

# METODA GEOLISTRIK POLARISASI TERIMBAS (Induced Polarization)

## 1. PENDAHULUAN

---

Geolistrik adalah suatu metoda geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya di permukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus listrik, SP, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi.

Polarisasi terimbas merupakan salah satu metoda geofisika yang mendeteksi terjadinya polarisasi listrik pada permukaan mineral-mineral logam di bawah permukaan bumi.

Pada metoda geolistrik polarisasi terimbas arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Dalam metoda polarisasi terimbas ada 4 macam metoda pengukuran yaitu pengukuran dalam domain waktu, domain frekuensi, pengukuran sudut fasa dan *Magnetic Induced Polarization* (MIP).

Metoda polarisasi terimbas ini terutama dipahami dalam eksplorasi logam dasar (*Base Metal*) dan penyelidikan air tanah (*Ground Water*). Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda potensial dan arus, dikenal beberapa jenis metoda polarisasi terimbas antara lain :

1. Metoda Schlumberger
2. Metoda Wenner
3. Metoda Double Dipole
4. Metoda Pole Dipole

## 2. DESKRIPSI ALAT UKUR

---

Polarisasi terimbas terjadi akibat adanya arus induktif yang menyebabkan reaksi transfer antara ion elektrolit dan mineral logam. IPMGeo-4100 dirancang untuk mengukur parameter polarisasi terimbas melalui nilai *chargeability*. Nilai ini merupakan perbandingan antara peluruhan potensial sekunder terhadap waktu. IPMGeo-4100 bekerja dalam domain waktu, dimana data akuisisi direkam melalui A/D card dengan akurasi 12 bit. Prinsip pengukuran IP memiliki susunan konfigurasi yang serupa dengan survey geolistrik. IPMGeo-4100 telah dikombinasikan sedemikian rupa sehingga akuisisi data IP dapat dilakukan secara simultan dengan geolistrik. Dengan demikian dapat dikarakteristik material yang memiliki respon resistivitas yang sama tetapi mempunyai karakteristik IP yang berbeda. IPMGeo-4100 dapat dikembangkan menjadi instrumen pengukuran multichannel 16 channel atau lebih (seri 16100) dengan maksimum jumlah channel 1000 buah. Melalui instrument multichannel IP pengukuran 2D dan 3D akan menjadi lebih efisien, cepat dan mudah.

---

IP - 1

(GEOCIS)

Geophysical Consulting and Instrument Services

<http://www.geocis.net> ; <http://geocis.indonetwork.co.id>

### Spek Alat :

#### IPMGEO-4100



- Tegangan : 400 V (100mA)
- Tegangan Max : 500 V (50mA)
- Arus : 100 mA ( $R_{ab} < 4k \text{ ohm}$ ) *constant current*
- Daya : 45 W by 2 x 12 V NiCad Battery
- Time domain IP-measures chargeability in time interval
- High accurate 10-12 bit A/D card
- Kedalaman analisa: > 150 m (moist soil)

#### IPMGEO-16100



- Tegangan : 500 V (100mA)
- Tegangan Max : 1000 V (50mA)
- Arus : 100 mA ( $R_{ab} < 5k \text{ ohm}$ ) *constant current*
- Daya : 75 W by 2 x 12 V NiCad Battery
- Time domain IP-measures chargeability in time interval
- High accurate 10-12 bit A/D card
- Kedalaman penetrasi : > 200 m (moist soil)

## 3. PERALATAN LAPANGAN

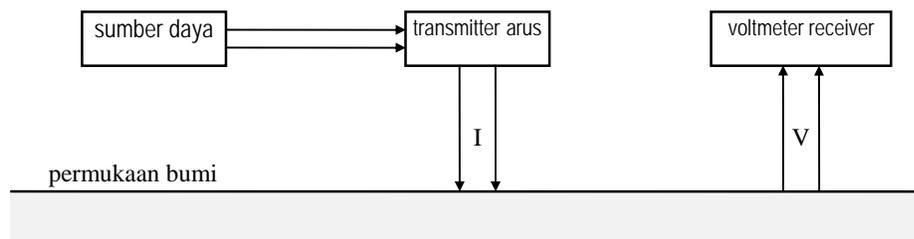
### 3.1. Peralatan yang digunakan :

1. IPMGEO-4100/16100
2. Accu
3. Elektroda arus dan potensial
4. Kabel-kabel penghubung
5. Meteran

### 3.2. Prinsip kerja alat :

Alat ukur IPMGEO-4100/16100 ini terdiri dari dua bagian :

- a. Sinyal generator dan transmitter arus
- b. Rangkaian receiver untuk mengukur beda potensial.



Gb. 1 Prinsip kerja alat IP

Transmitter dan sinyal generator mengalirkan arus listrik berbentuk pulsa persegi melalui kedua elektroda arus ke bumi. Sering kali terjadi polarisasi pada bidang antar muka elektroda arus dan tanah sekelilingnya yang mengakibatkan terjadinya variasi harga tahanan tanah terhadap arah pengukuran. Untuk mengatasi hal ini maka secara periodik polaritas arus listrik dibalikkan arusnya oleh rangkaian sinyal generator. Pembalikan polaritas arus listrik ini juga berguna untuk mengeliminasi potensial spontan bumi.

Beda potensial yang terjadi antara kedua elektroda pengukur pada saat arus listrik mengalir dan pada saat arus dihentikan (potensial residual) diukur oleh rangkaian receiver yang mempunyai kemampuan tinggi. Untuk mencegah terjadinya polarisasi elektroda antara logam elektroda pengukur (potensial) yang konduktif dengan larutan ionik dalam pori-pori tanah maka digunakan elektroda non potensial yang disebut *porous-pot*.

Antara unit transmitter dan receiver dihubungkan oleh rangkaian elektronik pengatur fasa supaya terdapat keselarasan kerja antara transmitter dan receiver.

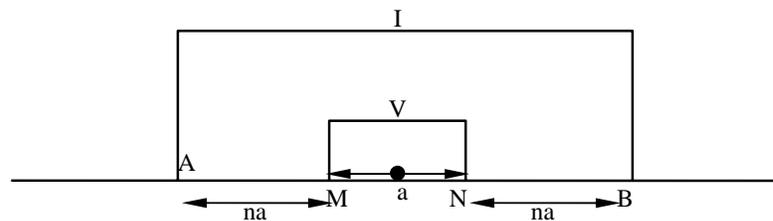
#### 4. PROSEDUR PENGUKURAN LAPANGAN

##### A. Konfigurasi ELEKTRODA

Susunan konfigurasi elektroda dalam metoda IP sama dengan metoda resistivitas umumnya antara lain konfigurasi Schlumberger, konfigurasi Wenner, pole-dipole dan double dipole. Lihat gambar 2 sampai 5 berikut.

Pada konfigurasi Schlumberger elektroda potensial MN relatif diam pada suatu tempat dengan elektroda arus digerakkan secara simetri keluar. Pada konfigurasi Wenner harga  $a$  diperbesar dalam langkah tertentu dengan memindahkan setiap elektroda keluar dari pusat pada konfigurasi dipole-dipole. Kedua pasang elektroda yang berjarak sama saling digerakkan menjauhi. Pada konfigurasi pole-dipole salah satu elektroda arus diletakan pada tempat yang sangat jauh.

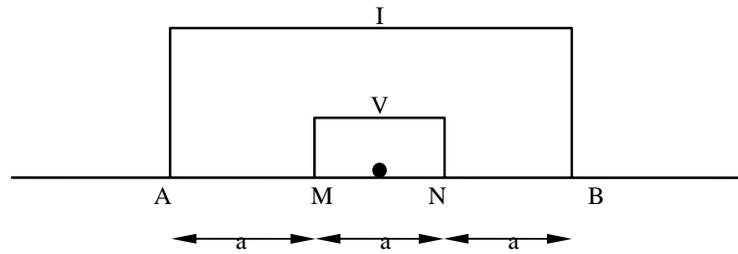
##### Konfigurasi Schlumberger



Gb. 2 Konfigurasi Schlumberger

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{dengan} \quad K = \pi n(n+1)a \quad (1)$$

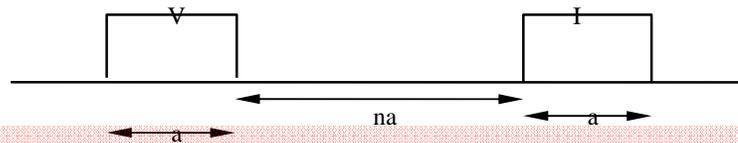
### Konfigurasi Wenner



Gb. 3 Konfigurasi Wenner

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

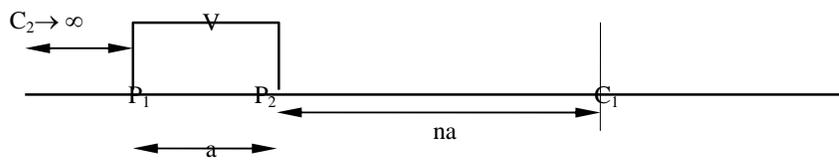
### Konfigurasi Dipole-dipole



Gb. 4 Konfigurasi Dipole-dipole

$$\rho_a = \pi(n+1)(n+2)a \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

### Konfigurasi Pole-dipole



Gb.5 Konfigurasi Pole - dipole

$$\rho_a = 2\pi n(n+1)a \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

## B. METODA PENGUKURAN

Pengukuran tanggapan (respon) IP dapat dilakukan dalam :  
- Domain waktu

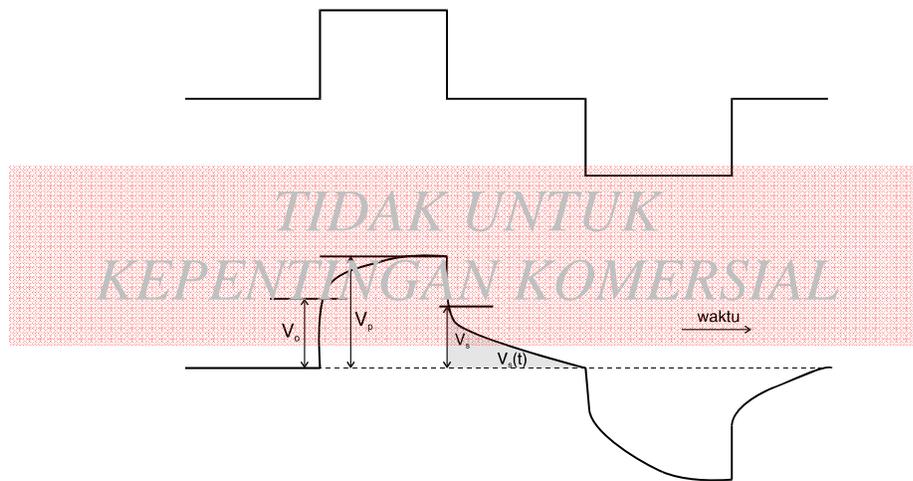
- Domain frekuensi
- Pengukuran sudut fasa IP.

Ketiganya mengukur gejala fisis yang sama, tetapi dengan parameter pengukuran yang berbeda. Di samping itu juga ada metoda *Magnetic Induced Polarization* (MIP) yaitu pengukuran dalam domain medan magnet.

### b.1. Pengukuran dalam Domain Waktu

Prosedur pengukuran di lapangan adalah dengan mengalirkan pulsa arus listrik berbentuk persegi panjang. Pada saat arus listrik dihentikan, potensial antara dua elektroda pengukur segera turun ke tingkat tanggap sekunder. Potensial sekunder ini kemudian meluruh dengan waktu. Lihat gambar 6

Pengukuran dalam domain waktu maksudnya pengamatan peluruhan potensial sekunder ( $V_s$ ) terhadap waktu.



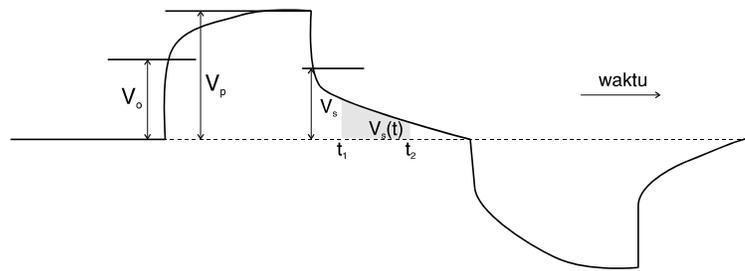
Gb. 6 Peluruhan potensial

Untuk mengukur derajat terpolarisasi suatu bahan pada suatu waktu, didefinisikan besaran *chargeabilitas*  $m(t)$  yang merupakan besaran makro yang bergantung pada jenis bahan dan selang waktu pengaliran arus.

Di lapangan *chargeabilitas* diukur dari definisi

$$m = \frac{\int_{t_1}^{t_2} V_s dt}{V_p} \quad (5)$$

Perhatikan gambar berikut



Gb. 7 Arti fisis integrasi merupakan luas wilayah yang diarsir

## b.2. Pengukuran dalam Domain Frekuensi

Untuk mempolarisasikan suatu bahan dengan arus listrik imbas ke suatu tingkat tertentu, dibutuhkan waktu tertentu tergantung jenis bahannya karena frekuensi bergantung terbalik dengan waktu, maka perbedaan tanggap (respon) tegangan pada pemberian arus listrik dengan frekuensi yang berbeda juga mencerminkan sifat polarisasi bahan yang bersangkutan. Prosedur pengukuran dengan mengalirkan arus listrik dengan frekuensi yang berbeda.

### b.2.1 Efek Frekuensi

Parameter pengukuran didefinisikan besaran *Frequency Effect* (FE)

$$FE = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \quad (6)$$

$v_1$ : tanggap tegangan pada frekuensi tinggi  
 $v_2$ : tanggap tegangan pada frekuensi rendah

Karena arus listrik konstan untuk tiap frekuensi, maka :

$$FE = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \quad (7)$$

atau *percen frequency effect* (PFE), yaitu

$$PFE = \frac{100(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1} \quad (8)$$

### b.2.2 Faktor Metal

Karena efek IP bervariasi dengan resistivitas semu dari batuan yaitu *elektrolyte*, temperatur, ukuran pori dan lain-lain, maka didefinisikan metal faktor :

$$MF = \frac{10^5 FE}{(\rho_2/2\pi)} = \frac{10^3 PFE}{(\rho_2/2\pi)} \quad (9)$$

### b.3 Pengukuran Sudut Fasa IP

Metoda ini mengukur beda sudut fasa antara keluaran sinyal tegangan dengan masukan gelombang arus listrik yang diberikan, dengan asumsi bahwa bentuk gelombang keduanya sinusoidal dengan frekuensi yang sama.

## 5. TEORI SUMBER POLARISASI TERIMBAS

---

### 5.1 Mineral-Mineral Yang Menimbulkan Gejala IP

Kandungan mineral logam dalam bumi umumnya terbentuk sebagai senyawa-senyawa sulfida. Bijih sulfida ini mempunyai kontras konduktivitas yang besar dibandingkan latar belakang. Jadi tubuh sulfida merupakan penghantar elektronik sedangkan larutan dalam pori-pori batuan merupakan penghantar ionik. Sistem demikian memungkinkan terjadinya gejala IP jika arus listrik dialirkan ke dalamnya. Gejala IP juga ditimbulkan oleh beberapa oksida dan mineral lempung.

Ada dua fenomena yang berkaitan dengan larutan dan bidang antar muka pada eksplorasi geolistrik frekuensi rendah seperti IP yaitu : elektrokimia dan elektrokinetik. Elektrokimia berkaitan dengan reaksi dan perubahan kimia karena arus listrik sedangkan elektrokinetik berkaitan dengan efek yang terjadi karena adanya variasi mobilitas pembawa muatan pembawa muatan.

### 5.2 Polarisasi Elektroda

#### 5.2.1 Overpotensial

Partikel mineral logam yang bersentuhan dengan larutan pori-pori batuan akan mendapat beda potensial terhadap larutannya meskipun tidak ada arus listrik mengalir. Karena perbedaan aktifitas relatif antara partikel mineral dan larutannya, akan terjadi beda potensial yang besarnya bergantung pada aktifitas relatifnya. Beda potensial ini disebut potensial elektroda.

Jika dalam sistem mineral logam dialirkan arus listrik akan terjadi pengutuban muatan pada bidang batas antara mineral logam dengan larutannya. Peristiwa ini disebut polarisasi elektroda sedangkan beda potensial pada keadaan reversibel dan tak reversibel (saat dialiri arus) disebut overpotensial.

Jika arus listrik dihentikan ion-ion yang terkumpul pada bidang batas akan berdifusi kembali ke keadaan semula. Hal ini teramati sebagai peluruhan tegangan (potensial).

#### 5.2.2 Lapisan Ganda

Selain peristiwa yang berlangsung pada bidang batas antara logam dengan larutannya gejala IP juga dipengaruhi peristiwa yang terjadi di daerah disekitar bidang batas tersebut. Daerah ini terdiri dari dua bagian, yaitu lapisan tetap dan

bidang antar muka elektroda yang keduanya membentuk lapisan ganda. Kedua lapisan ini mempunyai muatan yang berbeda sehingga mempunyai kapasitansi.

### 5.3 Polarisasi Membran

Gejala latar belakang dalam eksplorasi mineral logam terutama disebabkan mineral-mineral clay dalam batuan yang berpori-pori. Umumnya mineral-mineral clay dalam batuan bermuatan negatif pada bidang batas antar muka permukaan batuan dan larutan pori. Sehingga ion-ion positif dalam larutan pori terkumpul dekat pada bidang batas sedangkan ion-ion negatif tertolak menjauhi bidang batas.

Jika ukuran pori kecil ( $10^{-16}$  cm) pori bersifat sebagai kapiler maka ion-ion positif akan memenuhi diameter kapiler sedangkan ion-ion negatif akan terkumpul di ujung kapiler sehingga terjadi polarisasi muatan pada sistem ini.

Jika diberi beda potensial maka ion-ion tersebut akan bergerak sesuai dengan arah medan listrik. Distribusi ion-ion positif dapat melalui awan ion positif yang terdapat didekat mineral clay tetapi distribusi ion negatif akan terhambat dan terkumpul pada awan ion positif. Jadi awan ion positif sebagai membran pemilih. Polarisasi yang terjadi karena sifat membran ini disebut polarisasi membran.

### 5.4 Sumber Derau pada pengukuran IP

- a. Potensial spontan bumi/*Self potensial* (SP)
- b. Arus tellurik
- c. *Capacitive Coupling* dan *Elektromagnetik Coupling*

### 5.5 Polarisasi Terimbas pada Sistem Bumi Berlapis

#### 5.5.1 Perumusan Matematik Polarisasi Terimbas

Telah dibahas bahwa prosedur lapangan pengukuran polarisasi terimbas meliputi pemberian potensial tetap antara dua elektroda arus di permukaan bumi selama beberapa detik, penghentian pemberian potensial dan beberapa milidetik kemudian diukur peluruhan potensial listrik yang terjadi antara dua elektroda pengukur.

Dari fenomena elektrokimia dan elektrokinetik yang menyebabkan gejala polarisasi terimbas maka dipostulatkan bahwa : medan listrik primer akan mengakibatkan distribusi volume dipol-dipol arus listrik pada setiap titik dalam medium. Dipol-dipol arus listrik bersifat anti paralel dengan medan listrik primer, dengan vektor kuat momen arus per satuan volume sebesar :

$$\mathbf{M} = -m \mathbf{J} \quad (10)$$

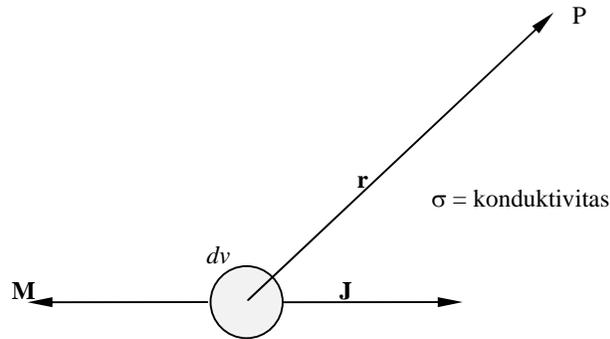
dengan

- $M$  : vektor kuat momen arus per satuan volume  
 $J$  : rapat arus listrik primer

$m$  : chargeabilitas, suatu besaran makro yang mencerminkan sifat bahan dan mencakup semua gejala-gejala penyebab polarisasi terimbas yang telah dibahas pada teori elektrokimia. Besar ini merupakan fungsi selang waktu dialirkannya arus listrik.

Dari gambar 8 berikut didapatkan hubungan potensial di titik P yang diakibatkan oleh elemen dipol volume tersebut :

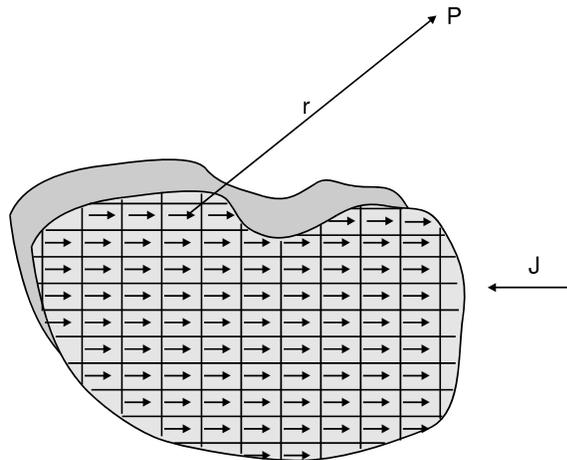
$$d\varphi = \frac{1}{4\pi\sigma} \mathbf{M} \cdot \nabla \left( \frac{1}{r} \right) dv \quad (11)$$



Gb. 8 dipole listrik

Jika elemen-elemen dipol volume tersebut membentuk distribusi volume, lihat gb. 9 maka potensial total di titik P adalah :

$$\varphi = \frac{1}{4\pi} \iiint \frac{\mathbf{M}}{\sigma} \cdot \nabla \left( \frac{1}{r} \right) dv \quad (12)$$



Gb. 9 elemen dipole dalam volume

Dari sifat identitas matematik, dapat kita tulis :

$$\nabla \cdot \left( \frac{\mathbf{M}}{\sigma \mathbf{r}} \right) = \frac{1}{\mathbf{r}} \nabla \cdot \left( \frac{\mathbf{M}}{\sigma} \right) + \frac{\mathbf{M}}{\sigma} \nabla \cdot \left( \frac{1}{\mathbf{r}} \right) \quad (13)$$

maka persamaan (12) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{1}{4\pi} \iiint \left[ \nabla \cdot \left( \frac{\mathbf{M}}{\sigma \mathbf{r}} \right) - \frac{1}{\mathbf{r}} \nabla \cdot \left( \frac{\mathbf{M}}{\sigma} \right) \right] dv \quad (14)$$

menurut teorema Gauss, maka

$$\varphi = \frac{1}{4\pi} \iint_s \frac{M_n}{\sigma r} ds - \frac{1}{4\pi} \iiint_v \frac{1}{\mathbf{r}} \nabla \cdot \left( \frac{\mathbf{M}}{\sigma} \right) dv \quad (15)$$

dengan :

- $s$  : luas yang melingkupi volume  $V$
- $M_n$  : komponen normal vektor  $M$  dengan arah keluar dari permukaan  $a$
- $j$  : rapat arus primer

Persamaan (14) menyatakan bahwa suatu distribusi volume dipol-dipol arus listrik ekuivalen dengan distribusi luas dipol-dipol arus di permukaan benda yang menyebabkan suatu distribusi volume sumber - sumber arus bebas dengan rapat =  $-\nabla \cdot \mathbf{M}$

Jika  $\mathbf{J}$  adalah vektor rapat arus di suatu titik dalam medium, dan  $i$  adalah rapat volume dari sumber-sumber arus bebas primer (misalnya dari elektroda arus) maka sesuai dengan hukum kekekalan muatan :

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = i \quad (16)$$

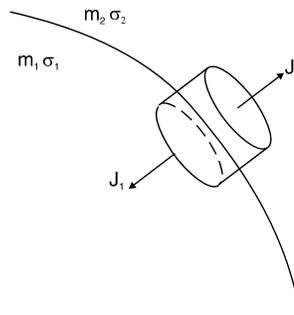
Arus primer ini akan mengakibatkan distribusi dipol-dipol arus yang juga mengakibatkan distribusi volume sumber arus bebas yang melawan arus primer yaitu  $= \nabla \cdot \mathbf{M}$ . Dengan demikian secara efektif :

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = i - \nabla \cdot \mathbf{M} \quad (17)$$

atau

$$\nabla \cdot (\mathbf{J} + \mathbf{M}) = i \quad (18)$$

Pada ketidakkontinuan dalam *chargeabilitas* ( $m$ ), *konduktivitas* ( $\sigma$ ), ataupun keduanya, dapat ditentukan syarat batas dengan meninjau arus listrik berarah normal terhadap permukaan cakram kecil dengan sisi tegak lurus bidang antar muka sedangkan permukaan  $dS$  sejajar dengan bidang antar muka. Lihat gambar 10 berikut ini.



Gb. 10 bidang batas

Jika tak terdapat sumber-sumber arus listrik bebas pada bidang antar muka, maka arus listrik yang masuk dan keluar dari cakram adalah sama, sehingga diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$-J_1 + J_2 = M_1 - M_2 \quad (19)$$

atau

$$(J + M)_1 = (J + M)_2 \quad (20)$$

selanjutnya dapat dituliskan

$$J_1(1 - M_1) = J_2(1 - M_2) \quad (21)$$

Jika medan listrik adalah  $\mathbf{E}$  maka dengan memperhitungkan gejala polarisasi terimbas maka hukum Ohm harus disesuaikan menjadi :

$$\mathbf{J} = \sigma (1 - m(t)) \mathbf{E} \quad (22)$$

Dengan demikian rapat arus di suatu titik dalam medium merupakan fungsi waktu juga.

Dalam praktek pengukuran di lapangan umumnya harga  $m_i \ll 1$ , dengan demikian dapat dilakukan pendekatan :

$$\frac{1}{1 + m_i} \approx 1 - m_i \quad (23)$$

dan hukum Ohm pada persamaan (21) dapat ditulis menjadi :

$$\mathbf{J} = \frac{\mathbf{E}}{\rho(1 + m_i)} \quad (24)$$

### 5.5.2 Untuk Medium Homogen

Jika dialirkan suatu arus listrik  $I$  dalam suatu bahan homogen melalui dua titik (sumber dan Sink) maka potensial yang terukur antara 2 elektroda dalam kondisi tanpa polarisasi volume adalah :

$$\phi = \rho i F \quad (25)$$

dengan  $\rho$  = resistivitas bahan  
 $F$  = koefisien geometri

sedangkan dalam keadaan terdapat dipole-dipole listrik, potensial listrik yang terukur menjadi

$$\phi' = \rho(1+m)iF \quad (26)$$

Perbedaan kedua fungsi potensial di atas didefinisikan sebagai puncak tegangan sekunder yang merupakan akibat dari gejala polarisasi bahan yaitu

$$\phi - \phi' = \rho(1+m)iF - \rho iF = \rho m i F \quad (27)$$

dengan demikian

$$\frac{\phi' - \phi}{\phi} = m \quad (28)$$

Persamaan (27) menyatakan metoda mengukur harga *chargeabilitas* secara teoritis. Karena besaran  $\phi$  dan  $\phi'$  sudah dikoreksi geometris maka besaran  $m$  merupakan karakteristik bahan yang tidak bergantung kepada konfigurasi elektroda yang digunakan.

### 5.5.3 Untuk Medium Heterogen

Dalam medium heterogen chargeabilitas seperti juga dalam pengukuran geolistrik tahanan jenis, hasil yang diperoleh tidak menunjukkan harga yang sebenarnya melainkan harga chargeabilitas semu ( $m_a$ ) dan tahanan jenis semu ( $\rho_a$ ). Hubungan antara keduanya adalah

$$m_a = \frac{\phi' - \phi}{\phi} = \frac{\rho_a(\rho_i + m_i \rho_i) - \rho_a(\rho_i)}{\rho_a(\rho_i)} = \frac{d\rho_a(\rho_i)}{\rho_a(\rho_i)} \quad (29)$$

Untuk suatu tempat tertentu dari konfigurasi elektroda tertentu, resistivitas semu  $\rho_a$  merupakan fungsi dari  $\rho_i$ :

$$d\rho_a(\rho_i) = \sum \frac{\partial \rho_a(\rho_i)}{\partial \rho_i} d\rho_i \quad (30)$$

tetapi

$$d\rho_i = m_i \rho_i \quad (31)$$

sementara dari persamaan (29)

$$d\rho_a(\rho_i) = m_a \rho_a(\rho_i) \quad (32)$$

substitusikan persamaan (30) ke persamaan (29) diperoleh

$$m_a = \frac{1}{\rho_a(\rho_i)} \sum^i m_i \rho_i \frac{\partial \rho_a(\rho_i)}{\partial \rho_i} = \sum^i m_i \frac{\partial(\ln \rho_i)}{\partial(\ln \rho_a)} \quad (33)$$

jika medium bersifat homogen chargeabilitasnya yaitu  $m_1 = m_2 = m_3$  dan dari persamaan (33) diperoleh

$$m_a = m_i \sum^i \frac{\partial(\ln \rho_a)}{\partial(\ln \rho_i)} \quad (34)$$

Di bawah kondisi yang sama persamaan (29) secara simultan akan memberikan

$$m_a = \frac{\rho_a [(1+m)\rho_i] - \rho_a}{\rho_a} \quad (35)$$

dari persamaan (34) dan (35) diperoleh

$$\sum^i \frac{\partial(\ln \rho_a)}{\partial(\ln \rho_i)} = 1 \quad (36)$$

maka harga chargeabilitas semu yang terukur pada medium heterogen dapat dinyatakan secara umum sebagai berikut

$$m_a = \sum_i m_i B_i \quad (37)$$

di mana  $B_i$  disebut sebagai koefisien bobot, sedangkan  $m_i$  menyatakan harga chargeabilitas sebenarnya untuk medium ke-1 serta harus memenuhi persyaratan

$$\sum B_i = 1 \quad (38)$$

## 6. KEPUSTAKAAN

---

- Handayani, G.** 1984. *Tugas Akhir S-1 : Polarisasi Terimbas*. Jurusan Fisika ITB. Bandung
- Seigel, H.O.** 1959. *Mathematical Formulation and Type Curve for Induced Polarization*. Geophysics 24, 547 - 565.
- Summer, J.L.** ---, *Principle of Induced Polarization for Geophysical Interpretation*. Elsevier. Amsterdam
- Telford W and Sheriff**, 1982. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Viridi S, Hilfan K, dkl.** 1995. *Modul Semester Break Fisika Bumi*. Jurusan Fisika ITB. Bandung

TIDAK UNTUK  
KEPENTINGAN KOMERSIAL