

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mineral

Mineral dapat didefinisikan sebagai bahan padat anorganik yang terdapat secara alamiah, yang terdiri dari unsur-unsur kimiawi dalam perbandingan tertentu, dimana atom-atom di dalamnya tersusun mengikuti suatu pola yang sistimatis. Mineral dapat dijumpai dimana-mana. Mineral dapat berwujud seperti batuan, tanah, atau pasir yang diendapkan di dasar sungai. Beberapa mineral dapat memiliki nilai ekonomis karena didapatkan dalam jumlah yang besar sehingga memungkinkan untuk ditambang. Mineral memiliki sifat dan bentuk tertentu dalam keadaan padatnya, sebagai perwujudan dari susunan yang teratur di dalamnya. Apabila kondisinya memungkinkan, mereka akan dibatasi oleh bidang-bidang yang rata, dan diasumsikan sebagai bentuk-bentuk yang teratur yang dikenal sebagai “kristal”. Secara umum, kristal dapat didefinisikan sebagai bahan padat yang homogen yang memiliki pola internal susunan tiga dimensi yang teratur (Noor, 2009).

2.2 Mangan (Mn)

Mangan berwarna putih keabu-abuan, dengan sifat yang keras tapi rapuh. Mangan sangat reaktif secara kimiawi, dan terurai dengan air dingin perlahan-lahan. Mangan digunakan untuk membentuk banyak alloy yang penting. Dalam baja, mangan meningkatkan kualitas tempaan baik dari segi kekuatan, kekerasan dan kemampuan pengerasan. Dengan aluminium dan bismut, khususnya dengan sejumlah kecil tembaga, membentuk alloy yang bersifat ferromagnetik.

Logam mangan bersifat ferromagnetik setelah diberi perlakuan. Logam murninya terdapat sebagai bentuk allotropik dengan empat jenis. Salah satunya, jenis alfa, stabil pada suhu luar biasa tinggi; sedangkan mangan jenis gamma, yang berubah menjadi alfa pada suhu tinggi, dikatakan fleksibel, mudah dipotong dan ditempa.

Endapan mangan dapat terbentuk dari beberapa cara yaitu proses hidrotermal yang dapat dijumpai dalam bentuk (*vein*), metamorfik dan cebakan sedimenter dan residual (Riyanto, 1989).

2.2.1 Endapan hidrotermal

Endapan hidrotermal merupakan hasil dari proses terakhir diferensi magma, dimana larutan magma sisa yang belum membeku terutama yang terdiri dari larutan yang berair dan dalam keadaan panas, dalam perjalanannya menuju ke suatu tempat untuk membentuk endapan hidrotermal akan mengisi tempat – tempat di dalam bumi seperti pada pori – pori dan lubang – lubang kecil pada batuan beku, pengisian pada lubang – lubang yang terjadi akibat pembekuan magma dari aliran lava, pengisian pada rekahan – rekahan seperti retak – retak lava akibat pembekuan misalnya dalam dike atau rekahan – rekahan yang terjadi akibat proses perlipatan suatu lapisan batuan, pengisian pada breksi vulkanik, pengisian pada bidang perlapisan, pengisian pada patahan dan pengisian pada daerah – daerah pergeseran lapisan.

Pada saat larutan hidrotermal menerobos batuan – batuan yang dilewatinya mungkin akan terjadi pergantian susunan ikatan kimia dari batuan yang dilewati tersebut. Proses ini bisa baik terjadi pada batuan yang reaktif dan biasanya batas – batas daerah alterasi adalah sejajar dengan dinding lubang yang diterobos larutan hidrotermal tersebut. Batuan yang dilewati akan berubah baik secara kimia maupun mineraloginya.

Akibat aktivitas hidrotermal ini juga dijumpai endapan – endapan mangan di bawah laut dan biasanya bersama dengan endapan Pb, Zn, Cu dan Fe.

2.2.2 Endapan Residual

Endapan residual adalah termasuk endapan permukaan yang terjadi akibat proses pelapukan terhadap batuan sumber. Unsur – unsur Mn-nya dapat berasal dari batuan kapur yang mengandung Mn atau sekis (batuan metamorf), vein atau pegmatit yang mengandung Mn serta batuan breksi andesit atau dasit.

Disamping batuan sumber tersebut di atas, dalam proses pembentukannya juga sangat dipengaruhi oleh faktor iklim dan topografi, dimana keadaan reliefnya harus sedemikian rupa sehingga memungkinkan terakumulasinya unsur – unsur tersebut menjadi endapan residual yang bernilai ekonomis.

2.2.3 Endapan Sedimenter

Terbentuknya oksida Mn biasanya berkaitan dengan kegiatan vulkanis dan batuan yang bersifat basa. Setelah batuan melapuk, maka butir – butir batuan itu mungkin menjadi mineral – mineral yang lebih stabil atau mungkin pula akan larut, terangkut oleh aliran air dan diendapkan di tempat lain sebagai endapan sedimenter.

2.3 Sifat Kelistrikan Batuan

Menurut (Telford, et al., 1990), aliran arus listrik di dalam batuan atau mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi dielektrik.

1. Konduksi elektronik terjadi jika batuan atau mineral memiliki banyak elektron bebas sehingga arus listrik yang dialirkan dalam batuan atau mineral tersebut dibawa oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas. Semakin besar nilai resistivitas, maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan listrik.
2. Konduksi secara elektrolitik terjadi ketika batuan atau mineral bersifat porous dan pori-porinya terisi oleh cairan-cairan elektrolitik sehingga pada kondisi ini, arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik. Akibatnya, batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik.
3. Konduksi dielektrik terjadi ketika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik. Hal ini berarti, batuan atau mineral tersebut memiliki elektron bebas sedikit atau bahkan tidak sama sekali. Elektron di dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi polarisasi.

Tabel 2.1 Tabel Nilai Resistivitas Mineral (Telford, et al., 1990)

<i>Mineral</i>	<i>Resistivity (Ωm)</i>	
	<i>Range</i>	<i>Average</i>
Argentite	$2 \times 10^{-3} - 10^4$	1.7×10^{-3}
Bismuthinite	18 – 570	
Covellite	$3 \times 10^{-7} - 8 \times 10^{-5}$	2×10^{-5}
Chalcocite	$3 \times 10^{-5} - 0.6$	10^{-4}
Chalcopyrite	$1.1 \times 10^{-5} - 0.3$	4×10^{-3}
Bornite	$2.5 \times 10^{-5} - 0.5$	3×10^{-3}
Marcasite	$10^{-3} - 3.5$	5×10^{-2}
Pyrite	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$	3×10^{-1}
Pyrrhotite	$6.5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-2}$	10^{-4}
Cinnabar		2×10^7
Molybdenite	$10^{-3} - 10^6$	10
Galena	$3 \times 10^{-5} - 3 \times 10^2$	2×10^{-3}
Millerite		3×10^{-7}
Stannite	$10^{-3} - 6 \times 10^3$	
Stibnite	$10^5 - 10^{12}$	5×10^6
Sphalerite	$1.5 - 10^7$	10^2
Cobaltite	$3.5 \times 10^{-4} - 10^{-1}$	
Smaltite		5×10^{-5}
Arsenopyrite	$2 \times 10^{-5} - 15$	10^{-3}
Niccolite	$10^{-7} - 2 \times 10^{-3}$	2×10^{-5}
Sylvanite	$4 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$	
Bauxite	$2 \times 10^2 - 6 \times 10^{-3}$	
Wolframite	$10 - 10^5$	
Pyrolusite	$5 \times 10^{-3} - 10$	

2.4 Metode Geolistrik

Metode Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara pendeteksian di permukaan bumi. Diantaranya meliputi pengukuran potensial, pengukuran arus medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alami maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi. Oleh karena itu metode geolistrik mempunyai banyak macam, termasuk di dalamnya yaitu : Metode Potensial Diri / *Self Potential (SP)*, Arus *Telluric*, Metode Resistivitas / Tahanan Jenis, Potensial terimbas (Reynolds, 1997).

2.5 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu dari metode geolistrik yang mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di dalam bumi. Pada metode ini arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan dilakukan pengukuran beda potensial melalui dua buah elektroda potensial, hasilnya berupa beda potensial yang terukur pada elektroda di permukaan. Dari beda potensial yang diukur dapat ditentukan variasi resistivitas masing-masing lapisan di bawah titik pengukuran (Reynolds, 1997).

2.5.1 Prinsip Dasar

Definisi yang sering digunakan dalam metode Geolistrik dalam mendeteksi batuan penyusun berdasarkan sifat kelistrikan batuan penyusunnya adalah (Telford, et al., 1976):

- a. Resistansi (R)

$$R = V/I \quad (2.1)$$

- b. Resistivitas (ρ)

$$\rho = E/J \quad (2.2)$$

- c. Konduktivitas (σ)

$$\sigma = 1/\rho \quad (2.3)$$

Keterangan:

V = beda potensial (volt)

I = besar arus listrik (ampere)

E = medan listrik (volt/meter)

J = rapat arus listrik (arus listrik per satuan luas)

Suatu konduktor berupa kawat dengan penampang homogen dialiri arus listrik dengan kecepatan rata-rata konstan, dan besar arusnya sebanding dengan kuat medan listrik E. hal ini menyebabkan rapat arus sebanding juga dengan medan listrik E. Jika dinyatakan dalam persamaan matematis maka:

$$J = \sigma E \quad (2.4)$$

$$J = \sigma \frac{V}{L} \quad (2.5)$$

Diketahui bahwa nilai rapat arus listrik berbanding lurus dengan kuat arus (I) yang mengalir pada kawat konduktor tersebut. Semakin kecil luas penampang, maka nilai rapat arus semakin besar sehingga:

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.6)$$

Sehingga dapat diperoleh hubungan

$$I = JA = \sigma \frac{V}{L} A \quad (2.7)$$

$$I = \frac{\sigma A}{L} V = \frac{A}{\rho L} V \quad (2.8)$$

Seorang saintis German, Georg Simon Ohm menetapkan pada 1827 bahwa arus listrik I pada kawat konduktor adalah sebanding dengan perbedaan potensial di atasnya. Hubungan linear ini dinyatakan pada persamaan

$$V = IR \quad (2.9)$$

Di mana R adalah resistansi dari konduktor. Unitnya adalah *ohm* (Ω). Inversi dari resistivitas ($1/\rho$) adalah konduktivitas (σ), yang memiliki unit siemens/meter (S/m) yang setara dengan mhos/meter ($\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$).

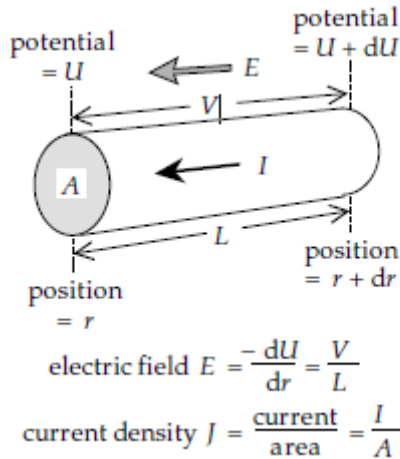
Pengamatan eksperimen pada kabel berbeda dengan bahan yang sama menunjukkan bahwa kabel yang panjang memiliki resistansi yang lebih besar dari pada kabel yang pendek, dan kabel yang tipis memiliki resistansi yang lebih besar dari pada kabel yang tebal. Untuk material tertentu diformulasikan lagi lebih tepat bahwa resistansi sebanding dengan panjang (L) dan berbanding terbalik dengan luas penampang (A). Hubungan ini dinyatakan dalam persamaan

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.10)$$

Jika kita mengganti R pada persamaan (2.10) dengan R pada persamaan (2.9) maka akan didapatkan

$$\frac{V}{L} = \rho \frac{I}{A} \quad (2.11)$$

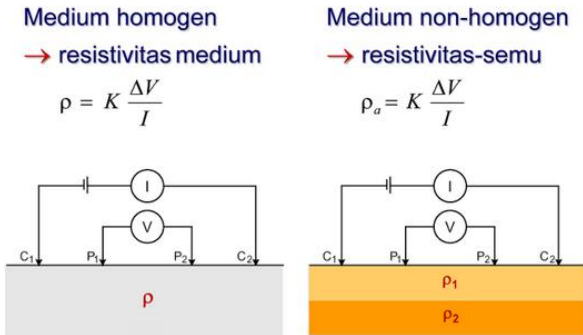
Konstanta ρ merupakan resistivitas dari konduktor. Resistivitas merupakan properti fisika dari suatu material konduktor yang menunjukkan kemampuan untuk melawan aliran dari muatan (Lowrie, 2007).



Gambar 2.1 Parameter yang digunakan untuk mendefinisikan hukum Ohm untuk konduktor kawat lurus (Lowrie, 2007)

2.5.2 Konsep Resistivitas Semu

Konsep pengukuran (injeksi arus dan pengukuran potensial pada medium homogen) dapat digunakan untuk memperkirakan harga resistivitas medium tersebut. Jika pengukuran dilakukan pada medium non homogen sebagaimana umumnya ada di alam, maka hasilnya adalah resistivitas semu, sering disebut dengan *apparent resistivity*. Resistivitas ini disebut semu karena diterapkan konsep, yang sebenarnya hanya berlaku di medium homogen, dan hasilnya merupakan semacam perata-rataan atau representasi umum dari apa yang ada di bawah titik pengukuran.



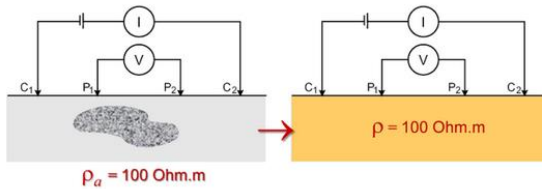
Gambar 2.2 Resistivitas Semu (Grandis, 2017)

Gambar 2.2 memperlihatkan medium non homogen yang berlapis-lapis secara horizontal, namun pada dasarnya konsep resistivitas semu berlaku untuk medium non homogen sembarang. Resistivitas medium bawah permukaan non-homogen dapat saja bervariasi secara vertical maupun lateral (1D, 2D, atau bahkan 3D).

Potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan bumi yang tidak homogen. Harga resistivitas yang terukur pun bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja. Untuk kasus tak homogen, bumi diasumsikan berlapis-lapis dengan harga resistivitas yang berbeda pada tiap lapisan. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Misalnya, medium berlapis yang ditinjau merupakan medium yang terdiri dari dua lapisan dengan harga resistivitas yang berbeda (ρ_1 dan ρ_2). Kedua lapisan ini dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang memiliki satu harga resistivitas yaitu resistivitas semu ρ_a , dengan konduktansi lapisan fiktif sama dengan jumlah konduktansi masing-masing lapisan $\sigma_f = \sigma_1 + \sigma_2$ (Geocis, 2015). Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Resistivitas-semu (apparent resistivity)

→ resistivitas medium homogen ekuivalen



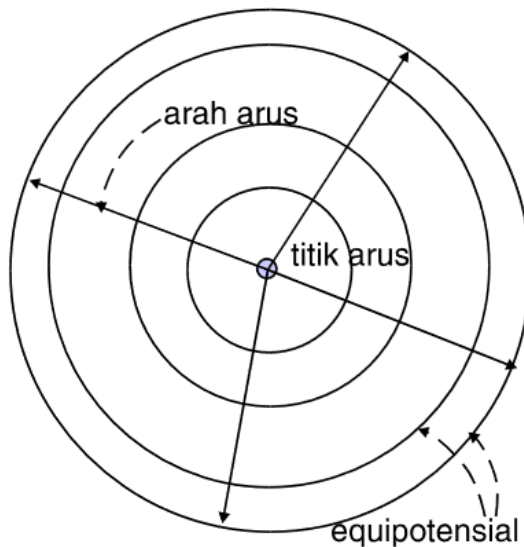
kedua kondisi memberikan hasil "pengukuran" (V, I) sama

Gambar 2.3 Ilustrasi Konsep Resistivitas Semu (Grandis, 2017)

Jika hasil pengukuran pada medium sembarang menghasilkan resistivitas semu $100 \Omega\text{m}$, maka hasil pengukuran yang sama akan diperoleh jika medium tersebut digantikan oleh suatu medium homogen dengan resistivitas $100 \Omega\text{m}$.

2.5.3 Penjalaran Arus di Dalam Bumi

Arus bergerak secara radial dari titik arus seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Arah penjalaran arus dengan injeksi di dalam bumi (Geocis, 2015)

Jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola A yang memiliki jari-jari r adalah

$$J = \sigma E \tag{2.12}$$

Kemudian diperoleh persamaan

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho} \frac{V}{r} \tag{2.13}$$

$$\frac{I}{4\pi r^2} = \frac{1}{\rho} \frac{V}{r} \tag{2.14}$$

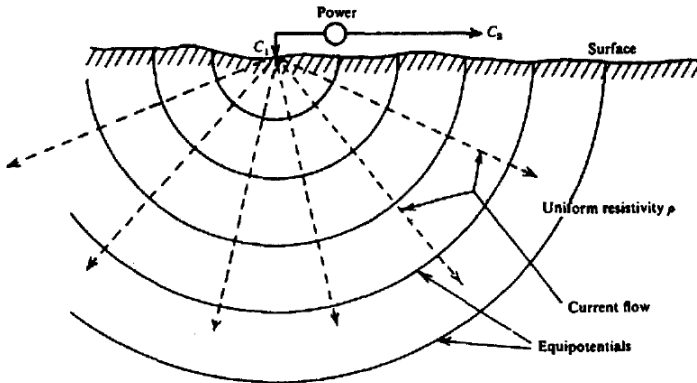
Sehingga diperoleh nilai beda potensial dan resistivitas pada injeksi arus di satu titik di dalam bumi yaitu:

$$V(r) = \frac{I\rho}{4\pi r} \tag{2.15}$$

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \tag{2.16}$$

2.5.4 Elektroda Arus Tunggal pada Permukaan Bumi

Ketika arus diinjeksikan pada permukaan bumi homogen isotropis melalui sebuah elektroda tunggal, maka aliran arus akan menyebar di dalam tanah secara radial. Apabila udara di atasnya memiliki konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Aliran arus dari satu titik sumber pada permukaan bumi homogen (Telford, et al., 1990)

Arus I mengalir melalui luas permukaan setengah bola dengan jari-jari r yang memiliki luas sebesar $2\pi r^2$. Dengan demikian, diperoleh nilai yang hampir sama dengan penjalaran arus dengan satu titik di permukaan bumi

$$\frac{I}{2\pi r^2} = \frac{1}{\rho} \frac{V}{r} \quad (2.17)$$

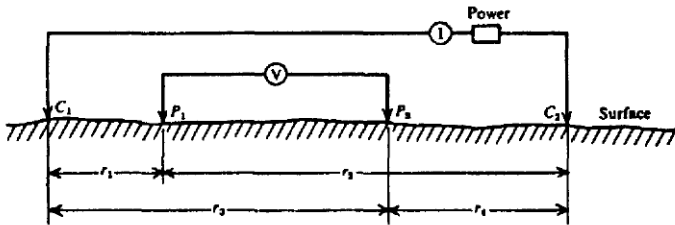
Terdapat perbedaan hanya pada nilai luasan A sehingga nilai beda potensial dan resistivitasnya adalah:

$$V(r) = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.18)$$

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.19)$$

2.5.5 Potensial Dua Elektroda Arus di Permukaan Bumi

Ketika jarak antar dua elektroda arus ditentukan seperti pada Gambar 2.6, potensial pada titik permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut (Telford, et al., 1990).



Gambar 2.6 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial pada permukaan bumi homogen (Telford, et al., 1990)

Potensial yang disebabkan oleh C_1 pada P_1 adalah

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \text{ dimana } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.20)$$

Karena arus pada dua elektroda adalah sama dan saling berhubungan, potensial yang disebabkan oleh C_2 pada P_1 adalah

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \text{ dimana } A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad (2.21)$$

Sehingga diperoleh

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.22)$$

Potensial pada P_2 adalah

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{4} \right) \right\} \quad (2.23)$$

2.5.6 Konfigurasi

Dari sifat asal metode ini dapat disimpulkan bahwa lebih cocok untuk menyelesaikan fitur yang konduktif daripada yang memiliki resistivitas tinggi. Metode resistivitas awalnya dirancang untuk prospek *ore*. Namun demikian, anomali resistivitas tinggi dapat dideteksi ketika susunan elektroda dipilih dengan hati-hati. Pada dasarnya dibutuhkan 4 elektroda, namun posisi atau susunannya mempengaruhi hasil dan dapat menjadi faktor yang menentukan apakah survey yang dilakukan berhasil atau tidak. Susunan elektroda yang berbeda memiliki sensitivitas yang berbeda untuk permukaan yang tidak homogen dan juga memiliki resistansi yang berbeda terhadap *noise*. Secara umum, susunan elektroda yang lebih sensitif lebih rentan terhadap *noise* (Valenta, 2015).

Nilai dari resistivitas semu bergantung pada geometri dari susunan elektroda yang digunakan (faktor geometri). Untuk dapat membandingkan pengukuran dengan susunan elektroda yang berbeda, nilai yang diukur harus dikoreksi untuk efek dari konfigurasi elektroda. Hal ini dilakukan dengan mengalikan hasil pembacaan dengan konstanta k

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.24)$$

Konstanta dari susunan elektroda bergantung pada jarak antar elektroda (Valenta, 2015)

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2} - \frac{1}{C_2P_1}} \quad (2.25)$$

Faktor geometri diturunkan dari beda potensial yang terjadi antara elektroda potensial MN yang diakibatkan oleh injeksi arus pada elektroda arus AB. Potensial V_p pada titik P manapun di tanah sama dengan jumlah tegangan dari dua elektroda yaitu $V_p = V_a + V_b$ dimana V_a dan V_b adalah potensial dari kedua elektroda yaitu A(+I) dan B(-I). Potensial pada elektroda M dan N adalah V_{MN}

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] \quad (2.26)$$

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \quad (2.27)$$

Namun lebih mudah untuk menghitung perbedaannya δV_{MN} yang dituliskan sebagai

$$\rho V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \right\} \quad (2.28)$$

$$\rho = \frac{2\pi \rho V_{MN}}{I} \left\{ \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \right\}^{-1} \quad (2.29)$$

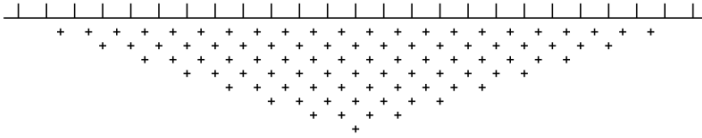
Pada keadaan yang sebenarnya, bawah permukaan tidak sesuai dengan medium homogen sehingga resistivitas yang diperoleh tidak lagi resistivitas yang sebenarnya namun resistivitas semu yang dapat bernilai negatif. Sangat penting untuk diingat bahwa resistivitas semu bukanlah properti fisik dari media bawah permukaan, tidak seperti resistivitas yang sebenarnya (Reynolds, 1997).

Salah satu sistem penyusunan elektroda yang paling sering digunakan adalah konfigurasi Wenner. Pada susunan ini, elektroda tersebar dengan susunan satu garis dan dengan jarak antar elektroda yang sama satu sama lain. Untuk konfigurasi ini, resistivitas semunya menjadi

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.30)$$

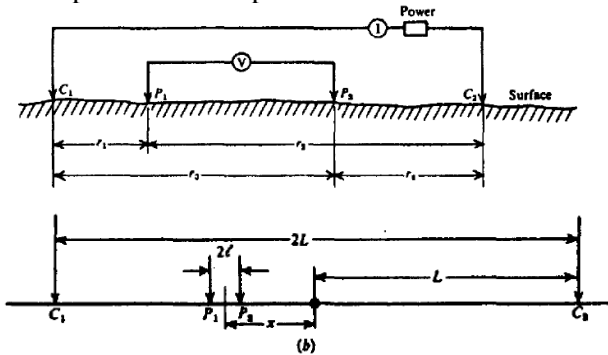
Disamping geometri yang sederhana, susunan konfigurasi ini cukup kurang nyaman dalam pekerjaan lapangan dan memiliki beberapa kekurangan dari pandangan teoritis juga. Untuk eksplorasi kedalaman menggunakan susunan wenner, elektroda diperluas dengan posisi tengah yang tetap dan menambahkan jarak a . Untuk eksplorasi secara lateral, jarak spasi antar elektroda sama dan semua elektroda dipindahkan sepanjang *line*. Pada pengambilan data ini, resistivitas semu untuk tiap posisi di plot terhadap pusat penyebaran arus (Telford, et al., 1990).

Wenner



Gambar 2.7 Susunan data titik pada pseudosection untuk konfigurasi Wenner (Anon., 2003)

Untuk konfigurasi ini Schlumberger, elektroda arus diletakkan lebih jauh daripada elektroda potensial.



Gambar 2.8 Susunan Elektroda konfigurasi Schlumberger (Telford, et al., 1990)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa

$$r_1 = (L - x) - l \quad (2.31)$$

$$r_2 = (L + x) + l \quad (2.32)$$

$$r_3 = (L - x) + l \quad (2.33)$$

Dan

$$r_4 = (L + x) - l \quad (2.34)$$

Kemudian didapatkan rumus untuk mencari resistivitas

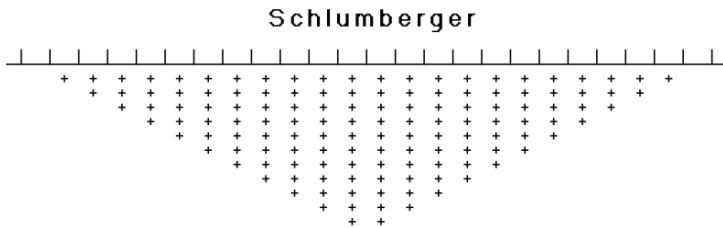
$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left[\left\{ \frac{1}{(L-x)-l} - \frac{1}{(L+x)+l} \right\} - \left\{ \frac{1}{(L-x)+l} \right\} - \left\{ \frac{1}{(L+x)-l} \right\} \right]^{-1} \quad (2.35)$$

Jika jarak terkecil dari elektroda arus dan potensial selalu lebih besar dari jarak antara dua elektroda potensial, maka $(L-x) > 3l$ dan didapat

$$\rho_a = \frac{\pi}{2l} \frac{(L^2-x^2)}{(L^2+x^2)} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (2.36)$$

Biasanya $x = 0$, menjadi

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (2.37)$$

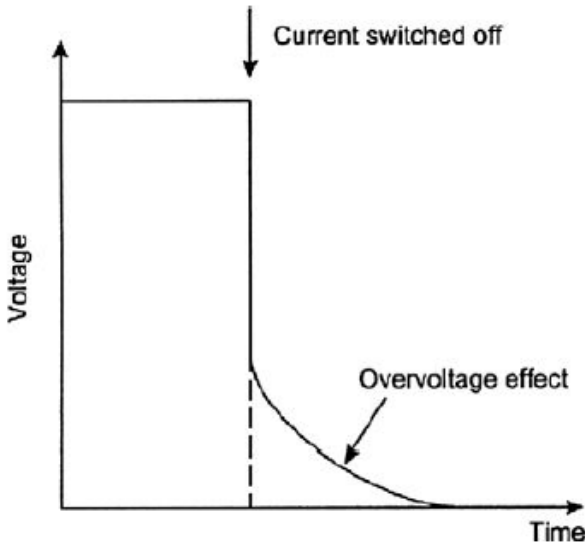


Gambar 2.9 Susunan data titik pada pseudosection untuk konfigurasi Schlumberger (Anon., 2003)

2.6 Metode Geolistrik Polarisasi Terinduksi

Pada dasarnya metode polarisasi terinduksi merupakan pengembangan dari metode geolistrik resistivitas dan metode ini terbukti mampu menutupi kelemahan-kelemahan metode resistivity pada berbagai kasus. Cara pengambilan data di lapangan pada metode polarisasi terinduksi tidak jauh berbeda dengan metode resistivitas. Efek polarisasi terinduksi merupakan elemen dasar yang terjadi pada metode ini. Gejala polarisasi terinduksi dapat diilustrasikan sebagai berikut, jika suatu pengukuran tahanan jenis dengan konfigurasi empat elektroda (standar) dimana pada elektroda arus (C_1 dan C_2) dialiri arus searah (DC), maka pada elektroda potensial (P_1 dan P_2) akan terukur beda potensial (ΔV). Ketika aliran arus pada elektroda (C_1 dan C_2) dimatikan, pada waktu t_0 maka nilai beda potensial tidak langsung

kembali menjadi nol, melainkan secara perlahan mengalami penurunan beda potensial menuju nol seperti pada Gambar 2.10. (Reynolds, 1997).



Gambar 2. 10 Grafik Penurunan Potensial (Reynolds, 1997)

2.6.1 Mineral-Mineral yang Menimbulkan Gejala Polarisasi Terinduksi

Pada umumnya, kandungan mineral logam dalam bumi terbentuk sebagai senyawa-senyawa sulfida. Bijih sulfida memiliki kontras konduktivitas yang besar dibandingkan dengan sekitarnya. Tubuh sulfida merupakan penghantar elektronik, sementara larutan di dalam pori-pori batuan merupakan penghantar ionik. Sistem inilah yang memungkinkan terjadinya gejala polarisasi terinduksi jika arus listrik dialirkan ke dalamnya. Gejala polarisasi terinduksi juga disebabkan oleh beberapa oksida dan mineral lempung. Terdapat dua fenomena yang berkaitan dengan larutan dan bidang antar muka pada eksplorasi polarisasi terinduksi yaitu elektrokimia dan elektrokinetik. Elektrokimia berkaitan dengan perubahan kimia dan reaksi kimia yang terjadi akibat adanya arus listrik. Elektrokinetik berkaitan dengan efek

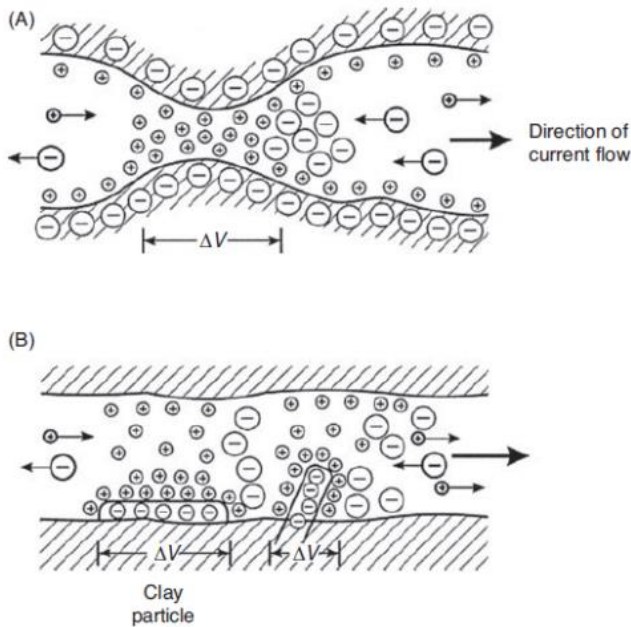
yang terjadi karena adanya variasi pergerakan pembawa muatan (Geocis, 2015)

2.6.2 Sumber Terjadinya Efek Polarisasi Terinduksi

Fenomena suatu polarisasi dan mekanisme yang terjadi di dalam suatu batuan adalah benar-benar kompleks. Menurut (Summer, 1976), polarisasi yang terjadi pada batuan dan *soils* (tanah) melingkupi penyebaran ion-ion menuju mineral-mineral logam dan pergerakan ion-ion di dalam pore-filling elektrolit. Mekanisme utama yang terjadi pada suatu proses polarisasi adalah polarisasi membran dan polarisasi elektroda.

a. Polarisasi Membran

Polarisasi membran berkaitan erat dengan keberadaan mineral lempung pada tubuh batuan. Pada batuan, energi listrik yang tersimpan berkaitan dengan adanya proses elektrokimia yang terjadi. Proses elektrokimia merupakan reaksi kimia yang terjadi akibat adanya arus listrik. Pada permukaan mineral lempung dan bidang batas antar pori batuan terjadi penumpukan muatan negatif yang diakibatkan oleh adanya reaksi air formasi yang membawa muatan positif. Hal ini mengakibatkan terjadinya penumpukan muatan positif pada permukaan mineral. Penumpukan muatan ini membentuk awan positif, sementara itu awan negatif tertolak menjauhi bidang batas permukaan mineral seperti yang terlihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 (A) Distribusi ion pada lapisan tipis lempung;
 (B) Distribusi ion pada partikel lempung dalam batuan

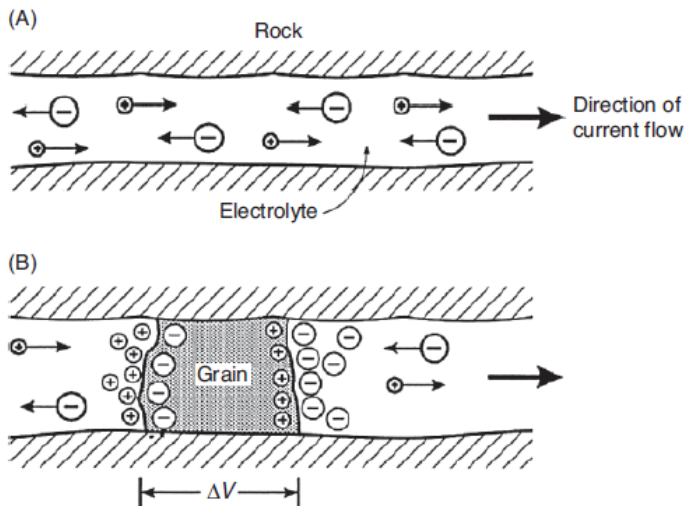
Ketika arus listrik dialirkan, muatan positif akan bergerak searah dengan medan listrik, sementara muatan negatif akan terakumulasi pada awan positif dan menghambat aliran listrik yang mengalir. Ketika arus listrik dimatikan, muatan-muatan yang semula menumpuk akan kembali ke posisi semula. Hal ini menyebabkan terjadinya polarisasi listrik dalam frekuensi yang kecil atau bisa disebut Normal IP effect (Telford, et al., 1990).

b. Polarisasi Elektroda

Polarisasi elektroda terjadi karena adanya mineral logam di dalam tubuh batuan. Aliran arus listrik pada tubuh batuan dipengaruhi oleh keberadaan larutan elektrolit di dalam pori-pori batuan sebagai media penghantar. Adanya mineral logam yang bereaksi dengan larutan elektrolit di dalam tubuh batuan akan menghasilkan beda potensial. Beda potensial yang terjadi disebabkan oleh proses pengkutuban antara ion-ion dalam batuan (Potensial Diri – Self

Potential). Mineral logam bersifat konduktif sehingga pada tubuh mineral dapat mengalirkan arus listrik dengan sangat baik.

Saat arus listrik dialirkan pada batuan yang memiliki partikel mineral logam, kesetimbangan antar ion menjadi terganggu. Hal ini menyebabkan muatan positif dan muatan negatif terakumulasi pada sisi-sisi bidang batas mineral membentuk sepasang elektroda seperti yang terlihat pada Gambar 2.12. Akumulasi muatan ini menyebabkan penumpukan muatan yang menghasilkan beda potensial baru karena penambahan muatan listrik atau biasa disebut dengan *overvoltage*.



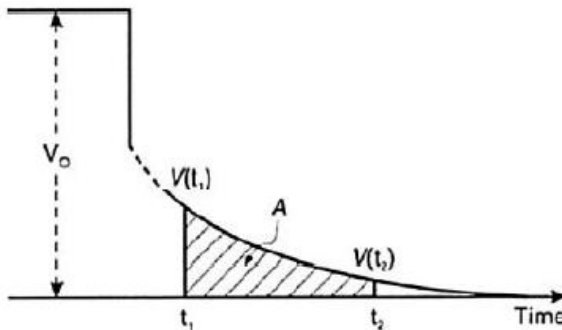
Gambar 2.12 (A) Distribusi ion yang membentuk potensial diri; (B) polarisasi yang terjadi saat injeksi arus (Reynolds, 1997)

Penumpukan muatan yang terjadi membentuk semacam kapasitor sehingga pada saat arus listrik dimatikan, muatan tersebut tertahan sesaat sebelum akhirnya kembali pada posisi sebenarnya. Lama waktu yang dibutuhkan muatan untuk kembali ke posisi semula inilah yang akan dideteksi sebagai peluruhan potensial yang akan menjadi parameter dalam pengukuran induksi polarisasi. Hal ini menyebabkan potensial yang dihasilkan dalam mekanisme ini lebih besar dari pada potensial yang terjadi pada reaksi elektrolit.

2.6.3 Pengukuran Domain Waktu

Pengukuran dalam domain waktu ini bertujuan untuk melihat perubahan beda potensial yang terjadi ketika arus injeksi dimatikan. Arus diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus yang menghasilkan beda potensial dan kemudian diukur oleh dua buah elektroda potensial. Beda potensial yang terjadi pada saat arus diinjeksikan disebut dengan potensial primer (V_p), sementara beda potensial yang terukur pada saat arus dimatikan disebut dengan potensial sekunder (V_s).

Pada domain waktu, pengukuran didasari oleh perbedaan nilai potensial yang terjadi karena adanya proses peluruhan potensial terhadap fungsi waktu. Ketika arus listrik dimatikan, potensial primer (V_p) tidak langsung menuju nilai nol tetapi mengalami penurunan secara bertahap berdasarkan fungsi waktu seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Peluruhan potensial pada saat dan sesudah arus dimatikan

Pengukuran domain waktu dinyatakan dalam besaran *chargeability*. *Chargeability* merupakan kemampuan suatu benda untuk menyimpan listrik. Secara matematis, nilai *chargeability* dapat dituliskan sebagai fungsi pengintegralan waktu luruh (V_s) terhadap beda potensial saat arus diinjeksikan (V_p).

$$M = \frac{1}{V_p} \int_{t_1}^{t_2} V_s(t) dt \quad (2.38)$$

2.7 Geologi Regional

Secara fisiografis, kepulauan Nusa Tenggara dibatasi oleh Pulau Jawa di bagian Barat, Busur Banda di bagian Timur, Laut Flores di bagian Utara, dan Samudera Hindia di bagian Selatan. Secara geologi, kepulauan ini terletak di pusat Busur Banda, yang terbentuk oleh rangkaian kepulauan gunungapi muda. Secara tektonik, rangkaian gunung ini terjadi akibat subduksi lempeng Indo-Australia terhadap Busur Banda. Lempeng tektonik kepulauan Indonesia terletak di penggabungan tiga lempeng utama, diantaranya lempeng indo-australia, Eurasia, dan pasifik. Interaksi dari ketiga lempeng tersebut menimbulkan kompleks tektonik khususnya di perbatasan lempeng yang terletak di timur Indonesia.

Sebagian besar busur dari kepulauan Nusa Tenggara dibentuk oleh zona subduksi dari lempeng Indo-Australia yang berada tepat di bawah busur Sunda-Banda selama di atas kurun waktu tersier. Subduksi ini dibentuk di dalam busur vulkanik kepulauan Nusa Tenggara. Bagaimanapun juga ada perbedaan-perbedaan hubungan dari analisis kimia di antara batuan vulkanik pada kepulauan Nusa Tenggara.

Sesuai dengan teori tektonik lempeng, nusa tenggara dapat dibagi menjadi empat struktur tektonik yaitu:

- a. Busur belakang yang terletak di laut flores
- b. Busur dalam yang dibentuk oleh kepulauan vulkanik diantaranya Bali, Lombok, Sumbawa, Komodo, Rinca, Flores, Andonara, Solor, Lomblen, Pantar, Alor, Kambing, dan Wetar
- c. Busur vulkanik luar yang dibentuk oleh kepulauan non-vulkanik diantaranya Dana, Raijua, Sabu, Roti, Semau, dan Timor
- d. Busur depan dibagi ke dalam dua bagian yaitu *inner arc* (busur dalam) dan *outer arc* (busur luar).

Di indonesia bagian timur (Jawa Timur, Kepulauan di Nusa Tenggara Timur dan Kepulauan Banda) yang umumnya telah dipengaruhi oleh pengendapan busur-kepulauan, banyak ditemukan mineralisasi tembaga dan emas tipe porfiri dan tipe epitermal bersulfida tinggi dan indikasi mineral logam dasar (*massive sulphide*) bentukan laut dangkal.

Bagian timur Nusa Tenggara mulai dari Alor-Kambing-Wetar-Romang disebut orogene timur dengan pusat undari di Laut Flores. Evolusi orogenik daerah Nusa Tenggara bagian timur ini agak kompleks karena pada masa Mesozoikum muda terjadi penggelombang yang termasuk sirkum Australia menghasilkan busur dalam dari Pulau Sumba ke arah timur laut dan busur luar melalui Pulau Sawu ke timur laut. Namun memasuki periode tersier daerah ini mengalami penggelombang dengan pusat undasi di Laut Flores sebagai bagian dari sistem Pengunungan Sunda (Van Bemmelen, 1949).

Menurut (Brouwer, 1917), tidak adanya aktivitas vulkanisme di daerah ini disebabkan oleh karena jalan keluarnya magma tersumbat, sebagai akibat dari pergeseran lempeng Australia ke utara. Menurut (Van Bemmelen, 1949), tidak adanya aktivitas vulkanisme dari Alor ke timur dan juga zona Ambon terjadi karena gaya endogen dari lapisan tektonosfer telah habis, serta puncak *asthenolith*-nya mungkin mengalami pembekuan sehingga saluran magma yang keluar tersumbat.

Pulau Rote tersusun dari sedimen-sedimen yang telah mengalami pelipatan kuat, tertutup dengan karang kuartar sampai ketinggian 430 m. Pulau Sawu terdiri dari batuan pra-tersier, dikelilingi oleh karang koral setinggi 300 m.

Puncak genatiklinal dari Pulau Timor mengalami depresi memanjang dari teluk Kupang sampai dengan sungai Lois. (Brouwer, 1917) mengemukakan bahwa menurut cerita penduduk asli Timor, hampir seluruh Pulau merupakan laut. Gunung Lakaan 1525 m dahulu merupakan pulau saja. Hal ini berarti bahwa pengangkatan Pulau Timor terjadi belum lama ini. Hal ini didukung oleh bukti-bukti ditemukannya sisa-sisa karang pada ketinggian 1000 m lebih. Pulau ini banyak mengalami *overthrust*. Batuan intrusi banyak yang tersingkap di permukaan. Di sana ditemukan bahan galian seperti emas, tembaga, chromium dan uranium namun dalam jumlah yang tidak ekonomis. Sebaran struktur batuan geologi yang ada di wilayah ini adalah:

- a. Batuan *silicic*, terdapat di Kabupaten Alor, kabupaten Lembata, sebagian besar Kabupaten Flores Timur, Kabupaten Sikka, Kabupaten Ende, sebagian besar Kabupaten Ngada, sebagian Kabupaten Manggarai,

sebagian besar Manggarai Barat, dan sebagian kecil Kabupaten Kupang.

- b. *Matic Basic Rocks* (batuan basa)
- c. *Intermediete Basic Rocks*
- d. *Pre Tertiare Undivideo*
- e. Batuan Pleogen
- f. *Alluvial Terrace Deposit and Coral Reets* (alluvium undak dan koral berumba)
- g. Batuan Neogen
- h. *Kekneno Series* (deret kekneno)
- i. *Sonebait Series* (deret sonebait)
- j. *Sonebait and Ofu Series Terefolde* (deret sonebait dan deret terlipat bersama)
- k. *Ofu Series* (deret ofu)
- l. *Silicic Efusives* (efusiva berasam kersik)
- m. *Triassic Rocks* (batuan triasik)
- n. *Crystalline Shist Rocks* (batuan sekis hablur)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)