

PEMETAAN PENURUNAN PERMUKAAN JALAN AKIBAT DEFORMASI TANAH PADA LAPISAN BAWAH PERMUKAAN DENGAN MENGGUNAKAN METODA GEOLISTRIK DI KECAMATAN BAYAH KABUPATEN LEBAK, PROVINSI BANTEN

Muhammad Imaduddin^{1*}, Febriwan Muhammad², M. Kurniawan Alfadli³

¹ Program Studi Doktoral Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

² Teknik Geologi, Universitas Padjajaran, Bandung

³ Teknik Geologi, Universitas Padjajaran, Bandung

Corresponding author: m.imaduddin@gmail.com

ABSTRACT: One of the developments that occur in Indonesia is in the field of transportation is the construction of roads. The most important part of road construction is the type of soil, because this soil will bear the load on it, both static and dynamic. In practice, technical problems are often encountered related to soils which often have high compressive capacity and low bearing capacity. The simplest method that can be used is compaction, but with the condition that the stability has a high CBR (California Bearing Ratio) stability as required in road construction. In this study, the focus is on mapping soil conditions in the landslide road area in the Lebak area, Banten using the 2D geoelectric method (ERT). With this method, it is possible to know the type and estimated capacity of the soil, both its distribution and the existing petrographic predictions. Based on the results obtained, the measurement area is dominated by low surface resistivity values associated with clay or claystone. At the bottom has a high resistivity value, namely hard soil that forms stability in this area. If it rains, the topsoil becomes saturated with water and can slide due to the steep slope. Management of this area should receive special attention and technical solutions should be provided to avoid landslides on roads with low sustainability potential. It can be said that in the area of Lebak, Banten, where this measurement was carried out, the soil resistance is not good and some technical operations have to be carried out to overcome the landslides.

Keywords: Road, Slip area, Geoelectricity, Lebak, Landslide.

ABSTRAK: Salah satu perkembangan yang terjadi di Indonesia adalah di bidang transportasi adalah pembangunan jalan raya. Bagian terpenting dari konstruksi jalan adalah jenis tanah, karena tanah ini akan menanggung beban di atasnya, baik statis maupun dinamis. Dalam prakteknya, sering dijumpai masalah-masalah teknik yang berkaitan dengan tanah yang seringkali memiliki kapasitas tekan yang tinggi dan daya dukung yang rendah. Metode sederhana yang dapat digunakan adalah pemadatan, tetapi dengan syarat stabilitas memiliki stabilitas CBR (California Bearing Ratio) yang tinggi seperti yang dipersyaratkan dalam konstruksi jalan. Dalam penelitian ini, fokus pada pemetaan kondisi tanah di area jalan longsor di wilayah Lebak, Banten dengan metode geolistrik 2D (ERT). Dengan metode ini dapat diketahui jenis dan perkiraan kapasitas tanah, baik sebarannya maupun prediksi petrografi yang ada. Berdasarkan hasil yang diperoleh, daerah pengukuran didominasi oleh nilai resistivitas permukaan yang rendah terkait dengan batu lempung atau batu lanau. Di bagian bawah memiliki nilai resistivitas yang tinggi, yaitu tanah keras yang membentuk stabilitas di daerah ini. Jika hujan turun, lapisan tanah atas akan menjadi jenuh dengan air dan dapat meluncur karena lereng yang curam. Pengelolaan kawasan ini harus mendapat perhatian khusus dan solusi teknis harus diberikan untuk menghindari longsor di jalan dengan potensi keberlanjutan yang rendah. Dapat dikatakan bahwa di daerah Lebak, Banten, tempat pengukuran ini dilakukan, ketahanan tanahnya kurang baik dan beberapa operasi teknis harus dilakukan untuk mengatasi longsor.

Kata Kunci: Jalan, Bidang Gelincir, Geolistrik, Lebak, Longsor.

PENDAHULUAN

Salah satu metode yang digunakan untuk eksplorasi bawah tanah adalah metode geofisika. Penggunaan metode geofisika untuk menyelidiki lapisan bawah tanah dilakukan untuk mendapatkan gambaran kuantitatif dan kualitatif kondisi lapisan tanah yang sesuai dengan sifat fisik yang digunakan dalam studi metode terkait. Sifat fisik yang berbeda yang dimiliki oleh material bawah tanah digunakan untuk menargetkan anomali bawah tanah sebagai target eksplorasi.

Pemetaan kondisi jalan yang mengalami deformasi baik akibat penurunan muka tanah maupun longsor harus dapat dipetakan agar dapat dilakukan penanganan teknis maupun evaluasi sebelum dilakukannya pembangunan.

Standar pemetaan dengan geofisika dapat dilakukan dengan salah satu metoda tahanan jenis yaitu geolistrik untuk melihat distribusi dari tahanan jenis tanah yang akan atau sudah dilakukan pembangunan serta untuk melakukan evaluasi keteknikan agar penanganan kondisi tanah ini dapat dilakukan secara benar tergantung kondisi dari keberadaan jalan.

Dalam penerapannya, kondisi yang harus dihindari dari pembangunan jalan ini adalah ditemukannya tanah dengan kondisi yang kurang baik dan pengaruh lingkungan sekitarnya seperti tipe litologi dan kemiringan lereng pembangunan. Apabila kemiringan lereng curam namun litologi pendukung baik maka parameter deformasi ini dapat dihilangkan karena kondisi tanah dan

batuan yang baik, oleh karena itu, pemetaan geolistrik ini dilakukan untuk mengurangi parameter – parameter yang telah diketahui dari pengukuran.

TINJAUAN PUSTAKA

Geolistrik

Metode geolistrik adalah metode yang menggunakan prinsip operasi arus listrik yang mengalir dalam media tanah/batuan. Selain itu, efek potensial akibat lewatnya arus buatan diukur sebagai respons dari adanya variasi nilai resistivitas medium (tanah/batuan).

Metoda Geolistrik: Tahanan Jenis

Arus dimasukkan ke dalam bumi melalui dua elektroda C1 dan C2. Beda potensial akibat arus injeksi diukur pada dua elektroda potensial P1 dan P2. Dari hasil pengukuran perbedaan arus dan potensial untuk setiap jarak elektroda tertentu, dapat ditentukan perubahan nilai resistivitas setiap lapisan di bawah titik pengukuran (*pronounced point*) atau biasa disebut sebagai acuan.

Arus listrik pada formasi batuan terjadi karena adanya cairan elektrolit pada pori-pori atau retakan batuan. Oleh karena itu, resistivitas formasi batuan tergantung pada porositas batuan dan jenis cairan yang mengisi pori-pori batuan. Tentu saja jika diasimilasi dengan cairan batuan berpori yang berisi air, variasi amplitudo resistivitasnya akan lebih konduktif, karena nilai resistivitasnya yang rendah dibandingkan dengan jenis batuan yang sama yang pori-porinya tidak hanya berisi udara (*hollow*).). Resistivitas

adalah sifat material yang menunjukkan kemampuan material untuk menghantarkan arus listrik. Resistivitas mempunyai arti yang berbeda dengan hambatan (*resistance*), dimana hambatan tidak hanya bergantung pada bahannya saja, tetapi juga pada geometri atau geometri bahan tersebut. Sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometris (Telford, 1990).

Prinsip kerja dari metode ini sama dengan pengukuran hambatan pada penghantar dengan panjang L, penampang A dan hambatannya R, secara sistematis dapat dibuat sebagai berikut :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Keterangan:

R = Resistansi (Ω)

ρ = Resistivitas (Tahanan Jenis) (Ωm)

L = panjang kawat konduktor (m)

A = Luas Penampang kawat konduktor (m^2)

Menurut hukum ohm, resistansi dirumuskan:

$$R = \frac{V}{I}$$

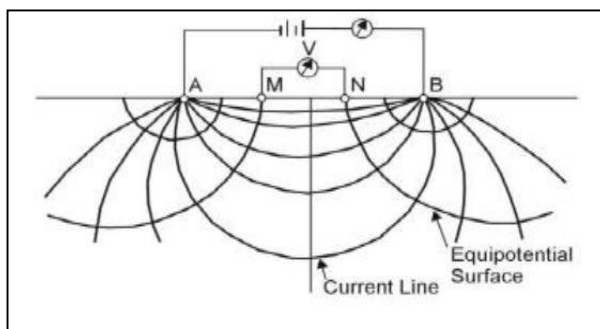
Keterangan:

R = Resistansi (Ω)

v = Beda Potensial (volt)

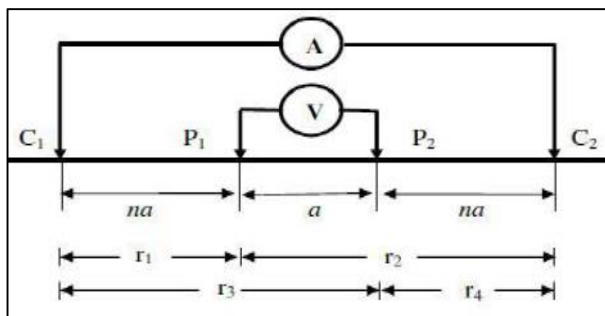
I = Kuat Arus (Ampere)

Dalam survei geolistrik digunakan dua (dua) sumber arus, sehingga arah arus dan potensial ekuipotensialnya adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Model arus dan garis ekuipotensial kedua sumber arus di permukaan bumi

Beda potensial pada permukaan akan dipengaruhi oleh dua arus elektroda. Nilai potensial terukur adalah nilai beda potensial antara dua titik tempat elektroda potensial berada. Jadi, jika arus mengalir ke potensial ekuipotensial seragam bumi melalui elektroda arus pada titik C1 dan C2 seperti yang ditunjukkan di bawah ini :



Gambar 2. Ilustrasi penempatan elektroda

Metode resistivitas ini adalah metode permukaan indirect non-destructive yang memang banyak diterapkan dalam pengumpulan data geofisika (Reynold, J.M, 1998; Santoso,D, 2002).

METODOLOGI PENELITIAN

Geolistrik 2-D

Akuisisi data resistivitas di desa Cijengkol, Kecamatan Bayah, Kabupaten Lebak, Banten dilakukan pada 3 lintasan. Setiap lintasan terdiri dari 32 elektroda dengan spasi 5 meter antar elektroda sehingga total panjang tiap lintasan adalah 155 meter. Format Koordinat dalam UTM Datum WGS-1984.

Tabel 1 Lokasi Pengukuran 2-D di desa Cijengkol, Kabupaten Lebak, Banten.

No	Lintasan	Koordinat Elektroda 1			Koordinat Elektroda 32		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	CJ01	645890	9235151	311	646039	9235116	314
2	CJ02	645891	9235089	297	646023	9235147	326
3	CJ03	645885	9235127	305	646026	9235068	306

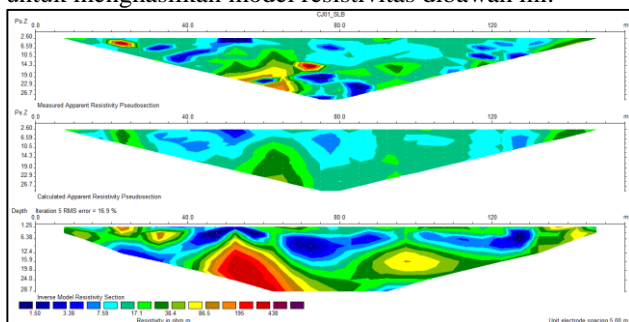
Pengukuran dan akuisisi data dilakukan dengan menggunakan software GEORES yang merupakan

software pengukuran untuk sistem SField Resistivity Meter. Data yang dihasilkan dari pengukuran lapangan adalah nilai resistivitas semu untuk semua titik acuan pada garis ukur. Nilai resistivitas semu ini merupakan nilai resistivitas dengan faktor koreksi k tergantung pada konfigurasi elektroda yang digunakan.

Untuk mendapatkan nilai resistivitas aktual yang menggambarkan variasi dalam distribusi bawah tanah, setiap titik referensi diambil dalam plot bertumpuk, dimodelkan sebagai blok resistivitas yang dihasilkan dari pembalikan. Penampang resistivitas dilakukan sesuai dengan model kubik yang terbentuk, sehingga memperoleh gambaran rinci tentang distribusi nilai resistivitas implisit. Pemodelan numerik bagian resistif r.m.s. dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak 'Res2DInv'.

Hasil pemodelan tanpa memasukkan pengaruh topografi menghasilkan tampilan model penampang dengan tiga tampilan yang merupakan tampilan *contouring* tegak dari *pseudosection* tahanan jenis semu (*raw data*), model kalkulasi dari *pseudosection* tahanan jenis semu (*forward model*), dan hasil akhir penampang tahanan jenis sebenarnya dari kondisi bawah permukaan lintasan pengukuran (*inverse model*).

Loke (2004) menjelaskan algoritma yang digunakan untuk inversi menggunakan metode pendekatan *smoothness constrained least squares* yang digunakan untuk menghasilkan model resistivitas dibawah ini.



Gambar 3. Hasil pengolahan data geolistrik 2-dimensi Lintasan CJ01

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Geolistrik 2-D

Agar tidak terjadi kesalahan interpretasi kondisi bawah permukaan mengingat bahwa jangkauan resistivitas / tahanan jenis dari suatu batuan bisa sama dengan batuan lainnya, maka dalam analisis sebaran resistivitas dan interpretasi model terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan, yaitu:

- Pemilihan model awal (*forward model*) berdasarkan nilai *RMS error* terkecil.
- Jumlah lapisan dan jenis batuan hasil interpretasi harus ditentukan berdasarkan validasi / korelasi dengan data bor, sedangkan interpretasi secara teoritis memiliki limitasi tertentu.

Penampang resistivitas model adalah hasil dari tiga garis geolistrik 2D yang dikoreksi secara topografis dan dapat dibagi lagi menjadi beberapa rentang nilai resistivitas/resistensi tertentu yang diwakili oleh lapisan

berwarna. Setiap kelas warna dapat dipahami sebagai satu set batu. Setiap lapisan warna tidak dapat diartikan sebagai lapisan batuan tunggal karena selalu memerlukan konfirmasi dengan data bawah permukaan berupa data pembaroran.

Hasil pengolahan data resistivitas 2-D menunjukkan sebaran nilai resistivitas mulai dari 1 – 500 Ω m. Batuan dengan nilai resistivitas rendah mengindikasikan batuan yang lunak, sedangkan nilai resistivitas tinggi mengindikasikan batuan yang lebih padu atau keras.

Berdasarkan sebaran nilai resistivitas pada ketiga lintasan, batuan bawah permukaan pada daerah penelitian dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok batuan.

Kelompok 1 merupakan kelompok batuan dengan nilai resistivitas rendah antara 1-10 Ω m, menunjukkan batuan dengan sifat kekerasan lunak hingga sedang, berbutir halus, serta bersifat poros. Mendominasi bagian dangkal di seluruh lintasan. Berdasarkan kesebandingan dengan kondisi geologi setempat, diperkirakan kelompok ini terdiri atas litologi lempung dan lanau yang bersifat impermeabel, tidak dapat menyimpan air, liat dan mudah mengembang (Ariyo dan Adeyemi, 2012). Diperkirakan lempung dan lanau ini merupakan lapukan dari breksi vulkanik berumur lebih tua yang terdapat di sekitar daerah survey. Batuan kelompok 1 memiliki kondisi dapat menyimpan air pada musim hujan, tetapi tidak dapat mengalirkannya. Sebaliknya, pada musim kemarau kelompok batuan ini menjadi keras, kering, dan mudah pecah.

Kelompok 2 adalah kelompok batuan dengan resistivitas menengah antara 11-50 Ω m. Kelompok ini diperkirakan terdiri atas batuan dengan sifat poros, kekerasan lunak hingga agak keras. Ditemukan mulai dari dekat permukaan hingga kedalaman 20 meter. Kelompok ini diperkirakan terdiri atas litologi tufa kasar, dan breksi vulkanik. Kelompok ini memiliki sifat permeabel dapat menyimpan air dan meneruskannya diantara pori-pori batuan. Kelompok ini diduga berperan sebagai media akifer dangkal di daerah penelitian.

Kelompok 3 adalah kelompok batuan dengan resistivitas tinggi lebih dari 50 Ω m. Kelompok ini diperkirakan terdiri atas batuan dengan sifat padu, keras, tidak dapat menyimpan air pada pori-porinya. Ditemukan pada bagian yang relatif dalam pada keseluruhan penampang. Tabel 4 menunjukkan tabulasi kelompok resistivitas dan interpretasinya. (Olayinka and Sogbetun, 2002).

Tabel 2. Interpretasi sebaran nilai resistivitas di Cijengkol, Kec. Bayah

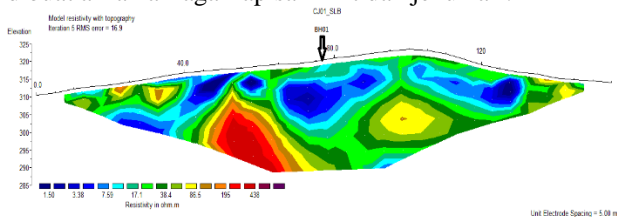
ρ (Ω m)	Kelompok	Keterangan
≤ 10	1. Resistivitas Rendah	Rentang resistivitas rendah kemungkinan berasosiasi dengan batuan dengan litologi lempung dan lanau dengan kedalaman bervariasi antara 5-30 meter
11 - 50	2. Resistivitas Menengah	Rentang resistivitas rendah kemungkinan berasosiasi dengan batuan dengan litologi tufa kasar serta breksi vulkanik. Memiliki kedalaman bervariasi sekitar 6-20 meter.
> 50	3. Resistivitas Tinggi	Lapisan keras, massif, porositas buruk dan tidak dapat menyimpan air di antara pori-pori batuanya, berupa perpaduan antara breksi padu. Rentang resistivitas tinggi ini berasosiasi dengan rentang kedalaman antara 10 hingga 30 meter.

Lintasan CJ-01 terletak pada bagian atas badan jalan yang mengalami kejadian longsor. Lintasan ini memiliki arah penampang Barat-Timur. Hasil pengolahan data pada lintasan ini memberikan informasi bawah permukaan hingga kedalaman 28 meter. Lintasan ini memotong titik bor geoteknik BH-01 pada bagian tengah lintasan.

Penampang geolistrik lintasan CJ-01 (gambar 4) menunjukkan sebaran batuan kelompok 1 (resistivitas rendah) mendominasi kedalaman dangkal, berselingan dengan batuan kelompok2 (resistivitas menengah). Batuan dari kelompok 3 terlihat mendominasi bagian dalam dari penampang.

Pada bagian tengah terlihat kondisi lempung dengan ketebalan hampir mencapai 10 meter, lapisan ini memiliki batas kontak dengan lapisan tufa dan breksi di bawahnya. Kontak antara lapisan impermeabel dengan lapisan permeabel ini diperkirakan merupakan posisi muka air tanah dangkal setempat.

Pada lintasan ini kemungkinan daerah dengan nilai tahanan jenis rendah atau kelompok 1 dapat tergelincir karena adanya lapisan keras di bagian barat. Dan kemiringan lereng yang curam. Untuk mengatasi agar tidak terjadinya penurunan pada bagian ini perlu dilakukan penanggulangan jalan yang menahan nilai kelompok 1 hingga ke kelompok 2 dan penanggulangan juga dibuat aliran air agar lapisan ini tidak jenuh air.



Gambar 4. Hasil Interpretasi Geolistrik 2-D lintasan CJ01

Lintasan CJ-02 terletak pada memotong badan jalan yang mengalami kejadian longsor. Lintasan ini memiliki arah penampang Selatan – Utara, tegak lurus terhadap lintasan CJ-01 dan CJ-03. Hasil pengolahan data pada lintasan ini memberikan informasi bawah permukaan hingga kedalaman 28 meter.

Penampang geolistrik lintasan CJ-02 (gambar 5) menunjukkan sebaran batuan kelompok 1 (resistivitas rendah) mendominasi kedalaman dangkal, berselingan dengan batuan kelompok2 (resistivitas menengah).

Batuan dari kelompok 3 terlihat mendominasi bagian dalam dari penampang.

Dapat terlihat juga sedikit nilai resistivitas tinggi di permukaan, di bawah badan jalan yang diperkirakan merupakan timbunan batu urugan penahan longsor.

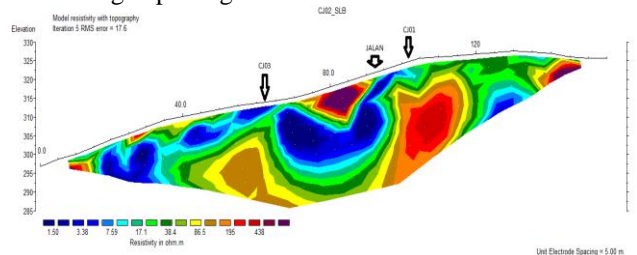
Kelompok1 didominasi oleh lempung dengan ketebalan hampir mencapai 10 meter, lapisan ini memiliki batas kontak dengan lapisan tufa dan breksi di bawahnya. Diperkirakan lapisan lempung ini terakumulasi pada suatu bentuk geometri cekungan atau ceruk di tengah lintasan.

Batuan kelompok dua (resistivitas menengah) ditemukan pada kedalaman dangkal di bagian Utara lintasan serta pada kedalaman 6-10 meter di bagian tengah dan Selatan lintasan.

Batuan kelompok 3 terlihat pada kedalaman 5 meter di bagian Utara dan pada kedalaman lebih dari 15 meter di bagian tengah hingga Selatan lintasan.

Kontak antara lapisan impermeabel dengan lapisan permeabel diduga berada pada kedalaman 10 meter. Kontak lapisan ini diperkirakan merupakan posisi muka air tanah dangkal setempat.

Pada penampang lintasan CJ-02 terlihat keberadaan bidang gelincir berupa kontak perlapisan antara kelompok 1 dan kelompok 2. Pada saat musim kemarau lapisan lempung dari kelompok 1 menjadi kering dan rekah, sedangkan pada saat musim hujan air dapat terakumulasi di atas lapisan lempung impermeabel ini dan tidak terserap oleh lapisan di bawahnya. Beban berlebih di atas lapisan dapat menyebabkan lapisan ini bergerak mengikuti arah kemiringan lapisan dari Utara ke Selatan. Solusi keteknikan yang juga dapat menjadi solusi untuk mengatasi ini adalah dengan menggunakan cara yang sama dengan penanganan CJ01



Gambar 5. Hasil Interpretasi Geolistrik 2-D CJ02

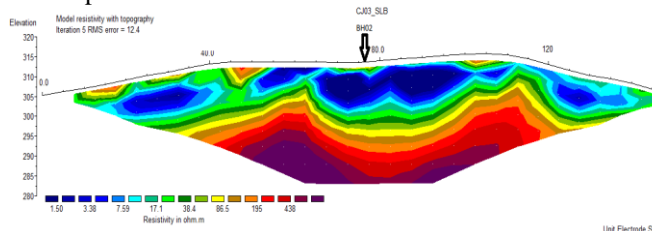
Lintasan CJ-03 terletak pada bagian bawah badan jalan yang mengalami kejadian longsor. Lintasan ini memiliki arah penampang Barat-Timur, memotong titik bor geoteknik BH-02. Hasil pengolahan data pada lintasan ini memberikan informasi bawah permukaan hingga kedalaman 28 meter.

Penampang geolistrik lintasan CJ-03 (gambar 6) menunjukkan sebaran batuan kelompok 1 (resistivitas rendah) mendominasi kedalaman dangkal, berselingan dengan batuan kelompok2 (resistivitas menengah). Batuan dari kelompok 3 terlihat mendominasi bagian dalam dari penampang.

Kelompok 1 didominasi oleh lempung dengan ketebalan hampir mencapai 10 meter, lapisan ini memiliki batas kontak dengan lapisan tufa dan breksi di bawahnya. Diperkirakan lapisan lempung ini terakumulasi pada suatu bentuk geometri cekungan atau ceruk di tengah lintasan.

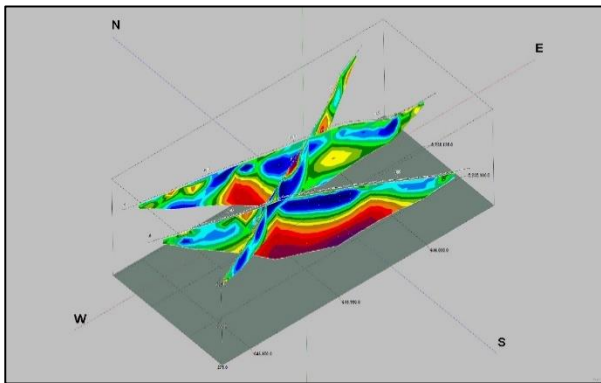
Batuan kelompok dua (resistivitas menengah) ditemukan pada kedalaman 10 meter di bagian tengah dan pada kedalaman dangkal di Barat lintasan. Batuan kelompok 3 terlihat pada kedalaman dangkal di bagian Barat dan pada kedalaman lebih dari 15 meter di sepanjang lintasan. Kontak antara lapisan impermeabel dengan lapisan permeabel diduga berada pada kedalaman 10 meter. Kontak lapisan ini diperkirakan merupakan posisi muka air tanah dangkal setempat.

Apabila diperhatikan, bidang nilai kelompok 1 sangat memungkinkan untuk terjadi longsor akibat tipe tanah yang jenuh air dan bagian dalam yang keras sehingga kemungkinan bidang gelincir akan ada. Selain tipe litologi yang sangat berpengaruh adalah kondisi kemiringan lereng pada bagian tersebut sehingga peluang tergelincir menjadi lebih besar (Igwe, 2015). Solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan membuat penahan yang berkontak langsung dengan kelompok 3 yang merupakan litologi keras sehingga terikat antara permukaan dengan bawah permukaan.

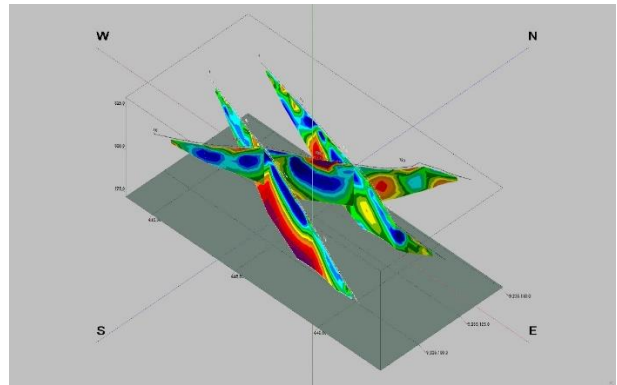


Gambar 6. Hasil Interpretasi Geolistrik 2-D CJ03

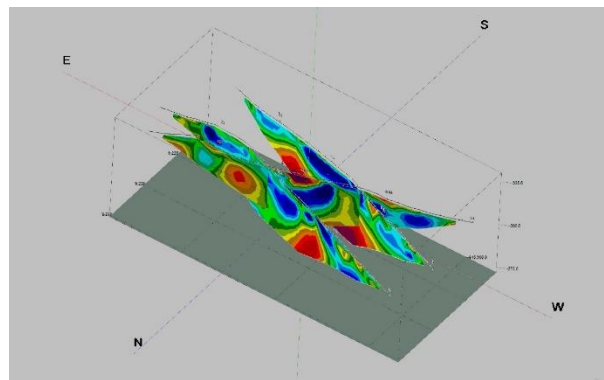
Selain dilakukan interpretasi, penampang lintasan pengukuran tersebut juga disusun menyerupai diagram pagar untuk lebih mempermudah melihat sebaran nilai resistivitas secara 3-D



Gambar 7. Diagram Pagar Ketiga Lintasan Pengukuran dari arah baratdaya



Gambar 8. Diagram Pagar Ketiga Lintasan Pengukuran dari arah tenggara



Gambar 9. Diagram Pagar Ketiga Lintasan Pengukuran baratlaut

Pada ketiga gambar diatas dapat dilihat bahwa pada bagian permukaan didominasi oleh nilai tahanan jenis rendah yang menerus secara lateral dan berkontak dengan lapisan keras dibawahnya, bagian barat memiliki kecuraman lereng yang tinggi sehingga dapat menyebabkan longsor karena adanya bidang gelincir sedangkan bagian timur terlihat lebih landai.

KESIMPULAN

Ditemukan tiga kelompok tahanan jenis yang diperoleh dari pengukuran geolistrik pada Kawasan lebak, Banten ini dan berasosiasi dengan tipe litologi yang berbeda. Kelompok 1 jenis tanah lunak yang berupa lempung dan lanau. Kelompok 2 dan 3 berupa batuan vulkanik yang bersifat lebih keras.

Dalam pemetaan ini dapat dilihat bahwa dominasi lapisan tanah lunak permukaan yang jenuh air dan berkontak langsung dengan lapisan keras yang berada pada kecuraman lereng tinggi dapat menghasilkan longsor yang berakibat deformasi pada jalan yang ada.

Penanganan keteknikan dalam kondisi seperti ini berdasarkan data tahanan jenis adalah dengan membuat tanggul yang dapat menahan bidang gelincir dan membuang air yang berada pada lapisan lunak agar tidak jenuh sehingga longsor pada bidang gelincir dapat diatasi.

Selain solusi, pemanfaatan metode ini sangatlah penting dalam pembangunan dan pembuatan baik jalan dan bangunan yang berbobot besar untuk mengurangi resiko kebencanaan terutama longsor agar tidak terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyo, S., & Adeyemi, G. 2012. Geo-electrical Characterization of Aquifers in the Basement Complex/Sedimentary transition zone, Southwestern Nigeria. *International journal of advanced scientific research and technology*, 21.
- Igwe, O. 2015. The causes and mechanisms of rain-induced highway and pavement collapse in Oboloke, Southeast Nigeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 811, 9845-9855.
- Loke, M. 2004. *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*, 2004 Revised Edition.
- Olayinka, A., & Sogbetun, A. 2002. Laboratory measurement of the electrical resistivity of some Nigerian crystalline basement complex rocks. *African Journal of Science and Technology*, 31.
- Reynold, J.M., 1998, *An Introduction to applied and environmental geophysics*, John Wiley and Sons Inc, New York, p.415.
- Santoso, Djoko., 2002., *Pengantar Teknik Geofisika.*, Departemen Teknik Geofisika., Fakultas Ilmu dan Teknologi Mineral., Institut Teknologi Bandung.
- Telford, W. M. et al. (1990a). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.