

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Definisi Air Tanah

Air tanah adalah air yang mengisi rongga-rongga pada lapisan geologi dalam keadaan jenuh dan dengan jumlah yang cukup. Sebagian besar air tanah berasal dari air permukaan yang meresap masuk ke dalam tanah yang merupakan proses peredaran air atau siklus hidrologi. Siklus hidrologi ini membuktikan bahwa air tanah merupakan bahan cair yang dapat diperbaharui bukan mineral atau bahan tambang yang habis terpakai. Air tanah secara terus menerus dapat diperbaharui selama tidak terjadi perubahan iklim dan ketersediaan air tanah tetap ada karena selalu terjadi pengisian kembali pada musim hujan [3].

Air tanah bergerak secara lateral dan vertikal yang dipengaruhi oleh keadaan morfologi, hidrologi dan keadaan geologi. Air tanah yang baik terdapat pada daerah morfologi dataran, seperti cekungan antar-gunung, dataran di sepanjang sungai dan dataran pantai tertentu. Pengaruh hidrologi terhadap air tanah adalah daya infiltrasi serta banyaknya penguapan dan pengaruh iklim. Sedangkan pengaruh geologi terhadap air tanah adalah bentuk dan penyebaran besar butir, perbedaan lapisan batuan dan struktur geologi [3].

2.2 Lapisan Pembawa Air Tanah

Lapisan pembawa air tanah atau akuifer adalah lapisan tanah di dalam permukaan bumi yang dapat menyimpan dan mengalirkan air tanah dengan jumlah yang cukup. Pada keadaan geologi tertentu dengan terbentuknya beberapa lapisan pembawa air, selain akuifer di bawah permukaan bumi, antara lain:

1. *Akuitar (Aquitards)*

Akuitar adalah lapisan batuan yang dapat menyimpan air tetapi hanya mengalirkan dalam jumlah yang terbatas dan dengan laju sangat lambat dibanding dengan akuifer, misalnya lempung pasir [6].

2. Akuiklud (*Aquiclude*)

Akuiklud adalah lapisan batuan yang dapat menyimpan air tetapi tidak dapat mengalirkan air dalam jumlah yang cukup, artinya akuiklud memiliki sifat kedap air, misalnya lapisan lempung, serpih, tuff halus dan lanau [6].

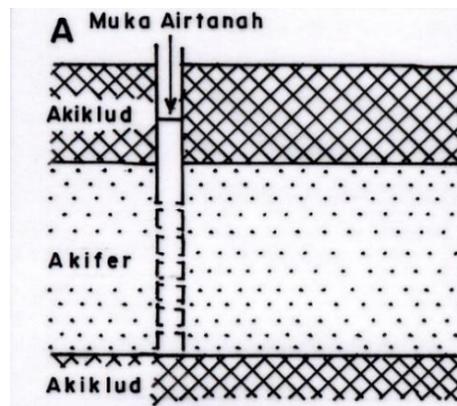
3. Akifug (*Aquifug*)

Akifug adalah lapisan batuan yang tidak dapat menyimpan air maupun mengalirkan air. Akifug memiliki sifat kebal air (tidak dapat menyimpan). Misalnya batuan kristalin, batuan metamorf [6].

Berdasarkan dengan susunan lapisan geologi (litologi), akuifer dapat dibedakan menjadi :

1. Akuifer tertekan (*Confined Aquifer*)

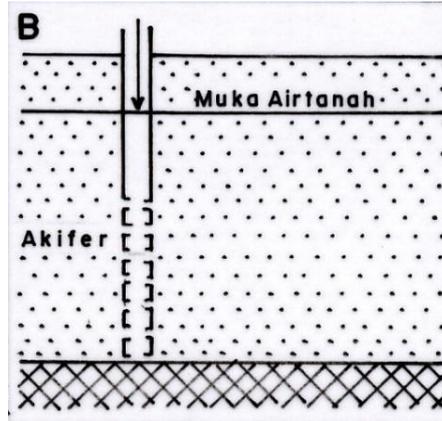
Lapisan akuifer yang pada lapisan atas dan bawahnya merupakan lapisan kedap air sebagai pembatasnya, atau lapisan akuifer yang bagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan bersifat akufug dan akuiklud, seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Akuifer Tertekan [6].

2. Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*)

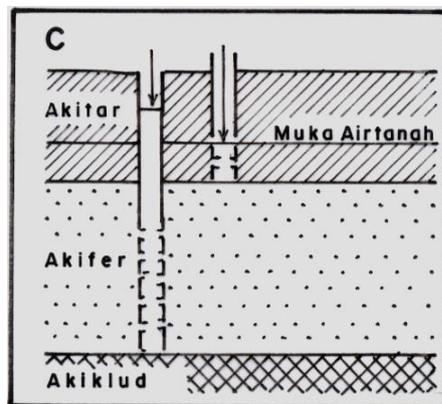
Lapisan akuifer hanya memiliki satu lapisan pembatas kedap air yang terletak di bagian bawah. Atau lapisan akuifer yang batas atasnya dibentuk oleh muka air tanah (*water table*) yang disebut *water table aquifer*, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Akuifer Bebas [6].

3. Akuifer Setengah Tertekan (*semi confined aquifer*)

Lapisan akuifer yang bagian atas dibatasi oleh lapisan setengah kedap air dan bagian bawah dibatasi oleh lapisan kedap air, atau bagian atas dibentuk oleh akitar dan muka air tanah, bagian bawah dibentuk oleh akuiklud, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Akuifer setengah tertekan [6].

Struktur geologi berpengaruh terhadap arah gerakan air tanah, tipe dan potensi akuifer. Stratigrafi yang tersusun atas beberapa lapisan batuan akan berpengaruh terhadap akuifer, kedalaman dan ketebalan, serta kedudukan air tanah. Jenis dan umur batuan juga berpengaruh terhadap daya hantar listrik, dan dapat menentukan kualitas air tanah. Pada mulanya air memasuki akuifer melewati daerah tangkapan (*recharge area*) yang berada lebih tinggi daripada daerah buangan (*discharge area*). Daerah tangkapan biasanya terletak di gunung atau pegunungan dan daerah buangan biasanya terletak di daerah pantai. Air tersebut kemudian mengalir ke bawah karena pengaruh gaya gravitasi melalui pori-pori akuifer. Air yang berada di bagian bawah akuifer mendapat tekanan yang besar oleh berat air di atasnya, tekanan ini tidak dapat hilang atau berpindah karena akuifer terisolasi di atas dan di

bawahnya, yaitu lapisan *impermeable* dengan konduktivitas hidrolik sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air melewatinya [7].

2.3 Metode Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus listrik dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus listrik ke bawah permukaan [3].

Metode geolistrik resistivitas merupakan suatu metode pendugaan kondisi bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur dengan menggunakan dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk jarak tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur [8].

Metode geolistrik resistivitas ini efektif untuk penyelidikan kondisi bawah permukaan yang sifatnya dangkal (maksimal 200 m), meskipun secara teoritis dapat digunakan untuk target yang lebih dalam. Dalam bidang geologi metode ini sering digunakan untuk pencarian akuifer air tanah, eksplorasi mineral logam, dan eksplorasi panas bumi. Dalam bidang non geologi metode geolistrik sering digunakan untuk penyelidikan arkeologi dan lingkungan [8].

2.3.1 Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat kelistrikan batuan merupakan karakteristik dari batuan dalam menghantarkan arus listrik. Batuan dianggap sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga memiliki tahanan jenis atau resistivitas. Menurut [9] aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat dikategorikan menjadi tiga macam, konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik dan konduksi secara dielektrik.

1. Konduksi Secara Elektronik

Konduksi yang terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral dialirkan oleh elektron-elektron bebas tersebut dan aliran listrik tersebut dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau

karakteristik tersebut batuan adalah resistivitas yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas pada batuan maka semakin sulit material dalam menghantarkan arus listrik. Begitu pula sebaliknya, apabila nilai resistivitasnya rendah maka akan semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Resistivitas mempunyai pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistivitas tidak hanya bergantung pada bahan tetapi bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sedangkan resistansi tidak bergantung pada faktor geometri [9].

2. Konduksi Secara Elektrolitik

Konduksi elektrolitik banyak terjadi pada batuan atau mineral yang bersifat porus dan pada pori-pori tersebut terisi oleh larutan elektrolit sehingga memungkinkan arus listrik mengalir akibat dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang [10].

3. Konduksi Secara Dielektrik

Konduksi ini terjadi jika batuan bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, artinya batuan memiliki elektron bebas sedikit bahkan tidak ada sama sekali. Elektron akan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti karena adanya medan listrik dari luar sehingga terjadi polarisasi [10].

Berdasarkan nilai resistivitas pada Tabel 2.1, maka batuan ataupun mineral di alam dibedakan menjadi 3 yaitu konduktor baik, konduktor sedang dan isolator. Dimana konduktor baik terjadi apabila nilai resistivitasnya sangat kecil, berkisar antara 10^{-8} - $1 \Omega\text{m}$. Konduktor sedang terjadi apabila nilai resistivitasnya 1 - $10^7 \Omega\text{m}$. Isolator terjadi apabila tidak dapat mengalirkan arus listrik dan harga resistivitasnya sangat tinggi, lebih besar dari $10^7 \Omega\text{m}$.

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Batuan [9].

Material	Resistivitas (Ωm)
Udara (<i>Air</i>)	~
Pirit (<i>Pyrite</i>)	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^2$
Kwarsa (<i>Quartz</i>)	$5 \times 10^2 - 8 \times 10^5$
Kalsit (<i>Calcite</i>)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Garam Batu (<i>Rock salt</i>)	$3 \times 10^1 - 1 \times 10^{13}$
Granit (<i>Granite</i>)	$2 \times 10^2 - 1 \times 10^5$
Andesit (<i>Andesite</i>)	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal (<i>Basalt</i>)	$2 \times 10^2 - 1 \times 10^5$
Gamping (<i>Limestone</i>)	$5 \times 10^2 - 1 \times 10^5$
Batu Pasir (<i>Sandstone</i>)	$2 \times 10^2 - 8 \times 10^3$
Batu tulis (<i>Shales</i>)	$2 \times 10^1 - 2 \times 10^3$
Pasir (<i>Sand</i>)	$1 \times 10^0 - 1 \times 10^3$
Lempung (<i>Clay</i>)	$1 \times 10^0 - 1 \times 10^2$
Air Tanah (<i>Ground water</i>)	$5 \times 10^{-1} - 3 \times 10^2$
Magnetit (<i>Magnetite</i>)	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^3$
Kerikil kering (<i>Dry gravel</i>)	$6 \times 10^2 - 1 \times 10^4$
Aluvium (<i>Alluvium</i>)	$1 \times 10^1 - 8 \times 10^1$
Kerikil (<i>Gravel</i>)	$1 \times 10^2 - 6 \times 10^2$

2.3.2 Potensial di Sekitar Titik Arus

1. Potensial di Sekitar Titik Arus di Dalam Bumi

Dalam model bumi yang homogen isotropis seperti pada Gambar 2.4, sebuah elektroda arus di dalam bumi yang dirangkai dengan elektroda lain di permukaan dengan jarak cukup jauh sehingga gangguannya dapat diabaikan. Elektroda arus dapat dimaksud sebagai titik sumber yang memancarkan arus listrik ke segala arah di dalam bumi yang memiliki hambatan jenis ρ . Equipotensial di setiap titik di dalam bumi akan membentuk permukaan bola dengan jari-jari r . Arus listrik keluar secara radial dari titik arus, sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola A dengan jari-jari r [4] adalah:

$$I = 4\pi r^2 J \quad (2.1)$$

dengan J adalah rapat arus,

$$J = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.2)$$

substitusikan Persamaan (2.2) pada Persamaan (2.1) menjadi,

$$I = -4\pi r^2 \frac{1}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.3)$$

dari Persamaan (2.3) dapat ditulis,

$$I = -\frac{4\pi A}{\rho} \quad (2.4)$$

dengan,

$$A = r^2 \frac{dV}{dr} \quad (2.5)$$

$$\int dV = \int \frac{A}{r^2} dr$$

$$V = -\frac{A}{r} \quad (2.6)$$

dengan A adalah konstanta, yang diperoleh dari Persamaan (2.4) yaitu,

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.7)$$

persamaan (2.7) disubstitusikan pada Persamaan (2.6) menjadi,

$$V = \frac{I\rho}{4\pi r} \quad (2.8)$$

sehingga nilai resistivitas yang diperoleh yaitu,

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (2.9)$$

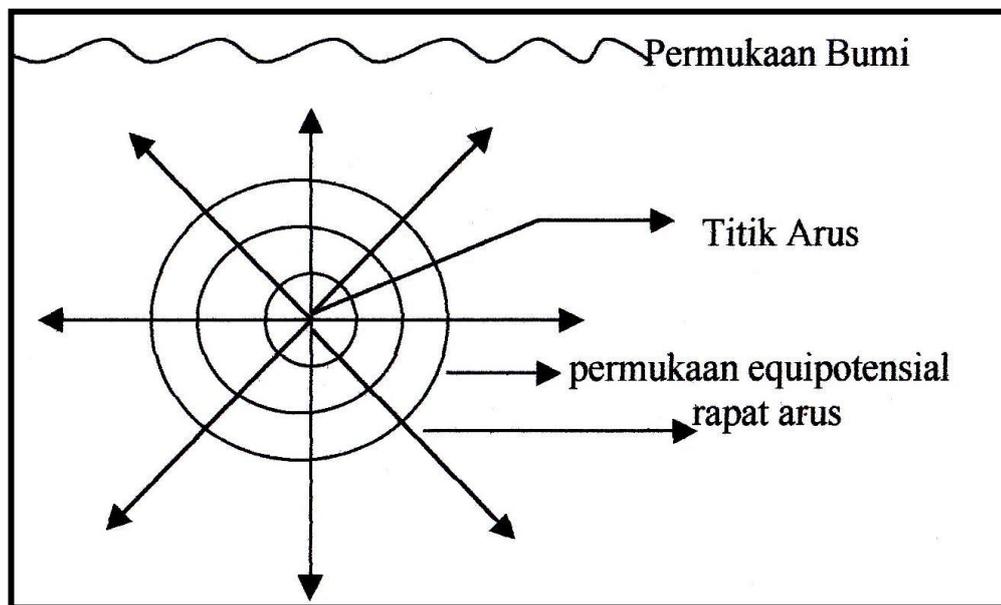
Keterangan:

ρ = Hambatan jenis (Ωm)

V = Potensial (volt)

I = Arus listrik (ampere)

r = Jari-jari (m)

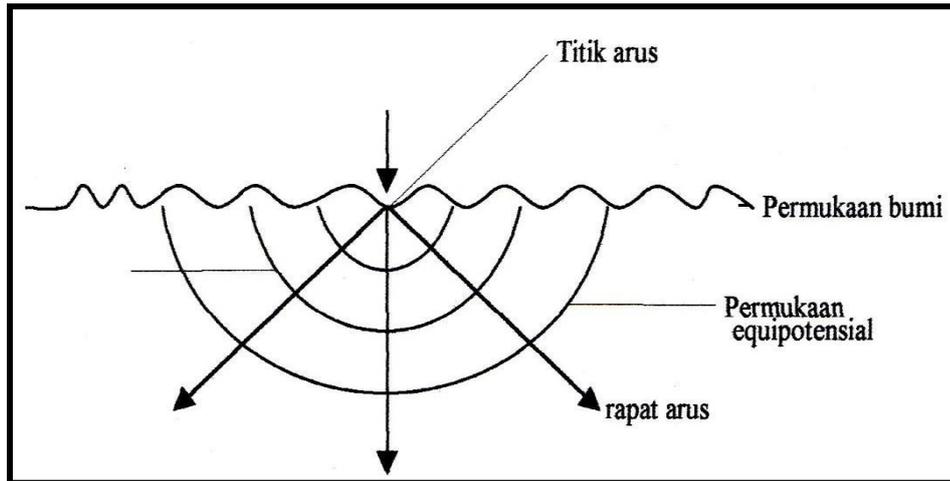


Gambar 2.4 Potensial di sekitar titik arus di dalam bumi [4].

2. Potensial di Sekitar Titik Arus di Permukaan Bumi

Titik elektroda arus yang terletak di permukaan bumi homogen isotropis dan dianggap memiliki konduktivitas nol seperti pada Gambar 2.5. Seperti kasus sebelumnya bahwa elektroda tersebut terangkai dengan elektroda lain yang berada pada titik yang sangat jauh. Dari titik elektroda arus diinjeksikan arus I ke dalam bumi. Dalam hal ini nilai potensial yang disebabkan oleh arus yang mengalir melalui permukaan setengah bola dengan merujuk pada Persamaan (2.8) adalah:

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.10)$$



Gambar 2.5 Potensial titik arus di permukaan bumi [4].

3. Potensial Listrik Oleh Dua Sumber Arus di Permukaan

Bila jarak antara dua elektroda arus tidak terlalu besar, potensial di setiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda tersebut seperti pada Gambar 2.6.

potensial pada P_1 yang disebabkan elektroda C_1 berdasarkan Persamaan (2.10) yaitu,

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi r_1} \quad (2.11)$$

karena arah arus C_2 berlawanan arah dengan C_1 , sehingga potensial P_2 karena elektroda C_2 adalah,

$$V_2 = -\frac{I\rho}{2\pi r_2} \quad (2.12)$$

sehingga memperoleh total potensial di titik P_1 (V_{P1}) adalah,

$$V_{P1} = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (2.13)$$

dengan melakukan hal yang sama pada elektroda potensial P_2 , diperoleh total potensial di titik P_2 (V_{P2}) adalah,

$$V_{P2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) \quad (2.14)$$

sehingga beda potensial antara titik P_1 dan P_2 (ΔV) adalah,

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2}$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.15)$$

berdasarkan Persamaan (2.15) diperoleh nilai resistivitas yaitu,

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.16)$$

dengan,

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (2.17)$$

Keterangan:

ΔV = Beda potensial antara P_1 dan P_2 (volt)

I = Arus listrik (Ampere)

ρ = Resistivitas semu (Ωm)

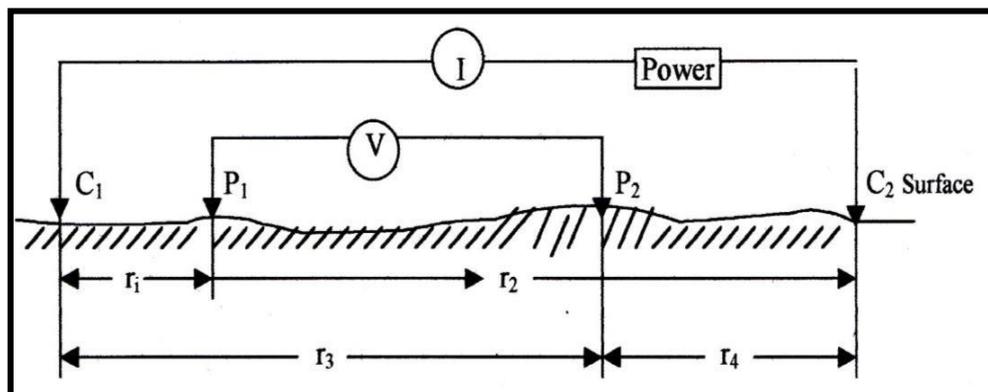
r_1 = Jarak C_1 ke P_1 (m)

r_2 = Jarak C_2 ke P_1 (m)

r_3 = Jarak C_1 ke P_2 (m)

r_4 = Jarak C_2 ke P_2 (m)

K = Faktor geometri (m)



Gambar 2.6 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan tanah homogen isotropis pada tahanan jenis ρ [9].

2.3.3 Konsep Resistivitas Semu

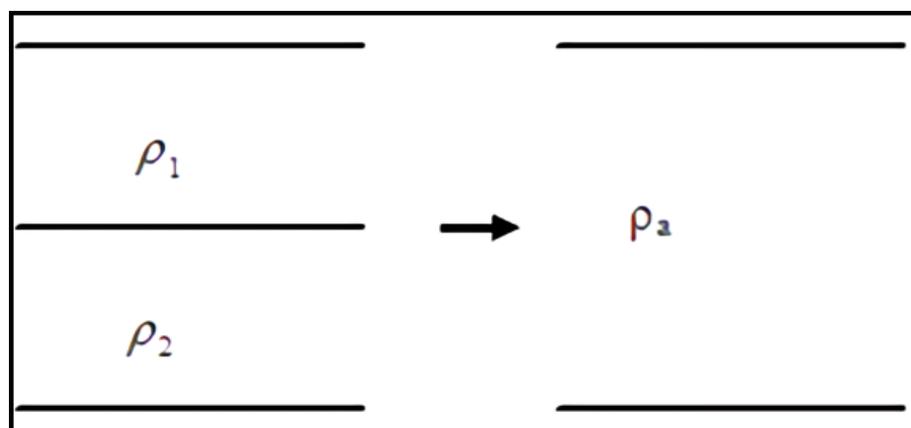
Pada metode resistivitas diasumsikan bahwa bumi bersifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Pada kenyataannya, bumi terdiri dari beberapa lapisan-lapisan dengan ρ yang berbeda-beda, sehingga nilai potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Maka harga resistivitas yang terukur adalah harga resistivitas untuk setiap lapisan saja, hal ini terutama untuk spasi elektroda yang lebar [10]. Resistivitas semu ini dirumuskan dengan merujuk pada Persamaan (2.16) menjadi,

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.18)$$

Di mana K adalah faktor geometri (m), yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus. Dengan mengukur ΔV dan I maka dapat ditentukan harga resistivitas.

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas menurut [11] adalah seperti berikut:

1. Komposisi mineral dari batuan, semakin meningkat kandungan mineral *clay* akan mengakibatkan menurunnya nilai resistivitas.
2. Kandungan air, air tanah atau air permukaan dapat menurunkan nilai resistivitas.
3. Porositas dan permeabilitas batuan.



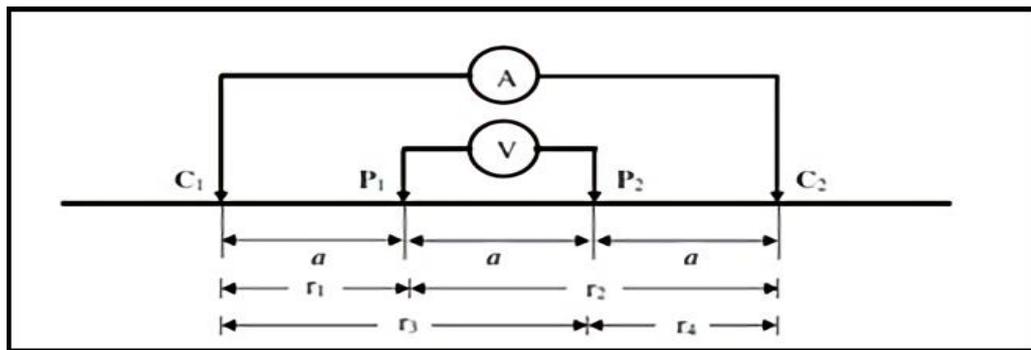
Gambar 2.7 Konsep Resistivitas Semu [8].

Gambar 2.7 menjelaskan bahwa medium yang ditinjau terdiri dari dua lapis dan mempunyai nilai resistivitas yang berbeda (ρ_1 dan ρ_2). Dalam pengukuran, medium

ini akan dianggap satu lapisan yang homogen dan mempunyai harga resistivitas semu (ρ_a).

2.3.4 Konfigurasi Wenner

Konfigurasi *wenner* merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam eksplorasi geolistrik dengan susunan jarak spasi sama panjang [12]. Dalam akuisisi data lapangan susunan elektroda arus dan potensial diletakan simetri dengan titik *sounding*.



Gambar 2. 8 Susunan elektroda arus dan elektroda potensial konfigurasi Wenner [13].

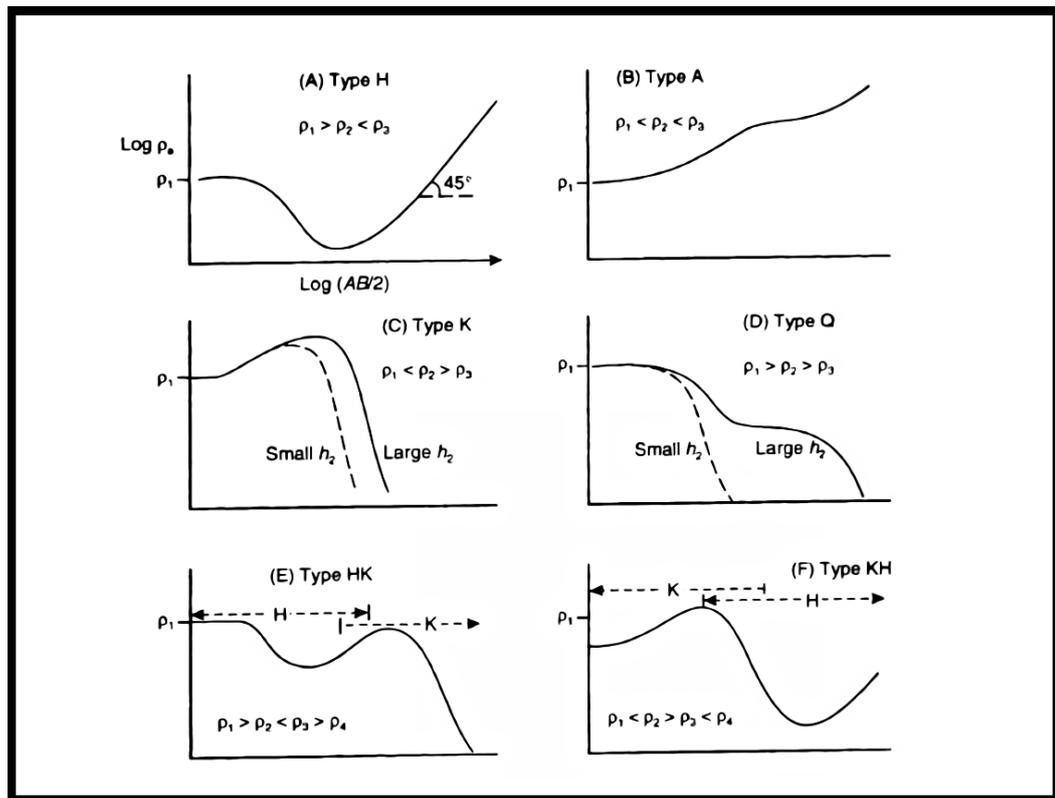
Dari Gambar 2.8 terlihat bahwa jarak $C_1P_1 = P_2C_2 = a$ dan jarak $C_1P_2 = P_1C_2 = 2a$, sehingga faktor geometri untuk konfigurasi *Wenner* berdasarkan Persamaan (2.17) adalah.

$$K = 2\pi a \quad (2.19)$$

2.4 Metode Vertical Electrical Sounding (VES)

Metode VES adalah metode pengukuran resistivitas 1D untuk memperoleh variasi resistivitas bawah permukaan secara vertikal [14]. Pada metode VES, pengukuran pada suatu titik *sounding* dilakukan dengan cara mengubah jarak elektroda. Perubahan jarak elektroda dilakukan dari jarak elektroda kecil kemudian membesar secara gradual. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Semakin besar jarak elektroda, semakin dalam lapisan batuan yang terdeteksi. Hasil yang didapat dari pengukuran VES adalah kurva resistivitas. Secara umum pada metode VES terdapat enam jenis kurva yaitu kurva H, A, K, Q, HK, KH bentuk kurva dapat dilihat pada Gambar 2.9. Dari setiap kurva

akan memberikan informasi mengenai jumlah lapisan, ketebalan lapisan dan nilai resistivitas dari setiap lapisan batuan.



Gambar 2.9 Kurva Sounding Secara Umum [9].

Gambar 2.9 merupakan kurva yang menggambarkan hubungan antara jarak elektroda arus ($C_1C_2/2$), nilai resistivitas semu (ρ_a), nilai resistivitas sebenarnya (ρ). Garis titik-titik menandakan hubungan antara $C_1C_2/2$ dan ρ . Garis lurus menandakan distribusi kedalaman dan ketebalan dari lapisan-lapisan nilai resistivitas sebenarnya. Kurva VES dapat digunakan untuk memudahkan interpretasi sesuai dengan tabel nilai resistivitas sebenarnya. Hubungan antara jenis batuan dan susunan material bawah permukaan bumi terhadap variabel-variabel VES akan tampak lebih mudah dipahami melalui hasil yang didapat dari pengolahan data VES.