BAB II

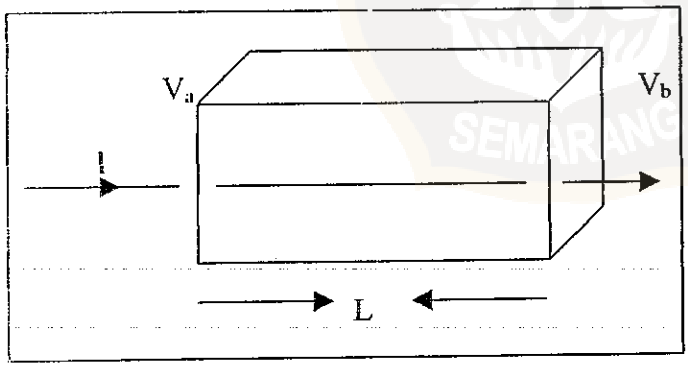
DASAR TEORI

2.1. Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Metode ini meliputi pengukuran beda potensial listrik dan arus listrik yang terjadi akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus. Perbedaan potensial listrik diukur melalui sepasang elektroda potensial. Hal ini sesuai dengan hukum Ohm yang menyatakan bahwa dalam suatu medium yang homogen isotropik terdapat hubungan antara rapat arus dan intensitas medan listrik (Telford, 1976):

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \tag{2.1}$$

Dengan **J** adalah rapat arus (A/m^2), σ adalah konduktivitas medium (mhos/meter), dan **E** adalah intensitas medan listrik (V/m).



Gambar 2.1 Aliran listrik dalam medium (Telford, 1976)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dimisalkan medium mempunyai luas penampang A dan panjang L dialiri arus sebesar I, V_a dan V_b adalah potensial listrik di ujung-ujungnya (gambar 2.4), potensial akan berkurang sepanjang L, maka akan didapat:

$$\mathbf{E} = -\frac{\delta V}{\delta x} \tag{2.2}$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V \tag{2.3}$$

karena

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \tag{2.4}$$

$$= -\sigma\left(\frac{\delta V}{\partial x}\right) \tag{2.5}$$

Dengan I, σ, A adalah konstan, maka akan diperoleh persamaan dengan cara pengintegralan terhadap potensial, yaitu:

$$\mathrm{I} = \frac{\sigma(Va - Vb)}{L}\mathrm{A} \tag{2.6}$$

Jika $\sigma = \frac{1}{\rho}$, maka dapat ditunjukkan secara eksplisit besarnya resistivitas medium, dengan persamaan (Telford, 1976):

$$\rho = \frac{\Delta V}{I}\,\frac{A}{L} \tag{2.7}$$

$$= \mathrm{K}\,\frac{\Delta V}{I} \tag{2.8}$$

dengan ρ adalah resistivitas (Ωm), K adalah faktor geometri (m), ΔV adalah beda potensial (mV), dan I adalah arus listrik (mA).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.1.1 Distribusi Potensial dalam Medium Homogen

Sesuai dengan hukum Ohm yang menyatakan bahwa terdapat hubungan antara rapat arus dan medan listrik dan dengan menganggap medium yang dilalui arus adalah medium homogen isotropik sesuai persamaan (2.1).

Medan listrik merupakan gradien potensial skalar (Telford,1976):

$$\mathbf{E} = -\nabla V \tag{2.9}$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.9) diperoleh:

$$\mathbf{J} = -\sigma \nabla V \tag{2.10}$$

Berdasarkan hukum kekekalan muatan, bahwa tidak ada arus yang keluar ataupun arus yang masuk sehingga muatannya tetap.

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = -\nabla \cdot \nabla (\sigma V) = 0 \tag{2.11}$$

maka $$\nabla^2 V = 0 \tag{2.12}$$

jadi distribusi potensial dalam medium homogen isotropik memenuhi pesamaan Laplace. Dalam koordinat bola operator Laplacian berbentuk :

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left[r^2\frac{\partial V}{\partial r}\right] + \frac{1}{r^2 \sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}\left[\sin\theta\frac{\partial V}{\partial \theta}\right] + \frac{1}{r^2 \sin^2\theta}\frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} = 0 \tag{2.13}$$

dimana: $$\frac{1}{r^2 \sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}\left[\sin\theta\frac{\partial V}{\partial \theta}\right] + \frac{1}{r^2 \sin^2\theta}\frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} = 0$$

karena anggapan bumi *homogen isotropik*, maka mempunyai simetri bola dan persamaan di atas dapat dituliskan :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial V}{\partial r} = 0 \tag{2.14}$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

sehingga penyelesaian umum Laplace untuk kasus ini adalah:

$$V(r) = -\frac{A}{r} + B \qquad (2.15)$$

dengan A dan B adalah suatu kostanta. Pada $r = \infty$, $V(\infty) = 0$ sehingga $B = 0$ dan

$$V(r) = \frac{A}{r}$$

2.1.2. Titik Arus di dalam Bumi

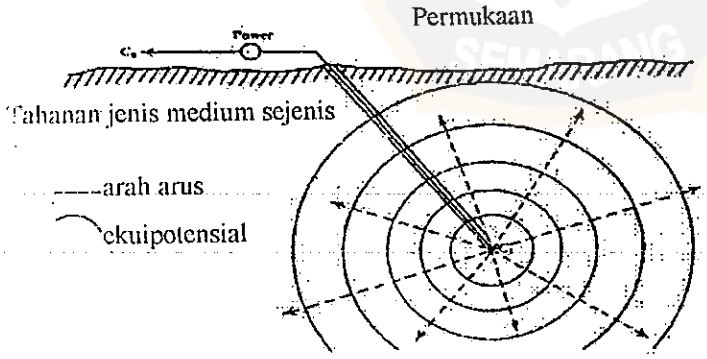
Di dalam bumi, arus mengalir secara radial dari titik arus sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola a luas $4\pi r^2$ dengan jari-jari r adalah (Telford, 1976):

$$I = -4\pi\sigma C_1 \qquad (2.16)$$

sehingga $$C_1 = -\frac{I\rho}{(4\pi)} \qquad (2.17)$$

$$V(r) = \frac{I\rho}{4\pi r} \qquad (2.18)$$

$$\rho = 4\pi r\frac{V}{I} \qquad (2.19)$$



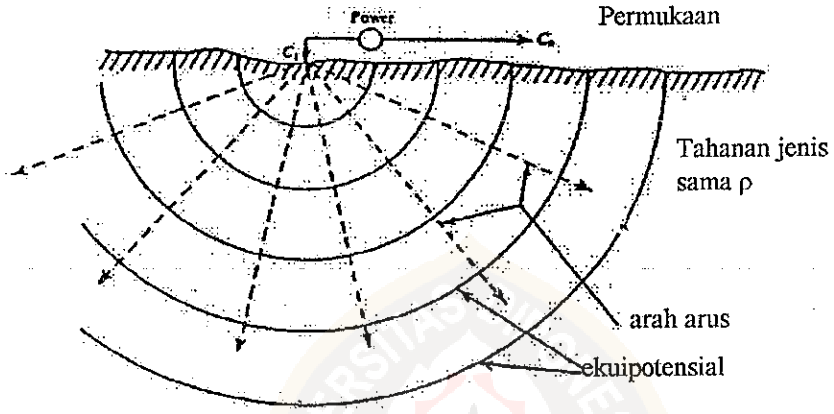
Gambar 2.2 Aliran arus di dalam bumi (Telford, 1976)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.1.3. Titik Arus di Permukaan Bumi

Selain titik arus di dalam bumi, arus juga mengalir pada permukaan bumi (Telford, 1976), permukaan yang dilalui arus I adalah luas ½ bola = 2πr sehingga:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \tag{2.20}$$

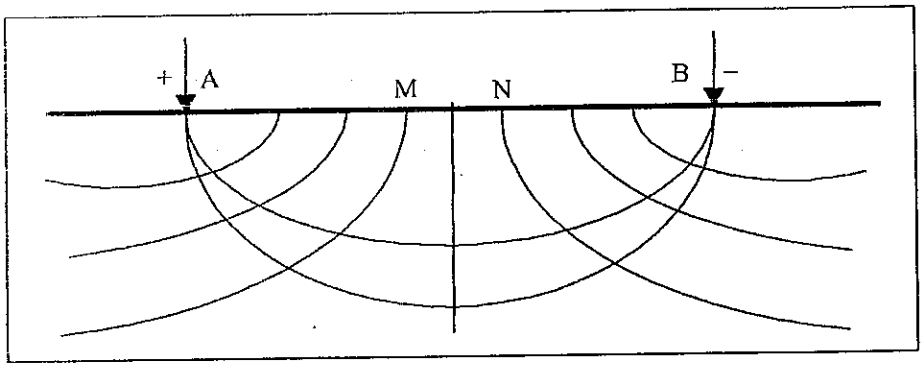


Gambar 2.3 Aliran arus di permukaan bumi (Telford, 1976)

2.1.4. Dua Titik yang Berlawanan Polaritasnya di Permukaan Bumi

Jika pada permukaan bumi terdapat dua sumber arus yang berlawanan polaritasnya, maka bentuk ekipotensial dan arah aliran listrik yang terjadi ditunjukkan pada gambar 2.4. Arah aliran arus listrik tegak lurus terhadap permukaan ekipotensial. Di dalam ruang tiga dimensi, permukaan ekipotensial yang terletak di tengah-tengah kedua sumber arus berupa bidang setengah lingkaran.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2. 4 Arah penjalaran arus dengan dua titik injeksi di permukaan bumi (Telford, 1976)

Jika ada 2 titik yaitu M dan N yang terletak di permukaan bumi, maka besarnya beda potensial listrik antara titik M dan N, akibat injeksi arus listrik di titik A dan B adalah (Telford,1976):

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}\right)-\left(\frac{1}{AN}-\frac{1}{BN}\right)\right] \tag{2.21}$$

$$\rho = 2\pi\left[\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}\right)-\left(\frac{1}{AN}-\frac{1}{BN}\right)\right]^{-1}\frac{\Delta V}{I} \tag{2.22}$$

$$\rho = K\frac{\Delta V}{I} \tag{2.23}$$

dengan $K = 2\pi\left[\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}\right)-\left(\frac{1}{AN}-\frac{1}{BN}\right)\right]^{-1}$ (2.24)

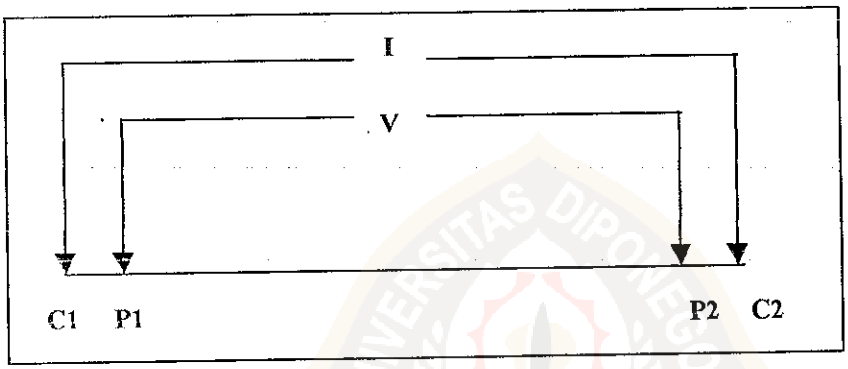
dengan K adalah faktor geometri.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2 Faktor Geometri

Letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus mempengaruhi besarnya beda potensial diantara kedua elektroda tersebut. Besarnya koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap elektroda arus dinamakan faktor geometri (Telford, 1976).

Pada metode geolistrik pengukuran potensial dilakukan di permukaan bumi dengan dua buah elektroda potensial seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.5 Konfigurasi elektroda metode geolistrik tahanan jenis (Telford, 1976)

Dari gambar tersebut, besarnya beda potensial listrik antara titik P1 dan P2 adalah (Telford, 1976):

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

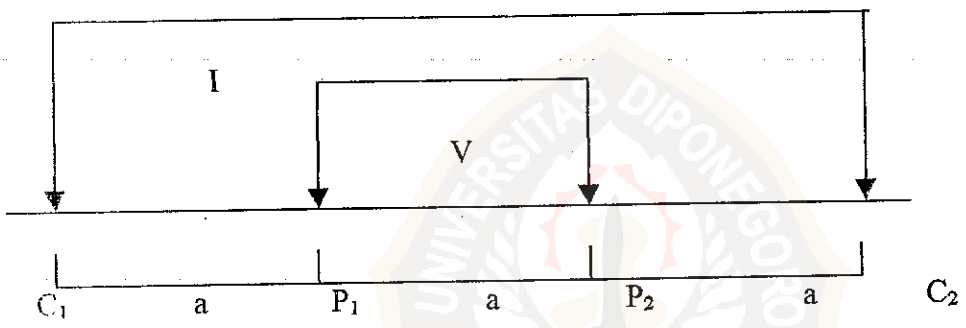
$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2}\right) \qquad (2.25)$$

$$\rho = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2}\right)} \frac{\Delta V}{I} \qquad (2.26)$$

$$\rho = K\frac{\Delta V}{I} \qquad (2.27)$$

dengan K adalah faktor geometri.

Sedangkan untuk konfigurasi Wenner faktor geometrinya sesuai gambar di bawah ini:



Gambar 2.6 Konfigurasi elektroda Wenner (Telford , 1976)

Dari gambar tersebut, besarnya beda potensial antara titik M dan titik N adalah :

Dalam konfigurasi ini $C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2 = a$

dimana: C_1 = elektroda arus pertama; P_1 = elektroda potensial pertama ;C_2 = elektroda arus kedua; P_2 = elektroda potensial kedua

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$K = \frac{\rho I}{2\pi}\{\frac{1}{c_1p_1} - \frac{1}{c_2p_2} - \frac{1}{c_1p_1} + \frac{1}{c_2p_2}\} \qquad (2.28)$$

$$K = \frac{2\pi}{\{\frac{1}{c_1p_1} - \frac{1}{c_2p_2} - \frac{1}{c_1p_1} + \frac{1}{c_2p_2}\}}\frac{\Delta V}{I}$$

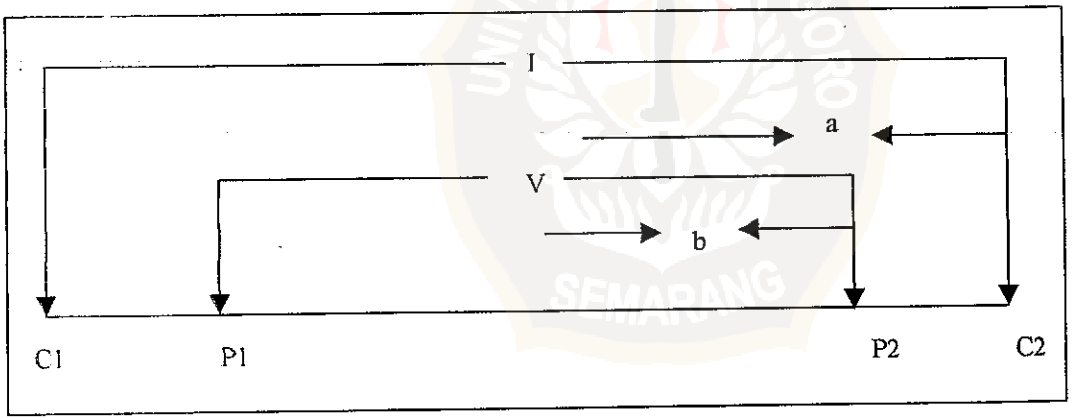
$$K = 2\pi a \qquad (2.29)$$

sebab, $\rho_a = KR$, $\rho_a = 2\pi a R$

Keunggulan konfigurasi Wenner antara lain:

- Eksplorasi secara horisontal baik karena sensitifitasnya ke arah lateral sangat besar.
- Hasil pengukurannya mendekati daerah sebenarnya.

Konfigurasi Schlumberger faktor geometrinya sesuai gambar di bawah ini:



Gambar 2.7 Konfigurasi elektroda Schlumberger (Telford , 1976)

$$K_s = \frac{2\pi}{(\frac{1}{a-b} - \frac{1}{a+b} - \frac{1}{a+b} + \frac{1}{a-b})} \qquad (2.30)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$K_s = \pi \left(\frac{a^2 - b^2}{2b}\right) \qquad (2.31)$$

dengan a adalah jarak elektroda arus ke pusat susunan elektroda, b adalah jarak elektroda potensial ke pusat susunan elektroda.

Keunggulan konfigurasi Schlumberger antara lain:

- Ekplorasi kedalaman sangat sensitif.
- Cocok untuk daerah dengan variasi lateral yang luas/besar.

2.3 Sifat Kelistrikan Batuan

Dalam suatu materi terjadi interaksi antara satu atom dengan atom yang lain dan menyebabkan elektron dapat lepas dan menjadi elektron bebas. Banyak tidaknya elektron elektron bebas ini dalam suatu materi menentukan sifat materi tersebut. Makin banyak elektron bebas yang terdapat didalamnya maka makin mudah materi tersebut untuk menghantarkan arus listrik (Kearey and Brooks, 1991).

Materi yang banyak mengandung elektron bebas disebut konduktor, sedangkan yang sedikit mengandung elektron bebas disebut isolator. Batas antara konduktor dan isolator tidak begitu jelas, ada semacam materi yang dalam keadaan biasa mempunyai sifat isolator tetapi jika terkena suatu pengaruh tertentu misalnya tekanan atau temperatur yang tinggi, materi tersebut berubah menjadi konduktor. Materi semacam ini disebut semi konduktor. Batuan merupakan suatu jenis materi sehingga batuanpun mempunyai sifat-sifat kelistrikan, yang dicirikan oleh nilai konduktivitas batuan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.3.1 Konduktivitas Listrik Batuan Alam

Pada bagian batuan, atom-atom terikat secara ionik atau kovalen, karena adanya ikatan ini maka batuan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik. Aliran arus listrik di dalam batuan dapat digolongkan menjadi tiga kategori (Kearey and Brooks, 1991):

a. Konduksi elektronik

Konduksi ini adalah sifat normal dari aliran arus listrik dalam batuan mineral. Hal ini terjadi jika batuan mineral tersebut mempunyai banyak elektron bebas, akibatnya arus listrik mudah mengalir pada batuan ini. Sebagai contoh adalah batuan yang banyak mengandung logam, antara lain emas.

b. Konduksi elektrolitik

Konduksi jenis ini banyak terjadi pada batuan atau mineral yang bersifat porus dan pada pori-pori tersebut terisi oleh larutan elektrolit. Dalam hal ini arus listrik mengalir akibat dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit, konduksi dengan cara ini lebih lambat daripada konduksi elektrolit. Contoh batuan adalah pyrite,argen.

c. Konduksi dielektrik

Konduksi ini terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar maka elektron dalam atom batuan berpindah dan berkumpul terpisah dengan inti sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini sangat tergantung pada konstanta dielektrik batuan yang bersangkutan. Contoh batuan adalah mica.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)