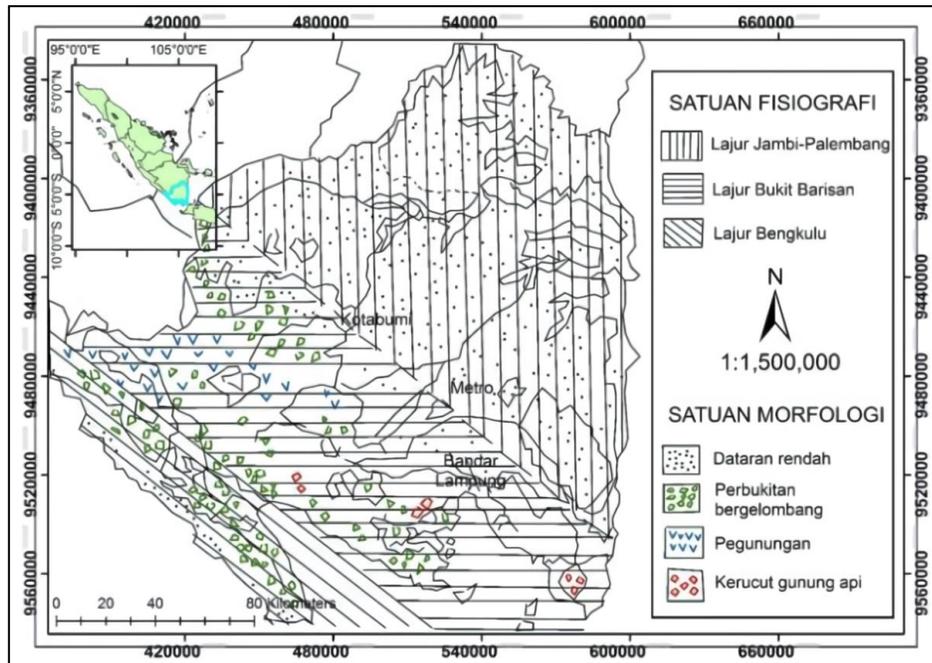




batuan gunung api. Morfologi Kabupaten Pesawaran tergolong ke dalam daerah bukit bergelombang karena letaknya masih di lajur bukit barisan.



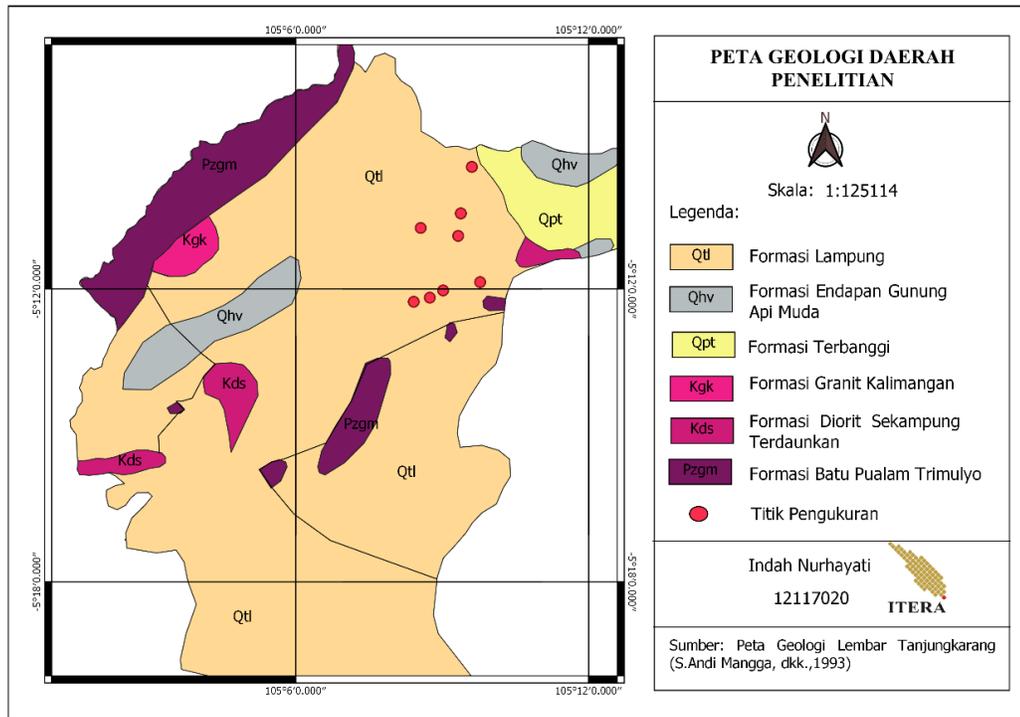
Gambar 2.2 Fisiografi Daerah Lampung (Mangga dkk., 1993).

## 2.2 Daerah Penelitian Tugas Akhir

Pada daerah penelitian kali ini berada di Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran Lampung. Gambar 2.3 merupakan peta provinsi Lampung yang menunjukkan Kecamatan Tegineneng sebagai daerah penelitian dengan koordinat  $5,13^{\circ} - 5,85^{\circ}$  LS dan  $104,93^{\circ} - 105,35^{\circ}$  BT yang terdiri dari sembilan Kecamatan di antaranya ialah Tegineneng, Padang Cermin, Way Lima, Kedondong, Marga Punduh, Way Khilau, Negeri Katon, dan Punduh Pidada. Adapun semenjak tahun 2007 sampai saat ini, jumlah Kecamatan yang ada di Pesawaran menjadi sebelas Kecamatan semenjak mengalami pemekaran.

Kecamatan Tegineneng sendiri masuk ke dalam daerah dataran dengan ketinggian yang bervariasi, selain itu Kecamatan Tegineneng juga berbatasan langsung dengan daerah Lampung Selatan. Departemen Sumber Daya Mineral 2008 mengkaji pergerakan tanah yang ada di wilayah penelitian, hasilnya menunjukkan bahwa

potensinya sendiri digolongkan ke dalam potensi rendah dan menengah. Umumnya untuk wilayah penelitian memiliki jenis pergerakan tanah dengan potensi yang rendah (Diskominfo Pesawaran, 2020).



Gambar 2.3 Peta Daerah Penelitian (modifikasi dari Mangga dkk., 1993).

Jika dilihat secara spesifik, daerah penelitian pada Gambar 2.3 didominasi oleh Formasi Lampung. Selain itu formasi batuan yang ada di dalam peta penelitian memiliki jenis-jenis sebagai berikut:

#### 1. Formasi Lampung

Formasi ini terdiri dari litologi berupa tuff riolitik, lempung tuff, pasir tuff, dan tuff apung.

#### 2. Formasi Endapan Gunung Api

Formasi Endapan Gunung Api terdiri dari jenis batuan berupa lava (andesit dan basalt), breksi, dan tuff.

#### 3. Formasi Batu Pualam Trimulyo

Formasi Batu Pualam Trimulyo terdiri dari jenis batuan berupa batu pualam dan sekis.

#### 4. Formasi Terbanggi

Formasi Terbanggi terdiri dari jenis batuan berupa batu pasir dengan sisipan lempung.

#### 5. Formasi Granit Kalimantan

Formasi Granit Kalimantan terdiri dari jenis batuan seperti granit, granodiorit, dan diorit.

#### 6. Formasi Diorit Sekampung Terdaunkan

Formasi Diorit Sekampung Terdaunkan terdiri dari jenis batuan berupa diorit dan diorit kuarsa.

### 2.3 Metode Geolistrik

Geolistrik ialah suatu metode yang mempelajari struktur di bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan dari batuan. Menurut Burger (1992), sumber arus listrik pada geolistrik digolongkan menjadi dua jenis yaitu:

- a. Pasif artinya pada suatu material penyusun batuan, arus listrik yang ditimbulkan disebabkan oleh aktivitas elektromekanik dan elektrokimia di mana contohnya seperti *Self Potensial (SP)*.
- b. Aktif artinya arus listrik dialirkan ke dalam bumi sehingga yang terukur di dua titik permukaan adalah efek potensial yang disebabkan oleh aktivitas elektrokimia secara ilmiah.

Teknik pengukuran dari geolistrik resistivitas sendiri terbagi menjadi teknik *sounding* yang berfungsi mempelajari variasi resistivitas batuan secara vertikal dan teknik *mapping* yang berfungsi mempelajari variasi resistivitas batuan secara horizontal di bawah permukaan bumi (Reynolds, 2005).

#### 2.3.1 Aliran Listrik dalam Bumi

Karakter yang dimiliki pada suatu material tentunya berbeda, hal ini juga berpengaruh pada saat material mengalirkan arus listrik. Sifat umum yang dimiliki bumi dan batuan yaitu heterogen, padahal syarat dalam pengukuran geolistrik yaitu batuan harus bersifat homogen. Pengaruh yang ditimbulkan tentunya dapat membuat

data dan hasil pengukuran beda potensial menyimpang dari kondisi sebenarnya (Kunetz, 1966).

Asumsi terkait sifat homogen pada bumi yaitu dimana bumi yang berlapis-lapis dianggap hanya terdiri dari satu lapisan saja, selain itu sifat isotropik pada bumi menunjukkan kondisi keseragaman suhu saat gradien panasnya diukur di setiap tempat. Homogen isotropis juga menunjukkan kondisi ideal pada bumi (Vebrianto, 2016).

### 1. Potensial pada medium homogen isotropis

Jika arus listrik mengalir pada medium homogen isotropis, maka menurut Hukum Ohm terdapat hubungan:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.1)$$

$\sigma$  sebagai konduktivitas listrik medium (mohs/m) dan  $E$  sebagai medan listrik (volt/m). Medan listriknya dapat ditulis:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.2)$$

substitusi persamaan (2.2) ke persamaan (2.1):

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (2.3)$$

syarat batasnya ialah arus yang memasuki suatu luasan tertentu sama dengan arus yang meninggalkannya terkecuali di sumber arusnya, maka:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}(\sigma V) \quad (2.4)$$

apabila  $\sigma$  konstan maka elemen pertama pada persamaan (2.4) sama dengan nol sehingga diperoleh persamaan Laplace:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.5)$$

### 2. Potensial oleh elektroda arus tunggal pada medium homogen isotropis

persamaan Laplace pada koordinat bola arah radial ialah:

$$\nabla^2 V = \frac{d^2 V}{dr^2} + \left(\frac{2}{r}\right) \frac{dV}{dr} = 0 \quad (2.6)$$

dari hukum ohm diperoleh hubungan bahwa arus yang keluar saat bumi dianggap homogen isotropis dan aliran arusnya menyebar ke segala arah membentuk bola radial dapat dinyatakan pada persamaan:

$$I = JA \quad (2.7)$$

dengan,

$$I = 4\pi r^2 J$$

$$J = -\frac{1}{\rho} \frac{B}{r^2} \quad (2.8)$$

maka:

$$I = -4\pi r^2 \left[ \frac{1}{\rho} \frac{B}{r^2} \right] \quad (2.9)$$

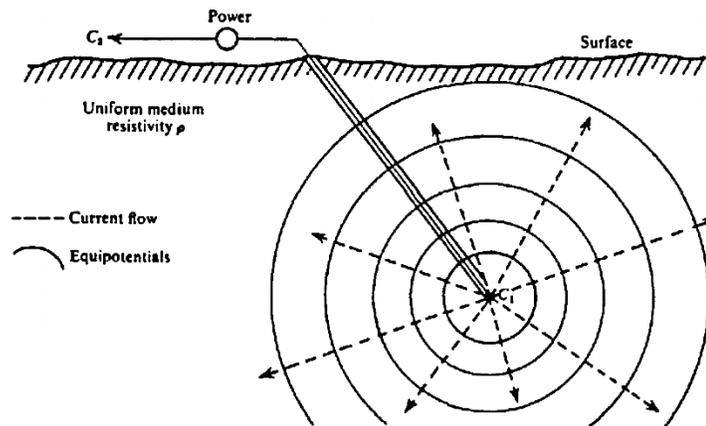
dari persamaan (2.9) diperoleh konstanta:

$$B = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.10)$$

sehingga diperoleh persamaan resistivitas sumber arus tunggal di dalam bumi yang membentuk permukaan bola radial yaitu:

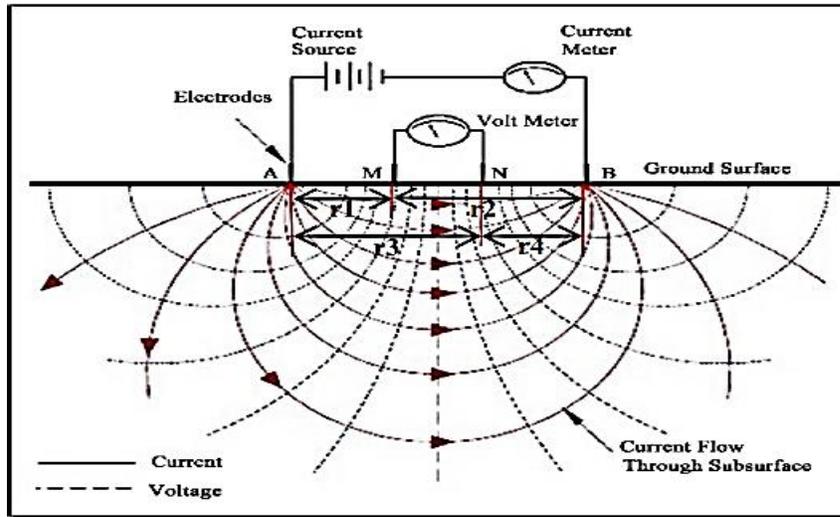
$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (2.11)$$

di mana  $\rho$  sebagai resistivitas medium ( $\Omega\text{m}$ ),  $I$  sebagai arus (A),  $V$  sebagai potensial (V), dan  $r$  sebagai jari-jari (m).



Gambar 2.4 Potensial Arus Tunggal (Telford dkk., 1990).

### 3. Potensial oleh elektroda arus ganda pada medium homogen isotropis



Gambar 2.5 Potensial Arus Ganda (Alotaibi dkk., 2019).

Pada dasarnya aliran listrik di dalam bumi yang dialiri arus listrik oleh sumber arus listrik ganda akan menghasilkan medium aliran listrik dari dua arah. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa arus yang dialirkan pada elektroda arus C1 dan C2 bernilai sama maka nilai potensial P1 terhadap C1:

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi r_1} \quad (2.12)$$

arus yang dialirkan pada C1 dan C2 sama namun berlawanan arah, maka potensial P2 terhadap C2 adalah:

$$V_2 = -\frac{I\rho}{2\pi r_2} \quad (2.13)$$

dapat diperoleh nilai potensial total  $V_{P1}$  dan ialah:

$$V_{P1} = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.14)$$

sedangkan nilai potensial total  $V_{P2}$  ialah:

$$V_{P2} = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.15)$$

maka diperoleh nilai beda potensial antara titik elektroda potensial P1 dan P2:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{P1} - V_{P2} \\ \Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.16)$$

sehingga diperoleh persamaan resistivitas sumber arus ganda:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.17)$$

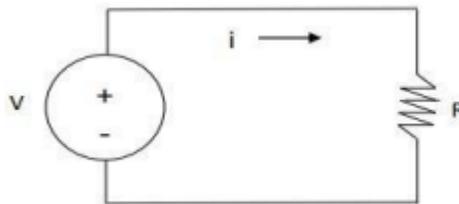
dengan,

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \quad (2.18)$$

di mana  $\Delta V$  sebagai beda potensial (V),  $I$  sebagai arus (A), dan  $k$  sebagai faktor geometri (m).

### 2.3.2 Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Konsep dasarnya ialah Hukum Ohm yang ditemukan oleh George Simon Ohm. Ia mengatakan bahwa arus listrik sebanding dengan tegangan, tetapi berbanding terbalik dengan hambatan. Gambar 2.6 merupakan gambaran dari rumus Hukum Ohm dan menurut Lowrie (2007), kalimat di atas dapat ditulis berupa persamaan:



Gambar 2.6 Rangkaian Listrik Sederhana Resistansi (Loke, 2004).

$$V = IR \quad (2.19)$$

di mana  $V$  ialah beda potensial (V),  $I$  ialah arus (A). Hukum Ohm berasumsi  $R$  nilainya tetap karena tidak tergantung dengan  $I$ , namun ada juga keadaan saat resistansi tidak tetap. Resistansi tak tetap dinyatakan dengan tegangan  $V$ , arus  $I$ , dan resistansi  $R$ . Kawat dengan  $A$  ( $m^2$ ) sebagai luas penampang,  $L$  (m) sebagai panjang, dan  $\rho$  ( $\Omega m$ ) sebagai resistivitas dapat dilihat pada Gambar 2.6, menurut Lowrie (2007), resistansi dinyatakan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.20)$$

dengan

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.21)$$

maka resistivitasnya ialah:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.22)$$

di mana  $I$  sebagai arus (A),  $A$  sebagai luas penampang ( $m^2$ ),  $V$  sebagai tegangan (V),  $L$  sebagai panjang lintasan (m), dan  $\rho$  sebagai hambatan jenis bumi ( $\Omega m$ ).

### 2.3.3 Sifat Kelistrikan Batuan

Dapat diketahui bahwa karakteristik batuan dalam menghantarkan arus listrik ialah definisi dari sifat kelistrikan batuan. Menurut Telford dkk. (1990), terdapat tiga jenis konduksi di antaranya ialah:

#### 1. Konduksi secara elektrolitik

Konduksi yang terjadi saat material terisi larutan elektrolit akibat adanya rongga batuan, semakin tinggi kandungan air pada batuan maka konduktivitasnya juga akan semakin besar sedangkan saat kandungan airnya semakin rendah maka resistivitasnya akan semakin tinggi.

Menurut Hukum Archie:

$$\rho_e = a\phi^{-m}S^{-n}\rho_w \quad (2.23)$$

di mana  $\rho_e$  ialah resistivitas batuan,  $\phi$  ialah porositas,  $S$  sebagai fraksi pori yang terisi air,  $\rho_w$  ialah resistivitas air,  $m$  ialah faktor sedimentasi, ( $a$ ,  $m$ , dan  $n$ ) ialah konstanta (Reynolds, 2005).

#### 2. Konduksi secara elektronik

Terjadi saat elektron yang dimiliki dari material jumlahnya banyak, suatu material akan sulit menghantarkan listrik saat resistivitasnya tinggi dan akan mudah menghantarkan listrik saat resistivitasnya rendah (Telford dkk., 1990).

#### 3. Konduksi secara dielektrik

Konduksi ini dapat terjadi saat elektron yang dimiliki dari suatu material jumlahnya sedikit. Ketika elektronnya berpindah dan terpisah maka akan menyebabkan adanya polarisasi (Reynolds, 2005).

Resistivitas batuan dipengaruhi oleh porositas, densitas, jenis material, rongga batuan, suhu, dan kandungan air sehingga rentang resistivitas batuan nilainya tidak pasti. Variasi resistivitasnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Harga Resistivitas Batuan dan Mineral (Telford dkk., 1990).

| No | Material       | Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )     |
|----|----------------|---------------------------------------|
| 1  | Pirit          | $1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^2$    |
| 2  | Batu Pasir     | $2 \times 10^2 - 8 \times 10^3$       |
| 3  | Pasir          | $1 \times 10^0 - 1 \times 10^3$       |
| 4  | Lempung        | $1 \times 10^0 - 1 \times 10^2$       |
| 5  | Air Tanah      | $5 \times 10^{-1} - 3 \times 10^2$    |
| 6  | Air Laut       | $2 \times 10^{-1}$                    |
| 7  | Kerikil Kering | $6 \times 10^2 - 1 \times 10^4$       |
| 8  | Aluvium        | $1 \times 10^1 - 8 \times 10^1$       |
| 9  | Kerikil        | $1 \times 10^2 - 6 \times 10^2$       |
| 10 | Pirit          | $1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^2$    |
| 11 | Kwarsa         | $5 \times 10^2 - 8 \times 10^5$       |
| 12 | Kalsit         | $1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$ |
| 13 | Batuan Garam   | $3 \times 10^1 - 10^{13}$             |
| 14 | Granit         | $2 \times 10^2 - 1 \times 10^5$       |
| 15 | Andesit        | $1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$    |
| 16 | Gamping        | $5 \times 10^2 - 1 \times 10^4$       |
| 17 | Lanau          | $1 \times 10^1 - 2 \times 10^2$       |
| 18 | Tuff Vulkanik  | $2 \times 10^1 - 1 \times 10^2$       |

#### 2.3.4 Porositas dan Permeabilitas

Menurut Nurwidiyantoro dan Irham (2006), porositas ( $\emptyset$ ) ialah ukuran ruang kosong pada suatu batuan, dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan antara volume

ruang yang terdapat pada batuan yang berpori terhadap volume total yang biasa dinyatakan dalam fraksi. Kapasitas penyimpanan fluida ditentukan oleh besar kecilnya suatu batuan. Porositas diklasifikasikan menjadi 2 jika dilihat dari waktu dan cara terjadinya yaitu porositas primer yang terbentuk pada waktu batuan sedimen diendapkan, sedangkan porositas sekunder terbentuk setelah batuan sedimen mengalami *dissolution*.

Kemampuan suatu medium berpori untuk meloloskan atau mengalirkan fluida disebut dengan permeabilitas. Permeabilitas penting untuk menentukan besarnya cadangan fluida yang dapat diproduksi. Aliran dan jumlah air tanah sangat mempengaruhi keadaan material di bawah permukaan, itu sebabnya jumlah air tanah yang dapat disimpan dalam batuan dasar bergantung pada permeabilitas. Air tanah mengalir menembus rongga yang kecil sehingga menyebabkan alirannya semakin lambat dan molekul airnya tidak akan berpindah (Wuryantoro, 2007).

### **2.3.5 Resistivitas Semu**

Resistivitas semu menganggap bahwa bumi itu sifatnya homogen, jadi saat terukur hanya menganggap terdiri dari satu lapisan saja sehingga yang diperoleh adalah nilai resistivitas sebenarnya, padahal bumi itu berlapis-lapis atau tak homogen jadi yang sebenarnya terukur adalah nilai resistivitas semu  $\rho a$  (Reynolds, 2005).

Menurut Reynolds (2005), persamaan resistivitas semu dapat dinyatakan:

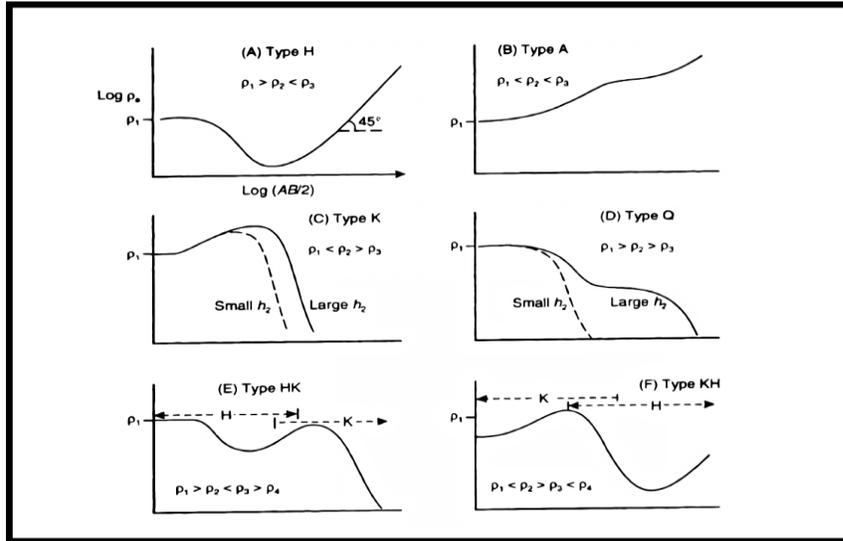
$$\rho a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.24)$$

di mana  $k$  sebagai faktor geometri,  $I$  adalah arus, dan  $V$  sebagai beda potensial. Komponen tersebut sangat berguna untuk menentukan resistivitas semu (Reynolds, 2005).

### **2.3.6 Vertical Electrical Sounding (VES)**

Teknik pengukuran resistivitas 1D secara vertikal yang bertujuan untuk memperoleh resistivitas yang bervariasi di bawah permukaan disebut dengan *Vertical Electrical Sounding* atau VES (Telford dkk., 1990). Tekniknya dengan mengubah jarak

elektroda dari yang terkecil hingga terbesar di mana jarak elektroda yang semakin besar akan berpengaruh terhadap dalamnya lapisan batuan yang terdeteksi. Terdapat enam kurva yang dihasilkan dari pengukuran ini di antaranya ialah Q, H, A, K, KH, HK yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



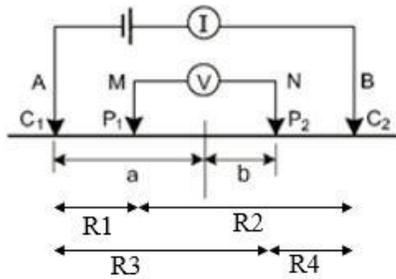
Gambar 2.7 Kurva *Sounding* Secara Umum (Telford dkk., 1990).

Kurva di atas memberikan gambaran mengenai nilai resistivitas dan total lapisan pada batuan yang menunjukkan hubungan elektroda arus, nilai resistivitas semu, resistivitas sebenarnya, ketebalan, dan kedalaman sehingga nantinya dapat merepresentasikan hasil yang sesungguhnya dari pengolahan data VES.

### 2.3.7 Konfigurasi *Schlumberger*

Pada konfigurasi *Schlumberger* seperti Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa elektroda AB berperan sebagai elektroda arus dan MN berperan sebagai elektroda potensial. Umumnya teknik pengukuran dengan *Schlumberger* yaitu di mana jarak elektroda potensialnya (MN) tetap sedangkan jarak elektroda arusnya (AB) berubah.

Adapun kelebihanannya ialah dapat memprediksi keadaan non homogenitas pada lapisan batuan di bawah permukaan, selain itu konfigurasi ini juga cocok untuk penetrasi kedalaman yang lebih dalam karena efek perubahan jarak dari elektroda arus (AB).



Gambar 2.8 Susunan Elektroda Konfigurasi *Schlumberger* (Santoso dkk., 2016).

Berdasarkan persamaan (2.18) dan Gambar 2.7, maka didapatkan persamaan faktor geometri untuk konfigurasi *Schlumberger* yaitu

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a-b} - \frac{1}{a+b} - \frac{1}{a+b} + \frac{1}{a-b}\right)} \\
 k &= \frac{2\pi(a^2-b^2)}{4b} \\
 k &= \frac{\pi(a^2-b)}{2b}
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

### 2.3.8 Inversi

Metode yang berfungsi memperoleh gambaran fisis dari observasi yang telah dilakukan disebut dengan inversi. Permodelan inversi (*inverse modelling*) juga biasa disebut dengan permodelan dari bentuk data menjadi sebuah model. Tujuan dari inversi yaitu untuk memperoleh permodelan hasil pengamatan dengan memodifikasi parameter atau disebut dengan proses *try and error*. Data di lapangannya bisa didefinisikan sebagai respon kondisi geologi akibat perbedaan sifat fisis di bawah permukaan (Grandis, 2009).

Berdasarkan Grandis (2009), hubungan parameter model ataupun data ialah:

$$d = G(m) \tag{2.26}$$

di mana  $d$  adalah matriks data,  $G$  adalah matriks kernel, dan  $m$  adalah matriks model.

Pada *software* IP2WIN dapat diketahui bahwa inversi yang digunakan berfungsi menemukan solusi atau model optimum dengan *error* kuadrat terkecil. Jenis inversi semacam ini disebut dengan *inversi non linier* dengan menggunakan pendekatan *least square*.

## 2.4 Air Tanah

Pergerakan air yang berada di dalam tanah di mana letaknya di rongga batuan kemudian meresap dan membentuk akuifer ialah definisi dari air tanah. Lapisannya sendiri bersifat permeabel dan impermeabel. Lapisan impermeabel artinya sulit dilalui air sedangkan lapisan permeabel mudah dilalui air. Jenis lapisan impermeabel di antaranya yaitu lapisan kedap air (*aquiclude*) dan lapisan (*aquifuge*) yang memiliki sifat kebal air (Tood, 1995).

Dapat juga dikatakan bahwa akuifer ialah salah satu lapisan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dengan kondisi yang cukup. Lapisan ini juga disebut sebagai lapisan pembawa air yang terdiri atas susunan batuan yang dapat mengalirkan air tanah (Indarto, 2012). Berdasarkan keadaan geologi tertentu, selain akuifer di bawah permukaan terdapat juga lapisan lainnya seperti:

1. Akuitar (*Aquitards*)

Lapisan ini mampu menyimpan air dengan aliran terbatas atau kecepatan rendah misal, lempung pasir (Kruseman dan De Ridder, 1994).

2. Akuiklud (*Aquiclude*)

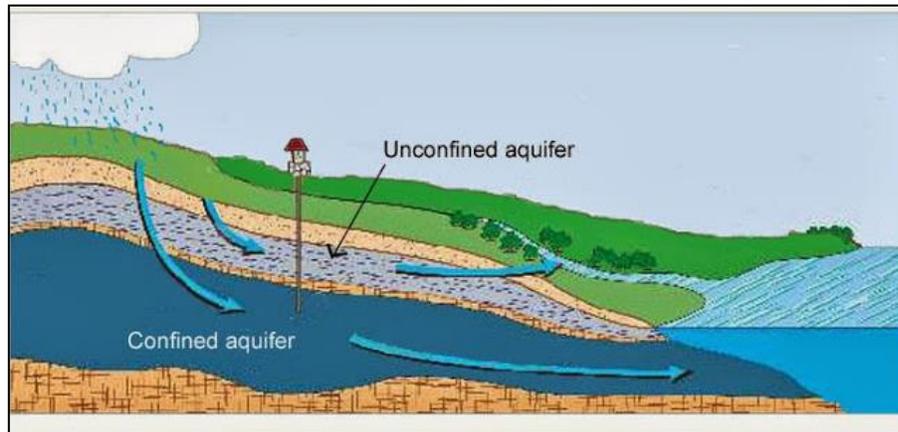
Lapisan ini dapat menyimpan air namun tidak dapat dialirkan atau sifatnya kedap air, misal serpih, lempung, lanau, dan tuff halus (Kruseman dan De Ridder, 1994).

3. Akuifug (*Aquifuge*)

Lapisan ini tak mampu menyimpan air sekaligus mengalirkan air, misal metamorf dan kristalin (Kruseman dan De Ridder, 1994).

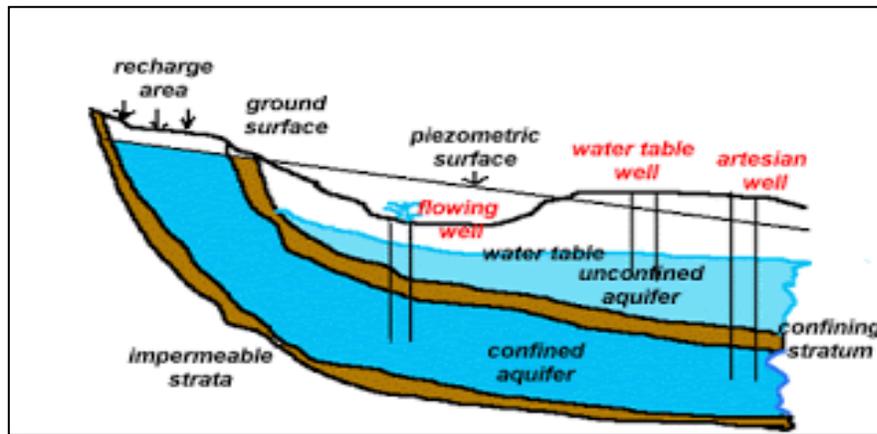
Dilihat dari litologinya, akuifer dapat dibedakan menjadi 4 macam menurut Wuryantoro (2007), yaitu:

1. Akuifer bebas, air tanahnya terletak di bawah lapisan yang sifatnya permeabel dan mempunyai muka air tanah seperti pada Gambar 2.9.



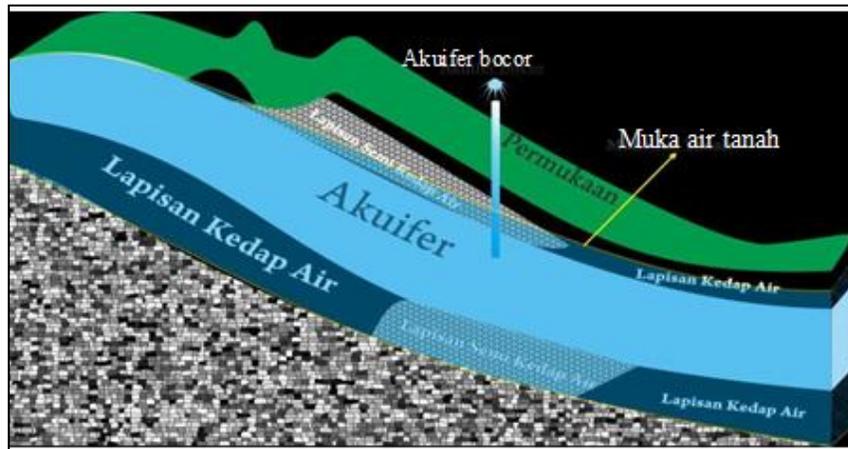
Gambar 2.9 Akuifer tidak tertekan atau akuifer bebas (Rahim dan Azhar, 2020).

2. Akuifer tertekan, air tanahnya dibatasi dengan lapisan yang impermeabel atau kedap air seperti pada Gambar 2.10.



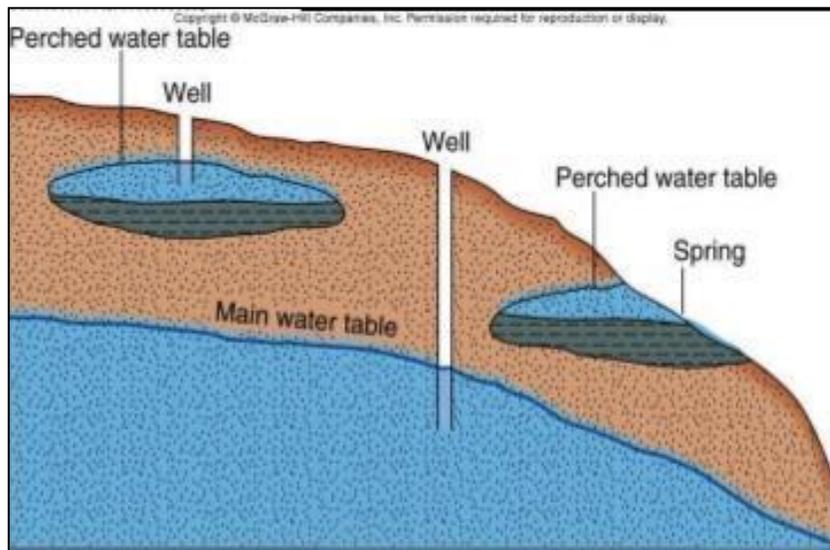
Gambar 2.10 Akuifer tertekan (Rahim dan Azhar, 2020).

3. Akuifer semi bebas, airnya terkompresi di bawah lapisan semi impermeabel, hal itu menimbulkan letaknya di antara akuifer tertekan dan bebas seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Akuifer semi bebas (Yohanis, 2020).

4. Akuifer melayang, air tanah terbentuk di atas lapisan yang sifatnya kedap air seperti Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Akuifer Melayang (Yohanis, 2020).