



**PENENTUAN ARAH FLUIDA PANAS BAWAH
PERMUKAAN DI OBYEK WISATA GUCI
MENGUNAKAN METODE *SELF POTENTIAL***

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

oleh

Nadine Vaidila

4211411043

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2015

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 22 September 2015



Nadine Vaidila

4211411043

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul

Penentuan Arah Fluida Panas Bawah Permukaan Di Obyek Wisata Guci

Menggunakan Metode *Self Potential*

disusun oleh

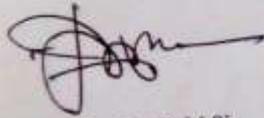
Nadine Vaidila

4211411043

telah disetujui untuk diajukan ke sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

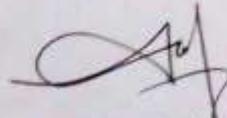
Semarang, 22 September 2015

Pembimbing I



Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP. 196505181991021001

Pembimbing II



Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Penentuan Arah Fluida Panas Bawah Permukaan Di Obyek Wisata Guci

Menggunakan Metode *Self Potential*

disusun oleh

Nadine Vaidila

4211411043

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 22 September 2015.

Panitia:

Ketua



Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 196310121988031001

Sekretaris

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 196306101989011002

Ketua Penguji

Dr. Ian Yulianti, S.Si, M.Eng
NIP. 197707012005012001

Anggota Penguji/Pembimbing I

Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP. 196505181991021001

Anggota Penguji/Pembimbing II

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

MOTTO

Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua.

(Aristoteles)

Ilmu itu lebih baik daripada harta. Ilmu menjaga engkau dan engkau menjaga harta. Ilmu itu penghukum (hakim) dan harta terhukum. Harta itu kurang apabila dibelanjakan tapi ilmu bertambah bila dibelanjakan.

(Ali bin Abi Thalib)

Bersyukur itu tidak berhenti pada menerima apa adanya saja, tapi terutama bekerja keras untuk mengadakan yang terbaik.

(Mario Teguh)

PERSEMBAHAN

Untuk Mamah, Papah, Nizar,
Keluarga besar Eyang Moh. Ali (alm), Eyang Musa,
Dosen, Guru, dan Sahabat

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim,

Semoga keselamatan, rahmat, dan barakah-Nya senantiasa dilimpahkan pada kita semua. Segala puji bagi Ar-Rahman, Ar-Rahim, Tuhan semesta alam berkat rahmat dan bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan tepat waktu.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum. selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Wiyanto, M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Khumaedi, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika.
4. Dr. Agus Yulianto, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika.
5. Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Dr. Suharto Linuwih, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, nasehat, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi.
6. Dr. Ian Yulianti, S.Si, M.Eng selaku dosen penguji yang telah memberikan saran untuk penulis.
7. Isa Akli, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan saran dalam perkuliahan.
8. Segenap Bapak dan Ibu Dosen, teknisi laboratorium, dan staf Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.

9. Mamah, Papah, dan Adikku Nizar Lazuardi yang telah memberi dukungan, doa, dan kesempatan penulis untuk belajar.
10. Segenap guru dan wali kelas penulis selama menempuh jenjang pendidikan (Bu Warsini, Bu Nur Khasanah, Pak Apris, Bu Susi, Bu Khasanah, Bu Rokhanah, Bu Nani, Pak Murtadho, Pak Suprpto, Pak Subur (alm), Bu Giri, Pak Topik, Pak Fauzi, Pak Rosid, Bu Lina, Bu Masruroh, Pak Agus Windarto, Bu Titik, Bu Marni, Pak Zaenudin, Pak Said, dan Pak Fidi).
11. Sahabat-sahabatku (Novita, Kak Indah, Erwin, Satyo, Kak Pepi, Pipit, Epoy, Hawa, Hanin, Widi, Noval, Uzi, Heni, Anis, dan Ani'atul) yang selalu memberikan semangat dan do'a.
12. Riezaldy Adhitya yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatiannya selama ini.
13. Teman-teman jurusan Fisika 2011, KSGF UNNES 2011, dan HMGI Regional 3 yang senantiasa menghadirkan semangat belajar bersama.
14. Teman-teman Kost Rasa Damai (Windy, Vera, Erna, Yani, Asih, Mumtaz, Eva, Desta, Vivi, dan Ayu) serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dengan banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan memberikan manfaat bagi kemajuan penelitian dan riset di Indonesia. Amin.

Semarang, 22 September 2015

Penulis

ABSTRAK

Vaidila, N. 2015. *Penentuan Arah Fluida Panas Bawah Permukaan Di Obyek Wisata Guci Menggunakan Metode Self Potential*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

Kata kunci : Guci, *Self potential*, Arah aliran fluida

Panas bumi berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia sebagai pendukung pemenuhan kebutuhan energi sektor non-migas. Bumi secara alami telah menyediakan sumber daya alam yang berlimpah untuk kesejahteraan manusia, baik yang dapat diperbaharui maupun yang tidak dapat diperbaharui. Penelitian arah aliran fluida panas bawah permukaan telah dilakukan di daerah manifestasi panas bumi obyek wisata Guci Kabupaten Tegal. Untuk mengetahui bagaimana arah aliran fluida panas bawah permukaan di obyek wisata Guci maka dilakukan penelitian menggunakan metode *self potential*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan arah aliran fluida panas bawah permukaan di daerah obyek wisata Guci khususnya di pancuran 7. Pengambilan data pengukuran *self potential* menggunakan konfigurasi elektroda tetap dengan jarak interval elektroda 2 meter dan sebanyak 5 lintasan. Konfigurasi elektroda yang digunakan yaitu konfigurasi teknik basis tetap (*fixed base*). Pada teknik ini salah satu elektroda dibuat tetap berada pada satu titik yang disebut titik referensi, sementara elektroda yang lain dipindah-pindah untuk setiap pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan nilai *self potential* yang didapat dengan nilai terendah -29,8 mV dan nilai yang tertinggi 47,3 mV. Dari nilai sebaran potensial tersebut dapat diprediksi arah aliran fluida di daerah obyek wisata Guci mengarah dari Selatan menuju Utara.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB	
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
1.6 Batasan Masalah.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Panas Bumi	6
2.1.1 Pembentukan Sistem Panas Bumi.....	8

2.1.2 Manifestasi Panas Bumi.....	10
2.1.3 Pemanfaatan Panas Bumi.....	11
2.2 Kondisi Geologi Gunung Slamet	12
2.2.1 Geomorfologi	12
2.2.2 Stratigrafi.....	15
2.2.3 Struktur Geologi.....	16
2.3 Metode <i>Self Potential</i>	16
2.3.1 Penerapan Metode <i>Self Potential</i>	20
2.3.2 Anomali <i>Self Potential</i>	20
2.4 Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan di Kawasan Gunung Slamet.....	23
3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Lokasi Penelitian.....	28
3.3 Alat dan Bahan.....	29
3.4 Akuisisi Data.....	30
3.4.1 Desain Survei Penelitian	30
3.4.2 Kalibrasi Alat	30
3.4.3 Pengukuran Data Lapangan	31
3.4.4 Pengolahan Data.....	32
3.4.5 Interpretasi Data	33
3.5 Analisis Data Penelitian	33
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Data Pengamatan SP	34

4.2 Elevasi Elektroda	34
4.3 Interpretasi Data <i>Self Potential</i>	36
5. PENUTUP	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Jenis dari Anomali SP dan Sumber Geologinya	21
Tabel 2.2 Data Isotop ^{18}O dan Deuterium dari Air Panas Daerah Panas Bumi Gunung Slamet	26
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	29
Tabel 3.2 Form Data Penelitian Potensial Diri	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Model Skematik Sistem Panas Bumi	10
Gambar 2.2 Peta Geologi Gunung Slamet	12
Gambar 2.3 Sebaran titik-titik pengukuran daerah penelitian di kawasan Baturaden	24
Gambar 2.4 Peta kontur hasil pengukuran di kawasan Baturaden.....	25
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	28
Gambar 3.3 Desain survei penelitian	30
Gambar 3.4 Teknis pengukuran data dalam metode <i>self potential</i> dengan konfigurasi elektroda tetap.....	31
Gambar 4.1 Peta hasil sebaran titik pengukuran.....	35
Gambar 4.2 Grafik elevasi terhadap jarak	36
Gambar 4.3 Grafik nilai SP terhadap jarak elektroda pada kelima lintasan	37
Gambar 4.4 Peta kontur isopotensial daerah penelitian	39

37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran Data Pengamatan	46
Lampiran Dokumentasi Penelitian	50
Surat Keputusan Dosen Pembimbing	52

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi konvensional yang berasal dari minyak bumi, gas alam, batubara, dan uranium tidak dapat diperbaharui dan dapat merusak lingkungan, sehingga perlu pengembangan sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan meliputi energi panas bumi, energi matahari, energi angin, energi biomassa, energi air, energi pasang surut, dan energi ombak (Hasan *et al.*, 2012: 2316). Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia untuk mendukung pemenuhan kebutuhan energi nasional yang masih didominasi dari sektor minyak dan gas bumi.

Potensi energi panas bumi Indonesia berdasarkan survei yang dilakukan oleh kementerian ESDM, tercatat sebesar 29.038 MW dan merupakan 40% dari potensi energi panas bumi dunia sehingga Indonesia menjadi negara dengan potensi energi panas bumi terbesar dunia (Setiawan, 2013: 2). Berdasarkan survei geologis, Indonesia memiliki 299 prospek panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang dimulai dari bagian barat Sumatra, berlanjut ke Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, selanjutnya berbelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi (Royana, 2013: 18).

Salah satu potensi panas bumi yang ada di Indonesia khususnya di Jawa Tengah yaitu obyek wisata Guci. Guci adalah obyek wisata yang berada di Desa Guci Kecamatan Bumijawa Kabupaten Tegal dengan luas 210 Ha, terletak di kaki

Gunung Slamet bagian utara dengan ketinggian ± 1.050 meter. Jarak Guci dari Kota Slawi berjarak ± 30 km, sedangkan dari Kota Tegal berjarak tempuh sekitar 40 km ke arah selatan.

Menurut Zarkasyi *et al.* (2011: 23), karakteristik sistem panas bumi meliputi sumber panas, reservoir, lapisan penudung, dan fluida panas. Kegiatan untuk mengidentifikasi sistem panas bumi memerlukan informasi kegeologian dan analisis manifestasi daerah prospek panas bumi. Menurut Royana (2013: 11), sistem panas bumi merupakan sistem penghantaran panas di dalam mantel atas dan kerak bumi dimana panas dihantarkan dari suatu sumber panas atau *heat source* menuju suatu tempat penampungan panas atau disebut *heat sink*. Karakterisasi sumber daya panas bumi dapat dilakukan dengan cara mempelajari ciri-ciri fisika dan kimia dari daerah prospek panas bumi. Geofisika adalah bagian dari ilmu kebumihan yang mempelajari bumi menggunakan kaidah atau prinsip-prinsip fisika. Metode geofisika melibatkan pengukuran sifat fisika di permukaan bumi yang dapat memberikan informasi tentang struktur, komposisi, dan sifat batuan di bawah permukaan bumi. Penggunaan metode geofisika meliputi metode gaya berat, magnetik, potensial spontan, polarisasi terimbas, geolistrik resistivitas, seismik, dan elektromagnetik.

Metode geofisika yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *self potential* (SP) yaitu untuk mendapatkan informasi tentang tegangan statis alam yang berada di kelompok titik-titik di permukaan tanah. Metode SP ini didapatkan data bawah permukaan tanah yang nantinya dapat diketahui arah fluida panas bawah permukaan.

Metode SP telah digunakan sejak tahun 1920 sebagai metode sekunder dalam pencarian metal atau logam. Beberapa tahun kemudian metode ini berkembang ke arah investigasi air tanah dan geothermal. Hingga saat ini metode ini sudah digunakan dalam penentuan struktur geologi suatu area. Metode ini merupakan metode yang paling murah dari semua metode geofisika dalam hal peralatan dan penggunaan. Selain itu metode SP ini tidak mengganggu kondisi bawah permukaan karena tidak menginjeksikan arus. Saat ini metode SP sudah banyak diaplikasikan dalam penelitian di bidang lingkungan seperti pencemaran di TPA (Tempat Pembuangan Akhir) sampah.

Metode ini merupakan metode pasif yang hanya mengukur potensial alami dari dalam bumi. Potensial yang terukur biasanya berkisar antara < 1 mV sampai 1 V dan perbedaan tanda (positif atau negatif) menandakan perbedaan anomali. Keunggulan metode SP daripada metode geolistrik lainnya adalah sangat responsif untuk target bawah permukaan yang bersifat konduktif seperti mineral logam dan mineral sulfida, serta dapat diterapkan untuk daerah yang topografinya tidak datar (Vichabian and Morgan, 2002).

Metode SP yang didesain dengan elektroda pot berpori (*porous pot*) sangat tepat diterapkan untuk penelitian panas bumi, karena pada umumnya reservoir panas bumi berisi fluida panas yang mengandung mineral-mineral sulfida yang bersifat konduktif (Morgan, 2002).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana arah aliran fluida panas bawah permukaan bumi

di sekitar pemandian air panas obyek wisata Guci sehingga dapat diketahui sumber air panas yang lain.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui arah fluida panas bawah permukaan bumi di obyek wisata Guci sehingga nantinya dapat dibuat peta kontur isopotensial.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah menambah informasi terkait sistem panas bumi di lokasi penelitian untuk keperluan pengembangan dan pembangunan lanjutan potensi panas bumi. Kajian panas bumi daerah penelitian bermanfaat untuk menambah basis data sumber energi terbarukan berupa energi panas bumi di Indonesia. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan atau data dasar dalam eksplorasi lanjut potensi energi panas bumi yang tersedia di daerah studi penelitian.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, sistematika penulisan, dan batasan masalah.

Bab II Tinjauan Pustaka, merupakan dasar-dasar teori dari literatur ilmiah yang menjadi acuan yang digunakan di dalam penulisan penelitian meliputi panas bumi, tinjauan geologi, dan teori dasar metode *self potential* (SP).

Bab III Metodologi Penelitian, berisikan uraian mengenai lokasi penelitian, alat yang digunakan, akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi.

Bab IV Hasil Analisis dan Pembahasan, merupakan uraian yang menjelaskan analisis data pengamatan dalam pengolahan data dan pembahasan hasil penelitian.

Bab V Kesimpulan dan Saran, menjelaskan kesimpulan dari hasil pengukuran dalam penelitian dan rekomendasi terkait penelitian yang dilaksanakan.

1.6 Batasan Masalah

Analisis panas bumi daerah penelitian dilakukan berdasarkan nilai potensial daerah penelitian. Data penelitian diperoleh dari pengukuran pada tanggal 20-24 Juli 2014. Pengolahan data *self potential* (SP) dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Excel* dan *Surfer 10*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panas 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 genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan. Indonesia memiliki potensi energi panas bumi mencapai 28.617 MW yang tersebar di 299 lokasi. Potensi panas bumi di Indonesia mencapai 40% dari total potensi panas bumi dunia, sehingga Indonesia menjadi negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia. Sumber panas bumi di Indonesia tersebar di Sumatera 12.760 MW, Jawa 9.717 MW, Sulawesi 3.044 MW, Nusa Tenggara 1.451 MW, Maluku 1.071 MW, Bali 354 MW serta 220 MW di daerah lain (Royana, 2013:19).

Ada beberapa jenis reservoir panas bumi, yaitu reservoir hidrotermal (*hydrothermal reservoir*), reservoir bertekanan tinggi (*geopressured reservoir*), reservoir batuan panas kering (*hot dry rockreservoir*), dan reservoir magma (*magma reservoir*). Sistem panas bumi di Indonesia umumnya berupa sistem hidrotermal, yaitu sistem panas bumi dimana reservoirnya mengandung uap, air atau campuran keduanya. Pada dasarnya sistem panas bumi jenis hidrotermal terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber

panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena adanya gaya apung (*bouyancy*).

Adanya gaya gravitasi terhadap air maka air selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak 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.

Adanya suatu sistim hidrotermal di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan (*geothermal surface manifestation*), seperti mata air panas, kubangan lumpur panas (*mud pools*), geyser dan manifestasi panas bumi lainnya, dimana beberapa diantaranya, yaitu mata air panas, kolam air panas sering dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk mandi, berendam, mencuci, memasak, dll. 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.

Berdasarkan pada jenis fluida produksi dan jenis kandungan fluida utamanya, sistem hidrotermal dibedakan menjadi dua, yaitu sistem satu fase atau sistem dua fase. Sistem dua fase dapat merupakan sistem dominasi air atau sistem dominasi uap. Sistem dominasi uap merupakan sistem yang sangat jarang dijumpai dimana reservoir panas buminya mempunyai kandungan fase uap yang lebih dominan dibandingkan dengan fase airnya. Rekahan umumnya terisi oleh uap dan pori-pori batuan masih menyimpan air. Reservoir air panas umumnya

terletak jauh di kedalaman di bawah reservoir dominasi uapnya. Sistem dominasi air merupakan sistem panas bumi yang umum terdapat di dunia dimana reservoirnya mempunyai kandungan air yang sangat dominan walaupun “*boiling*” sering terjadi pada bagian atas reservoir membentuk lapisan penutup uap yang mempunyai temperatur dan tekanan tinggi.

Dibandingkan dengan temperatur reservoir minyak, temperatur reservoir panas bumi relatif sangat tinggi, bisa mencapai 3500°C. Berdasarkan pada besarnya temperatur, Hochstein (1990) membedakan sistem panas bumi menjadi tiga, yaitu:

1. Sistem panas bumi bertemperatur rendah, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida dengan temperatur lebih kecil dari 125⁰C.
2. Sistem panas bumi bertemperatur sedang, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur antara 125⁰C dan 225⁰C.
3. Sistem panas bumi bertemperatur tinggi, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur diatas 225⁰C.

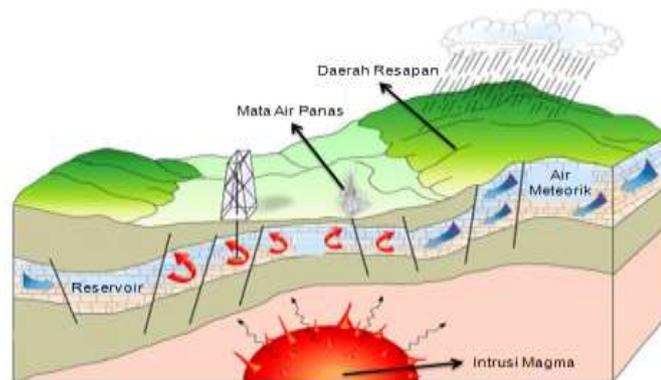
2.1.1 Pembentukan Sistem Panas Bumi

Indonesia memiliki lingkaran sabuk gunung api yang membentang lebih dari 7000 km, sehingga memiliki potensi panas bumi yang besar (Gaffar *et al.*, 2007: 98). Sistem panas bumi secara umum terbentuk karena interaksi lempeng tektonik yang mengapung di atas astenosfer. Lempeng-lempeng tektonik terus-menerus bergerak secara perlahan. Menurut Saptadji (2009: 2), lempeng tektonik bergerak memisah di beberapa tempat, sementara di beberapa tempat lainnya lempeng tektonik saling mendorong dan salah satu diantaranya akan menunjam ke bawah lempeng lainnya. Ujung lempeng tektonik yang menunjam akan hancur

dan meleleh akibat panas dalam lapisan astenosfer dan panas akibat mengalami gesekan dalam proses magmatisasi.

Subduksi kerak samudra (Indo-Australia) di bawah kerak benua (Eurasia) menghasilkan magma yang naik ke permukaan dan membentuk busur vulkanik sepanjang Pulau Jawa (Utama *et al.*, 2012). Magma dengan densitas rendah yang terbentuk pada proses magmatisasi akan mendorong batuan yang menutupinya. Tekanan dan suhu magma mengontrol proses pergerakan tersebut. Tekanan berkurang secara perlahan ketika magma mengintrusi batuan. Magma yang sampai ke permukaan mengalami pendinginan dengan cepat membentuk kerak batuan. Bagian bawah kerak batuan tetap cair dan panas serta tidak bisa menerobos sampai ke permukaan. Magma yang terperangkap mengalami proses pendinginan yang lambat. Proses pendinginan magma tersebut dapat mencapai ratusan bahkan ribuan tahun, sehingga panas dari magma tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas bumi (Yunginger *et al.*, 2012: 5).

Sistem hidrotermal mempunyai beberapa komponen utama, yaitu sumber panas, daerah resapan, batuan reservoir, lapisan penudung, dan fluida panas. Daerah resapan mengalirkan air permukaan dan air hujan (air meteorik) ke bawah permukaan melalui rekahan-rekahan. Air tanah mengalir dan bersentuhan dengan tubuh magma atau batuan beku panas, sehingga mendidih dan membentuk air atau uap panas. Panas merambat melalui batuan secara konduksi dan melalui fluida secara konveksi. Model skematik sistem panas bumi disajikan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model Skematik Sistem Panas Bumi (Yunginger *et al.*, 2012: 7)

Interaksi panas dengan batuan membentuk lapisan penudung yang menjadi jebakan panas dan merupakan batas pada batuan reservoir. Reservoir mampu menyimpan fluida panas dan mengalirkannya karena berat jenis, temperatur, dan tekanan fluida panas. Apabila struktur geologi memungkinkan maka uap dan air panas mengalir kembali ke permukaan membentuk manifestasi panas bumi permukaan (Saptadji, 2009: 2).

2.1.2 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi di permukaan menunjukkan keberadaan panas bumi di bawah permukaan. Perubahan fase pada sistem panas bumi hidrotermal mungkin terjadi dalam perjalanan fluida ke permukaan bumi sehingga menyebabkan jenis-jenis manifestasi panas bumi permukaan (*geothermal surface manifestation*) menjadi sangat beragam, diantaranya *hot springs* atau mata air panas, *geyser* atau mata air panas yang menyembur ke permukaan, *mud pools* atau kolam lumpur panas, kolam air panas, serta manifestasi panas bumi lainnya (Saptadji, 2009:2). Keanekaragaman sifat batuan menyebabkan temperatur suatu daerah prospek panas bumi ke daerah lainnya tidak sama dan unik, bahkan dalam satu reservoir memiliki temperatur yang tidak homogen dan berbeda antara satu reservoir dengan reservoir lainnya.

2.1.3 Pemanfaatan Panas Bumi

Pemanfaatan energi panas bumi dapat dibagi dalam dua kelompok besar. Kelompok pertama adalah untuk pembangkit listrik (*geothermal power plant*), sedangkan kelompok kedua yang sering disebut sebagai penggunaan energi panas bumi secara langsung (*geothermal direct use*), yaitu untuk geowisata, pemanasan ruangan dan penanganan proses-proses agrikultur. Sumber panas bumi yang kaya uap lebih disukai untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik daripada sumber panas bumi yang kaya air karena energi yang dapat dikonversi dari sumber lebih besar (Gaffar *et al.*, 2007: 99). Rekomendasi pemanfaatan manifestasi mata air panas dan fumarola secara langsung telah dikaji oleh Wahyudi (2005: 46), misalnya untuk pemandian air panas, pengembangan kawasan wisata, pengeringan produk pertanian, pengembangan perikanan, penghangat ruangan, penyembuhan penyakit, dan untuk kesehatan.

Karakteristik pemanfaatan sumber panas bumi baik untuk pembangkit listrik maupun secara langsung adalah bersih, terbarukan, dan berkelanjutan. Energi panas bumi bersifat *site specific* dimana sumber panas bumi tidak dapat dipindah-pindahkan namun dapat ditransmisikan dalam jarak yang relatif tidak jauh dan sumber energi dapat berada pada daerah yang sangat terpencil dan sulit dijangkau (Gaffar *et al.*, 2007: 99). Panas bumi merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan karena sebagian besar gas buang adalah karbon dioksida (CO₂), serta air kondensat yang telah diambil dapat diinjeksikan kembali ke reservoir untuk menjaga kelangsungan reservoir (Wahyudi, 2005: 46) selama pemakaian energi tidak berlebih dan masih dalam batas tertentu.

Pola aliran sungai umumnya mengikuti bentuk morfologi ini, di sebelah barat yang mempunyai relief kasar dan morfologinya tidak teratur, membentuk pola aliran sungai dendritik. Pada morfologi kerucut gunung api membentuk pola aliran sungai radial dengan memusat ke arah puncak.

Berdasarkan bentuk bentang alam, dan tingkat erosinya, daerah Gunung Slamet dibagi menjadi beberapa satuan morfologi, yaitu :

1. Satuan morfologi perbukitan tidak teratur, menempati bagian barat dan barat daya lembar peta, terdiri dari punggung yang tidak teratur dan beberapa puncak yang meruncing. Satuan morfologi ini dibagi menjadi dua sub satuan morfologi, yaitu sub satuan morfologi relief kasar dan relief halus.

a) Sub satuan morfologi berrelief kasar dicirikan oleh lereng yang terjal dan lembah yang dalam disertai dengan puncak meruncing. Sub satuan ini menempati bagian barat laut dan selatan lembar peta, puncak-puncaknya antara lain Gunung Cowet, Gunung Pendiara, Gunung Batur, Gunung Sembung dan puncak lainnya. Satuan ini umumnya disusun oleh lava yang berkomposisi andesit, sebagian ditutupi oleh endapan tefra dari Gunung Slamet tua dan Gunung Slamet muda.

b) Sub satuan morfologi berrelief halus, menempati bagian tengah dari satuan morfologi perbukitan tidak teratur, terdiri dari punggung memanjang dengan puncak membulat serta lembah-lembah melebar. Satuan ini disusun oleh endapan tefra dari Gunung Slamet, pada sayatan sungai dijumpai singkapan lava dengan komposisi andesit.

2. Satuan morfologi kerucut gunungapi, menempati bagian timur lembar peta dan merupakan tubuh Gunung Slamet itu sendiri. Satuan morfologi ini dipisahkan menjadi empat sub satuan morfologi, yaitu sub satuan morfologi puncak, tubuh, kaki dan kerucut sinder.

- a) Sub satuan morfologi puncak menempati daerah puncak Gunung Slamet mulai dari ketinggian 2950 mdpl, terdiri dari lava dan endapan piroklastik. Pada bagian puncak terdapat empat buah dinding kawah, dua diantaranya merupakan kawah yang masih aktif saat ini, yaitu kawah III dan IV.
- b) Sub satuan morfologi tubuh menempati lereng sebelah utara, selatan, timur dan sedikit di sebelah barat dengan lereng yang lebih landai. Satuan ini tersusun dari lava dan piroklastik, semakin ke arah puncak piroklastiknya semakin tebal, sedangkan pada torehan sungai dijumpai lava. Di bagian timur satuan ini dijumpai kerucut-kerucut sinder yang jumlahnya lebih dari 20 buah.
- c) Sub satuan morfologi kaki tersebar mengelilingi Gunung Slamet, terutama daerah selatan dan sedikit utara, yang mempunyai lereng landai hampir datar dengan relief halus, merupakan daerah persawahan dan perkebunan tebu. Daerah ini umumnya ditutupi oleh bahan rombakan dari Gunung Slamet, berupa lahar di bagian selatan dan tenggara, serta lava basalt di bagian utara.
- d) Sub satuan morfologi kerucut sinder, terdapat di lereng timur kerucut Gunung Slamet. Kerucut sinder ini tersebar dalam radius 5 km,

merupakan bukit-bukit kecil berbentuk bukit terpancung yang dibangun oleh bahan-bahan lepas berupa skorea dengan ukuran bom dan lapili. Bukit-bukit ini muncul secara berkelompok atau sendiri, berbentuk bulat atau lonjong, dengan bekas lubang letusan berbentuk lungkaran atau tapal kuda.

3. Satuan morfologi dataran, menempati daerah sebelah utara bagian barat dan sebelah selatan lembar peta. Daerah ini merupakan hamparan dataran yang umumnya dijadikan daerah pemukiman dan pertanian yang subur. Satuan ini disusun oleh endapan hasil erosi dari Gunung Slamet tua maupun muda dan batuan sedimen di sekitarnya.

2.2.2 Stratigrafi

Endapan batuan hasil erupsi Gunung Slamet dari tua sampai muda semuanya berumur Kuartar, menutupi batuan sedimen berumur Tersier. Sebaran hasil kegiatan Gunung Slamet meliputi 5 Kabupaten dengan luas lebih kurang 1500 km², yang terdiri dari endapan piroklastik, lava, lahar, awan panas dan endapan permukaan berupa aluvial dan fluvial.

Urutan stratigrafi Gunung Slamet dari tua ke muda selengkapnya adalah sebagai berikut : lava Gunung Cendana, lava Gunung Sembung, endapan aliran piroklastik batu apung Cikepuh, lahar kali Logawa, lava Gunung Mingkrik, lava Kalipagu, lava Gunung Slamet 1, endapan jatuhan pirolastik kerucut Angrun, lahar Bumijawa, endapan guguran Guci, endapan jatuhan piroklastik Gunung Slamet 1, lava Gunung Slamet 2, endapan aliran piroklastik Gunung Slamet 1, endapan jatuhan piroklastik kerucut Lompong, lahar kali Banjaran, endapan fluviatil Purbalingga, lava Gunung Slamet 3, lava Lebaksiu, aliran piroklastik

Gunung Slamet 2, lahar kali Gung, endapan jatuhan prioklastik Gunung Slamet tua, endapan jatuhan piroklastik Gunung Slamet 3 dan kubah lava.

2.2.3 Struktur Geologi

Struktur geologi yang berkembang di daerah Gunung Slamet dan sekitarnya, umumnya berupa sesar normal yang banyak dijumpai pada kelompok Slamet Tua. Jejak-jejak sesar di lapangan dijumpai berupa breksiasi, gores garis sesar, zona hancuran, kelurusan bukit dan lembah, gawir yang lurus dan terjal serta kontak tajam antara satuan batuan.

Berdasarkan kriteria tersebut di atas, maka struktur geologi di daerah Gunung Slamet dapat dibedakan menjadi 11 buah struktur sesar, yaitu sesar normal Jegjeg, sesar normal Pengasinan, sesar normal Mengger, graben Guci, sesar normal Sijampang, sesar normal Kalibuntu, sesar normal Gunungrataamba, sesar normal Karanggondang, sesar normal Kubangan, sesar normal Kalipagu dan sesar normal Ganting.

2.3 Metode *Self Potential* (SP)

Metode *self potential* (SP) pertama kali ditemukan pada tahun 1830 oleh Robert Fox dengan menggunakan elektroda tembaga yang dihubungkan ke sebuah galvanometer untuk mendeteksi lapisan coppere sulfida di Carnwall (Inggris). Metode SP dapat digunakan untuk mendeteksi reservoir panas bumi (Ishido, 2010), mineral logam (Adeyemi *et. al.*, 2006), air bawah tanah (Satao *et. al.*, 2004) dan sebagainya. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi rembesan limbah cair bawah permukaan dan analisis geokimia (Naudet *et. al.*, 2004). Metode SP selama ini dimanfaatkan sebagai *secondary tool* dalam eksplorasi logam dasar khususnya untuk mendeteksi adanya bijih sulfida.

Pada mulanya metode SP digunakan untuk menentukan daerah yang mengandung mineral logam. Selanjutnya metode ini digunakan untuk mencari mineral logam yang terkait dengan sulfida, grafit, dan magnetit. Berdasarkan hal ini, para ahli geofisika mengungkapkan mekanisme SP pada daerah mineral. Mekanisme polarisasi listrik spontan pada daerah mineral dapat dipahami dari teori yang dikembangkan oleh Sato dan Mooney (1960). Mereka mengatakan bahwa di dalam tubuh mineral terjadi reaksi setengah sel elektrokimia, dimana anodanya berada di bawah permukaan air tanah. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi sehingga anoda merupakan sumber arus sulfida yang berada di bawah tanah. Sulfida mengalami oksidasi dan reduksi yang merupakan akibat reaksi H_2O dan O_2 di dalam tanah.

Suatu proses mekanik yang menghasilkan potensial elektrolisis, terdiri dari tiga elektrokimia yang terdiri dari potensial *liquid-junction*, potensial *shale* dan potensial mineralisasi yang merupakan suatu proses yang menjelaskan mekanisme dari *self potential* (Reynolds, 1997).

Metode SP adalah metode pasif, karena pengukurannya dilakukan tanpa menginjeksikan arus listrik lewat permukaan tanah. Perbedaan potensial alami tanah diukur melalui dua titik dipermukaan tanah. Potensial yang dapat diukur berkisar antar beberapa millivolt (mV) hingga 1 volt. SP dapat disebut sebagai potensial spontan yang ada di permukaan bumi yang diakibatkan oleh adanya proses mekanis ataupun oleh proses elektrokimia yang di kontrol oleh air tanah. Proses mekanis akan menghasilkan potensial elektrokinetik sedangkan proses kimia akan menimbulkan potensial elektrokimia (potensial *liquid-junction*, potensial *nernst*) dan potensial mineralisasi (Hendrajaya, 1988).

Secara teknis prinsip kerja metode SP adalah mengukur tegangan statis alam (*natural static voltage*) melalui dua buah elektroda yang ditancapkan di permukaan bumi, yang dihubungkan dengan digital milivoltmeter. Milivoltmeter ini harus mempunyai impedansi masukan yang besar untuk mengabaikan arus listrik yang berasal dari bumi selama pengukuran (Indriana, 2007). Keunggulan metode SP daripada metode geolistrik lain adalah sangat responsif untuk target bawah permukaan yang bersifat konduktif seperti mineral logam dan mineral sulfida, serta dapat diterapkan untuk daerah yang topografinya tidak datar (Vichabian and Morgan, 2002).

Metode SP yang didesain dengan elektroda pot berpori (*porous pot*) sangat tepat diterapkan untuk penelitian panas bumi, karena pada umumnya reservoir panas bumi berisi fluida panas yang mengandung mineral-mineral sulfida yang bersifat konduktif (Morgan, 2002).

Besarnya potensial yang ditimbulkan dipengaruhi oleh sifat listrik batuan. Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Konduksi secara elektronik

Kondisi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral atau elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Nilai resistivitas suatu bahan yang semakin besar akan semakin sulit

menghantarkan arus listrik. Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut.

2. Konduksi secara elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Batuan biasanya memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Konduktivitas dan resistivitas batuan bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang karena pori-porinya berisi udara.

3. Konduksi secara dielektrik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, atau tidak sama sekali. Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik dari luar sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini tergantung pada konduksi dielektrik batuan yang bersangkutan.

2.3.1 Penerapan Metode *Self Potential* (SP)

Self potential (SP) umumnya berhubungan dengan pelapukan tubuh mineral sulfide (*weathering of sulphide mineral body*). Aktivitas elektrokimia dan mekanik adalah penyebab dari SP di permukaan bumi. Salah satu faktor pengontrol dalam proses ini adalah air tanah. Potensial ini juga berhubungan erat dengan pelapukan yang terjadi pada mineral, variasi sifat batuan, aktivitas

biolistrik dari material organik, korosi, perbedaan suhu dan tekanan dalam fluida di bawah permukaan dan fenomena-fenomena alam lainnya (Telford, 1990).

Perbedaan potensial dihasilkan di dalam bumi atau di dalam batuan yang teralterasi oleh kegiatan manusia maupun alam. Potensial alami terjadi akibat ketidaksamaan atau perbedaan material-material, dekat larutan elektrolit dengan perbedaan konsentrasi dan karena aliran fluida di bawah permukaan.

2.3.2 Anomali *Self Potential* (SP)

Dalam penelitian menggunakan metode SP ada beberapa anomali dan sumbernya. Jenis anomali dan sumber geologinya dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Jenis dari anomali SP dan sumber geologinya (Fithria, 2012)

Sumber	Jenis Anomali
Sulfida-bijih besi	Negatif ~ ratusan mV
Graff-bijih besi	
Magnetit, batubara, mangan	
Lapisan kuarsa	Positif ~ puluhan mV
Pagmatities	
Aliran fluida, reaksi geokimia, dll	Positif +/- negatif ≤ 100 mV
Bioelektrik	Negatif, ≤ 300 mV
Perpindahan air tanah	+/- ~ ratusan mV
Topografi	Negatif hingga 2 mV

Ada beberapa hal yang menyebabkan Anomali SP, yaitu:

a) Potensial elektrokinetik

Potensial elektrokinetik disebut juga *streaming potential*. Potensial elektrokinetik bernilai kurang dari 10 mV dibentuk sebagai akibat adanya sebuah elektrolit yang mengalir melalui medium yang berpori atau kapiler.

Besarnya resultan beda potensial antara ujung gayanya adalah:

$$E_k = \frac{\varepsilon \xi \delta P \rho}{4\pi\eta} \quad (1)$$

dengan ε adalah konstanta dielektrik dari elektrolit (farad/m), ρ resistivitas dari elektrolit (m), η viskositas dinamik dari elektrolit (Ns/m²), δP perbedaan tekanan (Nm²), dan ξ potensial zeta yaitu potensial yang muncul pada lapisan padat dan cair (volt).

b) Potensial difusi

Jika konsentrasi elektrolit dalam tanah bervariasi secara lokal, maka perbedaan potensial akan muncul sebagai akibat perbedaan mobilitas anion dan kation dalam larutan yang konsentrasinya berbeda. Potensial ini disebut potensial difusi (*liquid junction atau diffusion potential*) (Telford, 1990). Besarnya potensial ini adalah:

$$E_d = \frac{RT(I_a - I_c)}{nF(I_a + I_c)} \ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right) \quad (2)$$

dengan I_a dan I_c adalah mobilitas anion (+ve) dan kation (-ve), R konstanta gas (8,314 JK⁻¹ mol⁻¹), T temperatur absolut (K), n ion valensi, F konstanta faraday (96487 Cmol⁻¹), c_1 dan c_2 konsentrasi larutan (mol).

c) Potensial *shale* (serpilh)

Potensial *nerst (shale)* terjadi ketika muncul perbedaan potensial antara dua logam identik yang dicelupkan dalam larutan yang homogen dan konsentrasi larutan masing-masing elektroda berbeda. Besarnya potensial ini diberikan oleh persamaan potensial difusi dengan syarat bahwa $I_a = I_c$.

$$E_d = \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right) \quad (3)$$

Kombinasi antara potensial difusi dan potensial *shale* disebut potensial elektrokimia atau potensial statik.

d) Potensial Mineral

Bila 2 macam logam dimasukkan dalam suatu larutan homogen, maka pada logam tersebut akan timbul beda potensial. Beda potensial ini disebut sebagai potensial kontak elektrolit. Pada daerah yang banyak mengandung mineral, potensial kontak elektrolit dan potensial elektrokimia sering timbul dan dapat diukur dipermukaan dimana mineral itu berada, sehingga dalam hal ini kedua proses timbulnya potensial ini disebut juga dengan potensial mineralisasi. Potensial mineralisasi bernilai kurang dari 100 mV. Elektron ditransfer melalui tubuh mineral dari pereduksi di bawah muka air tanah menuju pengoksidasi di atas muka air tanah (dekat permukaan). Tubuh mineral sendiri tidak berperan secara langsung dalam reaksi elektrokimia, tetapi bertindak sebagai konduktor untuk mentransfer elektron (Sato and Money, 1960).

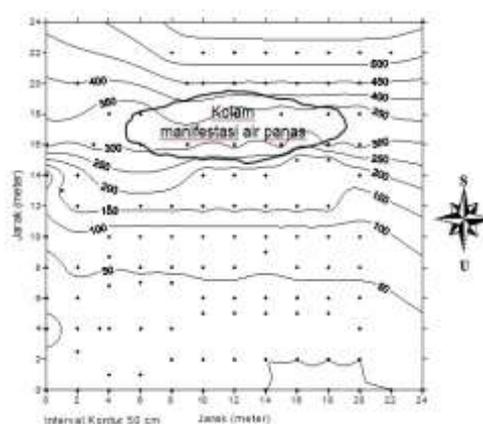
Jadi prinsip dasarnya adalah potensial mineralisasi timbul jika kondisi lingkungan didukung oleh adanya proses elektrokimia sehingga dapat menimbulkan potensial elektrokimia di bawah permukaan tanah.

2.4 Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan di Kawasan Gunung Slamet

Beberapa penelitian yang telah dilakukan di kawasan Gunung Slamet, diantaranya adalah:

1. Survei metode *self potential* menggunakan elektroda pot berpori untuk mendeteksi aliran fluida panas bawah permukaan di kawasan Baturaden Kabupaten Banyumas Jawa Tengah (Sehah, 2011).

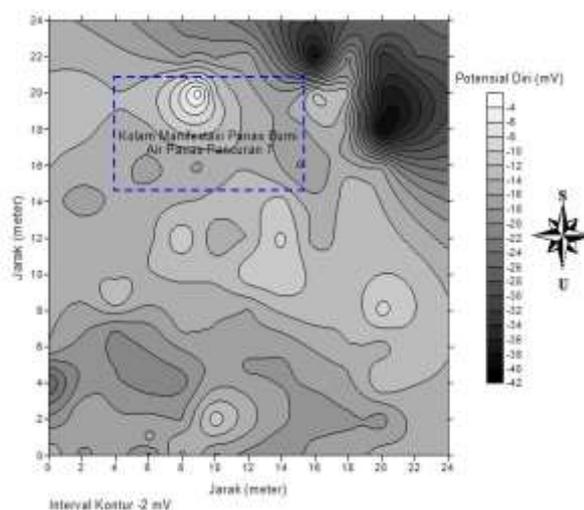
Pada umumnya reservoir panas bumi berisi fluida panas yang mengandung mineral-mineral sulfida yang bersifat konduktif (Morgan, 2002). Dalam penelitian aliran fluida panas bumi yang diteliti adalah kawasan prospek panas bumi Gunung Slamet, yaitu di sekitar lokasi Pancuran Tujuh, Baturaden Kabupaten Banyumas Jawa Tengah. Kawasan ini terletak di lereng selatan Gunung Slamet, yaitu gunungapi tertinggi di Jawa Tengah (3.432 meter) dan memiliki empat lubang kawah di puncak (Anonim, 2010). Potensi panas bumi di kawasan ini diperkirakan sangat besar, potensi panas bumi di kawasan ini mencapai 175 MW, jauh lebih besar dari Pegunungan Dieng yang hanya 50 MW (Republika Online, 2009). Dari hasil penelitian aliran fluida ini dapat ditunjukkan sebaran titik-titik pengukuran daerah penelitian di kawasan Baturaden pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Sebaran titik-titik pengukuran daerah penelitian di kawasan Baturaden (Sehah, 2011)

Berdasarkan hasil pengukuran potensial diri di kawasan Baturaden diperoleh data potensial diri tertinggi yang diperoleh di daerah penelitian adalah -2,20 mV, data terendah adalah -40,83 mV, dan data rata-ratanya adalah -16,40 mV.

Daerah penelitian yang nilai elevasinya lebih rendah memiliki sebaran nilai potensial diri yang relatif lebih negatif. Hal ini mengindikasikan kemungkinan terjadinya akumulasi aliran fluida panas bawah permukaan dari bagian tengah menuju ke utara dan timur laut. Aliran fluida panas dari selatan dan barat daya, selain diperkirakan mengikuti perubahan topografi, ternyata juga sesuai dengan perubahan anomali potensial diri. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hamzah dkk. (2008), bahwa semakin kecil anomali potensial diri (bernilai negatif), maka akumulasi aliran air ke lokasi itu relatif semakin besar. Hasil pengolahan data menggunakan *software Surfer 10* dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Peta kontur pengukuran di kawasan Baturaden (Sehah, 2011)

2. Geokimia panas bumi Gunung Slamet Jawa Tengah (Surmayadi, 2014).

Air panas dan air dingin sebagai fluida panas bumi Gunungapi Slamet tidak berada pada kondisi kesetimbangan ketika mencapai permukaan yang disebabkan oleh proses pencampuran dan pelarutan sebagai pengaruh interaksi air - mineral alterasi. Korelasi isotop stabil ^{18}O dan ^2H menunjukkan seluruh air yang berasal dari mata air panas di Komplek Gunungapi Slamet berada di sebelah kanan dari garis air meteorik lokal sebagai indikasi adanya pergeseran (*shifting*) posisi isotop oksigen ke sebelah kanan garis air meteorik lokal (pergeseran positif) yang menunjukkan sistem panas bumi Slamet relatif tua yang telah mengalami interaksi sangat intensif.

Tabel 2.2 Data isotop ^{18}O dan Deuterium dari Air Panas Daerah Panas Bumi G. Slamet (Sumber : PT. Trinergy)

No	Lokasi	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (D) (‰)
1	Air Panas Pancuran 7	$-6,02 \pm 0,1$	$-40,3 \pm 0,4$
2	Air Panas Pancuran 3	$-6,40 \pm 0,1$	$-39,1 \pm 0,4$
3	Air Dingin Kalipagu	$-7,01 \pm 0,1$	$-44,3 \pm 0,4$
4	Air Panas Pancuran 13	$-6,91 \pm 0,1$	$-44,7 \pm 0,4$
5	Air Panas Cahaya	$-6,12 \pm 0,1$	$-41,1 \pm 0,4$
6	Air Panas Sigedong	$-6,62 \pm 0,1$	$-41,0 \pm 0,4$
7	Air Dingin Sigedong	$-7,76 \pm 0,1$	$-48,0 \pm 0,4$

3. Penyelidikan yang telah dilakukan Direktorat Vulkanologi

- a. Data geokimia daerah panas bumi Guci didominasi oleh air klorida bikarbonat, dan berada pada zona *immature water* yang berarti telah terpengaruh oleh air permukaan (meteorik). Temperatur fluida bawah permukaan yang ditaksir dengan geotermometri Na-K di air panas Sigedong mencapai suhu sekitar 219°C (Muksin, 1991).

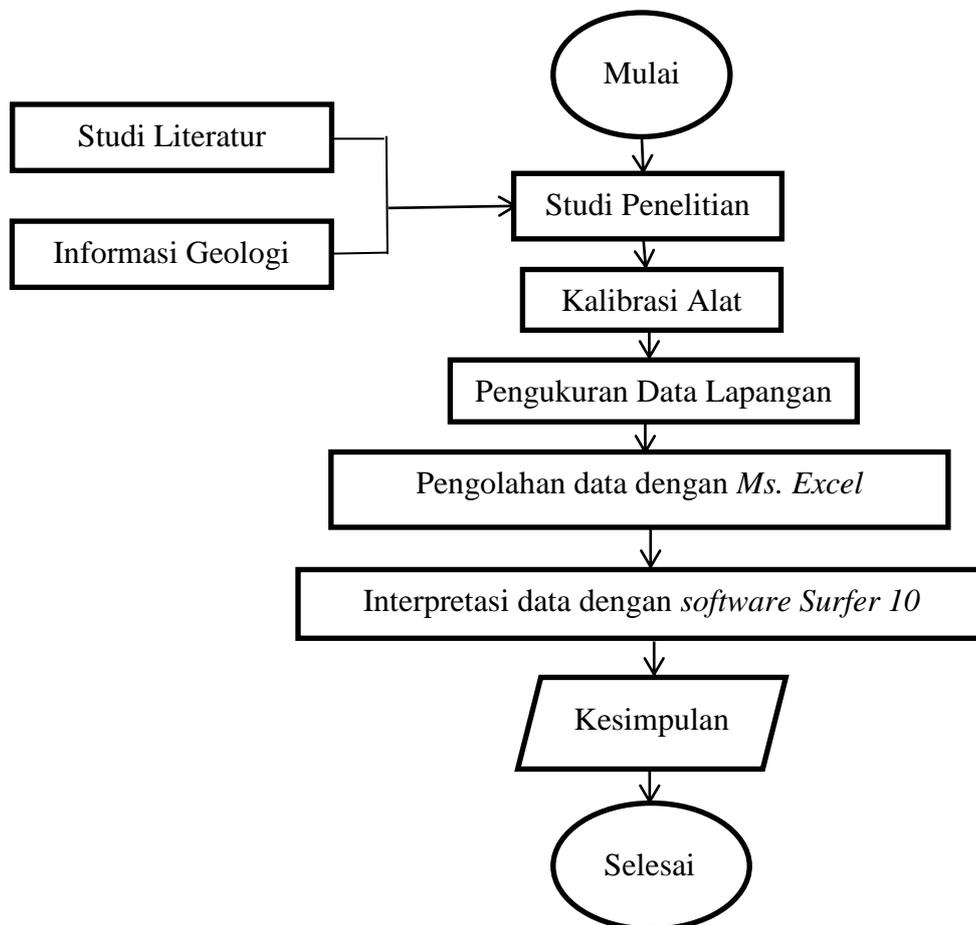
- b. Data geofisika menunjukkan nilai tahanan jenis rendah di sekitar air panas Guci yang menyebar ke arah barat laut dengan nilai tahanan jenis <25 Ohm-m, seluas kurang lebih 5 km^2 . Potensi energi yang mungkin tersimpan dalam sistem panas bumi di daerah ini kurang lebih 100 MW (Andan, 1992).
- c. Data geosains di atas diperkuat oleh data landaian suhu sebesar 27°C per 210 m; dengan kata lain besarnya landaian suhu di daerah Guci ini sebesar 12.9°C per 100 m kedalaman atau sebesar 4 kali nilai landaian suhu normal (Widodo, 1997).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

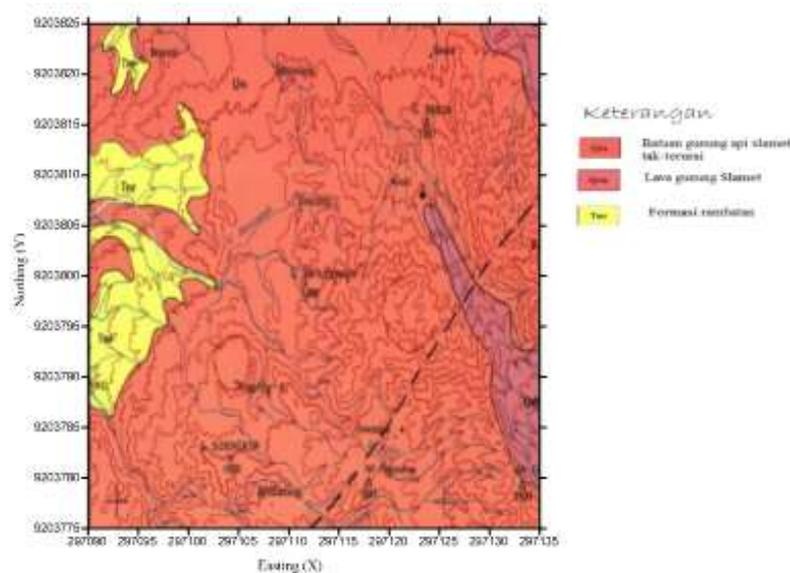
Metode *Self Potential* (SP) merupakan suatu metode survei geofisika yang dapat dimanfaatkan untuk mengeksplorasi sumber daya alam bawah permukaan. Pada penelitian menggunakan metode SP ini secara garis besar dapat digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Daerah prospek panas bumi dibuktikan dengan adanya manifestasi panas bumi permukaan. Lokasi yang menjadi target penelitian SP ini merupakan daerah manifestasi panas bumi di dekat Gunung Slamet. Keberadaan manifestasi panas bumi tersebut didukung dengan adanya sumber air panas di daerah obyek wisata Guci. Secara administratif lokasi penelitian meliputi wilayah Kab. Pemalang, Kab. Banyumas, Kab. Brebes, Kab. Tegal dan Kab. Pabalingga. Lokasi penelitian dapat ditunjukkan pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

Batuan yang mendasari lapangan panas bumi Guci adalah batuan sedimen berumur Tersier, Formasi Rambatan, terdiri dari serpih, napal dan batu pasir gampingan. Batuan produk Gunungapi Slamet yang tertua adalah Aliran Lava Gunung Slamet, yang terdiri dari Lava Gunung Sembung, dan Lava Gunung Mingkrik.

3.3 Alat dan Bahan

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi peralatan penelitian yang digunakan di lapangan maupun di laboratorium. Peralatan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

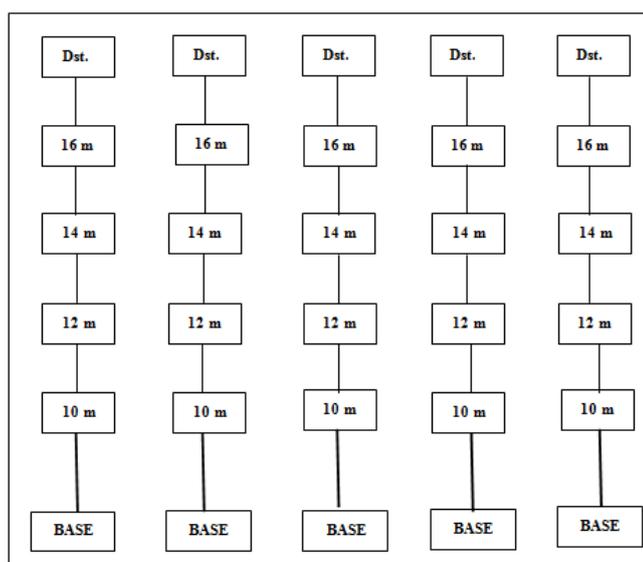
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

No.	Nama Alat dan Bahan	Jumlah
1	Elektroda pot berpori, dari kawat tembaga yang dibungkus dalam keramik gerabah dengan ukuran diameter dalam 5 cm dan panjang 10 cm	30 buah
2	Kabel Konektor, panjang 50 cm	30 buah
3	Kabel Gulung, panjang 200 m	2 buah
4	Capit Buaya	30 buah
5	Kristal CuSO_4	5 kilogram
6	Akuades	2 galon
7	Peta Geologi	1 set
8	Digital milivoltmeter	2 buah
9	Rol meter, panjang 100 m	1 buah
10	<i>Global Positioning System (GPS)</i>	1 buah
11	Laptop atau Personal Computer (PC)	1 set
12	<i>Software Ms. Excel</i>	1 paket
13	<i>Software Surfer 10</i>	1 paket
14	Alat Tulis	1 set

3.4 Akuisisi Data

3.4.1 Desain Survei Penelitian

Sebelum melakukan penelitian kita harus membuat desain survei penelitian di lapangan pengukuran. Desain penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Desain survei penelitian

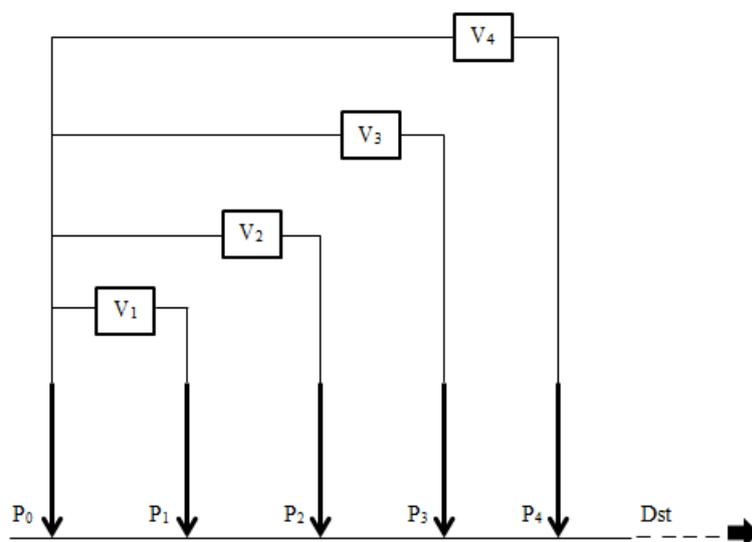
3.4.2 Kalibrasi Alat

Tujuan kalibrasi alat adalah untuk memperoleh data lapangan yang akurat. Kalibrasi elektroda non polarisasi dilakukan dengan cara menanam kedua elektroda ke tanah dengan jarak yang relatif dekat (10 cm). Kemudian nilai potensial diukur dengan hasil yang diperoleh harus ≤ 2 millivolt. Apabila nilai potensial ≥ 2 millivolt, maka kedua elektroda pot berpori harus dibersihkan, kemudian diisi kembali dengan larutan CuSO_4 dengan konsentrasi yang sama di antara kedua elektroda tersebut. Hal ini akibat elektroda pot berpori tidak bersih atau larutan bocor.

3.4.3 Pengukuran Data Lapangan

Pengukuran data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *digital milivoltmeter*. Jumlah titik pengukuran dalam daerah penelitian adalah 100 titik, dengan jarak rata-rata antar titik adalah 2 meter. Titik referensi diletakkan di luar daerah penelitian pada jarak kira-kira 10 meter.

Untuk memperoleh peta sebaran isopotensial di lokasi penelitian, maka titik pengukuran SP diusahakan disebar dalam bentuk grid atau lintasan yang teratur (Revil and Hubard, 2009). Konfigurasi elektroda yang digunakan adalah model konfigurasi elektroda tetap yaitu dengan menjaga satu elektroda tetap di titik referensi, sedangkan elektroda lainnya bergerak setiap interval tertentu sesuai arah lintasan seperti gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Teknis pengukuran data dalam metode *self potential* dengan konfigurasi elektroda tetap.

Tabel 3.2 Form Data Penelitian Potensial Diri

Titik ke	Jarak (m)	Elektroda ke	UTM X	UTM Y	Elevasi (mdpl)	SP (mV)
0	0	1	...	...	...	...
1	10	2	...	...	...	...
2	12	3	...	...	...	...
3	14	4	...	...	...	...
Dst	Dst	Dst	Dst	Dst	Dst	Dst

3.4.4 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dilapangan adalah nilai potensial antara 2 elektroda yang terbaca pada *digital milivoltmeter*. Data potensial diri yang diperoleh di lapangan belum menunjukkan potensial di tempat itu, karena ada perbedaan harga di satu titik bila diukur secara berulang-ulang pada waktu yang berlainan. Data yang diperoleh dilapangan perlu dikoreksi variasi harian, koreksi topografi dan koreksi gangguan (*noise*). Data yang didapatkan dari pengukuran dirata-rata dan dikoreksi terhadap pembacaan awal. Dengan menganggap bahwa lintasan daerah pengukuran datar maka koreksi terhadap komponen topografi tidak dilakukan. Karena komponen potensial diri yang disebabkan oleh adanya mineral atau geotermal adalah komponen SPR, maka komponen lainnya harus dipisahkan. Cara pemisahan komponen SPR dari efek-efek lokal atau *noise* (SPN) dilakukan dengan cara *smoothing data* (penghalusan data). Penghalusan data untuk setiap lintasan dilakukan dengan menggunakan *software Excel*. Hasil dari penghalusan data tersebut merupakan komponen SPR atau data potensial diri terkoreksi. (Indriana, 2007). Data potensial yang telah terkoreksi diasumsikan sebagai data

potensial diri benda anomali, dalam hal ini reservoir panas bumi yang menjadi target penelitian ini.

3.4.5 Interpretasi Data

Data potensial diri yang telah dikoreksi diinterpretasikan secara kualitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan *software Surfer 10*. Hasil keluaran *software Surfer 10* berupa peta kontur isopotensial.

3.5 Analisis Data Penelitian

Aliran panas bawah permukaan di daerah penelitian dapat dilakukan melalui koreksi terhadap data penelitian. Pengukuran metode SP di permukaan bumi merupakan hasil dari nilai potensial yang diukur dipermukaan. Analisis utama terhadap data penelitian adalah nilai potensial di sekitar pancuran tujuh obyek wisata Guci.

Interpretasi hasil analisis dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data, hasil penelitian-penelitian terdahulu dan informasi geologi di daerah penelitian dimana terdapat manifestasi panas bumi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Penelitian penentuan arah aliran fluida panas bawah permukaan telah dilakukan di daerah Obyek Wisata Guci menggunakan metode *self potential*. Berdasarkan peta kontur isopotensial, terlihat bahwa daerah penelitian merupakan zona konduktif, yang diduga berasal dari mineral sulfida dalam fluida panas. Hal ini terindikasi dengan rendahnya nilai potensial yang terukur secara numerik bernilai negatif. Nilai potensial yang tertinggi pada penelitian ini adalah 47,3 mV dan nilai potensial terendah -29,8 mV. Dari nilai sebaran potensial tersebut dapat diprediksi arah aliran fluida di daerah obyek wisata Guci mengarah dari Utara menuju Selatan mengikuti perubahan topografi daerah penelitian serta menyesuaikan dengan perubahan anomali potensial diri.

5.2 Saran

Studi panas bumi daerah penelitian memberikan kontribusi dalam rekomendasi potensial pengembangan daerah prospek panas bumi di Guci. Pemunculan manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas di daerah Guci dapat dimanfaatkan dalam skala kecil, misalnya sebagai pendukung geowisata dengan pengelolaan dan pemeliharaan ekosistem alam. Keberlangsungan sistem panas bumi di daerah ini perlu dijaga dengan memelihara daerah resapan sebagai penyedia sumber air ke bawah permukaan. Sumber air panas Guci yang belum terawat dengan baik dapat dikembangkan sebagai

pendukung daerah wisata Kabupaten Tegal karena memiliki prospek panas bumi yang besar berdasarkan hasil studi.

Penggunaan metode self potential dalam pengukuran pada studi metode geofisika sebaiknya menggunakan pengolahan data secara kuantitatif supaya lebih detail dan teliti. Untuk mengetahui potensi dan kondisi batuan lebih lengkap, maka perlu dilakukan penyelidikan geofisika dengan metode Magnetotelluric (MT).

DAFTAR PUSTAKA

- Adeyemi, A.A., Idornigie, A.I., & Olorunfemi, M.O. 2006. Spontaneous Potential and Electrical Resistivity Response Modelling for a Thick Conductor. *Journal of Applied Science*.
- Andan, A. 1992. Laporan Penyelidikan Geolistrik Daerah Panas Bumi Guci – Bumi Jawa. Direktorat Vulkanologi.
- Anonim. 2010. *Gunung Slamet*. Wikimedia Project. Sumber: <http://id.wikipedia.org>.
- Djuri, M. 1975. Geologic map of the Purwokerto and Tegal quadrangles, Java, Quadrangles: IOXXN-C & 10/XIII-F. *Geological Survey of Indonesia*.
- Fithria, N. 2012. Identifikasi Aliran Air Injeksi Di Lapangan Talang Jimar Region Sumatra Menggunakan Metode Spontaneous Potential. *Berkala Fisika*. ISSN: 1410-9662. Vol. 15, No. 3, Juli 2012, hal 95-100.
- Gaffar, E. Z., D.D. Wardhana dan D.S.Widarto. Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran, Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panas bumi. *Jurnal Meterologi dan Geofisika* 8(2): 101-119.
- Hamzah, M., Djoko, S., Wahyudi, W.P., & Budi, S. 2008. Deteksi Aliran Air dalam Media Pori Pemodelan Fisik dengan Metode Self Potential, *Prosiding*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung. 17-18 November 2008.
- Hasan, M.H., T.M.I. Mahlia, & H. Nur. 2012. A review on Energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 16(1): 2316-2328.
- Hendrajaya, L. dan Arif, I. 1988. *Geolistrik Tahanan Jenis*. Laboratorium Fisika Bumi. Jurusan FMIPA. ITB. Bandung.
- Hochstein, M.P. 1990. *Classification and Assessment of Geothermal Resources*. In: Dockson M.H. dan Fanelli M. (eds) Small Geothermal Resources. UNITAR/UNDP Centre for Small Energy Resources. Rome, Italy.
- Indriana, R.D., Nurwidyanto, M.I., & Haryono, K.W. 2007. Interpretasi Bawah Permukaan dengan Metode *Self Potential* Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan, *Berkala Fisika*. ISSN : 1410 – 9662. Vol 10, No.3, Juli 2007, hal. 155-167.
- Ishido, T., Nishi, Y., Pritchett, J.W. 2010. Application of Self- Potential Measurements to Geothermal Reservoir Engineering: Characterization

- of Fractured Reservoirs. *Proceedings*. Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University. Stanford. California. February 1-3, 2010.
- Kartini dan Danusaputro, H. 2005. Estimasi Penyebaran Polutan dengan Metode Self Potential (Studi Kasus TPA Jatibarang Kecamatan Mijen Kabupaten Semarang). *Jurnal Ilmiah*, Berkala Fisika ISSN : 1410 – 9662. Vol.8, No.1, Januari 2005, hal. 27-32.
- Muhsin, M.C. 1991. Laporan Penyelidikan Geokimia Daerah Panas Bumi Gunung Slamet. Direktorat Vulkanologi.
- Naudet, V., Revil, A., Rizzo, E., Bottero, J.Y., & Begassat, P. 2004. Groundwater Redox Conditions and Conductivity in a Contaminant Plume from Geoelectrical Investigations. *Journal of Hydrology and Earth Science*. 8(1), 8 – 22. France.
- Republika Online. 2009. Banyumas akan Miliki PLTU Panas Bumi. Senin, 25 Mei 2009. Sumber: <http://koran.republika.co.id>.
- Revil and Hubbard, S. 2009. *Self- Potential and Induced Polarization: Geophysical Tools to Map Flowpaths and monitor Contaminant Plumes*. Department of Geophysics. Colorado Schools of Mines, U.S.
- Reynolds and John M. 1998. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. New York: John Wiley & Sons. 8: 493-494.
- Royana, R. 2013. *Panduan Kelestarian Ekosistem untuk Pemanfaatan Panas bumi*. Jakarta: WWF-Indonesia.
- Saptadji, N. M. 2009. *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*. Bandung : ITB.
- Sato and Money. 1960. *the Electrochemical Mechanism of Sulphida Self Potential*. *Geophysics*. Vol.XXV, p. 226- 246.
- Satou, S., Shimada, J., & Goto, T.N. 2004. Use of Self-potential (SP) Method to Understand the Regional Groundwater flow System. *Poster*. Kumamoto University. Japan.
- Sehah dan Raharjo, S.A. 2011. Survei Metode *Self Potential* Menggunakan Elektroda Pot Berpori untuk Mendeteksi Aliran Fluida Panas Bawah Permukaan Di Kawasan Baturaden Kabupaten Banyumas Jawa Tengah. *Jurnal Fisika FLUX*. Vol. 8 No. 1, Februari 2011, hal. 7-21.
- Setiawan, S. 2013. Energi Panas Bumi Dalam Kerangka MP3EI: Analisis terhadap Prospek, Kendala, dan Dukungan Kebijakan. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, 10(1) 1-30.

- Simanjutak, J. dan Widodo S. 1997. Laporan Pemboran Landaian Suhu dan Pengukuran Landaian Suhu Daerah Panas Bumi Guci Kaki Barat Laut Gunung Slamet. Direktorat Vulkanologi.
- Suhanto, E dan Bakrun. 2005. *Penyelidikan Geolistrik Tahanan Jenis di Daerah Panasbumi Pincara Kabupaten Masamba Sulawesi Utara*. Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panasbumi.
- Surmayadi, M. 2014. Geokimia Panas Bumi Gunungapi Slamet Jawa Tengah. Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi. Bandung 24 Mei 2014.
- Telford, W.M., Gedaart, L.P., & Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge. New York.
- Utama, A.P., A. Dwinanto, J. Situmorang, M. Hikmi, & R. Irsamukhti. 2012. Green Field Geothermal Systems in Java, Indonesia. *Proceedings^{1st} Geothermal Workshop*. Bandung: ITB.
- Vichabian, Y. & Morgan, F.D. 2002. *Self Potentials in Cave Detection*, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. Massachusetts. U.S.
- Wahyudi. 2005. Kajian Potensi Panas Bumi dan Rekomendasi Pemanfaatannya pada Daerah Prospek Gunungapi Ungaran Jawa Tengah. *Makalah*: 41-49. Yogyakarta: UGM.
- Yunginger, R., L. O. Ngkoimani, & A. Zainuri. 2012. *Kajian Prospek Energi Panas Bumi Di Propinsi Gorontalo Sebagai Sumber Energi Listrik Yang Ramah Lingkungan*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Zarkasyi, A., Y. Rezky dan M. Nurhadi. 2011. Keprospekan Panas bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosain Terpadu. *Buletin Sumber Daya Geologi* 6 (3): 23-29.

Lampiran I. Data Pengamatan

Lintasan 1

Titik ke	Jarak (m)	Elektroda ke	UTM X	UTM Y	Elevasi	SP (mV)
0	0	1	297091	9203824	1284	1.3
1	10	2	297093	9203821	1284	-3.9
2	12	3	297093	9203820	1284	6.6
3	14	4	297092	9203816	1284	-0.5
4	16	5	297094	9203814	1284	3.5
5	18	6	297094	9203813	1284	-1.8
6	20	7	297094	9203810	1284	7.6
7	22	8	297091	9203808	1284	-8.8
8	24	9	297090	9203807	1284	3.9
9	26	10	297093	9203803	1284	-3.8
10	28	11	297092	9203799	1284	4.9
11	30	12	297092	9203798	1284	-4.4
12	32	13	297094	9203796	1284	6.2
13	34	14	297092	9203794	1284	-6.7
14	36	15	297092	9203792	1284	2.5
15	38	16	297092	9203790	1284	-3.3
16	40	17	297093	9203788	1284	3.9
17	42	18	297094	9203788	1284	-3.7
18	44	19	297094	9203786	1284	0.5
19	46	20	297095	9203783	1284	-0.2
20	48	21	297095	9203782	1284	-10.1

Lintasan 2

Titik ke	Jarak (m)	Elektroda ke	UTM X	UTM Y	Elevasi	SP (mV)
0	0	1	297102	9203819	1247	14.3
1	10	2	297100	9203819	1247	-10.4
2	12	3	297100	9203817	1247	11.7
3	14	4	297100	9203816	1247	-13.4
4	16	5	297100	9203813	1247	23.3
5	18	6	297098	9203809	1247	-20.4
6	20	7	297098	9203806	1247	13.3
7	22	8	297098	9203804	1247	-16.8
8	24	9	297096	9203802	1247	9.6

9	26	10	297098	9203802	1247	-0.1
10	28	11	297099	9203802	1247	14.2
11	30	12	297099	9203801	1247	-10.5
12	32	13	297099	9203797	1247	17.3
13	34	14	297098	9203795	1247	-19.7
14	36	15	297098	9203792	1247	18.5
15	38	16	297098	9203790	1247	-20.1
16	40	17	297099	9203787	1247	26.2
17	42	18	297098	9203785	1247	-28.6
18	44	19	297097	9203784	1247	1.4
19	46	20	297100	9203784	1247	-7.6
20	48	21	297100	9203782	1247	10.5

Lintasan 3

Titik ke	Elektroda (m)	Elektroda ke	UTM X	UTM Y	Elevasi	SP (mV)
0	0	1	297108	9203822	1247	19.5
1	10	2	297107	9203821	1247	-17.5
2	12	3	297107	9203820	1247	16.7
3	14	4	297109	9203817	1247	21.7
4	16	5	297109	9203814	1247	-12.7
5	18	6	297109	9203811	1247	12
6	20	7	297110	9203809	1247	-8.4
7	22	8	297110	9203806	1247	14.3
8	24	9	297109	9203803	1247	-11.9
9	26	10	297109	9203800	1247	11.1
10	28	11	297109	9203799	1247	-11.3
11	30	12	297109	9203796	1247	14
12	32	13	297109	9203795	1247	47.3
13	34	14	297110	9203792	1247	8.6
14	36	15	297111	9203790	1247	-13.9
15	38	16	297110	9203788	1247	15.9
16	40	17	297111	9203785	1247	-10.4
17	42	18	297110	9203784	1247	19.5
18	44	19	297110	9203782	1247	-10.4
19	46	20	297110	9203780	1247	2.8
20	48	21	297110	9203778	1247	12.2

Lintasan 4

Titik ke	Elektroda (m)	Elektroda ke	UTM X	UTM Y	Elevasi	SP (mV)
0	0	1	297123	9203817	1247	5.4
1	10	2	297123	9203816	1247	-12.5
2	12	3	297124	9203813	1247	5.4
3	14	4	297124	9203811	1247	-1.7
4	16	5	297125	9203809	1247	1.8
5	18	6	297114	9203807	1247	0
6	20	7	297125	9203805	1247	0.5
7	22	8	297122	9203804	1247	-0.3
8	24	9	297121	9203801	1247	0.3
9	26	10	297121	9203799	1247	-1.5
10	28	11	297121	9203797	1247	1
11	30	12	297120	9203795	1247	-5.4
12	32	13	297119	9203793	1247	5.4
13	34	14	297119	9203791	1247	-5
14	36	15	297118	9203790	1247	-29.2
15	38	16	297119	9203789	1247	26.5
16	40	17	297119	9203787	1247	-26
17	42	18	297118	9203784	1247	33.7
18	44	19	297118	9203781	1247	-29.8
19	46	20	297118	9203779	1247	30.2
20	48	21	297110	9203778	1247	-29.2

Lintasan 5

Titik ke	Elektroda (m)	Elektroda ke	UTM X	UTM Y	Elevasi	SP (mV)
0	0	1	297131	9203816	1247	16.8
1	10	2	297128	9203813	1247	-7.1
2	12	3	297128	9203811	1247	4.1
3	14	4	297128	9203809	1247	21.7
4	16	5	297127	9203807	1247	-15.5
5	18	6	297127	9203806	1247	25.9
6	20	7	297127	9203803	1247	-24.3
7	22	8	297128	9203800	1247	10.1
8	24	9	297127	9203799	1247	-20.1
9	26	10	297128	9203798	1247	9
10	28	11	297127	9203795	1247	-10.3
11	30	12	297126	9203793	1247	10.6

12	32	13	297128	9203791	1247	-10.3
13	34	14	297128	9203789	1247	9
14	36	15	297128	9203788	1247	-19.5
15	38	16	297128	9203785	1247	17.9
16	40	17	297128	9203783	1247	-14.2
17	42	18	297128	9203782	1247	0.4
18	44	19	297128	9203779	1247	-11.9
19	46	20	297127	9203776	1247	11.1
20	48	21	297127	9203775	1247	4.1

Lampiran II. Dokumentasi Penelitian





Lampiran III. Surat Keputusan Dosen Pembimbing



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**
Nomor: 653/P/2014
Tentang
**PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2014/2015**

- Menimbang : Bahwa untuk memper lancar mahasiswa Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 76)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
- Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Tanggal 22 Oktober 2014

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

PERTAMA :

Menunjuk dan menugaskan kepada:

1. Nama : Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP : 196505181991021001
Pangkat/Golongan : IV/A
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing I

2. Nama : Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP : 196807141996031005
Pangkat/Golongan : III/C
Jabatan Akademik : Lektor
Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

Nama : NADINE VAIDILA
NIM : 4211411043
Jurusan/Prodi : Fisika/Fisika

Topik : Potensi Panas Bawah Permukaan di Obyek Wisata Guci

KEDUA :

Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal



DITETAPKAN DI : SEMARANG
TANGGAL : 23 Oktober 2014



4211411043

FM-03-AKD-24/Rev. 00