terbalik dengan luas penampang A dari konduktor. Hubungan-hubungan ini dinyatakan dalam persamaan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

Konstanta proporsionalitas (ρ) adalah resistivitas konduktor. Ini adalah properti fisik dari bahan konduktor, yang mengekspresikan kemampuannya untuk

menentang aliran muatan. Kebalikan dari ρ disebut konduktivitas material, dinotasikan σ . Unit resistivitas adalah ohm-meter (Ωm); unit konduktivitas adalah *ohm-meter* timbal balik ($\Omega^{-1} m^{-1}$). Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 1 (Lowrie, 2007).



Gambar 1. Parameter yang digunakan untuk mendefinisikan hukum *ohm* dengan konduktor lurus

Jika kita mensubstitusikan persamaan V dan R seperti di gambar 1, maka kita akan mendapatkan persamaan berikut:

$$\frac{V}{L} = \rho \frac{I}{A} \tag{4}$$

$$\frac{V}{L} = E \tag{5}$$

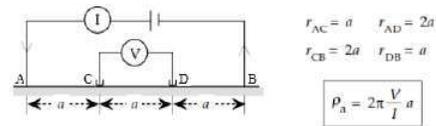
dimana (E) merupakan medan listrik dengan asumsi gradien potensial konstan sepanjang konduktor. Rasio $\frac{I}{A}$ adalah luas penampang per luas dari konduktor, disebut kerapatan arus dan dilambangkan J . sehingga dapat kita tulis kembali, bahwa persamaan untuk hukum *ohm* sebagai berikut:

$$E = \rho \cdot J \tag{6}$$

Formula ini yang nantinya menjadi dasar dalam penggunaan metode survei resistivitas listrik. Nilai yang diukur adalah V dan I .

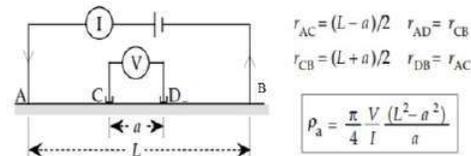
Ada beberapa macam tipe konfigurasi elektroda dalam melakukan uji geolistrik ini, dapat dilihat pada gambar 2 hingga gambar 4 (Lowrie, 2007).

(a) *Wenner*



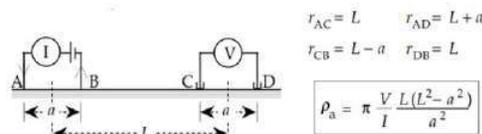
Gambar 2. Konfigurasi *wenner*

(b) *Schlumberger*



Gambar 3. Konfigurasi *schlumberger*

(c) *Dipole-dipole*



Gambar 4 Konfigurasi *dipole-dipole*

Penelitian mengenai hasil uji pendugaan geolistrik telah dilakukan sebelumnya oleh Permatasari (2021) untuk mengkaji dan mendeskripsikan parameter sensitivitas dari pemodelan data geolistrik tahanan jenis 2 (dua) dimensi yang menggunakan konfigurasi *dipole-dipole* dan *wenner*. Pada penelitian tersebut diungkapkan bahwa pemodelan secara sintetik pada konfigurasi *dipole-dipole* dengan nilai sensitivitas -128 sampai 128 dan nilai rata-rata kedalamannya adalah 0,1386 sensitif kearah horizontal, sedangkan bahwa pemodelan secara sintetik pada konfigurasi *wenner* dengan nilai sensitivitas -128 sampai 128 dan nilai rata-rata kedalamannya adalah 0,1738 sensitif ke arah vertikal.

Selain penelitian di atas, ada pula penelitian lainnya yang mencoba untuk mengetahui korelasi antara metode geolistrik (resistivitas) dengan metode geoteknik *standart penetration test (SPT)*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding (VES)* dengan bantuan software *IP2win* pada daerah Surabaya yang didominasi tanah aluvial dan Madura dengan geologi batuan batu gamping (Widhi, 2018). Kemudian pada penelitian lainnya, shobihah (2018) mengungkapkan

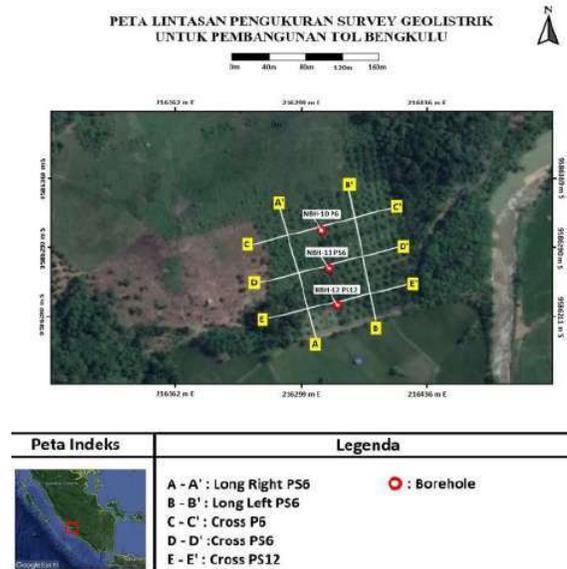
bahwa jika nilai resistivitas batuan yang diperoleh semakin tinggi, maka *N-SPT* yang diperoleh juga semakin tinggi. Struktur lapisan bawah permukaan yang teridentifikasi oleh geolistrik dan *SPT* tersebut merupakan jenis tanah berbutir kasar dan dapat dikategorikan tanah padat yang cocok digunakan untuk pondasi tanah dalam pembangunan overpass di jalan tol Manado-Bitung. Adapun konfigurasi yang digunakan pada uji geolistrik ini adalah konfigurasi *Wenner-Schlumberger* yang berfungsi untuk mengetahui struktur permukaan bawah tanah secara vertikal dan horizontal yaitu perpaduan antara konfigurasi *Wenner Alpha* dan konfigurasi *Schlumberger*, dimana hasil dari uji pendugaan geolistrik ini diolah menggunakan software *Res2dinv* untuk mendapatkan hasil 2 (dua) dimensi. Hasil korelasi dari geolistrik dengan *N-SPT* pada kedalaman 20 meter memiliki nilai resistivitas >500 ohm meter dan *N-SPT* sekitar >50. Hal ini menandakan bahwa adanya korelasi antara hasil uji pendugaan geolistrik dengan hasil uji penetrasi standar (*standart penetration test*) di lokasi proyek pembangunan overpass di jalan tol Manado-Bitung. Virman (2013) juga pernah melakukan penelitian tentang Analisis Data Geolistrik dan Data Uji Tanah untuk menentukan Struktur Bawah Tanah Daerah Skyland Distrik Abepura Papua. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah melalui analisis deskripsi kuantitatif dengan menentukan struktur bawah tanah di daerah Skyland Distrik Abepura menggunakan beberapa metode uji tanah (*atterberg limit*, distribusi butir, dan *SPT*) dan

metode uji geolistrik menggunakan konfigurasi *schlumberger* dengan menggunakan program *IP2win*. Hasil dari penelitian tersebut didapat bahwa kondisi tanah yang bersifat padat dan keras, dimana hal ini dapat dilihat dari nilai *N-SPT* yang tinggi dan untuk uji geolistrik diperoleh nilai resistivitas yang tinggi pula. Namun pada salah satu lapisan tanah, terdapat pula perbedaan antara nilai hasil uji geolistrik dengan hasil uji nilai *N-SPT*. Hal ini terlihat dari nilai *N-SPT* kondisi tanahnya adalah tinggi (keras), sedangkan nilai tahanan jenis dari hasil uji geolistrik didapat rendah (konduusif). Hal ini dapat saja terjadi karena pengukuran dilakukan pada elevasi 45 m dpl. Beberapa penelitian di atas telah mengemukakan bahwa uji pendugaan geolistrik telah mulai digunakan untuk memetakan lapisan tanah yang akan digunakan pada berbagai perencanaan dunia keteknikan, akan tetapi banyak hal yang masih perlu diteliti kedepannya, diantaranya : konfigurasi apa yang cocok untuk memetakan lapisan tanah yang nantinya akan digunakan untuk perencanaan fondasi, seberapa besar korelasi antara uji geolistrik dengan uji penetrasi standar (*standart penetration test*).

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Untuk lokasi penelitian ini berada di Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Bengkulu - Taba Penanjung Zona Akses Provinsi Bengkulu. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Peta kondisi dan skema lintasan

Titik-titik merah pada gambar 5 merupakan lokasi titik uji penetrasi standar (*N-SPT*), sedangkan garis potongan c-c merupakan lintasan titik uji pendugaan geolistrik cross P6, garis potongan d-d merupakan lintasan titik uji pendugaan geolistrik cross PS6, dan garis potongan e-e merupakan lintasan titik uji pendugaan geolistrik cross PS12.

Teknik Interpretasi data geolistrik

Adapun teknik interpretasi data hasil uji geolistrik pada penelitian ini menggunakan metode tahanan jenis dengan konfigurasi *wenner*. Konfigurasi *wenner* ini digunakan untuk memetakan profile lateral (*lateral profiling*) dari lokasi yang hendak diteliti. Berdasarkan nilai resistivitas dari setiap material pada area dan kedalaman tertentu, kita dapat menarik kesimpulan seberapa akurat data yang dihasilkan dari uji geolistrik ini dibandingkan dengan hasil uji penetrasi standar (*standard penetration test*). Konsep pemetaan lokasi menggunakan teknik geolistrik ini dapat sangat membantu sekali dibidang teknik sipil, terutama geoteknik untuk memecahkan masalah-masalah yang berkaitan dengan kondisi tanah yang akan digunakan nantinya.

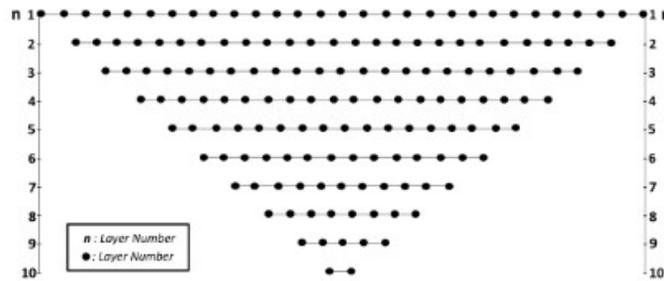
Ada beberapa hal yang perlu ditentukan di awal dalam pemetaan lokasi menggunakan uji geolistrik dengan konfigurasi *wenner*, yaitu :

- 1) Lokasi area uji geolistrik itu sendiri.
- 2) Menentukan kedalaman tanah yang akan di prediksi menggunakan uji geolistrik.
- 3) Menentukan jarak antar elektroda (*a*) yang nantinya akan digunakan.
- 4) Menentukan panjang lintasan.
- 5) Menentukan jumlah perpindahan ke empat elektroda (*datum point*).
- 6) Menentukan jumlah layer dari uji geolistrik tersebut.

Untuk menentukan jumlah titik perpindahan elektroda adalah dengan cara menentukan kedalaman lokasi dan jarak antar elektroda yang akan di uji. Kedalaman yang akan di uji adalah 30 meter dan jarak antar elektroda yang digunakan adalah 5 meter, sehingga didapat panjang lintasan adalah 160 meter. Setelah didapat panjang lintasan sepanjang 160 meter, maka langkah selanjutnya membagi panjang lintasan tersebut dengan jarak antar elektroda baik secara horizontal maupun vertikal, sehingga seperti terlihat pada gambar 6, dimana jumlah perpindahan elektroda pada layer pertama dapat dihitung dengan cara = kedalaman - 1, sehingga didapat jumlah perpindahan sebanyak 29 kali pada layer pertama. Adapun perpindahan

layer selanjutnya adalah jumlah perpindahan dari layer sebelumnya dikurangi 3, dimana nilai 3 ini merupakan titik elektroda yang telah diukur pada layer sebelumnya, sehingga didapat jumlah perpindahan untuk layer 2 adalah sebanyak $29 - 3 = 26$ perpindahan. Berdasarkan perhitungan di atas, maka dapat

ditentukan jumlah perpindahan pada layer-layer selanjutnya. Untuk penelitian ini, didapat jumlah perpindahan sebanyak 155 kali perpindahan yang terbagi kedalam 10 layer. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Geometri Datum Point

Tahap berikutnya yang dilakukan dari uji geolistrik menggunakan konfigurasi *wenner* adalah dengan menginjeksikan arus listrik (I) pada elektroda A dan B, dan melakukan pembacaan seberapa besar beda potensial (V) yang diterima kembali pada elektroda C dan D. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 diatas.

Perhitungan korelasi hasil uji geolistrik dengan hasil uji penetrasi standar

1) Korelasi *Pearson Product Moment*

Setelah didapat nilai baku berupa T_{score} , langkah selanjutnya adalah menentukan korelasi antara hasil uji pendugaan geolistrik dengan hasil uji penetrasi standar (*standart penetration test*) dengan menggunakan perhitungan koefisien korelasi *Pearson Product Moment* dari Arikunto (2013), seperti persamaan berikut :

$$r_{xy} = \frac{n\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{[n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}} \quad (7)$$

$$\text{Koefisien determinasi} = (r)^2 \quad (8)$$

dimana :

- r_{xy} = koefisien korelasi antara variabel X dan Y.
- ΣX = Nilai baku total dari hasil uji pendugaan geolistrik.
- ΣY = Nilai baku total dari hasil uji penetrasi standar.
- ΣX = nilai total dari hasil perkalian antara hasil uji pendugaan geolistrik dengan hasil uji penetrasi standar

- n = jumlah pengujian
- ΣX^2 = jumlah total dari nilai baku hasil uji pendugaan geolistrik yang dikuadratkan
- ΣY^2 = jumlah total dari nilai baku hasil uji penetrasi standar yang dikuadratkan

Setelah didapat nilai hasil uji korelasi, maka nilai tersebut dapat kita interpretasikan menggunakan tabel interpretasi nilai r (Sugiyono, 2004), seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.

No.	Nilai r	Kategori
1	0,00 – 0,199	Sangat Rendah
2	0,20 – 0,399	Rendah
3	0,40 – 0,599	Cukup
4	0,60 – 0,799	Tinggi
5	0,80 – 1,00	Sangat Tinggi

2) Uji Signifikasi Korelasi (Uji-t)

Langkah selanjutnya, setelah nilai korelasi antar variabel didapat adalah menentukan tingkat signifikasnsi dari nilai korelasi tersebut. Adapun menurut sudjana (2017), untuk mengetahui tingkat signifikansi dari hasil korelasi maka digunakan uji-t (*t-test*), dimana $t_{hitung} > t_{tabel}$. Berikut ini disajikan persamaan untuk menghitung t_{hitung} .

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (9)$$

dimana :

- t = uji signifikan korelasi.
- r = koefisien korelasi.
- n = jumlah pengujian

Setelah didapat nilai koefisien korelasi dan tingkat signifikansi korelasi, maka langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah menentukan persamaan regresi. Korelasi dan regresi mempunyai hubungan yang sangat erat, dimana setiap regresi pasti ada korelasinya, akan tetapi tidak setiap korelasi memiliki regresi. Manfaat dari analisis regresi ini adalah untuk mengetahui bagaimana variabel dependen (terikat) dapat diprediksi berdasarkan variabel independen (bebas). Salah satu persamaan yang sering kita gunakan dalam melakukan analisis regresi adalah persamaan regresi linear sederhana. Regresi sederhana ini didasarkan pada hubungan fungsional atau kausal dari satu variabel independen dengan variabel dependen. Menurut Sugiyono (2004), persamaan umum dari regresi linear sederhana terlihat pada persamaan (9) hingga persamaan (11).

$$y = a + b \cdot x \tag{10}$$

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{n \cdot \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \tag{11}$$

$$b = \frac{n \cdot \Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{n \cdot \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \tag{12}$$

dimana :

- x = nilai hasil uji pendugaan geolistrik
- y = nilai uji penetrasi standar berdasarkan konversi dari hasil uji pendugaan geolistrik
- a = harga y bila $x = 0$ (harga konstan)
- b = Angka arah atau koefisien regresi, yang menunjukkan angka peningkatan atau penurunan variabel dependen yang didasarkan pada variabel independen

Hasil dan Pembahasan

Analisa hasil pemodelan geolistrik berdasarkan variasi nilai resistivitas, dilakukan dengan menggunakan korelasi data resistivitas, *Bor log* dan referensi dari

American Standard Testing and Material No D7852 Tahun 2013 (ASTM D7852-2013). Semakin tinggi nilai resistivitas suatu lapisan tanah/batuan maka semakin besar pula nilai densitas nya. Parameter densitas dari penyelidikan ini diambil dari nilai hasil pengujian *standard penetration test (SPT)*. Nilai *N-SPT* akan dikorelasikan dengan parameter resistivitas untuk mengetahui profil serta persebaran lapisan tanah/batuan pada lokasi penyelidikan. Berdasarkan hasil uji geolistrik untuk lokasi proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Bengkulu - Taba Penanjung pada zona akses, dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji geolistrik

Kedalaman (m)	NBH-10 (Ωm)	NBH-11 (Ωm)	NBH-12 (Ωm)
1 – 2	10.6	10.6	10.6
3 – 4	10.6	10.6	10.6
5 – 6	53.5	53.5	10.6
7 – 8	53.5	53.5	10.6
9 – 10	76.7	76.7	53.5
11 -12	114	99.6	76.7
13 -14	114	125	114
15 – 16	114	139	125
17 – 18	125	250	250
19 -20	125	250	250
21 -22	139	250	250
23 -24	151	250	250
25 -26	250	250	250
27 – 28	250	250	250
29 -30	250	250	250

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil uji geolistrik di lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Bengkulu - Taba Penanjung pada zona akses bahwa didominasi oleh tanah lunak dari kedalaman 0 -10 meter. Lalu untuk kedalaman 11-16 meter merupakan peralihan dari tanah lunak menuju tanah keras. Untuk kedalaman di atas 16 meter, sudah di dominasi oleh tanah keras. Adapun data yang didapat dari hasil uji uji penetrasi standar (*SPT*) dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji *N-SPT*

Kedalaman (m)	NBH-10	NBH-11	NBH-12
1 – 2	3/30	3/30	3/30
3 – 4	4/30	3/30	4/30
5 – 6	6/30	4/30	10/30
7 – 8	12/30	4/30	12/30
9 – 10	18/30	5/30	21/30
11 -12	> 60/27	6/30	25/30

13 -14	> 60//27	7/30	45/30
15 - 16	> 60/11	> 60/14	56/30
17 - 18	> 60/13	> 60/13	57/30
19 -20	> 60/24	> 60/11	> 60/23
21 -22	> 60/10	48/30	> 60/27
23 -24	> 60/22	> 60/30	> 60/25
25 -26	> 60/27	> 60/30	> 60/28
27 - 28	> 60/25	> 60/14	> 60/25
29 -30	> 60/12	> 60/15	> 60/27

Pembahasan

Berdasarkan data pada tabel 3 dan tabel 4, data yang akan dikorelasikan hanya data yang nilai N <= 60, sehingga data yang akan digunakan hanya sebanyak 22 data pengujian dari 3 (tiga) lokasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai *N-SPT* dan Resistivitas

Data	N	Resistivitas
1	3	10.6
2	4	10.6
3	6	53.5
4	12	53.5
5	18	76.7
6	3	10.6
7	3	10.6
8	4	53.5
9	4	53.5
10	5	76.7
11	6	99.6
12	7	125
13	48	250
14	3	10.6
15	4	10.6
16	10	10.6
17	12	10.6
18	21	53.5
19	25	76.7
20	45	114
21	56	125
22	57	250
Σ X	1546	356
Σ X ²	212.024,96	12.738
(ΣX) ²	2.390.116	126.736
rata-rata (Xr)	70,27	16,18
ST.Dev	70,16	18,23
Max.	250,00	57,00
Min.	10,60	3,00
Σ XY	34.493,9	

Berdasarkan data pada tabel 5, didapatkan nilai korelasi dengan menggunakan persamaan (7) dan koefisien determinasi dengan menggunakan persamaan (8).

$$r_{xy} = \frac{22 \times 46.493,9 - (1546)(356)}{\sqrt{[22 \times 212.024,96 - 2.390.116][22(12.738) - 126.736]}}$$

$$r_{xy} = 0,78$$

$$\text{Koefisien determinasi } (r^2) = (0,78)^2 = 0,64$$

Setelah didapat nilai korelasi berdasarkan perhitungan di atas, langkah selanjutnya adalah melihat tingkat signifikansi dari hasil uji korelasi tersebut dengan memasukkan nilai hasil uji korelasi ke dalam persamaan (9). Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada perhitungan berikut :

$$t = 0,78 \sqrt{\frac{21-2}{1-0,78^2}} = 5,96$$

Nilai *t_{hitung}* atau signifikansi dari nilai korelasi seluruh titik pengukuran didapat sebesar 5,96. Jika nilai signifikansi (*t_{hitung}*) ini dibandingkan dengan *t_{tabel}* untuk 22 kali seluruh titik pengujian, maka didapat nilai *t_{tabel}* dengan tingkat kepercayaan 95% sebesar 2,09 (lampiran 3). Hal ini berarti bahwa *t_{hitung}* > *t_{tabel}*, dimana dapat diartikan bahwa nilai korelasi tersebut sangat signifikan (Sugiyono, 2004).

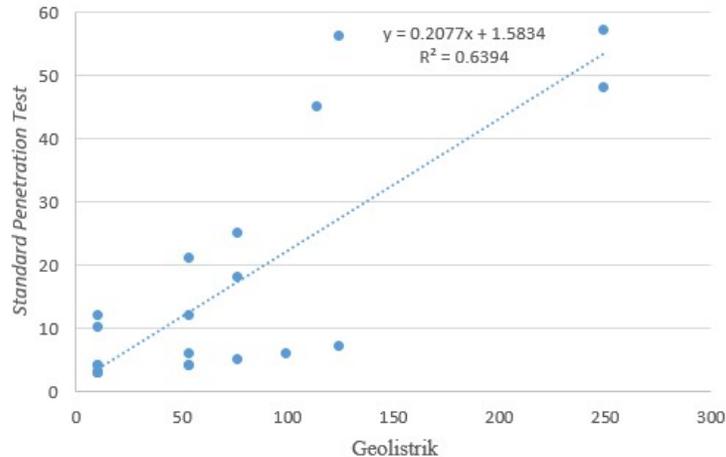
Berdasarkan perhitungan di atas, maka dapat dibuat persamaan regresi untuk mengetahui hubungan dari variabel independen (uji pendugaan geolistrik) terhadap variabel dependen (uji penetrasi standar). Untuk menentukan persamaan regresi yang berlaku pada seluruh titik pengukuran maka nilai-nilai dari perhitungan di atas dapat kita masukkan ke dalam persamaan (10) hingga persamaan (12).

$$b = \frac{22 \times 46.493,9 - 1546 \times 356}{22 \times 212.024,96 - 2.390.116} = 0,208$$

$$a = \frac{356 \times 212.024,96 - 1.546 \times 46.493,9}{22 \times 212.024,96 - 2.390.116} = 1,583$$

$$y = 1,583 + 0,208 \cdot x$$

Untuk lebih jelasnya korelasi antara uji pendugaan geolistrik dengan uji penetrasi standar dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara hasil uji pendugaan geolistrik dengan hasil uji penetrasi standar

Berdasarkan persamaan regresi untuk seluruh titik pengukuran yang didapat dari perhitungan di atas dan terlihat pada gambar 7, dapat diartikan bahwa setiap ada penambahan nilai satu satuan pada variabel bebas (hasil uji geolistrik) maka akan meningkatkan nilai variabel terikat (hasil uji penetrasi standar) sebesar 0,208, akan tetapi penelitian ini masih merupakan studi awal karena terbatasnya data geolistrik dan *N-SPT* pada lokasi proyek yang sama. Penelitian ini baru bisa meninjau 3 (tiga) titik lokasi yang ada hasil uji geolistrik dan hasil *N-SPT*.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan penelitian di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- 1) Resistivitas tanah pada lokasi proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Bengkulu - Taba Penanjung Zona Akses Provinsi Bengkulu didominasi oleh tanah lunak dari kedalaman 0 -10 meter. Lalu untuk kedalaman 11-16 meter merupakan peralihan dari tanah lunak menuju tanah keras. Untuk kedalaman di atas 16 meter, sudah di dominasi oleh tanah keras.
- 2) Terdapat korelasi yang cukup signifikan antara hasil uji pendugaan geolistrik dengan hasil uji penetrasi standar (*standart penetration test*) yang dihubungkan secara linear untuk seluruh titik pengukuran, akan tetapi penelitian ini masih merupakan studi

awal karena terbatasnya data geolistrik dan *N-SPT* pada lokasi proyek yang sama. Penelitian ini baru bisa meninjau 3 (tiga) titik lokasi yang ada hasil uji geolistrik dan hasil *N-SPT*. Korelasi (r) yang didapat dalam penelitian ini sebesar 0,78, dimana nilai korelasi ini termasuk dalam kategori “Tinggi” dengan koefisien korelasi (r^2) sebesar 0,64, dan nilai signifikansi sebesar 5,96.

- 3) Persamaan regresi yang didapat dari hasil korelasi ini adalah $y = 1,583 + 0,208 \cdot x$, dimana setiap penambahan 1 Ωm nilai resistivitas hasil uji geolistrik akan meningkatkan nilai *N-SPT* sebesar 0,208

Daftar pustaka

- ASTM, 1984. *Standard Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils* (ASTM D-1586), United State : ASTM International.
- ASTM, 2006. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)* (ASTM D-2487), United State : ASTM International.
- ASTM, 2013. *Standard Practice for Use of an Electrically Conductive Geotextile for Leak Location Surveys. Description and Identification of Soils* (ASTM D-7852), United State : ASTM International.
- Arikunto, S., 2013. *Prosedur Penelitian : Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Rineka Cipta.

- Bowles, J. E., 1991. *Sifat – sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah*. 2nd ed. Jakarta : Erlangga.
- Brooker, dkk., 1965. *Earth Pressures at Rest Related to Stress History*. Canadian Geotechnical Journal, 2, No. 1, pp. 1-15.
- Das, B.M., 2014. *The Principles Of Geotechnical Engineering*. Seventh Edition. Cengage Learning. Stanford, Connecticut.
- Hardiyatmo, H.C., 2017. *Mekanika Tanah 1*. Edisi keenam. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Kearey, dkk., 2002. *An introduction geophysical exploration*. London : Blackwell Science Ltd.
- Lowrie, W., 2007. *Fundamental of Geophysics*. Second Edition. New York : Cambridge University Press.
- Peck, dkk., 1953. *Foundation Engineering*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Permatasari, N.D., 2021. *Pengujian Sensitivitas Hasil Pemodelan Data Geolistrik (Studi kasus : Lapangan daerah Takandeang, Mamuju, Sulawesi Barat)*. Jakarta : Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Shobihah, S., 2018. *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Data SPT (Standart Penetration Test) (Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)*. Malang : Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Sudjana, 2017. *Metode Statistika*. Bandung: PT Taristo.
- Sugiyono, 2004. *Metode Penelitian*. Bandung: CV Alfa Beta.
- Vucetic dan Dobry, 1991. *Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response*. Journal of Geotechnical Engineering, vol. 117, ASCE.
- Virman, 2013. *Analisis data geolistrik dan data uji tanah untuk Menentukan struktur bawah tanah daerah skyland distrik Abepura Papua*. Jayapura: Jurnal fisika, Jurusan PMIPA Prodi Fisika FKIP Uncen.
- Widhi, P.P.K., 2018. *Korelasi antara N-SPT dengan Resistivitas*. Surabaya: Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.