

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Sianida

Sianida adalah senyawa yang mengandung gugus siano (CN) yang dikenal sebagai racun yang mudah terbakar dan mempunyai berat molekul 27,06. Jika terhirup dapat menyebabkan pingsan dan bahkan kematian. Sianida merupakan bahan kimia yang larut dalam air. Sianida (CN) sering terdapat dalam limbah cair terutama pada limbah industri elektronika. Senyawa ini merupakan bahan kimia yang sangat toksin yang dapat mempengaruhi sistem saraf. Sianida biasanya digunakan dalam jumlah besar pada pertambangan, percetakan, baja dan industri kimia. Sebagai akibatnya, industri-industri tersebut menghasilkan limbah cair yang banyak mengandung sianida. Limbah sianida ini biasanya juga mengandung sejumlah logam berat seperti tembaga, nikel, seng, perak, dan besi (Hidayat, 2016).

Sejak penggunaan pertamanya pada bidang pertambangan di Selandia Baru pada tahun 1887, Natrium Sianida (NaCN) telah memainkan peran penting dalam mengekstraksi emas dan logam lainnya seperti perak, tembaga, dan seng dari bijih di seluruh dunia. Sekitar 80 persen dari produksi emas di dunia menggunakan sianida dalam proses ekstraksi, dengan sekitar 2500 ton emas yang diproduksi setiap tahun (Environment Australia, 2008).

Dalam skala industri, pelindian sianidasi merupakan suatu proses hidrometalurgi yang paling ekonomis dan hingga kini telah diterapkan pada berbagai pabrik pengolahan emas. Senyawa sianida (Natrium Sianida (NaCN) dan Kalium Sianida (KCN)) digunakan untuk mengekstraksi emas dari mineral dengan melarutkannya di dalam NaCN atau KCN untuk memisahkannya dari senyawa-senyawa lain yang terdapat di dalam bahan tambang. Penggunaan sianida ini dapat mengakibatkan pencemaran dari limbah hasil pencucian (Djamin, 2007).

Banyaknya insiden lingkungan yang sangat signifikan yang terjadi di daerah aliran sungai, menyebabkan larangan penggunaan sianida dalam pertambangan. Salah satu insiden yang terjadi yaitu air yang terkontaminasi

dengan sianida memasuki Sungai Asuman dari tambang emas Tarkwa di Distrik Wassa West Ghana pada bulan Oktober 2001, membunuh ikan dan mengganggu pasokan air lokal (Environment Australia, 2008).

3.2 Dasar Kelistrikan

Metode resistivitas listrik bekerja berdasarkan pengukuran beda potensial pada permukaan bumi yang dihasilkan oleh arus searah yang mengalir di bawah permukaan, sehingga dapat ditentukan distribusi resistivitas bawah permukaan dan interpretasi material bumi. Hukum Ohm, pertama diperkenalkan oleh ahli fisika Jerman George Simon Ohm, yang menyatakan bahwa beda potensial akibat suatu beban berbanding lurus dengan arus listrik. Hubungan antara besarnya beda potensial listrik V , kuat arus listrik I dan besarnya resistansi atau tahanan kawat penghantar R (Lowrie, 2007) adalah :

$$V = IR \quad (3.1)$$

Variasi material geologi memiliki resistansi yang berbeda dalam aliran arus, maka kita dapat mengukur arus dan tegangan untuk memperoleh resistansi dan menentukan jenis material bawah permukaan. Berdasarkan Gambar 3.1 dijelaskan bahwa dua resistor dengan panjang l yang berbeda dengan luas penampang A . Jika kedua resistor terbuat dari material yang sama, hal tersebut terlihat jelas bahwa kedua resistor tidak akan memiliki resistansi yang sama. Resistansi resistor pada Gambar 3.1 bergantung pada panjang, luas penampang, dan sifat material yang digunakan dalam pembuatannya, yang kita sebut dengan resistivitas yang dilambangkan dengan ρ , dapat dituliskan :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.2)$$

atau

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (3.3)$$

Jika persamaan 3.1 disubstitusikan ke dalam persamaan 3.3, maka didapatkan nilai resistivitas ρ sebesar :

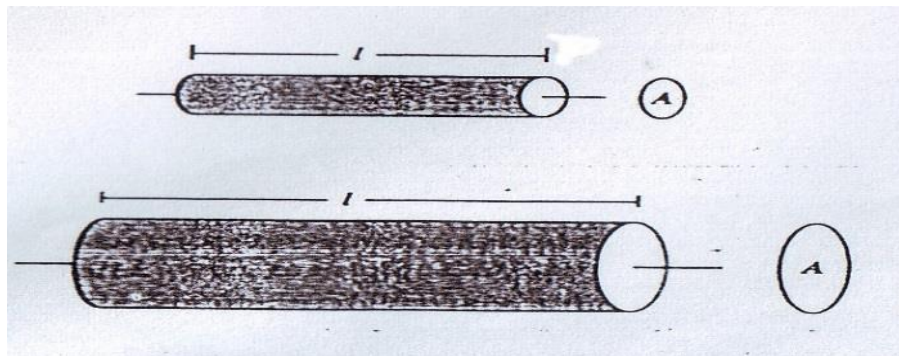
$$\rho = \frac{V A}{I l} \quad (3.4)$$

Sedangkan sifat konduktivitas σ batuan adalah kebalikan dari resistivitas :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{I l}{A V} = \frac{J}{E} \quad (3.5)$$

dimana

$$J = \frac{I}{A} \quad \text{dan} \quad E = \frac{V}{l} \quad (3.6)$$



Gambar 3.1 Dua resistor dengan panjang (l) yang berbeda dan luas penampang (A) yang berbeda (Lowrie,2007)

Satuan resistivitas yaitu Ωm . Konduktansi ($1/\Omega$) adalah kebalikan dari resistansi (Ω), dan konduktivitas ($1/\Omega m$) kebalikan dari resistivitas (Lowrie, 2007).

3.3 Potensial Listrik di Dalam Bumi

Arus listrik diasumsikan mengalir secara kontinu pada medium homogen isotropik. Jika dA merupakan elemen luasan permukaan dan J adalah rapat arus listrik dalam A/m^2 , maka besarnya elemen arus listrik dI yang melalui elemen permukaan adalah:

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (3.6)$$

Sesuai dengan hukum Ohm, rapat arus \vec{J} dan medan listrik \vec{E} yang ditimbulkannya (Telford, 1990) yaitu :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (3.7)$$

dengan \bar{E} dalam satuan volt/meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam satuan siemens/meter. Apabila \bar{E} adalah medan konservatif, maka medan listrik dapat dinyatakan dalam gradien potensial skalar (Telford, 1990)

$$\bar{E} = -\bar{\nabla}V \quad (3.8)$$

sehingga

$$\bar{J} = -\sigma \bar{\nabla}V \quad (3.9)$$

Jika diasumsikan muatannya tetap, berarti tidak ada arus yang keluar atau arus yang masuk dalam suatu volume tertutup dengan luas permukaan dA , sehingga berlaku

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{J} = \bar{\nabla} \cdot (-\sigma \bar{\nabla}V) = 0 \quad (3.10)$$

$$-\sigma \bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}V = -\sigma \nabla^2V = 0 \quad (3.11)$$

Jika konduktivitas listrik medium (σ) bernilai konstan, sehingga diperoleh persamaan Laplace untuk potensial (Telford, 1990) yaitu :

$$\nabla^2V = 0 \quad (3.12)$$

Persamaan differensial laplace yang digunakan berupa persamaan untuk koordinat bola karena medan equipotensial dalam bumi berupa simetri bola. Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\nabla^2V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} = 0 \quad (3.13)$$

Dengan mengasumsikan bumi homogen isotropis dan simetri bola, maka potensial V merupakan fungsi r saja ($V = V(r)$). Solusi umum persamaan Laplace dalam sistem koordinat bola adalah (Telford) :

$$\nabla^2V = \frac{d^2V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \quad (3.14)$$

Dengan mengalikan persamaan tersebut dengan r^2 dan diintegalkan sehingga diperoleh :

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (3.15)$$

Integralkan lagi, diperoleh :

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (3.16)$$

Dimana A dan B adalah konstanta. Bila diterapkan syarat batas untuk potensial yaitu pada jarak $r = \infty$, maka potensial di tempat itu adalah nol, sehingga $B = 0$ dan diperoleh $V = -\frac{A}{r}$. Besar arus total yang melewati permukaan bola ditunjukkan oleh persamaan :

$$dI = J dA \quad (3.17)$$

$$\int dI = J \int dA \quad (3.18)$$

$$\int dA = 4\pi r^2 \quad (3.19)$$

$$I = 4\pi r^2 J \quad (3.20)$$

dari $J = \sigma E$ dan $E = -\frac{dV}{dr}$ dari persamaan (3.20), diperoleh :

$$J = -\sigma \frac{dV}{dr} \quad (3.21)$$

$$I = -4\pi r^2 \sigma \frac{dV}{dr} \quad (3.22)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (3.15) kedalam persamaan (3.22) diperoleh :

$$I = -4\pi r^2 \left(\frac{A}{r^2}\right) \quad (3.23)$$

$$I = -4\pi \sigma k_1 \quad (3.24)$$

dari hubungan $\rho = \frac{1}{\sigma}$ diperoleh persamaan baru yaitu:

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} A \quad (3.25)$$

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (3.26)$$

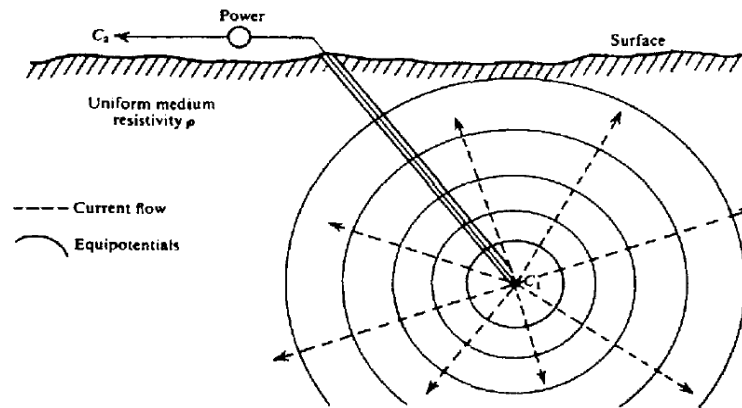
Dari persamaan $V = -\frac{A}{r}$ dan persamaan (3.26) diperoleh :

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (3.27)$$

Sehingga

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (3.28)$$

Garis equipotensial yang ortogonal terhadap garis aliran arus listrik akan membentuk permukaan bola dengan r yang konstan. Ilustrasi ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Titik sumber arus pada medium homogen (Telford, 1990)

3.4 Potensial di Sekitar Titik Arus di Dalam Bumi

Sumber titik arus listrik yang berada dipermukaan bumi akan merambat kesegala arah secara radial yang berbentuk setengah permukaan bola dengan luas $2 \pi r^2$ sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola A yang berjari-jari r adalah:

$$I = 2 \pi r^2 J \quad (3.29)$$

$$I = -2 \pi r^2 \sigma \frac{dV}{dr} \quad (3.30)$$

$$I = -2 \pi \sigma A \quad (3.31)$$

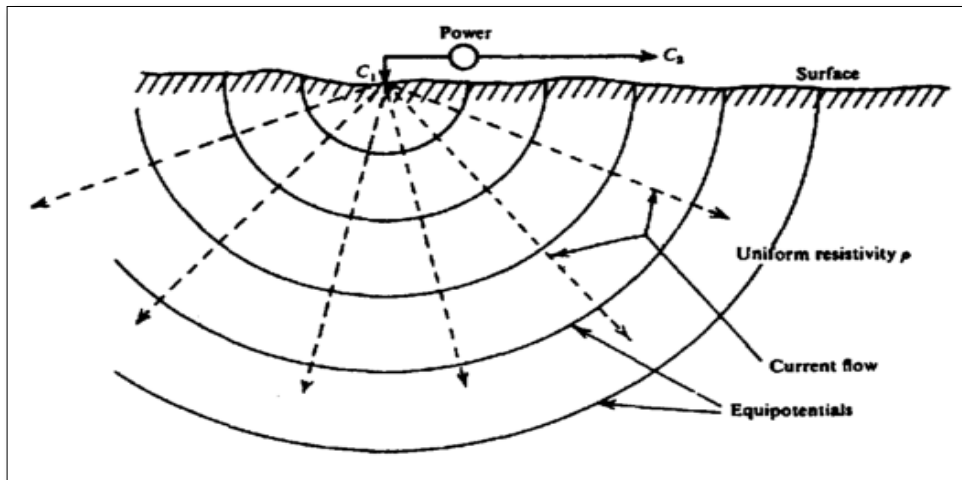
Berdasarkan persamaan (3.23) diperoleh :

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (3.32)$$

Sehingga pada kasus ini

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r} \quad \text{atau} \quad \rho = (2\pi r)\frac{V}{I} \quad (3.33)$$

Garis equipotensial pada permukaan setengah bola di bawah tanah dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut :

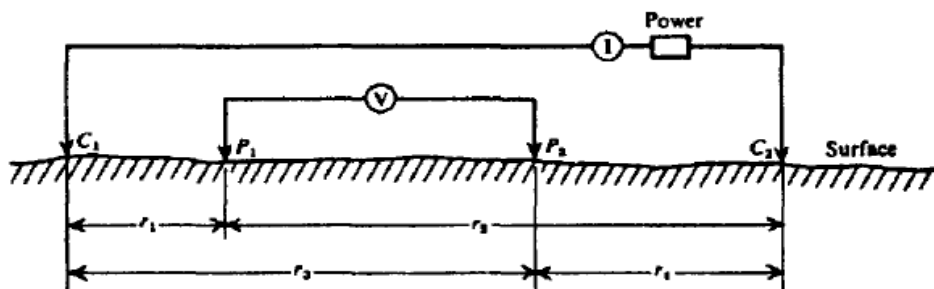


Gambar 3.3 Titik Sumber Arus pada Homogen Isotropik (Telford, 1990)

3.5 Dua Elektroda Arus pada Permukaan

Apabila jarak (r) antar dua elektroda arus dibuat dengan jarak tertentu (Gambar 3.4), potensial dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut, maka potensial pada P_1 yang diakibatkan oleh C_1 adalah

$$V_{11} = -\frac{A_{11}}{r_{11}} \text{ dimana } A_{11} = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (3.34)$$



Gambar 3.4 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial pada permukaan tanah homogen isotropik dengan resistivitas ρ (Telford, 1990)

Karena besarnya arus pada kedua elektroda sama dan berlawanan arah, maka potensial pada P_1 yang diakibatkan oleh C_2 adalah

$$V_{12} = -\frac{A_{12}}{r_{12}} \text{ dimana } A_{12} = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_{11} \quad (3.35)$$

Sehingga diperoleh

$$V_{p1} = V_{11} + V_{12} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3.36)$$

dengan cara yang sama dilakukan untuk elektroda potensial P₂ yang diakibatkan oleh elektroda arus C₁ dan C₂, sehingga diperoleh

$$V_{p2} = V_{21} + V_{22} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (3.37)$$

Maka beda potensial antara P₁ dan P₂ (Telford, 1990) :

$$V_{p1} - V_{p2} = \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (3.38)$$

3.6 Konsep Resistivitas Semu

Pada kondisi sebenarnya, bumi terdiri dari lapisan-lapisan tanah dengan nilai ρ yang berbeda-beda. Potensial yang terukur adalah nilai medan potensial oleh medium berlapis. Dengan demikian resistivitas yang terukur di permukaan bumi bukanlah nilai resistivitas yang sebenarnya melainkan resistivitas semu. Berdasarkan persamaan (3.38), diperoleh

$$\rho_a = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (3.39)$$

Sehingga resistivitas semu dirumuskan dengan :

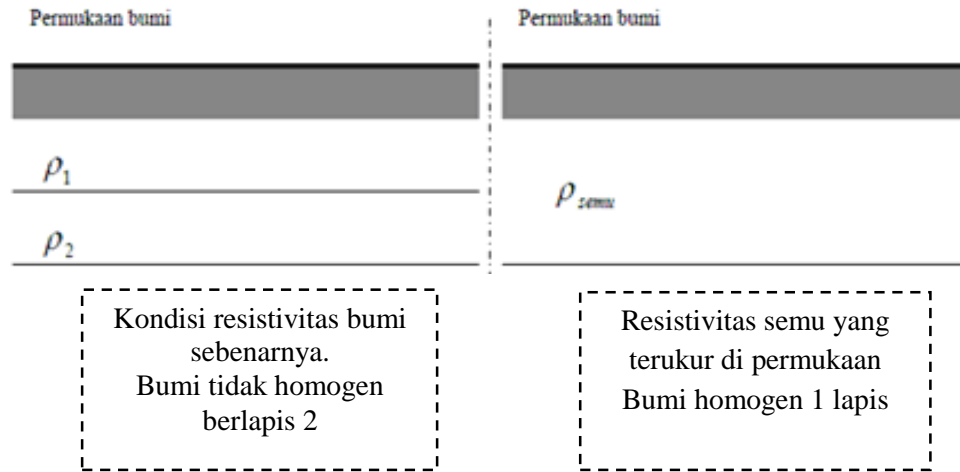
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3.40)$$

dimana

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \text{ meter} \quad (3.41)$$

Dengan ρ_a merupakan resistivitas semu dalam satuan Ωm , K merupakan faktor geometri dalam satuan meter, ΔV merupakan beda potensial dalam satuan volt dan I merupakan kuat arus dalam satuan ampere. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau (Gambar 3.5). Medium berlapis yang ditinjau misalnya terdiri dari 2 lapis dan mempunyai resistivitas berbeda (ρ_1

dan ρ_2). Dalam pengukuran, medium ini dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang memiliki satu nilai resistivitas yaitu resistivitas semu ρ_a (Rina, 2006).



Gambar 3.5 Lapisan dengan resistivitas sesungguhnya (ρ_1, ρ_2) dan resistivitas semu (ρ_{semu}) (Rina, 2006)

3.7 Metode Geolistrik

Metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan variasi nilai resistivitas untuk mencari sumber air tanah dan mendeteksi pencemaran air tanah (Reynolds, 1997). Metode ini dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke permukaan bumi menggunakan dua buah elektroda arus kemudian diukur beda potensialnya melalui dua buah elektroda potensial. Pada metode geolistrik tahanan jenis diasumsikan arus listrik yang diinjeksikan mengalir dalam medium homogen isotropis. Berdasarkan tujuan pengukuran di lapangan metode geolistrik tahanan jenis dibagi menjadi dua, yaitu (Telford dkk, 1990):

1. *Vertical Sounding*

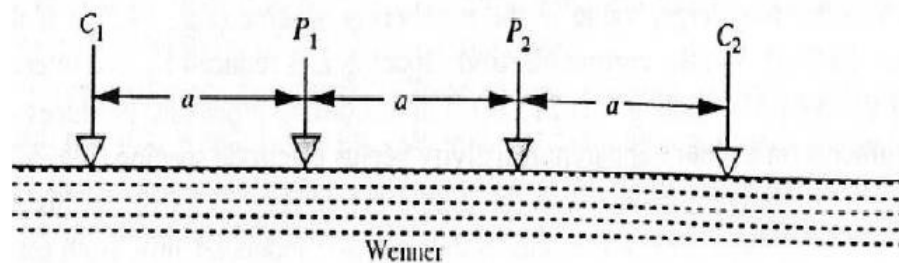
Metode resistivitas *Vertical Sounding* merupakan metode yang bertujuan untuk menentukan kedalaman berdasarkan variasi resistivitas dibawah permukaan bumi secara vertikal.

2. Lateral Profiling (Mapping)

Metode resistivitas *mapping* merupakan metode yang bertujuan menentukan sebaran berdasarkan variasi resistivitas dibawah permukaan bumi secara horizontal.

3.8 Konfigurasi Wenner

Pengukuran dengan konfigurasi *Wenner* menggunakan 4 elektroda, masing-masing 2 elektroda arus (C1 dan C2) dan 2 elektroda potensial (P1 dan P2). Konfigurasi Wenner ditunjukkan pada gambar 3.6 (Reynolds, 1997).



Gambar 3.6 Susunan elektroda konfigurasi *Wenner* (Reynolds, 1997)

Keterangan gambar :

- C₁, C₂ = Elektroda arus AB
- P₁, P₂ = Elektroda potensial MN
- a = Jarak/spasi elektroda (m)

Berdasarkan gambar 3.5. jika dilakukan substitusi AM = a, BM = r₃ = MN dan BN = a pada persamaan 3.41 maka :

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \\
 &= \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)} \\
 &= \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}\right)}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{2\pi}{\frac{2}{a} - \frac{2}{2a}}$$

$$= \frac{2\pi}{\frac{4a-2a}{2a}} = \frac{2\pi}{\frac{2a}{2a^2}} = \frac{2\pi}{\frac{1}{a}}$$

$$K = 2\pi a \quad (3.42)$$

Sehingga diperoleh :

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} 2\pi a \quad (3.43)$$

3.9 Resistivitas Batuan

Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Resistivitas pada mineral-mineral logam harganya berkisar antara $10^{-5} \Omega\text{m}$ hingga $10^7 \Omega\text{m}$, dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan *range* resistivitas yang bervariasi. *Range* resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari $1,6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (perak asli) hingga $10^{16} \Omega\text{m}$ (belerang murni). Konduktor didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari $10^{-5} \Omega\text{m}$, isolator memiliki resistivitas lebih dari $10^7 \Omega\text{m}$. Berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu (Telford, 1990):

1. Konduktor : $10^{-8} < \rho \leq 1 \Omega\text{m}$
2. Semikonduktor : $1 < \rho \leq 10^7 \Omega\text{m}$
3. Isolator : $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Resistivitas yang terukur pada material bumi utamanya ditentukan oleh pergerakan ion-ion bermuatan dalam pori-pori batuan. Tabel 3.1 memberikan nilai resistivitas (ρ) secara umum.

Tabel 3.1 Resistivitas Material Bumi

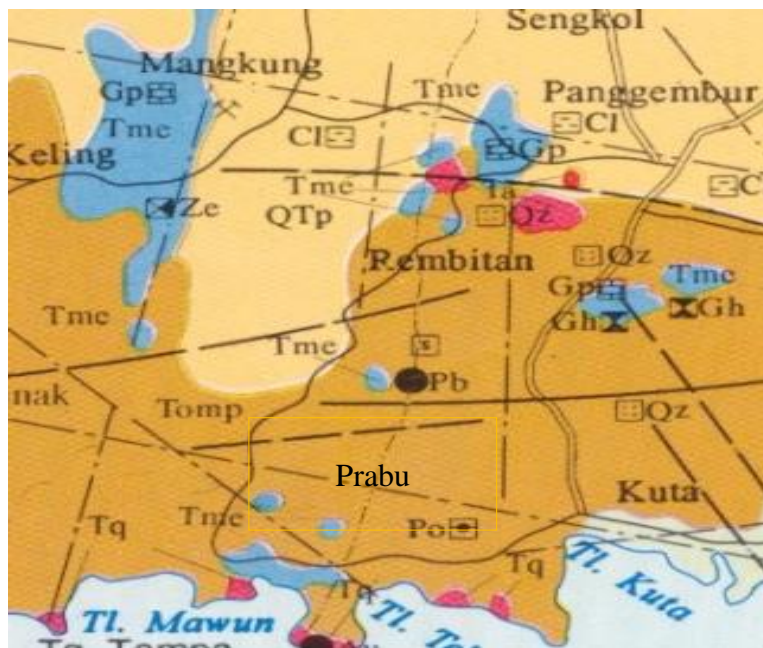
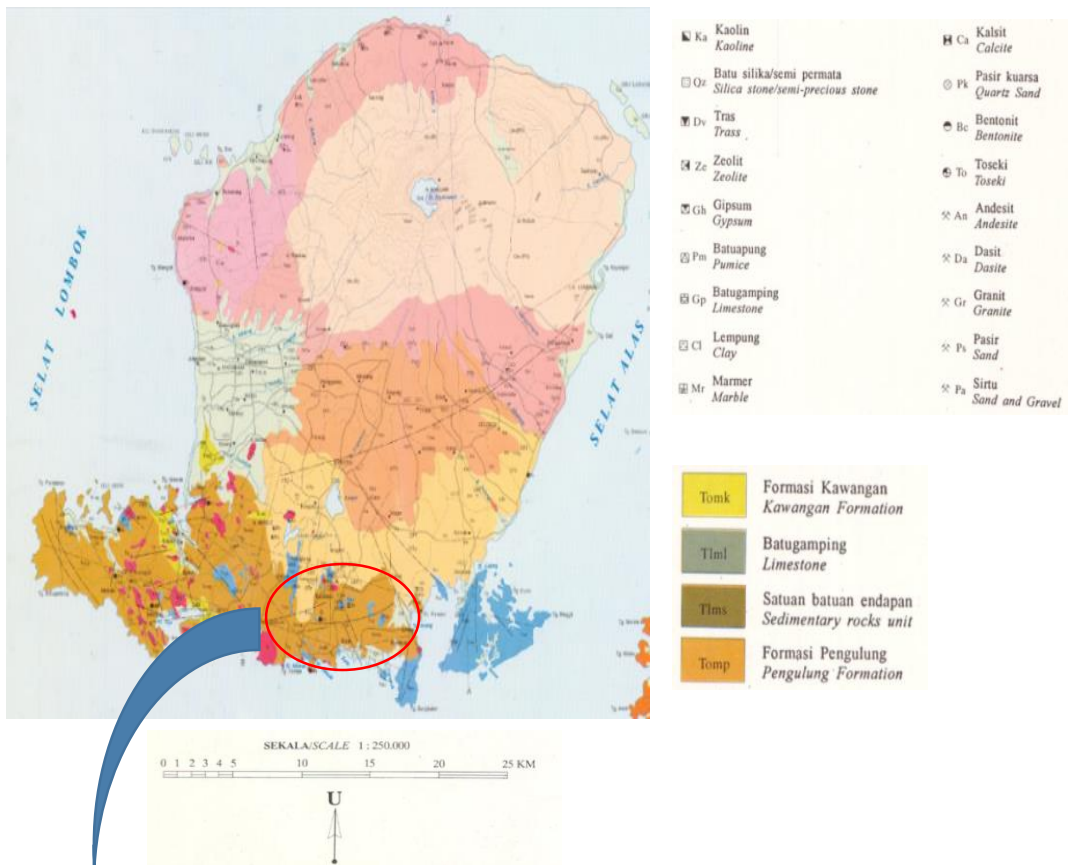
Material	Resistivitas (Ωm)
Basal	$10^3 - 10^6$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Marble	$10^2 - 2,5 \times 10^8$
Kwarsit	$10^2 - 2 \times 10^8$
Batu Pasir	$8 - 4 \times 10^3$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$
Batu Gamping	$50 - 4 \times 10^2$
Lempung	1-100
Alluvium	1-800
Air Tanah	10 – 100
Air Laut	0,2

Sumber : Loke, 1997

3.10 Geologi Daerah Penelitian

Pulau Lombok merupakan salah satu gugusan kepulauan di Nusa Tenggara. Secara fisik, dibagian barat berbatasan dengan Pulau Bali, bagian timur dibatasi oleh Pulau Sumba, bagian utara dibatasi oleh Laut Flores dan bagian selatan dibatasi oleh Samudra Hindia. Secara geologi, Nusa Tenggara berada pada Busur Banda yang merupakan kepulauan yang dibentuk oleh pegunungan vulkanik muda (Van Bemmelen, 1949).

Berdasarkan peta geologi Pulau Lombok, daerah penelitian ini tersusun atas batugamping dan Formasi Pengulung yang terdiri dari lava, breksi, dan tuf. Tanah pelapukan dari Formasi Pengulung umumnya berupa lanau pasiran - pasir lanauan dan lempung lanauan - lempung pasiran. Sedangkan tanah pelapukan dari batu gamping yaitu berupa lempung pasiran, berwarna kuning kemerahan, dan agak gembur (Agung, 2014). Peta geologi Pulau Lombok pada Gambar 3.7



Gambar 3.7. Peta Geologi Pulau Lombok (Suratno, 1994)