

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Geolistrik

Ilmu geofisika mempelajari tentang pengukuran sifat fisis di bawah permukaan bumi. Geofisika mempelajari tentang material-material bumi berdasarkan pengukuran sifat fisik pada material yang diuji, baik itu yang dapat terlihat langsung maupun tidak langsung (Dobrin dan Savit., 1998). Dalam penerapannya, geofisika berfokus pada pendekteksian sifat fisis di dalam bumi seperti kerapatan, sifat magnet, tahanan jenis, dan elastisitas. Variabel-variabel tersebut kerap diukur untuk digunakan dan ditafsirkan pada struktur lapisan tanah, rembesan isi air, mutu air, dan massa jenis batuan (Todd, 1959). Dengan menggunakan asumsi bahwa bumi tersusun atas lapisan batuan yang memiliki nilai resistivitas yang berbeda, maka beda potensial dapat di ukur pada titik pengambilan data.

Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*direct current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Umumnya metode resistivitas ini baik untuk eksplorasi dangkal, yaitu sekitar 100 meter. Jika ke dalam lapisan lebih dari rentang tersebut, informasi yang diperoleh kurang akurat. Hal ini disebabkan melemahnya arus listrik untuk jarak bentang yang semakin besar (Santoso, J., 2002).

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini bersifat statik dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Pada metode ini arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua buah elektroda arus. Dengan diketahui nilai arus potensial maka bisa ditentukan nilai resistivitas. Berdasarkan nilai resistivitas lapisan bawah permukaan bumi, dapat diketahui jenis material pada lapisan tersebut (Telford dkk, 1990).

Berdasarkan teknik dalam pengukuran geolistrik, dikenal dua teknik pengukuran yaitu metode geolistrik resistivitas *mapping* dan *sounding (drilling)*.

Metode geolistrik resistivitas *mapping* merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas pada lapisan bawah permukaan secara horizontal. Metode geolistrik resistivitas *sounding* bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal (Reynold, J. M., 1997).

2.2 Sifat Kelistrikan Batuan dan Mineral

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi elektronik, konduksi elektrolitik, dan konduksi dielektrik (Telford dkk, 1990) :

1. Konduksi elektronik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut.

2. Konduksi elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Batuan biasanya bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, bahwa konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang.

3. Konduksi dielektrik

Konduksi pada batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar maka elektron dalam bahan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti, sehingga terjadi polarisasi.

Berdasarkan harga tahanan jenis (ρ) resistivitas batuan dan mineral bumi diklasifikasikan menjadi tiga yaitu (Telford, 1990):

- Konduktor baik: $10^8 < \rho < \Omega m$
- Konduktor buruk: $1 < \rho < 10^7 \Omega m$
- Isolator: $\rho > 10^7 \Omega m$

2.3 Tahanan Jenis Semu

Tahanan jenis semu (ρ_a) merupakan nilai yang diperoleh pembaca nilai potensial di permukaan dengan asumsi seolah medium tersebut homogen. Konsep tahanan jenis semu sangat berguna dalam aplikasi geolistrik di lapangan. Nilai tahanan jenis semu yang dihasilkan dalam setiap konfigurasi akan selalu berbeda walaupun jarak antar elektroda sama. Tahanan jenis semu secara matematis ditulis sebagai (Lutfiana, H., 2019).

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad 2.2$$

Pada persamaan parameter yang berdimensi jarak (K) yaitu:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad 2.3$$

Dengan demikian resistivitas semu ρ_a dapat ditulis sebagai:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad 2.4$$

Dengan : ρ_a = Resistivitas semu (dalam satuan Ωm)

ΔV = Beda potensial (dengan satuan V)

I = Kuat arus (dalam satuan A)

r_1 = Spasi C_1 ke P_1 (m)

r_2 = Spasi C_2 ke P_1 (m)

$$r_3 = \text{Spasi } C_1 \text{ ke } P_2 \text{ (m)}$$

$$r_4 = \text{Spasi } C_2 \text{ ke } P_2 \text{ (m)}$$

2.4 Resistivitas Batuan dan Mineral

Nilai resistivitas suatu bahan tergantung pada unsur seperti material penyusunnya, ukuran, bentuk, dimensi, ruang pori, kandungan air, serta suhu. Sehingga nilai resistivitas untuk setiap batuan bervariasi, tergantung pada unsur penyusunnya.

Tabel 2.1 Resistivitas Beberapa Material Bumi

Tanah/Batuan	Resistivitas (Ωm)
Tanah penutup	250 – 1700
Serpihan padat	20 – $2 \cdot 10^3$
Lanau	10 – 200
Batupasir	1 – $6,4 \cdot 10^8$
Lempung basah tidak padat	20
Batulumpur	3 – 70
Lempung	1 – 100
Lempung pasir / pasir lempungan	80 – 1050
Alluvium dan pasir	10 – 800
Pasir	1 – 10^3
Kerikil	100 – 600
Air tanah	0,2

(Sumber : Telford dkk., 1990)

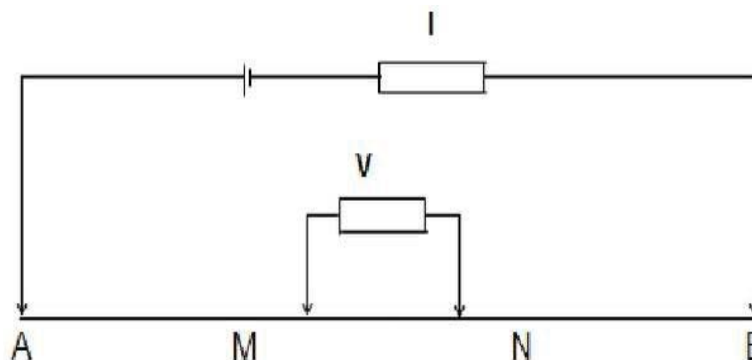
2.5 Konfigurasi Elektroda *Schlumberger*

Konfigurasi *Schlumberger* diambil dari nama perintisnya yaitu Conrad Schlumberger pada tahun 1920-an. Konfigurasi ini memiliki keunggulan yaitu dapat mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan permukaan dengan cara membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak elektroda

MN/2. Kelemahan dari metode ini yaitu tidak dapat mendeteksi homogenitas batuan di dekat permukaan. Metode ini sangat bergantung pada jarak elektroda MN dan elektroda AB yang tepat dan alat ukur multimeter yang memiliki keakuratan membaca nilai tegangan minimal 2 sampai 4 digit desimal serta pengirim arus listrik dengan tegangan DC yang sangat tinggi (Muallifah, F., 2009).

Konfigurasi ini dikenal dengan metode sounding dikarenakan dapat mengetahui variasi tahanan jenis batuan terhadap kedalaman. Jarak antar elektroda diperbesar dalam suatu arah bentangan pada suatu titik tertentu. Pada pengukuran nilai resistivitas metode sonding, jarak spasi antar elektroda di perbesar secara bertahap pada tiap kedalaman. Mulai dari harga a kecil sampai harga a besar, untuk satu titik sonding tergantung pada kemampuan alat yang dipakai. Semakin besar arus yang di dihasilkan di dampingi dengan semakin sensitif kemampuan alat membaca besar beda potensial yang terdapat di bawah permukaan, maka semakin dalam lapisan yang dapat teridentifikasi dengan cara memperbesar jarak spasi elektroda yang digunakan (Ivansyah, O., dkk. 2020).

Konfigurasi Schlumberger bertujuan untuk mengidentifikasi diskontinuitas lateral (anomali konduktif lokal). Arus diinjeksikan melalui elektroda AB, dan pengukuran beda potensial dilakukan pada elektroda MN dimana jarak elektroda arus (AB) jauh lebih besar dari jarak elektroda tegangan (MN) (Reynolds 1997; Telford, dkk.1990).



Gambar 2.1 Susunan elektroda konfigurasi schlumberger (Reynolds 1997; Telford, dkk.1990).

2.6 Soundir

Cone penetration test (CPT) atau tes soundir telah lama populer di Indonesia karena relatif mudah pemakaiannya, ekonomis dan dapat memberikan gambaran profil tanah secara terus menerus meskipun dalam taraf kualitatif. Alat tes soundir terdiri atas silinder besi dengan ujung berbentuk kerucut yang dikenal dengan nama konus yang ditekan ke dalam tanah secara vertikal, kemudian tahanan konus dan gesekan samping diukur secara terus menerus. Metode ini dikembangkan di Swedia pada tahun 1917 oleh Swedish State Railways, dan kemudian oleh Danish Railways (1927) (Naim dkk, 2016).

Pengujian soundir test merupakan salah satu pengujian penetrasi yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah pada setiap lapisan serta mengetahui kedalaman lapisan pendukung yaitu lapisan keras. Soundir adalah alat berbentuk silinder dengan ujung berupa konus. Biasanya dipakai adalah *bi-conus type* bagaimana yang dilengkapi dengan selimut/jaket untuk mengukur hambatan pelekat lokal (*side friction*) dengan dimensi sebagai berikut:

- a. sudut kerucut konus : 60°
- b. luas penampang konus : 10.00 cm^2
- c. luas selimut/jaket : 150 cm^2

Dalam uji soundir, stang alat ini di tekan ke dalam tanah dan kemudian perlawanan tanah terhadap ujung soundir (tahanan ujung) dan gesekan pada selimut silinder diukur. Alat ini telah lama di Indonesia dan telah digunakan hampir pada setiap penyelidikan tanah pada pekerjaan teknik sipil karena relatif mudah pemakaiannya, cepat, dan ekonomis. Teknik pendugaan lokasi atau kedalaman tanah keras dengan sumbu batang telah lama digunakan sejak zaman dulu. Versi mula-mula dari teknik pendugaan ini telah dikembangkan di Swedia pada tahun 1917.

Teknologi CPT menghasilkan pengujian yang cepat, data yang dapat dipercaya dan biaya yang tidak mahal jika di bandingkan dengan tradisional *site charateriction* selain CPT serta cocok untuk *soft soil investigation*. Metode daya dukung tiang berdasarkan data CPT memberikan hasil perhitungan daya dukung

ujung tiang dan daya dukung selimut tiang yang berbeda-beda. Karena itu diperlukan evaluasi terhadap metode tersebut sehingga didapat nilai daya dukung tiang yang mendekati nilai sesungguhnya (Bachtiar, V., 2012).

Tes soundir disebut juga dengan *cone penetration test* (CPT). Jenis tes ini sering dilakukan untuk memperkirakan besarnya daya dukung tanah pada pondasi dalam. Meskipun demikian, kadang-kadang digunakan juga untuk memperkirakan daya dukung pondasi dangkal. Pengujian dilakukan dengan mendorong konus (kerucut) kedalam tanah dan perlawanan tanah terhadap ujung konus maupun lekatan tanah terhadap selimut batang konus diukur, sehingga didapatkan nilai tahanan ujung (q_c) dan lekatan selimut (f_s) (Wandira, R.S., dkk, 2019).

2.6.1 Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah adalah suatu cara pengelompokan tanah berdasarkan sifat dan ciri tanah yang sama atau hampir sama kemudian diberi nama agar mudah dikenal. Klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya, yang didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisa saring dan plastisitasnya (Fathurrozi dan Rezqi, 2016).

Berdasarkan hasil analisa distribusi partikel dan batas-batas *Atterbag*, tanah dapat diklasifikasikan dalam golongan yang terdapat sistem klasifikasi tanah, ialah USCS (*unifiel soil classification system*) (Fathurrozi dan Rezqi, 2016). Berdasarkan sistem USCS, tanah diklasifikasikan dalam tanah butir kasar dan tanah butir halus. Tanah butir kasar dibagi ke dalam krikil, dinotasikan sebagai G (dari kata *gravel*) dan pasir (S = *sands*). Setiap kelompok tanah dibagi ke dalam empat golongan yaitu:

- Bergradasi baik dan cukup bersih artinya hanya sedikit kandungan material berbutir halus-dinotasikan W (*well graded*).
- Bergradasi buruk dan cukup bersih – di notasikan P (*poorly graded*).
- Bergradasi baik dengan lempung sebagai pengikat dinotasikan C (*clay*).
- Berbutir kasar dan mengandung tanah berbutir halus - dinotasikan M (*silt*).

Tanah berbutir halus dibagi kedalam:

- Tanah lanau anorganik (tidak mengandung material organik) dan tanah yang mengandung pasir yang berbutir sangat halus - dinotasikan M (*silt*).
- Tanah lempung anorganik dinotasikan C (organik).
- Tanah lanau dan lempung organik dinotasikan O (organik).
- Tanah dengan kadar organik yang sangat tinggi dinotasikan Pt (*peat*).

Ketiga golongan berbutir halus dibagi lagi kedalam beberapa golongan berdasarkan batas cairnya, yaitu (Hardiyatmo, 2001).

- Batas cair < 50 %, digolongkan kedalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas rendah hingga sedang dinotasikan L (*low compressibility*).
- Batas cair > 50 %, digolongkan kedalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas tinggi dinotasikan H (*high compressibility*).

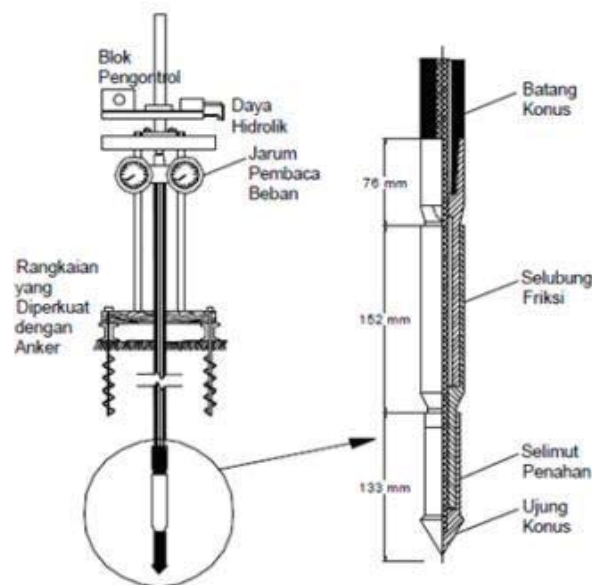
Tabel 2.2 Korelasi penetrasi tiang *Jack-in* dan Penetrasi Bikonus

Hasil soundir (Kg/Cm ²)		Klasifikasi tanah	a''
qc	fs		
<6	0.15 – 0.40	<i>Very soft clay</i>	1
6 – 10	0.20 – 0.60	<i>Soft clay</i>	1
	0.10 – 0.40	<i>Loose sand</i>	0.6
10 – 30	0.40 – 0.80	<i>Silty clay</i>	0.6
	0.80 – 2.00	<i>Springy rather clay</i>	0.7
30 – 60	<1.00	<i>Silty sand</i>	0.6
	1.00 – 3.00	<i>Springy clay</i>	0.7
60 – 150	<1.00	<i>Sandy gravel</i>	0.3
	1.00 – 3.00	<i>Solid sand or salty sand</i>	0.15
>150	1.00 – 200	<i>Solid sand or logh sand</i>	-

(Sumber : Tandiputera, A.G., dkk 2018)

Tata cara penggunaan soundir di Indonesia diberikan standar dalam standar nasional Indonesia 03-2827-1992. Penggunaan standar ini untuk menerapkan

pengujian dengan soundir telah cukup memadai, kecepatan penetrasi yang disarankan adalah 1 hingga 2 cm/detik. Untuk tanah lunak, disarankan digunakan kecepatan 0.5 m/detik. Detil dari alat penetrometer ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Naim dkk, 2016).



Gambar 2.2 Alat soundir *cone penetration test*, (Naim dkk, 2016)

2.6.2 Konsistensi tanah

Kuat lemahnya suatu gaya kohesi dan adhesi antar partikel penyusun tanah menunjukkan nilai konsistensi tanah. Konsistensi menggambarkan mudah tidaknya tanah hancur oleh suatu tekanan atau beban. Nilai konsistensi tanah sebanding dengan tanah konus (q_c) dan *undrained cohesion* (c). Kondisi tanah akan semakin keras seiring dengan tingginya nilai c (Pratiwi, M., dkk, 2021).

2.6.3 Uji penetrasi kerucut *cone penetration test*

Uji penetrasi kerucut CPT dilakukan untuk mengukur perlawanan tanah pada ujung soundir (soundir ujung) dan gesekan selimut soundir (hambatan lekat). Rasio antara tanah konus (q_c) dan rasio gesekan (Fr) dapat dipergunakan untuk jenis lapisan tanah.

$$Fr = \frac{fs}{qc} \times 100\% \quad 2.1$$

Keterangan:

Fr = rasio gesekan (%)

fs= tahanan gesekan (kg/cm²)

qc= tahanan konus (kg/cm²)

2.6.4 Hubungan CPT dengan lapisan tanah.

Bowles, J. E., (1997), menerangkan bahwa *cone penetration test* (CPT) adalah uji sederhana yang dipakai semakin luas untuk lempung lunak dan pasir halus sampai pasir setengah kasar. Pengujian ini tidak ditetapkan pada lapisan berkerikil dan lempung kaku/keras. Data yang dikumpulkan ialah tahanan ujung (qc) dan tahanan jenis (qs). Keuntungan khusus CPT adalah untuk mendapatkan profil yang menerus sejauh tidak ditemui tanah atau batuan yang sangat keras untuk kedalaman yang diamati. Uji ini juga sangat cepat manakah yang dipakai peralatan perolehan data elektronik. Data CPT dipakai untuk menetapkan kapasitas yang didukung diperbolehkan dan untuk merancang tiang pancang Tabel 2.2 menerangkan tentang hubungan *cone penetration test* dengan kepadatan tanah.

2.6.5 Faktor koreksi terhadap hambatan lekat sondir

Gunawan, S., dan Iswara, R. P., (2008) menjelaskan bahwa diperlukan faktor koreksi terhadap hambatan lekat soundir (fs) apabila ingin menggunakan data soundir untuk memprediksi daya dukung tiang pada saat pelaksanaan. Hasil penelitian menunjukkan pada tanah lempung nilai faktor koreksi akan berkurang sejalan dengan bertambahnya nilai hambatan konus (qc). Sedangkan pada tanah pasir faktor koreksi akan bernilai minus karena nilai hambatan konus pada hasil soundir meningkat akibat adanya sisipan pasir.