

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Prinsip Dasar Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dengan nilai resistivitas bawah permukaan. Prinsip dari metode ini adalah menginjeksikan arus dari permukaan ke bawah permukaan dengan menggunakan *transmitter* berupa elektroda arus dan mencatat potensi bawah permukaan dengan menggunakan *receiver* berupa elektroda potensial [5]. Pada dasarnya arus yang diinjeksikan akan mengalir ke batuan melalui pori atau mineral dari batuan. Arus mengalir dengan mudah di batuan yang memiliki sifat konduktif [6]. Saat arusnya mengalir dalam suatu batuan maka batuan tersebut memiliki sifat resistif. Metode resistivitas dapat diterapkan pada beberapa kasus yaitu mineral dan pertambangan, investigasi lingkungan, deteksi air tanah, dan persoalan geoteknik [7].

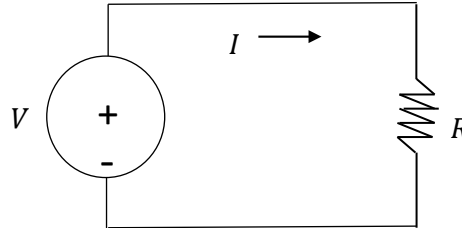
Pada dasarnya metode geolistrik memiliki dua teknik pengukuran yaitu secara *mapping* dan *sounding*. *Sounding* merupakan sebuah teknik metode geolistrik yang memperlihatkan nilai resistivitas batuan di bawah permukaan secara vertikal, sedangkan *mapping* merupakan teknik metode geolistrik yang memperlihatkan nilai resistivitas batuan secara horizontal. Pada metode geolistrik ini semakin panjang lintasan maka lapisan batuan yang terdeteksi semakin dalam. Metode ini juga dapat digunakan untuk melihat struktur bawah permukaan termasuk di dalamnya untuk mendeteksi kedalaman lapisan keras. Metode geolistrik pada penelitian ini metode geolistrik yang dipakai yakni metode resistivitas dengan menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.

2.1.1 Hukum Ohm

Konsep dasar metode resistivitas adalah Hukum Ohm. Pada tahun 1826 George Simon Ohm mencoba sebuah percobaan untuk mencari perbedaan antara tegangan V pada penghantar dan arus I dengan melalui penghantar yang masih masuk

karakteristik parameter penghantar. Hubungan resistansi, kuat arus, dan tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Parameter tersebut merupakan resistansi R , merupakan hasil bagi tegangan V dan arus I , sehingga dituliskan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$



Gambar 2.1 Rangkaian listrik sederhana resistansi [8].

R merupakan resistansi bahan (ohm), I merupakan besar kuat arus (ampere), dan V merupakan besar tegangan (volt). Hukum Ohm mengartikan terhadap potensial atau tegangan antara ujung penghantar merupakan hasil kali resistansi dengan kuat arus. Resistansi merupakan konstan (tetap) dan tidak tergantung arus.

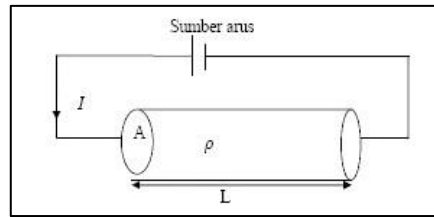
Apabila persamaan yang digunakan pada suatu medium untuk mendapatkan nilai resistivitas di mana medium yang tidak homogen akan terukur nilai tahanan jenis yang sesungguhnya, sedangkan untuk medium yang homogen akan terukur nilai tahanan jenis semu. Jika ditinjau suatu kawat dengan panjang L (meter), luas penampang A (m^2), dan resistivitas ρ (ohm.meter), maka resistansi R dapat dirumuskan [8]

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

Substitusi persamaan (2.1) dan (2.2), sehingga diperoleh persamaan resistivitas,

$$\rho = \frac{V}{I} \frac{A}{L} \quad (2.3)$$

Hubungan resistansi R suatu kawat dengan panjang L (m), luas penampang A (m^2), dan resistivitas ρ (Ωm), dan potensial V dapat dilihat pada Gambar 2.2.

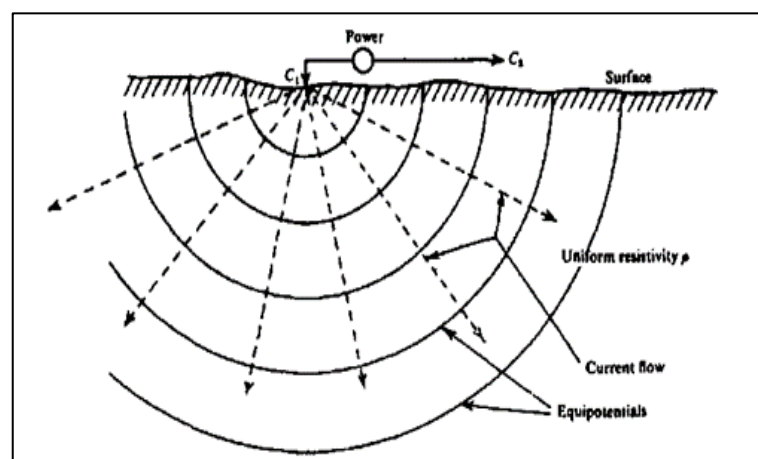


Gambar 2.2 Gambaran arus listrik melalui medium homogen [8].

Pada saat pengukuran di lapangan, nilai tahanan jenis semu bergantung pada pada tahanan jenis setiap lapisan batuan yang terukur dan konfigurasi elektroda yang digunakan. Batuan penyusun dalam bumi memiliki fungsi sebagai resistor terhadap nilai tahanan jenis sederhana dengan mengartikan bahwa mediumnya termasuk medium yang homogen isotropis [9].

2.1.2 Penjalaran Arus Dalam Bumi

Penjalaran arus dalam bumi dapat dibedakan menjadi dua yaitu potensial arus tunggal dan potensial oleh dua sumber arus di dalam bumi. Pada model bumi homogen isotropis, dapat dikatakan elektroda C tersambung dengan elektroda lain di permukaan dengan jarak cukup jauh. Elektroda C dapat dikatakan sebagai titik sumber yang menghantarkan arus listrik ke segala arah di dalam bumi dengan adanya hambatan jenis. Equipotensial di setiap titik membentuk permukaan bola dengan jari – jari r dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi aliran arus untuk sumber tunggal [10].

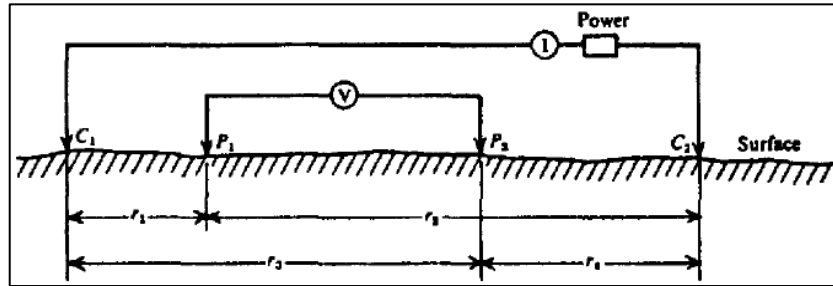
Pada ilustrasi aliran arus tunggal untuk sumber tunggal yang keluar dari titik sumber membentuk setengah bola di bawah permukaan dengan adanya medan kontur ekuipotensial berdasarkan sumber Telford didapatkan persamaan harga potensial berikut

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (2.4)$$

dengan ΔV = beda potensial (volt), I = kuat arus (ampere) yang dilalui oleh suatu media. Berdasarkan persamaan (2.4), nilai resistivitas listrik yang diberikan oleh medium tersebut yaitu

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.5)$$

Adapun potensial listrik oleh dua sumber arus di dalam bumi ketika jarak antara dua elektroda arus telah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Ilustrasi dua elektroda arus dan potensial [10].

Mengacu pada persamaan (2.4), besar potensial di titik P_1 (V_1) akibat sumber arus C_1 dan C_2 yaitu

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.6)$$

dengan rumus yang sama, potensial di titik P_2 (V_2) akibat sumber arus C_1 dan C_2 yaitu

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.7)$$

sehingga beda potensial antara titik P_1 dan P_2 adalah

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (2.8)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan (2.8) diperoleh persamaan resistivitas pada sumber arus ganda (sumber arus C_1 dan C_2), yaitu

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.9)$$

dengan,

$$k = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (2.10)$$

Keterangan:

ΔV : beda potensial antara P_1 dan P_2 (V)

I : kuat arus yang melalui elektroda arus C_1 dan C_2 (A)

k : faktor geometri (m)

ρ : resistivitas (Ωm)

r_1 : jarak antara C_1 dan P_1 (m)

r_2 : jarak antara C_2 dan P_1 (m)

r_3 : jarak antara C_1 dan P_2 (m)

r_4 : jarak antara C_2 dan P_2 (m)

2.1.3 Konsep Resistivitas Semu

Pada umumnya medium yang berada di bawah permukaan tanah yaitu tidak homogen, sehingga nilai anomali yang diperoleh dari objek yang berada di bawah permukaan tanah yang didapatkan resistivitas semu (ρ_a). Nilai resistivitas semu bergantung pada pemasangan elektroda dengan nilai faktor geometri (k) yang berbeda setiap konfigurasi (k), beda potensial (ΔV) yang terukur dan arus (I) yang diinjeksi. Persamaan resistivitas semu merujuk pada persamaan (2.9) yaitu

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.11)$$

Keterangan:

ρ_a : resistivitas semu (Ωm)

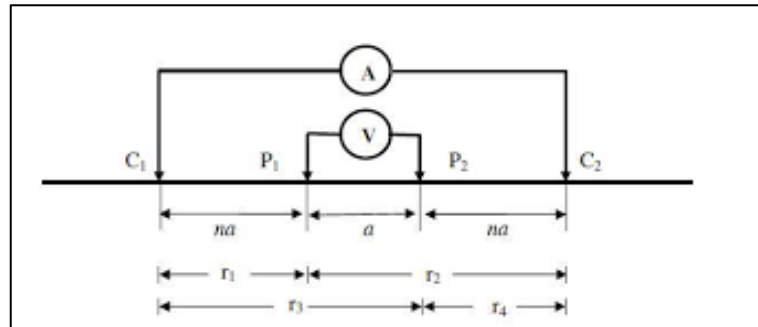
k : faktor geometri (m)

ΔV : beda potensial (V)

I : arus listrik (A)

2.2 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan salah satu konfigurasi yang digunakan dalam metode geolistrik dengan gabungan metode antara konfigurasi *Wenner* dan *Schlumberger*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan spasi yang konstan dengan perbandingan jarak antara $C_1 - P_1 - P_2 - C_2$ di mana nilai $C_1 - P_1$ maupun $P_2 - C_2$ merupakan na , sedangkan jarak antara $P_1 - P_2$ merupakan bernilai spasi a , sehingga pada saat n meningkat seiring lebih dalam di bawah permukaan tanah maka nilai menjadi $2na$ dan seterusnya. Pada saat jumlah n bertambah maka nilai sensitifitas positif yang tinggi berada di antara $P_1 - P_2$ menyebar mendekati $C_1 - C_2$. Konfigurasi ini memiliki sensitifitas yang baik untuk melihat penampang model bawah permukaan secara vertikal. Konfigurasi untuk survei kedalaman baik digunakan untuk survei geoteknik salah satunya untuk mencari lapisan keras di bawah permukaan untuk fondasi bangunan. Pengaturan elektroda pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* [11].

Faktor geometri dari konfigurasi *Wenner-Schlumberger* berdasarkan persamaan (2.10) yaitu

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

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{\left(\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(a+na)} \right) - \left(\frac{1}{(a+na)} - \frac{1}{na} \right) \right)} \right)$$

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{\left(\left(\frac{(a+na)-na}{na(a+na)} \right) - \left(\frac{na-(a+na)}{na(a+na)} \right) \right)} \right)$$

$$\begin{aligned}
k &= 2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{a}{(na^2 + (na)^2)} + \frac{a}{(na^2 + (na)^2)} \right)} \right) \\
k &= 2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{2a}{(n + n^2)a^2} \right)} \right) \\
k &= 2\pi \left(\frac{1}{\left(\frac{2}{(n + n^2)a} \right)} \right) \\
k &= \left(\frac{2\pi}{\left(\frac{2}{(n + n^2)a} \right)} \right) \\
k &= \pi a(n + n^2)
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Keterangan:

k : faktor geometri (m)

r_1 dan r_4 : (na)

r_2 dan r_3 : ($a + na$)

2.3 Sifat Kelistrikan Batuan

Setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri dalam hal sifat kelistrikan. Pada dasarnya batuan memiliki sifat batuan dalam bentuk resistivitas yang menunjukkan kemampuan untuk menghantarkan arus listrik yang berasal dari alam maupun arus yang diinjeksikan dari instrument. Semakin besar nilai resistivitas pada batuan maka batuan tersebut sulit untuk menghantarkan arus listrik [12].

Batuan dan mineral yang ada di dalam bumi memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda-beda karena beberapa faktor yaitu porositas, permeabilitas, kepadatan batuan, umur batuan, jumlah mineral yang dikandung, kandungan elektrolit, sehingga nilai dari tahanan jenis suatu batuan tidak ada yang pasti. Nilai resistivitas suatu material yang ada di dalam bumi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Resistivitas material-material bumi [9].

Material	Resistivitas (Ωm)
Pirit (<i>pyrite</i>)	0,01 – 100
Kwarsa (<i>quartz</i>)	$500 - 8 \times 10^5$
Kalsit (<i>calcite</i>)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$

Garam batu (<i>rock salt</i>)	$30 - 1 \times 10^{13}$
Granit (<i>granite</i>)	$200 - 1 \times 10^5$
Andesit (<i>andesite</i>)	$1,7 \times 10^2 - 4,5 \times 10^4$
Basal (<i>basalt</i>)	$10 - 1,3 \times 10^7$
Batu gamping (<i>limestones</i>)	$500 - 1 \times 10^4$
Batu pasir (<i>sandstones</i>)	200 – 8000
Batu tulis (<i>shales</i>)	20 – 2000
Pasir (<i>sand</i>)	1 – 1000
Lempung (<i>clay</i>)	1 – 100
Air tanah (<i>ground water</i>)	0,5 – 300
Air laut (<i>sea water</i>)	0,2
Magnetit (<i>magnetite</i>)	0,01 – 1000
Kerikil kering (<i>dry gravel</i>)	600 – 1000
Aluvium (<i>alluvium</i>)	10 – 800
Kerikil (<i>gravel</i>)	100 – 600

Batuan dan mineral mempunyai aliran listrik yang dibagi menjadi 3 macam di antaranya adalah konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolit, dan konduksi secara dielektrik [13]. Macam-macam aliran listrik pada batuan yang terbagi menjadi 3 adalah sebagai berikut:

1. Konduksi secara elektronik

Konduksi secara elektronik yaitu batuan maupun mineral mempunyai banyak elektron bebas dengan mempengaruhi arus listrik yang mengalir dalam batuan merupakan elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat batuan tersebut merupakan resistivitas.

2. Konduksi secara elektrolit

Konduksi secara elektrolit yaitu batuan ataupun mineral bersifat porous dengan pori yang terkandung di dalamnya merupakan fluida. Batuan tersebut pada saat ion-ion elektrolitik di dalam air mendeteksi arus, sehingga mengakibatkan adanya konduktor elektrolit. Nilai konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak.

3. Konduksi secara dielektrik

Konduksi secara dielektrik terjadi karena batuan maupun mineral bersifat dielektrik, sehingga aliran arus listrik pada batuan tersebut memiliki elektron bebas sedikit bahkan tidak ada. Batuan yang memiliki elektron berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik dari luar.

2.4 Pemodelan Geofisika

Pemodelan geofisika terdiri atas dua jenis pemodelan di antaranya *inverse modeling* dan *forward modeling*. *Forward modeling* merupakan pemodelan yang parameter matematis yang diturunkan berdasarkan konsep fisika dari permasalahan yang ada. Proses pendekatan terhadap data lapangan untuk mendapatkan respon model dilakukan dengan proses uji coba pada nilai parameter model yang diubah, sedangkan *inverse modeling* merupakan proses pengolahan data lapangan yang diselesaikan dengan proses matematis untuk mendapatkan informasi mengenai persebaran sifat fisis yang berada pada bawah permukaan [14]. Proses inversi memiliki tujuan untuk mencari model yang mirip dengan nilai pengukuran saat di lapangan. Inversi baik digunakan untuk memperkirakan model dengan data observasi dengan menerapkan fungsi selisih antara data yang terukur dengan data observasi. Secara umum, hubungan antara data dengan parameter model yang tidak linear dapat dinyatakan dengan persamaan [15]

$$d = g(m) \quad (2.13)$$

Keterangan:

d : data

g : fungsi pemodelan kedepan

m : parameter model

2.5 Tinjauan Batuan Dasar, Tanah dan Fondasi

Batuan dasar merupakan salah satu komponen yang ada di bawah permukaan yang dapat dimanfaatkan dalam menentukan konstruksi bangunan. Batuan dasar memiliki keterkaitan erat dengan fondasi sebuah bangunan. Fondasi bangunan adalah sebuah faktor krusial dari bangunan karena fondasi meneruskan beban bangunan ke tanah. Bangunan tidak akan terpengaruh secara signifikan jika beban

bangunan kurang dari daya dukung kekuatan tanah. Namun sebaliknya, bangunan akan runtuh jika beban bangunan lebih besar dari pada daya dukung kapasitas tanah. Oleh karena itu, penempatan fondasi memiliki kualitas yang baik terhadap batuan dasar, sehingga dapat menjaga stabilitas, kekokohan, dan kekuatan sebuah bangunan, sehingga batuan dasar dapat mempengaruhi kualitas bangunan [16].

Tanah merupakan susunan dari kumpulan benda alam yang ada permukaan bumi dalam bentuk perlapisan yang terdiri dari campuran bahan mineral, bahan organik, air, dan udara. Tanah dapat didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral padat yang terikat secara kimia satu sama lain dengan ruang-ruang kosong antar butir yang diisi oleh zat cair dan gas [17]. Tanah untuk fondasi memiliki kriteria sendiri terhadap bangunan di antaranya hasil eksplorasi tanah, perkiraan muai dan susut, perkiraan standar kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing, perkiraan pemilihan bahan, perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi, pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi, rencana pekerjaan pembuatan lereng dan tembok tanah, dan lain sebagainya [18].

Fondasi merupakan struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah yang berada di bawah permukaan tanah dengan mempunyai fungsi untuk memikul beban bagian bangunan yang ada di atasnya. Fondasi harus diperhitungkan, sehingga dapat menjamin kestabilan terhadap berat bangunan sendiri maupun faktor gaya luar seperti gempa bumi, tekanan angin, dan sebagainya [19]. Fondasi dapat dikategorikan menjadi dua yakni fondasi dalam dan fondasi dangkal. Fondasi dangkal digunakan apabila bangunan yang berada di atas permukaan tanah tidak terlalu besar seperti rumah, sedangkan fondasi dalam merupakan fondasi di mana tertanam pada bangunan di atas tanah yang lunak. Fondasi ini dipakai pada bangunan yang bertingkat [19].

Prosedur dalam mengenai fondasi dilakukan untuk menambah informasi yang harus diperoleh sebelum adanya penyelidikan tanah untuk melakukan pembangunan di antaranya informasi mengenai keadaan saat di lapangan seperti topografi, vegetasi, bangunan, jalan akses, dan lain-lain. Informasi penting yang dipertimbangkan antara lain kondisi geologi, kegempaan regional, besarnya beban dari struktur, dan peraturan setempat [20].