



**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH MATA AIR PANAS MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK 2D DI DESA BLAWAN – IJEN**

SKRIPSI

Oleh:

SATRIO AGUNG BHASKORO

NIM 141810201034

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

2019



**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH MATA AIR PANAS MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK 2D DI DESA BLAWAN-IJEN**

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
Satrio Agung Bhaskoro
NIM 141810201034

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak Agung Pitono S.Pd dan Ibu Enik Jumiati yang tercinta;
2. Kakakku Marga Agung Guritno S.Ak dan Adikku Ajeng Aulia Agung;



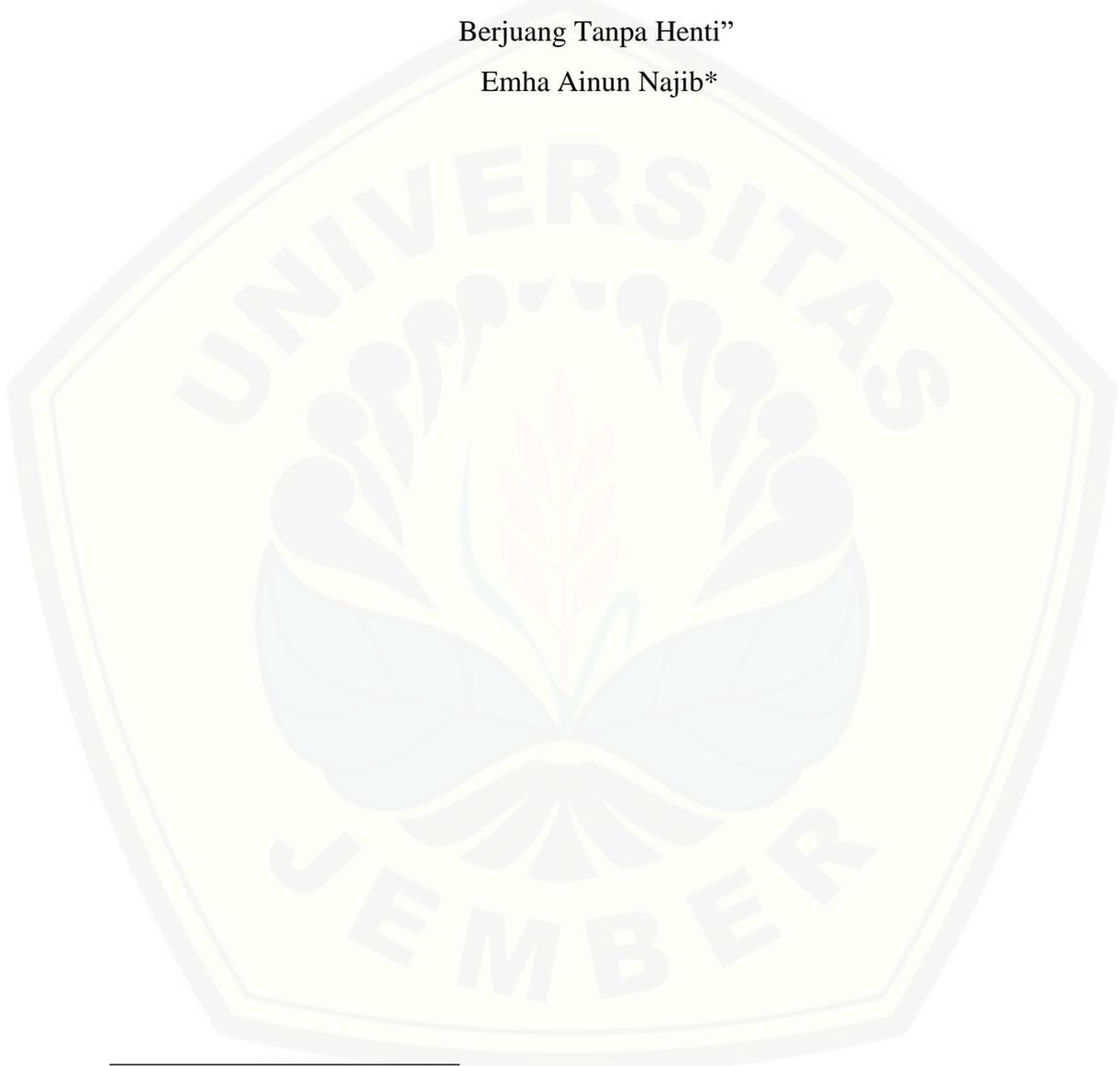
MOTO

“No matter how hard or impossible it is, never lose sight of your goal.”

Monkey D Luffy*

“Tuhan Tidak Menuntut kita untuk sukses. Tuhan Hanya Menyuruh Kita
Berjuang Tanpa Henti”

Emha Ainun Najib*



*) Monkey D.Luffy. 49 Of The Most Noteworthy One Piece Quotes Of All Time.

<https://animemotivation.com/one-piece-quotes/>. Diakses pada tanggal 21 Juli 2019

*) Emha Ainun Najib. Kata Bijak Cak Nun Terbaru dan Terlengkap.

<https://www.ydhartono.com/2018/05/kata-bijak-cak-nun-terbaru-dan.html>). Diakses pada tanggal

22 Juli 2019.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Satrio agung Bhaskoro

NIM : 141810201034

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Mata Air Panas Menggunakan Metode Geolistrik 2D di Desa Blawan-Ijen” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2019

Yang menyatakan,

Satrio Agung Bhaskoro

NIM 141810201034

SKRIPSI

**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH MATA AIR PANAS MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK 2D DI DESA BLAWAN-IJEN**

Oleh
Satrio Agung Bhaskoro
NIM 141810201034

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Supriyadi, S.Si., M.Si.,

Dosen Pembimbing Anggota : Nurul Priyantari, S.Si, M.Si.,

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Mata Air Panas Menggunakan Metode Geolistrik 2D di Desa Blawan-Ijen” telah disetujui pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Supriyadi, S.Si., M.Si.,

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.,

NIP 198204242006041003

NIP 197003271997022001

Anggota II,

Anggota III,

Dr.Lutfi Rohman, S.Si. M.Si.

Dr.Edy Supriyanto, S.Si, M.Si

NIP 197208201998021001

NIP 196712151998021001

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.,
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

“Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Mata Air Panas Menggunakan Metode Geolistrik 2D di Desa Blawan-Ijen”: **Satrio Agung Bhaskoro**, 141810201034; 2019: 87 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Indonesia memiliki banyak daerah vulkanik sehingga mempunyai potensi panas bumi. Panas bumi merupakan sebuah sumber energi panas yang terdapat dan terbentuk pada kerak bumi. Manifestasi panas bumi dapat menghasilkan mata air panas yang dapat dimanfaatkan secara langsung. Salah satunya berada di Blawan-Ijen Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso yang terletak di gunung Ijen Jawa timur yaitu mata air panas Kalisengon. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemetaan struktur bawah permukaan di daerah mata air panas Kalisengon Blawan-Ijen.

Kajian dalam penelitian ini dilakukan dengan membentuk lintasan yang berdekatan dengan daerah mata air panas Kalisengon Blawan-Ijen dengan metode geolistrik resistivitas yang menggunakan dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial yang diletakkan sesuai dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Lintasan pada penelitian ini memiliki panjang 120 m, spasi elektroda 6 m. Penelitian ini menghasilkan nilai arus listrik (mA) dan beda potensial (mV). Nilai yang diperoleh kemudian diolah dan dikalikan dengan faktor geometri (K) dari konfigurasi *Wenner-Schlumberger* untuk memperoleh nilai resistivitas semu. Nilai resistivitas semu yang dihasilkan kemudian diinversi menggunakan *software Res2Dinv* untuk memperoleh nilai resistivitas yang sebenarnya.

Hasil penelitian ini menghasilkan citra resistivitas 2D pada lintasan 1, 2, 3. Citra resistivitas 2D pada lintasan 1 menunjukkan adanya lapisan air tanah yang nilai resistivitas (0,26-2,56) Ωm , batuan tufa nilai resistivitas (2,66-24,6) Ωm , batuan breksi nilai resistivitas (24,6-76,6) Ωm dan lapisan batuan andesit bernilai resistivitas (236-739) Ωm serta diduga terdapat sistem *hidrothermal* pada panjang lintasan ke (4,5-63) m, (69-87) m, dan (93-117) m dengan kedalaman (1,5-19,1) m. Citra resistivitas 2D pada lintasan 2 terlihat adanya air tanah dengan nilai

resistivitas (0,46-4,30) Ωm , lapisan batuan tufa bernilai (13,1-39,8) Ωm , lapisan batuan breksi dan andesit bernilai resistivitas (121-368) Ωm , lapisan batuan basalt bernilai resistivitas (368-1120) Ωm dan diduga terdapat sistem *hydrothermal* yang terletak pada kedalaman (4,5-14,9) m pada titik (39-57) m dan (63-120) m. Citra resistivitas 2D pada lintasan 3 terdiri dari air tanah bernilai resistivitas (0,13-1,55) Ωm , batuan tufa bernilai resistivitas (5,37-64,2) Ωm , lapisan batuan breksi dengan resistivitas sebesar (222-767) Ωm , dan terdapat patahan pada panjang lintasan ke (51-63) m. Pola aliran air panas terlihat ke Utara yang disesuaikan dengan adanya kolam mata air panas Kalisengon Blawan-Ijen.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Mata Air Panas Menggunakan Metode Geolistrik 2D di Desa Blawan-Ijen”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan pengarahan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada hingga kepada:

1. Bapak Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ibu Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing dan memberikan arahan maupun nasehat dalam penulisan skripsi ini;
2. Bapak Dr.Lutfi Rohman, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr.Edy Supriyanto, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji Anggota yang memberikan masukan, kritik, dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Bapak Dr.Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
5. Teman-Temanku kuliah: Dimas Okta Arifani , Windi Bana Alam, Pandu Dewa Nata, Anfasiresanne Mahardika, Claudia Putri Agustin, Rizky Dwi Wijnarko, yang telah memberikan nasehat dan motivasi.
6. Seluruh teman-teman *Graphytasi'14* yang telah memberi banyak bantuan selama penulis menempuh studi;
7. Seluruh teman-teman *Tim Geofisika'15* yang telah memberi banyak bantuan selama penelitian ini;
8. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan di bidang Fisika maupun bidang yang lainnya.

Jember, Juli 2019

Penulis



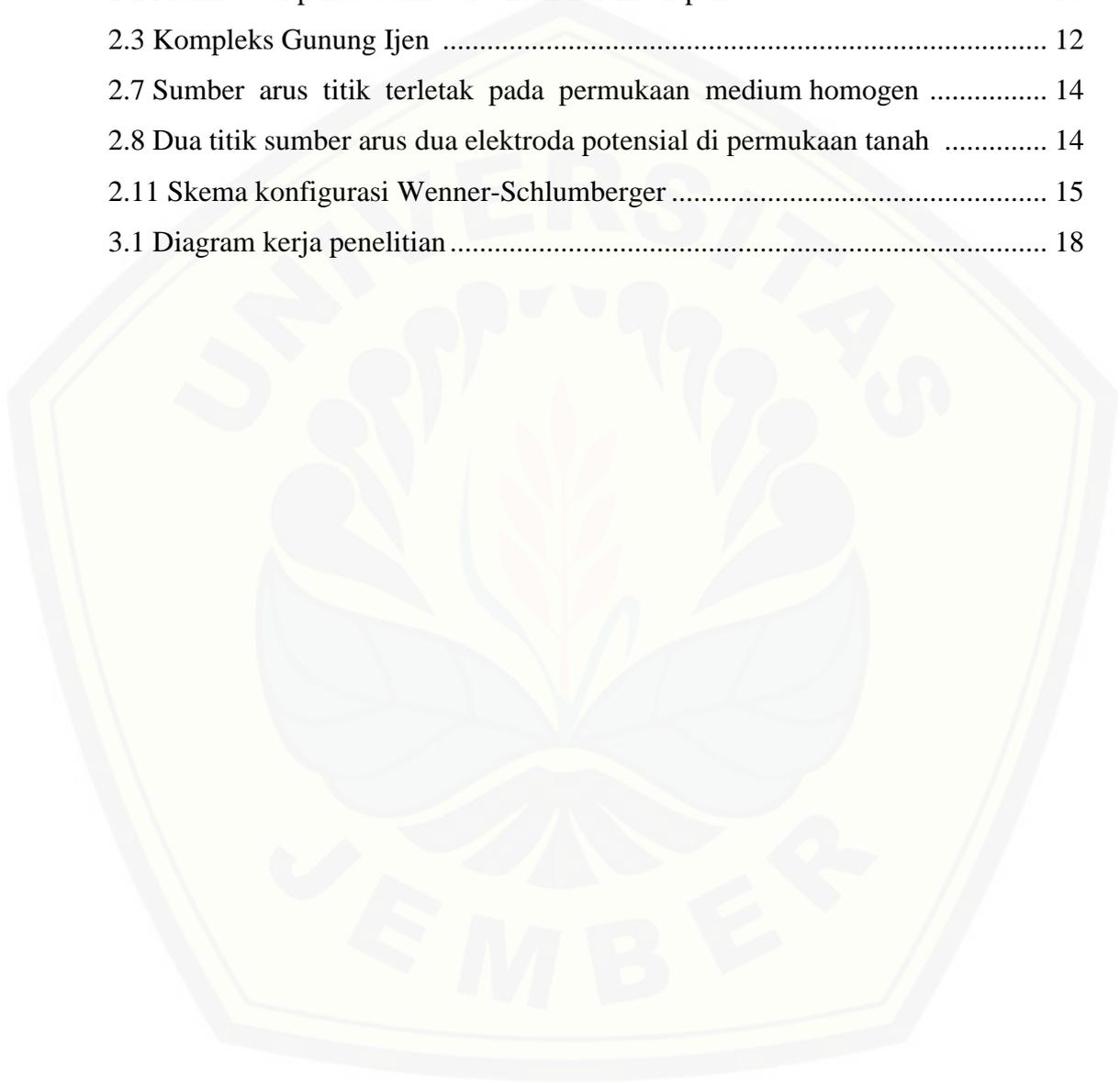
DAFTAR ISI

Halaman

BAB. 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Panas Bumi	5
2.1.1 Sistem Panas Bumi.....	6
2.1.2 Sistem Panas Bumi di Indonesia.....	9
2.1.3 Manifestasi Sistem Panas Bumi.....	10
2.2 Mata Air Panas	11
2.2.1 Keasaman Tanah.....	11
2.2.2 Suhu Air.....	11
2.3.1 Geologi Pegunungan Ijen.....	12
2.3.2 Sistem Panas Bumi di Kompleks Gunung Ijen.....	12
2.4 Metode Geolistrik	13
2.5 Titik Arus Tunggal pada Permukaan	13
2.6 Dua Sumber Titik Arus pada Permukaan	14
2.7 Resistivitas Semu	14
2.7 Konfigurasi Wenner - Schlumberger	15
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Jenis dan Sumber Data	16
3.2 Definisi Operasional dan Variabel Pengukuran	16
3.3 Rancangan Penelitian	16
3.3.6 Pengolahan Data	19
3.4 Teknik Penyajian Data	20
3.5 Interpretasi dan Analisa Data	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
BAB 5. PENUTUP	24
5.1 Kesimpulan	24
DAFTAR PUSTAKA	25

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Model konseptual sistem panas bumi	7
2.2 Manifestasi panas bumi berbentuk kolam air panas	10
2.3 Kompleks Gunung Ijen	12
2.7 Sumber arus titik terletak pada permukaan medium homogen	14
2.8 Dua titik sumber arus dua elektroda potensial di permukaan tanah	14
2.11 Skema konfigurasi Wenner-Schlumberger	15
3.1 Diagram kerja penelitian	18



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
C. Lampiran Dokumentasi Penelitian	26



BAB. 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dikelilingi oleh gunung vulkanik aktif dan dijuluki sebagai daerah *ring of fire*. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar untuk mencukupi kebutuhan energi khususnya listrik. Energi panas bumi di Indonesia menghasilkan 1,197 MWe dengan potensi panas bumi 29 GWe. Potensi energi panas bumi yang dimiliki Indonesia merupakan salah satu yang terbesar di dunia. Lokasi panas bumi di Indonesia sebagian besar berasosiasi dengan sistem vulkanik aktif dengan sebaran paling banyak terletak di Pulau Sumatra dan Pulau Jawa (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, (2017))

Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi di Jawa Timur yaitu Gunung-Ijen. Gunung ini memiliki ketinggian 2.443 mdpl (meter diatas permukaan laut) yang secara administrasi terletak di perbatasan antara Kabupaten Bondowoso, Situbondo, dan Banyuwangi. Manifestasi energi panas bumi ditunjukkan oleh adanya mata air panas dengan suhu air 39°C – 51°C (Afandi *et al.*, 2013). Gunung Ijen sendiri adalah kawasan gunung vulkanik aktif dengan tipe gunung strato volkano.

Energi panas bumi adalah energi yang tersimpan dalam bentuk air atau uap panas dengan kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi. Energi panas bumi memiliki komponen yang khas dimana terdapat lapisan dengan patahan yang terhubung dengan lapisan yang berisi fluida panas. Air permukaan dan air tanah masuk menuju sumber panas untuk mengisi ulang sistem panas bumi (Grant dan Bixley, 2011). Energi panas bumi diperoleh dari proses eksplorasi dan eksploitasi. Energi panas bumi mempunyai banyak kelebihan antara lain bersifat ramah lingkungan bila dibandingkan dengan jenis energi lainnya. Sumber energi panas bumi ini juga cenderung tidak akan habis selama kondisi lingkungannya (geologi dan hidrologi) dapat terjaga keseimbangannya (Kasbani, 2010).

Panas bumi dapat dicirikan dengan adanya tanda-tanda yang muncul ke permukaan yang disebut dengan manifestasi (Saptadji, 2009). Rekanan kerak bumi dan dorongan temperatur bawah bumi yang tinggi menyebabkan manifestasi panas bumi naik ke permukaan (Suparno, 2009). Manifestasi panas bumi tersebut dapat berupa tanah panas, geysir, fumarol, uap panas, sinter silika dan mata air panas (Saptadji, 2009). Sebagian mata air panas yang muncul dapat mengidentifikasi adanya sistem panas bumi di bawah permukaan bumi tersebut.

Metode untuk mengetahui informasi keadaan bawah tanah di daerah sekitar titik sumber panas bumi salah satunya yaitu metode geofisika. Geofisika adalah suatu ilmu yang menerapkan prinsip-prinsip fisika untuk mempelajari keadaan bawah permukaan bumi berdasarkan sifat-sifat fisis tanah atau batuan penyusunnya. Batuan sebagai suatu medium, memiliki sifat resistivitas yang beragam sesuai dengan jenis-jenis batuan. Metode geofisika ini dapat menyelidiki bagaimana kondisi geologis bawah permukaan (Hendrajaya dan Arif, 1990).

Menurut Dahlin dan Zhou (2006), metode geolistrik sendiri memiliki beberapa konfigurasi, yang mana masing-masing terdapat kelebihan dan kekurangan. Beberapa konfigurasi elektroda yang umum digunakan adalah *Schlumberger*, *Wenner*, *Dipole-dipole*, *Pole-pole*, dan *Gradient Array*. Konfigurasi-konfigurasi tersebut merupakan konfigurasi dasar yang dijadikan acuan untuk pengembangan konfigurasi lain. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan gabungan dari konfigurasi dasar yang diterapkan dengan tujuan mendapatkan gambaran bawah permukaan pada objek penetrasinya lebih baik pada arah vertikal, dengan penetrasi maksimum kedalaman 15% lebih baik dari konfigurasi *Wenner* (Nabeel *et al.*, 2013).

Penelitian mengenai panas bumi pernah dilakukan oleh Anjarwati *et al.* (2017) yang mengidentifikasi jenis batuan bawah permukaan daerah sumber panas menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner-Schlumberger* di Sungai Medang, Desa Baru Medang, Kecamatan Air Hangat Timur, Kabupaten Kerinci, Jambi. Hasil penelitian yang didapatkan yaitu nilai resistivitas patahan yang didapat berada pada interval (1638 Ωm sampai dengan 3588 Ωm) yang menunjukkan batuan tufa gunung api, konglomerat, breksi

vulkanik dan batuan lava. Selain itu, penelitian tentang pemodelan sistem panas bumi bawah permukaan dengan metode geolistrik konfigurasi *Wenner - Schlumberger* pernah dilakukan oleh Hadi *et.al.* (2011), di Gunung Api Hulu Lais Bagian Utara, Bengkulu. Hasil penelitian yang didapatkan yaitu untuk daerah Karang Dapo dengan nilai resistivitas 0,0242 Ωm sampai dengan 336 Ωm berhubungan dengan sumber panas bumi kearah Suban Besar. Daerah paling konduktif berada pada daerah Suban Besar yang menyusun di sekitarnya berupa lava pile dan basalt. Penelitian Ludiana *et al.* (2017) dan Arif *et al.* (2011) memberikan kesimpulan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner - Schlumberger* bisa digunakan dalam pemetaan struktur bawah permukaan daerah sumber panas yang berkaitan dengan nilai resistivitas batuan.

Penelitian lainnya yang berhubungan dengan pemetaan struktur bawah permukaan pernah dilakukan oleh Maryanto *et.al.*(2013) dilakukan di Blawan, Kecamatan Sempol, Kabupaten Bondowoso. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui sebaran mata air panas menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi *dipole-dipole*. Penelitian tersebut menunjukkan terdapat 21 manifestasi mata air panas dengan masing-masing suhu $<50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Data resistivitas yang didapat dibagi menjadi 3 bagian nilai resistivitas yaitu $<40\text{ }\Omega\text{m}$, $40\text{-}120\Omega\text{m}$ dan $>1280\text{ }\Omega\text{m}$, dengan profil inversi 2D. Penelitian Maryanto *et.al.* (2013) tersebut menjelaskan bahwa manifestasi mata air panas di Blawan, Ijen cukup banyak terdeteksi dan menyebar di berbagai lahan PTPN XII Blawan, Ijen. Peneliti tertarik untuk meneliti kembali salah satu daerah manifestasi air panas yaitu struktur bawah permukaan permukaannya serta pengukuran pH dan suhu manifestasi panas bumi. Secara geografis, lokasi penelitian ini berdekatan dengan sumber mata air panas dan terletak pada lahan perkebunan kopi PTPN XII Ijen, serta berdekatan dengan sungai pecahan dari sungai Kali Pahit Blawan.

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dikatakan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap struktur bawah permukaan di daerah sumber mata air panas yang terletak di Desa Blawan (Ijen), Kecamatan Kalisengen, Kabupaten Bondowoso dengan menggunakan metode geolistrik dengan konfigurasi *Wenner - Schlumberger*. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui struktur bawah

permukaan tanah serta pengukuran pH dan suhu manifestasi panas bumi di sekitar sumber mata air panas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah yaitu bagaimana struktur bawah permukaan daerah mata air panas di Desa Blawan – Ijen menggunakan metode geolistrik 2D dengan konfigurasi *Wenner – Schlumberger* dengan pengolahan data menggunakan *software Res2Dinv* ?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian struktur bawah permukaan permukaan mata air panas di Desa Blawan Kecamatan Ijen (Kalisengen) Kabupaten Bondowoso ini untuk mengetahui gambaran struktur bawah permukaan tanah yang terdapat sumber mata air panas. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner – Schlumberger*

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini yaitu :

1. Dapat memberikan informasi gambaran struktur bawah permukaan tanah di mata air panas secara 2D yang tepat berada di Desa Blawan Kabupaten Bondowoso untuk pengembangan potensi panas bumi di daerah tersebut.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya terkait daerah mata air panas di Desa Blawan Kabupaten Bondowoso.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panas Bumi

Panas bumi adalah sebuah sumber panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak bumi. Panas bumi merupakan sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetis semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan (Broto dan Putranto, 2011). Ada beberapa jenis panas bumi, yaitu reservoir hidrotermal (*hydrothermal reservoir*), reservoir bertekanan tinggi (*geopressured reservoir*), reservoir batuan panas kering (*hot dry rock reservoir*), dan reservoir magma (*magma reservoir*).

Secara sederhana energi panas bumi adalah energi panas yang dipindahkan dari bagian dalam bumi. Energi tersebut dapat berupa uap atau air panas. Menurut Utami (1999), untuk menjadi sumber panas bumi memiliki persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

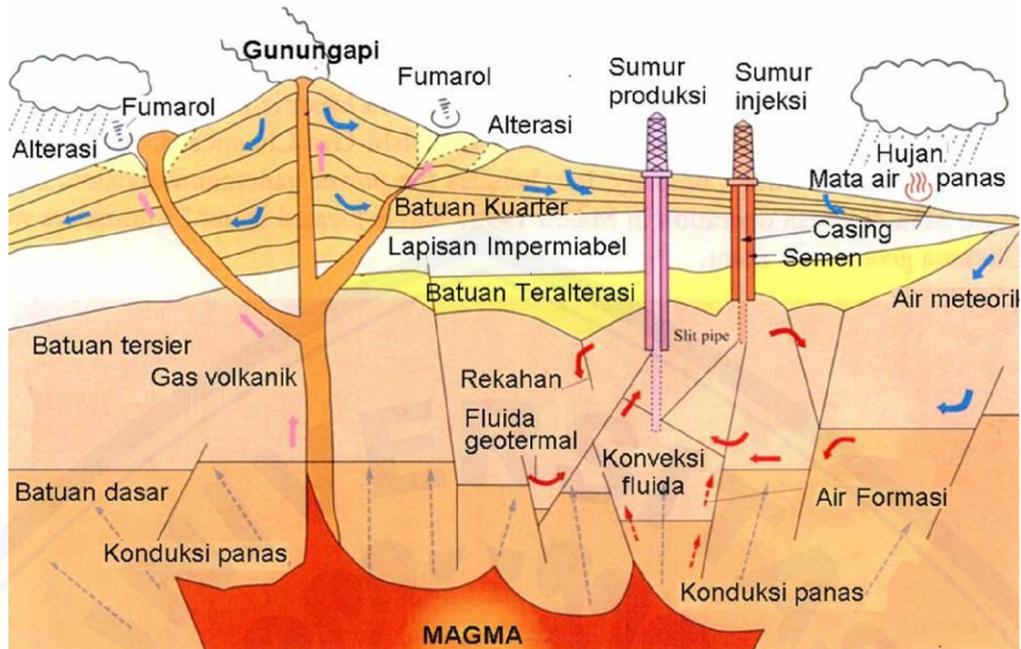
- a. Memiliki batuan panas bumi berupa magma.
- b. Memiliki persediaan air tanah secukupnya yang sirkulasinya dekat dengan sumber magma, agar dapat terbentuk uap air panas.
- c. Memiliki batuan berpori yang menyimpan sumber uap dan air panas.
- d. Memiliki batuan keras yang menahan hilangnya uap dan air panas.
- e. Memiliki gejala-gejala tektonik, dimana dapat terbentuk rekahan-rekahan di kulit bumi yang menjadi jalan uap dan air panas untuk bergerak ke permukaan bumi.
- f. Panasnya reservoir harus mencapai suhu berkisar (180- 250) °C

Untuk dapat memanfaatkan energi panas bumi, dibutuhkan lokasi dengan kondisi geologi tertentu yang memiliki komponen-komponen dari sistem panas bumi. Komponen-komponen tersebut adalah dengan adanya lapisan penutup (*clay cap*), struktur geologi yang umumnya berupa patahan (*fracture*), batuan yang bersifat *permeable* tempat terakumulasinya fluida (*reservoir*), sumber panas (*heat source*), dan *fluida* yang berperan untuk menghantarkan panas dari *reservoir* ke

permukaan. Keseluruhan komponen tersebut harus dalam satu kesatuan sistem agar sistem panas bumi ini dapat dimanfaatkan secara efektif (Agustomo, 2013).

2.1.1 Sistem Panas Bumi

Energi panas bumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan secara konduksi dan konveksi (Smaragdenkis *et al.*, 2016). Energi ini diekstrak dari sistem hidrotermal yang merupakan sistem vulkanis pembentuk gunung api pada zona batas lempeng yang aktif dimana terdapat aliran panas (*heat flow*) yang tinggi (Wahyuningsih, 2005). Proses pembentukan panas bumi sama halnya dengan prinsip memanaskan air yang erat hubungannya dengan arus konveksi. Air yang dimasak di dalam teko menggunakan kompor akan berubah menjadi uap air setelah panas. Hal serupa juga terjadi pada pembentukan energi panas bumi. Air tanah yang terjebak di dalam batuan yang kedap dan terletak di atas dapur magma atau batuan yang panas karena kontak langsung dengan magma, otomatis akan memanaskan air tanah yang terletak di atasnya sampai suhu yang cukup tinggi (100 – 250)°C (Sumintadiredja, 2005). Air tanah yang terpanaskan akan mengalami proses penguapan. Apabila terdapat rekahan atau sesar yang menghubungkan tempat terjebaknya air tanah yang dipanaskan tadi dengan permukaan maka pada permukaan dapat dijumpai manifestasi termal yang berasosiasi dengan reservoir panas bumi di bawah permukaan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1 (Rukhiyat, 2012).



Gambar 2.1 Model konseptual sistem panas bumi (Bratakusuma, 2016)

Saptadji (2001) dalam bukunya menyatakan bahwa, manifestasi tersebut diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan. Beberapa manifestasi tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Tanah hangat (*warm ground*), adanya sumber panas bumi di bawah permukaan dapat ditunjukkan dari adanya tanah yang mempunyai temperatur lebih tinggi dari temperatur tanah di sekitarnya. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan panas secara konduksi dari batuan bawah permukaan ke batuan permukaan.
- b. Permukaan tanah beruap (*steaming ground*), diperkirakan uap panas berasal dari lapisan tipis dekat permukaan yang mengandung air panas yang mempunyai temperatur sama atau lebih besar dari titik didihnya (*boiling point*).
- c. Mata air panas (*hot spring*), mata air panas ini terbentuk karena adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan.

- d. Kolam air panas (*hot pools*), kolam air panas ini terbentuk karena adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan dan membentuk kolam panas.
- e. Telaga air panas (*hot lakes*), pada dasarnya juga merupakan kolam air panas, tetapi lebih tepat dikatakan telaga karena luasnya daerah permukaan air. Umumnya istilah telaga dipakai bila luas permukaannya lebih dari 100 m².
- f. Fumarol, merupakan lubang kecil yang mengeluarkan uap panas kering (*dry steam*) atau uap panas yang mengandung butiran-butiran air (*wet steam*).
- g. Solfatara, merupakan fumarol yang mengeluarkan gas-gas oksida belerang seperti SO₂ dan SO₃.
- h. *Geysir*, didefinisikan sebagai mata air panas yang menyembur ke udara secara *intermittent* (pada selang waktu tak tentu) dengan ketinggian air sangat beraneka ragam. Lamanya air menyembur ke permukaan juga sangat beraneka ragam. *Geysir* merupakan manifestasi permukaan dari sistem dominasi air.
- i. Kubangan lumpur (*mud pools*), umumnya mengandung *non-condensable gas* (CO₂) dengan sejumlah kecil uap panas. Lumpur terdapat dalam keadaan cair karena kondensasi uap panas. Sedangkan letupan-letupan yang terjadi adalah karena pancaran gas CO₂.
- j. *Silika sinter*, merupakan endapan silika di permukaan yang berwarna keperakan. Umumnya dijumpai di sekitar mata air panas dan lubang geysir yang menyemburkan air yang bersifat netral.
- k. Kawah (*crater*), yaitu suatu bentuk depresi berbentuk corong terbuka ke atas yang merupakan tempat disembarkannya gas dan lava.
- l. Batuan alterasi, merupakan manifestasi yang terjadi akibat adanya reaksi antara batuan asal dengan fluida panas bumi.

2.1.2 Sistem Panas Bumi di Indonesia

Karakteristik panas bumi di Indonesia dijelaskan oleh Budihardi dalam Suhartono (2012). Prospek panas bumi yang terletak pada jalur gunung api di Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan ujung utara Pulau Sulawesi umumnya mempunyai temperatur yang cukup tinggi yang berkaitan dengan kegiatan gunung api muda. Pada daerah ini, prospek panas bumi dapat diklasifikasikan ke dalam 2 katagori, prospek panas bumi yang berkaitan dengan gunung api aktif saat sekarang (*resen*) dan prospek panas bumi yang berkaitan dengan gunung api kuarter yang sudah tidak aktif dan berumur lebih tua (Kusumadinata dan Alzwar, 1979).

Lapangan-lapangan panas bumi yang sudah atau sedang dikembangkan dan termasuk ke dalam sistem ini terdiri dari lapangan Dieng, G. Salak, Patuha, Bali, Karaha, Wayang-Windu, Ulubelu, Sibayak dan Sarulla. Survei eksplorasi panas bumi di daerah lainnya secara keseluruhan memperlihatkan sistem air panas. Temperatur reservoir pada sistem ini sangat bervariasi dan sering mencapai lebih besar dari 300°C dengan landaian tekanan dikontrol oleh tekanan hidrostatik. Reservoir umumnya diisi oleh air panas dan NaCl (Kusumadinata dan Alzwar, 1969). Pada lapangan-lapangan sistem air panas tersebut di atas, temperatur reservoir bervariasi dari 200°C sampai maksimum 347°C. Sumur-sumur produksi yang menembus reservoir air panas pada lapangan-lapangan tersebut menghasilkan fluida dua fasa sehingga diperlukan separator untuk memisahkan keduanya. Air limbah yang dihasilkan diinjeksikan kembali ke dalam reservoir untuk kepentingan lingkungan dan untuk mempertahankan volume fluida dalam reservoir. Kedalaman puncak reservoir pada lapangan-lapangan tersebut bervariasi dari (1000 sampai 1500) m untuk lapangan panas bumi di Sumatera (Sibayak, Sarulla, Ulubelu) dan berkisar antara (1000 sampai 2500) m untuk lapangan panas bumi di Pulau Jawa, Bali dan Sulawesi (Saptadji, 2001).

2.1.3 Manifestasi Sistem Panas Bumi

Sumber daya panas bumi berbeda dengan sistem minyak-gas, adanya sumber daya panas bumi di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya 10 manifestasi di permukaan (*geothermal surface manifestation*), seperti mata air panas (*hotsprings*), kubangan lumpur panas (*mud pools*), kolam air panas, geyser dan manifestasi panas bumi lainnya (Gambar 2.2). Manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (Lowrie, 1997).



Gambar 2.2 Manifestasi panas bumi berbentuk kolam air panas (Saptadji, 2001)

Daerah dimana terdapat manifestasi panas bumi di permukaan biasanya merupakan daerah yang pertama kali dicari dan dikunjungi pada tahap eksplorasi. Dari karakterisasi manifestasi panas bumi di permukaan serta kandungan kimia air, kita dapat membuat berbagai perkiraan mengenai sistem panas bumi di bawah permukaan, misalnya mengenai jenis dan temperatur reservoir. Indonesia sendiri merupakan negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia, terbukti dengan banyaknya daerah WKP (Wilayah Kerja Panas bumi) serta banyaknya potensi panas bumi yang tersebar di seluruh Indonesia (Saptadji, 2009).

2.2 Mata Air Panas

Mata air panas/hangat juga merupakan salah satu petunjuk adanya sumber daya panas bumi di bawah permukaan. Mata air panas/hangat ini terbentuk karena adanya aliran air panas/hangat dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Istilah “hangat” digunakan bila temperatur air lebih kecil dari 50°C dan istilah “panas” digunakan bila temperatur air lebih besar dari 50°C. Sifat air permukaan seringkali digunakan untuk memperkirakan jenis reservoir di bawah permukaan (Saptadji, 2001).

2.2.1 Keasaman Tanah

Reaksi tanah menunjukkan sifat keasaman dan kebasaan tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Menurut Kartasapoetra (1985), pH tanah adalah suatu ukuran aktivitas ion hidrogen dalam larutan air tanah dan dipakai sebagai ukuran keasaman tanah. Sebetulnya keasaman dan kebasaan tanah merupakan pencerminan kadar, baik ion H⁺ maupun ion OH⁻. Kadar ion H⁺ biasanya dinyatakan dalam besaran pH, yaitu log negatif H⁺, yang kadar H⁺ dinyatakan dalam satuan gram per liter. Selain ion H⁺, di dalam tanah ditemukan pula ion OH⁻ yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya H⁺. Tanah – tanah yang asam, jumlah ion H⁺ lebih tinggi dari pada jumlah ion OH⁻. Sedangkan pada tanah alkalis, kandungan OH⁻ lebih banyak dibandingkan ion H⁺. Bila kandungan OH⁻ sama dengan H⁺ maka tanah bereaksi netral, yaitu mempunyai pH = 7, dengan kata lain, pH air dapat diartikan sebagai suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan air dalam keadaan yang asam atau basa

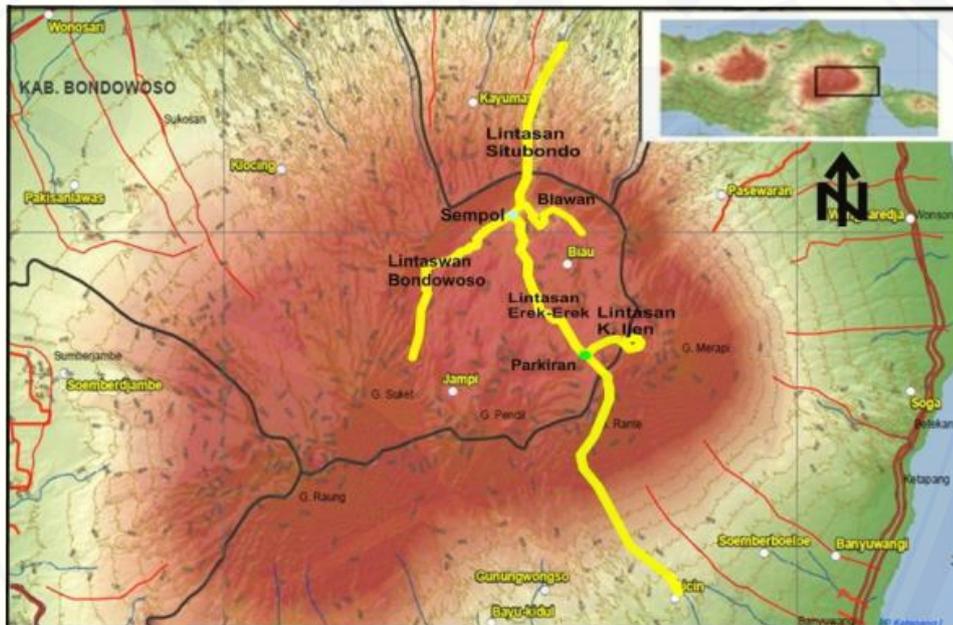
2.2.2 Suhu Air

Suhu merupakan faktor fisik lingkungan yang cukup jelas dan mudah diukur. Suhu merupakan derajat panas yang dinyatakan dalam satuan panas derajat Celcius (°C) atau derajat Fahrenheit (°F). Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran, serta kedalaman badan air (Effendi, 2003).

2.3 Gunung Ijen

2.3.1 Geologi Pegunungan Ijen

Kompleks Ijen berada di daerah administrasi 2 kabupaten yaitu Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Gunung Ijen sampai saat ini berstatus gunung api aktif dengan ketinggian 2799 mdpl. Letusan terakhir yang terjadi pada Gunung Ijen ini pada tahun 1999. Gunung Ijen memiliki kaldera dengan kandungan belerang yang cukup tinggi dan di gunung ini memiliki potensi panas bumi yang cukup besar. Gambar 2.3 merupakan kompleks Gunung Ijen dengan jalur lintasan akses menuju pegunungan Ijen Bondowoso.



Gambar 2.3 Kompleks Gunung Ijen (Sumber: Afandi *et al.*, 2013)

2.3.2 Sistem Panas Bumi di Kompleks Gunung Ijen

Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM) (2017) potensi sumberdaya hipotesis panas bumi di Blawan-Ijen pada tahun 2008 diperkirakan sekitar 92 MWe dan potensi cadangan terbukti sebesar 185 MWe. Sistem panas bumi Blawan-Ijen dikontrol oleh struktur lokal (vulkanik) berupa kaldera tua Kendeng serta struktur regional (tektonik) patahan mengarah ke Utara – Selatan dan diikuti oleh kerucut-kerucut vulkanik Barat – Timur dan

patahan Barat Laut - Tenggara. Sistem panas bumi Blawan-Ijen mempunyai puncak reservoir diperkirakan terletak pada kedalaman (1200-1400) m di bawah permukaan (Gambar 2.4) sedangkan batuan penyusun reservoir termasuk dalam fasies proksimal - medial yang tersusun oleh batuan piroklastik (dominan tuff) dan lava temperatur reservoir sebesar (250 – 300) °C.

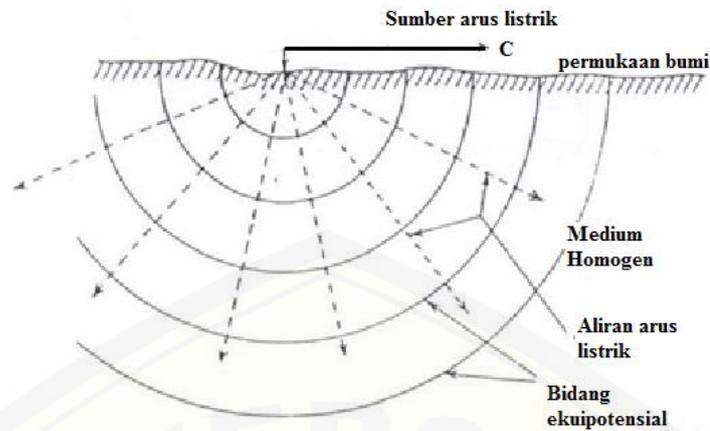
2.4 Metode Geolistrik

Metode geolistrik menurut Reynold, (1997) adalah salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Oleh karena itu, metode geolistrik mempunyai banyak macam, termasuk di dalamnya yaitu : metode potensial diri / *Self Potential (SP)*, metode resistivitas/tahanan jenis, arus *telluric*, *magnetotelluric*, potensial terimbas.

Sedangkan menurut Telford *et.al*, (1990), metode geolistrik adalah suatu teknik investigasi dari permukaan tanah untuk mengetahui lapisan-lapisan batuan atau material berdasarkan pada prinsip bahwa lapisan batuan atau masing-masing material mempunyai nilai resistivitas atau hambatan jenis yang berbeda-beda. Tujuan survei geolistrik adalah untuk menentukan distribusi nilai resistivitas dari pengukuran yang dilakukan di permukaan tanah.

2.5 Titik Arus Tunggal pada Permukaan

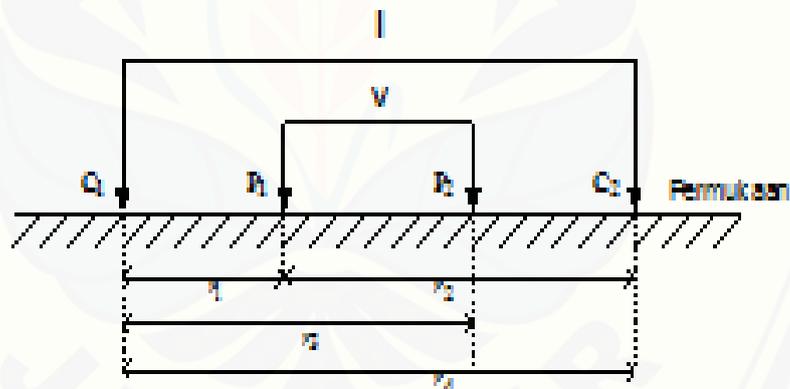
Elektroda yang memberikan arus I terletak pada permukaan medium homogen isotropis dan udara di atasnya dianggap konduktivitas nol. Elektroda tersebut terangkai dengan elektroda lain yang berada pada titik yang sangat jauh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Sumber arus titik terletak pada permukaan medium homogen
(Sumber: Telford *et al.*, 1990)

2.6 Dua Sumber Titik Arus pada Permukaan

Dua elektroda arus terletak di permukaan tanah dengan jarak tertentu dan tidak terlalu besar, maka potensial di setiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda tersebut, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Dua titik sumber arus dua elektroda potensial di permukaan tanah
(Sumber: Telford *et al.*, 1990)

2.7 Resistivitas Semu

Bumi diasumsikan sebagai bola padat yang mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, maka resistivitas yang terukur tidak bergantung pada spasi elektroda. Bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan ρ yang berbeda-beda maka

potensial yang terukur merupakan pengaruh dari setiap lapisan tersebut, sehingga harga resistivitas yang terukur bukan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, tetapi beberapa lapisan. Hal ini terutama untuk spasi elektroda yang lebar.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.15)$$

dimana:

ρ = Resistivitas semu ($\Omega \cdot m$)

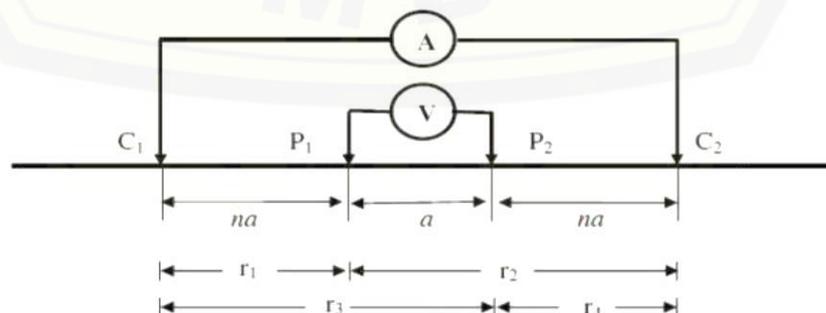
K = Faktor geometri(m)

ΔV = Selisih beda potensial (volt)

I = Kuat arus (A) (Telford *et al.*, 1990).

2.8 Konfigurasi Wenner - Schlumberger

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan metode gabungan antara konfigurasi *Wenner* dan *Schlumberger*. Konfigurasi *Wenner* dan konfigurasi *Schlumberger* dapat digunakan pada sistem konfigurasi yang menggunakan aturan spasi yang konstan. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* adalah konfigurasi dengan aturan jarak spasi yang tetap dengan faktor n untuk konfigurasi *Wenner Schlumberger* dengan perbandingan jarak antara elektroda C_1 - P_2 dengan spasi antara P_1 - P_2 . Berdasarkan pengukuran dengan faktor spasi (n) = 1, konfigurasi *Wenner-Schlumberger* sama dengan pengukuran pada konfigurasi *Wenner* (jarak antar elektroda = a), namun pada pengukuran dengan $n = 2$ dan seterusnya, pengukuran sama dengan konfigurasi *Schlumberger* (jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial lebih besar daripada jarak antar elektroda potensial). (Keller, 1977).



Gambar 2.6 Skema konfigurasi Wenner-Schlumberger (Sumber : Keller, 1977)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang diukur secara langsung di lapangan yang dinyatakan dalam bentuk angka. Data yang diperoleh berupa arus listrik (I), tegangan (V), pH tanah, suhu tanah dan topografi tempat penelitian. Data sekunder yaitu data yang diperoleh untuk mendukung data pengukuran. Data sekunder berupa peta lokasi penelitian dan literatur atau hasil-hasil penelitian sebelumnya.

3.2 Definisi Operasional dan Variabel Pengukuran

Variabel-variabel yang diamati dan diukur dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

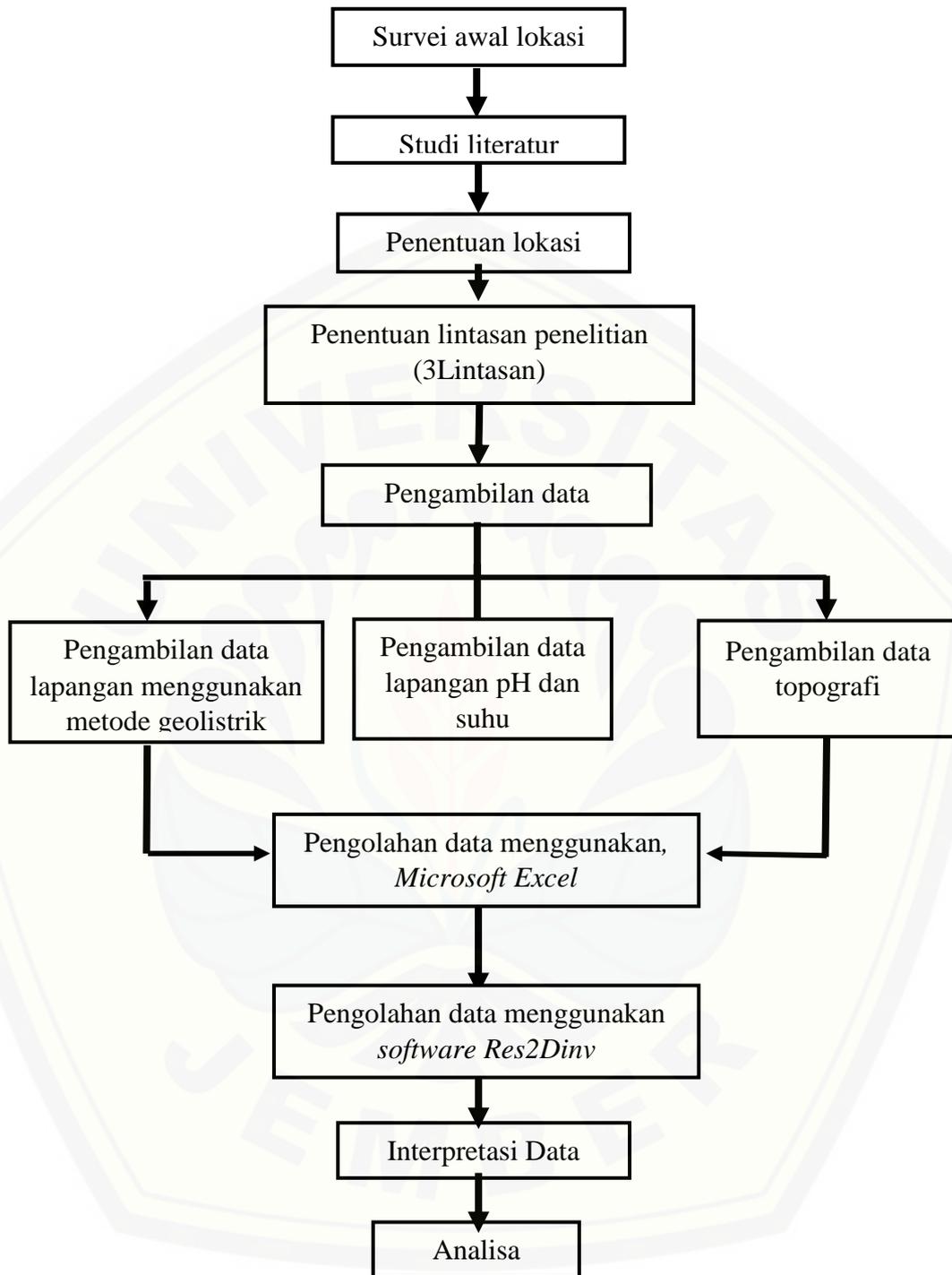
1. Panjang lintasan untuk lintasan yang diukur nilai potensialnya dengan panjang masing-masing lintasan 120m sebanyak 3 lintasan.
2. Spasi atau jarak elektroda pada lintasan adalah 6 m.
3. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.
4. Koordinat titik data dan elevasi yang ditunjukkan oleh pengukuran GPS.
5. Beda potensial (V) yang terukur pada *resistivity meter*.
6. Arus (I) yang terukur pada *resistivity meter*
7. pH mata air panas
8. suhu mata air panas

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode geolistrik dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Penelitian ini terdapat beberapa tahap dan langkah kerja yang

dilakukan pada saat pengambilan data. Berikut adalah langkah-langkah kerja yang dijelaskan menggunakan diagram penelitian pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram kerja penelitian

3.4 Pengolahan Data

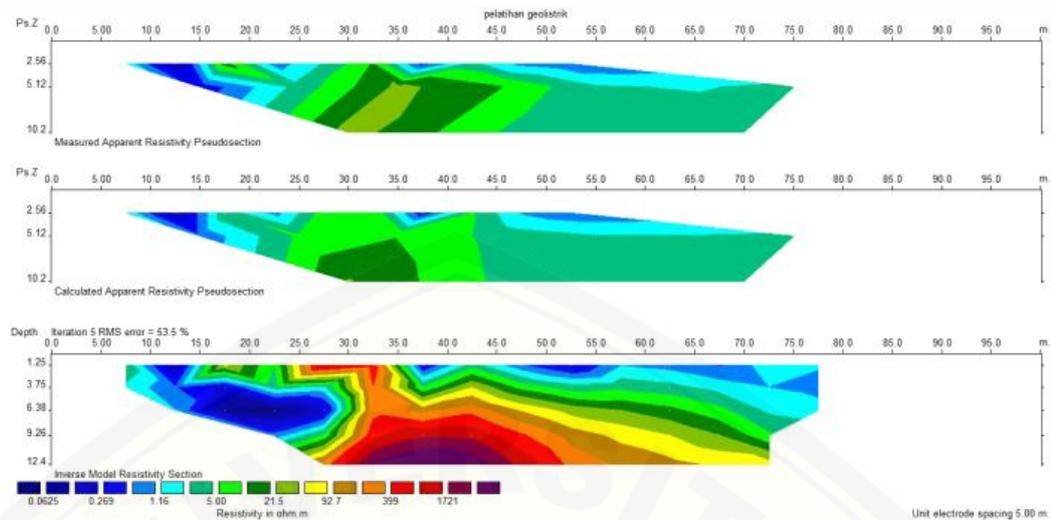
3.4.1. Pengukuran Resistivitas

Pengukuran resistivitas dimulai dengan mencari titik koordinat lokasi penelitian dengan menggunakan GPS. Data yang didapatkan pada penelitian berupa data primer. Data primer merupakan hasil akuisisi pada alat resistivity meter berupa nilai arus dan nilai tegangan. Nilai resistivitas semu diperoleh dari masing-masing nilai arus dan tegangan dikalikan faktor geometri. Rumus yang digunakan pada persamaan 2.19 dan 2.20. Nilai faktor geometri dan nilai resistivitas semu yang didapatkan diinput ke dalam *Microsoft Excel*, kemudian diolah dengan menggunakan *software Res2Dinv* dan *software Voxler*.

3.4.2 Pengolahan Menggunakan *Software Res2Dinv*.

Pengolahan data menggunakan *software Res2Dinv* dengan langkah-langkah yang digunakan menurut Nurfalaq (2013) yaitu:

1. Data penelitian berupa nilai beda potensial, kuat arus, spasi elektroda, n dan nilai resistivitas semu yang terdapat pada *Microsoft Excel* dipindah ke dalam *notepad* dengan format data menyesuaikan format penyimpanan data pada *software Res2Dinv*.
2. Data yang telah disimpan pada *notepad* dalam tipe file*.dat yang diolah menggunakan *software Res2Dinv* dengan melakukan menu *read data file*.
3. Data di-*inversion* dan *least square inversion* menghasilkan pemodelan lintasan 2D seperti Gambar 3.6



Gambar 3.6 Pemodelan lintasan 2D pada *software Res2Dinv*
Sumber : Nurfalaq (2013)

4. Data yang dihasilkan *software Res2Dinv* memiliki nilai error yang disebut RMSE (*Root Mean Square Error*). Nilai RMSE menunjukkan nilai perbedaan antara resistivitas hasil *software Res2Dinv* (*measured apparent resistivity*) dengan nilai resistivitas hasil pengukuran (*calculated apparent resistivity*) yang akan diproses *editing*. Proses *editing* seperti Gambar 2.11.
5. Menyimpan data yang telah dieliminasi sehingga data yang dihasilkan seperti Gambar 3.6 yang kemudian dianalisa nilai resistivitasnya untuk menentukan jenis batuan di daerah penelitian dan pola aliran mata air panas.

3.5 Teknik Penyajian Data

Data yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah resistivitas struktur bawah permukaan bawah tanah yang ditampilkan dengan citra resistivitas menggunakan *software Res2Dinv* berupa penampang horizontal sebagai panjang lintasan dan vertikal sebagai kedalaman. Nilai resistivitas batuan pada gambar hasil pengolahan *software Res2Dinv* ditunjukkan dengan warna bermacam-macam dengan nilai yang berbeda. Dengan memasukkan data topografi, maka penampang horizontal pada citra resistivitas akan mengikuti topografi riil pada titik-titik pengukuran. Data suhu dan pH air panas disajikan secara terpisah untuk memberi tambahan informasi tentang manifestasi berupa mata air panas.

3.6 Interpretasi dan Analisa Data

Interpretasi data yang digunakan yaitu interpretasi secara kuantitatif. Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui permodelan yang telah ditunjukkan gambar dari hasil data pengukuran lapangan, disesuaikan dengan tabel resistivitas batuan. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menggunakan *Software Res2Dinv* yang sebelumnya telah diolah ke dalam *Software Microsoft Excel* untuk mempermudah melakukan perhitungan mendapatkan nilai resistivitas semu. Hasil perhitungan resistivitas semu dan elevasi yang telah didapat dari pengukuran dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dimasukkan ke *software Res2Dinv* sesuai prosedur dalam *software* tersebut. Suhu dan pH air panas yang telah diukur digunakan dalam pengklasifikasian manifestasi panas bumi pada daerah yang diteliti. Berdasarkan data-data tersebut dapat diklasifikasi batuan yang terdapat dalam bawah permukaan mata air panas, sifat-sifat batuan dan letak batuan serta lapisan tanah pendukung yang berkaitan dengan pola aliran mata air panas.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang didapatkan berupa citra resistivitas 2D di mata air panas Kalisengon Desa Blawan Kecamatan Sempol yang dapat menunjukkan struktur bawah permukaan mata air panas Kalisengon, yaitu :

Pada lintasan 1 terdiri dari lapisan air tanah dengan nilai resistivitas (0,26-2,56) Ωm , lapisan batuan tufa rentang resistivitas (2,66-24,6) Ωm , lapisan batuan breksi bernilai resistivitas (24,6-76,6) Ωm , lapisan batuan andesit (236-739) Ωm dan diduga terdapat sistem *hidrothermal* yang terletak pada titik ke (4,5-63) m, (69-87) m, dan (93-117) m dengan kedalaman (1,5-19,1) m. Lintasan 2 memiliki lapisan air tanah nilai resistivitas (0,46-4,30) Ωm , lapisan tufa rentang resistivitas (13,1-39,8) Ωm , lapisan batuan breksi dan andesit bernilai resistivitas (121-368) Ωm , lapisan batuan basalt (368-1120) Ωm dan diduga terdapat sistem *hidrothermal* yang terletak pada kedalaman (4,5-14,9) m pada titik (39-57) m dan (63-120) m. Lintasan 3 tersusun dari lapisan air tanah dengan nilai resistivitas (0,13-1,55) Ωm , lapisan batuan tufa dengan rentang resistivitas (5,37-64,2) Ωm , lapisan batuan breksi bernilai resistivitas (222-767) Ωm dan diduga terdapat patahan pada titik lintasan ke (51-63) m.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., S. Maryanto, dan A. Rachmansyah. 2013. Identifikasi Reservoir Daerah Panas Bumi Dengan Metode Geomagnetik Daerah Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso. *Neutrino*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Agustomo I., 2013. Identifikasi sistem panas bumi dengan menggunakan metode AMT dan MT di daerah Simisuh, Pasaman, Sumatra Barat. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Anjarwati, L., N.Susanti., Samsidar, dan L.Handayani. 2017. Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* Untuk Identifikasi Panas Bumi Daerah *Outflow* di Sungai Medang Kerinci. *Neutrin*. Mendalo Barat: Universitas Jambi.
- ASTER. 2011. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. [Diakses pada 15 Maret 2018].
- Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. The Hague : Government Printing Office.
- Bergen, M. J., A. Bernad, S. Sumarti, T. Sriwana, dan K. Sitorus. 2000. *Crater Lakes Of Java: Dieng, Kelud, And Ijen*. Bali: Excursion GuidebookIAVCEI.
- Broto, S. dan, Putranto, T.T., 2011. Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas Bumi, *Teknik* Vol.32 No.1 ISSN: 0852-1697.
- Challoner, J. 2000. *Jendela Iptek Seri 5: Energi*. Jakarta: PT Balai Pustaka.
- Dahlin T dan Bing Z. 2006. *Multiplegradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. Near Surface Geophysics*. European Association of Geoscientists &Engineers (EAGE).
- Das, B. M. 2002. *Principles of Geotechnical Engineering edisikelima*. USA: Brooks/Cole
- Dewi, C.N., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2015. Sistem Panas bumi Daerah Blawan, Jawa Timur Berdasarkan Survei Magnetotelurik. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 25 (2) : 111-119.

B. Lampiran Dokumentasi Penelitian



Gambar B.1 Survei lokasi penelitian mata air panas Blawan-Ijen



Gambar C.2 Survei lokasi penelitian mata air panas Blawan-Ijen



Gambar C. 3 Persiapan pengambilan data di hari pertama penelitian di mata air panas Blawan-Ijen



(a)

Gambar B.4 (b) Rembesan air panas bagian bawah pada kolam mata air panas Kalisengon Blawan-Ijen



Gambar C.7 Pengambilan data di lintasan 3