



**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH MATA AIR PANAS MENGGUNAKAN METODE
GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER
DI DESA BLAWAN-IJEN**

SKRIPSI

Oleh
FAISHAL SAPUTRA
NIM 141810201018

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH MATA AIR PANAS MENGGUNAKAN METODE
GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER
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

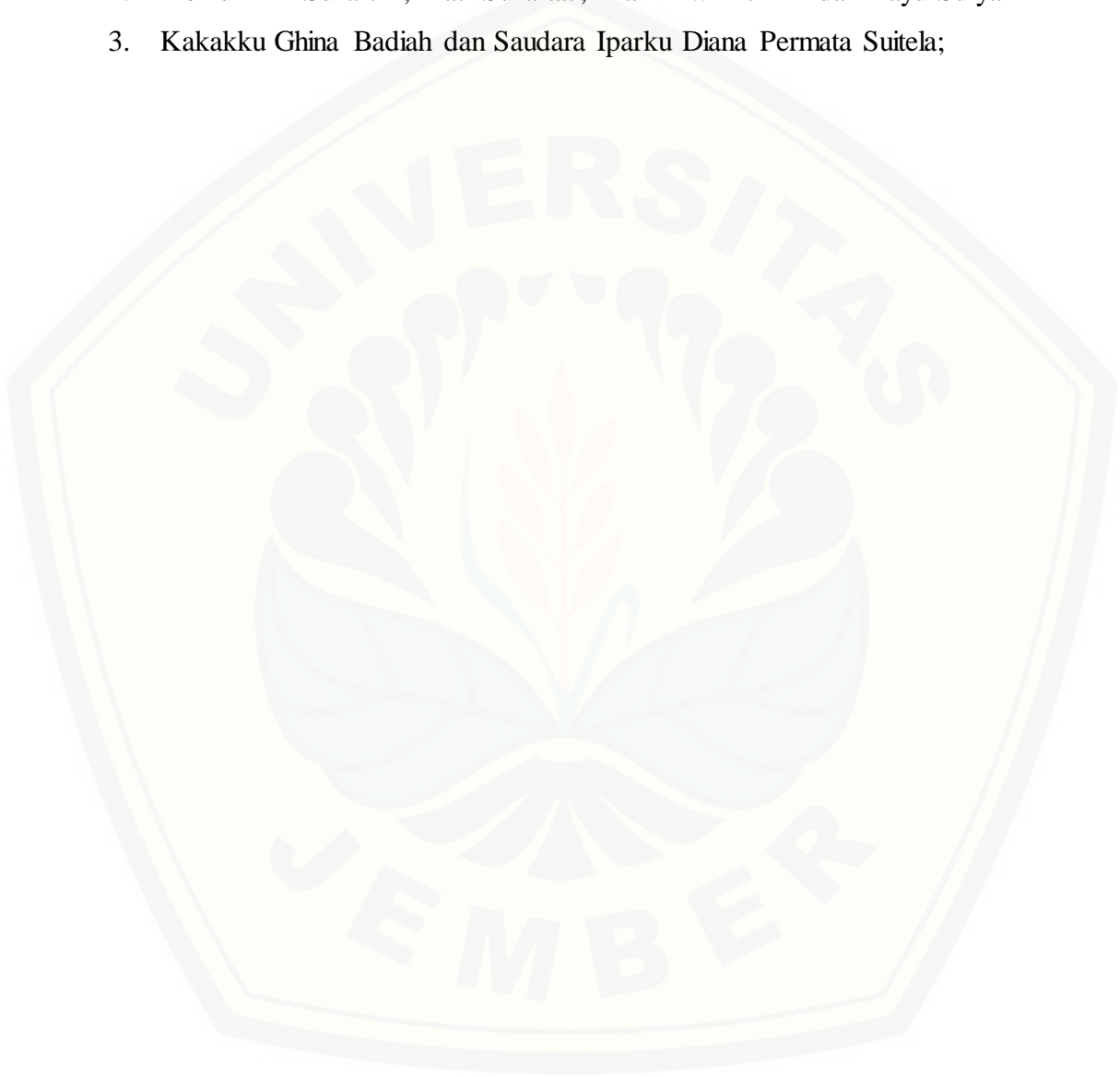
Oleh
Faishal Saputra
NIM 141810201018

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayah Adzhar dan Ibu Sunarti yang tercinta;
2. Bibiku Tini Suhartini, Tati Suhartati, Yani Dwi Atmini dan Yuyu Suryani
3. Kakakku Ghina Badiah dan Saudara Iparku Diana Permata Suitela;



MOTO

“Sesungguhnya keadaan-Nya apabila Dia menghendaki sesuatu hanyalah berkata kepadanya; ”Jadilah!” maka terjadilah ia”
(terjemahan QS. Ya Sin: 82)*

“Jika kau tak suka sesuatu, ubahlah!
Jika tak bisa, maka ubahlah cara pandangmu tentangnya”
(Maya Angelou)

*) Dahlan H. *et al.* 2007. *Buku Yasin dan Tahlil (Terjemahan QS. Ya Sin: 82)*. Bandung: Diponegoro.

*) Angelou M. 2019. *Motto Hidup Singkat tapi bermakna*. <https://www.kepogaul.com/inspirasi/motto-hidup-singkat-tapi-bermakna/>.

Diakses pada tanggal 1 Juli 2019.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Faishal Saputra

NIM : 141810201018

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Mata Air Panas Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner di Desa Blawan-Ijen” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi 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,

Faishal Saputra

NIM 141810201018

SKRIPSI

**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH MATA AIR PANAS MENGGUNAKAN METODE
GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER
DI DESA BLAWAN-IJEN**

Oleh
Faishal Saputra
NIM 141810201018

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 Resistivitas Konfigurasi *Wenner* 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.,
NIP198204242006041003

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.,
NIP 197003271997022001

Anggota II,

Anggota III,

Bowo Eko Cahyono, S.Si. M.Si., PhD.
NIP 197202101998021001

Ir. Misto M.Si.,
NIP 195911211991031002

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.,
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Mata Air Panas Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner di Desa Blawan-Ijen; Faishal Saputra, 141810201018; 2019: 52 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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.

Pendeteksian karakteristik mata air panas dapat dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas yang dapat menggambarkan lapisan keadaan bawah permukaan bumi berdasarkan variasi resistivitas jenis batuan dengan memanfaatkan dua elektroda arus dan dua elektoda potensial. Metode geolistrik resistivitas memiliki banyak konfigurasi, salah satunya konfigurasi *Wenner*. Beberapa penelititelah melakukan penelitian dan membuktikan bahwa metode geolistrik dapat digunakan di daerah mata air panas dan dengan menggunakan *software Voxler* akan diperoleh visualisasi 3D digunakan untuk mengetahui bentuk lapisan batuan di bawah permukaan.

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*. Lintasan pada penelitian ini memiliki panjang 76 m, spasi elektroda 2 m dan variasi n dari 1-6 dengan data yang dihasilkan diolah dengan *software Res2Dinv dan Voxler*. Pada *software Res2Dinv* data hasil diolah dengan cara inversi dan iterasi sehingga

menghasilkan citra 2D dan dilanjutkan dengan *software Voxler* dengan menggunakan *bounding box*, *gridder*, *axes* dan *isosurface* akan menghasilkan visualisasi 3D lapisan batuan mata air panas Kalisengon Blawan-ijen.

Hasil penelitian ini menghasilkan citra resistivitas 2D pada lintasan 1, 2, 3 dan visualisasi 3D dari ketiga lintasan tersebut. Citra resistivitas 2D pada lintasan 1 menunjukkan adanya lapisan batuan pasir, air tanah dan lempung yang nilai resistivitas (0,708-5,05) Ωm , batuan tufa nilai resistivitas (13,5-36,0) Ωm , batuan breksi nilai resistivitas (36,0-257) Ωm dan lapisan batuan basalt bernilai resistivitas (257-685) Ωm serta diduga terdapat patahan pada panjang lintasan ke (40-46) m. Citra resistivitas 2D pada lintasan 2 terlihat adanya lapisan lempung, air tanah dan pasir dengan nilai resistivitas (0,429-3,21) Ωm , lapisan batuan tufa bernilai (8,76-66,5) Ωm , lapisan batuan breksi bernilai resistivitas (66,5-179) Ωm , lapisan batuan basalt bernilai resistivitas (179-685) Ωm . Citra resistivitas 2D pada lintasan 3 terdiri dari lapisan pasir, air tanah dan lempung bernilai resistivitas (1,36-8,4) Ωm , batuan tufa bernilai resistivitas (8,4-52,4) Ωm , lapisan batuan breksi dengan resistivitas sebesar (52,4-327) Ωm , lapisan batuan basalt dengan resistivitas sebesar (327-817) Ωm dan terdapat patahan pada panjang lintasan ke (38-42) 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 Resistivitas Konfigurasi *Wenner* 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 pengarahannya berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada hingga kepada:

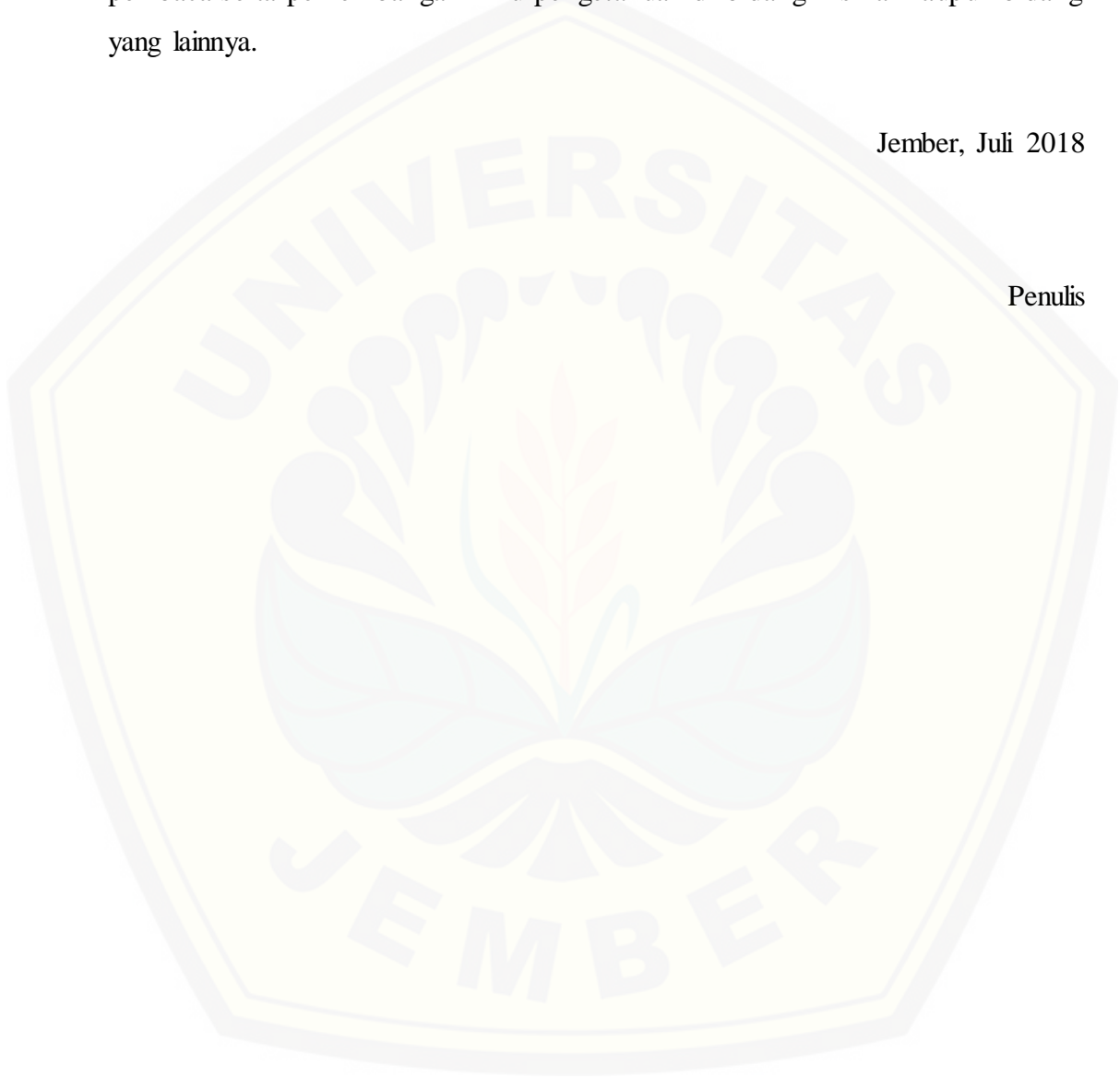
1. Bapak Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ibu Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing dan memberikan arahan maupun nasehat dalam penulisan skripsi ini;
2. Bapak Bowo Eko Cahyono, S.Si. M.Si., Ph.D., selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. Misto M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota yang memberikan masukan, kritik, dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Bapak Dr. Artoto Arkundato 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. Sahabat-sahabatku di bangku kuliah: Gatut Suryo Pradono, M. Saifudin, Janoko, Fatoni, Siti Aisyah Sugiarti, Siti Laily Nur Hasanah, Nur Halifah, Novita Retno Putri yang telah memberikan nasehat dan motivasi.
6. Seluruhteman-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. Seluruh sahabat-sahabatku *Rayon PMII MIPA* yang telah memberi banyak pengalaman baik suka dan duka di masa kuliah;
9. 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 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB. 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gunung Ijen	5
2.1.1 Geologi Pegunungan Ijen	5
2.1.2 Sistem Panas Bumi di Pegunungan Ijen	6
2.2 Panas Bumi (Geothermal)	7
2.2.1 Sistem Panas bumi	7
2.2.2 Manifestasi Panas Bumi	9
2.2.3 Mata Air Panas	10
2.3 Klasifikasi Batuan	12
2.4 Sifat Kelistrikan Batuan.	13
2.5 Metode Geolistrik Resistivitas	15
2.5.1 Medan Potensial pada Medium Homogen	17
2.5.2 Satu Elektroda Arus di Permukaan Bumi	18
2.5.3 Dua Elektroda Arus di Permukaan Bumi	19
2.6 Konsep Resistivitas	21
2.7 Konfigurasi Wenner	22
2.8 Software Res2Dinv	23
2.9 Software Voxler	25
BAB 3. METODE PENELITIAN	27
3.1 Rancangan Penelitian	27
3.1.1 Survei Awal Lokasi	28
3.1.2 Studi Literatur	28
3.1.3 Penentuan Lokasi	28
3.1.4 Penentuan Lintasan	29

3.1.5 Pengambilan Data di Lapangan.....	30
3.1.6 Pengolahan data.....	31
3.1.7 Interpretasi Data.	32
3.1.8 Analisa.....	32
3.2 Jenis dan Sumber Data	32
3.3 Definisi Operasional dan Variabel Pengukuran.....	33
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah.....	33
3.5 Teknik Pengolahan Data.....	34
3.5.1 Pengukuran Resistivitas	34
3.5.2 Pengolahan Menggunakan <i>Software Res2Dinv</i>	34
3.5.3 Pengolahan Data Menggunakan <i>Software Voxler</i>	35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Pengolahan Data Hasil dengan Menggunakan <i>Software Res2Dinv</i> .	39
4.1.1 Citra Resistivitas pada Lintasan 1	39
4.1.2 Citra Resistivitas pada Lintasan 2	41
4.1.3 Citra Resistivitas pada Lintasan 3	43
4.2 Pengolahan Data Hasil dengan Menggunakan <i>Software Voxler</i>	44
BAB 5. PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Daerah Blawan	6
2.2 Sistem panas bumi di Blawan-Ijen	7
2.3 Sistem panas bumi	9
2.4 Manifestasi panas bumi berbentuk kolam air panas	10
2.5 Titik sumber arus pada permukaan media yang homogen	19
2.6 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial, ketika permukaan media yang homogen isotropis dengan resistivitas	20
2.7 Garis kerja equipotential akibat dua sumber di permukaan bumi dengan polaritas berlawanan	21
2.8 Konsep resistivitas semu pada medium berlapis.....	22
2.9 Susunan elektroda pada konfigurasi <i>Wenner</i>	22
2.10 Model pengukuran 2D dengan konfigurasi <i>Wenner</i>	23
2.11 <i>Bad datum point</i>	25
2.12 Visualisasi 3D hasil inversi <i>Software Voxler</i>	26
2.13 Visualisasi 3D dengan isosurface hasil inversi <i>Software Voxler</i>	26
3.1 Diagram kerja penelitian	27
3.2 Peta lokasi kebun PTPN XII (Sumber: Google Earth, 2018).....	28
3.3 Desain lintasan penelitian di mata air panas Kalisengon	29
3.4 Mata air panas Kalisengon	30
3.5 Kerangka pemecahan masalah	33
3.6 Pemodelan lintasan 2D pada <i>software Res2Dinv</i>	35
3.7 Contoh struktur permukaan 3D hasil <i>Voxler</i>	36
3.8 Contoh tampilan sebaran batuan setelah dilakukan <i>maximum intensity</i>	37
3.9 Contoh tampilan sebaran batuan setelah dilakukan <i>Sum Intensity</i>	37
4.1 Citra 2D penampang resistivitas lintasan 1	40
4.2 Citra 2D penampang resistivitas lintasan 2	41
4.3 Citra 2D penampang resistivitas lintasan 3	44

4.4 Visualisasi 3D lapisan pembawa air panas Kalisengon Blawan-Ijen dengan menggunakan *Software Voxler*..... 46



BAB. 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan daerah vulkanik yang mempunyai potensi panas bumi 29 GWe. Potensi energi panas bumi yang dimiliki Indonesia merupakan yang terbesar di dunia. Salah satu daerah yang diprediksi terdapat potensi panas bumi di Indonesia adalah Blawan, Bondowoso yang terletak di Kompleks Gunung Ijen, Jawa Timur. Gunungapi Ijen merupakan salah satu gunung api kuarter yang memiliki aktivitas sedang sampai tinggi dan banyak solfatara dengan suhu mencapai 200°C. Gunung api ini terkenal dengan adanya endapan belerang yang tebal di bibir kawahnya (Raehanayati *et al.*, 2013). Sistem panas bumi Blawan-Ijen dikontrol oleh kaldera tua Kendeng dan patahan (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017).

Panas bumi merupakan sebuah sumber energi panas yang terdapat dan terbentuk pada kerak bumi. Sistem panas bumi terjadi secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan. Sistem panas bumi mempunyai empat komponen utama, yaitu: sumber panas (*heat source*), fluida, reservoir panas bumi dan batuan penutup (*cap rock*). Panas bumi berkaitan dengan adanya manifestasi panas bumi di permukaan yang diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (Saptadji, 2002).

Manifestasi panas bumi dapat menghasilkan mata air panas yang dapat dimanfaatkan secara langsung. Mata air panas merupakan mata air yang dihasilkan akibat keluarnya air tanah dari sumber air panas seperti kerak bumi setelah dipanaskan secara geothermal. Sumber air panas terbentuk karena adanya peristiwa *uplift basement rock*. Peristiwa *uplift basement rock* merupakan sirkulasi air tanah mengalami pemanasan akibat adanya perlipatan atau patahan. Patahan pada permukaan akan mengeluarkan air panas karena adanya rongga dalam batuan yang terisi penuh, sehingga terdapat tekanan yang akan mengakibatkan air panas

naik ke permukaan. Batuan dapat meloloskan dan menyimpan air panas karena memiliki porositas dan permeabilitas yang cukup baik yang berpengaruh terhadap fluida hidrothermal disebut batuan reservoir (Nicholson, 1993).

Batuan pada sumber air panas, umumnya merupakan batuan rekah alam. Struktur geologi batuan dapat menunjukkan air panas akan mengalir melalui rekahan-rekahan atau batuan permeabel yang kemudian muncul di permukaan. Keanekaragaman sifat batuan dan intensitas panas menyebabkan sumber air panas berbeda satu dengan lainnya, tidak hanya jenis-jenis manifestasi energi panas tetapi dari kandungan kimia dalam air dan gas. Batuan dapat mengalirkan fluida (uap dan air panas) dan merambatkan panas (konduktivitas dan kapasitas panas batuan) (Basid *et al.*, 2014).

Pendeteksian karakteristik mata air panas dapat dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas yang dapat menggambarkan keadaan bawah permukaan bumi. Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu dari metode geolistrik yang dapat digunakan dalam memetakan resistivitas bawah permukaan bumi. Resistivitas bawah permukaan bumi akan menggambarkan lapisan batuan di bawah permukaan bumi. Batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda (Reynold, 1997).

Metode geolistrik resistivitas memiliki banyak konfigurasi, diantaranya adalah konfigurasi *Wenner*, konfigurasi *Schlumberger*, konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, konfigurasi *dipole-dipole*, konfigurasi *pole-pole* dan *azimuth dipole* (Santoso, 2002). Setiap konfigurasi memiliki karakteristik masing-masing yang mempunyai kelebihan dan kekurangan. Konfigurasi *Wenner* dalam pembacaan tegangan lebih teliti dari pada konfigurasi lainnya (Loke, 2004).

Penelitian mengenai panas bumi pernah dilakukan oleh Darmawangsa (2015) dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan daerah panas bumi di Desa Watu Toa, Kabupaten Soppeng Sulawesi Selatan. Hasil penelitian menunjukkan faktor penyebab adanya panas bumi disebabkan oleh batuan tufa vulkanik. Selain itu, penelitian oleh Sulistyarini dan Irjan (2011) dengan metode geolistrik resistivitas dalam survei potensi hidrothermal dalam studi kasus sumber panas Kasinan

Pesanggrahan Batu menunjukkan air panas muncul ke permukaan karena adanya rekahan batuan di bawah permukaan. Penelitian Darmawangsa (2015) dan Sulistyarin dan Irjan (2011) memberikan kesimpulan metode geolistrik resistivitas bisa digunakan dalam pemetaan struktur bawah permukaan di daerah sumber panas yang berkaitan dengan nilai resistivitas batuan.

Penelitian lainnya yang berhubungan dengan pemetaan struktur bawah permukaan dilakukan oleh Pertiwi (2017) menggunakan metode geolistrik, *software Res2Dinv* dan *Voxler*. Penelitian tersebut menunjukkan gambaran permukaan 2D dan 3D yang mempermudah dan memperjelas struktur lapisan terdiri dari batu gamping, pasir, lempung, zona lemah, akuifer, dan batuan intrusi yang merupakan batuan basal. Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Hurun (2016) dengan menganalisis data geolistrik resistivitas untuk pemodelan struktur geologi bawah permukaan 2D dan 3D gunung lumpur di Bangkalan. Hasil penelitian, menyatakan bahwa pola penyebaran lumpur dengan struktur bawah permukaan berupa batu pasir, lempung dan batu kapur mengandung air asin.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka penelitian dilaksanakan di mata air panas Kalisengon Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso. Penelitian di daerah tersebut sudah diteliti terlebih dahulu oleh Purwandi (2018). Penelitian Purwandi (2018) menunjukkan distribusi nilai potensial, pola fluida, dan nilai kedalaman air panas Kalisengon sebesar (1,34-5,7) m dengan metode *self potensial* dalam pemodelan geometri berbentuk bola di daerah mata air panas. Peneliti berkeinginan untuk melanjutkan penelitian Purwandi (2018) dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas, *software Res2Dinv* dan *Voxler*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengetahui persebaran batuan yang berasosiasi dengan pola aliran mata air panas sehingga memberikan informasi lebih lengkap terkait daerah aliran mata air panas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, diperoleh rumusan masalah yaitu bagaimana struktur bawah permukaan daerah mata air panas Kalisengon di Desa

Blawan-Ijen menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner* dengan pengolahan data menggunakan *software Res2Dinv* dan *Voxler* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat pada penelitian struktur bawah permukaan daerah mata air panas Kalisengon di Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso menggunakan konfigurasi *Wenner* yaitu lokasi penelitian di Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso yang berada pada ketinggian 936 mdpl dan koordinat $07^{\circ} 59' 234''$ LS dan $114^{\circ} 10' 80.8''$ BT.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan daerah mata air panas Kalisengon di Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner* dengan pengolahan data menggunakan *software Res2Dinv* dan *Voxler*.

1.5 Manfaat

Penelitian ini menghasilkan gambaran struktur bawah permukaan 2D dan visualisasi 3D. Hasil tersebut memberikan informasi mengenai sebaran air panas di daerah sekitar mata air panas Kalisengon Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso. Selain itu dapat dimanfaatkan untuk pengembangan potensi tempat wisata dan referensi untuk penelitian selanjutnya terkait daerah mata air panas Kalisengon di Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

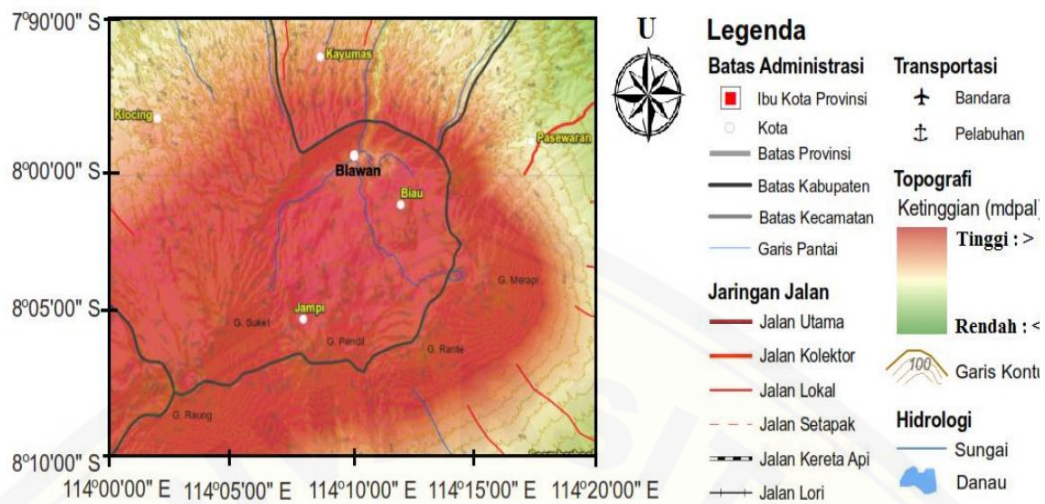
2.1 Gunung Ijen

2.1.1 Geologi Pegunungan Ijen

Pegunungan Ijen merupakan bagian ujung Timur Pulau Jawa mulai dari Selat Bali sampai daerah Bondowoso memiliki luas 500 km². Pegunungan Ijen terdiri dari endapan vulkanik antara lain abu gunung api, lapili dan lelehan lava. Pegunungan Ijen memiliki gunung api yang mempunyai kawah dengan kedalaman sekitar 190 m dan mempunyai derajat keasaman yang sangat tinggi (pH < 0,2) serta volume air kawah yang sangat besar, sekitar 36 juta m³ (Zaennudin *et al.*, 2012).

Pegunungan Ijen mempunyai kaldera yang memiliki luas permukaan sekitar 15-16 km² berbentuk elips dan terdapat dinding kaldera pada bagian Utara yang melengkung ke arah Selatan. Pegunungan Ijen terdapat Gunung Raung, Gunung Kendeng dan Kawah Ijen. Gunung Kendeng yang memiliki ketinggian sekitar 4000 mdpl dan puncaknya hilang karena peristiwa letusan paroksismal. Pegunungan ijen memiliki luas sebesar 62.620 ha dengan status lahan hutan seperti hutan lindung dan hutan produksi tetap (Zaennudin *et al.*, 2012).

Pegunungan Ijen terdapat Danau Blawan. Kondisi Danau Blawan memiliki cekungan kaldera dan terbentuk sebuah danau yang cukup luas dengan diameter lebih dari 5 km. Danau Blawan dekat dengan aliran sungai Banyupahit, Kalisat dan Kalisengon (Sitorus, 1990). Danau Blawan terletak di daerah Blawan yang terletak di dinding kaldera Ijen bagian Utara seperti Gambar 2.1. Pada dinding kaldera Ijen memiliki air terjun Blawan yang memotong dinding kaldera tersebut. Danau Blawan terbentuk karena di daerah Blawan memiliki topografi rendah, pada saat itu menjadi tempat sedimentasi material-material vulkanik membentuk endapan lahar. Endapan lahar yang telah mengalami pendinginan membentuk batu yang tidak dapat ditembus oleh air, sehingga ketika hujan tinggi maka air tidak dapat merembes ke dasar kaldera dan tidak dapat keluar karena terhalang oleh dinding kaldera yang membentuk Danau Blawan (Zaennudin *et al.*, 2012).



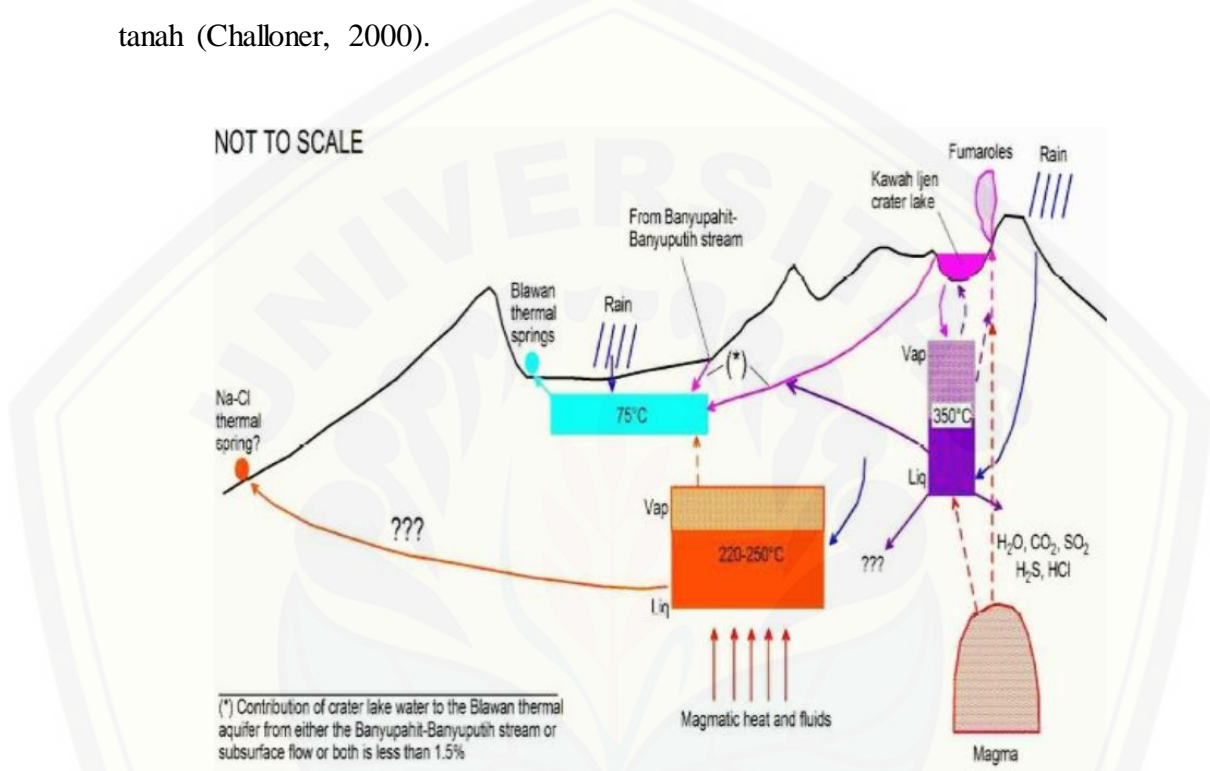
Gambar 2.1 Daerah Blawan (Sumber : Dewi, 2016)

2.1.2 Sistem Panas Bumi di Pegunungan Ijen

Sistem panas bumi Blawan-Ijen dikontrol oleh struktur vulkanik berupa kaldera tua Kendeng, struktur tektonik patahan yang berarah dari Utara-Selatan dan kerucut-kerucut vulkanik dari Barat-Timur. Sistem ini mempunyai zona *up flow* di sekitar Kawah Wurung dan Gunung Geleman dengan *out flow* ke arah Utara. Air panas Blawan-Ijen terdiri 3 jenis, yaitu *steam-heated waters*, *dilutionwaters* ($\text{HCO}_3\text{-SO}_3$) dan *mixed waters* (CL-SO_4). Hidrothermal yang terdapat di Blawan-Ijen mengalir dari Selatan ke Utara. Sistem panas bumi Blawan-Ijen memiliki reservoir yang terletak pada kedalaman (1200-1400) m seperti Gambar 2.2 dan terdapat batuan penyusun seperti batuan piroklastik (dominan tuff) dan lava yang memiliki temperatur sebesar (250-300) °C (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017).

Sistem panas bumi Blawan-Ijen memiliki manifestasi berupa mata air panas (*hotsprings*) yang terletak di Desa Blawan. Kawah ijen memiliki kompleks solfatara. Batuan yang terdapat di area solfatara sudah teralterasi secara intensif dengan didominasi warna putih sampai kuning. Suhu gas solfatara temperaturnya mencapai (200-202) °C dan suhu permukaan di dekat Kawah Ijen mencapai 61 °C (Utama *et al*, 2012).

Sumber air panas merupakan proses pemanasan air dalam tanah secara *geothermal* akibat terbentuknya celah di dalam lapisan batuan bumi. Temperatur yang dihasilkan oleh mata air panas dipengaruhi oleh kedalaman sumber *geothermal*. Gunung berapi yang aktif dapat juga menghasilkan sumber air panas karena adanya aktivitas vulkanik yang mengakibatkan pemanasan air di dalam tanah (Challoner, 2000).



Gambar 2.2 Sistem panas bumi di Blawan-Ijen (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017)

2.2 Panas Bumi (Geothermal)

2.2.1 Sistem Panas bumi

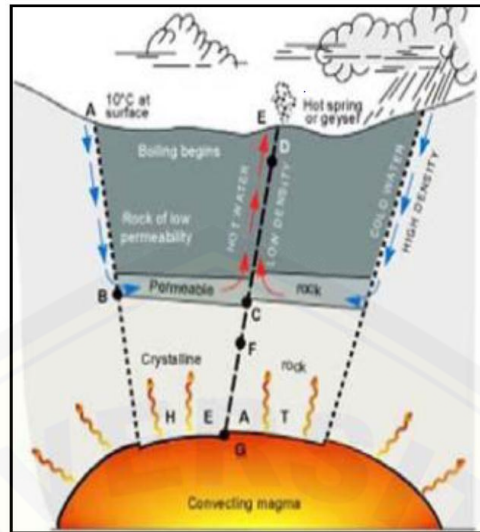
Geothermal secara bahasa terbentuk dari dua kata yaitu *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang artinya panas. *Geothermal* dapat disimpulkan sebagai panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi. Panas bumi dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut mencakup sistem hidrothermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem panas bumi. Kondisi sistem panas bumi

terdapat air yang terpanaskan dan terkumpul sehingga sistem panas bumi mempunyai persyaratan seperti harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang, dan batuan penutup (Sulistyarini dan Irjan, 2011).

Batuan pemanas berfungsi sebagai sumber pemanasan air yang dapat berwujud granit maupun bentuk lainnya. Batuan sarang berfungsi sebagai tempat berkumpulnya air yang telah terpanasi atau uap yang telah terbentuk. Batuan sarang dapat menentukan jumlah cadangan air panas atau uap. Batuan penutup berfungsi sebagai penghalang air panas atau uap, sehingga tidak dapat keluar. Batuan penutup memiliki sifat yang tidak mudah ditembus atau dilalui cairan atau uap (Fitrianty, 2012).

Sistem panas bumi seperti Gambar 2.3, pada umumnya terbentuk dari hasil perpindahan panas dari sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung. Kejadian tersebut seperti gaya gravitasi terhadap air akan selalu bergerak ke bawah, akan tetapi apabila air tersebut bertemu dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan. Sistem panas bumi biasanya terdapat manifestasi panas bumi di permukaan (*geothermal surface manifestation*) (Saptadji, 2009).

Secara umum terdapat 2 jenis sumber panas yaitu *volcagenic* dan *non-volcagenic*. *Volcagenic* merupakan sistem panas bumi yang berasal dari aktivitas magma. Sistem *non-volcagenic* merupakan sistem panas bumi yang dihasilkan dari peristiwa *uplift basement rock*. Peristiwa *uplift basement rock* terjadi karena adanya sirkulasi air tanah yang mengalami pemanasan akibat perlipatan atau patahan, serta adanya panas residual pada batuan beku. Sistem *non-volcagenic* dapat menghasilkan fluida dengan temperatur tinggi maupun rendah (Nicholson, 1993).



Gambar 2.3 Sistem panas bumi (Sumber : Suhartono, 2012)

Nicholson (1993) memberikan contoh lain sistem panas bumi yang tidak berkaitan langsung dengan proses magmatisme yang disebut sistem *geopressed*. Panas yang dihasilkan pada sistem tersebut berasal dari tekanan bebatuan di sekitarnya. Sistem tersebut pada umumnya memiliki suhu yang rendah, sehingga terdapat *connate water* yang terperangkap dalam batuan sedimen dan menghasilkan fluida yang bersifat klorida.

2.2.2 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi di permukaan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan (Lowrie, 1997). Klasifikasi manifestasi panas bumi terbagi menjadi 4 yaitu tanah panas (*warm ground*), tanah beruap (*steaming ground*), kolam air panas dan kolam lumpur panas seperti Gambar 2.4. Tanah panas (*warm ground*) dapat ditunjukkan dengan adanya tanah yang mempunyai temperatur lebih tinggi dari temperatur tanah di sekitarnya. Tanah beruap (*steaming ground*) merupakan jenis manifestasi yang terdapat uap panas keluar dari permukaan tanah. Kolam air panas terbentuk karena aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Kolam lumpur panas terdapat

uap dan gas CO₂ tidak terkondensasi sehingga terdapat cairan lumpur yang menyebabkan gas CO₂ keluar (Saptadji, 2001).



Gambar 2.4 Manifestasi panas bumi berbentuk kolam air panas (Sumber : Saptadji, 2001)

Daerah yang terdapat manifestasi panas bumi di permukaan biasanya merupakan daerah yang pertama kali dicari dan dikunjungi pada tahap eksplorasi karena terdapat sumber air panas. Manifestasi panas bumi terdapat geyser dan daerah alterasi hidrothermal. Geyser adalah sistem air panas yang diakibatkan karena adanya rongga dalam batuan terisi penuh air atau uap, sehingga terdapat tekanan mengakibatkan air panas atau uap terdorong keluar ke udara. Daerah alterasi hidrothermal merupakan daerah dimana antara fluida dan batuan reservoir saling bereaksi mengakibatkan perubahan fasa padat dan cair dan menghasilkan mineral baru. Kelimpahan mineral hidrothermal yang terbentuk selama interaksi fluida dan batuan tergantung pada beberapa faktor khususnya temperatur, komposisi fluida (pH), ketersediaan fluida (permeabilitas) dan adanya pendidihan (Basid *et al*, 2014).

2.2.3 Mata Air Panas

Mata air panas merupakan hasil dari proses terbentuknya air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Sumber daya panas bumi dapat ditunjukkan dengan adanya mata air panas. Mata air panas dapat dibedakan

menjadi 2 berdasarkan temperatur yaitu hangat bila temperatur air $< 50^{\circ}\text{C}$ dan panas digunakan bila temperatur air $> 50^{\circ}\text{C}$. Jenis reservoir di bawah permukaan dapat ditentukan melalui sifat air di permukaan (Saptadji, 2001).

Mata air panas terdapat gradien *geothermal*. Gradien *geothermal* adalah peningkatan temperatur batuan berbanding dengan kedalaman, sehingga semakin dalam letak batuan di dalam perut bumi akan semakin meningkat temperatur batuan. Sumber air hangatumunya terjadi di luar daerah vulkanik yang merupakan campuran dari sumber air panas dan dingin. Perubahan morfologi lereng, proses geomorfologis, jenis batuan, dan struktur geologi mempengaruhi mata air ataupun rembesan dengan debit bervariasi. Pergerakan air tanah di berbagai tempat akan mengakibatkan air tanah keluar ke permukaan bumi (Fitrianty, 2012).

Menurut White dan Hendenquit (1995), mata air panas dapat dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Mata air Juvenile (*juvenile water*), merupakan air yang berasal dari magma (primer) yang kemudian menjadi bagian dari hidrosfer.
2. Mata air magmatik (*magmatic water*), merupakan air yang berasal dari magma yang terdapat sejak magma tersebut bersatu dengan air meteorik atau air yang berasal dari batuan sedimen.
3. Mata air meteorik (*meteoric water*), merupakan air yang sekarang berada di lingkungan atmosfer.
4. Mata air purba (*connate water*), merupakan air yang terpisah dari atmosfer selama waktu geologi yang panjang. Mata air purba yang terdapat dalam cekungan batuan sedimen dan tertutup oleh lapisan tebal batuan di dalam lapisan minyak bumi, pada umumnya merupakan air laut yang telah mengalami perubahan karena proses fisika dan kimia.
5. Mata air metamorfik (*metamorphic water*), merupakan air yang berasal dari mineral yang mengandung air (hidrous mineral), dimana air akan keluar selama proses kristalisasi atau metamorfosa.

2.3 Klasifikasi Batuan

Menurut Soetoto (1981), berdasarkan terbentuknya batuan terdapat 3 jenis yaitu: batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen (*sedimentary rock*) dan batuan malihan (*metamorphic rock*). Batuan beku, batuan sedimen dan batuan malihan memiliki keterkaitan sehingga terdapat jaringan yang disebut siklus batuan (*rock cycle*).

Batuan beku adalah batuan yang terbentuk langsung dari magma yang membeku. Magma merupakan materi cair liat-pijar yang terdiri dari senyawa silikat dan berada di dalam bumi yang disebabkan oleh tekanan dan suhu yang tinggi. Batuan beku terbentuk di luar kulit bumi melalui kegiatan vulkanik disebut batuan vulkanik, sedangkan yang terbentuk di dalam kulit bumi disebut batuan plutonik (Fitrianty, 2012).

Proses pembentukan batuan beku dapat dibedakan menjadi 2 cara, ialah secara intrusif dan ekstrusif. Batuan beku yang terbentuk dari hasil pembekuan cairan magma yang terjadi jauh di bawah permukaan tanah (di dalam tanah) disebut batuan intrusif (batuan plutonik) contohnya granit, diorite dan gabro. Batuan beku yang terbentuk dari hasil pembekuan cairan magma yang terjadi di permukaan tanah disebut batuan beku ekstrusif contohnya lava basalt, andesit dan riolit. Formasi batuan apabila mempunyai banyak rongga, celahan dan rekahan akibat proses pembentukan dan gaya geologi dapat membawa air atau akuifer (Kodoatie, 2012).

Batuan sedimen merupakan material hasil rombakan dari batuan beku, batuan metamorf dan batuan sedimen lain yang dibawa oleh aliran sungai kemudian diendapkan di tempat lain seperti di darat ataupun di laut, contohnya pasir dan batuan lempung. Endapan tersebut terkumpul di suatu tempat dan mengalami proses pepadatan, konsolidasi dan sementasi, sehingga batuan akan mengeras yang kemudian disebut batuan sedimen (Kodoatie, 2012). Menurut Fitrianty (2012), contoh jenis batuan sedimen yaitu :

- a. Breksi, yaitu batuan sedimen dengan ukuran butir lebih besar dari 2 mm dengan bentuk butiran yang bersudut. Breksi terbentuk pada bagian dasar lereng gunung yang mengalami sedimentasi.

- b. Batu pasir, yaitu batuan sedimen dengan ukuran butir antara 2 mm sampai 1/16 mm. Batu pasir terbentuk karena proses segmentasi butiran-butiran dari pasir-pasir yang terbawa oleh sungai, ombak dan angin hingga akhirnya terakumulasi pada suatu tempat.
- c. Batu lempung, yaitu batuan sedimen dengan ukuran butir lebih kecil dari 1/256 mm.

Batuan malihan terbentuk dari batuan yang terkena oleh tekanan atau panas, sehingga membentuk batuan baru. Batuan malihan dibagi menjadi 2 yaitu, batuan malihan regional dan batuan malihan kontak. Batuan malihan regional terbentuk ketika dua lempeng bumi bertumbukan dan membentuk gunung. Batuan malihan kontak terbentuk ketika batuan mengalami kontak (bersentuhan) dengan magma panas. Batuan tersebut akan membentuk batuan baru (Kodoatie, 2012).

Batuan malihan merupakan batuan yang telah mengalami perubahan mineralogik dan struktur oleh metamorfisme. Metamorfisme terjadi fase padat tanpa melalui fase cair. Proses metamorfisme terjadi di dalam atau di luar kerak bumi (Fitrianty, 2012). Batuan resevoir merupakan batuan yang dapat menyimpan dan meloloskan air karena memiliki porositas dan permeabilitas yang cukup baik, dapat berpengaruh terhadap kecepatan sirkulasi fluida. Batuan resevoir juga sangat berpengaruh terhadap komposisi kimia dari fluida hidrothermal karena mengalami reaksi kimiawi. Nicholson (1993) menjelaskan batuan vulkanik, batuan sedimen klasik dan batuan karbonat pada umumnya akan menghasilkan fluida hidrothermal dengan karakter kimia yang dapat dibedakan satu dengan yang lainnya.

2.4 Sifat Kelistrikan Batuan.

Batuan adalah suatu jenis materi yang memiliki sifat-sifat kelistrikan. Lapisan batuan bumi berbeda-beda sehingga memiliki sifat kelistrikan yang bervariasi. Sifat kelistrikan batuan merupakan karakteristik batuan yang dialiri arus listrik. Arus listrik bisa berasal dari alam maupun arus listrik yang sengaja diinjeksikan ke dalamnya (Rahmawati, 2009).

Menurut Telford *et al.*, (1990) batuan dan mineral di dalam permukaan bumi terdapat aliran arus listrik. Aliran arus listrik pada batuan dan mineral dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik dan konduksi secara dielektrik.

a. Konduksi secara elektronik

Konduksi yang arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas. Aliran listrik ini dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik batuan yang dilewati. Batuan mempunyai kemampuan untuk menghantarkan arus listrik (resistivitas), sehingga semakin besar nilai resistivitas suatu batuan akan semakin sulit untuk menghantarkan arus listrik.

b. Konduksi secara elektrolitik

Konduksi batuan yang bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida. Batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, sehingga konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Kandungan air dalam batuan mempengaruhi nilai konduktivitas dan resistivitas. Konduktivitas akan semakin besar bila kandungan air dalam batuan bertambah banyak dan resistivitas akan semakin besar bila kandungan air dalam batuan berkurang.

c. Konduksi secara dielektrik

Konduksi pada batuan memiliki aliran listrik dan mempunyai elektron bebas sedikit. Konduksi secara dielektrik terdapat polarisasi. Polarisasi terjadi adanya pengaruh medan listrik sehingga elektron dalam bahan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti.

Struktur batuan pada arus listrik yang mengalir dapat dibedakan menjadi 3, yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Konduktor merupakan kemampuan suatu batuan yang dapat menghantarkan listrik. Semikonduktor dapat menghantarkan listrik namun arus yang dihantarkan lebih sedikit dari konduktor. Isolator mempunyai karakteristik ikatan ion yang mempunyai elektron valensi tidak bebas bergerak, sehingga dapat menghambat aliran arus listrik. Batuan *metal*, *graphit* dan *sulfide* kecuali *sphalerite*, *cinnabar* dan *stibnite* termasuk

konduktor karena mempunyai banyak elektron bebas. Perbedaan konduktor dengan semikonduktor ketika variasi terhadap suhu. Konduktor konduktivitasnya tinggi ketika suhu sekitar 0 K, Sedangkan semikonduktor sebaliknya. Konduktor dapat dikelompokkan menjadi:

- 1) Konduktor baik dengan resistivitasnya $10^{-2}\Omega\text{m} - 1\Omega\text{m}$.
- 2) Konduktor sedang dengan resistivitasnya $1\Omega\text{m} - 10^7\Omega\text{m}$.
- 3) Isolator dengan resistivitasnya $> 10^7\Omega\text{m}$.

2.5 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu dari metode geolistrik yang mempelajari tentang sifat resistivitas lapisan batuan yang ada di dalam bumi. Metode geolistrik resistivitas menggunakan prinsip aliran arus listrik dengan tegangan yang tinggi ke dalam tanah untuk mengetahui struktur permukaan tanah. Aliran arus listrik dan tegangan pada metode geolistrik resistivitas dihasilkan dari dua buah elektroda yang diinjeksikan arus ke dalam permukaan bumi sehingga hasilnya berupa beda potensial yang terukur oleh elektroda potensial di permukaan bumi. Berdasarkan beda potensial yang terukur dapat ditentukan variasi resistivitas masing-masing lapisan batuan di bawah titik ukur (Reynold, 1997).

Reynold (1997) menyatakan pengambilan data metode geolistrik resistivitas dibedakan menjadi 2, yaitu:

- a. Metode resistivitas *mapping*, yaitu metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan tanah secara horizontal. Teknik *mapping* dilakukan dengan menggunakan konfigurasi elektroda tertentu dengan jarak antar elektroda tetap.
- b. Metode resistivitas *sounding*, yaitu metode resistivitas yang memiliki tujuan mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan tanah secara vertikal.

Metode geolistrik resistivitas telah dikembangkan sejak awal tahun 1900 tetapi dipakai secara luas pada tahun 1970 terutama dalam memproses dan menganalisa data pada komputer. Metode geolistrik adalah salah satu metode yang dapat digunakan dalam dunia eksplorasi khususnya eksplorasi batuan

mineral, eksplorasi air tanah maupun dalam meneliti pencemaran air tanah, merancang pembangunan dam penemuan arkeologi pondasi terpendam (Reynold, 1997).

Metode geolistrik resistivitas berdasarkan sumber arus listrik yang digunakan untuk menginjeksikan arus ke dalam permukaan bumi dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu metode pasif dan aktif. Metode pasif merupakan metode yang menggunakan arus listrik alami yang terjadi di dalam tanah (batuan) yang timbul akibat aktivitas elektrokimia dan elektromekanik dalam materi-materi penyusun batuan. Metode *self potensial* (SP) dan *magneto teluric* (MT) merupakan metode pasif. Metode aktif adalah metode yang menggunakan arus yang diinjeksikan ke dalam permukaan bumi dan efek potensial yang ditimbulkan diukur di permukaan bumi (Prasetyawati, 2004).

Resistivitas adalah parameter yang digunakan dalam metode geolistrik resistivitas untuk menentukan jenis batuan. Resistivitas merupakan perbandingan antara rapat arus dengan kuat medan listrik, bila ada beda potensial atau medan listrik (dalam suatu konduktor). Dalam pengukuran resistivitas, diasumsikan bahwa bumi bersifat *homogen isotropis* sehingga nilai resistivitas yang terukur dianggap nilai resistivitas sebenarnya. Nilai resistivitas yang terukur bukan merupakan nilai resistivitas yang sebenarnya (*true resistivity*) melainkan adalah resistivitas semu (*apparent resistivity*) yang bergantung terhadap spasi elektroda yang digunakan. Nilai-nilai resistivitas dari beberapa jenis batuan dan mineral yang berada di dalam bumi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai resistivitas batuan

Material	Resistivitas (Ωm)
Udara	0
Intrusi Air Laut	0,2 –50
Air Tanah	0,5 –150
Lempung	1 –100
Pasir	1 –1000
Andesit	100 – 200
Tembaga	1 – 1,7
Magnesium	4,2
Lava	100 –5x10 ⁴
Khrom	13,2

Material	Resistivitas (Ωm)
Aluvium	10 – 800
Breksi	75 – 200
Kerikil	100 – 600
Batu Pasir	200 – 8000
Gamping	50 – (1 x 10 ⁴)
Karbon	3000
Batuan Garam	30 – (1 x 10 ¹³)
Kwarsa	4 x 10 ¹⁰ – 2 x 10 ¹⁴
Granite	5 x 10 ³ – 10 ⁶
Basalt	10 ³ – 10 ⁶
Slate	6 x 10 ² – 4 x 10 ⁷
Marble	10 ² – 2,5 x 10 ⁸
Quartzita	10 ² – 2 x 10 ⁸
Sandstone	8 – 4 x 10 ³
Shale	20 – 2 x 10 ³
Limestone	5 – 4 x 10 ²
Tufa vulkanik	20 – 100
Konglomerat	2 x 10 ³ – 2 x 10 ⁴

Sumber: Telford *et al.* (1990)

2.5.1 Medan Potensial pada Medium Homogen

Telford *et al.*, (1990) menyatakan arus listrik mengalir ke dalam bumi melalui elektroda yang akan mengalir ke segala arah dan kontinu karena lapisan bumi bersifat homogen isotropis. Arus yang melalui permukaan $\delta\vec{A}$ adalah $\vec{J} \cdot \delta\vec{A}$ dengan $\delta\vec{A}$ adalah permukaan dan \vec{J} merupakan rapat arus dalam A/m². Berdasarkan Hukum Ohm, hubungan antara rapat arus (\vec{J}) dengan arus listrik (\vec{E}) adalah:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad 2.1$$

Diketahui \vec{E} dalam satuan V/m dan σ merupakan konduktivitas medium dalam satuan m/Ω. Medan listrik \vec{E} dapat disebut gradien potensial,

$$\vec{E} = -\nabla V \quad 2.2$$

Dengan V dalam satuan volt, jika persamaan (2.1) disubstitusikan ke persamaan (2.2) menjadi:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = -\sigma \nabla V \quad 2.3$$

Aliran arus listrik dalam suatu medium memenuhi hukum kontinuitas untuk arus dan prinsip hukum kekekalan muatan yang dituliskan sebagai berikut :

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial q}{\partial t} \quad 2.4$$

Diketahui q merupakan rapat muatan dalam satuan C/m^3 , bila arus yang mengalir stasioner, maka :

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad 2.5$$

Jika persamaan (2.3) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.5) maka diperoleh :

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad 2.6$$

Pada medium yang homogen isotropik, potensialnya konstan dan memenuhi persamaan Laplace :

$$\nabla^2 V = 0 \quad 2.7$$

2.5.2 Satu Elektroda Arus di Permukaan Bumi

Menurut Telford *et al.*, (1990), permukaan yang dialiri arus listrik I yang luasnya seperti setengah bola yaitu $2\pi r^2$ (Gambar 2.5) sehingga :

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\pi r^2 \sigma A \quad 2.8$$

dengan demikian konstanta intergrasi A untuk setengah bola yaitu:

$$A = -\frac{\rho I}{2\pi} \quad 2.9$$

Sehingga diperoleh

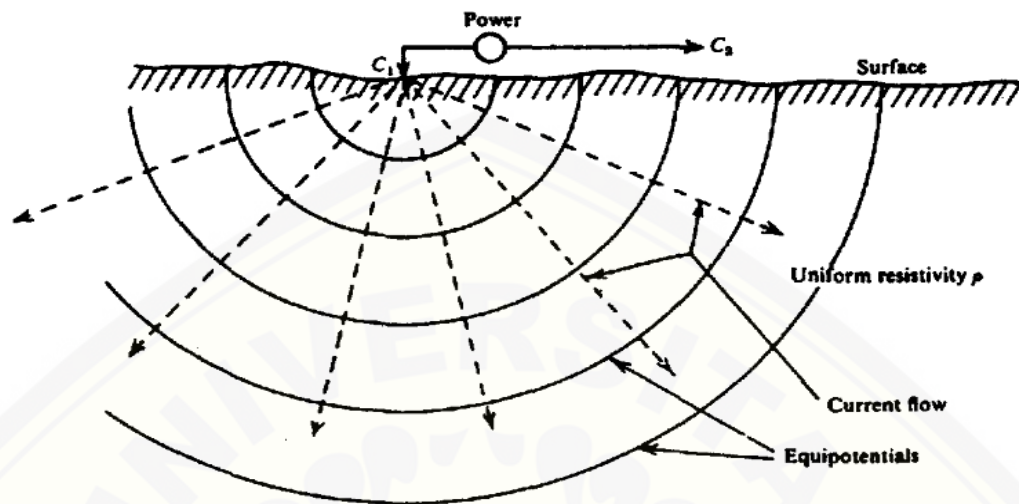
$$V = \left(\frac{\rho I}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad 2.10$$

atau

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad 2.11$$

Elektroda arus C_1 dimisalkan akan diletakkan pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus C_2 yang terletak jauh tak terhingga sehingga pengaruh dapat diabaikan. Aliran arus yang keluar dari titik sumber

membentuk medan potensial dengan kontur *equipotential* berbentuk setengah bola di bawah permukaan.



Gambar 2. 5 Titik sumber arus pada permukaan media yang homogen (Sumber: Telford *et al.*, 1990)

2.5.3 Dua Elektroda Arus di Permukaan Bumi

Apabila terdapat dua buah elektroda arus yang dibuat dengan jarak tertentu dan tidak terlalu besar seperti Gambar 2.6, potensial di setiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut (Reynold,1997).

Persamaan (2.9), potensial pada titik P_1 akibat elektroda arus C_1 adalah:

$$V_{11} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r_1} \quad 2.12$$

Karena arus pada kedua elektroda sama dan berlawanan arah, maka potensial pada titik P_2 akibatnya elektroda arus C_2 dapat ditulis :

$$V_{12} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r_2} \quad 2.13$$

Sehingga potensial total pada titik P_1 oleh C_1 dan C_2 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_{11} + V_{12} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad 2.14$$

Dengan cara yang sama dapat diperoleh potensial pada titik P_2 oleh C_1 dan C_2 adalah:

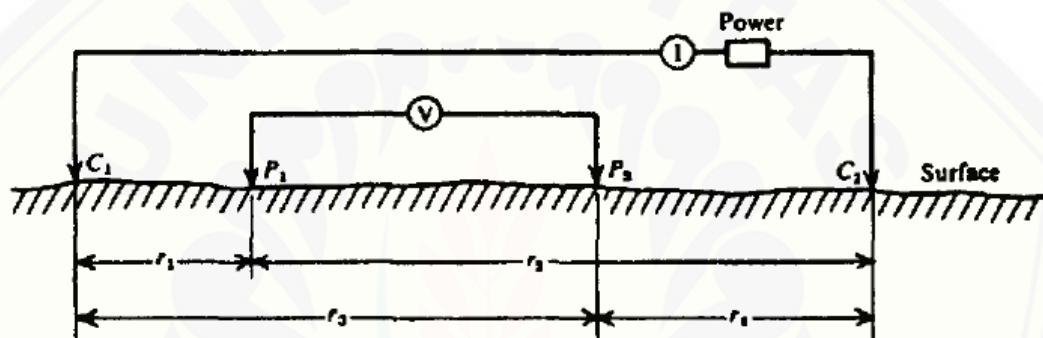
$$V_{21} + V_{22} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad 2.15$$

Sehingga dapat diperoleh perbedaan potensial antara titik P_1 dan P_2 adalah:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad 2.16$$

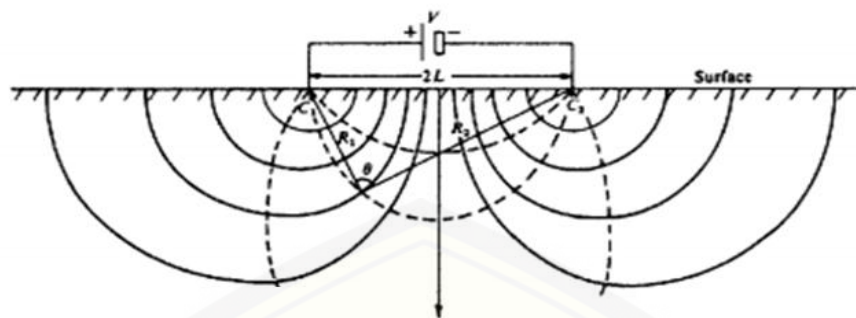
Dengan $K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1}$

Dimana K merupakan faktor geometri dari konfigurasi elektroda potensial dan elektroda arus. Konfigurasi dengan empat elektroda yang sering digunakan dalam penelitian geolistrik resistivitas di lapangan (Telford *et al.*, 1990).



Gambar 2.6 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial, ketika permukaan media yang homogen isotropis dengan resistivitas (Sumber:Telford *et al.*, 1990)

Menurut Telford *et al.*, (1990), susunan elektroda yang digunakan pada metode geolistrik resistivitas seperti pada Gambar 2.6. Jika jarak antara dua elektroda arus tidak terlalu besar, potensial yang ditimbulkan di setiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus. Ekuipotensial yang dihasilkan dari kedua titik sumber akan bersifat lebih kompleks dibandingkan sumber arus tunggal, Namun pada daerah dekat sumber arus mendekati bola. Garis-garis arus *equipotential* akan berubah terhadap perubahan posisi kedua elektroda arus. Semakin bertambahnya jarak elektroda mengakibatkan peningkatan penetrasi kedalamannya. Bila dibuat penampang melalui sumber C_1 dan C_2 maka terlihat pola distribusi perubahan pada garis-garis *equipotential* seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Garis kerja equipotential akibat dua sumber di permukaan bumi dengan polaritas berlawanan (Sumber: Telford *et al.*, 1990)

2.6 Konsep Resistivitas

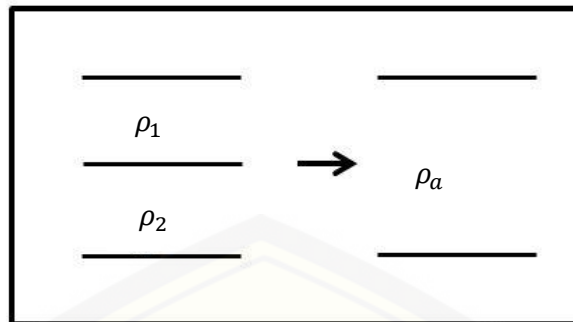
Jika bumi mempunyai sifat homogen isotropis maka resistivitas yang terukur di metode geolistrik resistivitas merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak tergantung oleh spasi elektroda. Namun bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan nilai resistivitas yang berbeda di setiap lapisan yang memiliki sifat heterogen-anisotropik, sehingga nilai resistivitas berbeda-beda dan beda potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut (Reynolds, 1997). Jika lapisan bumi dianggap tidak homogen dapat dijelaskan seperti Gambar 2.8. Nilai resistivitas yang terukur merupakan nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*). Resistivitas semu merupakan resistivitas gabungan dari banyak lapisan batuan di bawah permukaan bumi yang dilalui arus listrik dan bergantung pada jarak elektroda. Resistivitas semu dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\rho_a = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad 2.17$$

Atau

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad 2.18$$

Dimana K merupakan faktor koreksi geometri letak yang bergantung pada jarak relatif elektroda potensial terhadap elektroda arus seperti Gambar 2.6 (Telford *et al.*, 1990).

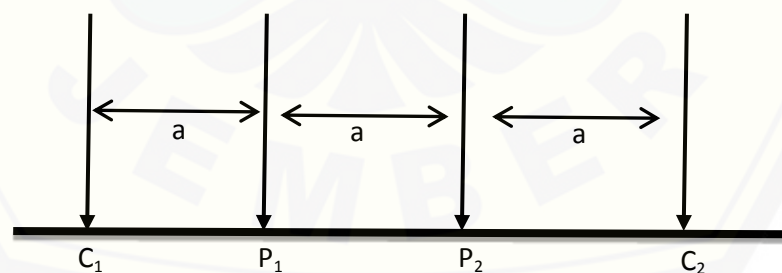


Gambar 2.8 Konsep resistivitas semu pada medium berlapis (Sumber : Paulus, 2012)

Pada Gambar 2.8 dapat diasumsikan, terdapat medium berlapis yang ditinjau memiliki dua lapisan dengan resistivitas yang berbeda yaitu ρ_1 dan ρ_2 . Ketika pengukuran, medium dengan nilai resistivitas berbeda dianggap sebagai satu medium homogen dengan satu nilai resistivitas yaitu resistivitas semu (ρ_a). Nilai resistivitas semu tersebut mempersentasikan secara kualitatif distribusi resistivitas di bawah permukaan (Paulus, 2012).

2.7 Konfigurasi Wenner

Menurut Setyawan *et al* (2010), konfigurasi *Wenner* sering digunakan dalam eksplorasi geolistrik. Susunan jarak elektroda pada konfigurasi *Wenner* yaitu sama panjang seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Susunan elektroda pada konfigurasi *Wenner* (Sumber : Telford *et al.*, 2004)

Pada konfigurasi *Wenner*, penyusunan elektroda arus maupun elektroda potensial diletakkan simetris terhadap titik *sounding*. Jarak elektroda arus adalah tiga kali jarak antar elektroda potensial. Jika jarak masing-masing elektroda potensial terhadap titik *sounding* adalah $a/2$ maka jarak masing-masing elektroda

arus terhadap titik *sounding*-nya adalah $3a/2$. Pada konfigurasi *Wenner* Adanya perlakuan berbeda terhadap elektroda yaitu pembesaran jarak elektroda arus diikuti pula oleh pembesaran jarak elektroda potensial yang seperti Gambar 2.10. Faktor geometri pada konfigurasi *Wenner* dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)\right]} \tag{2.19}$$

$$K = 2\pi a \tag{2.20}$$

Resistivitas semu dalam konfigurasi *Wenner* dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$\rho = 2\pi a R \tag{2.21}$$

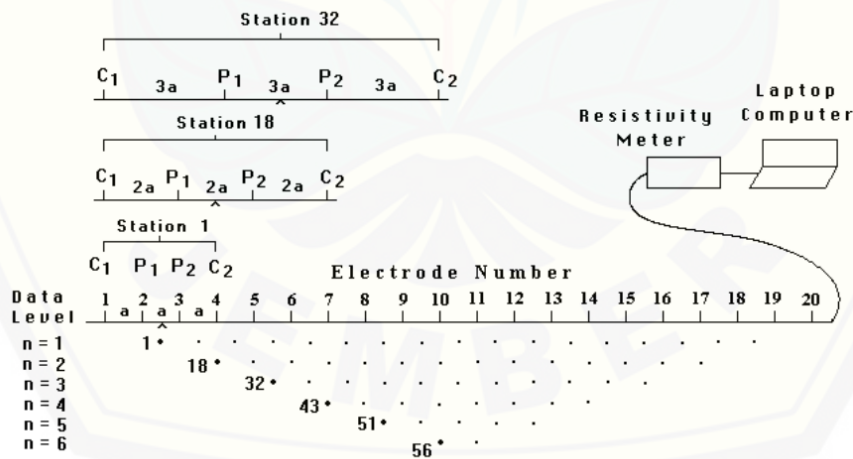
Dimana :

ρ = resistivitas semu (Ωm)

a = jarak spasi elektroda (m)

R = resistansi yang terukur (Ω)

(Loke, 2004)



Gambar 2.10 Model pengukuran 2D dengan konfigurasi *Wenner* (Sumber: Darmawangsa, 2015)

2.8 Software *Res2Dinv*

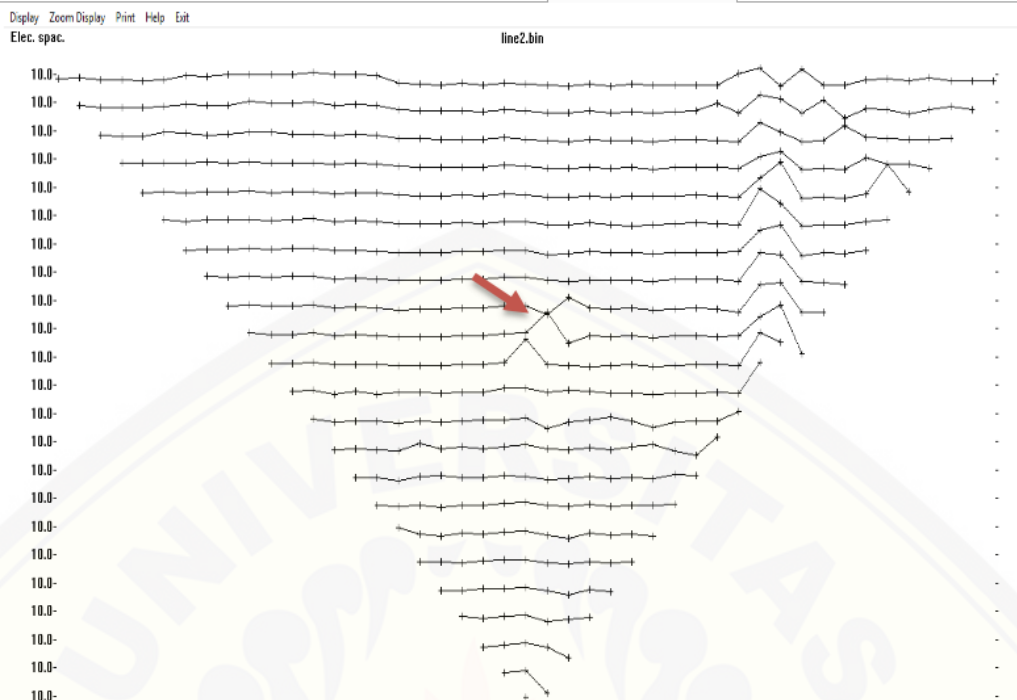
Software Res2Dinv merupakan salah satu perangkat yang dapat menginterpretasikan data dalam berbagai model, seperti model dua dimensi. *Res2dinv* adalah program komputer yang akan menentukan secara otomatis model

resistivitas dua dimensi (2D) untuk memperoleh data atau model bawah permukaan bumi dari pengukuran geolistrik (Wahyono *et al.*, 2010). *Software Res2Dinv* dapat menghasilkan tiga gambar penampang resistivitas yang berbeda, yaitu pada gambar pertama merupakan distribusi resistivitas yang terukur di lapangan, pada gambar kedua menjelaskan distribusi resistivitas berdasarkan nilai resistivitas semu dari hasil perhitungan, dan gambar ketiga menjelaskan distribusi resistivitas setelah dilakukan inversi yang menunjukkan nilai resistivitas sebenarnya.

Loke (2004) menyatakan *software Res2Dinv* menggunakan algoritma *least square* pada saat proses inversi. Algoritma *least square* dalam *software Res2Dinv* terdiri atas dua macam algoritma yaitu :

- a. *Standard smoothness-constrain least square inversion*, digunakan untuk zona dengan batas antar material yang cenderung *gradual* atau tidak memiliki kontak yang tajam.
- b. *Robust constrain least square inversion*, digunakan untuk zona dengan batas kontak antar material yang tajam, misalnya zona patahan atau kontak bantuan *intrusive*-lapisan mineral logam.

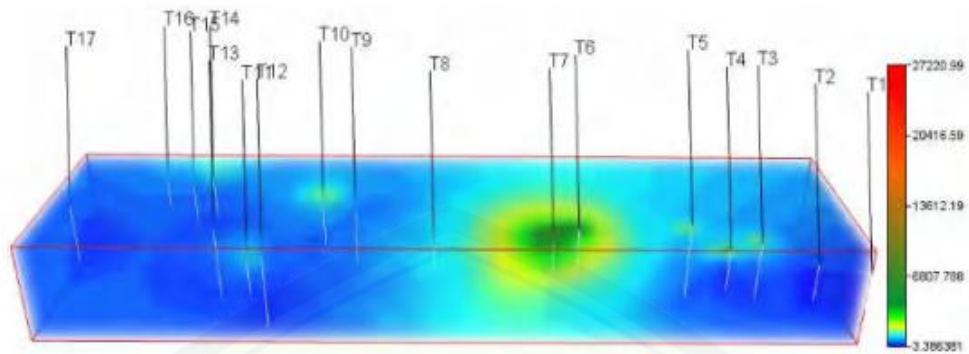
Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi matematis untuk memperoleh hasil yang diinginkan (Loke, 2004). Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai error yang ada seperti Gambar 2.11. Gambar 2.11 dapat menggambarkan data hasil penelitian yang disebut *bad datum point*, namun bila garis ada yang berbeda dengan yang lainnya menunjukkan data tersebut tidak bagus sehingga perlu diproses iterasi. *Software Res2Dinv* juga dapat digunakan untuk survei geolistrik resistivitas dengan beberapa jenis konfigurasi, misal konfigurasi *Wenner*, *pole-pole*, *pole-dipole*, *dipole-dipole*, *Wenner-Schlumberger* dan *square array* (Supriyanto, 2007)



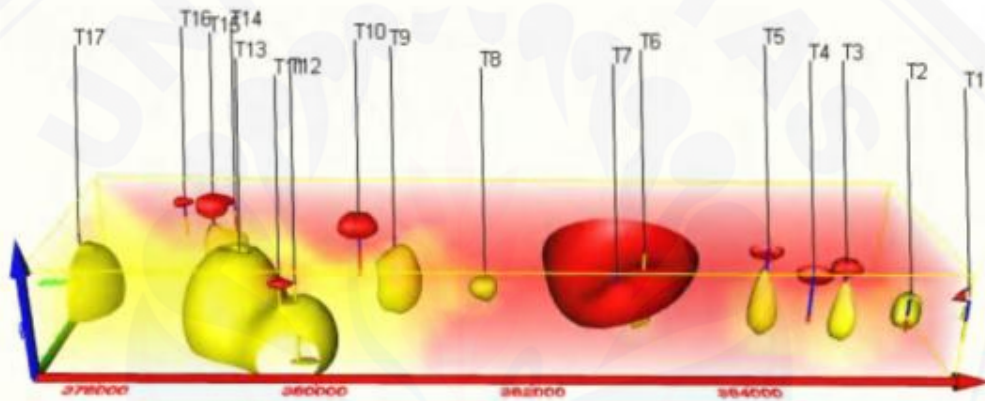
Gambar 2.11 *Bad datum point* (Sumber : Pertiwi, 2017)

2.9 Software Voxler

Software Voxler merupakan program visualisasi ilmiah secara 3D yang menggunakan *Volumetric Rendering* dan menampilkan data secara 3D. *Software Voxler* dapat memanfaatkan kegunaan *grid 2D* seperti file *Digital Elevation Models (DEM)*, imagedan data titik yang tersebar (*scatter point data*). *Software Voxler* dapat juga menampilkan *streamlines*, *vector plots*, *contour maps*, *isosurfaces*, *image slices*, *three-dimensional scatter plots* dan *direct volume rendering*. Data yang terdapat pada *software Voxler* berupa X, Y, Z dan C. Misalkan diterapkan dalam bidang geofisika untuk membuat data model geolistrik sumbu X, Y dan Z adalah koordinat (bujur, lintang dan elevasi/kedalaman) dan C adalah resistivitas (Ωm) dan bila digunakan pada data geomagnet maka variabel C berupa kemagnetan batuan. *Software Voxler* dapat membuat *output* grafis untuk model 3D berupa irisan (*slice*), ditampilkan pada setiap sudut dan bahkan dalam bentuk animasi digerakkan dengan *mouse* secara sederhana dengan warna standar. *Software Voxler* dapat membuat grafik 3D seperti Gambar 2.12 dan bentuk lapisan batuan pada setiap lintasan penelitian seperti Gambar 2.13 (Nurfalaq, 2016).



Gambar 2.12 Visualisasi 3D hasil inversi *Software Voxler* (Sumber: Heriyanto, 2017)

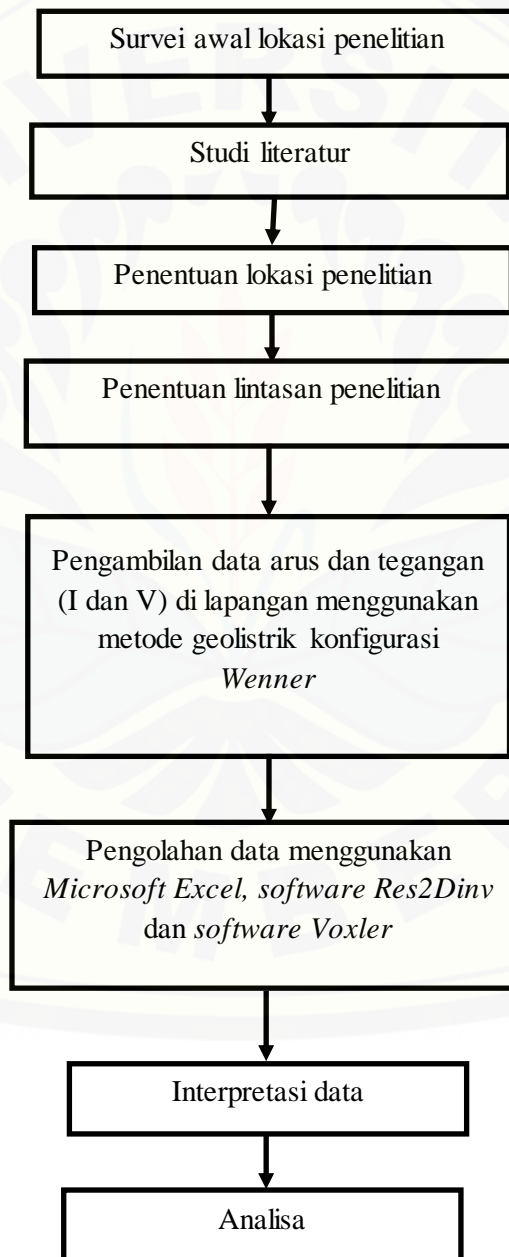


Gambar 2.13 Visualisasi 3D dengan isosurface hasil inversi *Software Voxler* (Sumber: Heriyanto, 2017)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan rencana menyeluruh dari penelitian yang mencakup tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Rancangan penelitian yang digunakan terstruktur seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram kerja penelitian

Diagram kerja penelitian pada Gambar 3.1 dijelaskan secara umum sebagai berikut :

3.1.1 Survei Awal Lokasi

Survei awal lokasi penelitian dilakukan untuk mencari informasi awal mengenai objek penelitian dan kondisi lingkungan sekitar. Pada tahap survei dilakukan penentuan lokasi yang cocok untuk diteliti. Lokasi yang dipilih adalah di kebun PTPN XII yang termasuk ke dalam daerah Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso.



Gambar 3. 2 Peta lokasi kebun PTPN XII (Sumber: Google Earth, 2018)

3.1.2 Studi Literatur

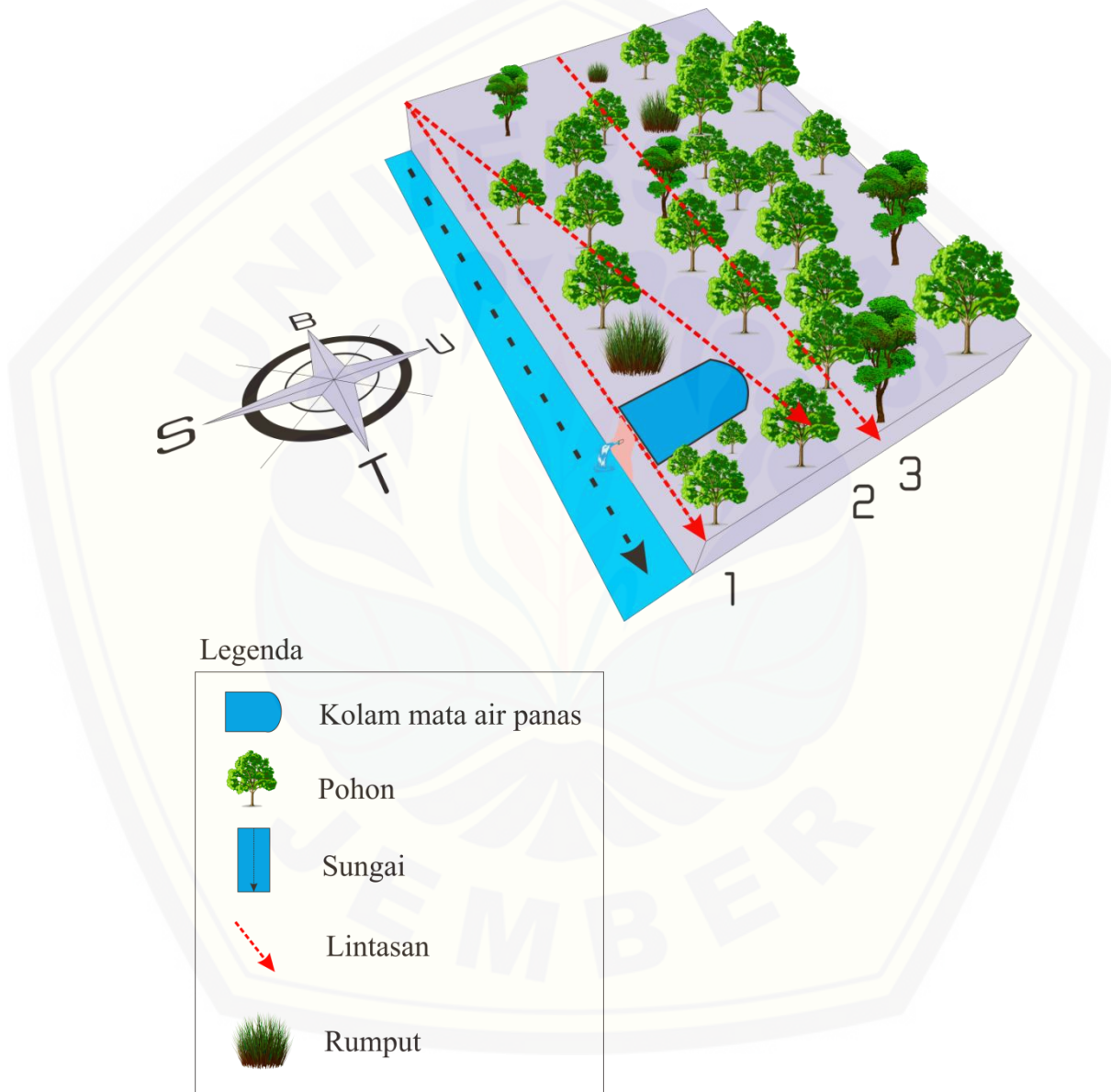
Studi literatur berisi tentang referensi mengenai permasalahan dalam penelitian. Referensi yang dikumpulkan berupa pembentukan sistem panas bumi, mata air panas, sifat-sifat batuan, sistem panas bumi di Blawan-Ijen, sumber air panas dan metode geolistrik konfigurasi *Wenner*. Berdasarkan survei awal dan studi literatur, selanjutnya akan diperoleh permasalahan.

3.1.3 Penentuan Lokasi

Lokasi penelitian berada di sekitar sumber air panas di daerah wisata air panas kebun PTPN XII Desa Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso. Terdapat 21 titik sumber air panas di lokasi ini, namun yang menjadi lokasi penelitian adalah mata air panas Kalisengon berada pada ketinggian 939 mdpl dan koordinat $07^{\circ}59'234''$ LS $114^{\circ}10'80.8''$ BT.

3.1.4 Penentuan Lintasan

Penentuan lintasan dilakukan di sekitar mata air panas Kalisengon yang berada di kebun PTPN XII. Lintasan yang diteliti mempunyai panjang 76 m dengan pengambilan data pada penelitian sebanyak 3 lintasan dengan jarak antara lintasan 1 dengan 3 yaitu 14 m. Jarak antar elektroda yang digunakan sebesar 2



Gambar 3.3 Desain lintasan penelitian di mata air panas Kalisengon



Gambar 3.4 Mata air panas Kalisengen

3.1.5 Pengambilan Data di Lapangan

Pengambilan data di lokasi penelitian dilakukan dengan membuat peta datum. Peta datum merupakan skema penelitian yang dilakukan terdiri dari posisi elektroda, variasi n , posisi datum dan kedalaman penelitian yang didapatkan. Data yang diambil berupa nilai arus dan tegangan berdasarkan jarak spasi dan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner*. Metode geolistrik resistivitas menggunakan empat buah elektroda yaitu C_1 , C_2 , P_1 dan P_2 . Konfigurasi *Wenner* terdapat spasi antara elektroda C_1 - C_2 dan P_1 - P_2 disebut na dengan n yang digunakan dimulai dari 1 sampai 7. Nilai variasi n dapat menentukan jangkauan kedalaman tertentu, semakin besar nilai n yang digunakan kedalaman yang dapat diukur dalam penelitian semakin besar berdasarkan jenis konfigurasi. Pengambilan data menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner* seperti Gambar 2.9.

Berikut adalah alat dan bahan yang akan digunakan untuk melakukan pengukuran di lokasi penelitian:

- a. Resistivity meter (NANIURA-NRD 300 *High Frequency*)

Digunakan sebagai alat pengukur tegangan (V) dan arus (I).

- b. *Accu* (12V)

Digunakan sebagai sumber arus bagi resistivitymeter pada saat proses injeksi.

c. Elektroda (*stainless steel*)

Digunakan sebagai media injeksi arus ke dalam tanah dan membaca tegangan yang ditimbulkannya

d. Kabel

Digunakan sebagai penghubung resistivity meter dengan elektroda dan resistivity meter dengan accu.

e. Meteran

Digunakan sebagai pengukur lahan penelitian dan penanda letak elektroda.

f. Palu

Digunakan sebagai alat bantu pemukul elektroda ketika ditancapkan ke tanah.

g. HT (*Handy Talky*)

Digunakan sebagai alat komunikasi dua arah dengan frekuensi radio.

h. GPS (*Global Positioning System*)

Digunakan sebagai alat untuk mengetahui letak lokasi pengambilan data.

i. Alat tulis dan lembar pengamatan

Digunakan untuk mencatat data hasil pengukuran.

3.1.6 Pengolahan data

Pengolahan data yang dilakukan menggunakan *software microsoft excel*, *Res2Dinv* dan *Voxler*. Data yang didapatkan dari pengukuran di lapangan adalah data topografi berupa elevasi dan titik koordinat yang didapatkan dari GPS, beda potensial (V), arus listrik (I) dan spasi elektroda (a). Data hasil penelitian kemudian digunakan untuk menghitung faktor geometri konfigurasi *Wenner* dan resistivitas semu di *software Microsoft Excel*. Tahap selanjutnya data diolah menggunakan *software Res2Dinv* untuk mendapatkan pemodelan 2D. Tahap terakhir data diolah kembali menggunakan *software Voxler* sehingga didapatkan visualisasi 3D.

3.1.7 Interpretasi Data.

Interpretasi data merupakan interpretasi kualitatif dengan cara pendugaan kasar resistivitas batuan berdasarkan nilai arus dan potensial yang didapatkan pada penelitian. Interpretasi data berupa penampang resistivitas semu yang menggambarkan kontras resistivitas semu secara horizontal dan vertikal pada arah lintasan pengukuran. Interpretasi data ketika diolah dengan *software Res2Dinv* dengan cara *least square* saat inversi yang akan dilanjutkan dengan proses iterasi yang dapat menurunkan nilai error hasil penelitian dan *bad datum point* yang akan menghapus nilai datum yang tidak sesuai dengan yang lainnya. Interpretasi data dengan *software Voxler* dengan menggunakan rentang nilai resistivitas yang digunakan merupakan lapisan batuan berkaitan dengan daerah mata air panas Kalisengon Blawan-Ijen yang kemudian dengan menggunakan *bounding box, gridder, axes, isosurface* yang diatur sehingga dapat menghasilkan visualisasi 3D dan terlihat bentuk lapisan batuan padadaerah mata air panas Kalisengon Blawan-Ijen.

3.1.8 Analisa

Analisa data dilakukan dengan menganalisa hasil pengambilan data di lokasi penelitian yang diolah menjadi citra resistivitas bawah permukaan 2D dan visualisasi 3D. Hasil analisa data dapat dilakukan secara kuantitatif berdasarkan nilai resistivitas batuan yang terdapat pada citra 2D. Nilai resistivitas batuan yang terdapat pada citra tersebut dikaitkan dengan Tabel 2.1 dan hasil dari penelitian sebelumnya mengenai panas bumi dengan menggunakan metode geolistrik, sehingga dapat menunjukkan jenis batuan, sifat-sifat batuan dan letak batuan yang berkaitan dengan lapisan tanah dan mata air panas yang dapat menentukan pola aliran mata air panas.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis data kuantitatif. Jenis data ini dapat digunakan secara langsung pada saat pengambilan data di lapangan yang dinyatakan dalam bentuk bilangan atau angka. Sumber data yang

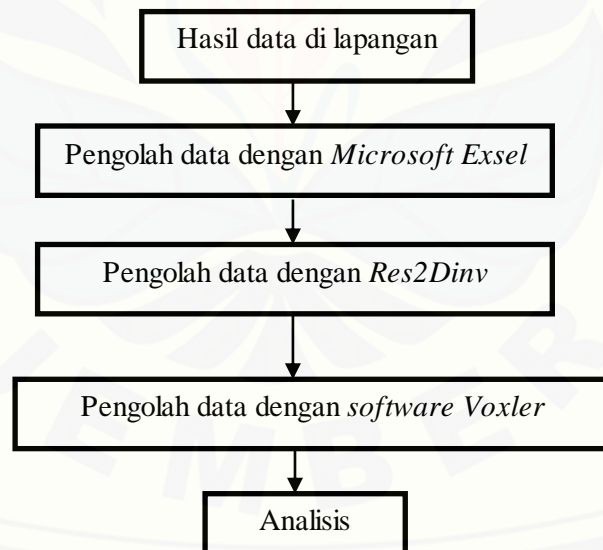
digunakan sebagai data primer. Data yang diperoleh berupa nilai beda potensial, arus listrik, titik koordinat dan elevasi.

3.3 Definisi Operasional dan Variabel Pengukuran

Definisi operasional dan variabel pengukuran merupakan parameter fisika yang telah ditetapkan memiliki pengaruh dalam pengukuran dan memiliki nilai yang berubah-ubah sehingga diperoleh informasi yang kemudian dapat ditarik kesimpulan. Definisi operasional dan variabel pengukuran dalam penelitian ini adalah panjang lintasan, spasi elektroda, titik koordinat, nilai elevasi, jumlah elektroda, potensial (V), arus (I), iterasi, resistivitas semu (Ωm), posisi elektroda dan variasi n berdasarkan konfigurasi *Wenner*.

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah yang dapat digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.5 Kerangka pemecahan masalah

Hasil data di lapangan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner* berupa nilai arus dan tegangan yang kemudian akan digunakan untuk mencari resistivitas semu dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Nilai resistivitas semu akan diolah menggunakan *software Res2Dinv* dan *software Voxler* menghasilkan pemetaan struktur bawah permukaan mata air panas. Hasil

tersebut akan dianalisis berdasarkan Tabel 2.1 dan hasil penelitian sebelumnya mengenai panas bumi sehingga mendapatkan solusi permasalahan penelitian ini.

3.5 Teknik Pengolahan Data

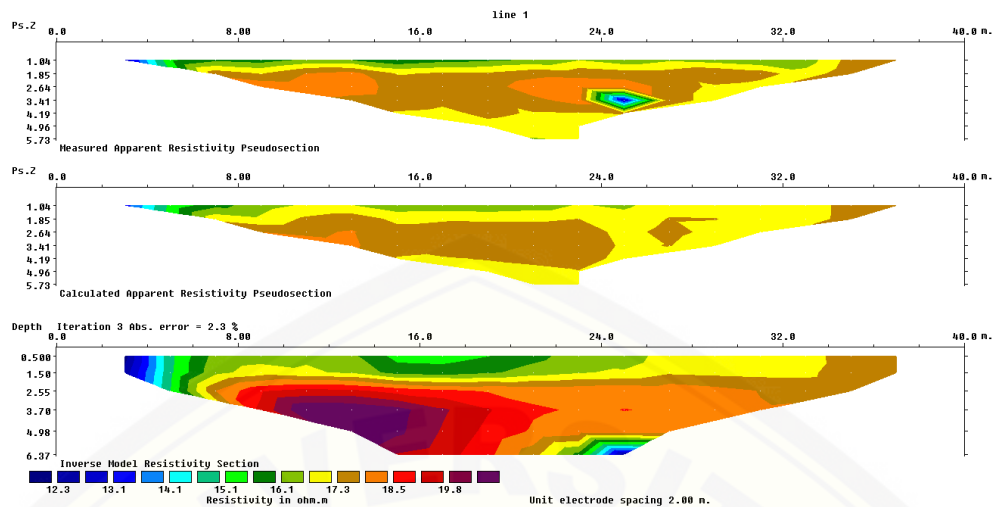
3.5.1 Pengukuran Resistivitas

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 resistivitymeter 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 2.20 dan 2.21. Nilai faktor geometri dan nilai resistivitas semu yang didapatkan diinput ke dalam *Microsoft Excel*, kemudian diolah dengan menggunakan *software Res2Dinv* dan *software Voxler*.

3.5.2 Pengolahan Menggunakan *Software Res2Dinv*.

Pengolahan data menggunakan *software Res2Dinv* dengan langkah-langkah yang digunakan yaitu:

- a. 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*.
- b. Data yang telah disimpan pada *notepad* dalam tipe file*.dat yang diolah menggunakan *software Res2Dinv* dengan melakukan menu *read data file*.
- c. Data di-*inversion* dan *least square inversion* menghasilkan pemodelan lintasan 2D seperti Gambar 3.6



Gambar 3.6 Pemodelan lintasan 2D pada *software Res2Dinv*

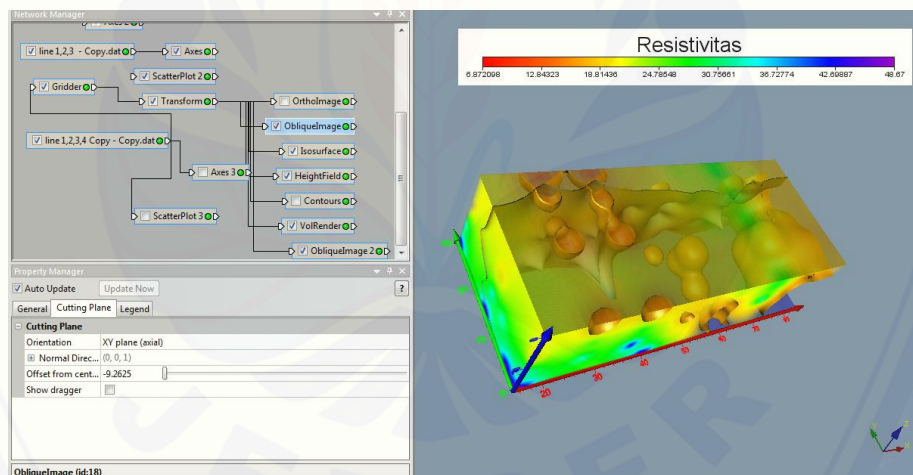
- d. Data yang dihasilkan *software Res2Dinv* memiliki nilai error yang disebut RMSE (*Root Mean Square Error*). Nilai RMSE menunjukkan nilai perbedaan antara resistivitas hasil *software Res2Dinv* (*measured apparent resistivity*) dengan nilai resistivitas hasil pengukuran (*calculated apparent resistivity*) yang akan diproses *editing*. Proses *editing* seperti Gambar 2.11.
- e. 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.

3.5.3 Pengolahan Data Menggunakan *Software Voxler*.

Pengolahan data menggunakan *software Voxler* dapat membuat output grafik yang menunjukkan visualisasi 3D. Visualisasi tersebut dapat berupa irisan (*slice*), ditampilkan pada setiap sudut dan bentuk animasi dengan menggunakan pewarnaan standar yang dapat diterapkan pada data penelitian. Langkah yang digunakan yaitu :

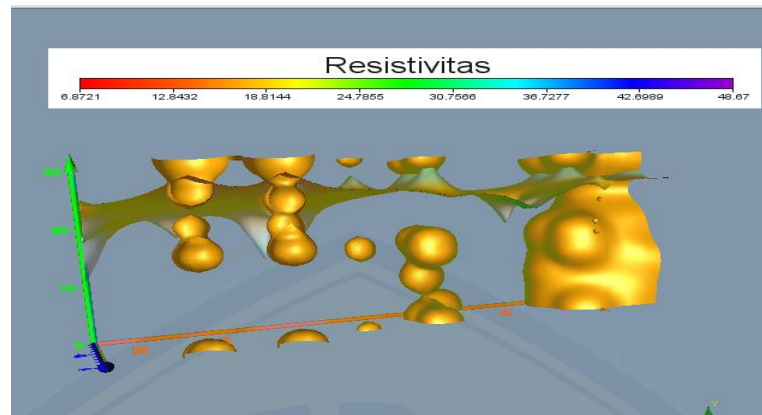
- a. Data penelitian yang dihasilkan *software Res2Dinv* diubah kedalam format XYZ, dengan cara "*leastsquare inversion*" kemudian *display* yang

- dilanjutkan dengan *show inversion result*, *display section* dan data disimpan dalam *format XYZ*.
- Data yang berformat *XYZ* dibuka ke dalam format *microsoft excel*.
 - Data yang terdapat pada *Microsoft Excel* diubah ke dalam *notepad* dengan format(.dat).
 - Data tersebut kemudian diolah dengan *software Voxler*, dengan melakukan *Menu file*, *load data* dan *data import option*, hasil terlihat pada jendela *network window*.
 - Visualisasi 3D dengan membuat *gridder*, *volrender* dan *obliquelimage* yang dibuat sesuai dengan jumlah data banyaknya lintasan yang digunakan dan warna diatur sesuai dengan rentang warna resistivitas dari *software Voxler*, sehingga hasil yang didapatkan terlihat pada *network window* seperti Gambar 3.7.



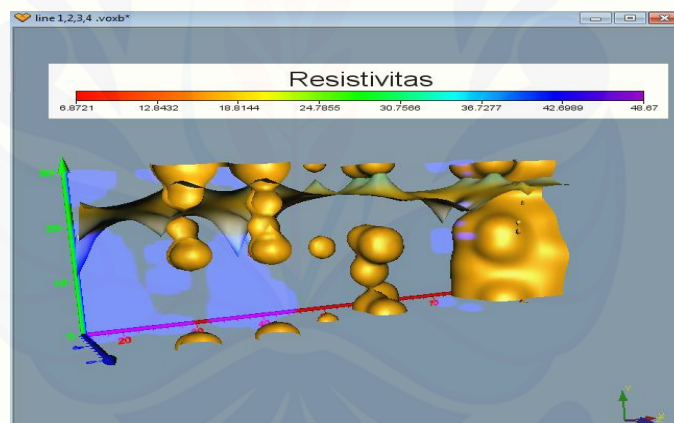
Gambar 3.7 Contoh struktur permukaan 3D hasil *Voxler*

- Maximum intensity* dapat dilakukan dengan *Model property manager* dilanjutkan dengan *gridder*, *volrender* dan *composition* yang diubah sesuai apa yang akan diteliti seperti Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Contoh tampilan sebaran batuan setelah dilakukan *maximum intensity*

- g. Sebaran batuan pada lokasi penelitian dapat ditampilkan dengan mengubah *sum intensity* seperti Gambar 3.9 dengan melakukan *model property manager* dilanjutkan dengan *gridder*, *volrender* dan *composition*.



Gambar 3.9 Contoh tampilan sebaran batuan setelah dilakukan *Sum Intensity*

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang didapatkan berupa citra resistivitas 2D dan visualisasi 3D di mata air panas Kalisengon Desa Blawan Kecamatan Sempol yang dapat menunjukkan struktur bawah permukaan mata air panas Kalisengon, yaitu :

1. Pada lintasan 1 terdiri dari lapisan air tanah, lempung dan pasir dengan nilai resistivitas (0,708-5,05) Ω m, lapisan batuan tufa rentang resistivitas (13,5-36,0) Ω m, lapisan batuan breksi bernilai resistivitas (36,0-257) Ω m, lapisan batuan basalt (257-685) Ω m dan diduga terdapat patahan pada lintasan ke (40-46) m.
2. Pada lintasan 2 memiliki lapisan air tanah, lempung dan pasir nilai resistivitas (0,429-3,21) Ω m, lapisan batuan tufa rentang resistivitas (3,21-66,5) Ω m, lapisan batuan breksi bernilai resistivitas (66,5-179) Ω m, lapisan batuan basalt (179-489) Ω m dan diduga terdapat patahan yang berkolerasi dengan patahan di lintasan 1 dengan lintasan ke (38-48) m.
3. Pada lintasan 3 tersusun dari lapisan air tanah, lempung dan pasir dengan nilai resistivitas (1,36-8,4) Ω m, lapisan batuan tufa rentang resistivitas (8,4-52,4) Ω m, lapisan batuan breksi bernilai resistivitas (52,4-327) Ω m, lapisan batuan basalt (327-817) Ω m dan diduga terdapat patahan pada lintasan ke (38-42) m.
4. Visualisasi 3D menunjukkan keberadaan lapisan pembawa air panas dan dugaan bagian patahan yang menjadi jalur air panas. Lapisan pembawa air panas mempunyai rentang resistivitas (0,429-65,5) Ω m yang mendominasi lintasan 1 dan 2 dengan kedalaman bervariasi dari (1,5-4,9) m. Hal tersebut bersesuaian dengan keberadaan kolam air panas dan rembesan air panas di tepi sungai.

5.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan, diharapkan agar penelitian ini dapat memberikan informasi terkait kondisi struktur bawah permukaan mata air panas

Kalisengon Blawan-Ijen. Adapun saran yang dapat disampaikan agar penelitian selanjutnya lebih baik adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada struktur patahan yang mengontrol manifestasi mata air panas Kalisengon dan sekitarnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Basid, A., N. Andini dan S. Arfiyaningsih . 2014. Pendugaan Reservoir Sistem Panas Bumi dengan Menggunakan Survei Geolistrik Resistivitas dan Self potensial. *Jurnal Neutrino*1(7):57-68.
- Challoner, J. 2000. *Jendela Iptek Seri 5: Energi*. Jakarta: PT Balai Pustaka.
- Dewi. C. N., S. Maryanto dan A. Rachmasyah. 2015. Sistem Panas Daerah Blawan, Jawa Timur Berdasarkan Survei Magnetotelurik. *Jurnal Ris Geo Tam*2(25):111-119.
- Darmawangsa. 2015. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi di Desa Watu Toa Kecamatan Marioriwawo dengan Metode Geolistrik. *Skripsi*. Makassar: Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Fitrianty, U. 2012. Sebaran Mata Air Panas Di Kabupaten Serang. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Hurun, N. 2016. Analisis Data Geolistrik Resistivitas untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan. *Skripsi*. Malang. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Hadi, A.I., Refrizon dan Suhendra. 2013. Pemodelan Sistem Panas Bumi Bawah Permukaan dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Api Hulu Lais Bagian Utara. *Jurnal Geo*(6): 1-8.
- Heriyanto. 2017. Penentuan Batas Lapisan dan Zona Endapan Placer Intan di Kabupaten Landak Kalimantan Barat menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. *Skripsi*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Istighfaroh, L. H., S. Maryanto dan F. Rakhmanto. 2013. Identifikasi Jenis Batuan Bawah Permukaan Daerah Sumber Air Panas Dengan Menggunakan Metode Geolistrik (Studi Kasus Panas Bumi Daerah Tiris. Kabupaten Probolinggo Jawa Timur. *Jurnal Physics* 1(4)1-4.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam. 2017. *Potensi Panas bumi Indonesia Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Panas bumi.
- Kodoatie, R. J. 2012. *Tata Ruang Air Tanah*. Yogyakarta: ANDI.
- Lawless, J. V. 1993. *Epigenetic Magmatic-Related Mineral Deposits Exploration Based on Mineralisation Model*. Auckland: Kingston Morrison Mineral Services.

- Loke, M. H. 2004. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies : A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. Malaysia: Penang.
- Loke, M. H dan Barker. 1995. Least-Square Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudosection. *Jurnal Geophysic* 60(6):1682-1690.
- Nurfalaq, A. 2016. *Pemodelan Geofisika Eksplorasi menggunakan Voxler*. Palopo: Universitas Cokroaminoto Palopo.
- Nicholson, K. 1993. *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*, Jerman: Springer Verlag.
- Paulus. 2012. Pemodelan 3D Cavity Daerah "X" dengan Menggunakan Metode Resistivity Konfigurasi Dipole-Dipole. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Pertiwi, H. I. S. 2017. Studi Bawah Permukaan Untuk Identifikasi Sebaran Batuan Intruksi Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Schlumberger. *Skripsi*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Purwandi, S. 2018. Interpretasi Bawah Permukaan dengan Metode Self Potensial Daerah Mata Air Panas Blawan Ijen (Studi kasus: Mata Air Panas Kalisengon). *Skripsi*. Jember: UNEJ.
- Prasetyawati, L. 2004. Aplikasi Metode Resistivitas dalam Eksplorasi Endapan Laterit Serta Studi Ketebalan Endapan Berdasarkan Morfologi Lapangan. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Raehanayati, A. Rachmansyah dan S. Maryanto. 2013. Studi Potensi Geothermal Blawan-Ijen, Jawa Timur Berdasarkan Metode Gravity. *Jurnal Neutrino* 6(1)31-39.
- Rahmawati, A. 2009. Pendugaan Bidang Gelincir Tanah Longsor Berdasarkan Sifat Kelistrikan Bumi Dengan Aplikasi Geolistrik Metode Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger. *Skripsi*. Malang: UINM.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England : Jhon Wiley & Sons Ltd. Baffins, Chichester, West Sussex PO19 IUD.
- Santoso, D. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB.
- Schon, J.H. 1998. *Physical Properties of Rock: Fundamental and Principles of Petrophysic*, Pergamon, Leabon.

- Suciningtyas. I. K. L.N., S Maryanto, A Rachmansyah . 2013. Sebaran Mata Air Panas Blawan-Ijen berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas. *Jurnal Natural* 2(2):165-171.
- Supriyanto, E. 2007. *Analisis Data Geofisika*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Sulistyarini, I. Y dan Irjan. 2011. Aplikasi Metode Geolistrik dalam Survei Potensi Hidrothermal (Studi Kasus: Sekitar Sumber Air Panas Kasinan Pesanggaran Batu). *Jurnal Neutrin* 1(4):24-34.
- Setiyawan, T. 2010. Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Mendapatkan Bidang Patahan. *Skripsi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saptadji, N. M. 2002. *Teknik Panas bumi*. Bandung: ITB.
- Saptadji, N.M. 2009. *Karakterisasi Reservoir Panas bumi*. Bandung: ITB.
- Suhartono, N. 2012. Pola Sistem Panas dan Jenis Geothermal dalam Estimasi cadangan daerah kamojang. *Jurnal Ilmiah MTG* 5(2):1-14.
- Saptadji, N.M. 2001. *Teknik Panas Bumi, Diktat Kuliah Prodi Teknik Perminyakan*. Bandung: ITB.
- Soetoto.1981. *Materi Penyusun Tubuh Bumi Teknik Geologi UGM*. Yogyakarta: UGM.
- Sitorus, K. 1990. *Volcanic Stratigraphy and Geochemistry Of The Ijen Caldera Complex, East Java, Indonesia. Unpublished Msc, Thesis Victoria*. New Zealand: University Of Wellington.
- Telford, W. M., R. E. Sheris dan L. P. Geldar. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York : Cambrige University Press.
- Utama A. P., A. Dwinanto, J. Situmorang, M. Hikmi, dan R. Irshamukti. 2012. *Green Field Geothermal Systems In Java, Indonesia. Bandung. 1st ITB Geothermal Workshop*.
- White, Nc dan J. W. Hendenquit. 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristic and Exploration *SEG Newsletters*.1(23):159-164.
- Wahyono, S. C., Rifkiati, M. E. Zulfian, A. Faisal dan D. Monalisa. 2010. Penentuan Lapisan Bawah Permukaan di Tempat Pengolahan Akhir Sampah (TPAS) Banjarbaru Dengan Metode Geolistrik. *Jurnal Fisika Flux* 2(7):185-191.

Waluyo. 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika(Teori dan aplikasi) Metode Resistivitas*. Yogyakarta: UGM.

Zaennudin A., S. Sumarti, E. N. Sutaningsih dan Sukarnen. 2005. Genetic of an Ancient Lake Blawan, Ijen Caldera, East Java. *Annual Meeting of Geological Association of Indonesia*. Surabaya-Indonesia.

Zaennudin A, Wahyudin, Deden, Surmayadi, Mamay dan E. Kusdinar. 2012. Prakiraan Bahaya Letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 3(2):109-132.

