



**IDENTIFIKASI LETAK RETAKAN DAN REMBESAN AIR
PADA DINDING TEROWONGAN KERETA API MRAWAN
BERDASARKAN DATA *SELF-POTENTIAL***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S-1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Rara Ajeng Decita Sari
NIM 161810201023

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2022

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terowongan kereta api adalah tembusan di bawah permukaan tanah atau pegunungan yang dibangun dengan tujuan sebagai jalur lintas kereta api. Salah satu terowongan yang masih aktif digunakan adalah terowongan Mrawan yang terletak di Desa Sidomulyo, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember. Secara geografis, terowongan berada pada posisi $8^{\circ}16.265'$ s/d $8^{\circ}16.218'$ LS dan $113^{\circ}55.874'$ s/d $113^{\circ}56.238'$ BT. Terowongan ini dibangun oleh *Staatsspoorwegen* (SS) perusahaan Kereta Api Hindia Belanda pada tahun 1901-1902 dan selesai tahun 1910. Bagian yang dibangun terlebih dahulu adalah tembok sisi kiri dan kanan, kemudian dilanjutkan dengan konstruksi lengkung penutup terowongan yang memakan waktu sekitar delapan tahun. Terowongan tersebut berada pada ketinggian 492 m di atas permukaan laut dan memiliki panjang 690 m menembus Gunung Gunitir yang membatasi Kabupaten Jember dan Kabupaten Banyuwangi (Pusjatan, 2018).

Usia terowongan Mrawan bila dihitung dari tahun pembangunannya dapat dikatakan sudah sangat tua, namun masih beroperasi hingga saat ini. Kondisi terowongan Mrawan yang sudah tua tentu tidak selamanya dalam keadaan aman atau layak untuk beroperasi. Berdasarkan survei langsung, didapatkan informasi dari PJTW (Penjaga Terowongan) bahwa ada rembesan air yang menetes di bagian kanan kiri dinding dan celah langit terowongan. Rembesan air diduga muncul karena adanya retakan pada dinding dan terdapat aliran akuifer di sekitar terowongan. Berdasarkan penelitian Purwantara (2009), posisi keretakan berada di rentang meter 500 sampai 600 dimana pada lokasi tersebut merupakan daerah rembesan terparah. Mengingat pentingnya fungsi terowongan, permasalahan tersebut sangat perlu diperhatikan karena di atas terowongan merupakan jalur utama transportasi darat Jember-Banyuwangi. Apabila tidak segera diambil tindakan pencegahan dikhawatirkan akan terjadi keruntuhan yang dapat membahayakan pengguna transportasi, baik kereta api maupun kendaraan umum. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendeteksian untuk mencegah terjadinya

keruntuhan dengan menggunakan metode geofisika seperti metode geolistrik maupun metode *self-potential*.

Geolistrik sebagai salah cabang dari geofisika, merupakan ilmu yang dapat digunakan untuk menemukan letak air di bawah tanah yang meliputi informasi kedalaman, ketebalan dan sebaran dengan tingkat ketepatan yang tinggi. Geolistrik juga bisa digunakan untuk menentukan arah aliran air di bawah permukaan tanah. Secara alami selalu terdapat tegangan dalam elemen volta yang dibangkitkan unsur-unsur pada tanah. Dalam pengukuran potensial voltaik ini dikenal sebagai *self-potential* (Reynold, 1997).

Metode *self-potential* merupakan metode pengukuran listrik alami di permukaan bumi. Nilai potensial listrik diukur dengan menggunakan voltmeter dan kontak antara voltmeter dengan tanah menggunakan suatu elektroda non-polar. Hasil akhir dari *self-potential* merupakan data berupa nilai potensial terukur dengan jarak spasi tertentu, kemudian dibuat grafik antara jarak dengan nilai potensial terukur yang disebut profil dan suatu peta ekuipotensial yang dibuat dari beberapa profil yang dihasilkan. Interpretasi data dilakukan dengan cara melihat data hasil pengukuran yang mempunyai rentang beberapa millivolt (mV) sampai ratusan millivolt (mV) dengan polaritas positif atau negatif tergantung pada kondisi geologi yang diukur (Telford, et. al., 1990). Metode *self-potential* sering digunakan karena cara kerja yang sederhana, biaya relatif murah, dan tidak mengganggu kondisi bawah permukaan karena tidak menginjeksikan arus. Dengan metode ini akan diperoleh informasi yang cukup untuk menentukan kemana aliran air bawah permukaan. Metode *self-potential* sangat tepat digunakan untuk penelitian di terowongan Kereta Api Mrawan, karena metode ini dapat menunjukkan posisi keberadaan retakan (rembesan air) pada dinding terowongan.

Beberapa penelitian geofisika dengan obyek terowongan telah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti untuk berbagai tujuan. Syahril (2007), meneliti terowongan kereta api di daerah Sasaksaat, Padalarang, Jawa Barat dengan menggunakan metode georadar. Hasilnya di sekitar terowongan tersebut terlihat ada tetesan air yang diakibatkan oleh rekahan pada dinding terowongan, dimana ditandai dengan adanya kristalisasi kalsit. Kuswanto (2018), meneliti terowongan

seperti goa dengan metode geolistrik 3-D. Pengukuran tersebut menunjukkan nilai anomali yang tinggi, dan cukup mudah dibedakan dari batuan di sekitarnya. Hasil dari pemodelan ini menunjukkan goa ternyata tidak lurus melainkan ada penurunan dari mulut menuju ke dalam. Arjuna (2012), menggunakan metode geolistrik resistivitas untuk mengetahui keberadaan rekahan pada terowongan kereta api Dwi Bhakti Karya Sumberpucung-Malang. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa resistivitas rekahan berada pada kisaran 0,924-10,2 Ω m dengan pendugaan litologi bawah permukaan terdiri dari lapisan akuifer, lempung, batu pasir, kerikil dan batu kapur.

Penelitian geofisika pada terowongan Mrawan juga telah dilakukan beberapa kali. Purwantara (2009), telah melakukan penelitian di Terowongan Mrawan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas. Hasil penelitian tersebut mendeteksi adanya anomali resistivitas rendah berupa akuifer dikorelasikan dengan keretakan pada lapisan batuan. Letak akuifer yang berkorelasi dengan keretakan batuan berada pada jarak antara meter ke 500 sampai 600 dari sisi barat mulut terowongan.

Bhakti (2010), meneliti terowongan Mrawan dengan menggunakan metode georadar. Hasil dari penelitian tersebut adalah ditemukannya pola refleksi pada citra radargram dengan penguatan gelombang di sekitar 330 m dan 575 m dari titik awal pengukuran dengan kedalaman lebih dari 15 m. Diduga ada akuifer pada daerah tersebut yang berkorelasi terhadap kebocoran terowongan kereta api.

Penelitian lain di terowongan Mrawan juga pernah dilakukan oleh Rachmawati (2010), dengan metode *self-potential*. Hasil dari penelitian ini setelah dibuat profil grafik tiap lintasan nilai potensialnya berkisar dari 12 mV sampai -4740 mV yang mana diduga adanya aliran bawah permukaan searah dengan meningkatnya potensial yang terukur. Jika dibandingkan dengan ujung terowongan dari Banyuwangi ataupun Jember, lokasi yang dimaksud berada lebih tinggi sehingga dimungkinkan merupakan daerah *recharge area*. Dari lokasi sebelah timur inilah diduga air bawah permukaan mengalir ke arah barat tepatnya menuju ujung terowongan dari arah Jember. Lokasi tersebut sesuai dengan

penelitian Purwantara yang menyatakan akuifer berkorelasi dengan keretakan terletak pada meter 500 dan 600 dari sisi barat terowongan.

Berdasarkan uraian di atas, telah dilakukan penelitian pada terowongan Mrawan baik menggunakan metode geolistrik, georadar maupun *self-potential*. Penelitian Purwantara (2009) dengan metode geolistrik resistivitas relatif bagus, posisi air dapat ditentukan dengan baik. Penelitian Bhakti (2010), hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan yang diharapkan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi hasil GPR. Proses interpretasi data menjadi terganggu meskipun telah melewati proses *filtering*. Penelitian Rachmawati (2010) dengan metode *self-potential* dapat menduga dinamika air bawah permukaan dan memperkirakan letak anomali SP di sekitar terowongan Mrawan. Namun kekurangan pada penelitian ini belum dilengkapi dengan kedalaman anomali. Mengingat pada penelitian sebelumnya tidak ada kedalaman anomali, maka pada penelitian ini perlu dilakukan pemodelan. Pemodelan ke depan, asumsi geometri objek bawah permukaan dapat dimodelkan dalam bentuk geometri bola, geometri silinder, geometri lempeng, dan lain-lain. Pemakaian asumsi model bawah permukaan yang berbeda berakibat pada formulasi fungsi matematis dan menghasilkan model anomali *self-potential* yang berbeda. Asumsi yang dipakai disesuaikan dengan kondisi objek yang sedang ditinjau. Pemodelan geometri bola atau silinder biasanya digunakan dalam pengukuran SP sungai bawah tanah. Pemodelan geometri lempeng biasa digunakan dalam melakukan penelitian di daerah gunung api yang banyak *feature* geologi berupa *dike* atau intruksi magmatik (Wijaya et. al., 2018).

Kedalaman sumber anomali SP dapat diprediksi dari pengolahan lanjut data SP. Pendekatan model bola dapat dilakukan untuk mengetahui nilai kedalaman dari sumber anomali SP. Sumber anomali SP yang dimaksud yaitu mineral yang tertanam dalam permukaan bumi atau tanah dimana terletak pada suatu kedalaman h serta memiliki sudut polarisasi α (Handoko, et.al., 2016).

Penelitian ini menggunakan sumber data sekunder dari skripsi Rachmawati (2010), yang meliputi nilai beda potensial (mV), jarak (m) dan peta lintasan daerah penelitian. Pada penelitian tersebut tidak ada kedalaman anomali, maka

data SP diolah lebih lanjut dengan metode *self-potential* pemodelan bola. Pengolahan data dilakukan dengan koreksi data, lalu data SP digambar dalam bentuk kontur SP menggunakan Surfer. Dicari pada klosur nilai anomali negatif yang menunjukkan adanya rembesan/ gerakan fluida kemudian dibuat sayatan melewati klosur sehingga diperoleh profil terkait anomali. Hasil pengolahan tersebut kemudian akan menunjukkan posisi dan kedalaman anomali rembesan pada dinding terowongan yang mana dapat disesuaikan dengan penelitian yang telah dilakukan Purwantara (2009), Rachmawati (2010), Bhakti (2010) serta kondisi riil terowongan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana investigasi retakan dan aliran (rembesan air) pada dinding terowongan Kereta Api Mrawan jika ditinjau dengan metode *self-potential* pemodelan bola?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui posisi keberadaan retakan terowongan (rembesan air) berdasarkan data *self-potential* dengan menggunakan pemodelan bola.

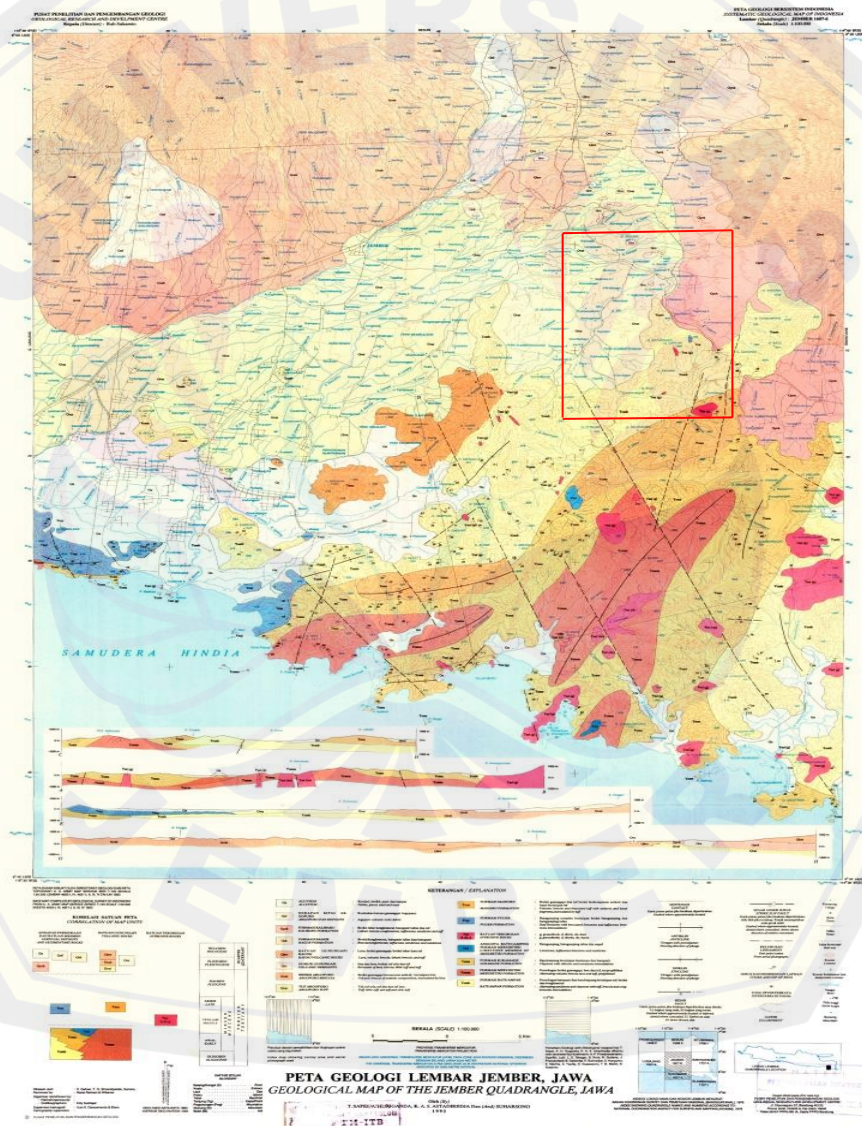
1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah dapat mengetahui posisi dan kedalaman anomali rembesan pada dinding terowongan yang mana dapat disesuaikan dengan penelitian yang telah dilakukan Purwantara (2009) serta kondisi riil terowongan. Penelitian ini juga dilakukan sebagai tolak ukur mitigasi, pelestarian terowongan Kereta Api Mrawan dan mencegah terjadinya keruntuhan yang membahayakan bagi pengguna transportasi baik kereta api maupun kendaraan umum.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Terowongan Mrawan

Terowongan Kereta Api Mrawan berdasarkan dari data geologi, terletak diantara 2 formasi batuan yaitu formasi kalibaru (Qpvk) dan formasi batu ampar (Tomb). Formasi kalibaru (Qpvk) tersusun dari batuan beku seperti batu breksi, lahar konglomerat, batu pasir tufan dan tuf, sedangkan formasi batu ampar (Tomb) tersusun dari batu pasir dan lempung yang bersisipan tuf, breksi, dan konglomerat, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta geologi sekitar Terowongan Kereta Api Mrawan (Sapei et. al., 1992)

2.2 Metode *Self-Potential*

Geolistrik sebagai salah cabang dari geofisika, merupakan ilmu yang dapat digunakan untuk menemukan letak air di bawah tanah, kedalaman, ketebalan dan sebaran serta kualitasnya dengan tingkat ketepatan yang tinggi. Geolistrik juga bisa digunakan untuk menentukan arah aliran air di bawah permukaan tanah. Secara alami selalu terdapat tegangan dalam elemen volta yang dibangkitkan unsur-unsur pada tanah. Dalam pengukuran potensial voltaik ini dikenal sebagai *self-potential* (Reynold, 1997).

Metode *self-potential* diprakarsai pada tahun 1830 oleh Robert Fox menggunakan elektroda lempeng tembaga yang dihubungkan dengan Galvanometer untuk mendeteksi cadangan sulfide-tembaga di CornWall, Inggris. Metode ini digunakan sejak tahun 1920 sebagai peralatan alternatif pada eksplorasi logam, lebih khusus lagi yaitu untuk mendeteksi keberadaan bijih besi dalam jumlah besar. Metode *self-potential* beberapa tahun ini dilakukan secara luas untuk investigasi bawah permukaan air dan panas bumi, serta juga dapat digunakan untuk tujuan pemetaan.

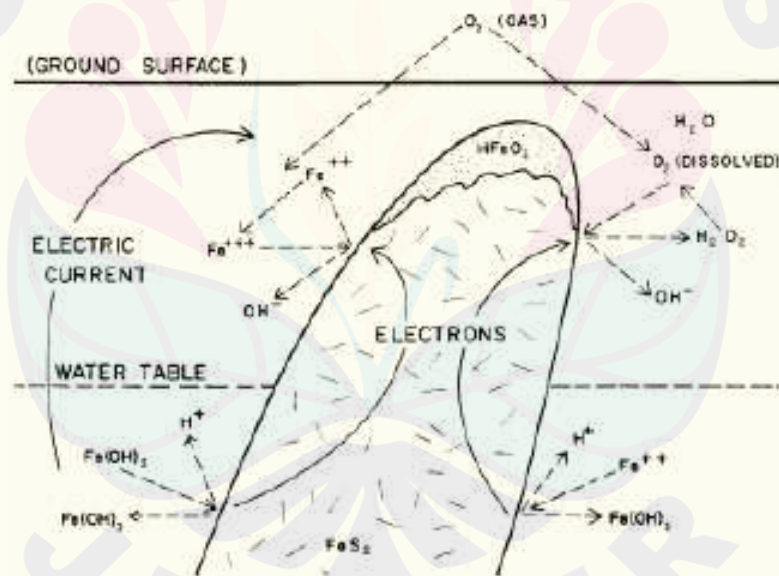
Metode *self-potential* sendiri merupakan metode pengukuran listrik alami di permukaan bumi. Potensi listrik diukur dengan menggunakan voltmeter dan kontak antara voltmeter dengan tanah menggunakan suatu elektroda non-polar. Hasil akhir dari *self-potential* merupakan data berupa nilai potensial terukur dengan jarak spasi tertentu, kemudian dibuat grafik antara jarak dengan nilai potensial terukur yang disebut profil dan suatu peta ekuipotensial yang dibuat dari beberapa profil yang dihasilkan. Interpretasi data dilakukan dengan cara melihat data hasil pengukuran yang mempunyai rentang beberapa millivolt (mV) sampai ratusan millivolt (mV) dengan polaritas positif atau negatif tergantung pada kondisi geologi yang diukur (Telford, et. al., 1990).

Prinsip kerja metode *self-potential* secara teknis adalah mengukur tegangan statis alam melalui dua buah elektroda yang ditancapkan di permukaan bumi, yang dihubungkan dengan digital milivoltmeter. Menurut Indriana (2007) milivoltmeter ini harus mempunyai impedansi masukan yang besar untuk mengabaikan arus listrik yang berasal dari bumi selama pengukuran.

Keunggulan metode *self-potential* daripada metode geolistrik lain adalah sangat responsif untuk target bawah *permukaan* yang bersifat konduktif seperti mineral logam dan mineral sulfida, serta dapat diterapkan untuk daerah yang topografinya tidak datar (Vichabian dan Morgan, 2002).

2.3 Mekanisme *Self-Potential*

Sato dan Money (1960), mengusulkan alasan lain dan teori yang lengkap dari potensial mineralisasi, antara lain mengatakan bahwa pada tubuh mineral terjadi reaksi setengah sel elektrokimia dimana anoda berada di bawah air tanah. Reaksi oksidasi biasanya terjadi pada anoda, maka anoda merupakan sumber arus sulfida yang berada di bawah permukaan tanah, sulfida mengalami oksidasi dan reduksi yang diakibatkan oleh H_2O dan O_2 di dalam tanah. Gambar 2.2, Sato dan Money menggambarkan aliran-aliran ion dan elektron mengalir disekitar sulfida dan di dalam sulfida.



Gambar 2. 2 Mekanisme polarisasi pada mineral (Sato dan Money, 1960)

Menurut Reynold (1997), *self-potential* ini disebabkan oleh beberapa sumber-sumber dan mekanisme alam, meskipun sesungguhnya beberapa peristiwa tersebut belum secara pasti penyebabnya. Proses terjadinya potensial tidak bisa dijelaskan secara pasti, akan tetapi beberapa sumber alam memiliki karakter

tertentu yang berhubungan dengan anomali *self-potential*-nya. Tabel 2.1 menunjukkan tipe anomali *self-potential* dari berbagai sumber mineral :

Tabel 2. 1 Tipe anomali *self-potential* dari berbagai sumber mineral

Sumber	Tipe Anomali
Potensial Mineral	
- Sulfide (<i>pyrite, chalcopyrite, Sphalerite, galena</i>)	Negatif mencapai ratusan mV
- Graphite (<i>magnetite</i> dan bahan mineral konduksi elektronik)	Negatif mencapai ratusan mV
- Coal	Negatif mencapai ratusan mV
- Mangan	Negatif mencapai ratusan mV
- Kuarsa	Positif mencapai puluhan mV
- Pegmatite	Positif mencapai puluhan mV
Potensial Background	
- Reaksi geokimia dan <i>streaming</i> fluida	Positif atau negatif 100 mV
- Bioelektrik (pohon, tanaman)	Negatif 300 mV
- Pergerakan Tanah	Positif atau negatif lebih dari ratusan mV
- Topografi	Negatif > 2 V
- Air Tanah	± di bawah 3 mV sampai dengan -2 mV
- Air Laut	Di bawah negatif 10 mV

(Sumber: Reynold (1997))

Anomali *self-potential* sebenarnya ada dua macam yaitu anomali yang bersifat konstan dan anomali yang bersifat tidak tetap (berfluktuasi). Anomali yang kedua ini lebih bersifat sebagai pengganggu (*noise*), sehingga harus dihilangkan agar tidak mengganggu data primer. Anomali *noise* ini biasanya disebabkan oleh induksi listrik oleh transmisi listrik di sekitar lokasi pengambilan data, petir, variasi medan magnet bumi, efek dari hujan deras, cahaya matahari, akar tanaman, dan lain-lain (Reynold, 1997).

Menurut Telford et. al. (1990), *self-potential* yang terjadi di bumi disebabkan adanya reaksi elektrokimia ataupun aktivitas mekanik. Faktor utama penyebab

terjadinya potensial tersebut yaitu adanya air bawah tanah. Mekanisme munculnya potensial diri dapat melalui beberapa cara diantaranya:

2.3.1 Potensial Elektrokinetik

Menurut Telford et. al. (1990), potensial elektrokinetik (*electrofiltration* atau *streaming* atau *electromechanical potential*) yang bernilai kurang dari 10 mV dibentuk sebagai akibat adanya sebuah elektrolit yang mengalir melalui medium yang berpori atau kapiler. Potensial dari pengukuran mengasumsikan sebagai proses elektrofiltrasi. Menurut Hukum Helmholtz, aliran dari arus listrik berhubungan dengan gradien hidrolis dan kuantitas yang dikenal sebagai koefisien elektrofiltrasi (C_E) yang mempresentasikan sifat fisis dan kelistrikan dari elektrolit dan medium yang dilewatinya. Aliran air sejajar dengan batasan geologis. Besarnya resultan beda potensial antara ujung gayanya adalah:

$$E_K = \frac{\varepsilon \cdot \rho \cdot C_E \cdot \delta P}{4\pi\eta} \quad (2.1)$$

dimana :

- E_K : potensial elektrokinetik ($\frac{Fv\Omega}{ms}$)
- ε : konstanta dielektrik (F/m)
- ρ : resistivitas elektrolit (Ω)
- C_E : koefisien kopleng elektrolit (V)
- δP : Beda tekanan (Nm^2)
- η : Viskositas dinamis elektrolit (Ns/m^2)

2.3.2 Potensial Elektrokimia

Perbedaan potensial akan muncul sebagai akibat perbedaan mobilitas anion dan kation dalam larutan yang konsentrasinya berbeda, jika konsentrasi elektrolit dalam tanah bervariasi secara lokal. Potensial ini disebut potensial difusi (*liquid junction* atau *diffusion potential*) (Telford et. al., 1990). Perubahan potensial difusi secara transien dapat mencapai beberapa puluh mV. Hal ini disebabkan oleh perbedaan beberapa mobilitas elektrolit-elektrolit yang memiliki potensial berbeda di dalam air tanah. Potensial *nernst* (*shale*) terjadi ketika muncul perbedaan potensial antara 2 logam identik yang dicelupkan dalam larutan yang

homogen dan konsentrasi larutan masing-masing elektroda berbeda. Kombinasi antara potensial difusi dan potensial *Nernst* disebut potensial elektrokimia atau potensial static (Corry et. al., 1983). Namun, anomali potensial yang dihasilkan dari potensial ini sangat kecil sehingga tidak berpengaruh begitu besar. Anomali potensial yang besar dihasilkan dari potensial yang timbul dari proses elektromagnetik.

$$E_d = \frac{R \cdot T \cdot (I_a - I_b)}{nF(I_a - I_b)} \ln \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \quad (2.2)$$

$$E_s = \frac{R \cdot T}{nF} \ln \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \quad (2.3)$$

dimana :

- E_d : Potensial difusi $\left(\frac{J/^\circ C \cdot K}{c} \right)$
 E_s : Potensial Nernst $\left(\frac{J/^\circ C \cdot K}{c} \right)$
 R : konstanta gas umum $(8,31 J/^\circ C \cdot mol)$
 T : suhu mutlak (K)
 F : Konstanta Faraday $(9,65 \times 10^4 C/mol)$
 n : valensi
 C_1 dan C_2 : konsentrasi larutan 1 dan 2 (mol/m^2)
 I_a dan I_b : mobilitas dari anion dan kation

2.3.3 Potensial Mineral

Dua buah logam dimasukkan dalam suatu larutan homogen, maka pada logam tersebut akan timbul beda potensial. Beda potensial ini disebut sebagai potensial kontak elektrolit. Pada daerah yang banyak mengandung mineral, potensial kontak elektrolit dan potensial elektrokimia sering timbul dan dapat diukur di permukaan dimana mineral itu berada, sehingga dalam hal ini kedua proses timbulnya potensial ini disebut juga dengan potensial mineralisasi. Potensial mineralisasi bernilai kurang dari 100 mV (Telford et. al., 1990).

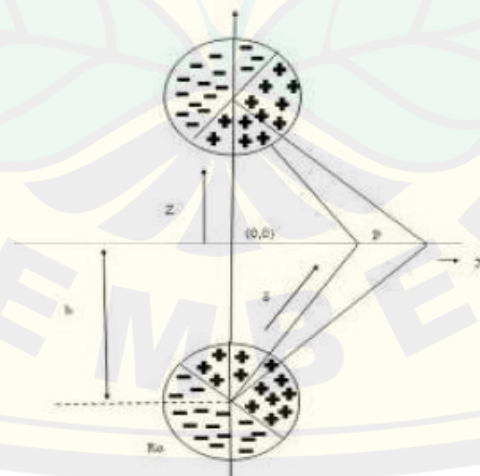
Elektron ditransfer melalui tubuh mineral dari agen pereduksi di bawah muka air tanah menuju agen pengoksidasi di dekat permukaan. Tubuh mineral

sendiri tidak berperan secara langsung dalam reaksi elektrokimia. Akan tetapi bertindak sebagai konduktor untuk mentransfer elektron (Sato & Money, 1960).

2.4 Interpretasi Data *Self-Potential* dengan Pemodelan Bola

Proses interpretasi anomali potensial diri yang disebabkan oleh mineral-mineral yang ada di bawah permukaan bumi dapat dilakukan pendekatan dengan model bola. Anomali yang didapat membuktikan bahwa ada ada sesuatu di bawah permukaan seperti adanya mineral. Bola mineral yang tertanam dalam permukaan bumi atau tanah dapat dianggap sebagai suatu mineral yang merupakan sumber anomali dari potensial diri yang terletak pada suatu kedalaman h serta memiliki sudut polarisasi α . Penelitian dengan menggunakan model bola, kedalaman sumber anomali SP dapat diketahui (Handoko, et. al., 2016).

Perbedaan konsentrasi kimia, tekanan, dan temperatur di bumi menimbulkan anomali potensial diri. Besarnya amplitude akibat dari anomali bergantung pada beda potensial dan koefisien *cross-coupling* yang berhubungan dengan aliran tanah, suhu tanah dan bahan yang terkandung di dalam tanah. Hal tersebut akan menimbulkan potensial dan resistivitas listrik dari struktur lapisan bawah permukaan. Potensial yang timbul akibat aliran fluida disebabkan oleh elektrokinetik yang terhubung dengan ion yang berasal dari termoelektrik dan potensial elektrokimia (De Witte, 1948).



Gambar 2. 3 Benda yang terpolarisasi dan bayangannya (Meiser, 1962)

Interpretasi bawah permukaan pada *self-potential* berdasarkan interpretasi model bola yang tersembunyi di permukaan tanah, yaitu dengan menggunakan rapat arus proporsional untuk menurunkan sebuah kurva potensial yang digunakan untuk interpretasi sebuah potongan yang melintang tetap (Rao & Babu, 1983). Menurut Meiser (1962), seperti pada Gambar 2.3 terdapat dua asumsi, yang pertama bahwa massa bawah permukaan merupakan bola yang terpolarisasi, yang di atas permukaan terdapat bayangan sama persis seperti bentuk bawah permukaannya dan dianggap tidak terjadi interaksi antar keduanya. Asumsi kedua yaitu medan luar normal dan homogen. Bagian atas massa bawah permukaan adalah kutub positif, sedangkan bagian lain adalah kutub negatif.

Setiap titik P pada permukaan sumbu x, besarnya potensial di sekitar massa bola di bawah permukaan yang terhpolarisasi dan tersembunyi. Petrovsky (1928) menghitungnya dengan persamaan berikut :

$$V = \frac{ER_0^2 h \cos \alpha + x \sin \alpha}{2 (x^2 + h^2)^{3/2}} \quad (2.4)$$

dimana :

V : besarnya *self-potential* di titik P (V)

x : jarak titik asal (0,0) ke titik P (m)

h : kedalaman pusat (m)

R_0 : jari-jari pusat bola (m)

E : emf hasil polarisasi (V/m)

α : sudut polarisasi

Titik-titik kritis diperoleh dari persamaan 2.4 diturunkan terhadap x, sehingga $dV/dx = 0$, maka :

$$\frac{dV}{dx} = \frac{d}{dx} \frac{ER_0^2 h \cos \alpha + x \sin \alpha}{2 (x^2 + h^2)^{3/2}} \quad (2.5)$$

$$\frac{dV}{dx} = \frac{ER_0^2}{2} \left(\frac{-3xh \cos \alpha + (x^2 + h^2) \sin \alpha}{(x^2 + h^2)^{5/2}} \right) = 0 \quad (2.6)$$

atau,

$$-3xh \cos \alpha + (x^2 + h^2) \sin \alpha = 0 \quad (2.7)$$

$$x^2 + \frac{3}{2} hx \cot \alpha - \frac{h^2}{2} = 0 \quad (2.8)$$

Akar-akar dari x dapat ditentukan sebagai berikut:

$$x_{12} = -\frac{3}{4} h \cot \alpha \pm h \sqrt{\frac{9}{16} \cot \alpha + \frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

maka didapatkan,

$$x_1 = -\frac{3}{4} h \cot \alpha + h \sqrt{\frac{9}{16} \cot \alpha + \frac{1}{2}} \quad (2.10)$$

$$x_2 = -\frac{3}{4} h \cot \alpha - h \sqrt{\frac{9}{16} \cot \alpha + \frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

selanjutnya,

$$A = \left| \frac{x_1 - x_2}{2} \right| \quad (2.12)$$

sehingga,

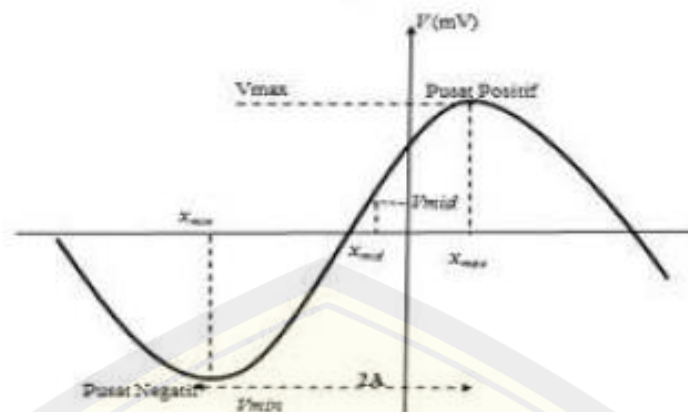
$$A = h \sqrt{\frac{9}{16} \cot \alpha + \frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

atau,

$$\frac{A}{h} = \sqrt{\frac{9}{16} \cot \alpha + \frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

Panjang 2A adalah jarak antar titik potensial maksimum dan titik potensial minimum pada sumbu x dengan satuan meter.

Potongan melintang *self-potential* yang menunjukkan posisi relatif dari potensial maksimum dan potensial minimum. Basis potensial didefinisikan sebagai titik tengah dimana titik potensial $V_{1/2}$ sama dengan $\frac{1}{2} (V_{max} + V_{min})$ dan terletak diantara pusat positif dan pusat negatif yang ditunjukkan Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Potongan melintang dari kurva *self-potential* (Rao & Babu, 1983)

V_{max} dan V_{min} dapat dicari menggunakan persamaan 2.16 dengan cara mendefinisikan $A = \frac{ER_0^2}{2}$, sehingga:

$$V_{1/2} = \frac{1}{2} (V_{max} + V_{min}) = F(\alpha) \quad (2.15)$$

$$V_{max} = \frac{A \cos \alpha + \left(\frac{x_{max}}{h}\right) \sin \alpha}{\left[\left(\frac{x_{max}}{h}\right)^2 + 1\right]^{3/2}} \quad (2.16)$$

$$V_{min} = \frac{A \cos \alpha + \left(\frac{x_{min}}{h}\right) \sin \alpha}{\left[\left(\frac{x_{min}}{h}\right)^2 + 1\right]^{3/2}} \quad (2.17)$$

Variasi harga α dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.14 di atas yang didapat dari menghitung nilai x_{max}/h dan x_{min}/h dari persamaan 2.9 dan 2.10, disubstitusikan ke persamaan 2.13 dan 2.14, sehingga akan menghasilkan persamaan 2.15 dan 2.16

Nilai $x_{1/2}$ dicari melalui persamaan 2.4 dan 2.14 sehingga diperoleh:

$$F(\alpha) \frac{A}{h^2} = \left(\frac{A \cos \alpha + \left(\frac{x_{1/2}}{h}\right) \sin \alpha}{\left[\left(\frac{x_{1/2}}{h}\right)^2 + 1\right]^{3/2}} \right) \quad (2.18)$$

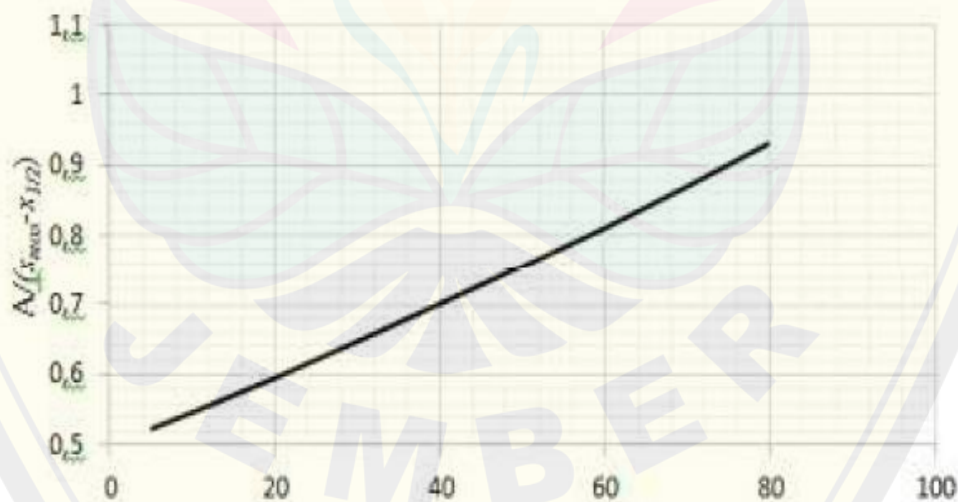
Persamaan 2.18 menunjukkan bahwa hubungan dari A/h dan $x_{1/2}$ adalah fungsi dari yang disajikan pada tabel 2.2 (De Witte, 1948).

Tabel 2. 2 Hubungan dari A/h dan $x_{1/2}$ adalah fungsi dari α

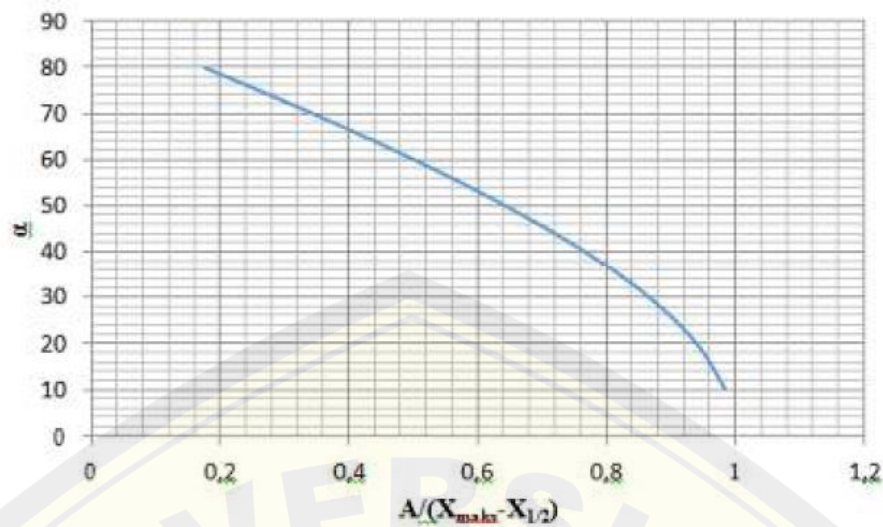
α	A/h	$x_{1/2}/h$	$A/(x_{min} - x_{1/2})$	$A/(x_{maks} - x_{1/2})$
5	8,6	-0,721	11,47	0,523
10	4,31	-0,573	5,9	0,546
20	2,18	-0,579	2,126	0,595
30	1,48	-0,493	2,2	0,647
40	1,14	-0,407	1,75	0,701
50	0,947	-0,323	1,48	0,755
60	0,829	-0,24	1,3	0,811
70	0,757	-0,16	1,19	0,87
80	0,719	-0,079	1,08	0,932

Sumber: De Witte (1948)

Tabel 2.2 di atas dapat dibuat kurva master sebagai alat bantu untuk mencari parameter kedalaman sumber anomali serta alat bantu untuk mengetahui besarnya sudut polarisasi. Kurva tersebut digambarkan oleh gambar 2.5 dan 2.6 . Kurva hubungan tersebut bersifat linear antara kurva hubungan α dengan $A/(x_{min} - x_{1/2})$ dan kurva hubungan $A/(x_{maks} - x_{1/2})$ dengan α .



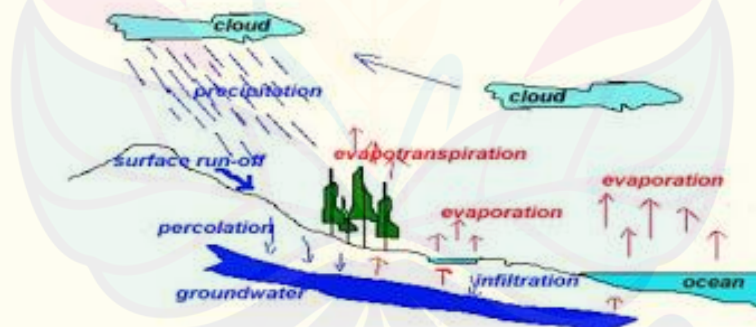
Gambar 2. 5 Kurva hubungan $A/(x_{min} - x_{1/2})$ dengan α (De Witte, 1948)



Gambar 2. 6 Kurva hubungan α dengan $A/(x_{min} - x_{1/2})$ (De Witte, 1948)

2.5 Proses Hidrologi

Secara etimologi hidrologi berasal dari dua kata, yaitu hidro yang berarti air dan logos yang berarti ilmu. Menurut istilah hidrologi berarti ilmu yang mempelajari tentang terjadinya pergerakan dan distribusi air di bumi, baik di atas maupun bawah permukaan bumi.



Gambar 2. 7 Siklus hidrologi (Ayu, 2016)

Siklus hidrologi dimulai dari penguapan air laut menjadi awan, kemudian awan akan berkondensasi menjadi presipitasi berupa air hujan. Air hujan yang mencapai tanah, sebagian berinfiltrasi, sebagian lagi menjadi aliran air di atas permukaan kemudian terkumpul pada saluran yang disebut *surface run off*. Hasil infiltrasi sebagian besar menjadi aliran air bawah permukaan dan sebagian lagi akan membasahi tanah. Air yang menjadi bagian dari tanah dan berada dalam

pori-pori tanah disebut air soil. Apabila kapasitas kebasahan tanah terlampaui maka kelebihan airnya akan berperkolasi (mengalir vertikal) mencapai air tanah (*ground water*) (Ayu, 2016). Air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat di dalam ruang antar butir-butir tanah yang meresap ke dalam tanah dan bergabung membentuk lapisan yang disebut akuifer (Widyanto, 2003).

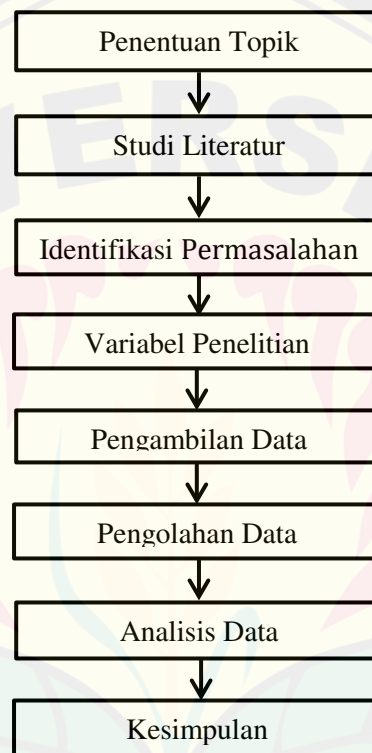
Menurut Rupiningsih (2010), secara umum orang berpendapat air tanah sebagai suatu danau atau sungai yang mengalir di bawah tanah. Kondisi ini dapat dikatakan benar, hanya dalam kasus dimana suatu daerah memiliki gua di bawah tanah. Air tanah secara umum akan mengalir sangat perlahan melalui suatu celah yang sangat kecil atau melalui butiran antar batuan. Batuan yang mampu menyimpan dan mengalirkan air tanah ini kita sebut akuifer. Air tanah bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Perbedaan tekanan ini secara umum diakibatkan oleh gaya gravitasi, adanya lapisan penutup yang impermeabel di atas lapisan akuifer, gaya lainnya yang diakibatkan oleh pola struktur batuan atau fenomena lainnya yang ada di permukaan tanah. Pergerakan ini secara umum disebut gradien aliran air tanah. Pola gradien ini secara ilmiah dapat ditentukan dengan menarik kesamaan muka air tanah yang berada dalam satu sistem aliran air tanah yang sama.

Pergerakan atau aliran tanah sangat penting karena menjadi kunci dari penentuan suatu daerah kaya dengan air atau tidak. Daerah ini adalah wilayah dimana air yang berada di permukaan tanah baik air hujan maupun air permukaan mengalami proses penyusupan (*infiltrasi*), secara gravitasi melalui lubang pori batuan atau celah rekahan batuan (Rupiningsih, 2010).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *self-potential* dengan pemodelan bola dan lempeng miring. Rancangan penelitian merupakan desain yang dapat dijadikan panduan oleh peneliti dalam melaksanakan kegiatan penelitian. Rancangan penelitian ditampilkan dalam gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir rancangan penelitian

Penelitian ini dimulai dengan penentuan topik, lalu dilanjutkan dengan studi literatur. Studi literatur digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Permasalahan dan studi literatur yang ada kemudian diidentifikasi variabel yang akan digunakan pada penelitian. Penelitian ini menggunakan sumber data sekunder dari skripsi Rachmawati (2010). Data mentah penelitian tersebut diolah lebih lanjut menggunakan metode *self-potential* pemodelan bola. Perhitungan dengan model bola dilakukan pada 2 lintasan yang memotong terowongan, dan digunakan pada 5 lintasan sejajar terowongan.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang berjudul “Identifikasi Letak Retakan dan Rembesan Air pada Dinding Kereta Api Mrawan dengan Menggunakan Metode *Self-Potential*” telah dilakukan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui posisi keberadaan retakan terowongan (rembesan air) berdasarkan data *self-potential* dengan menggunakan pemodelan bola. Perhitungan dengan model bola diterapkan pada 2 lintasan yang memotong terowongan dan pada 5 lintasan sejajar terowongan. Pengolahan sumber data sekunder dari skripsi Rachmawati (2010) dilakukan dengan menggunakan *Software Microsoft Excel* dan *Surfer 12*. Pengolahan data dengan pemodelan bola dilakukan dengan koreksi data, lalu data SP digambar dalam bentuk kontur SP menggunakan aplikasi *Surfer 12*. Dicari pada klosur nilai anomali SP negatif yang menunjukkan adanya rembesan/ gerakan fluida, kemudian dibuat sayatan (potongan melintang) melewati klosur sehingga diperoleh profil yang terkait anomali. Hasil pengolahan tersebut kemudian akan menunjukkan posisi dan kedalaman anomali rembesan pada dinding terowongan.

4.1 Lintasan 1

Penelitian ini dilakukan oleh Rachmawati (2009), di lahan Terowongan Kereta Api Mrawan, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember pada tanggal 10-12 Mei 2009. Lokasi data ini diambil tepat berada di atas Terowongan dengan spasi 25 m, dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa vegetasi di daerah Mrawan ini didominasi oleh tanaman kopi. Berdasarkan data sekunder yang ada dan telah dilakukan pengolahan lebih lanjut diperoleh hasil sebagai berikut:

4.1.1 Grafik Hubungan antara Jarak (m) dan Nilai Potensial (mV) pada Lintasan 1

Lintasan pertama terletak sejajar dengan posisi terowongan. Lintasan ini berada pada lahan yang ditumbuhi dengan tanaman kopi. Diperoleh 17 titik data yang digambarkan sepanjang 400 meter pada lintasan ini.

BAB 5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dianalisa, dapat disimpulkan bahwa letak retakan dan aliran (rembesan air) jika ditinjau dengan metode *self-potential* pemodelan bola sangat tepat karena disertai dengan nilai kedalaman. Kedalaman yang diperoleh dari pemodelan ini nilainya relatif dalam yakni berada pada rentang 1 m hingga 12 m. Letak retakan dan aliran (rembesan air) berada pada meter ke 150 dari ujung terowongan sebelah timur atau kurang lebih berada pada piket 7-8 (500 - 600 m) tepatnya meter ke 540 dari arah barat. Pada keadaan riil terowongan rembesan yang mengalir lumayan deras berada pada piket 7-8, yang mana pada bagian ini dinding terowongan masih berupa batuan (belum disemen seperti beberapa piket dari ujung terowongan arah barat). Letak keretakan dan rembesan air ini sesuai dengan 3 penelitian sebelumnya, baik dengan menggunakan Metode Geolistrik (Purwantara, 2009), Metode *Self-Potential* (Rachmawati 2010), dan juga Metode Georadar (Bhakti, 2010). Hasil dari penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan, karena dengan menggunakan metode *self-potential* pemodelan bola letak keretakan dan aliran (rembesan air) pada terowongan dapat disesuaikan dengan penelitian sebelumnya serta kondisi riil terowongan dan disertai dengan kedalamannya.

5.2 SARAN

Penelitian selanjutnya di Terowongan agar mendapatkan hasil pengolahan dengan baik perlu diperhatikan letak lintasannya. Peralatan dalam Metode SP juga harus stabil, agar data yang didapatkan sesuai dengan yang diharapkan. Diharapkan untuk penelitian mendatang agar melakukan pengecekan terhadap beberapa *software* yang akan digunakan guna meminimalisir kendala dalam pengolahan data. Untuk peneliti selanjutnya diharapkan saat pengolahan data lebih memperhatikan ketelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjuna, S. 2012. Studi Keberadaan Rekahan Pada Terowongan Jalur Kereta Api Di Desa Karangates Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Dipole-Dipole. Sarjana *Tesis*. Universitas Brawijaya.
- Ayu, I. G. 2016. Hidrologi/Hidrologia : Studi Tentang Air. Bali : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana.
- Bhakti, Nanda Satria. 2010. Aplikasi Metode Georadar Untuk Investigasi Bawah Permukaan Di Terowongan Kereta Api Mrawan Jember. *Skripsi*. Jember : Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Corry, C. E., G. T. Demouilly., dan M. T. Gerety. 1983. *Field Procedure Manual For Self-Potential Surveys*. Arizona : Tucson.
- De Witte, L. 1948. A New Method of Interpretation of Self-Potential Field Data. *Journal of Gheophysics*. Vol. XIII. P. 6-608.
- Handoko, A. W, Darsono dan Darmanto. 2016. Aplikasi Metode Self-Potential Untuk Pemetaan Sebaran Lindi di Wilayah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Putri Cempo Surakarta. *Indonesian Journal of Applied Physics* 13-22.
- Indriana, R. D., M. I. Nurwidyanto., dan K. W. Haryono. 2007. Interpretasi Bawah Permukaan dengan Metode Self-Potential Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan. *Jurnal Berkala Fisika*. ISSN : 1410-9662. 10 (3). 155-167.
- Kuswanto, A., Garinas, W., dan Zikri, S. 2018. Proses Pengambilan Data dan Pemanfaatan Geolistrik Metoda 4-D Untuk Pemetaan Geologi Bawah Permukaan. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri.*, Vol. 12 (1), 47-56.
- Meiser, P. 1962. A Method of Quantitative Interpretation of Self-Potential Measurements. *Journal of Geophysics Prospecting* 10, 203-18.
- Petrovsky. 1928. *Problem of Hidden Polarized Sphere*. *Philosophical Magazine* 5,334,914 and 927.
- Purwantara, N. 2009. Investigasi Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas (Studi Kasus Terowongan Kereta Api Mrawan-Jember). *Skripsi*. Jember : Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Pusjastan. 2018. *Seminar Nasional Terowongan*. Bandung : Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

- Rachmawati, Y. 2010. Investigasi Sebaran Anomali Self-Potential (SP Di Sekitar Terowongan Kereta Api Mrawan-Jember). *Skripsi*. Jember : Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Rao, D.A., dan H. V. R. Babu. 1983. Quantitative Interpretation Of Self-Potential Anomalies Due To Two Dimensional Sheet-Likesbodies. *Journal of Geophysics*. Vol. XLVIII. P. 1659-1664.
- Reynold, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Gheophysics*. New York : John Wiley & Sons.
- Rupiningsih, N. 2010. Aplikasi Metode Self Potential Dalam Menentukan Aliran Air Bawah Tanah di Wilayah Cisoka Tangerang. *Skripsi*. Depok : Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Indonesia.
- Sapei, T., A. Suganda, K. Astadiredja dan Suharsono. 1992. *Peta Geologi Lembar Jember, Jawa, Skala 1:100.000*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sato and Money. 1960. The Electrochemical Mechanism of Sulphida Self-Potential. *Journal of Gheophysics*. Vol. XXV. P. 226-246.
- Syahril. 2007. *Studi Rekahan Pada Terowongan Kereta Api Dengan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) Studi Kasus Di Daerah Sasaksaat Padalarang Jawa Barat*. Riau.
- Telford M., L.P. Gedaart., dan R. E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge. New York.
- Vichabian, Y. dan F. D. Morgan. 2002. *Self Potentials in Cave Detection*. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. Massachusetts. U.S.
- Widyanto, W. 2003. Eksplorasi Sumber Daya Air Tanah Dengan Menggunakan Metode DC Resistivity-Schlumberger. *Skripsi*. Depok : Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Indonesia.
- Wijaya, D., Kuncoro, T. A., Hariyanto, U. J., Pratama, F. S., dan Pangaribuan, A. R. 2018. Forward Modeling Metode Self Potensial. *Journal Contribution Komputasi Geofisika* 1. 68-78. https://fighshare.com/articles/journal_contribution/Forward_Modeling_Metode_Self_Potensial/5946724/1. [Diakses pada 7 Agustus].