

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Candi

Dalam Bahasa Indonesia, candi mempunyai arti sebagai bangunan peninggalan masa lampau yang berasal dari peradaban Hindu-Buddha yang digunakan sebagai tempat ibadah. Tempat dimana dilakukannya pemujaan terhadap dewa atau memuliakan Buddha. Dalam masyarakat umum, mempunyai pengertian bukan hanya sebagai tempat ibadah, tetapi juga sebagai situs purbakala non-religius seperti istana (kraton), pemandian (pentirnaan), ataupun gapura (Anonymous, 2011^a).

2.1.1. Gaya Arsitektur

Siplin atau seniman yang membuat candi (arsitek zaman dahulu), mengacu pada beberapa ketentuan yang tertera dalam kitab Vastusastra atau Silpasatra dalam melakukan pembangunan candi. Manasara merupakan salah satu bagian dari kitab Vastusastra dari India Selatan yang berisi mengenai patokan pembuatan kuil lengkap dengan komponennya, arsitektur profane, bentuk kota atau desa, benteng, serta penempatan kuil di kompleks kota atau desa. Pembangunan candi di Indonesia, selain mengacu pada ketentuan yang tertera dalam kitab Manasara juga dipertimbangkan beberapa faktor dan ketentuan lain yang sangat penting. Syarat pembangunan candi di Indonesia adalah pendirian bangunan suci dilakukan didaerah yang dekat atau mempunyai unsur air. Unsur air yang dimaksud berupa air sungai (terutama didekat pertemuan 2 sungai), danau, atau laut. Jika tidak terdapat unsur air secara alami, maka untuk memenuhi syarat adanya unsur air perlu dilakukan pembangunan kolam buatan atau meletakkan jambangan berisi air yang diposisikan di dekat pintu masuk bangunan suci. Syarat kedua dalam pembangunan bangunan suci adalah lokasi pembangunan candi berada didaerah bukit, lereng gunung, atau lembah.

Untuk bahan penyusun bangunan candi, terdapat 3 pilihan, yaitu batu andesit, batu putih (tuff), atau bata merah. Denah candi

juga terdiri dari beberapa bentuk, seperti denah bujursangkar, denah persegi panjang, atau denah lingkaran. (Anonymous, 2011^b).

2.1.2. Candi Badut

Candi Badut atau yang disebut juga candi Liswa ini ditemukan oleh pakar arkeologi pada tahun 1923. Candi ini terletak 5 km dari kota Malang, tepatnya berada di desa Karang Besuki, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Candi badut diduga sebagai candi tertua di Jawa Timur yang dibangun jauh sebelum pemerintahan Airlangga, yaitu pada masa dimulainya pembangunan candi-candi di Jawa Timur.

Bentuk bangunan candi Badut cenderung tambun dan mempunyai kemiripan dengan bangunan candi Dieng di Jawa Tengah. Bahan bangunan yang digunakan sebagai candi merupakan batu andesit. Candi dibangun diatas batur tanpa relief yang membentuk selasar dengan lebar sekitar 1 m di sekeliling tubuh candi dengan tinggi sekitar 2 m.

Terdapat beberapa bagian candi yang hilang atau belum dapat dikembalikan ke bentuk asalnya, seperti atap bangunan yang saat ini sudah tidak ada di tempatnya. Candi ini mengalami pemugaran pada tahun 1925-1926. Dibagian depan candi (bagian barat) tepatnya di sisi kiri terdapat fondasi bangunan lain yang diperkirakan merupakan bagian candi yang difungsikan sebagai kolam (Anonymous, 2011^c).



Gambar 2.1 Candi Badut (Anonymous, 2011^d)

2.2 Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari konsep kelistrikan didalam bumi. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengetahui bagaimana aliran listrik didalam bumi dengan memanfaatkan sifat kelistrikan material atau batuan sehingga dilakukan pengamatan dipermukaan. Pengamatan dilakukan untuk memperkirakan formasi batuan dibawah.

Dalam eksplorasi geolistrik, metode dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan asal arus listrik yang digunakan (Tacjudin, 1990), yaitu:

a) Metode aktif

Metode aktif adalah metode yang menggunakan arus buatan yang sengaja diinjeksikan ke dalam bumi untuk mendapatkan efek potensial yang akan diukur di permukaan bumi. Metode yang termasuk dalam metode aktif adalah metode tahanan jenis (resistivitas) dan metode induksi polarisasi (IP).

b) Metode pasif

Metode pasif adalah metode yang menggunakan arus alami dalam bumi karena adanya aktivitas elektrokimia dalam materi batuan. Metode yang termasuk dalam metode pasif adalah metode potensial diri (SP).

2.2.1. Metode Geolistrik Resistivitas

Tahanan jenis atau resistivitas merupakan kebalikan dari konduktivitas yang menunjukkan tingkat hambatan suatu bahan terhadap arus listrik. Metode geolistrik resistivitas bergantung pada arus dan beda potensial. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial yang dipasang segaris dengan dua elektroda arus. Dari hasil pengukuran arus dan potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda kemudian dapat diturunkan variasi harga resistivitas masing-masing lapisan dibawah titik (sounding).

Metode resistivitas didasarkan pada kenyataan bahwa sebagian dari arus listrik yang diberikan pada lapisan tanah, menjalar ke dalam tanah pada kedalaman tertentu dan bertambah besar dengan bertambahnya jarak antar elektroda, sehingga jika sepasang elektroda

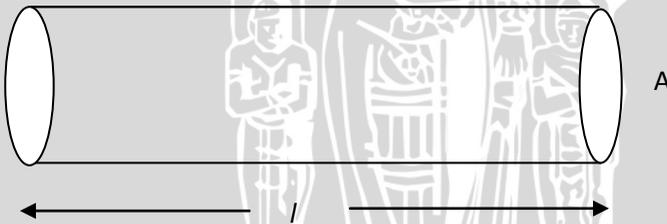
diperbesar, distribusi potensial pada permukaan bumi akan semakin membesar dengan nilai resistivitas yang bervariasi (Vingoe, 1972).

Tiap lapisan penyusun bumi merupakan suatu material batuan yang mempunyai hambatan jenis berbeda. Resistivitas tanah tergantung sekali dengan parameter-parameter geologi yang bermacam-macam seperti mineral dan cairan yang dikandungnya, porositas dan derajat saturasi air dalam batuan.

Hukum fisika yang menjadi dasar dalam metode geolistrik resistivitas adalah hukum ohm. Bila arus listrik searah dialirkan melalui suatu medium maka perbandingan antara potensial (V) yang terjadi dengan arus (I) yang diberikan adalah tetap dan besarnya tetapan ini tergantung dari medium tersebut. Tetapan ini disebut tahanan R, yang dinyatakan dalam hubungan matematis:

$$R = \frac{V}{I} \text{ (ohm)} \quad (2.1)$$

Resistivitas dalam dari suatu batuan dapat digambarkan sebagai suatu silinder yang mempunyai luas dan panjang tertentu, sehingga jika silinder mempunyai panjang (l) dan luas (A) maka silinder akan terkonduksi dengan resistivitas (ρ).



Gambar 2.2. Silinder dengan panjang (l) dan luas (A)

Resistivitas dapat ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.2)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.1 ke persamaan 2.2, maka didapatkan persamaan:

$$\rho = \frac{VA}{Il} \quad (2.3)$$

Jika silinder diberikan suatu aliran listrik sebesar I pada luasan A maka besarnya rapat arus (J) yang terjadi adalah banyaknya arus listrik yang melewati suatu silinder per satuan luas, sehingga besarnya arus yang terjadi dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$J = \frac{I}{A} \text{ Ampere} / m^2 \quad (2.4)$$

Dan hubungan antara rapat arus dan intensitas medan listrik dinyatakan sebagai:

$$J = \sigma E \quad (2.5)$$

2.2.2. Resistivitas Semu

Dengan asumsi bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis, maka resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak tergantung atas spasi elektroda. Pada kenyataannya, bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Maka resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, terutama untuk spasi elektroda yang lebar.

Di lapangan objek batuan/tanah umumnya tidak homogen, dimana bumi merupakan medium berlapis yang masing-masing lapisan mempunyai harga resistivitas yang berbeda-beda. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berapis yang ditinjau. Untuk menentukan besarnya harga resistivitas semu batuan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{dengan } K = \text{faktor geometri} \quad (2.6)$$

Resistivitas semu dapat digambarkan seperti pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3. Konsep resistivitas semu

Berdasarkan gambar medium berlapis yang ditinjau dimisalkan terdiri dari dua lapis yang mempunyai resistivitas yang berbeda (ρ_1 dan ρ_2) dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas yaitu resistivitas semu ρ_a .

Menurut Robinson 1988, interpretasi dari pengukuran geolistrik resistivitas didasarkan pada anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. Bawah permukaan tanah terdiri dari beberapa lapisan yang dibatasi oleh bidang batas horisontal serta terdapat kontras resistivitas antara bidang batas perlapisan tersebut.
2. Lapisan bumi bersifat homogen isotroik dan mempunyai ketebalan tertentu, kecuali untuk lapisan terbawah mempunyai ketebalan tidak terjangkau.
3. Batas antara dua lapisan merupakan bidang batas antara dua hambatan jenis yang berbeda.
4. Dalam bumi tidak ada sumber lain selain listrik searah (DC) yang diinjeksikan diatas permukaan bumi.

Adapun harga resistivitas untuk air dan beberapa batuan dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.1. Kisaran nilai resistivitas batuan (Blaricom, 1988)

Rock Type	Resistivity Range ($\Omega.m$)
Igneous and Metamorphic Rocks	
Granite	$3 \times 10^2 - 10^6$
Andesite	$1.7 \times 10^2 - 4.5 \times 10^4$
Lavas	$10^2 - 5 \times 10^4$
Basalt	$10 - 1.3 \times 10^7$
Tuffs	$2 \times 10^3 - 10^5$
Slates various	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Quartzites various	$10 - 2 \times 10^8$
Sediments Rocks	
Consolidates Shales	$20 - 2 \times 10^3$
Argilites	$10 - 8 \times 10^2$
Conglomerates	$2 \times 10^3 - 10^4$
Sandstones	$1 - 6.4 \times 10^8$
Limestones	$50 - 10^7$
Dolomite	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Unconsolidates wet clay	20
Marls	3 - 70
Clays	1 - 100
Alluvium and sands	10 - 800
Oil sands	4 - 800
Soils and water	
Groundwater	$0.1 - 10^3$
Brackish water	0.2 - 1
Sea water	0.2

Tabel 2.2. Kisaran nilai resistivitas batuan (Loke.DR. M.H, 1996)

Material	Resistivitas(Ω meter)
BATUAN VULKANIK dan METAMORPHIC :	
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basalt	$10^3 - 10^6$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$

(Lanjutan **Tabel 2.2** . Kisaran nilai resistivitas batuan (Loke.DR. M.H, 1996))

Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$
BATUAN SEDIMEN	
Batuan pasir	$8 - 4 \times 10^3$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$
Limestone	$50 - 4 \times 10^2$
TANAH dan AIR	
Lempung	1 - 100
Alluvium	10 - 800
Air Tanah (fresh)	10 - 100
Air Laut	0,2
UNSUR KIMIA	
Besi	$9,074 \times 10^{-8}$
0,01 M Potassiumchloride	0,708
0,01 M Sodium chloride	0,843
0,01 M Acetic acid	6,13
Xylene	$6,988 \times 10^{16}$

Tabel 2.3. Kisaran nilai resistivitas batuan (Fauzi, 2004)

Material	Harga Resistivitas (Ohm meter)
Air Permukaan	80-200
Air Tanah	30-100
Silt-lempung	10-200
Pasir	100-600
Pasir dan Kerikil	100-1000
Batu Lumpur	20-200
Batu Pasir	50-500
Konglomerat	100-500
Tufa	20-200
Kelompok andesit	100-2000
Kelompok Granit	1000-10000
Kelompok chert, slate	200-2000

Berdasarkan tabel nilai resistivitas batuan tersebut diatas, dapat diketahui bahwa besarnya harga resistivitas berbeda-beda untuk tiap lapisan penyusun batuan. Besarnya harga resistivitas batuan dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain : besarnya ukuran butiran penyusun dalam batuan, komposisi mineral dalam batuan, kandungan air dalam batuan, kelarutan garam dalam air pada suatu batuan serta kepadatan dan kapasitas batuannya.

2.3 Aliran Listrik di dalam Bumi

Menurut Waluyo 2001, jika suatu medium homogen isotropik dialiri arus listrik searah I dan diberi medan listrik E , maka elemen arus δI yang melalui elemen luas δA dengan kerapatan arus J adalah:

$$\delta I = J \delta A \quad (2.7)$$

dengan $J = \sigma \cdot E$ dan $E = -\nabla V$ maka $J = -\sigma \cdot \nabla V$ Jika di dalam medium tidak ada sumber arus, maka:

$$\int_s J dA = 0 \quad (2.8)$$

Menurut hukum Gauss:

$$\int_s J \cdot dA = \int_s \Delta \cdot J dV = 0 \quad (2.9)$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \nabla \cdot J &= -\nabla \cdot (\sigma \cdot \nabla V) = 0 \\ \nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \cdot \nabla^2 V &= 0 \\ \nabla^2 V &= 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Persamaan ini disebut Persamaan Laplace. Bentuk operator Laplace dalam koordinat bola dapat ditulis:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (2.11)$$

Bumi dianggap sebagai homogeny isotropic, sehingga mempunyai simetri bola. Maka persamaan diatas menjadi:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (2.12)$$

Dengan memisalkan nilai konstanta sembarang pada persamaan laplace dapat ditentukan dengan syarat batas yang harus dipenuhi potensial $V(r)$ yaitu:

$$V(r) = \frac{C_1}{r} + C_2 \quad (2.13)$$

dengan C_1 dan C_2 adalah konstanta sembarang. Pada jarak yang jauh, yaitu $r = \infty$ dan $V(\infty) = 0$ sehingga:

$$C_2 = 0 \text{ dan } V(r) = \frac{C_1}{r} \quad (2.14)$$

(Waluyo,2001).

2.3.1. Potensial Titik Arus di dalam Bumi

Arus yang keluar secara radial dari titik arus sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola A dengan jari-jari r adalah:

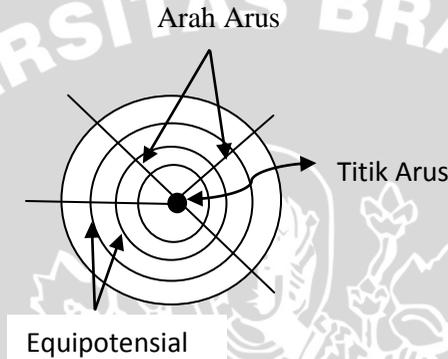
$$\begin{aligned} I &= 4\pi r^2 rJ \\ I &= 4\pi r^2 \left(-\sigma \frac{dv}{dr} \right) \\ I &= 4\pi \sigma C_1 \end{aligned} \quad (2.15)$$

dengan $\sigma = \frac{1}{\rho}$ menjadi $I = 4\pi \frac{1}{\rho} C_1$ maka $C_1 = \frac{I\rho}{4\pi}$. (2.16)

sehingga didapatkan $V(r) = \frac{I\rho}{4\pi r}$ (2.17)

dan nilai resistivitas semu adalah : $\rho = 4\pi r \frac{V}{I}$ (2.18)

(Telford,1990)



Gambar 2.4 Potensial titik arus di dalam bumi

2.3.2. Potensial Titik Arus di Permukaan Bumi

Permukaan bumi yang memiliki bentuk bola, jika dialiri arus listrik I, maka hukum Ohm akan menjadi:

$$I = - \frac{A}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.19)$$

Pola titik arus dipermukaan bumi dapat digambarkan seperti pada gambar 2.5. Karena luas setengah bola $A = 2\pi r^2$, maka arus I menjadi:

$$I = - \frac{2\pi r^2}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.20)$$

$$dV = - \frac{\rho I}{2\pi r^2} dr$$

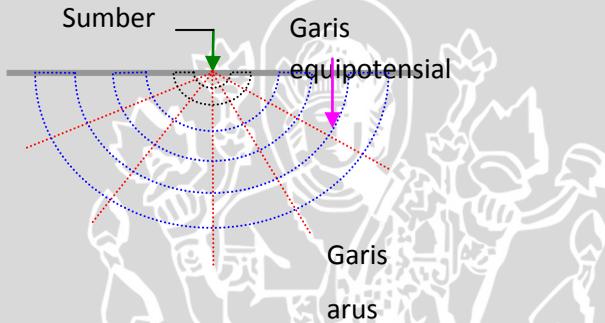
Sehingga potensial di suatu titik sejauh r dari pusat arus adalah:

$$V = \int dV = \int_0^r -\frac{\rho I}{2\pi r^2} dr = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.21)$$

Jadi resistivitas semu adalah:

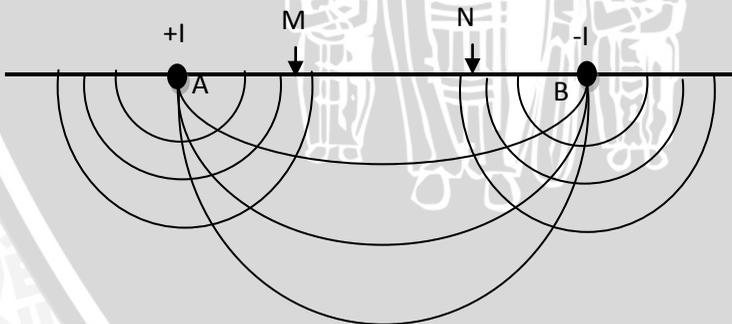
$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.22)$$

(Waluyo,2001)



Gambar 2.5 Potensial titik arus di permukaan bumi

2.3.3. Potensial Dua Titik Arus di Permukaan Bumi



Gambar 2.6. Dua arus di permukaan bumi

Jika terdapat 2 elektroda arus pada jarak tertentu, potensial dipermukaan pada titik terdekat akan timbul dari pengaruh kedua elektroda arus.

Potensial pengaruh dari A pada M adalah:

$$V_{M1} = -\frac{A_{M1}}{r_1} \text{ dimana } A_{M1} = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.23)$$

dengan r_1 adalah jarak antara A dan M. Dan pengaruh dari B pada M adalah:

$$V_{M2} = -\frac{A_{M2}}{r_2} \text{ dimana } A_{M2} = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_{M1} \quad (2.24)$$

dengan r_2 adalah jarak antara M dan B.

Sehingga potensial yang terjadi pada titik M adalah:

$$\begin{aligned} V_M &= V_{M1} + V_{M2} \\ V_M &= \frac{I\rho}{2\pi r_1} - \frac{I\rho}{2\pi r_2} \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Dengan kondisi yang sama pada N, potensial yang terjadi adalah:

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.26)$$

dengan r_3 adalah jarak antara A dengan N dan r_4 jarak antara N dengan B. Sehingga beda potensial yang terjadi adalah:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.27)$$

Dari persamaan diatas, diperoleh nilai resistivitas semu:

$$\rho = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.28)$$

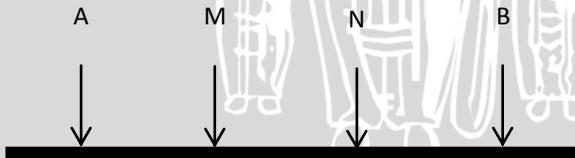
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

dengan $K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1}$ (2.29)

K adalah faktor geometri yang diturunkan untuk konfigurasi elektroda. Faktor geometri ini merupakan suatu besaran yang berfungsi sebagai koreksi berbagai konfigurasi elektroda potensial dan arus dan sangat penting dalam pendugaan resistivitas vertikal/horisontal (Telford,1990).

2.4 Konfigurasi Elektroda

Konfigurasi elektroda merupakan model penyusunan elektroda-elektroda arus dan potensial yang diatur sedemikian rupa sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai.



Gambar 2.7. Susunan elektroda

Elektroda A dan B disebut elektroda arus (*current electrode*), sedangkan elektroda M dan N disebut elektroda potensial (*potential electrode*). Elektroda arus biasa juga ditulis dengan C1 dan C2, dan untuk elektroda potensial adalah P1 dan P2. Dalam pengukuran di

lapangan, keempat elektroda tersebut ditancapkan ke dalam tanah. Arus listrik dari power suplay dialirkan ke dalam bumi melalui elektroda arus C1 dan C2. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui elektroda potensial P1 dan P2. Adapun beberapa macam konfigurasi elektroda yang umum digunakan adalah:

- Konfigurasi Wenner
Jarak AM, MN dan NB adalah sama dan biasanya dinamakan a .
- Konfigurasi Schlumberger
Jarak $AO = BO = s$, $MO = NO = b$, eksentrisitas $b/s < 1/3$, titik O adalah pusat konfigurasi.
- Konfigurasi Dipole-Dipole
Jarak $AB = MN = a$, $BM = na$

Dalam konfigurasi Wenner, elektroda berada dalam satu garis lurus dengan jarak antar elektroda yang sama besar. Dalam hal ini, elektroda arus dan elektroda potensial mempunyai jarak yang sama yaitu $C1P1=P1P2=P2C2=a$. Jadi jarak antar elektroda arus adalah 3 kali jarak antar elektroda potensial. Perlu diingat bahwa keempat elektrode dengan titik datum harus membentuk satu garis.

Dari persamaan 2.29, nilai faktor geometri untuk konfigurasi Wenner adalah:

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (2.30)$$

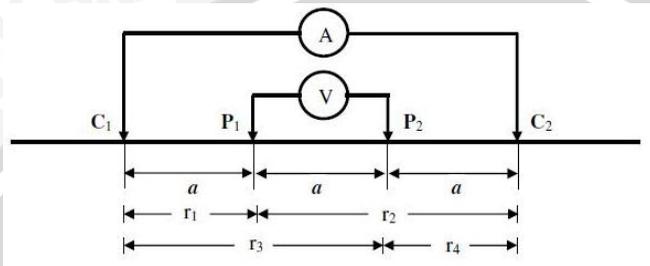
$$K = 2\pi a$$

Sehingga nilai resistivitasnya adalah:

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.31)$$

Pada teknik mapping, jarak spasi elektroda tidak berubah-ubah untuk setiap datum yang diamati (biasanya a tetap). Sedang pada resistivitas sounding, jarak spasi elektroda diperbesar secara bertahap, mulai dari harga a kecil sampai harga a besar untuk satu titik sounding. Batas pembesaran spasi elektroda ini tergantung pada kemampuan alat yang dipakai. Makin sensitif dan makin besar arus

yang dihasilkan alat maka makin leluasa dalam memperbesar jarak spasi elektrode tersebut, sehingga makin dalam lapisan yang terdeteksi atau teramati.



Gambar 2.8 Posisi elektroda pada konfigurasi Wenner

Pada inversi geofisika, kita berusaha untuk menemukan model yang memberikan respon yang mirip untuk nilai yang diukur sebenarnya. Model ini adalah representasi matematis ideal dari sebuah bagian bumi. Model ini memiliki seperangkat parameter model yang merupakan kuantitas fisik yang dapat memperkirakan dari data yang diamati. Respon yang dimaksud adalah model data sintetik yang dapat dihitung dari hubungan matematika mendefinisikan model untuk satu set model parameter. Semua metode inversi dasarnya mencoba untuk menentukan model untuk bawah permukaan respon yang setuju dengan subjek data diukur pembatasan tertentu dan dalam batas yang dapat diterima (Loke,1996).

Sistem inverse data yang digunakan didasarkan pada metode *smoothnessconstrained least-squares* (deGroot-Hedlin dan Polisi 1990, Sasaki 1992). Metode ini didasarkan pada persamaan :

$$(J^T J + uF)d = J^T g \quad (2.32)$$

dimana $F = f_x f_x^T + f_z f_z^T$, f_x adalah *horizontal flatness filter*, f_z adalah *vertical flatness filter*, J adalah matriks turunan parsial, u adalah faktor peredam (*damping factor*), d adalah vektor model, dan g adalah vektor pembeda (Res2Dinv, 2010).