

## RANCANGAN AREA SERAPAN AIR PADA PEMODELAN POTENSIAL LISTRIK TOPOGRAFI LANDAI

Delia Meldra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri Universitas Putera Batam  
Jalan R.Soeprapto Tembesi, Batam-Kepulauan Riau

\*Email: [dmeldra@gmail.com](mailto:dmeldra@gmail.com)

### Abstract

Measure natural electric voltage at surface used Self-Potential method. Self-Potential one of the methods used to look at subsurface water flow. The negative or positive sign of potential is an important factor for the interpretation of Self-potential anomalies. The finite element technique is applied to model the velocity of water flow, current source, and potential value distribution in the form of 2-D profile. Finite element technique was chosen to solve the problem of boundary conditions and differential equations for Self-Potential modeling. Modeling current sources are obtained by intermediate gradient  $L_v$  operation and water flow velocity ( $\vec{u}$ ). From the result of modeling, we get the value of water flow velocity between  $10^{-6}$  -  $10^{-4}$  m/s, current source, potential distribution, and potential response on the topography of the slope. Each topography produced different potential response forms, due to the electrokinetic effect. The water flow in the area with slopes topography often causes inundation due to inadequate absorption area, thus causing the grinding of the soil and destroying the road. From the results of this modeling is designed a good water absorption area using visio.

**Keywords:** Simulation, Electric Voltage, Slope Topography

### 1. Pendahuluan

Metode *Self-Potential* merupakan pengukuran perbedaan potensial alami pada permukaan bumi. Metode *Self-Potential* pertama kali dipraktekan oleh Robert Fox pada tahun 1830 (Reynolds, 1998) dengan menggunakan elektroda lempeng tembaga yang dihubungkan dengan Galvanometer untuk mendeteksi cadangan sulfida-tembaga di CornWall, Inggris. Metode ini digunakan sejak tahun 1920 sebagai peralatan alternatif pada eksplorasi logam. Metode *Self-Potential* telah banyak digunakan untuk eksplorasi sulfida (Sato dan Mooney, 1960), anomali *Self-Potential* pada gunung api (Zlotnicki, 2003), *Groundwater* (Kim, 2004), aliran dangkal air tanah (A. Jardani, 2006), daerah prospek geotermal (Yasukawa, 2000), daerah terkontaminasi minyak (Zogala, 2012). Anomali *Self-Potential* dapat dihasilkan oleh mekanisme difusi dan membran, potensial bioelektrik, *streaming* potensial, dan potensial mineral (Telford, 1990). Potensial *streaming* (potensial elektrokinetik) berkaitan dengan aliran air tanah dan fluida lainnya yang mengandung elektrolit melalui patahan atau pengeroposan.

Analisa terhadap metode *Self-Potential* dapat dilakukan dengan pemodelan. Terdapat dua tipe pemodelan itu pemodelan kedepan dan inverse. Pemodelan kedepan merupakan pemodelan yang dilakukan untuk memperoleh respon dari model yang dibuat berdasarkan sifat-sifat fisis yang diketahui.

Secara fisiografi wilayah kota Batam terdiri dari 329 buah pulau besar dan kecil (data [bpbatam.go.id](http://bpbatam.go.id)), yang letak satu dengan lainnya dihubungkan dengan perairan. Pulau-pulau yang tersebar pada umumnya merupakan sisa-sisa erosi atau pencetusan dari daratan pratersier yang membentang dari Semenanjung Malaysia di bagian utara sampai dengan Pulau Moro, Kundur, serta Karimun di bagian selatan. Permukaan tanah di kota Batam pada umumnya dapat digolongkan datar namun disana-sini berbukit-bukit, berbatu muda dengan ketinggian maksimum 160 meter di atas permukaan laut. Letak geografis pulau Batam yang berupa bukit-bukit menyebabkan tata letak jalanan kota seperti bukit (landai curam menurun). Dampaknya jika hujan air akan turun ketempat yang landai (seperti bawah bukit) dapat mengakibatkan genangan jika daerah area

serapan air tidak memadai. Berdasarkan hal tersebut dibuatlah pemodelan yang dapat mewakili area genangan yang real, sehingga akan mudah merancang area serapan air. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan teknik *finite element* dan potensial listrik yang menggambarkan aliran air.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Metode self-potensial

Metode *Self-Potensial* adalah suatu metoda geofisika yang mengukur potensial alami dari bumi (Sill, 1983). Metode *Self-Potensial* pertama kali diprakasai oleh Robert Fox pada tahun 1830 (Reynolds, 1998) dengan menggunakan elektroda lempeng tembaga yang dihubungkan dengan Galvanometer untuk mendeteksi cadangan sulfida-tembaga di CornWall, Inggris. Metode ini digunakan sejak tahun 1920 sebagai peralatan alternatif pada eksplorasi logam. Penggunaan metode ini sudah banyak dikembangkan untuk mendekteksi *Ground water* (Jardani, Revil, Bole, & Dupont, 2008), aliran hidrotermal pada daerah gunung api (Srigutomo et al., 2010), dan daerah prospek geothermal (Yasukawa, Ishido, & Kajiwara, 2005).

Metode ini disebut *Self-Potensial* karena potensial yang dihasilkan oleh sejumlah sumber alami dari bumi tanpa adanya injeksi ke bawah permukaan bumi. Nilai beda potensial yang terukur dipermukaan kurang dari milivolt hingga satu volt, serta tanda (negatif atau positif) dari beda potensial merupakan faktor penting untuk interpretasi anomali *Self-Potensial*. Metode ini biasanya untuk eksplorasi dangkal, sekitar 100 m. Anomali *Self-Potensial* dapat dihasilkan oleh mekanisme difusi dan membrane, potensial bioelektrik, *streaming* potensial, dan potensial mineral (Telford, 1990). Difusi dan potensial membrane terkait dengan kosentrasi gradien dan pergerakan ion dibawah permukaan yang menghasilkan beda potensial listrik. Pemompaan air dan filtrasi ion oleh akar tanaman akan menghasilkan potensial bioelektrik. Potensial *streaming* (potensial elektrokinetik) berkaitan dengan aliran air tanah dan fluida lainnya yang mengandung elektrolit melalui patahan atau pengeroposan.

Potensial alami dari bumi terdiri dari dua komponen, yaitu komponen yang konstan dan tidak berarah dan yang berubah terhadap waktu. Komponen konstan disebabkan proses elektrokimia dan yang berubah terhadap waktu disebabkan variasi perbedaan potensial dari induksi arus bolak-balik (AC) oleh badai listrik

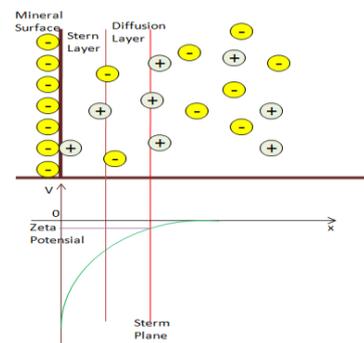
serta variasi dari medan *magnetic* bumi, yang dipengaruhi pula oleh curah hujan. Dalam eksplorasi mineral, masing-masing komponen *Self-Potensial* disebut potensial mineral dan potensial *background*. Potensial *Background* disebabkan oleh aliran fluida, aktivitas bioelektrik, variasi kosentrasi elektrolit pada air tanah, dan aktivitas geokimia lainnya (Telford, 1990). Nilainya kurang dari 100 mV.

### 2.2 Potensial elektrokinetik

Potensial elektrokinetik (Ek) merupakan hasil dari aliran elektrolit yang melewati medium kapiler atau medium berpori, potensial diukur sepanjang kapiler, yang berhubungan dengan potensial elektrofiltrasi, elektromekanika, dan potensial *streaming*.

$$E_k = \frac{\epsilon \mu C_E \delta P}{4\pi \eta} \quad (1)$$

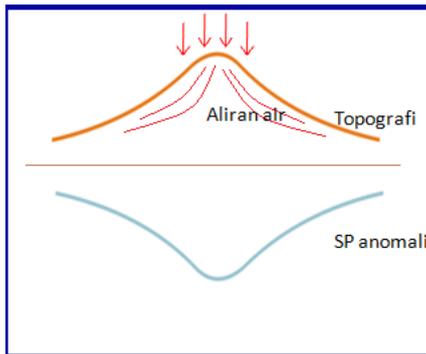
Pergerakan fluida yang melewati medium porositas akan menghasilkan gradient potensial sepanjang jalur aliran yang diakibatkan oleh interaksi antara gerakan pori fluida dan dua lapisan beresistivitas disebut potensial *streaming*. Potensial *streaming* terbentuk ketika aliran fluida melewati permukaan biji mineral yang mengandung muatan negatif. Sehingga muatan positif dari fluida akan berinteraksi dan berakumulasi permukaan biji mineral, membentuk lapisan yang disebut lapisan listrik rangkap (*electrical double layer*), yang mana ion-ionnya terikat. Lapisan ini terdiri dari lapisan dalam yang disebut Stern internal di mana muatan negatif di permukaan biji mineral menarik dan mengikat ion positif dari fluida langsung pada permukaan biji mineral, dan lapisan difusi dimana sisa ion positif dari fluida tertarik tapi tidak langsung menempel ke permukaan biji mineral (Gambar 1).



**Gambar 1.** Lapisan Listrik Rangkap Pada Batas Antara Biji Mineral Dan Fluida (redrawn, (Kim, Heinson, & Joseph, 2004))

### 2.3 Efek topografi

Di daerah pegunungan, sebagian dari air hujan dapat merembes pada setiap lapisan geologi yang berbeda, bergantung nilai permeabilitas lapisannya. Aliran kebawah umumnya terhenti oleh lapisan-lapisan yang *impermeabel* terhadap air. Jadi topografi geologi sangat berpengaruh atas aliran air yang di akibatkan salah satunya karena gravitasi, dimana potensial meningkat ketika ketinggian dari topografi menurun. Berkaitan dengan koefisien elektrokinetik terkopel.



**Gambar 2.** Efek Topografi Pada *Self-Potensial* (redrawn, (Jouniaux, Maineult, Naudet, Pessel, & SAILHAC, 2009))

### 2.4 Hukum Darcy

Pada tahun 1856, Henry Darcy bekerja melakukan percobaan laboratorium untuk meneliti faktor-faktor yang mengatur laju air melalui pasir (Zhang & Northrup, 1991). Dari hasil eksperimennya dapat didefinisikan prinsip empiris aliran air tanah, dalam persamaan dikenal sebagai hukum Darcy.

$$\vec{v} = -\frac{k}{\eta} \nabla P \quad (2)$$

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Finite element

Teknik *finite element* merupakan salah satu teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial dengan persoalan syarat batas (*Boundary Value Problem*) dan menerapkan syarat batas (Polycarpou, 2006). Metoda ini membagi suatu domain dengan subdomain yang lebih kecil yang disebut *finite element* (elemen hingga). Distribusi dari fungsi yang dicari di dalam elemen diinterpolasi berdasarkan nilai pada

simpul-simpulnya. Interpolasi atau fungsi bentuk dari elemen haruslah berbentuk *polynomial* lengkap. Tingkat akurasi bergantung pada bentuk *polynomial* (seperti linier, kuadratik, atau orde yang lebih tinggi). Solusi numerik berhubungan dengan nilai-nilai fungsi yang dicari pada simpul atau ujung dari diskritisasi domain. Solusi diperoleh setelah menyelesaikan sistem persamaan linier.

Terdapat dua pendekatan yang cukup sering digunakan untuk memperoleh persamaan pada teknik *finite element*, yaitu pendekatan variasional dan pendekatan residual terbobot. Pendekatan variasional menggunakan fungsi yang direpresentasikan dari permasalahan *Boundary Value Problems*. Solusi stasioner fungsi tersebut dihitung pada daerah dengan minimum dan maksimumnya dari fungsi tersebut. Sedangkan pendekatan Galerkin diawali dengan pembuatan residu secara langsung dari persamaan diferensial yang memiliki *Boundary Value Problems* (BVP). Pada metoda *finite element* ini digunakan pendekatan residual terbobot atau disebut pendekatan Galerkin.

Beberapa permasalahan dari persamaan diferensial orde dua dengan variabel bebas yaitu dalam penentuan syarat batas. Untuk mendapatkan solusi yang unik dan spesifik dalam suatu pemodelan diperlukan suatu syarat batas, yaitu syarat batas Dirichlet dan syarat batas Neumann. Syarat batas Dirichlet merupakan syarat batas yang mempunyai nilai spesifik (atau dapat ditentukan nilainya) pada batas domainnya, sedangkan syarat batas Neumann adalah nilai gradient dari turunan solusi pada batas domain (Polycarpou, 2006). Tipe umum persamaan diferensial parsial adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \alpha_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \beta u = g \quad (3)$$

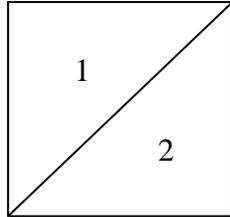
Untuk persamaan Self Potensial (SP):

$$\nabla^2 V = -\frac{S}{\sigma} \quad (4)$$

### 3.2 Diskritisasi domain

Diskritisasi domain ada beberapa cara yaitu dengan membagi suatu domain dengan subdomain kecil berbentuk persegi ataupun segitiga. Penggunaan bentuk segitiga untuk domain 2-D lebih efektif dari pada persegi (Polycarpou, 2006). Pembagian domain dalam

metode *finite element* dipilih subdomain berbentuk triangular (segitiga). Pada pendiskritan ini akan terjadi kesinambungan antara elemen yang satu dengan elemen yang lain.



**Gambar 3.2** Diskritisasi domain menggunakan elemen segitiga

### 3.3 Fungsi interpolasi

Interpolasi dilakukan agar dapat mengetahui karakteristik fungsi yang ingin diketahui pada domain secara menyeluruh hanya dengan meninjau beberapa bagian saja pada domain tersebut (Polycarpou, 2006). Nilai yang dicari pada elemen dapat diperoleh dengan menginterpolasi nilai-nilai pada simpul elemen.

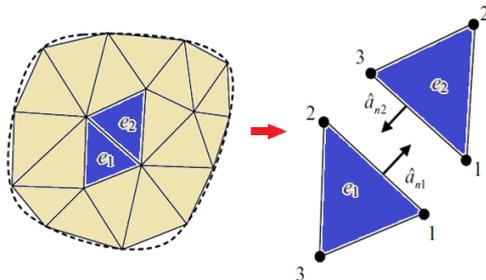
$$u = \sum_j u_j^e N_j \quad (4)$$

### 3.4 Metode residual terbobot: pendekatan Galerkin

Residual elemen dibentuk dari perpindahan ruas kanan persamaan diferensial ke ruas kiri. Berikut residual dari untuk persamaan diferensial umum:

$$r^e = \frac{\partial}{\partial x} \left( \sigma \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \sigma \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \beta u - g \quad (5)$$

Residual ini idealnya bernilai nol, seandainya solusi numerik  $u$  identik dengan solusi eksaknya.



**Gambar 3.** (a) Sisi batas yang dimiliki oleh dua elemen yang bersebelahan, (b) Vektor normal dari elemen yang saling berlawanan arah (Polycarpou, 2006)

### 3.5 Solusi sistem matrik

Dalam pengaplikasian Metode *finite element* pada permasalahan syarat batas selalu menghasilkan persamaan linier yang biasanya diungkapkan dalam bentuk matriks yaitu:

$$\bar{u} = (\bar{K}')^{-1} \bar{b}' \quad (6)$$

Dimana  $(\bar{K}')^{-1}$  invers dari matrik  $K'$  yang merupakan matrik global, dalam persamaan diferensial ini nilai matrik  $K'$  sama dengan  $M_e$ .  $u$  adalah vektor global yang merepresentasikan parameter yang ingin diketahui, yaitu beda potensial. Sedangkan  $b'$  adalah vektor global ruas kanan.

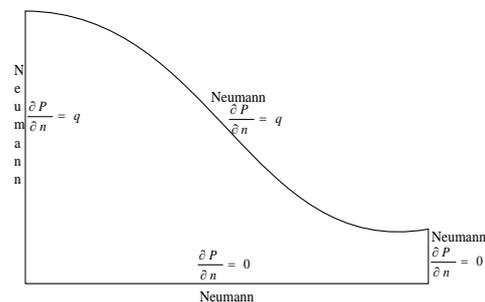
## 4. Pembahasan

### 4.1 Pemodelan aliran

Sebelum menghitung potensial pada pemodelan *Self-Potential* dengan teknik *finite element*, pertama dilakukan perhitungan nilai *fluid head* dari aliran menggunakan teknik *finite element*. Dimana untuk kasus aliran tunak persamaan tersebut menjadi:

$$\nabla^2 P = 0 \quad (7)$$

Serta syarat batas pemodelannya yaitu:



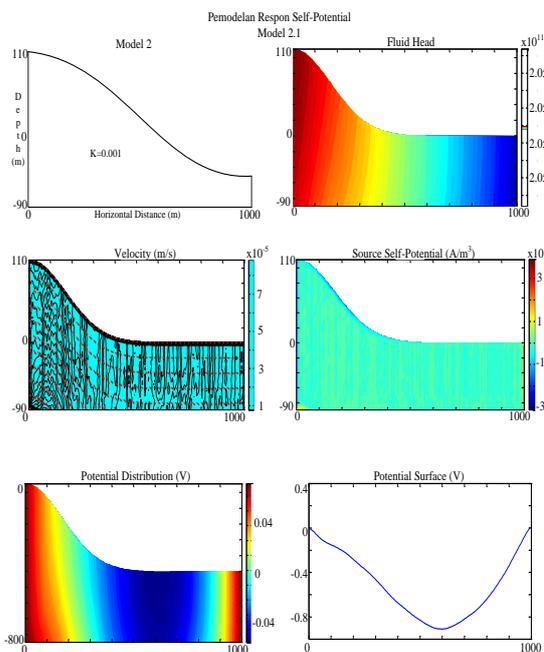
**Gambar 4.** Domain Model Untuk Pemodelan Self-Potensial 2D dan Syarat Batas

### 4.2 Pemodelan self-potensial dengan sumber vektor ( $A/m^3$ )

Setelah mengaplikasikan persamaan *Self-Potential* (4) kedalam teknik *finite element* dengan pendekatan Galerkin. Persamaan diferensial tersebut diselesaikan menjadi sistem persamaan linier dan menetapkan syarat batas yang digunakan untuk pemodelan. Syarat batas yang diterapkan pada pemodelan ini yaitu syarat batas Dirichlet untuk sisi kiri dan kanan,

sedangkan untuk sisi atas (permukaan) dan bawah diterapkan syarat batas Neumann. Kemudian pada pemodelan ini sumber yang digunakan yaitu sumber yang didapat dari mencari *fluid head*, vektor kecepatan, dan hasil akhirnya berupa sumber arus. Hasil pemodelan ini ditampilkan melalui gambar *fluid head*, vektor kecepatan, sumber *Self-Potential*, distribusi sebaran potensial dan respon *Self-Potential* dipermukaan yang disebabkan oleh sumber ( $A/m^3$ ).

Pada Gambar model landai yaitu menyerupai lereng, dengan mengasumsikan terdapat aliran masuk disisi kiri. Pada kontur kecepatan terlihat aliran mengalir lebih cepat pada bagian lereng. Respon *Self-Potential* dipermukaan yang didapat yaitu lebih negatif.

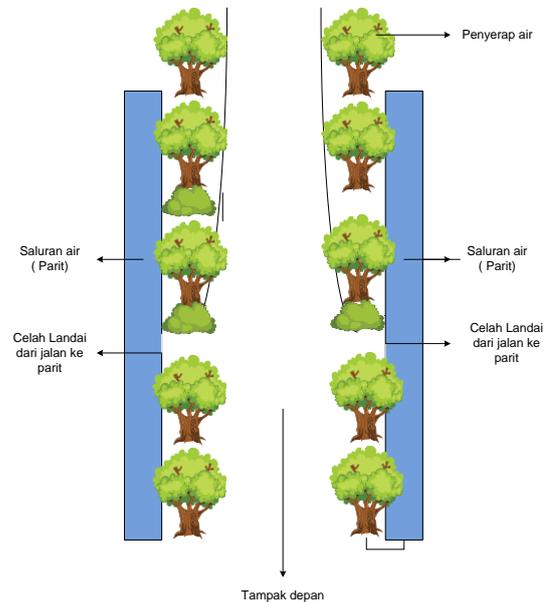


**Gambar 5.** Pemodelan Topografi Landai Homogen: (a) Kontur *fluid head* untuk model aliran fluida pada kasus topografi lereng untuk  $\sigma$  dan K homogen. (b) Vektor kecepatan aliran. (c) Sumber arus ( $A/m^3$ ) menggunakan operasi gradien yang melibatkan  $L_v$  dan  $(\vec{u})$ . (d) Distribusi Potensial (V). (e) Respon potensial dipermukaan

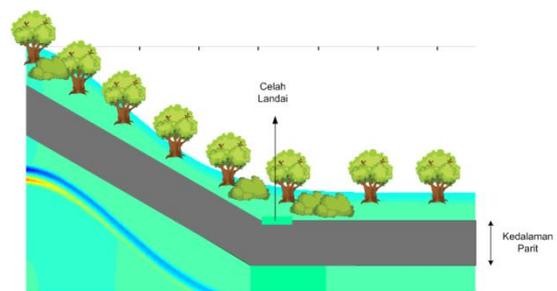
#### 4.3 Pemodelan area serapan air

Berdasarkan pemodelan topografi landai dapat disimpulkan bahwa pada topografi landai atau menyerupai lereng seringkali dapat terjadi genangan air yang berlebih, maka rancangan area serapan air yang baik pada topografi landai (Gambar 7).

Pada gambar 6 dan 7 diperlihatkan rancangan area serapan pada jalan atau topografi landai dimana harus ada tempat penampungan air (parit) yang memadai dengan lebar dan kedalaman yang sesuai agar air tidak tetap tergenang, sehingga dapat merusak dan menggerus jalan. Selain itu di sekitar daerah antara jalan dan parit diberi celah agar air dapat mengalir langsung ke penampungan. Celah dirancang tepat di posisi area landai kedatar.



**Gambar 6.** Rancangan Area Serapan Air Tampak Depan



**Gambar 7.** Rancangan Area Serapan Air Tampak Samping

## 5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta telah di analisa pada bagian pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemodelan *self-potential* pada topografi landai (khususnya jalan) dapat dibuat secara akurat dan teliti karena menggunakan domain yang kecil serta model yang dibuat dalam pemodelan ini

- sudah generalisasi sehingga dapat digunakan kebentuk yang lainnya.
2. Pemodelan daerah jalan topografi landai (lereng) dapat menggambarkan aliran air yang deras kebawah, yaitu ditandai dengan nilai meningkat.
  3. Perancangan area serapan air dengan menyediakan penampungan air (parit) yang memadai jika curah hujan tinggi serta bagian setelah sisi jalan landai ini diberikan celah aliran langsung ke penampungan. Setidaknya dengan rancangan ini mampu meminimalisir endapan air yang akan merusak jalan dan longsor tanah karena kurangnya pohon.

Dari penelitian ini peneliti menyarankan agar model dapat dimodelkan lagi dengan domain yang lebih kecil sehingga ketelitian dan keakuratan meningkat, dan dapat mengembangkan dengan membentuk dua lapisan tanah serta untuk bidang lainnya.

### Daftar Pustaka

- Jardani, A., Revil, A., Bole, A., Crespy, A., Dupont, J., & Barrash, W. (2007). Tomography of the Darcy velocity from self-potential measurements, *34*, 1–6. <https://doi.org/10.1029/2007GL031907>
- Jardani, A., Revil, A., Bole, A., & Dupont, J. P. (2008). Three-dimensional inversion of self-potential data used to constrain the pattern of groundwater flow in geothermal fields, *113*, 1–22. <https://doi.org/10.1029/2007JB005302>
- Jouniaux, L., Mainault, A., Naudet, V., Pessel, M., & Silliac, P. (2009). Review of self-potential methods in hydrogeophysics. *Comptes Rendus - Geoscience*, *341*(10-11), 928–936. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.08.008>
- Kim, S., Heinson, G., & Joseph, J. (2004). ELECTROKINETIC GROUNDWATER EXPLORATION : A NEW GEOPHYSICAL TECHNIQUE, (Overbeek 1952), 181–185.
- P.S. Meszaros, S. Lee and A. Laughlin, “Information processing and information technology career interest and choice among high school students,” *Reconfiguring the Firewall: Recruiting Women to Information Technology Across Cultures and Continents*, Wellesley: A K Peters, 2007, 77-95.
- Polycarpou, A. . (2006). *Introduction to the Finite Element Method in Electromagnetics*. Morgan & Claypool Publishers.
- Reynolds, J. M. (1998). *An Introduction To Applied And Environmental Geophysics.pdf*.
- Sill, W. R. (1983). Self-potential modeling from primary flows. *Geophysics*, *48*(1), 76. <https://doi.org/10.1190/1.1441409>
- Srigutomo, W., Novana, C. E., Singarimbun, A., Agustine, E., Puradimaja, D. J., Sunarya, A. S., ... Padjadjaran, U. (2010). Self Potential Modeling for Investigation of Shallow Structure in Volcanic Region : a Study Case at Domas Crater , Tangkuban Parahu Volcano , West Java, *21*(2).
- Telford, W. . (1997). *Applied Geophysics Second Edition*.
- Yasukawa, K., Ishido, T., & Kajiwarra, T. (2005). Geothermal Reservoir Characterization by SP Monitoring, (April), 24–29.
- Zhang, S. B., & Northrup, J. E. (1991). Chemical potential dependence of defect formation energies in GaAs: Application to Ga self-diffusion. *Physical Review Letters*, *67*(17), 2339–2342. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.67.2339>
- Zogala, B., Mendecki, Maciej J., M. Zuberek, W., Robak, M. (2012). APPLICATION OF SELF POTENTIAL METHOD IN THE AREA, *9*(2), 179–189