

IDENTIFIKASI JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAN SEBAGAI KAJIAN AWAL PERENCANAAN PEMBUATAN PONDASI BANGUNAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS

Hadi Imam Sutaji

Jurusan Fisika, FST, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adi Sucipto Penfui Kupang 85001 Indonesia

E-mail:hadi_sutaji@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian untuk melakukan identifikasi jenis batuan bawah permukaan sebagai kajian awal untuk perencanaan pembuatan pondasi bangunan menggunakan metode resistivitas telah dilakukan di desa Tanjung Saronggi. Adapun pelaksanaan identifikasi diharapkan mengurangi resiko kegagalan pembangunan pondasi gedung ketika bangunan didirikan di atas lahan tersebut. Untuk mengetahui keberadaan jenis batuan bawah permukaan dilakukan pengukuran di area terbuka, tepatnya tanah CV petak 1 seluas $\pm 30.000 \text{ m}^2$ dengan metode resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger. Analisis data yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan software Res2Dinv. Hasil analisis menunjukkan penampang dua dimensi yang memuat panjang kedalaman dan resistivitas dari setiap lintasan. Hasil interpretasi terhadap kontur yang dihasilkan pada setiap lintasan menunjukkan adanya lapisan tanah keras yang tidak memiliki lempung berada pada rentang $70 \Omega\text{m} - 100 \Omega\text{m}$ yaitu lapisan pasir kerikil tidak berlempung dan lapisan $> 100 \Omega\text{m}$ yaitu pasir kasar, kerikil tidak berlempung. Pondasi di lintasan 1 bisa dibuat menggunakan konstruksi pondasi dangkal pada bentangan $15 \text{ m} - 92 \text{ m}$ dan $118 \text{ m} - 135 \text{ m}$ dengan kedalaman $2,5 \text{ m} - 15,5 \text{ m}$. Konstruksi pondasi dangkal bisa dibangun di lintasan 2 yaitu pada bentangan $25 \text{ m} - 50 \text{ m}$ dan bentangan $108 \text{ m} - 151 \text{ m}$ serta $159 \text{ m} - 176 \text{ m}$ dengan kedalaman secara berurutan antara $2,5 \text{ m} - 20 \text{ m}$ dan $2,5 \text{ m} - 12,8 \text{ m}$ serta $2,5 \text{ m} - 8 \text{ m}$. Pada lintasan 3 konstruksi pondasi dangkal bisa dibuat dengan kedalaman $2,5 \text{ m} - 15 \text{ m}$ sepanjang bentangan antara $15 \text{ m} - 135 \text{ m}$.

Kata kunci: metode resistivitas; konfigurasi Wenner-Schlumberger; software Res2Dinv

Abstract

Underground investigations to identify the rock types have been done using resistivity method in Desa Tanjung, Saronggi. This was a preliminary study that can be used as a reference in planning the construction of building foundations. The identification was expected to reduce the failures in constructing building foundations in this area. To identify the underground rocks in the area, the measurements were done in open area at CV 1 area ($\pm 30,000 \text{ m}^2$) using Wenner-Schlumberger method. Data analysis was done using Res2Dinv. Results were 2D profiles consisting of length, depth and resistivity value of each line. Interpretations to contours obtained for each profile showed that there was hard soil with no clays within interval $70 \Omega\text{m} - 100 \Omega\text{m}$, defined to be a gravelly sandy layer that has no clay and a coarse sandy gravelly layer ($> 100 \Omega\text{m}$). Building foundations can be built in profile 1 using shallow building foundation construction at interval $15 \text{ m} - 92 \text{ m}$ and $118 \text{ m} - 135 \text{ m}$, with depth being $2.5 \text{ m} - 15.5 \text{ m}$. Such constructions can also be built in profile 2 and 3. In profile 2, the interval at which the constructions were possible lying between $25 \text{ m} - 50 \text{ m}$, $108 \text{ m} - 151 \text{ m}$ and $159 \text{ m} - 176 \text{ m}$, with their depths being $2.5 \text{ m} - 20 \text{ m}$, $2.5 \text{ m} - 12.8 \text{ m}$ and $2.5 \text{ m} - 8 \text{ m}$ respectively. In profile 3, the construction can be built with depth interval $2.5 \text{ m} - 15 \text{ m}$ along length interval of $15 \text{ m} - 135 \text{ m}$.

Keywords: resistivity method; Wenner-Schlumberger configuration; Res2Dinv

PENDAHULUAN

Pendirian suatu bangunan harus direncanakan sebaik mungkin. Kokohnya suatu bangunan tidak hanya ditentukan oleh jenis, struktur dan material bangunan yang digunakan, tetapi kekuatan pondasi juga ikut

menentukan. Artinya, pembuatan pondasi dan bangunan akan menyebabkan beban sehingga tanah akan mengalami perubahan bentuk dan penurunan sebagai upaya menahan beban bangunan. Ada 2 syarat utama yang harus dipenuhi dalam pembuatan pondasi yaitu

pertama, pondasi harus mencapai tanah keras dan kedua, apabila tidak ditemukan tanah keras maka harus dilakukan pemadatan/perbaikan tanah [1]. Kedua syarat utama di atas menjadi dasar adanya penelitian ini dengan identifikasi bahwa kuatnya pondasi bangunan tergantung kedalaman pondasi saat pembuatan dan jenis batuan bawah permukaan di lokasi pondasi bangunan berdiri. Faktor kedalaman pondasi, diantaranya berkaitan dengan kuat geser dan daya dukung. Hal ini berbeda dengan faktor jenis batuan bawah permukaan yang diantaranya berkaitan dengan indeks plastisitas tingkat kadar garam (TDS) dari intrusi air laut yang masuk untuk daerah dekat pantai serta nilai resistivitas batuan.

Kuat geser dan daya dukung menurut (Braja M. Das, 1988) ditentukan oleh sifat kohesi dan sudut geser [2]. Semakin besar sifat kohesi dan sudut gesernya maka kuat gesernya dan daya dukung akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Untuk indeks plastisitas dan nilai Total Dissolve Solid (TDS) ditentukan oleh jenis batuan bawah permukaan [3].

Jenis batuan bawah permukaan dapat dibedakan berdasarkan nilai hambatan jenis yang dimiliki batuan [4]. Adanya perbedaan nilai hambatan jenis ini disebabkan karena batuan memiliki sifat kelistrikan. Sifat kelistrikan batuan dibedakan menjadi tiga macam yaitu konduksi secara elektronik, elektrolitik dan dielektrik [5].

Konduksi secara elektronik akan menghasilkan aliran arus listrik sebagai akibat dari banyaknya elektron bebas pada batuan. Hal ini, berbeda dengan konduksi secara elektrolitik, dimana sifat konduktivitas dan resistivitas batuan ditentukan oleh volume air yang berada di pori-pori batuan. Untuk konduksi secara dielektrik, elektron bebas sedikit dijumpai pada batuan, namun elektron-elektron tersebut dapat mengalirkan arus listrik melalui peristiwa polarisasi sebagai akibat pengaruh gaya listrik luar.

Adanya dugaan bahwa batuan sedimen baik berukuran besar maupun kecil banyak berada di daerah yang akan dilakukan pembangunan pondasi, maka dibutuhkan informasi tentang jenis batuan bawah permukaan. Informasi ini berfungsi sebagai

acuan atau kajian awal dalam peletakan pondasi pendirian bangunan yang dimaksud. Informasi jenis batuan bawah permukaan dapat diperoleh melalui survei geofisika, salah satunya adalah metode geolistrik.

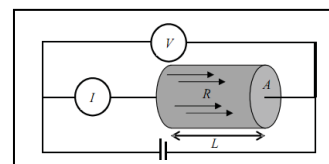
Metode geolistrik adalah metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui keadaan geologi bawah permukaan melalui resistivitas batuan [6]. Prinsip kerjanya, yaitu mengalirkan arus ke bawah permukaan bumi sehingga diperoleh beda potensial yang selanjutnya memberikan informasi nilai resistivitas batuan bawah permukaan.

Resistivitas batuan diperoleh dengan mengasumsikan bumi sebagai medium homogen isotropis. Asumsi ini mengabaikan perbedaan resistivitas dan ketebalan medium adalah homogen isotropis sehingga resistivitas yang terukur merupakan resistivitas semu (*apparent resistivity*). Namun, kenyataannya bumi sebagai medium memiliki perbedaan lapisan dengan resistivitas yang berbeda untuk setiap lapisannya. Oleh sebab itu, nilai resistivitas sebenarnya berkaitan dengan resistivitas semu.

Ilustrasi sederhana tentang metode geolistrik dimulai dengan meninjau sebuah rangkaian seri antara baterai dengan resistor. Keberadaan baterai tersebut akan menghasilkan arus (I) yang mengalir pada rangkaian, namun terhambat oleh resistor (R). Besarnya Nilai beda potensial (V) dapat diperoleh melalui pengukuran di kedua ujung resistor. Hubungan antara beda potensial, arus dan hambatan dinyatakan dengan persamaan.

$$V = I R \quad (1)$$

Jika resistor diganti dengan sebuah material konduktif homogen berbentuk silinder yang memiliki hambatan (R), luas penampang (A) dan panjang (ℓ).

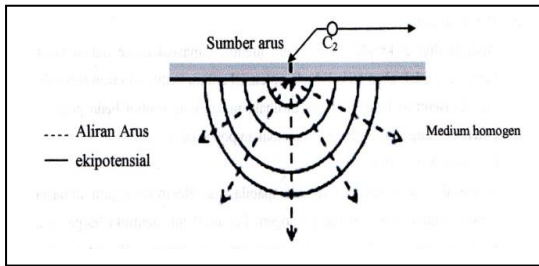


Gambar 1. Arus yang dialirkan pada material konduktif berbentuk silinder

Nilai hambatan jenis bahan atau resistivitas (ρ) diperoleh melalui persamaan berikut.

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (2)$$

Adanya asumsi bahwa bumi sebagai medium homogen isotropis mengakibatkan arus menjalar radial membentuk bidang ekuipotensial setengah bola. Ilustrasi garis ekuipotensial yang terjadi akibat injeksi satu sumber arus yaitu satu elektroda arus di permukaan terlihat pada gambar berikut.



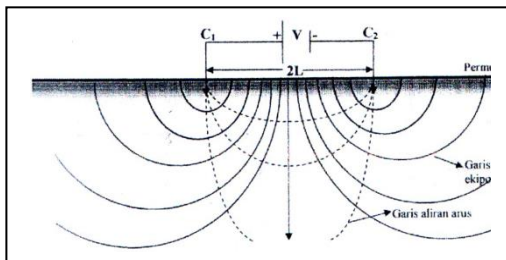
Gambar 2. Sumber arus berupa titik tunggal di permukaan medium homogen

Tinjauan mengenai distribusi potensial bawah permukaan oleh sumber arus titik tunggal di permukaan berupa rumusan

$$V(r) = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (3)$$

dengan r merupakan jarak dari pusat sumber arus permukaan ke jangkauan setengah bola di dalam bumi, I adalah besar arus yang diberikan dan ρ berupa resistivitas medium.

Untuk injeksi dua sumber arus yaitu dua elektroda diilustrasikan melalui garis ekuipotensial berikut ini.



Gambar 3. Susunan dua pasang elektroda arus dan potensial dipermukaan medium homogen isotropis.

Nilai potensial di titik P1 dan P2 masing-masing secara berurutan dituliskan dengan persamaan

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (4)$$

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (5)$$

Nilai beda potensial antara titik P1 dan P2 dinyatakan dengan rumusan

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (6)$$

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (7)$$

sehingga nilai resistivitas semu (ρ) yang diperoleh dari lapangan dapat diperoleh dari persamaan (7) yaitu

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (8)$$

atau secara umum persamaan resistivitas semu dinyatakan melalui persamaan (9) yaitu

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (9)$$

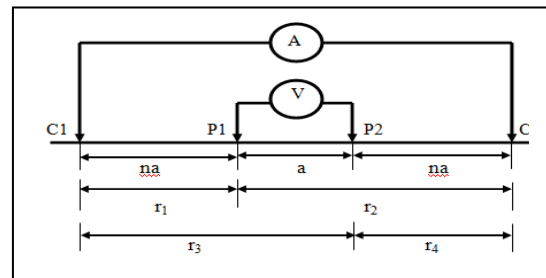
dimana K merupakan faktor geometri yang dinyatakan dengan persamaan

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (10)$$

Nilai K tergantung pada posisi atau letak dua elektroda arus dan dua elektroda potensial dari konfigurasi yang digunakan dalam pengukuran.

Konfigurasi Wenner-Schlumberger merupakan gabungan antara konfigurasi Wenner dan konfigurasi Schlumberger dengan dua buah elektroda bertindak sebagai arus dan dua buah elektroda lainnya bertindak sebagai potensial [7].

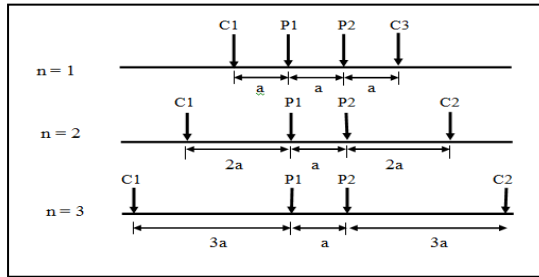
Konfigurasi ini memiliki aturan spasi konstan dengan catatan faktor "n" adalah perbandingan jarak antara elektroda C1-P1 atau C2-P2 dengan spasi elektroda P1-P2. Faktor "n" serta aturan spasi elektroda arus dan potensial digambarkan seperti berikut.



Gambar 4. Cara pengaturan dua pasang elektroda arus dan potensial pada permukaan medium homogen isotropis.

Jika jarak a pada gambar (4) menunjukkan jarak antara elektroda P1-P2, maka jarak antara elektroda arus $C1$ dengan $C2$ adalah $2na + a$. Contoh susunan elektroda konfigurasi Wenner-

Schlumberger dengan faktor "n" bernilai 1, 2 dan 3 digambarkan sebagai berikut [8].



Gambar 5. Susunan elektroda konfigurasi Wenner-Schlumberger

Untuk faktor geometri K pada konfigurasi ini dinyatakan dengan rumusan

$$K = \pi n a (n + 1) \quad (11)$$

dimana a adalah jarak antara elektroda P1 dan P2 serta faktor "n" menunjukkan perbandingan jarak antara elektroda C1-P1 atau C2-P2 dengan spasi antara elektroda P1-P2.

Faktor geometri K menentukan hubungan antara nilai resistivitas semu dengan nilai resistivitas yang terukur langsung di lapangan. Hubungan ini dituliskan dengan persamaan

$$\rho = KR \quad (12)$$

Nilai resistivitas yang sebenarnya dari batuan bawah permukaan diperoleh dengan cara membuat model dan diturunkan hubungan antara resistivitas semu dan resistivitas sebenarnya (metode inversi).

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan terbuka seluas $\pm 30.000 m^2$, tepatnya berada pada tanah CV petak 1 Desa Tanjung Kecamatan Saronggi Kabupaten Sumenep yang sebelah timurnya berbatasan dengan laut. Berikut ini peta posisi lokasi penelitian



Gambar 6. Peta lokasi penelitian

Kondisi geologi di lokasi penelitian dan Kabupaten Sumenep pada umumnya memiliki resiko pergerakan tanah yang tinggi. Hal ini sama dengan beberapa kabupaten lainnya di Jawa Timur, salah satunya Kabupaten Pacitan. Berikut di bawah ini peta indeks resiko bencana gerakan tanah di daerah Jawa Timur.



Gambar 7. Peta indeks resiko bencana gerakan tanah.

Peralatan dan Bahan Penelitian

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain: Resistivimeter Tigre Campus, dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial, kabel penghubung, patok-patok bambu, roll meter, GPS, HT, palu, tenda pelindung, payung, alat tulis dan tabel data.

Prosedur Penelitian

Survei Lokasi Penelitian

Ada dua survei yang telah dilakukan terhadap lokasi penelitian antara lain survei geologi dan survei geofisika. Survei geologi bertujuan memperoleh informasi geologi daerah penelitian dan informasi kedalaman pondasi dari bangunan atau rumah-rumah penduduk di sekitar lokasi penelitian. Sebaliknya, survei geofisika bertujuan untuk merencanakan titik-titik pengukuran dan panjang lintasan yang memungkinkan sesuai kondisi lahan sebagai area penelitian. Perencanaan titik-titik ukur dan panjang lintasan tersebut disesuaikan dengan metode resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger yang digunakan dalam penelitian ini.

Akuisisi Data

Proses akuisisi data dilakukan dengan beberapa tahapan, antara lain pertama, persiapan alat Resistivimeter Tigre Campus

yang telah dikalibrasi beserta alat-alat pendukung lainnya yang telah disebutkan di atas. Kedua, penempatan elektroda-elektroda arus dan potensial sesuai dengan titik-titik ukur yang telah ditentukan pada survei geofisika. Ada sebanyak 3 lintasan yang ditentukan yaitu lintasan 1 sepanjang 150 m, lintasan 2 sepanjang 200 m dan lintasan 3 sepanjang 150 meter. Jarak antara titik-titik ukur di setiap lintasan sejauh 10 meter dan nilai faktor "n" adalah 1, 2, 3, 4, 5, 6. Ketiga, injeksikan arus pada Resistivitymeter Tigre Campus dan catat nilai I, ΔV , C1, P1, C2, P2 dan a. Keempat, pindahkan elektroda arus pada jarak yang telah ditentukan, sementara elektroda potensial tetap dan catat nilai I, ΔV , C1, P1, C2, P2 dan a yang diperoleh. Kelima, lakukan langkah c dan d sesuai rencana dan survei yang telah dilakukan Keenam, tentukan nilai R dan K dari data yang diperoleh di setiap pengukuran. Ketujuh tentukan nilai resistivitas ρ .

Pengolahan Data

Data dari lapangan diolah dengan software Microsoft Excell untuk mendapatkan nilai R, K dan ρ . Untuk identifikasi jenis batuan bawah permukaan digunakan software Res2dinv dengan mensubstitusikan nilai n, a dan resistivitas ρ sehingga menghasilkan citra warna yang berbeda untuk setiap jenis batuan bawah permukaan.

Interpretasi Data

Interpretasi terhadap data yang diperoleh berdasarkan tahanan jenis dilakukan dengan melihat kontur atau citra warna dari hasil pengolahan data dengan software Res2dinv. Teknik penafsirannya dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama membandingkan tahanan jenis yang diperoleh dengan citra warna hasil pengolahan data dengan software Res2dinv sehingga diketahui jenis batuan yang berada pada setiap lapisannya. Tahap kedua, yaitu menafsirkan sebaran jenis batuan yang dimaksud pada setiap lapisan beserta kedalamannya untuk masing-masing lintasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengambilan data penelitian dengan metode resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger ini meliputi tiga lintasan yaitu lintasan 1, lintasan 2 dan lintasan 3 dengan

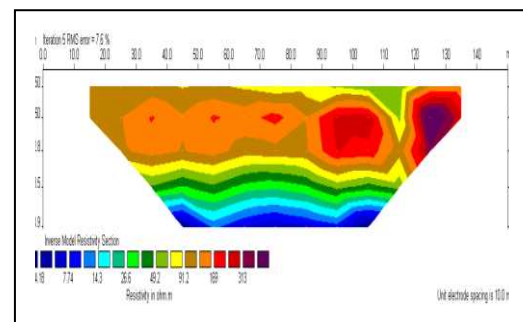
panjang masing-masing secara berurutan adalah 150 m, 200 m, 150 m.

Lintasan 1 mempunyai arah pengukuran dari utara menuju arah selatan seperti berikut.



Gambar 8. Posisi lintasan 1 Hasil inversi penampang 2D

lintasan 1 menunjukkan nilai resistivitas lapisan antara $4,18 \Omega\text{m} - 500 \Omega\text{m}$.



Utara → Selatan

Gambar 9. Hasil analisa Res2Dinv Lintasan 1

Lintasan 1 adalah lokasi pengambilan data dengan koordinat 49M 0819108 UTM 9210702 arah utara ke selatan. Hasil pengolahan data menunjukkan adanya beberapa lapisan batuan dengan nilai resistivitas yang berbeda. Nilai resistivitasnya $2 \Omega\text{m} - 4,5 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai lapisan butiran pasir atau lempung jenuh dengan TDS 10000 mg/L. Lapisan ini berada pada bentangan 45 m – 106 m dan memiliki kedalaman 23,5 m – 24,9 m. Lempung jenuh bersifat sangat kohesif dan memiliki indeks plastisitas tinggi > 17 . Kedua sifat ini berpengaruh terhadap daya dukung dan kuat geser tanah yang berkaitan dengan sudut geser.

Untuk lempung sudut gesernya berkisar $26^{\circ} - 35^{\circ}$ dengan sifat sangat kohesif yang tinggi sehingga mempengaruhi besarnya kuat geser dan nilai daya dukungnya.

Nilai kuat geser dan daya dukung akan menyebabkan perubahan volume baik

pengurangan atau penambahan ketika kadar air berubah [9]. Dampaknya, pondasi sebagai tumpuan bangunan akan mengalami kerusakan yang berpengaruh pada struktur bangunan di atasnya. Namun, untuk keperluan konstruksi pondasi bangunan tetap bisa dilakukan di jenis tanah lempung dengan melakukan pemadatan atau pemilihan konstruksi pondasi dalam (*deep foundation*), misalnya pondasi tiang pancang.

Nilai resistivitas sekitar $4,5 \Omega\text{m} - 10 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai tanah kepasiran atau lempung berpasir dengan TDS 10000 – 1500 mg/L. Lapisan dengan nilai resistivitas ini berada pada bentangan 43 m – 108 m dengan kedalaman 22,5 m – 23,5 m. Lempung berpasir merupakan campuran antara lempung dengan pasir, namun didominasi oleh lempung.

Jenis campuran ini memiliki sifat kohesif dan indeks plastisitas sedang yaitu 7% - 17%. Sudut geser jenis lempung berpasir sekitar $34^\circ - 48^\circ$ dan memiliki sifat kohesif sehingga berdasarkan persamaan diperoleh kuat geser dan daya dukungnya bernilai besar. Akibatnya, jenis tanah ini mudah mengalami penurunan. Untuk membuat pondasi pada lapisan ini bisa dilakukan dengan melakukan pemadatan atau pemilihan konstruksi pondasi dalam (*deep foundation*), misalnya pondasi tiang pancang.

Lapisan yang memiliki nilai resistivitas $10 \Omega\text{m} - 15 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai pasir kerikil dan terdapat lempung dengan TDS 5000 – 1500 mg/L. Jenis lapisan ini memiliki sifat kohesif sebagian dan indeks plastisitas rendah < 7% pada bentangan antara 41 m – 108 m dengan kedalaman 21 m – 22,5 m. Sudut geser jenis lapisan ini sekitar $35^\circ - 45^\circ$.

Untuk nilai resistivitas $15 \Omega\text{m} - 30 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai lapisan pasir kerikil sedikit lempung (TDS 1500 – 700 mg/L). Lapisan ini memiliki sifat kohesif sebagian, indeks plastisitas agak rendah < 7% dengan kedalaman antara 19,5 m – 21 m pada bentangan 38 m – 113 m. Sudut geser yang dimiliki lapisan $30^\circ - 40^\circ$.

Jenis lapisan dengan nilai resistivitas $30 \Omega\text{m} - 70 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai pasir kerikil sangat sedikit lempung dengan TDS berkisar 100 mg/L. Jenis lapisan ini memiliki sifat kohesif sebagian dan plastisitas sangat rendah yaitu < 7%. Bentangan resistivitas ini

terbagi menjadi dua bagian. Pertama, berada di bentangan antara 92 m – 118 m dengan kedalaman antara 2,5 m – 7,5 m. Kedua, berada di bentangan 36 m – 116 m yang memiliki kedalaman sekitar 15,5 m – 19,5 m. S dengan sudut geser kurang dari $30^\circ - 40^\circ$.

Hasil resistivitas $70 \Omega\text{m} - 100 \Omega\text{m}$ menunjukkan lapisan pasir kerikil tidak berlempung (TDS kecil). Lapisan ini memiliki sifat non kohesi dan non plastisitas sedang. Nilai bentangan terletak antara 64 m – 120 m dan kedalaman sekitar 2,5 m – 15,5 m serta 26 m – 118 m dengan kedalaman 10 m – 14 m. Sudut geser pada lapisan ini sekitar $27^\circ - 35^\circ$.

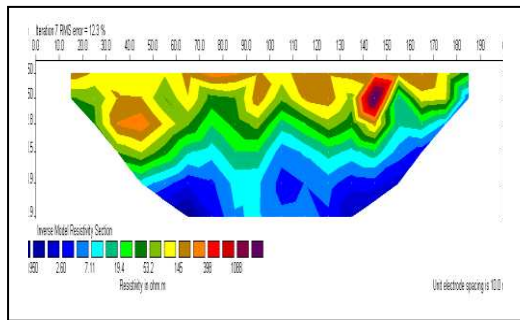
Lapisan dengan nilai resistivitas $> 100 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai pasir kasar, kerikil tidak berlempung (TDS sangat kecil). Lapisan ini memiliki sifat non kohesif dan non plastisitas sedang yaitu 0%. Nilai resistivitas ini terpisah dua bagian. Pertama, berada pada bentangan 26 m – 113 m yang memiliki kedalaman sekitar 5,5 m – 15,5 m. Kedua berada pada bentangan 118 m – 135 dengan kedalaman sekitar 2,5 m – 15,5 m. Lapisan ini memiliki sudut geser sekitar $27^\circ - 35^\circ$.

Posisi lintasan 2 terlihat di gambar (10)



Gambar 10. Posisi lintasan 2

Hasil inversi penampang 2D untuk lintasan 2 menunjukkan nilai resistivitas masing-masing lapisan antara $0,950 \Omega\text{m}$ sampai $2500 \Omega\text{m}$.



Barat → Timur
Gambar 11. Hasil analisa Res2Dinv

Lintasan 2

Koordinat lintasan 2 yaitu 49M 0819082 UTM 9210669 dengan arah barat ke timur. Lapisan batuan pada lintasan 2 ditunjukkan dengan nilai resistivitas $0,5 \Omega\text{m} - 2 \Omega\text{m}$ yaitu Tanah dengan butiran sedikit atau lempung jenuh dengan TDS berkisar 20000 mg/L .

Nilai resistivitas $2 \Omega\text{m} - 4,5 \Omega\text{m}$ menafsirkan lapisan ini sebagai lapisan butiran pasir atau lempung jenuh dengan TDS 10000 mg/L . Lapisan ini berada di 3 bentangan yang berbeda. Ketiga bentangan itu yaitu $51 \text{ m} - 80 \text{ m}$, $101 \text{ m} - 112 \text{ m}$ dan $115 - 168 \text{ m}$ dengan kedalaman ketiganya sera berurutan yaitu $25 \text{ m} - 31,9 \text{ m}$, $22 \text{ m} - 26 \text{ m}$, $17 \text{ m} - 31,9 \text{ m}$. Sifat lempung jenuh yang sangat kohesif dengan indeks plastisitas tinggi > 17 akan berpengaruh terhadap daya dukung dan kuat geser tanah. Keterkaitan antara daya dukung dan kuat geser ditentukan oleh sudut geser.

Untuk lempung sudut gesernya berkisar $26^\circ - 35^\circ$ dengan sifat sangat kohesif yang tinggi sehingga berpengaruh pada kuat geser dan nilai daya dukungnya.

Besarnya nilai kuat geser dan daya dukung ini menyebabkan perubahan volume baik pengurangan atau penambahan ketika kadar air berubah. Perubahan volum menyebabkan pondasi bangunan mengalami kerusakan sehingga berpengaruh pada struktur bangunan di atasnya. Untuk konstruksi pondasi bangunan tetap bisa dilakukan di jenis tanah lempung ini dengan syarat melakukan pemadatan atau pemilihan konstruksi pondasi dalam (*deep foundation*), misalnya pondasi tiang pancang.

Tanah dengan nilai resistivitas sekitar $4,5 \Omega\text{m} - 10 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai

tanah kepasiran atau lempung berpasir dengan TDS berkisar $10000 - 1500 \text{ mg/L}$. Lapisan ini berada di bentangan $45 \text{ m} - 185 \text{ m}$ dengan kedalaman $3,5 \text{ m} - 31,9 \text{ m}$. Lempung berpasir adalah campuran antara lempung dengan pasir dan didominasi oleh lempung. Jenis campuran ini memiliki sifat kohesif dan indeks plastisitas sedang yaitu $7\% - 17\%$. Sudut geser jenis lempung berpasir sekitar $34^\circ - 48^\circ$ dan memiliki sifat kohesif sehingga berdasarkan persamaan diperoleh kuat geser dan daya dukungnya bernilai besar. Jenis tanah ini mudah mengalami penurunan, maka untuk membuat pondasi pada lapisan ini dilakukan pemadatan atau pemilihan konstruksi pondasi dalam (*deep foundation*), misalnya pondasi tiang pancang.

Resistivitas senilai $10 \Omega\text{m} - 15 \Omega\text{m}$ terdapat lempung dengan TDS berkisar $5000 - 1500 \text{ mg/L}$. Lapisan ini memiliki sifat kohesif sebagian serta indeks plastisitas rendah yaitu $< 7\%$. Bentangan resistivitas ini antar $41 \text{ m} - 185 \text{ m}$ dengan kedalaman antara $3 \text{ m} - 23 \text{ m}$. Sudut geser jenis lapisan ini sekitar $35^\circ - 45^\circ$.

Nilai resistivitas $15 \Omega\text{m} - 30 \Omega\text{m}$ berada pada bentangan $39 \text{ m} - 185 \text{ m}$ dengan kedalaman $2,5 \text{ m} - 19 \text{ m}$. Lapisan dengan resistivitas ini diinterpretasikan sebagai lapisan pasir kerikil sedikit lempung dengan TDS $1500 - 700 \text{ mg/L}$. Sifat Lapisan yaitu memiliki sifat kohesif sebagian dan indeks plastisitas agak rendah yaitu $< 7\%$. Sudut geser yang dimiliki bagian ini sekitar $30^\circ - 40^\circ$.

Lapisan bernilai resistivitas $30 \Omega\text{m} - 70 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai pasir kerikil sangat sedikit lempung dengan TDS berkisar 100 mg/L . Lapisan ini memiliki sifat kohesif sebagian dengan plastisitas sangat rendah yaitu $< 7\%$. Bentangan resistivitas ini berada antara $15 \text{ m} - 185 \text{ m}$ dan kedalaman $2,5 \text{ m} - 20 \text{ m}$. Sudut geser lebih rendah $30^\circ - 40^\circ$.

Hasil resistivitas $70 \Omega\text{m} - 100 \Omega\text{m}$ menunjukkan lapisan pasir kerikil tidak berlempung (TDS kecil). Lapisan ini bersifat non kohesi dan non plastisitas sedang yaitu 0% . Bentangan resistivitas terletak di $15 \text{ m} - 185 \text{ m}$ dan kedalaman sekitar $2,5 \text{ m} - 17,5 \text{ m}$. Sudut geser lapisan ini sekitar $27^\circ - 35^\circ$.

Lapisan bernilai resistivitas $> 100 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai pasir kasar, kerikil tidak berlempung dengan TDS sangat kecil. Lapisan ini bersifat non kohesif dan non plastisitas sedang yaitu 0% . Kedalaman lapisan

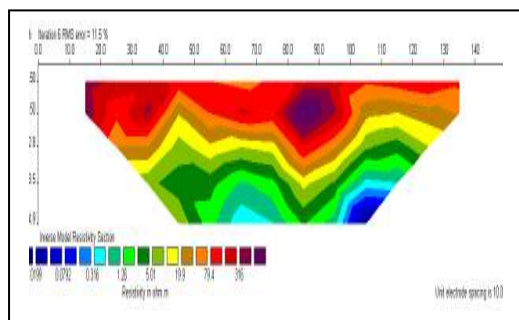
sekitar 2,5 m – 16 m berada di bentangan 15 m – 185 m dan sudut geser sekitar $27^{\circ} - 35^{\circ}$.

Posisi lintasan 3 dapat dilihat pada gambar (12) berikut ini.



Gambar 12. Posisi lintasan 3

Hasil inversi penampang 2D untuk lintasan 3 menunjukkan nilai resistivitas masing-masing lapisan $0,005 \Omega\text{m} - 500 \Omega\text{m}$.



Barat Timur
Gambar 13. Hasil analisa Res2Dinv Lintasan 3

Lintasan 3 merupakan lokasi pengambilan data yang berada pada koordinat 49M 0819076 UTM 9210587 dengan arah dari barat ke timur. Hasil pengolahan data menunjukkan adanya beberapa lapisan batuan dengan nilai resistivitas yang berbeda-beda. Nilai resistivitas $0,005 \Omega\text{m} - 0,5 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai air asin atau air air laut akibat intrusi langsung dari laut pada bagian timur lintasan dengan TDS $> 20000 \text{ mg/L}$. Lapisan ini berada pada bentangan 98 m – 114 m dengan kedalaman 20 m – 24,9 m

Lapisan tanah dengan resistivitas $0,5 \Omega\text{m} - 2 \text{ m}$ menunjukkan lapisan Tanah dengan butiran sedikit atau lempung jenuh dengan TDS berkisar 20000 mg/L .

Bentangan lapisan ini berada di sekitar 48 m – 85 m dan bentangan 89 m – 120 m dengan kedalaman masing-masing yaitu 16 m – 24,9 m

serta 14 – 24,9 m. Lempung jenuh bersifat sangat kohesif dengan memiliki indeks plastisitas tinggi > 17 . Sifat-sifat ini mempengaruhi daya dukung dan kuat geser tanah yang tergantung sudut geser.

Untuk lempung sudut gesernya berkisar $26^{\circ} - 35^{\circ}$ dengan sifat sangat kohesif yang tinggi sehingga kuat geser nya berpengaruh pada nilai daya dukung menjadi besar. Pengaruh ini menyebabkan perubahan volume baik pengurangan atau penambahan ketika kadar air berubah. Dampaknya, pondasi bangunan akan mengalami kerusakan. Namun, konstruksi pondasi bangunan tetap bisa dilakukan dengan melakukan pemadatan atau pemilihan konstruksi pondasi dalam (*deep foundation*), misalnya pondasi tiang pancang.

Nilai resistivitas $2 \Omega\text{m} - 4,5 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai Butiran pasir atau lempung jenuh dengan TDS 10000 mg/L . Resistivitas ini berada pada bentangan sekitar 36 m – 122 m dengan kedalaman 12,8 m – 24,9 m. Lempung jenuh bersifat sangat kohesif dengan indeks plastisitas tinggi > 17 . Kedua sifat ini mempengaruhi daya dukung dan kuat geser tanah yang ditentukan oleh sudut geser.

Lempung memiliki sudut geser berkisar $26^{\circ} - 35^{\circ}$ dengan sifat sangat kohesif yang tinggi sehingga nilai kuat gesernya berpengaruh pada nilai daya dukung menjadi besar. Akibatnya, terjadi perubahan volume baik pengurangan atau penambahan ketika kadar air berubah. Adanya perubahan volume menyebabkan pondasi bangunan akan mengalami kerusakan. Namun, pembangunan pondasi bangunan tetap bisa dilakukan dengan melakukan pemadatan atau pemilihan konstruksi pondasi dalam (*deep foundation*), misalnya pondasi tiang pancang.

Bentangan 33 m – 125 m dengan kedalaman 10 m – 24,9 m memiliki resistivitas sekitar $4,5 \Omega\text{m} - 10 \Omega\text{m}$. Resistivitas ini menunjukkan adanya lapisan tanah kepasiran atau lempung berpasir dengan TDS $10000 - 1500 \text{ mg/L}$ yang merupakan campuran antara lempung dengan pasir, namun didominasi lempung. Sudut geser jenis lempung berpasir sekitar $34^{\circ} - 48^{\circ}$ dengan sifat kohesif dan indeks plastisitas sedang yaitu $7\% - 17\%$. Sudut geser dan sifat tersebut akan menyebabkan kuat

geser dan daya dukungnya bernilai besar. Akibatnya, tanah mudah mengalami penurunan. Pondasi bisa dibuat pada lapisan ini dengan melakukan pemadatan atau pemilihan konstruksi pondasi dalam (*deep foundation*), misalnya pondasi tiang pancang.

Lapisan dengan resistivitas 10 Ωm – 15 Ωm merupakan pasir kerikil dan terdapat lempung (TDS 1500 mg/L) dengan sifat kohesif sebagian dan indeks plastisitas rendah yaitu < 7%. Resistivitas berada di bentangan sekitar 28 m – 130 m dan kedalaman 8 m – 18,5 m serta sudut geser sekitar 35° – 45° .

Untuk resistivitas 15 Ωm – 30 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan pasir kerikil sedikit lempung dengan TDS 1500 – 700 mg/L. Lapisan ini memiliki kedalaman antara 7,5 m – 16 m dengan bentangan antara 25 m – 134 m serta sudut geser sekitar 30° – 40° . Sifat yang dimiliki adalah kohesif sebagian dan indeks plastisitas agak rendah yaitu < 7%.

Jenis lapisan yang berada di bentangan 22 m – 135 m kedalaman 3 m – 14 m memiliki resistivitas 30 Ωm – 70 Ωm . Lapisan ini diinterpretasikan sebagai pasir kerikil sangat sedikit lempung dengan TDS berkisar 100 mg/L. Sifat yang dimiliki kohesif sebagian dengan plastisitas sangat rendah < 7% dengan sudut geser lebih rendah dari 30° – 40° .

Resistivitas 70 Ωm – 100 Ωm berada di kedalaman 2,5 m – 15 m dengan bentangan 20 m – 135 m. Jenis lapisannya adalah lapisan pasir kerikil tidak berlempung (TDS kecil) dengan sifat non kohesi dan non plastisitas sedang yaitu 0% serta memiliki sudut geser sekitar 27° – 35° .

Lapisan yang memiliki nilai resistivitas > 100 Ωm diinterpretasikan sebagai pasir kasar, kerikil tidak berlempung dengan TDS sangat kecil. Sifat lapisan ini adalah non kohesif dan non plastisitas sedang yaitu 0% dengan sudut geser 27° – 35° . Nilai resistivitas ini terpisah dua bagian. Pertama, berada pada bentangan 16 m – 42 m yang memiliki kedalaman sekitar 2,5 m – 9 m. Kedua berada pada bentangan 78 m – 98 m dengan kedalaman sekitar 2,5 m – 10 m.

PEMBAHASAN

Struktur pondasi Bangunan dapat dibuat dengan kuat di lapisan batuan yang tidak

mengandung lempung karena keberadaan lempung mudah menyebabkan perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan ini akan berakibat pada berubahnya daya dukung dan kuat geser tanah sehingga pondasi bisa mengalami kerusakan. Lapisan tanah yang tidak memiliki lempung berada pada rentang 70 Ωm – 100 Ωm yaitu lapisan pasir kerikil tidak berlempung. Lapisan berikutnya yang paling bagus untuk dibangun pondasi memiliki resistivitas > 100 Ωm yang diinterpretasikan sebagai pasir kasar, kerikil tidak berlempung.

Pada lintasan 1 pembuatan pondasi bangunan cukup menggunakan konstruksi pondasi dangkal karena tanah keras berada pada lintasan dengan kedalaman 2,5 m – 15,5 m. Pondasi dangkal ini bisa dibuat pada bentangan 15 m – 92 m dan 118 m – 135 m dengan kedalaman 2,5 m – 15,5 m. Untuk bentangan antara 92 m – 118 m dengan kedalaman 2,5 m – 7,5 m perlu diperhatikan karena merupakan lapisan pasir, kerikil dan sangat sedikit lempung dengan sebuah patahan dibawahnya. Keberadaan lempung yang sangat sedikit dan patahan inilah yang bisa menyebabkan adanya perubahan volum serta pergeseran tanah sehingga merusak pondasi jika pondasi di bangun di atasnya, walaupun kadar TDS bekisar 100 mg/L.

Untuk lintasan 2 pondasi bangunan bisa dibuat cukup menggunakan konstruksi pondasi dangkal pada bentangan 15 m – 185 m karena tanah keras yaitu pasir kerikil tidak berlempung maupun pasir kasar, kerikil tidak berlempung berada di kedalaman 2,5 m – 17,5 m. Hal yang perlu diperhatikan di lintasan 2 yaitu adanya lapisan pasir kerikil sangat sedikit lempung di bentangan antara 15 m – 29 m dengan kedalaman 5 m – 13 m, bentangan 50 m – 65 m kedalaman 3 m – 14 m, bentangan 70 m – 90 m kedalaman 5 m – 8 m, bentangan 150 m – 165 m kedalaman 3 m – 8 m, 176 m – 185 m kedalaman 2,5 m – 3,5 m. Pembuatan pondasi sebaiknya menghindari bentangan lapisan pasir kerikil sangat sedikit lempung di atas karena dikawatirkan akan mengalami perubahan volume dan terjadi pergeseran tanah sehingga merusak pondasi. Pondasi bisa dibangun pada lapisan pasir kasar, kerikil tidak berlempung dan lapisan pasir kerikil tidak berlempung yaitu bentangan 25 m – 50 m dan bentangan 108 m –

151 m serta 159 m – 176 m dengan TDS sangat kecil dan kecil. Ketiga bentangan itu secara berurutan memiliki kedalaman antara 2,5 m – 20 m dan 2,5 m – 12,8 m serta 2,5 m – 8 m. Namun, Jika tetap akan membangun pondasi di lapisan pasir sangat sedikit lempung perlu adanya pemadatan pada bentangan dengan kedalaman-kedalaman tersebut agar tanah tidak mudah mengalami pergeseran.

Pondasi bangunan di lintasan 3 cukup menggunakan konstruksi pondasi dangkal karena tanah keras berada di lintasan dengan kedalaman 2,5 m – 15 m. Pondasi dangkal ini bisa dibuat pada sepanjang bentangan antara 15 m – 135 m dengan lapisan pasir kasar, kerikil tidak berlempung dengan TDS sangat kecil yang bagian bawahnya diikuti lapisan pasir kerikil tidak berlempung. Sebagai bahan pertimbangan bentangan 115 m – 135 m terdapat lapisan Pasir, kerikil, sangat sedikit lempung begitu juga di bentangan 44 m – 46 m dengan kedalaman 3 m – 5 m. Oleh sebab sifat lempung mudah mengalami perubahan volume maka pembuatan pondasi bisa dihindari pada bentangan ini. Namun, jika pondasi dibuat pada bentangan 115 m – 135 m dan 44 m – 46 m disarankan perlu adanya pemadatan, walaupun terdapat sangat sedikit lempung untuk menghindari kerusakan pondasi.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Nilai resistivitas hasil pendugaan di lokasi penelitian bernilai $\pm 0,005 \Omega m$ sampai $2500 \Omega m$. Pondasi dangkal yang digunakan untuk konstruksi bangunan ringan maksimal 3 lantai dapat dibuat pada lapisan dengan kedalaman 2,5 m – 17,5 m. Untuk konstruksi bangunan berat lebih dari 3 lantai digunakan pondasi dalam pada lapisan dengan kedalaman lebih dari $17,5 \Omega m$ sampai mencapai lapisan pasir kerikil tidak berlempung maupun pasir kasar, kerikil tidak berlempung berikutnya.

SARAN

Untuk mendapatkan data perbandingan maka perlu diadakan pengukuran dengan panjang lintasan lebih dari 200 m dan jarak titik ukur 5 m. Hasil penelitian ini menjadi referensi bagi pihak PEMDA Sumenep, swasta maupun masyarakat setempat jika ingin mendirikan bangunan di lokasi penelitian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Bapak Santo sekeluarga yang telah banyak membantu saat pengambilan data dan pengurusan ijin ke pihak berwenang di lokasi penelitian serta Tim Geofisika Sumenep.

DAFTAR PUSTAKA

1. Syamsurizal, dkk. 2013. Aplikasi Metoda Resistivitas Untuk Identifikasi Litologi Batuan Sebagai Studi Awal Kegiatan Pembangunan Pondasi Gedung. *Jurnal: Indonesian Journal of Applied Physics*. Vol.3 No.1 halaman 99
2. M. Das Braja, Terjemahan Endah Noor, B. Mochtar Indrasurya. 1988, *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
3. Susiyanti, N & dkk. 2012. Aplikasi Metode 2D Resistivitas Untuk menyelidiki Intrusi Air Laut di Akuifer Pantai. *Jurnal: Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*.
4. Ismul, H., A. & dkk. 2009. Survei Sebaran Air Tanah dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner di Desa Banjar Sari, Kecamatan Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara. *Jurnal Gradien, Edisi Khusus - Januari 2009: 22-26*
5. Telford et al. 1990. *Aplid Geophysics*. London: Cambridge University Press
6. Kanata, B. & Zubaidah, T. 2008. Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner Schlumberger Untuk Survey Pipa bawah Permukaan. *Jurnal: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram. Vol. 7 No. 2 Juli - Desember 2008*
7. Sakka, 2002. *Metoda Geolistrik Tahanan Jenis*. Makassar: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam – UNHAS
8. Rauf, M & Utama, W. 2009. *Aplikasi Metode Geolistrik untuk menentukan Cadangan*

Fosfat: Studi Kasus Sukolilo, Pati Jawa Tengah. Makalah disajikan dalam seminar nasional Pascasarjana IX – ITS, Surabaya 12 Agustus

9. Hardiyatmo, Harry C. 2006. Yogyakarta: Gadjra Mada University Press