

**IDENTIFIKASI JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAAN
DAERAH SUMBER AIR PANAS DENGAN MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK
(STUDI KASUS PANASBUMI DAERAH TIRIS,
KABUPATEN PROBOLINGGO JAWA TIMUR)**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

Oleh:

**LAELAH HILALIYAH ISTIGHFAROH
0910930009**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**IDENTIFIKASI JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAN
DAERAH SUMBER AIR PANAS DENGAN MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK
(STUDI KASUS PANASBUMI DAERAH TIRIS,
KABUPATEN PROBOLINGGO JAWA TIMUR)**

Oleh :

**LAELAH HILALIYAH ISTIGHFAROH
0910930009**

Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Sukir Maryanto, Ph.D.
NIP. 197106211998021001

Fajar Rakhmanto, M.Si.

**Mengetahui,
an. Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Brawijaya
Sekretaris**

Dr. Rer. Nat. Abdurrouf, S.Si., M.Si.
NIP. 197209031994121001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Laelah Hilaliyah Istighfaroh

NIM : 0910930009

Jurusan : Fisika

Penulis skripsi berjudul :

**IDENTIFIKASI JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAN
DAERAH SUMBER AIR PANAS DENGAN MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK
(STUDI KASUS PANASBUMI DAERAH TIRIS,
KABUPATEN PROBOLINGGO JAWA TIMUR)**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang,.....

Yang menyatakan,

Laelah Hilaliyah Istighfaroh

NIM. 0910930009

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**IDENTIFIKASI JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAN
DAERAH SUMBER AIR PANAS DENGAN MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK
(STUDI KASUS PANASBUMI DAERAH TIRIS,
KABUPATEN PROBOLINGGO JAWA TIMUR)**

ABSTRAK

Telah dilaksanakan penelitian tentang pendugaan lapisan bawah permukaan potensi panasbumi di kawasan Tiris-Probolinggo. Penelitian ini bertujuan mengetahui variasi nilai resistivitas batuan dan struktur lapisan batuan bawah permukaan serta mempelajari sebaran pola aliran fluida panas. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Dipole-dipole pada 4 titik lintasan penelitian.

Dari pengolahan data 2D menunjukkan bahwa nilai resistivitas lapisan bawah permukaan dari keempat lintasan berkisar $0.80 \Omega\text{m}$ - $14245 \Omega\text{m}$. Litologi bawah permukaan lintasan 1 dan lintasan 4 memiliki batuan yang sama yaitu lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava dan basal. Litologi pada lintasan 2 dan lintasan 3 memiliki batuan yang sama yaitu lempung, pasir, breksi vulkanik dan tuff. Dari hasil pengolahan 3D juga dapat diestimasi bahwa pola aliran fluida panas berasal dari arah timur laut gunung Lamongan. Batuan pembawa sumber air panas yaitu berupa batuan pasir, sedangkan batuan penghantar panasnya yaitu berupa batuan breksi vulkanik.

Kata Kunci : Panasbumi Tiris-Probolinggo, resistivitas, konfigurasi Dipole-dipole, litologi batuan

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



IDENTIFICATION OF ROCKS IN THE SUBSURFACE OF HOT SPRING AREA BY USING GEOELECTRIC METHOD (CASE STUDY OF TIRIS GEOTHERMAL FIELD, PROBOLINGGO REGENCY EAST JAVA)

ABSTRACT

A geothermal research to estimate layer at the prospecting area of geothermal Tiris-Probolinggo has been conducted. The goals were to find out the variation of rock resistivity layer litology subsurface and to determine the pattern of hot fluid flow. The data was taken by using resistivity method with Dipole-dipole configuration in 4 research area.

Based on 2D modelling it can be found anomaly at research is about $0.80 \Omega\text{m} - 14245 \Omega\text{m}$. The litology of layer structure subsurface first and fourth area had similar contains such as clay, sand, volcanic breccia, tuff, lava and basalt. The litology for the second and third area had similar contains such as are clay, sand, volcanic breccia and tuff. Based on 3D modelling, it can be estimated that the pattern of hot fluid flow is originated the northeast Lamongan mountain. Hot spring carrier rock is sandstone, while the heat conductor rock is volcanic breccia.

Keywords : Geothermal Tiris-Probolinggo, resistivity, Dipole-dipole configuration, litology of rock

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Puji syukur hanya untuk Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya akhirnya penulis dapat menyelesaikan Skripsi.

“IDENTIFIKASI JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAN DAERAH SUMBER AIR PANAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK (STUDI KASUS PANASBUMI DAERAH TIRIS, KABUPATEN PROBOLINGGO JAWA TIMUR)” dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Dalam penulisan dan proses pengambilan data untuk kelancaran skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Erik Wahyudi suamiku tercinta telah memberikan motivasi dan membantu dari awal sampai akhir dari pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak, Mama dan Adikku tersayang serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan bantuan serta motivasi untuk penulis.
3. Bapak Drs. Adi Susilo. M.Si., Ph.D., selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya yang telah berkenan memberi izin dalam pelaksanaan TA.
4. Sukir Maryanto, Ph.D., selaku dosen pembimbing I sekaligus Kepala Laboratorium Geofisika Universitas Brawijaya telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan serta arahan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Fajar Rakhmanto, M.Si., selaku dosen pembimbing II telah memberikan arahan dan nasehat dalam penyelesaian skripsi ini, serta telah membantu dalam pengambilan data di lapangan.
6. Dosen – dosen dan staf Jurusan Fisika atas ilmu dan pelayanan akademik yang diberikan selama ini kepada penulis.
7. Barika Novanta, Affandi, Nella Fernania, Tika Yulia, Ika serta Selly yang telah membantu kelancaran pengambilan data di lapangan.
8. Seluruh teman-teman Fisika Universitas Brawijaya terutama Fisika 2009, terima kasih atas semua dukungan, doa dan saran bagi penulis.
9. Pihak-pihak lain yang terlibat dalam penelitian ini, terima kasih dan mohon maaf jika tidak dapat menyebutkan satu persatu oleh penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun sehingga dapat menjadikan penulisan skripsi ini lebih bermanfaat. Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca.



Malang, Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Tanah.....	5
2.2 Panasbumi.....	8
2.3 Sistem Panasbumi Di Indonesia.....	10
2.4 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	12
2.5 Citra Temperatur Permukaan Panasbumi Tiris.....	14
2.6 Metode Tahanan Jenis (Resistivitas).....	15
2.6.1 Potensial listrik dalam medium homogen.....	17
2.6.2 Potensial pada elektroda arus tunggal dipermukaan bumi.....	20
2.6.3 Potensial pada dua elektroda arus di permukaan bumi.....	20
2.6.4 Resistivitas semu (<i>Apparent resistivity</i>).....	21
2.6.5 Metode geolistrik konfigurasi Dipole-dipole.....	22
2.6.6 <i>Pseudodepth section</i>	24
2.6.7 Resistivitas batuan.....	25
BAB III METODOLOGI.....	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.2 Peralatan Penelitian.....	29
3.3 Bentuk Penelitian.....	30
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	31
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Hasil dan Pembahasan.....	35
4.2 Interpretasi Permodelan Resistivitas 2D (2 Dimensi)	37
4.3 Interpretasi Permodelan Resistivitas 3D (3 Dimensi)	41
4.4 Perbandingan dengan metode Gayaberat dan metode Magnetik	46
4.5 Indikasi Manifestasi Panasbumi Daerah Tiris.....	52
BAB V PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Skema terjadinya sistem panasbumi.	9
Gambar 2. 2	Peta Geologi daerah Probolinggo.....	12
Gambar 2. 3	Model Tentatif panasbumi Tiris.....	13
Gambar 2.4	Citra sebaran panas permukaan bumi daerah Tiris, Probolinggo dan sekitarnya; daerah A dan B adalah daerah titik panasbumi yang berasosiasi dengan potensi energi panasbumi.....	14
Gambar 2. 5	Konfigurasi Dipole-dipole	16
Gambar 2. 6	Potensial disekitar titik arus di dalam bumi	17
Gambar 2. 7	Aliran arus dan bidang ekuipotensial oleh satu titik sumber pada permukaan bumi homogen.....	20
Gambar 2. 8	Potensial pada dua elektroda arus di permukaan bumi ..	21
Gambar 2. 9	Konsep resistivitas semu	22
Gambar 2. 10	Metode pengukuran geolistrik Dipole-dipole, $n = 1,2,...N$	23
Gambar 2. 11	Susunan <i>pseudodepth section</i> Dipole-dipole.	24
Gambar 3. 1	Peta lokasi akuisisi data	29
Gambar 3. 2	Peralatan survei geolistrik.....	30
Gambar 3. 3	Desain pengambilan data geolistrik resistivitas	31
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 4. 1	Bentangan lintasan penelitian.....	36
Gambar 4. 2	Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 1.	38
Gambar 4. 3	Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 2.	39
Gambar 4. 4	Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 3.	40
Gambar 4. 5	Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 4.	40
Gambar 4.6	Model 3 dimensi lapisan batuan daerah sumber air panas Tiris.....	42
Gambar 4.7	Sayatan penampang melintang AA', BB', dan CC' pada permodelan metode Gayaberat.....	46
Gambar 4.8	<i>Overlay</i> model penampang melintang lintasan AA' pada metode Gayaberat dengan lintasan 1 dan 3 pada metode Geolistrik.....	47
Gambar 4. 9	<i>Overlay</i> model penampang melintang lintasan BB' pada	

	metode Gayaberat dengan lintasan 2 dan 4 pada metode Geolistrik.....	48
Gambar 4. 10	Sayatan penampang melintang AA', BB' dan CC' pada permodelan metode Magnetik	49
Gambar 4. 11	<i>Overlay</i> model penampang melintang lintasan AA' pada metode Magnetik dengan lintasan 1 dan 3 pada metode Geolistrik.....	50
Gambar 4. 12	<i>Overlay</i> model penampang melintang lintasan BB' pada metode Magnetik dengan lintasan 2 dan 4 pada metode Geolistrik.....	51
Gambar 4. 13	Manifestasi sumber air panas Tiris.....	53



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Porositas dan Permeabilitas Batuan	7
Tabel 2. 2	Besar tahanan jenis dari berbagai macam air dan batuan secara umum sebagai patokan kualitatif	25
Tabel 2. 3	Kisaran nilai resistivitas beberapa jenis batuan vulkanik ..	26
Tabel 2. 4	Nilai resistivitas jenis batuan/tanah/air.....	26
Tabel 3. 1	Tabel pengambilan data.....	32
Tabel 4. 1	Posisi sumber air panas daerah Tiris.....	54
Tabel 4. 2	Suhu permukaan manifestasi panasbumi Gunungapi Ijen.....	55
Tabel 4. 3	Suhu permukaan manifestasi panasbumi Gunungapi - ArjunoWelirang.....	55
Tabel 4. 4	Suhu permukaan manifestasi panasbumi lereng Gunungapi Wilis.....	55



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Permodelan 3 dimensi pada tiap lintasan.....	63
Lampiran 2. Peta geologi lembar Probolinggo.....	67
Lampiran 3. Akuisisi data penelitian	69
Lampiran 4. Manifestasi sumber air panas	70
Lampiran 5. Lokasi daerah penelitian	71

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi panasbumi merupakan energi yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung di dalamnya. Panasbumi bersumber dari batuan-batuan penyusun bumi yang khususnya terletak di daerah gunungapi.

Di negara Indonesia potensi panasbumi sangat berlimpah yaitu 29.000 MW atau sekitar 40% dari total panasbumi di dunia, dikarenakan negara Indonesia merupakan negara yang berpotensi gunung berapi tinggi akan tetapi sangat minim sekali pemanfaatannya baru sekitar 1.375 MW yang dikembangkan menjadi listrik hingga akhir tahun kemarin (Wahyuni, 2012).

Salah satu potensi sumber energi panasbumi yang ada di Jawa Timur yaitu di daerah sumber air panas yang memiliki potensi sebesar 147 MW terletak di Desa Segaran, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo. Wilayah panasbumi Desa Segaran ini berada di kaki G. Lamongan dan dekat dengan G. Argopuro. Dalam pemanfaatan sumber energi panasbumi tersebut, Pemerintah Provinsi Jawa Timur telah melakukan survei awal yaitu survei geologi, survei geokimia dengan data geologi bahwa manifestasi panasbumi Segaran berasal dari Gunung Argopuro, akan tetapi hal tersebut masih belum cukup bukti untuk menyatakan posisi sumber air panas tersebut karena hanya mengetahui dari kenampakan diatas permukaan tanah saja (Survei Geologi ESDM Jawa Timur dalam Martha, dkk., 2012).

Sebelumnya juga sudah dilakukan penelitian pada daerah manifestasi panasbumi pada tahun 2012 bertujuan untuk menentukan pola arah retakan dengan menggunakan metode Geolistrik *square array* dengan susunan elektroda berbentuk persegi dengan spasi jarak antar elektroda digunakan 5 meter dan 10 meter pada masing-masing 3 titik pengukuran di daerah selatan sungai Pekalen (kaki Gunung Lamongan). Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa sumber air panas di desa Segaran berasal dari zona lemah yang di terobos air yang diakibatkan oleh patahan yang mengarah sepanjang arah timur laut-barat daya yang dapat menggambarkan adanya retakan yang memotong Sungai Pekalen dengan adanya pola aliran sungai yang membelok (Martha, dkk., 2012).

Sedangkan pada penelitian ini akan dilakukan akuisisi data dengan menggunakan metode Geolistrik Resistivitas konfigurasi Dipole-dipole

untuk mengidentifikasi jenis batuan bawah permukaan bumi berdasarkan nilai resistivitas batuan serta pola arah aliran fluida panas yang memusat pada satu daerah dengan 2 titik sumber di kawasan manifestasi panasbumi di Desa Segaran, Kecamatan Tiris-Probolinggo.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana indikasi jenis batuan bawah permukaan di kawasan manifestasi panasbumi Tiris ?
2. Bagaimana pola aliran fluida panas di kawasan manifestasi panasbumi Tiris ?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian dibatasi pada beberapa hal berikut :

1. Metode yang digunakan yaitu geolistrik resistivitas konfigurasi dipole-dipole menggunakan Resistivitymeter merek OYYO TIPE McOhm-ELModel-2119D
2. Pengolahan data 2 dimensi menggunakan *software Res2dinv 3.54* dan permodelan 3 dimensi menggunakan *software Rockworks14*.
3. Pengolahan data dilakukan sampai menemukan pendugaan jenis batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas batuan dan indikasi aliran fluida panas disekitar pemandian air panas Tiris mencakup 2 sumber air panas Tiris di dusun Gudang.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menentukan jenis batuan bawah permukaan bumi dengan mengetahui besarnya resistivitas batuan di kawasan manifestasi panasbumi Tiris ?
2. Menentukan indikasi pola aliran fluida panas di kawasan manifestasi panasbumi Tiris ?

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai jenis batuan bawah permukaan dan indikasi aliran fluida

panas, serta sebagai pertimbangan bagi instansi terkait dalam pemanfaatan energi panasbumi di sekitar manifestasi panasbumi Tiris.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Tanah

Air tanah adalah air yang terdapat di dalam ruang butiran-butiran tanah maupun dalam retakan batuan. Hampir semua tanah merupakan dari daur hidrologi (Soemartono, 1987). Air tanah terbentuk dari air hujan yang meresap ke dalam tanah di daerah resapan (*recharge area*) dan mengalir melalui lapisan-lapisan batuan yang berfungsi sebagai lapisan pembawa air (akuifer) menuju daerah lepasan (*discharge area*). Air hujan sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan meresap kedalam tanah menjadi air tanah. Jumlah air yang meresap kedalam tanah dipengaruhi oleh kemiringan permukaan tanah (topografi), kondisi cuaca, porositas dan permeabilitas lapisan bumi serta jumlah vegetasi yang terdapat pada daerah tersebut (Sosrodarsono, 1983)

Sifat-sifat batuan yang mempengaruhi air tanah dapat dikelompokkan menjadi 4, yaitu:

a. *Aquifer*

Adalah air tanah yang berada dalam formasi geologi yang tembus air (*permeable*). Contoh: pasir, batupasir, kerikil dan batu gamping.

b. *Aquitar*

Adalah air tanah yang berada dalam formasi geologi yang bersifat setengah tidak tembus air (*semi impermeable*), dapat menyimpan air, tetapi hanya dapat mengalirkan air dalam jumlah terbatas. Contoh: pasir lempungan, batuan lempung pasiran, dan lempung pasiran.

c. *Aquiclude*

Adalah air tanah yang berada dalam formasi yang sama sekali tidak tembus air (*impermeable*), dimana formasi ini mengandung air tetapi tidak memungkinkan adanya gerakan air yang melaluinya. Contoh: lempung, lanau, tuff halus dan serpih.

d. *Aquifuge*

Adalah air tanah yang berada dalam formasi kedap air yang tidak mengandung atau mengalirkan air. Contoh: batuan beku yang padat (Soemartono, 1987).

Berdasarkan susunan lapisan geologi dan harga kelulusan air, corak akuifer dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu (Sosrodarsono, 1983):

1. Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*)
Akuifer yang muka air tanahnya merupakan bidang batas sebelah atas dari daerah jenuh air dan bagian bawahnya dibatasi oleh lapisan kedap air (*impermeable*).
2. Akuifer terkekang (*Confined Aquifer*)
Akuifer yang sepenuhnya jenuh air yang bagian bawah dan atasnya dibatasi oleh lapisan kedap air (*impermeable*) dan memiliki tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer.
3. Akuifer setengah terkekang (*Semi Confined Aquifer*)
Akuifer yang sepenuhnya jenuh air dengan bagian atas dibatasi oleh lapisan setengah kedap air (*semi impermeable*) dan bagian bawahnya terletak pada dasar yang kedap air (*impermeable*).
4. Akuifer menggantung
Merupakan akuifer yang memiliki massa tanah terpisah dari tanah induk oleh lapisan yang relatif kedap air yang begitu luas dan terletak diatas daerah jenuh.

Keadaan material bawah tanah sangat mempengaruhi aliran dan jumlah air tanah. Jumlah air tanah yang dapat disimpan dalam batuan dasar, sedimen dan tanah, sangat tergantung pada porositas bahan tersebut. Besarnya porositas dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran butir, susunan butiran, derajat sortasi dan derajat batuan sedimen.

Besar nilai porositas dan permeabilitas beberapa batuan ditunjukkan pada tabel 2.1:



Tabel 2.1 Porositas dan Permeabilitas Batuan (Seyhan, 1990).

Tippe Batuan	Porositas (%)	Koefisien Permeabilitas (m/hari)
Kerikil	25 – 35	100 – 1000
Pasir	30 – 40	5 – 40
Konglomerat	10 – 25	5 – 15
Loess	25 – 50	≈ 0.1
Batuan pasir (paras)	5 – 20	5 – 20
Batuan pasir dengan lipatan dan fraktur (patahan)	hingga 40	≥ 50
Batuan kapur dengan permeabilitas primer	20 – 35	± 25
Batuan kapur dengan permeabilitas sekunder	» 35	» 25

Sifat fisik batuan lainnya yang mempengaruhi jumlah air tanah adalah permeabilitas. Permeabilitas merupakan suatu ukuran kemudahan aliran melalui suatu media *porous*. Berdasarkan sifat permeabilitasnya, batuan dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu:

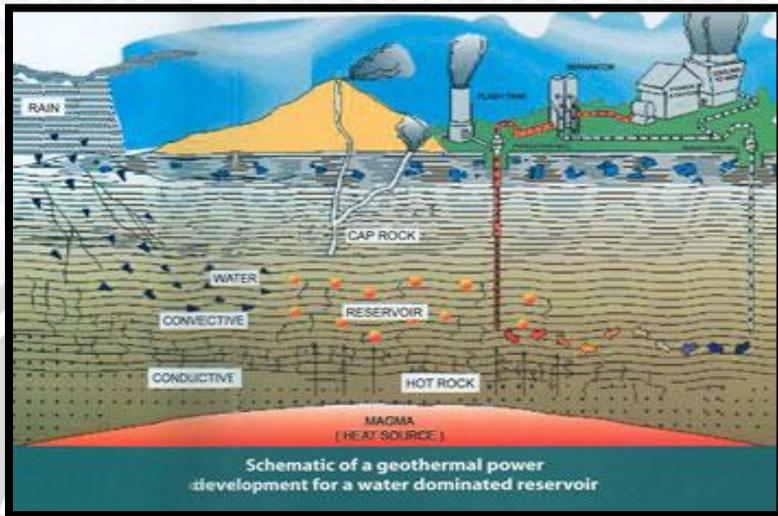
1. Lapisan serap air (*Permeable*)
Lapisan ini disusun oleh material kasar seperti pasir, kerikil dan kerakal yang mempunyai pori yang besar, sehingga air tanah akan mengalir dengan mudah.
2. Lapisan semi menyerap air (*Semi Permeable*)
Lapisan ini mempunyai kemampuan semi menyerap air, materialnya seperti pasir argullasis, tanah los, *peat* dan *fissured marl*.
3. Lapisan kedap air (*Impermeable*)
Lapisan ini mempunyai rongga yang sangat kecil sehingga air tidak dapat bergerak atau mengalir. Kejadian semacam ini terjadi pada lempung. Meskipun lempung mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyimpan air, tetapi karena porinya sangat kecil, maka air tidak dapat mengalir (Uchron, 2006).

2.2 Panasbumi

Secara umum, panasbumi (*geothermal*) didefinisikan sebagai panas yang berasal dari dalam bumi. Dalam Undang-undang Pasal 1 No. 27 tahun 2003, panasbumi didefinisikan sebagai sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panasbumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses pengembangan (Citrosiswoyo, 2008).

Energi panasbumi merupakan energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi. Dari sudut pandang geologi, sumber energi panasbumi berasal dari magma yang berada dalam bumi. Magma tersebut menghantarkan panas secara konduktif pada batuan disekitarnya. Panas tersebut juga mengakibatkan aliran konveksi fluida *hydrothermal* (air tanah yang terpanaskan) di dalam pori-pori batuan. Kemudian *hydrothermal* ini akan bergerak keatas namun tidak sampai ke permukaan karena tertahan oleh lapisan batuan yang bersifat impermeabel. Lokasi tempat terakumulasinya fluida *hydrothermal* disebut reservoir. Dengan adanya lapisan impermeabel tersebut, maka *hydrothermal* yang terdapat pada reservoir panasbumi terpisah dengan air yang berada di dalam tanah yang berada lebih dangkal. Berdasarkan hal-hal tersebut, maka secara umum sistem panasbumi terdiri dari tiga elemen: (1) batuan reservoir, (2) fluida reservoir, yang berperan menghantarkan panas kepermukaan tanah (3) batuan panas (*heat rock*) atau magma sebagai sumber panas (Goff and Cathy, 2000 dalam Suparno, 2009).





Gambar 2.1 Skema terjadinya sistem panasbumi (Anonimous, 2005).

Adanya suatu sistem *hydrothermal* di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panasbumi di permukaan, seperti mata air panas, kubang lumpur panas (*mud pools*), geysir dan manifestasi panasbumi lainnya, dimana beberapa diantaranya yaitu mata air panas. Manifestasi panasbumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau dari adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panasbumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (Gambar 2.1).

Berdasarkan pada jenis fluida produksi dan jenis kandungan fluida utamanya, sistem *hydrothermal* dibedakan menjadi dua, yaitu sistem satu fasa atau sistem dua fasa. Sistem dua fasa dapat merupakan sistem dominasi air atau sistem dominasi uap. Sistem dominasi uap merupakan sistem yang sangat jarang dijumpai dimana reservoir panasbuminya mempunyai kandungan fasa uap yang lebih dominan dibanding dengan fasa airnya. Rekahan umumnya terisi oleh uap dan pori-pori batuan masih menyimpan air. Reservoir air panasnya umumnya terletak jauh di kedalaman di bawah reservoir dominasi uapnya. Sistem dominasi air merupakan sistem panasbumi yang umumnya terdapat dunia dimana reservoirnya memiliki kandungan air yang sangat dominan walaupun "*boiling*" sering terjadi pada bagian atas reservoir membentuk lapisan penudung uap yang mempunyai temperatur dan tekanan tinggi (Saptadji, 2002).

2.3 Sistem Panasbumi Di Indonesia

Posisi kepulauan Indonesia yang terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar (Eurasia, Hindia Australia, Pasifik) menjadikannya memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Subduksi antara lempeng benua dan samudra menghasilkan suatu proses peleburan magma dalam bentuk *partial melting* batuan mantel dan magma mengalami diferensiasi pada saat perjalanan ke permukaan. Proses tersebut membentuk kantong-kantong magma (*silicic/basaltic*) yang berperan dalam pembentukan jalur gunungapi yang dikenal sebagai lingkaran api. Munculnya rentetan gunungapi Pasifik di sebagian wilayah Indonesia beserta aktivitas tektoniknya dijadikan sebagai model konseptual pembentukan sistem panasbumi Indonesia.

Berdasarkan asosiasi terhadap tatanan geologi, sistem panasbumi di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu :

- a. Sistem panasbumi vulkanik merupakan sistem panasbumi yang berasosiasi dengan gunungapi kuarter yang umumnya terletak pada busur vulkanik yang memanjang dari Sumatra, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, sebagian Maluku dan Sulawesi Utara. Pembentukan sistem panasbumi ini biasanya tersusun oleh batuan vukanik menengah (andesit-basaltis) hingga asam dan umumnya memiliki karakteristik reservoir ± 15 km.
- b. Sistem panasbumi vulkano-tektonik merupakan sistem yang berasosiasi antara graben dan kerucut vulkanik, umumnya ditemukan didaerah Sumatera pada jalur sistem sesar Sumatera (Sesar Semangko).
- c. Sistem panasbumi non-vulkanik merupakan sistem panasbumi yang tidak berkaitan langsung dengan vulkanisme dan umumnya berada diluar jaluk vulkanik Kuarter. Lingkungan non-vulkanik di Indonesia bagian barat pada umumnya tersebar di bagian timur Sunda *land* (paparan Sunda) karena pada daerah tersebut didominasi oleh batuan yang merupakan penyusun kerak benua Asia seperti batuan metamorf dan sedimen. Di Indonesia bagian timur lingkungan non-vulkanik berada di daerah lengan dan kaki Sulawesi serta daerah Kepulauan Maluku hingga Irian didominasi oleh batuan *granitic, metamorf* dan sedimen laut.

Pengelompokan tipe sistem panasbumi tersebut dapat memberikan estimasi awal besarnya potensi yang terkandung dalam suatu daerah panasbumi, serta dapat juga digunakan sebagai pedoman awal dalam

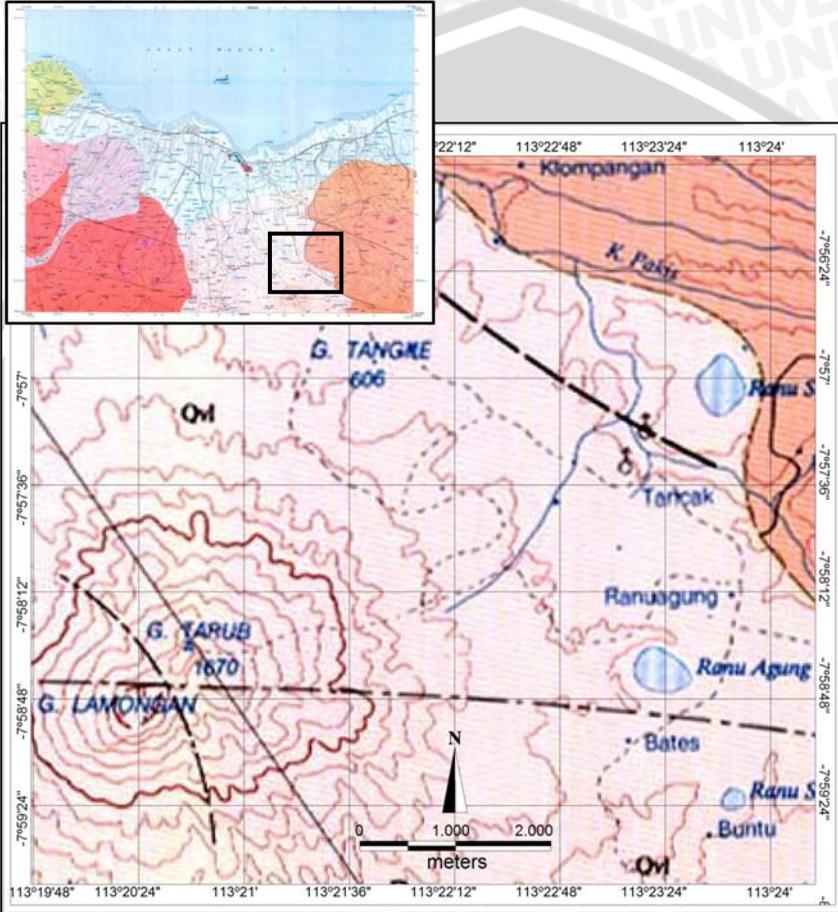
memilih lokasi-lokasi panasbumi untuk dilakukan penyelidikan bagi pemangku kepentingan (Kasbani, 2012)

Hampir semua daerah panasbumi selalu ditandai oleh keberadaan manifestasi panasbumi. Akan tetapi letak pastinya kita tidak ketahui. Walaupun tidak ditemukan sumber mata air panas, tapi permukaan tanah yang dirasakan lebih panas daripada sekelilingnya sudah cukup mengidentifikasi keberadaan sumber panasbumi dibawahnya. Tanpa adanya sumber panasbumi, permukaan tanah tidak mungkin akan menjadi panas. Berdasarkan besar kecil temperatur fluidanya, reservoir panasbumi dapat dikategorikan menjadi 4, yaitu:

1. Temperatur tinggi, bila temperatur fluida $> 250^{\circ}\text{C}$.
2. Temperatur medium, bila temperatur fluida berkisar antara $100^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$.
3. Temperatur didih rendah, bila temperatur fluida berkisar antara $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$.
4. Temperatur rendah, bila temperatur fluida berkisar antara $50^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$.

Dari 4 kategori tersebut, hanya reservoir temperatur medium dan reservoir temperatur tinggi yang bagus bagi investasi pembangkit listrik energi panasbumi (Eliason, 2001 dalam Suparno, 2009.).

2.4 Geologi Regional Daerah Penelitian

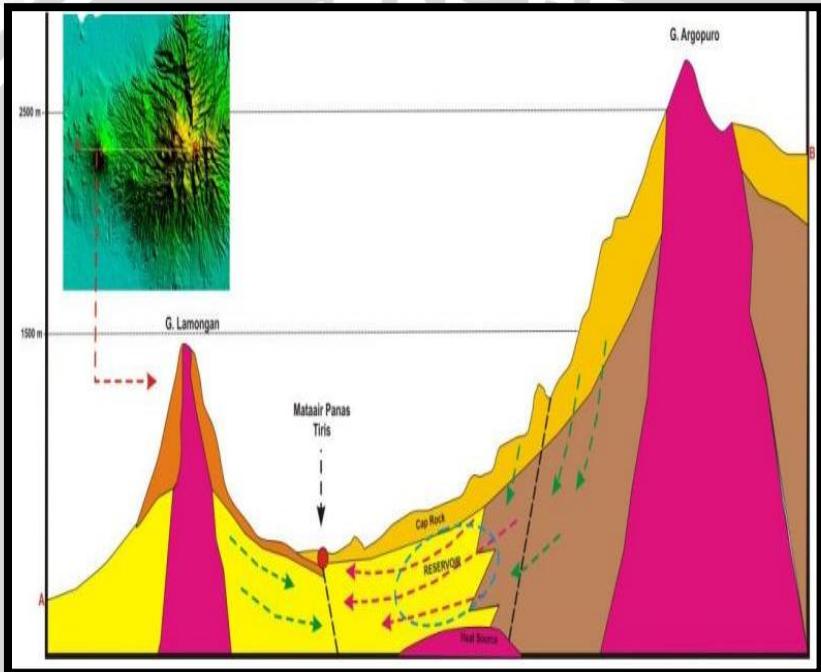


Gambar 2.2 Peta Geologi daerah Probolinggo dengan skala 1:100.000 (skala di atas tidak sesuai dengan aslinya) (Suharsono dan Suwari T., 1992).

Berdasarkan Gambar 2.2, daerah penelitian terletak di daerah pemandian air panas Desa Segaran Kecamatan Tiris yang berada di kaki Gunung Lamongan. Potensi panasbumi ditunjukkan oleh kemunculan mata air panas daerah Segaran. Mata air panas keluar dari rekahan-rekahan pada batuan breksi andesit. Di sekitar mata air panas secara umum ditemukan adanya endapan berwarna kuning kemerahan dan sedikit berbau belerang, endapan ini merupakan unsur besi yang keluar

bersama air panas tersebut dan mengalami oksidasi sehingga menunjukkan warna seperti karat.

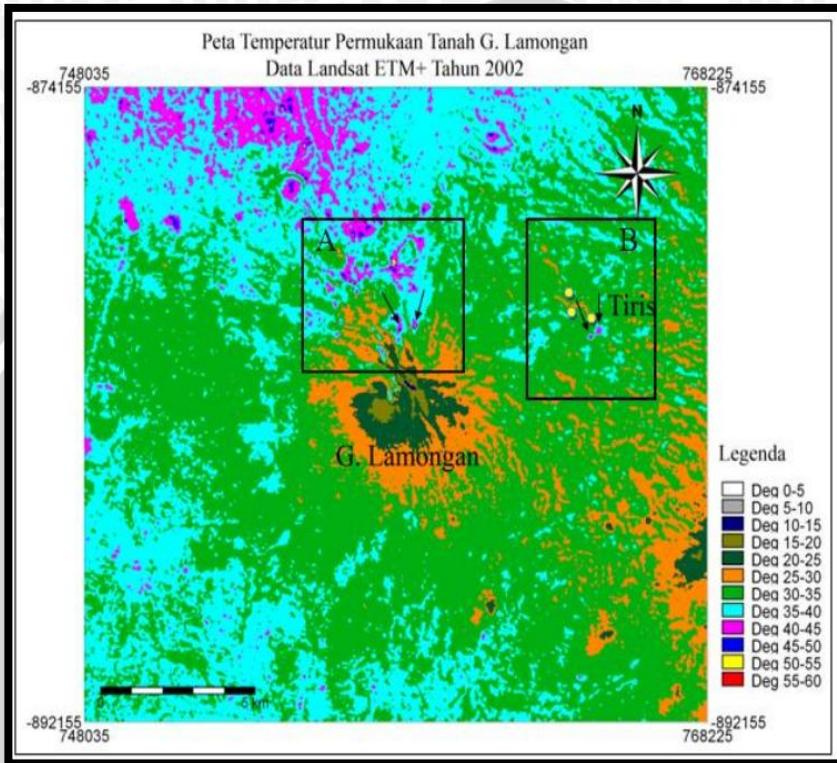
Berdasarkan kondisi geologi dan karakteristik mata air panas yang keluar dari sungai tersebut diinterpretasikan bahwa mata air panas daerah ini keluar sebagai *outflow* aliran panas yang berasal dari lereng G. Argopuro (dari timur). Daerah survei diinterpretasikan membentuk cekungan tapal kuda dari puncak G. Argopuro dan membuka kearah barat-laut (kearah keluarnya manifestasi mata air panas).



Gambar 2.3 Model Tentatif panasbumi Tiris (Survei Geologi ESDM Jawa Timur dalam Martha, dkk., 2012).

Secara morfologi, seperti Gambar 2.3 daerah penelitian merupakan lembah antara Gunung Argopuro dan Gunung Lamongan. Peta geologi diatas belum bisa menunjukkan secara pasti arah patahan dan reservoir panas yang berada diantara Gunung Argopuro dan Gunung Lamongan. Model tentatif tersebut merupakan perkiraan awal dari survei geologi. Jadi dibutuhkan studi geofisika untuk memastikan posisi sumber energi panasbumi Tiris (Survei Geologi ESDM Jawa Timur dalam Martha, dkk., 2012).

2.5 Citra Temperatur Permukaan Panasbumi Tiris



Gambar 2.4 Citra sebaran panas permukaan bumi daerah Tiris, Probolinggo dan sekitarnya; daerah A dan B adalah daerah titik panasbumi yang berasosiasi dengan potensi energi panasbumi. (Riski, dkk., 2012).

Gambar 2.4 merupakan citra sebaran panasbumi Tiris berdasarkan data citra satelit Landsat ETM+. Pada daerah A dan B terdapat pancaran temperatur yang ditunjukkan oleh tanda panah, dapat diinterpretasikan bahwa daerah tersebut merupakan potensi adanya panasbumi yang dimungkinkan berasal dari aktivitas *hydrothermal* dalam permukaan bumi yang keluar melalui struktur patahan yang ada pada daerah tersebut.

Hasil interpretasi sesuai dengan kondisi di lapangan; di daerah B ditemukan lebih dari 4 titik manifestasi panasbumi. Lokasi manifestasi ditunjukkan oleh titik-titik berwarna kuning (Gambar 2.4). Sedangkan

pada daerah A tidak dilakukan uji penelitian karena medan terlampaui sulit untuk dijangkau dengan sarana dan prasarana yang ada hingga saat ini (Riski, dkk., 2012).

2.6 Metode Tahanan Jenis (Resistivitas)

Metode tahanan jenis merupakan salah satu dari kelompok metode geofisika yang digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan dengan cara mempelajari sifat aliran listrik di dalam batuan di bawah permukaan bumi. (Santoso, 2002).

Tahanan jenis ini merupakan suatu parameter yang menunjukkan tingkat hambatannya terhadap arus listrik. Berdasarkan sumber arus listrik yang digunakan, metode ini dapat digolongkan dalam dua kelompok yaitu:

- a. Metode pasif, yaitu menggunakan arus listrik yang timbul akibat adanya aktivitas elektro kimia dan elektro mekanik dalam material-material penyusun batuan. Metode Geolistrik yang memanfaatkan adanya arus listrik alam antara lain Potensial Diri dan *Magnetotelluric*.
- b. Metode aktif, yaitu memasukkan/mengalirkan arus listrik kedalam tanah dengan sengaja untuk kemudian efek potensialnya diukur di dua titik pada permukaan tanah. Metode Geolistrik yang menggunakan sumber arus aktif ini antara lain Metode Resistivitas dan Induksi Polarisasi (Tachjudin, 1990).

Prinsip fisis dalam metode geolistrik resistivitas adalah hukum Ohm. Arus listrik searah dialirkan melalui suatu medium maka perbandingan antara beda potensial (ΔV) yang terjadi dengan arus (I) yang diberikan adalah tetap, dan besarnya tetapan ini tergantung dari medium yang dilewati oleh arus tersebut. Tetapan ini disebut dengan hambatan listrik yang disimbolkan "R". Dimana besarnya hambatan (R) adalah:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

Dimana: R = hambatan (ohm)
 ΔV = beda potensial (volt)
I = arus listrik (ampere) (Giancoli, 2001).

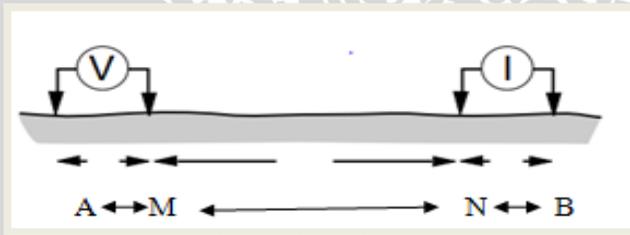
Beberapa asumsi dasar yang digunakan dalam metode geolistrik resistivitas, antara lain:

1. Bahwa permukaan tanah terdiri dari beberapa lapisan yang dibatasi oleh bidang batas horisontal serta terdapat kontras resistivitas antara bidang batas perlapisan tersebut.

2. Tiap lapisan mempunyai ketebalan tertentu, kecuali untuk lapisan terbawah ketebalannya tak terhingga.
3. Tiap lapisan dianggap bersifat homogen isotropik.
4. Tidak ada sumber arus selain arus yang diinjeksikan di atas permukaan bumi.
5. Arus listrik yang diinjeksikan adalah arus listrik searah
(Robinson, 1988 dalam Cahya , 2008).

Biasanya tahanan jenis diberikan simbol ρ . Tahanan jenis adalah kebalikan dari daya hantar jenis yang diberi simbol σ , sehingga $\rho = \frac{1}{\sigma}$ (Ohm meter). Resistivitas batuan bervariasi menurut jenis batuan, porositas serta kandungan fluida (minyak, air, gas).

Dalam pengukuran tahanan jenis dilapangan dapat diukur secara tidak langsung dengan memasukkan arus listrik ke dalam tanah melalui 2 titik (elektroda) di permukaan tanah dan mengukur beda potensial antara 2 titik yang lain di permukaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Waluyo. 2001).



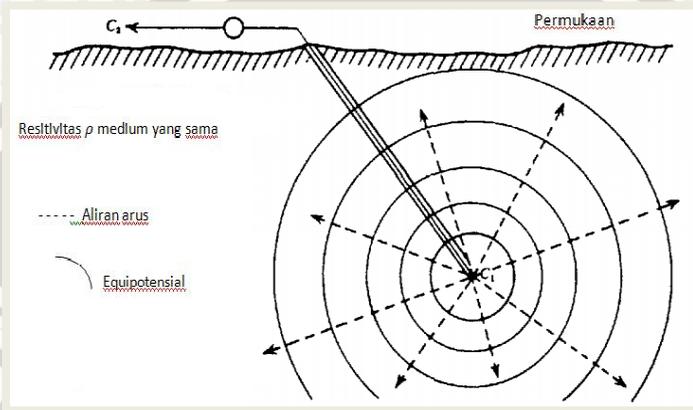
Gambar 2.5 Konfigurasi Dipole-dipole (Milsom, 2003).

Gambar 2.5 merupakan pola peletakan elektroda arus dan potensial konfigurasi Dipole-dipole. Untuk tujuan tertentu, elektroda-elektroda arus dan tegangan dipasang menurut konfigurasi tertentu. Konfigurasi yang paling umum antara lain:

- Konfigurasi Wenner
Jarak AM, MN, Nb adalah sama dan biasanya dinamakan a.
- Konfigurasi Schlumberger
Jarak AO = BO = s, MO = NO = b, Eksentrisitas $b/s < 1/3$.
- Konfigurasi Dipole-dipole
Jarak AB = MN = a, BM = na.

2.6.1 Potensial listrik dalam medium homogen

Jika pada suatu arus yang masuk kedalam medium homogen isotropis adalah arus tunggal, maka potensial bawah permukaannya akan berbentuk seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.6 Potensial disekitar titik arus di dalam bumi (Telford, dkk.,1990).

Gambar 2.6 merupakan asumsi aliran arus pada saat diinjeksikan di sekitar permukaan yang homogen. Jika δA merupakan suatu elemen permukaan dan J merupakan kepadatan arus dalam ampere permeter persegi, maka arus yang melalui δA adalah $J \cdot \delta A$. Dalam hal ini J kerapatan arus dan E medan listrik terkait melalui hukum Ohm, yaitu:

$$J = \sigma E \quad (2.2)$$

Dimana :

E merupakan medan listrik dalam volt permeter (v/m)

σ merupakan konduktivitas medium dalam siemen permeter (S/m)

Karena medan listrik merupakan gradient potensial skalar (V) :

$$E = -\nabla V \quad (2.3)$$

Dengan V adalah potensial. Maka diperoleh :

$$J = -\sigma \nabla V \quad (2.4)$$

Jika diasumsikan muatannya tetap, maka tidak ada arus yang keluar atau arus yang masuk pada volume tertutup dengan luas permukaan A , maka dapat ditulis :

$$\int_A J \cdot dA = 0 \quad (2.5)$$

Menurut hukum Gauss :

$$\int_V \nabla \cdot J dV = 0 \quad (2.6)$$

Dengan V merupakan sesuatu yang tak terbatas dan meliputi suatu titik tertentu, sehingga diperoleh :

$$\nabla \cdot J = -\nabla \cdot \nabla(\sigma V) = 0 \quad (2.7)$$

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (2.8)$$

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.9)$$

Pada persamaan ini (2.9) merupakan persamaan Laplace untuk medium homogen isotropis.

Dalam koordinat bola Operator Laplace dapat ditulis sebagai berikut:

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} \right] \quad (2.10)$$

Karena dianggap medium homogen isotropis maka bumi mempunyai simetri bola, karena yang mengalir simetri terhadap arah θ dan ϕ , maka V adalah fungsi dari jarak sehingga :

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) \right] = 0 \quad (2.11)$$

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \left(\frac{2}{r} \right) \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = -\frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.14)$$

Kalikan dengan persamaan (2.14) dengan r^2 , maka didapatkan :

$$r^2 \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = -2r \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.15)$$

Dengan integrasi dari persamaan (2.15), maka diperoleh :

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{A}{r^2} \quad (2.16)$$

Integrasi dari persamaan (2.16) maka akan diperoleh persamaan berikut :

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (2.17)$$

Dimana A dan B adalah konstan dengan menerapkan syarat batas $r \rightarrow \infty$ dan $V = 0$, sehingga nilai $B = 0$, maka akan diperoleh persamaan berikut :

$$V = -\frac{A}{r} \quad (2.18)$$

Arus keluar secara radial dari titik arus, maka jumlah arus yang melewati permukaan bola dengan jari-jari r adalah :

$$I = J \cdot A \quad (2.19)$$

$$I = 4\pi r^2 J \quad (2.20)$$

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) = 4\pi r^2 \left(-\sigma \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 4\pi r^2 \left(-\sigma \frac{A}{r^2} \right) \quad (2.21)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$ maka persamaan diatas menjadi :

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.22)$$

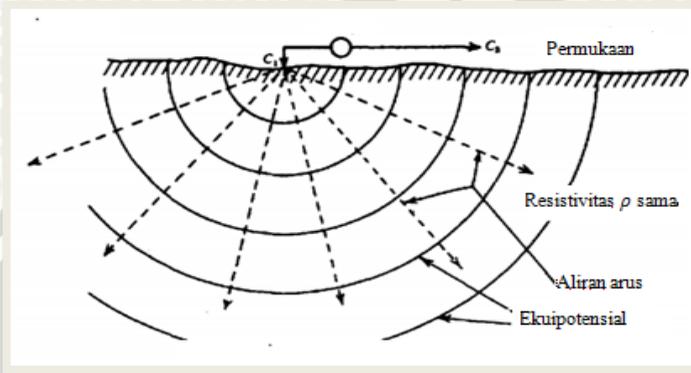
Maka :

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \text{ atau } \rho = \frac{4\pi r V}{I} \quad (2.23)$$

2.6.2 Potensial pada elektroda arus tunggal dipermukaan bumi

Ketika sebuah elektroda tunggal yang dialiri arus listrik diinjeksikan pada permukaan bumi yang homogen isotropis, maka akan terjadi aliran arus yang menyebar dalam tanah secara radial dan apabila udara diatasnya memiliki konduktivitas sama dengan nol,

maka garis potensialnya akan dibentuk setengah bola seperti pada Gambar 2.7:



Gambar 2.7 Aliran arus dan bidang ekuipotensial oleh satu titik sumber pada permukaan bumi homogen (Telford, dkk.,1990).

Karena permukaan yang dialiri arus adalah permukaan setengah bola, maka luas bola $2\pi r^2$, sehingga nilai konstanta A adalah :

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.24)$$

Sehingga didapatkan :

$$V = -\left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.25)$$

Atau :

$$\rho = \frac{2\pi r}{I} V \quad (2.26)$$

2.6.3 Potensial pada dua elektroda arus di permukaan bumi

Jika jarak antara dua elektroda seperti pada (gambar 2.8), potensial setiap jarak dari titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda tersebut, seperti pada sebelumnya potensial karena C_1 di P_1 yaitu

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \text{ dimana } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.27)$$

Karena arus pada dua elektroda sama dan saling berhubungan langsung, maka potensial karena C_2 di P_1 yaitu :

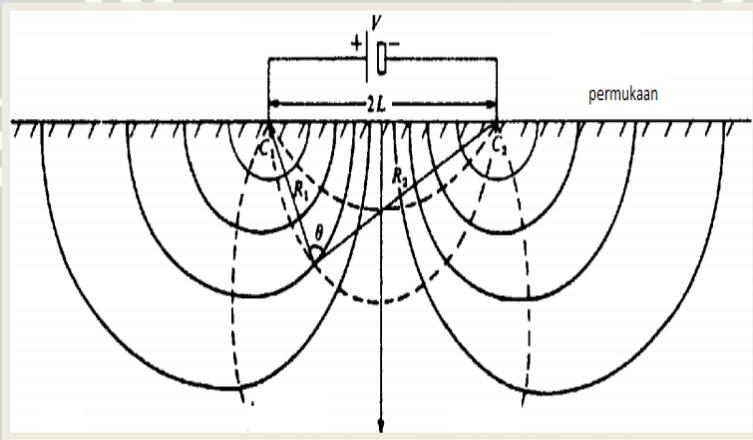
$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \text{ dimana } A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad (2.28)$$

Maka, kita dapatkan

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.29)$$

Maka, pada potensial dua elektroda pada P_2 , akan kita dapatkan:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.30)$$



Gambar 2.8 Potensial pada dua elektroda arus di permukaan bumi (Telford, dkk.,1990).

2.6.4 Resistivitas semu (*Apparent resistivity*)

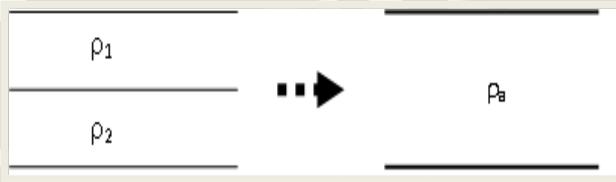
Dalam metode ini bumi diasumsikan mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Pada kenyataannya, bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan rapat massa yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja. Oleh karena itu nilai resistivitas yang diukur seolah-olah merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja. Resistivitas ini disebut resistivitas semu. Resistivitas semu dirumuskan dengan: (Tachjudin, 1990)

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.31)$$

Dimana :

- ρ_a adalah resistivitas semu (Ωm)
- K adalah faktor geometri (m)
- ΔV adalah beda potensial (V)
- I adalah arus (A)

Sebagaimana yang disajikan dalam Gambar 2.9:



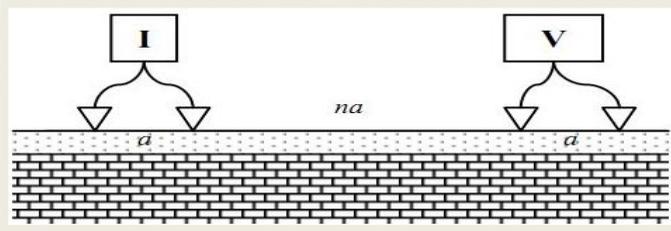
Gambar 2.9 Konsep resistivitas semu (Waluyo, 2001).

Gambar 2.9 dimisalkan bahwa medium yang terdiri dari 2 lapisan dan mempunyai nilai resistivitas yang berbeda (ρ_1 dan ρ_2). Di dalam pengukuran, medium ini akan dianggap sebagai lapisan yang homogen dan mempunyai 1 nilai harga resistivitas yaitu ρ_a (resistivitas semu) (Waluyo, 2001).

2.6.5 Metode geolistrik konfigurasi Dipole-dipole

Untuk konfigurasi dipole-dipole tersusun dari 4 elektroda, terdiri dari 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial. Elektroda arus ditempatkan pada urutan pertama kemudian dilanjutkan dengan elektroda potensial (Waluyo, 2001). Keempat elektroda tersebut dipasangkan secara serial dalam sebuah garis (seperti pada Gambar 2.10) diawali oleh dipole arus berjarak a dan diikuti oleh dipole potensial yang berjarak a , sejauh na (dengan $n = 1, 2, 3 \dots$).

Dengan mengubah-ubah nilai n , maka akan diperoleh kumpulan data yang dapat digambarkan pada *pseudo-section*. Hasil pengukuran ini adalah potensial, yang kemudian dikonversikan menjadi tahanan jenis semu.



Gambar 2.10 Metode pengukuran geolistrik Dipole-dipole, $n = 1, 2, \dots, N$. (Sharma, 1997).

Seperti pada Gambar 2.10, konfigurasi elektroda Dipole-dipole, maka didapatkan nilai faktor geometris sebesar :

$$\pi a n (n+1) (n+2) \quad (2.32)$$

dan besar resistivitas semunya adalah

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \pi a n (n+1) (n+2) \quad (2.33)$$

(Waluyo, 2001).

Penurunan rumus konfigurasi dipole-dipole yaitu :

$$R_1 = na \quad (2.33)$$

$$R_2 = R_3 = a + na \quad (2.34)$$

$$R_4 = 2a + na \quad (2.35)$$

Maka besar beda potensial konfigurasi dipole-dipole menjadi

$$\Delta V = V_M - V_N$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left\{ \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) - \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) \right\}$$

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} \right)$$

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right)$$

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left(\frac{1}{na+a} - \frac{1}{2a+na} \right)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left\{ \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} \right) - \left(\frac{1}{a+na} - \frac{1}{2a+na} \right) \right\}$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left(\frac{1}{na(2+3n+n^2)} \right)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \times \left(\frac{2}{na(n+1)(n+2)} \right)$$

Maka :

$$\Delta V = \frac{I\rho_a}{\pi na(n+1)(n+2)} \quad (2.36)$$

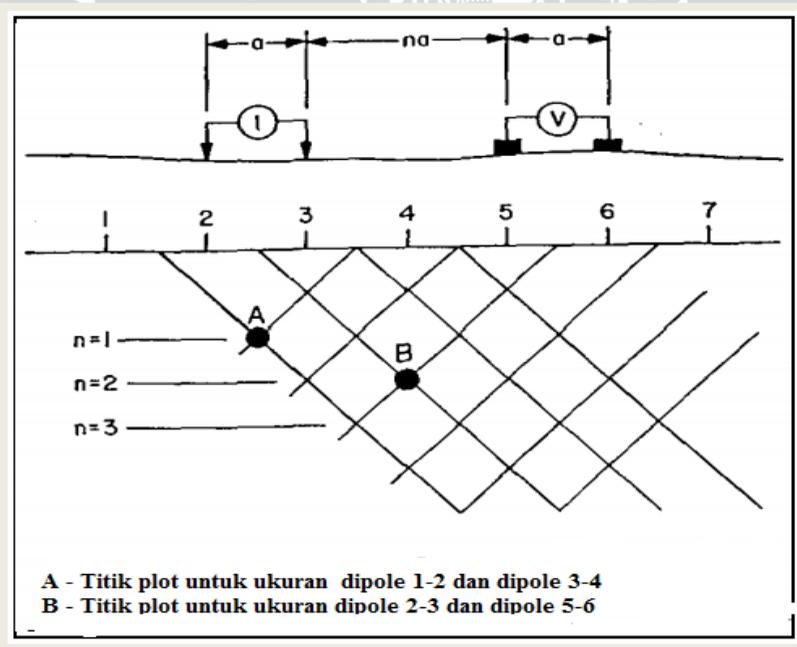
$$\rho_a = \pi na(n+1)(n+2) \times \left(\frac{\Delta V}{I}\right) \quad (2.37)$$

$$K = \pi na(n+1)(n+2) \quad (2.38)$$

(Cipto, 2009).

2.6.6 Pseudodepth section

Pseudodepth section pada Gambar 2.11 terdapat titik-titik *plotting* yang digambarkan pada suatu kedalaman yang berbeda berdasarkan posisi elektroda arus dan elektroda potensial. Titik-titik tersebut merupakan gambaran dari arus yang diinjeksikan kemudian mengenai suatu medium dan menghasilkan beda potensial sedangkan medium sendiri memberikan hambatan terhadap arus yang mengalir. Gambaran ini mempermudah saat pengerjaan dilapangan.



Gambar 2.11 Susunan *pseudodepth section* Dipole-dipole (Griffin, 1995).

2.6.7 Resistivitas batuan

Dalam interpretasi sangat diperlukan perolehan gambaran tentang besarnya tahanan jenis untuk berbagai macam air dan batuan maupun kombinasi antara keduanya, secara umum dapat dilihat dalam tabel-tabel berikut ini:

Tabel 2.2 Besar tahanan jenis dari berbagai macam air dan batuan secara umum sebagai patokan kualitatif (Astier, 1971 dalam Soenarto, 2004).

Air atau batuan	Tahanan dalam ohm.m
Pasir dan kerikil kering (<i>Sables et gravier secs</i>)	1000 – 10000
Lempung (<i>Argiles</i>)	2 – 20
Marl (<i>Marnes</i>)	20 – 100
Batugamping (<i>Calcaires</i>)	300 – 10000
Batupasir berlempung (<i>Gres argileux</i>)	50 – 300
Batupasir berkuarsa (<i>Gres quartziles</i>)	300 – 10000
Tuf vulkanik (<i>Cinerites, tufs volcaniques</i>)	20 – 100
Lava (<i>Laves</i>)	300 – 10000

Tabel 2.3 Kisaran nilai resistivitas beberapa jenis batuan vulkanik menurut Keller, 1966 dalam Kenneth dan Heiken, 1992.

<i>Type Rock</i>	<i>Lower (W-m)</i>	<i>Upper (W-m)</i>
<i>Volcanis Rocks</i>		
<i>Quaternary-Tertiary</i>		200
<i>Mesozoic</i>		500
<i>Carboniferous</i>		1000
<i>Palezoic</i>		2000
<i>Precambrian</i>		5000
<i>Tertiary Tuff</i>		
<i>Granular</i>	17.2	59,1
<i>Welded</i>	217	1410

Tabel 2.4 Nilai resistivitas jenis batuan/tanah/air (Telford,1990; Astier, 1971; Mori, 1993 dalam Aryanda, 2010).

Jenis batuan/tanah/air	Tingkat resistivitas (Ωm)
<i>Clay</i> (lempung)	1 – 100
<i>Silt</i> (lanau)	10 – 20
<i>Marls</i>	3 – 70
Kuarsa	$10^{-2} - 10^8$
<i>Sandstone</i> (batupasir)	50 – 500
<i>Limestone</i> (batukapur)	100 – 500
Lava	$100 - 5 \times 10^4$
Air tanah	0.5 – 300
Air laut	0.2
Breksi	75 – 200
Andesit	100 – 200
Tufa vulkanik	20 – 100
Konglomerat	$2 \times 10^3 - 10^4$

Menurut Telford dkk, (1982) berdasarkan harga resistivitasnya batuan dan mineral bumi diklarifikasikan menjadi tiga bagian yaitu :

Konduktor baik : $10^{-6} < \rho < 1 \Omega\text{m}$

Konduktor buruk : $1 < \rho < 10^{-7} \Omega\text{m}$

Isolator : $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Lapisan penyusun bumi merupakan suatu material batuan yang memiliki hambatan jenis yang berbeda tiap lapisannya seperti pada Tabel 2.2, Tabel 2.3 serta Tabel 2.4. Menurut Reynold (1997) besar jenis hambatan tiap batuan di tentukan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Kandungan air

Kandungan air yang ada di dalam batuan akan menurunkan harga resistivitas sehingga nilai daya hantar listrik pada batuan tersebut semakin besar.

2. Porositas batuan

Batuan yang pori-porinya mengandung air mempunyai tahanan jenis yang lebih rendah dari pada batuan kering.

3. Kelarutan garam dalam air di dalam batuan

Kelarutan garam air dalam batuan akan mengakibatkan kandungan ion dalam air besar, sehingga tahanan jenis dalam air akan rendah.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 17-19 Pebruari 2013, terletak antara $7^{\circ}57'16.7''\text{S}$ dan $113^{\circ}23'15.0''\text{E}$ di sekitar manifestasi panasbumi desa Segaran Kecamatan Tiris kabupaten Probolinggo (Gambar 3.1).



 : Lokasi akuisisi

Gambar 3.1 Peta lokasi akuisisi data

3.2 Peralatan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data pada pelaksanaan penelitian ini antara lain:

1. Resistivitymeter merek OYYO TIPE McOhm-ELModel-2119D.
Elektroda arus dan elektroda potensial (@ 2 buah)

2. Kabel Listrik (4 buah)
3. Palu (3 buah)
4. Meteran
5. GPS (3 buah)
6. *Accu* (1 buah)
7. Lembar data dan tulis
8. Seperangkat komputer
9. *Software (Microsoft Excel, Res2dinv 3.54 dan Rockworks14)*
10. Buku catatan dan buku tulis (buku pendukung)



Gambar 3.2 Peralatan survei geolistrik.

3.3 Bentuk Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini berupa data primer yaitu pengambilan data secara langsung dilokasi penelitian disekitar manifestasi panasbumi Tiris. Penentuan lapisan bawah permukaan dilakukan dengan mengukur tahanan jenis batuan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Dipole-dipole. Nilai hambatan dan arus yang terbaca, dicari resistivitas semu dan resistivitas sebenarnya.

Dari pembacaan *resistivitymeter* diperoleh nilai arus (I) yang diinjeksikan kebawah permukaan tanah, nilai tegangan (V) yang terukur akibat injeksi arus, sehingga dapat diperoleh nilai hambatan (R) untuk setiap titik pengukuran. Data yang didapat dari pengukuran akan

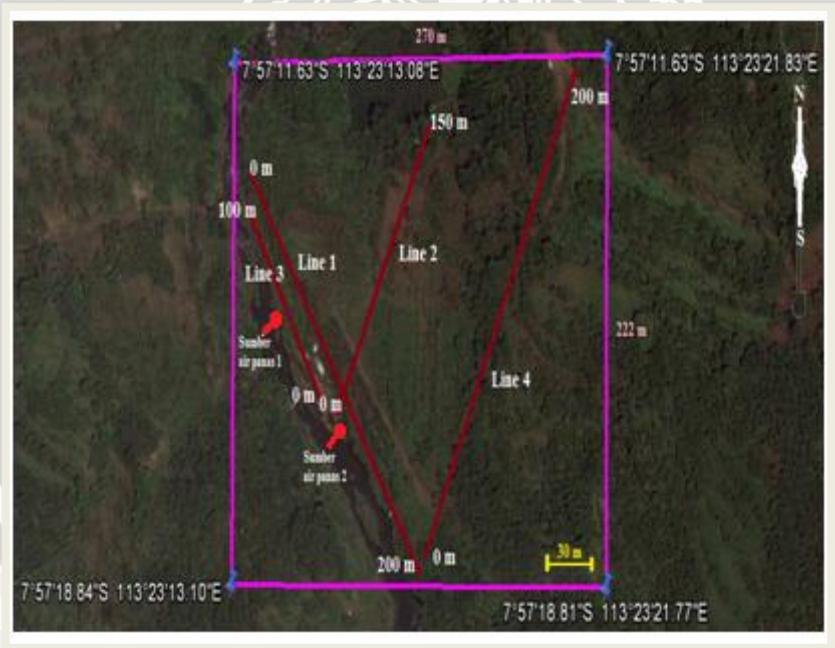
dihitung nilai faktor geometri (K) dan nilai hambatan jenis (ρ). Nilai hambatan jenis yang diperoleh merupakan nilai hambatan jenis semu dari setiap lapisan bawah permukaan bumi yang dianggap homogen. Untuk mengetahui nilai resistivitas sebenarnya dan pola penampang bawah permukaan maka dilanjutkan pengolahan dengan menggunakan bantuan *software* geofisika.

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian yang dilakukan, ada beberapa tahapan penelitian, yaitu:

1. Pengambilan Data

Pengambilan data dengan menggunakan konfigurasi Dipole-dipole pada empat lintasan penelitian, seperti pada Gambar 3.3. Desain pengambilan data dilakukan dengan panjang bentangan yang berbeda dengan masing-masing lintasan panjang elektroda (a) 10 m. Panjang bentangan lintasan 1 berjarak 200 m, panjang bentangan lintasan 2 berjarak 150 m, panjang bentangan lintasan 3 berjarak 100 m serta panjang bentangan 4 berjarak 200 m.



Gambar 3.3 Desain pengambilan data geolistrik resistivitas (Google Earth, 2009).

Gambar 3.3 merupakan bentangan lintasan-lintasan penelitian disekitar kawasan manifestasi panasbumi Tiris yang akan dicari pola penampang bawah permukaan serta arah aliran fluida panasnya. Pada pengambilan data, dibutuhkan parameter-parameter data yang akan diolah, yaitu:

Tabel 3. 1 Tabel pengambilan data

No	n	Z (m)	a (m)	I (mA)	V (volt)	R (Ω)

Berdasarkan Tabel 3.1, nilai n merupakan nilai datum, Z merupakan titik pergeseran elektroda-elektroda, a merupakan nilai spasi antara elektroda pada pengukuran (pada penelitian ini a bernilai 10 meter).

2. Pengolahan Data

Berdasarkan data hasil pengukuran, diperoleh nilai arus dan hambatan, nilai tersebut dilakukan pengolahan perhitungan untuk mencari nilai faktor geometri (K) serta hambatan jenis batuan menggunakan *Microsoft Excel*, setelah data perhitungan didapat, maka data-data tersebut disimpan dalam format *.dat (notepad)*. Selanjutnya data di-*running* pembacaan dengan menggunakan *software Res2dinv* untuk diinversi dalam bentuk 2D. Hasil dari inversi tersebut akan menunjukkan pola hambatan jenis dan struktur lapisan bawah permukaan yang diteliti, hal ini bertujuan untuk mengetahui pola lapisan batuan masing-masing lintasan serta nilai resistivitas batuan sebenarnya yang akan di korelasikan dengan tabel batuan resistivitas pada umumnya. kemudian dari hasil penampang 2D dilanjutkan pengolahan dengan menggunakan *software Rocks14*, parameter-parameter yang dimasukkan dalam permodelan 3D ini berupa data jenis batuan tiap lintasan berdasarkan masing-masing kedalaman (dilakukan pembuatan titik plot data dari tiap-tiap elektroda berdasarkan kedalaman jenis-jenis batuan dari hasil 2D), kemudian hasil inversi yang dilakukan dari

permodelan 3D juga akan memberikan informasi dari pola arah aliran fluida panas bawah permukaan sebagai pendugaan aliran sumber air panas pada daerah yang diteliti.

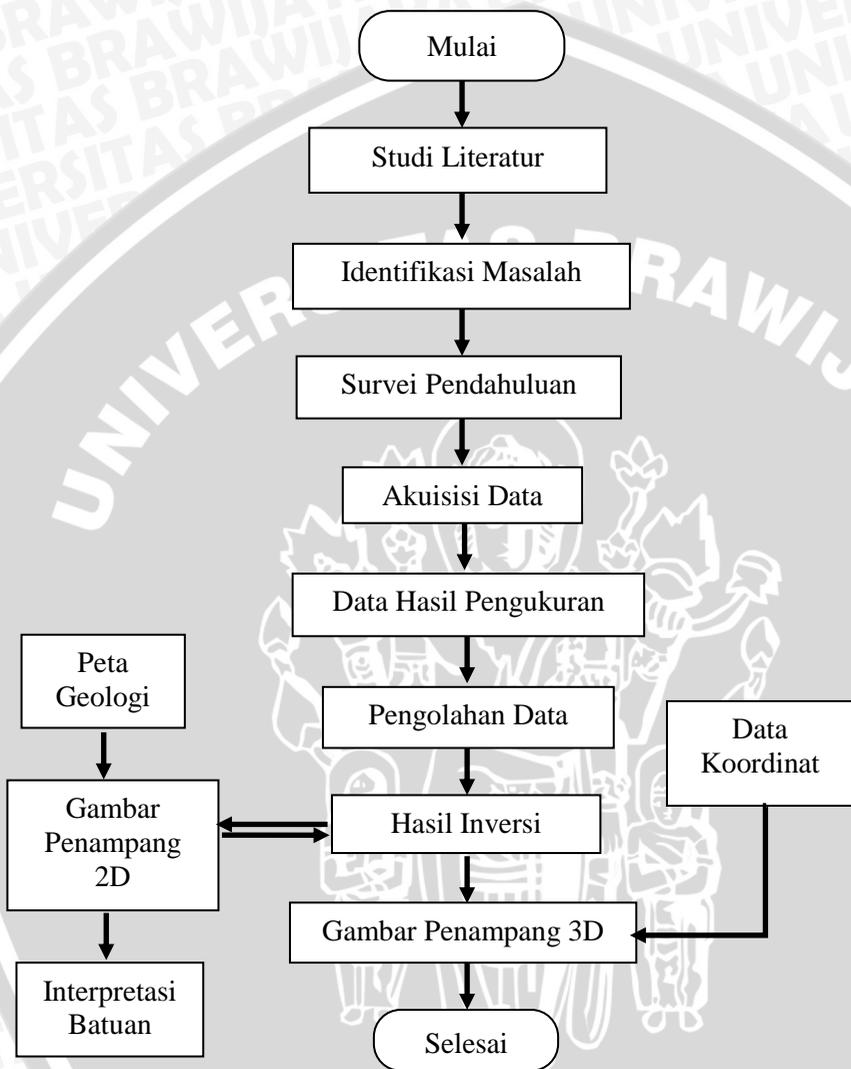
3. Interpretasi Data

Interpretasi data merupakan langkah akhir dalam penelitian yang dilakukan. Pada tahapan ini hasil penelitian diartikan untuk dapat diketahui bagaimana gambaran kondisi bawah permukaan daerah penelitian, yaitu melakukan interpretasi berdasarkan hasil 2D dan 3D dengan dikorelasikan dengan data tabel nilai resistivitas batuan serta peta geologi daerah penelitian.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Secara umum proses penelitian dapat ditunjukkan pada gambar berikut :





Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

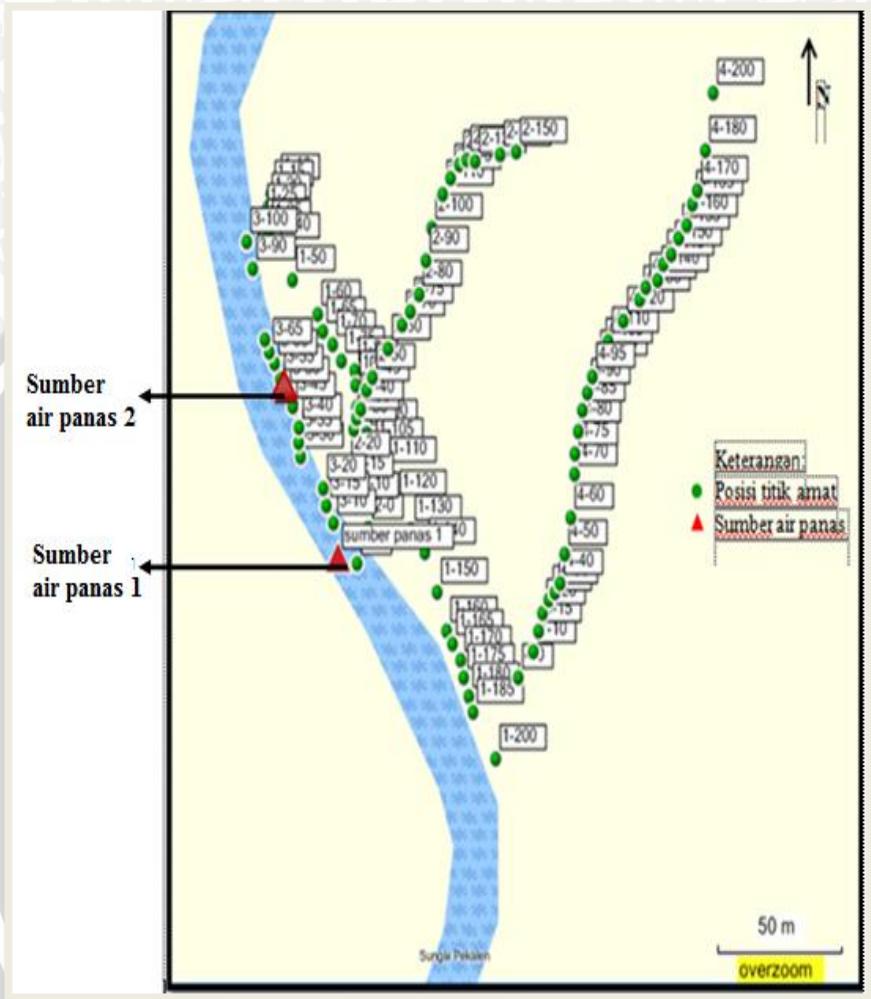
4.1 Hasil dan Pembahasan

Dalam penggambaran pola lapisan bawah permukaan bumi khususnya dalam penentuan pola aliran fluida panas bumi maka salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas.

Akuisisi data telah dilakukan dikawasan manifestasi panasbumi yang terletak di Desa Segaran, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo. Alat yang digunakan dalam pengambilan data geolistrik resistivitas adalah resistivimeter merek OYYO TIPE McOhm-EL Model-2119D (Gambar 3.2). Pengukuran Geolistrik dengan metode ini dapat menggambarkan pola lapisan bawah permukaan bumi secara *mapping*, dimana dengan perkiraan pengukuran secara *mapping* dapat mengetahui variasi bawah permukaan secara lateral dan berdasarkan pada kedalaman tertentu dan berdasarkan jarak elektroda yang digunakan, serta dapat mengetahui pola aliran fluida bawah permukaan yang diduga sebagai sebaran aliran sumber air panas.

Pada penelitian ini, akuisisi data dilakukan dengan 4 lintasan penelitian dengan spasi elektroda (a) yang sama yaitu 10 meter (Gambar 4.1).

- Lintasan I, panjang lintasan 200 meter pada posisi $7^{\circ} 57' 13.3''S$ $113^{\circ} 23' 14.0''E$ sampai $7^{\circ} 57' 18.6''S$ $113^{\circ} 23' 17.5''E$.
- Lintasan II, panjang lintasan 150 meter pada posisi $7^{\circ} 57' 16.4''S$ $113^{\circ} 23' 15.5''E$ sampai $7^{\circ} 57' 13.0''S$ $113^{\circ} 23' 17.8''E$.
- Lintasan III, panjang lintasan 100 meter pada posisi $7^{\circ} 57' 16.8''S$ $113^{\circ} 23' 15.3''E$ sampai $7^{\circ} 57' 13.8''S$ $113^{\circ} 23' 13.5''E$.
- Lintasan IV, panjang lintasan 200 meter pada posisi $7^{\circ} 57' 17.8''S$ $113^{\circ} 23' 17.8''E$ sampai $7^{\circ} 57' 12.4''S$ $113^{\circ} 23' 20.9''E$.



Gambar 4.1 Bentangan lintasan penelitian.

Pengambilan lintasan pada Gambar 4.1 merupakan daerah terbaik untuk melakukan akuisisi data. Lokasi penelitian merupakan daerah pegunungan yang berbukit-bukit dan terjal. Menurut Dinas ESDM Jawa Timur, 2010 dalam Martha,dkk., 2012, berdasarkan kondisi geologi dan karakteristik mata air panas yang keluar dari sungai tersebut diinterpretasikan bahwa mata air panas daerah ini keluar sebagai *outflow* aliran panas yang berasal dari lereng G. Argopuro (dari

timur), namun hal tersebut hanya merupakan perkiraan berdasarkan kondisi geologi. Lokasi titik sumber air panas terbesar terletak pada titik $7^{\circ} 57' 16.7''$ S dan $113^{\circ} 23' 15.0''$ E, sedangkan daerah sumber air panas kedua terletak pada posisi $7^{\circ} 57' 15.5''$ S dan $113^{\circ} 23' 14.6''$ E.

Dalam pengolahan data pertama dilakukan perhitungan nilai faktor geometri (K). Data yang diperoleh dari hasil akuisisi yaitu berupa nilai kuat arus listrik (mA), hambatan jenis (Ω) dan jarak antar titik elektroda (m). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mencari nilai resistivitas semu. Pada konfigurasi Dipole-dipole, faktor K menggunakan persamaan (2.31) :

$$\pi a n (n+1) (n+2)$$

Serta nilai resistivitas semu pada tiap lintasan lapisan bawah permukaan bumi dengan menggunakan persamaan (2.32) :

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \pi a n (n+1) (n+2)$$

(Waluyo, 2001).

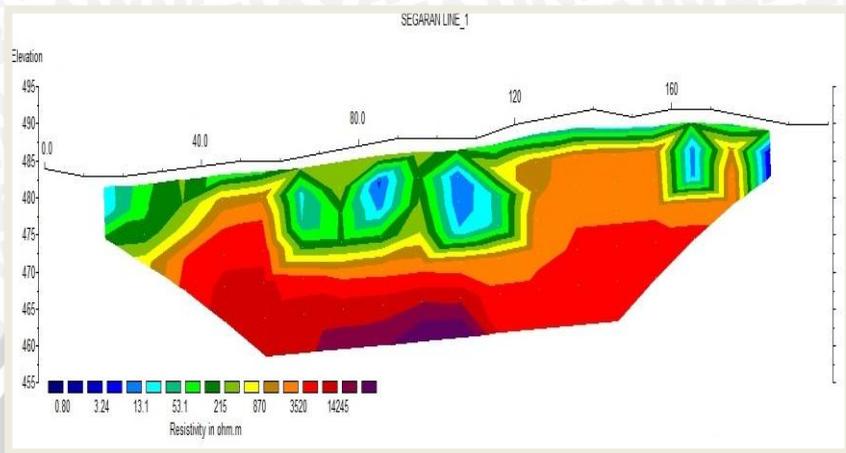
Kemudian, didapatkan hasil perhitungan yang akan dilakukan inversi permodelan 2D dan 3D. Selanjutnya dilakukan interpretasi berdasarkan nilai hambatan jenis batuan yang ditunjukkan dari permodelan 2D berdasarkan pola warna serta dilakukan korelasi dengan kondisi geologi daerah penelitian sehingga diperoleh data yang akurat, kemudian interpretasi permodelan 3D untuk mengetahui pola aliran fluida panas sekitar manifestasi pemandian air panas Tiris..

4.2 Interpretasi Permodelan Resistivitas 2D (2 Dimensi)

Pada permodelan resistivitas hasil inversi model 2D dengan menggunakan *software Res2dinv*, dapat menggambarkan model geologi daerah penelitian yang selanjutnya disesuaikan dengan literatur geologi batuan secara umumnya.

1. Litologi Pada Lintasan 1

Berdasarkan hasil penampang 2D pada lintasan 1 dengan panjang bentangan sekitar 200 m serta jarak antar elektroda 10 m didapatkan kedalaman 29 m. Hasil inversi pengolahan data diperoleh gambaran estimasi bawah permukaan yaitu seperti pada Gambar 4.2 :

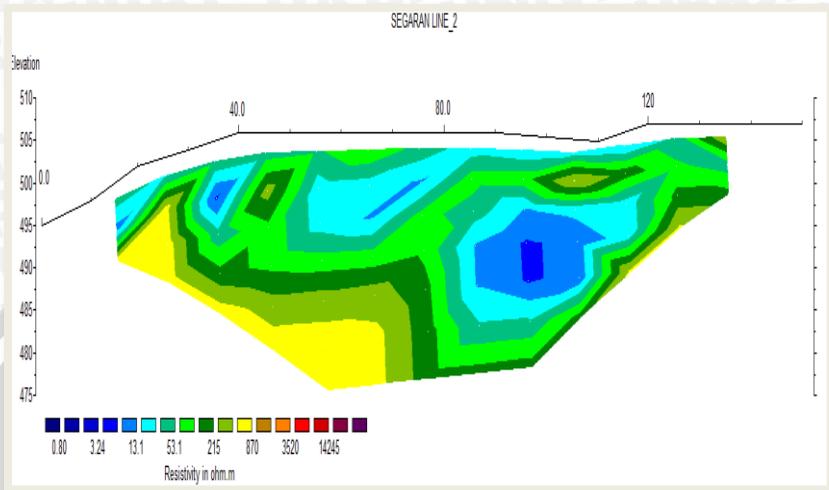


Gambar 4.2 Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 1.

Berdasarkan Gambar 4.2 hasil pengolahan data yang didapatkan yaitu nilai resistivitas $0.8 \Omega\text{m}$ hingga $14245 \Omega\text{m}$. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa nilai tahanan jenis antara $0.8 \Omega\text{m} - 13 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan lempung, tahanan jenis antara $13 \Omega\text{m} - 53 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan pasir, tahanan jenis antara $53 \Omega\text{m} - 200 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan breksi vulkanik, tahanan jenis antara $200 \Omega\text{m} - 870 \Omega\text{m}$ berupa lapisan tuff, tahanan jenis antara $870 \Omega\text{m} - 3520 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan lava, serta tahanan jenis $> 3520 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan basal. Prediksi tersebut berdasarkan tabel resistivitas batuan (Lihat Tabel: 2.2; 2.3 dan 2.4).

2. Litologi Pada Lintasan 2

Berdasarkan hasil penampang 2D pada lintasan 2 dengan panjang bentangan sekitar 150 m serta jarak antar elektroda 10 m didapatkan kedalaman 30.5 m. Hasil inversi pengolahan data diperoleh gambaran estimasi bawah permukaan yaitu seperti pada Gambar 4.3 :

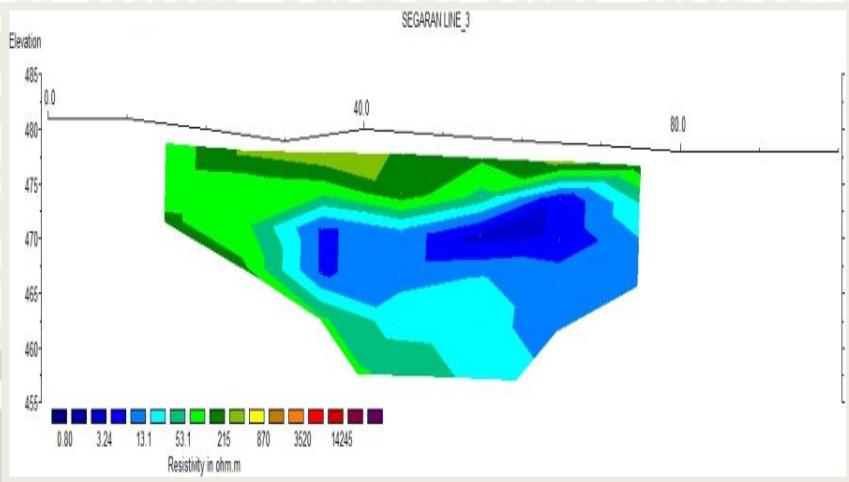


Gambar 4.3 Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 2.

Berdasarkan Gambar 4.3 hasil pengolahan data yang didapatkan yaitu nilai resistivitas $0.8 \Omega\text{m}$ hingga $14245 \Omega\text{m}$. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa nilai tahanan jenis antara $0.8 \Omega\text{m} - 13 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan lempung, tahanan jenis antara $13 \Omega\text{m} - 53 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan pasir, tahanan jenis antara $53 \Omega\text{m} - 200 \Omega\text{m}$ berupa batuan breksi vulkanik, tahanan jenis antara $200 \Omega\text{m} - 870 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan tuff. Prediksi tersebut berdasarkan tabel resistivitas batuan (Lihat Tabel: 2.3 dan 2.4).

3. Litologi Pada Lintasan 3

Berdasarkan hasil penampang 2D pada lintasan 3 dengan panjang bentangan sekitar 100 m serta jarak antar elektroda 10 m didapatkan kedalaman 23 m. Hasil inversi pengolahan data diperoleh gambaran estimasi bawah permukaan yaitu seperti pada Gambar 4.4 :

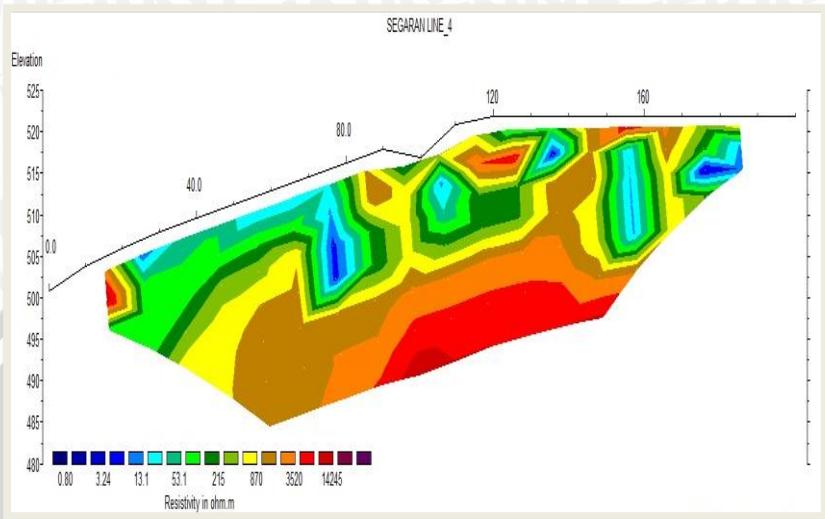


Gambar 4.4 Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 3.

Berdasarkan Gambar 4.4 hasil pengolahan data yang didapatkan yaitu nilai resistivitas 0.8 Ω m hingga 14245 Ω m. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa nilai tahanan jenis antara 0.8 Ω m – 13 Ω m berupa lapisan batuan lempung, tahanan jenis antara 13 Ω m – 53 Ω m berupa lapisan pasir, tahanan jenis antara 53 Ω m – 200 Ω m berupa lapisan batuan breksi vulkanik, tahanan jenis antara 200 Ω m – 870 Ω m berupa lapisan batuan tuff. Prediksi tersebut berdasarkan tabel resistivitas batuan (Lihat Tabel: 2.3 dan 2.4).

4. Litologi Pada Lintasan 4

Berdasarkan hasil penampang 2D pada lintasan 4 dengan panjang bentangan sekitar 200 m serta jarak antar elektroda 10 m dihasilkan kedalaman 27 m. Hasil inversi pengolahan data diperoleh gambaran estimasi bawah permukaan yaitu seperti pada Gambar 4.5 :

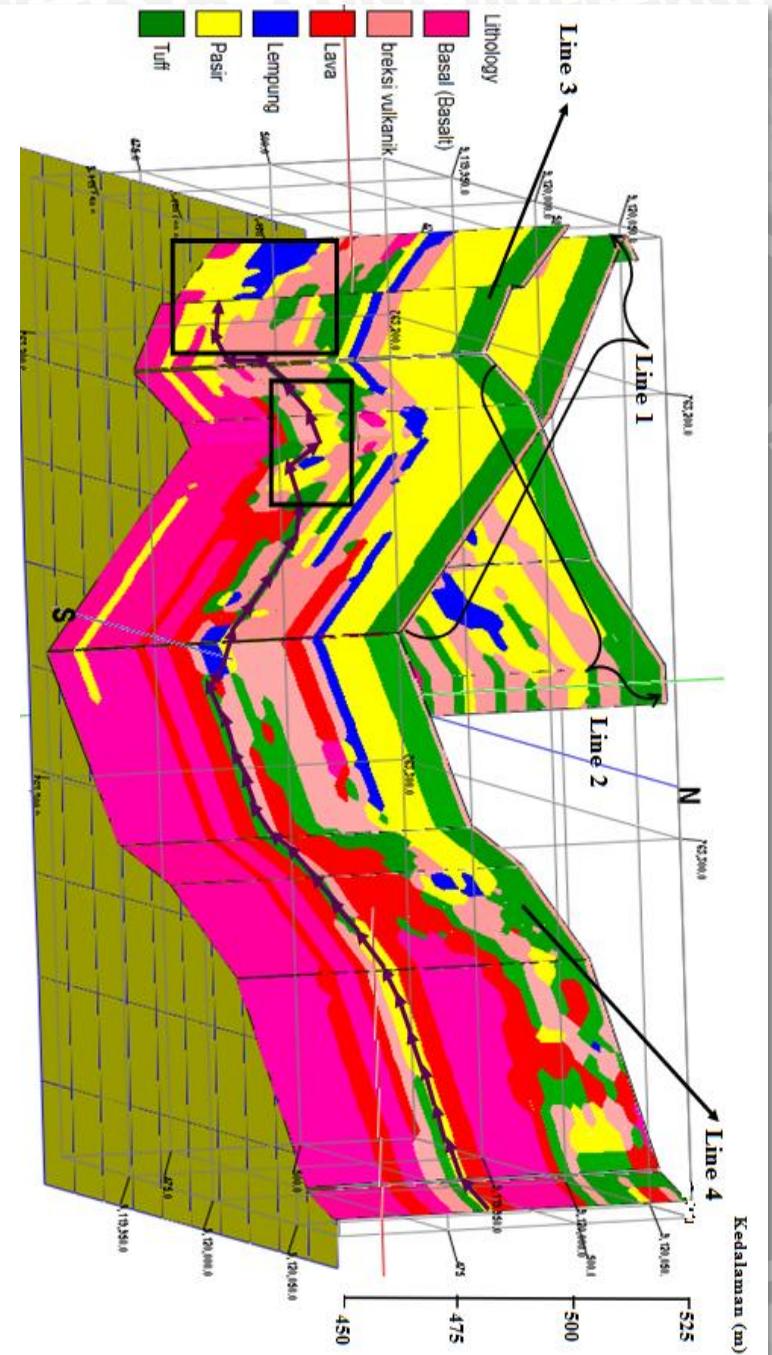


Gambar 4. 5 Model resistivitas 2D lapisan bawah permukaan pada lintasan 4.

Berdasarkan Gambar 4.5 hasil pengolahan data yang didapatkan yaitu nilai resistivitas $0.8 \Omega\text{m}$ hingga $14245 \Omega\text{m}$. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa nilai tahanan jenis antara $0.8 \Omega\text{m} - 13 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan lempung, tahanan jenis antara $13 \Omega\text{m} - 53 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan pasir, tahanan jenis antara $53 \Omega\text{m} - 200 \Omega\text{m}$ berupa batuan breksi vulkanik, tahanan jenis antara $200 \Omega\text{m} - 870 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan tuff, tahanan jenis antara $870 \Omega\text{m} - 3520 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan lava, serta tahanan jenis $> 3520 \Omega\text{m}$ berupa lapisan batuan basal. Prediksi tersebut berdasarkan tabel resistivitas batuan (Lihat Tabel: 2.2; 2.3 dan 2.4).

4.3 Interpretasi Permodelan Resistivitas 3D (3 Dimensi)

Setelah dilakukan permodelan 2D dilakukan pula permodelan 3D dengan menggunakan *software Rockworks14*. Hasil yang didapat dari model 3D yaitu manifestasi sumber air panas (pada kotak berwarna hitam) disekitar titik lintasan 1, 2 dan lintasan 3 (lihat Gambar 4.6). Lapisan aliran pembawa fluida panas ditunjukkan pada tanda panah yaitu terdapat jenis akuifer berupa batuan pasir yang bersifat dapat menghantarkan aliran air dengan baik.



☐ : Estimasi sumber air panas ➡ : Pola arah aliran fluida panas

Gambar 4.6 Model 3 dimensi lapisan batuan daerah sumber air panas Tiris

Pola sebaran litologi bawah permukaan terlihat jelas bahwa litologi penyusun daerah manifestasi air panas Tiris tersusun beberapa jenis lapisan batuan yaitu batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, lava serta basal (*basalt*). Selanjutnya dapat diketahui pula bahwa litologi yang berada pada kedalaman tertentu banyak tersebar pada semua bentangan sehingga pada daerah sekitar akuisisi data ditemukan jenis batuan yang tidak jauh berbeda dengan kondisi batuan disekitarnya.

Hasil permodelan 3D didapatkan bahwa pola aliran fluida panas diduga berasal dari arah timur laut yang berada pada posisi lintasan 4. Sumber air panas dengan suhu terbesar terdapat disekitar titik lintasan 1 pada posisi meter ke 60 sampai 110 dari titik nol lintasan 1 dan 2 pada elektroda 0 sampai 20, sedangkan sumber air panas kedua terletak pada titik lintasan 3 pada posisi meter ke 50 sampai 60 dari titik nol lintasan. Berikut ini merupakan klasifikasi batuan pada masing-masing lintasan berdasarkan tingkat permeabilitas batuan serta pola aliran fluida panas.

1. Sistem penyusun batuan lintasan 1

Jenis batuan yaitu berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal. Berdasarkan permeabilitasnya dapat di kelompokkan yaitu pasir merupakan batuan permeabel, sedangkan penyusun batuan yang lain seperti lempung, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal merupakan jenis batuan impermeabel. Menurut pola arah aliran fluida panas pada lintasan 1 yaitu jenis batuan permeabel ditemukan batuan pasir dengan nilai resistivitas 13-53 ohm.m yang merupakan indikasi pembawa aliran fluida panas menuju ke permukaan melalui celah batuan tuff. Didapatkan batuan breksi vulkanik diindikasikan bahwa batuan tersebut merupakan penghantar panas yang baik dari aliran fluida panas.

Model penampang lintasan 1 yang menunjukkan pola arah aliran fluida dari arah panah merupakan indikasi aliran fluida panas yang keluar melalui celahan batuan sedimen sehingga keluar ke permukaan, sumber air panas pada daerah manifestasi Tiris dilihat secara langsung keluar dari celah-celah batuan pasir yang merupakan akuifer air tanah pada kedalaman \pm 475 m.dpl. Diindikasikan pola aliran fluida panas pada lintasan 1 berasal dari daerah lintasan 4 (Lihat Gambar L.1.1).

Keadaan akuifer pada lintasan 1 merupakan kategori akuifer setengah terkekang (*Semi Confined Aquifer*). Akuifer setengah

terkekang yaitu akuifer yang sepenuhnya jenuh air dengan bagian atas dilapisi oleh lapisan semi impermeabel dan bagian bawahnya terletak pada dasar yang impermeabel (Sosrodarsono, 1983).

2. Sistem penyusun batuan pada lintasan 2

Jenis batuan yaitu berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik serta tuff. Berdasarkan permeabilitasnya dapat di kelompokkan bahwa pasir merupakan batuan permeabel, sedangkan penyusun batuan yang lain seperti lempung, breksi vulkanik dan tuff merupakan jenis batuan impermeabel. Model penampang pada lintasan 2 terdapat indikasi yang menunjukkan adanya sumber air panas sekitar elektroda ke 10-20 m yang sejajar dengan lintasan 1 pada elektroda 110 m.

Sistem penyusun batuan lintasan 2 ditemukannya sebaran fluida panas berasal dari pola arah aliran fluida dari arah timur (pada lintasan 1 dan 4) dapat diindikasikan pada kedalaman ± 497 m.dpl terdapat manifestasi fluida panas yang terhubung (*cross section*) dengan lintasan 1. (Lihat Gambar L.1.2).

Keadaan akuifer pada lintasan 2 dapat dikatakan akuifer bebas karena akuifer muka air tanahnya merupakan bidang batas sebelah atas dari daerah jenuh air dan bagian bawah dan atasnya dibatasi oleh lapisan impermeabel (Sosrodarsono, 1983).

3. Sistem penyusun batuan pada lintasan 3

Jenis batuan yaitu berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik serta tuff. Berdasarkan permeabilitasnya dapat di kelompokkan bahwa pasir merupakan batuan permeabel, sedangkan penyusun batuan yang lain seperti lempung, breksi vulkanik dan tuff merupakan jenis batuan impermeabel. Model penampang lintasan 3 terdapat indikasi sumber air panas yang berasal dari arah timur, sebaran batuan pada lintasan 3 di dominasi oleh batuan pasir. Dapat diketahui sumber fluida panas berada pada kedalaman ± 475 m.dpl (Lihat Gambar L.1.3).

Keadaan akuifer pada lintasan 3 juga dapat dikatakan akuifer bebas dan jenis-jenis batuan pada lintasan 3 memiliki kemiripan dengan batuan lintasan 2.

4. Sistem penyusun batuan pada lintasan 4

Jenis batuan yaitu berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal. Berdasarkan permeabilitasnya dapat di kelompokkan pasir merupakan batuan permeabel, sedangkan penyusun batuan yang lain seperti lempung, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal merupakan jenis batuan impermeabel. Model penampang lintasan 4 pola arah aliran fluida dari arah panah merupakan indikasi aliran fluida panas yang keluar melalui celahan batuan sedimen sehingga keluar kepermukaan tepat pada daerah lintasan 1, 2 dan lintasan 3.

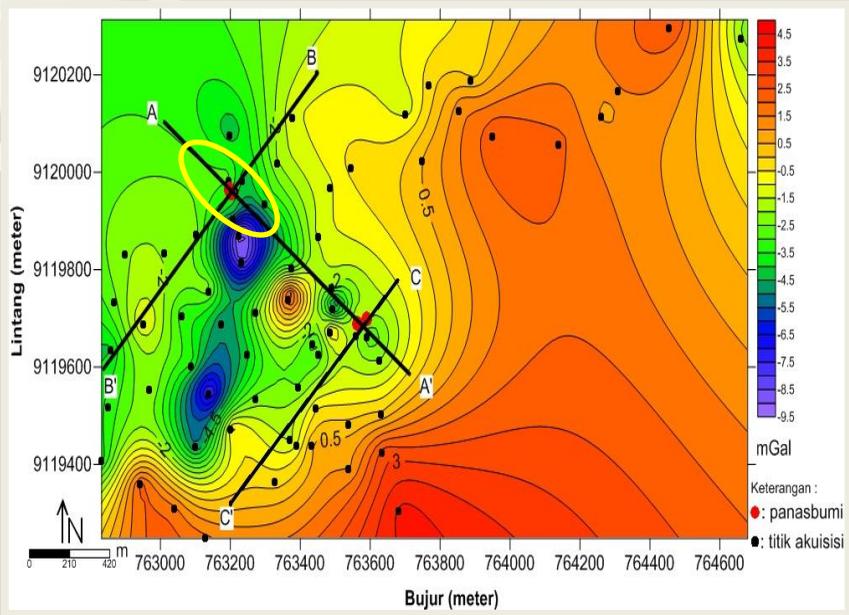
Menurut pola arah aliran fluida panas pada lintasan 4, terdapat sebaran batuan pasir memanjang yang merupakan indikasi pembawa aliran fluida panas menuju ke permukaan melalui celah batuan tuff. Jenis-jenis batuan pada lintasan 4 memiliki kesamaan dengan jenis-jenis batuan pada lintasan 1 (Lihat Gambar L.1.4).

Keadaan akuifer pada lintasan 4 dapat dikatakan akuifer terkekang yaitu akuifer yang sepenuhnya jenuh air yang bagian bawah dan atasnya dibatasi oleh lapisan kedap air (*impermeable*) dan mempunyai tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer Sehingga dapat diestimasikan bahwa lintasan 4 merupakan sumber arah dari pola aliran fluida.

Dapat diketahui hasil dari masing-masing pola aliran fluida panas berdasarkan tiap lintasan, dapat diestimasikan bahwa lintasan 4 merupakan daerah sumber aliran fluida panas yang terbawa akuifer yaitu berupa pasir dan keluar melalui ruang antar butir dan celah batuan bawah permukaan. Hal tersebut dapat dibuktikan adanya sumber air berupa umbulan pada lokasi penelitian. Menurut daerah lintasan 4 kondisi akuifer tersebut mengalami pengekangan, sehingga indikasi fluida panas hanya akan bergerak menuju batuan yang dapat menghantarkan laju air tanah dengan baik. Sehingga aliran fluida panas muncul kepermukaan yang diiringi batuan pembawa yaitu batuan pasir pada daerah sumber air panas pertama dan sumber air panas kedua.

4.4 Perbandingan dengan metode Gayaberat dan metode Magnetik

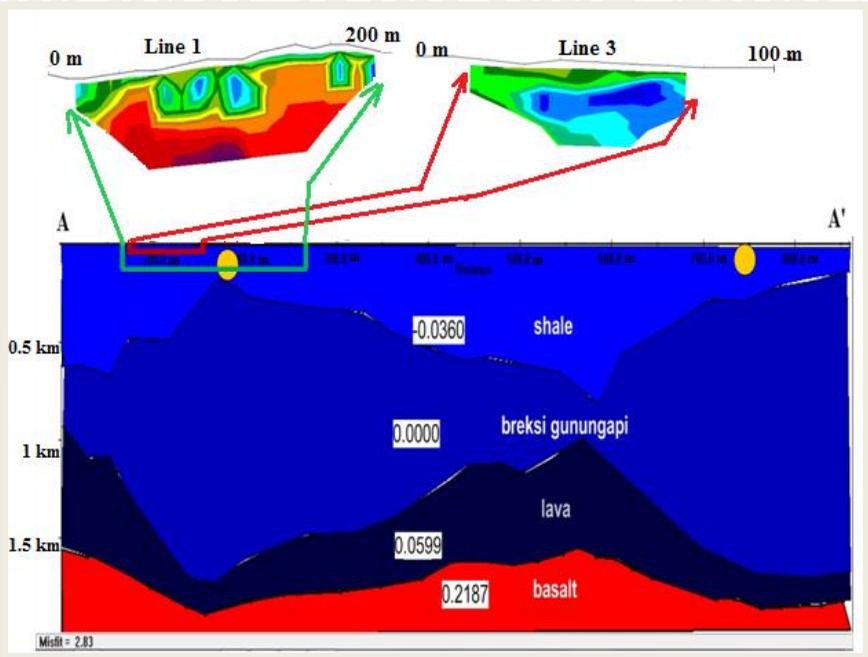
Di daerah panasbumi Tiris juga dilakukan penelitian dengan metode Gayaberat dan metode Magnetik. Hasil penelitian ini perlu dibandingkan dengan metode lain untuk mengetahui kebenaran dari penelitian ini. Gambar 4.11 merupakan hasil pengambilan data yang diolah serta daerah sayatan pada metode Gayaberat.



○ : Daerah penelitian Geolistrik

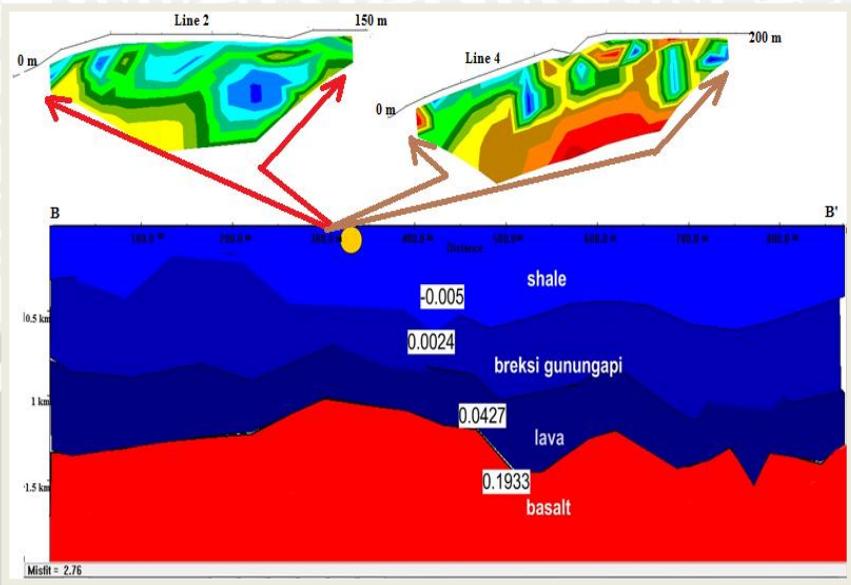
Gambar 4.7 Sayatan penampang melintang AA', BB', dan CC' pada permodelan metode Gayaberat (Astuti, 2013. *Personal Discussion*).

Berdasarkan Gambar 4.7, hasil permodelan dari metode Gayaberat yang disayat berdasarkan geologi daerah penelitian dan daerah mata air panas yang akan dibandingkan hasil permodelan. Berikut ini hasil sayatan penampang permukaan daerah manifestasi air panas Tiris yang dibandingkan dengan hasil permodelan 2D pada metode Geolistrik seperti pada gambar berikut :



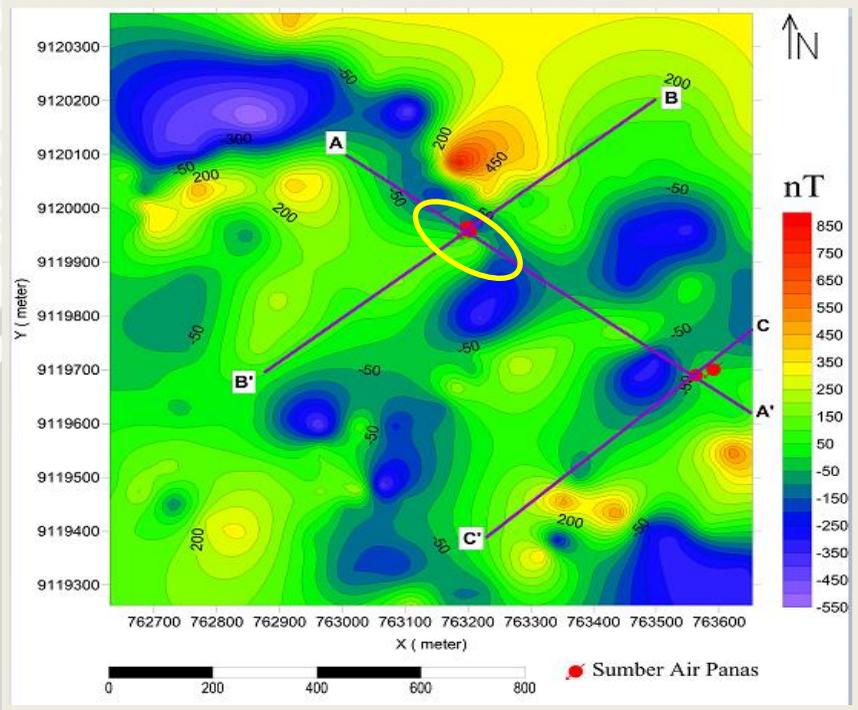
Gambar 4.8 *Overlay* model penampang melintang lintasan AA' pada metode Gayaberat dengan lintasan 1 dan 3 pada metode Geolistrik.

Gambar 4.8 merupakan hasil *overlay* penampang lintasan AA' metode Gayaberat dari arah barat laut menuju tenggara dengan metode Geolistrik, dimana lokasi pengambilan data metode geolistrik terletak dekat sumber air panas yaitu tepat dengan daerah lintasan 1 dan lintasan 3. Lintasan AA' menggambarkan struktur bawah permukaan dari kedalaman 0-2 km yaitu batuan *shale* dengan kontras densitas -0.0360 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.634 g/cm^3 , breksi gunungapi dengan kontras densitas 0.0000 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.67 g/cm^3 , lava dengan kontras densitas 0.0599 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.729 g/cm^3 serta *basalt* dengan kontras densitas 0.2187 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.889 g/cm^3 . Jenis batuan bawah permukaan pada lintasan 1 dari kedalaman 0-29 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal (*Basalt*), pada lintasan 3 dari kedalaman 0-23 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik dan tuff. Daerah *overlay* antara kedua metode tersebut pada penelitian Gayaberat dari kedalaman 0-29 m hanya ditemukan jenis batuan *shale*.



Gambar 4.9 *Overlay* model penampang melintang lintasan BB' pada metode Gayaberat dengan lintasan 2 dan 4 pada metode Geolistrik.

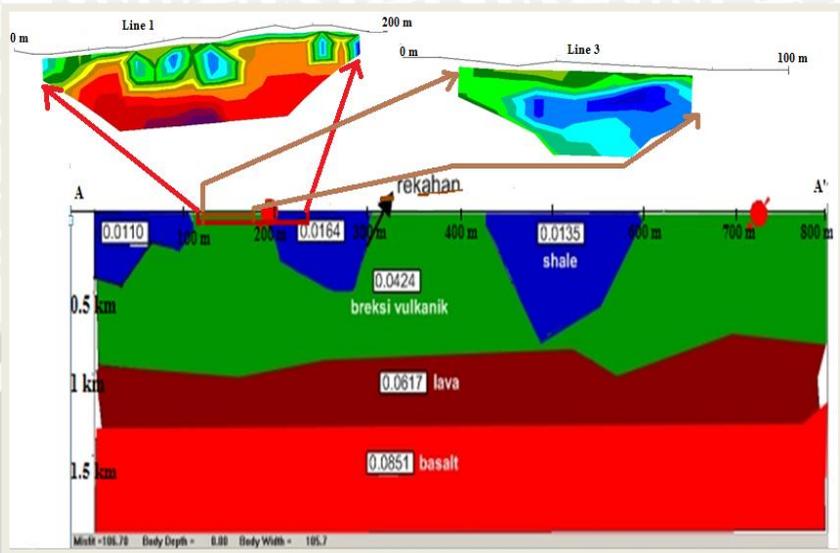
Gambar 4.9 merupakan hasil *overlay* penampang lintasan BB' metode Gayaberat dari arah barat daya menuju timur laut dengan metode Geolistrik, dimana lokasi pengambilan data metode geolistrik terletak dekat sumber air panas yaitu tepat dengan daerah lintasan 2 pada posisi elektroda ke 0 m dan lintasan 4 pada posisi elektroda ke 90 m. Lintasan BB' menggambarkan struktur bawah permukaan dari kedalaman 0–2 km yaitu batuan *shale* dengan kontras densitas -0.005 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.665 g/cm^3 , breksi gunungapi kontras densitas 0.0024 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.672 g/cm^3 , lava kontras densitas 0.0427 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.712 g/cm^3 serta *basalt* dengan kontras densitas 0.1933 g/cm^3 dan nilai densitas batuan sebesar 2.863 g/cm^3 . Jenis batuan bawah permukaan pada lintasan 2 dari kedalaman 0-30.5 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik dan tuff, pada lintasan 4 dari kedalaman 0-27 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal (*Basalt*). Daerah *overlay* antara kedua metode tersebut pada penelitian Gayaberat dari kedalaman 0-30.5 m hanya ditemukan jenis batuan *shale*.



○ : Daerah penelitian Geolistrik

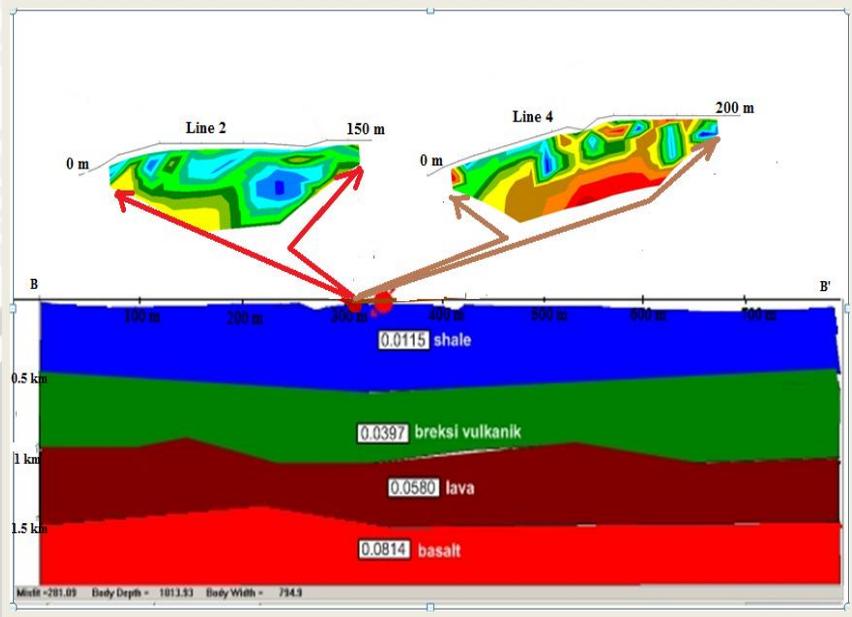
Gambar 4.10 Sayatan penampang melintang AA', BB' dan CC' pada permodelan metode Magnetik (Fernania, 2013).

Gambar 4.10 merupakan hasil sayatan penampang melintang AA', BB' dan CC' pada permodelan metode Magnetik. Berikut ini hasil sayatan penampang permukaan daerah manifestasi air panas Tiris yang dibandingkan dengan hasil permodelan 2D pada metode Geolistrik seperti pada gambar berikut :



Gambar 4.11 *Overlay* model penampang melintang lintasan AA' pada metode Magnetik dengan lintasan 1 dan 3 pada metode Geolistrik.

Gambar 4.11 merupakan hasil *overlay* penampang lintasan AA' metode Magnetik dari arah barat laut menuju tenggara dengan metode Geolistrik, dimana lokasi pengambilan data metode geolistrik terletak dekat sumber air panas yaitu tepat dengan daerah lintasan 1 dan lintasan 3. Lintasan AA' menggambarkan struktur bawah permukaan dari kedalaman 0-2 km yaitu batuan *shale* dengan nilai suseptibilitas sebesar 0.0110, 0.0164, 0.0135, breksi vulkanik dengan nilai suseptibilitas sebesar 0.0424, lava dengan nilai suseptibilitas sebesar 0.0617 dan *basalt* nilai suseptibilitas sebesar 0.0851. Jenis batuan bawah permukaan pada lintasan 1 dari kedalaman 0-29 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal (*Basalt*), pada lintasan 3 dari kedalaman 0-23 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik dan tuff. Daerah *overlay* antara kedua metode tersebut pada penelitian Gayaberat dari kedalaman 0–29 m hanya ditemukan jenis batuan *shale* dan breksi vulkanik. Berdasarkan daerah sekitar manifestasi panasbumi terdapat pola rekahan, hal tersebut merupakan salah satu indikasi adanya sumber air panas yang keluar dari batuan melalui rongga dan melewati rekahan tersebut menuju ke permukaan bumi, sehingga muncul manifestasi sumber air panas.



Gambar 4.12 *Overlay* model penampang melintang lintasan BB' pada metode Magnetik dengan lintasan 2 dan 4 pada metode Geolistrik.

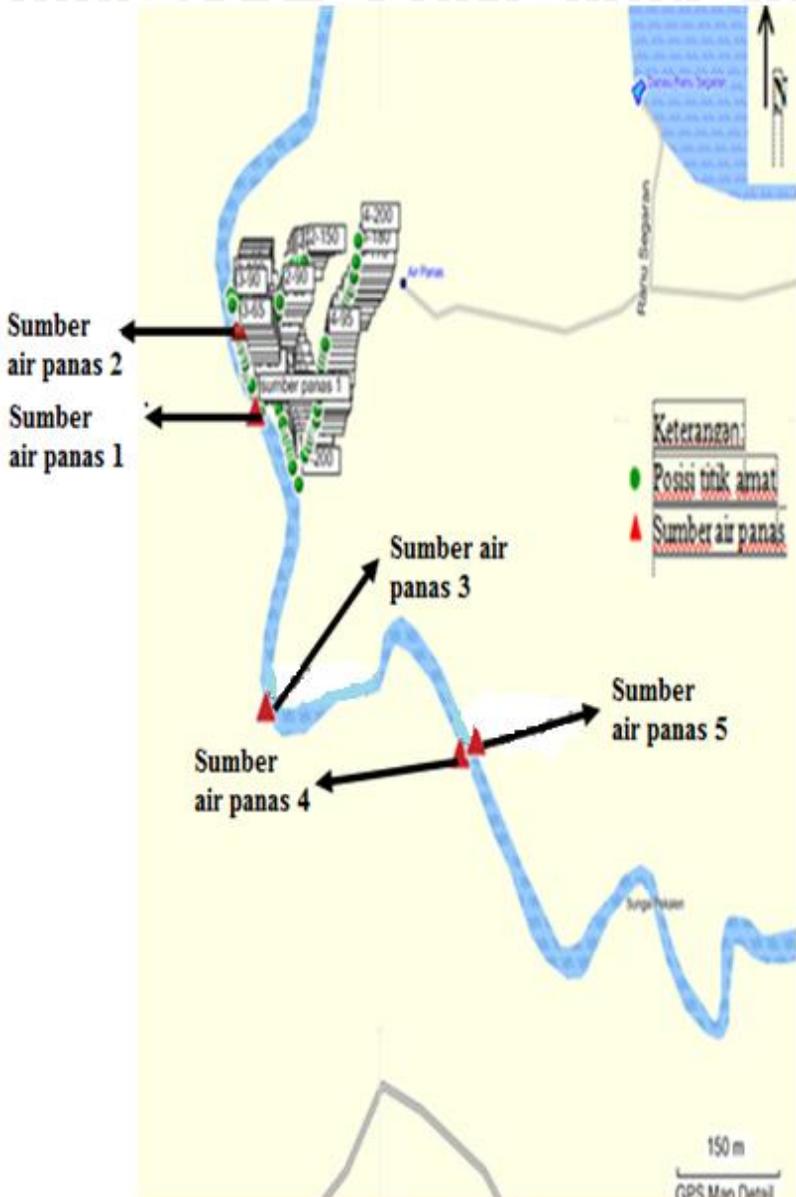
Gambar 4.12 merupakan hasil *overlay* penampang lintasan BB' metode Magnetik dari arah barat daya menuju timur laut dengan metode Geolistrik, dimana lokasi pengambilan data metode geolistrik terletak dekat sumber air panas yaitu tepat dengan daerah lintasan 2 pada posisi elektroda 0 m dan lintasan 4 pada posisi elektroda ke 90 m. Lintasan BB' menggambarkan struktur bawah permukaan dari kedalaman 0–2 km yaitu batuan *shale* dengan nilai suseptibilitas sebesar 0.0115, breksi vulkanik dengan nilai suseptibilitas sebesar 0.0397, lava dengan nilai suseptibilitas sebesar 0.0580 dan *basalt* nilai suseptibilitas sebesar 0.0814. Jenis batuan bawah permukaan pada lintasan 2 dari kedalaman 0-30.5 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik dan tuff, sedangkan pada lintasan 4 dari kedalaman 0-27 m berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal (*Basalt*). Daerah *overlay* antara kedua metode tersebut pada penelitian Gayaberat dari kedalaman 0-30.5 m hanya ditemukan jenis batuan *shale*.

Dari hasil *overlay* ketiga metoda tersebut, hanya merupakan hasil permodelan kedalaman dari perbandingan diantaranya. Hasil pengolahan data menggunakan metode Magnetik dan Gayaberat

mencapai kedalaman bawah bumi sekitar 2 km, sehingga dapat menunjukkan adanya batuan beku yaitu lava dan *basalt* serta batuan sedimen breksi vulkanik dan *shale*. Menurut Fernania, 2013., dapat ditafsirkan jenis batuan tersebut yang menjadi reservoir panas yaitu batuan beku *basalt* dan batuan penutup (*cap rock*) berupa batuan sedimen yaitu *shale* di daerah panasbumi Tiris. Batuan basalt merupakan batuan yang bersifat porositas sedangkan *shale* merupakan batuan yang tidak bersifat porositas. Berdasarkan penelitian metode Geolistrik hanya mencakup daerah dangkal dengan keunggulan dapat menunjukkan jenis – jenis batuan pada daerah akuisisi lebih mendetail. Jenis batuan dari hasil penelitian berupa batuan yang sudah tersedimentasi yaitu batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal (*Basalt*).

4.5 Indikasi Manifestasi Panasbumi Daerah Tiris

Pada penelitian sebelumnya menggunakan metode Magnetik, diketahui bahwa manifestasi panasbumi Tiris ditemukan 4 sumber air panas (Fernania, 2013), kemudian dari hasil penelitian menggunakan metode Geolistrik ditemukan 1 sumber manifestasi yang berdekatan dengan sumber air panas terbesar yaitu dekat dengan sumber air panas 1 (sumber air panas 2), sehingga total sumber air panas Tiris sebanyak 5 sumber (dapat dilihat pada Gambar 4.13).



Gambar 4.13 Manifestasi sumber air panas Tiris.

Tabel 4.1 Posisi sumber air panas daerah Tiris

Manifestasi	Latitude	Longitude	Elevasi	Suhu Air (°C)
Sumber 1	$S7^{\circ} 57' 16.7''$	$E113^{\circ} 23' 15.0''$	484 m	45°C
Sumber 2	$S7^{\circ} 57' 15.5''$	$E113^{\circ} 23' 14.6''$	480 m	45°C
Sumber 3	$S7^{\circ} 57' 24.2''$	$E 113^{\circ} 23' 15.6''$	-	
Sumber 4	$S7^{\circ} 57' 25.3''$	$E113^{\circ} 23' 26.8''$	-	
Sumber 5	$S7^{\circ} 57' 25.0''$	$E113^{\circ} 23' 27.7''$	-	

Gambar 4.13 merupakan sebaran kawasan mata air panas Tiris yang terletak di sepanjang area sungai Pekalen dusun Gudang. Pada daerah penelitian ini, dilakukan pengukuran suhu secara langsung di daerah sumber air panas 1 dan 2 yaitu berkisar 45°C, sedangkan sumber air panas lainnya saling berjauhan dari sumber air panas 1 dan 2 sehingga tidak dilakukan pengukuran suhu.

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan analisis citra Landsat ETM⁺ diketahui bahwa suhu permukaan air panas daerah manifestasi panasbumi Tiris sekitar 40-45°C dengan pemetaan data citra temperatur permukaan daerah gunung Lamongan (Riski, dkk., 2012).

Di kawasan Jawa Timur, selain panasbumi Tiris, juga terdapat panasbumi yang merupakan sumber air terletak di daerah gunungapi Ijen dengan 3 lokasi sumber air panas (Tabel 4.2), kemudian di daerah gunungapi Arjuno-Welirang terdapat 4 lokasi dengan 7 titik sumber air panas (Tabel 4.3), serta pada daerah lereng gunungapi Wilis terdapat 1 lokasi sumber air panas yaitu terletak di daerah Ngebel (Tabel 4.4).

Tabel 4.2 Suhu permukaan manifestasi panasbumi Gunungapi Ijen (Anonimous, Tanpa tahun).

Lokasi		Suhu Air (°C)
Gunungapi Ijen	Air panas Hombo Blawan	48.5°C
	Air panas Kapuran	48.3°C
	Air panas Terjun Hombo	44.4°C

Tabel 4.3 Suhu permukaan manifestasi panasbumi Gunungapi Arjuno-Welirang (Suparman, 2010).

Lokasi		Suhu Air (°C)	
Gunungapi Arjuno-Welirang	Padusan	Padusan 1	39.5°C
		Padusan 2	46°C
		Padusan 3	48°C
		Padusan 4	24°C
	Cangar	Cangar 1	47°C
		Cangar 2	47°C
	Songgoriti	Songgoriti	47°C
	Kasinan	Kasinan	32°C

Tabel 4.4 Suhu permukaan manifestasi panasbumi lereng Gunungapi Wilis (Ishomuddin, 2011).

Lokasi		Suhu Air (°C)
Lereng Gunung Wilis	Ngebel	48.5°C

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil pengolahan data dan interpretasi geolistrik resistivitas untuk panasbumi daerah Tiris menunjukkan sebaran batuan pada lintasan 1 antara 0.80 Ωm sampai 14245 Ωm dengan identifikasi litologi bawah permukaan berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal. Pada lintasan 2 antara 0.80 Ωm sampai 870 Ωm dengan identifikasi litologi bawah permukaan berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik serta tuff. Pada lintasan 3 antara 0.80 Ωm sampai 870 Ωm dengan identifikasi litologi bawah permukaan juga ditemukan berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik serta tuff. Pada lintasan 4 antara 0.80 Ωm sampai 14245 Ωm dengan identifikasi litologi bawah permukaan berupa batuan lempung, pasir, breksi vulkanik, tuff, lava serta basal.
2. Pola aliran fluida panas diduga berasal dari daerah lintasan 4 yaitu dari arah timur laut. Diduga, lapisan akuifer manifestasi panasbumi tersebut adalah batuan pasir dengan nilai resistivitas 13.1 Ωm sampai 53.1 Ωm .

5.2 Saran

Hasil pengolahan geolistrik pada daerah panasbumi Tiris akan lebih mendetail dengan jumlah titik penelitian tersebar sepanjang area sungai Pekalen lebih jauh yang mencakup daerah manifestasi panasbumi untuk didapatkan perbandingan hasil batuan yang diperoleh, serta diperlukannya studi untuk mencari indikasi adanya patahan pada daerah penelitian.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 2005. **Skema Terjadinya Panasbumi.** http://f-nurhuda.web.ugm.ac.id/Sumber%20daya%20alam1/panas%20bumi/files/profile04_data/im_profile04a.jpg). Diakses pada tanggal 6 Juli 2013.
- Anonimous. Tanpa tahun. **Geokimia-Ijen.** http://vsi.esdm.go.id/files/98GEOKIMIA_ijen.pdf. Diakses pada tanggal 24 Agustus 2013.
- Aryanda. 2010. **Kisaran Resistivitas Batuan.** http://kampungminers.blogspot.com/2012/09/kisaran-resistivitas-batuan_7.html. Diakses pada tanggal 7 juni 2013.
- Astuti, Tika Y. 2013. **Penentuan Jenis Batuan Daerah Tiris Kabupaten Probolinggo Berdasarkan Anomali Gayaberat.** Skripsi Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur. (*In Progress*).
- Cahya S, Rahmad, 2008. **Penentuan Kedalaman Zona Akuifer dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner Sounding di Dusun Tompak Desa Sidomulyo Kecamatan Selo Kabupaten Boyolali.** Skripsi Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur.
- Cipto, Utomo Arif. 2009. **Aplikasi metode Geolistrik Resistivitas 2D untuk Menentukan Letak Akuifer dan Pendugaan Lapisan Geologi Bawah Permukaan.** Thesis Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur.
- Citrosiswoyo, W. 2008. **Geothermal: Dapat mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil dalam menyediakan listrik Negara.** http://www.migas-indonesia.com/files/article/Geothermal.Sumber_Energi_Masa_De_pan.pdf. Diakses pada tanggal 25 April 2013.
- Dinas ESDM Jawa Timur. 2012. **Potensi Panasbumi Di Jawa Timur.** <http://esdm.jatimprov.go.id> . Tanggal akses 18 Maret 2013.
- Fernania, Nella. 2013. **Penentuan Litologi Daerah Panasbumi Tiris, Probolinggo Menggunakan Metode Magnetik.** Skripsi Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur.
- Giancoli, D.C. 2001. **Fisika, Edisi ke-5.** Erlangga. Jakarta.
- Griffin, Robert H. 1995. **Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations.** U. S Army Corps of Engineers. USA.

Ishomuddin. 2011. **Suhu Air Panas di Lereng Gunung Wilis terus Dipantau.**

<http://www.tempo.co/read/news/2011/03/08/180318593/Suhu-Air-Panas-di-Lereng-Gunung-Wilis-Terus-Dipantau>.

Diakses

pada tanggal 24 Agustus 2013.

Kasbani, 2012. **Sumber Daya Panasbumi Indonesia: Status Penyelidikan, Potensi Dan Tipe Sistem Panasbumi.**

http://psdg.bgl.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=841:sumber-daya-panas-bumi-indonesia.

Diakses

pada tanggal 6 april 2013.

Kenneth. Wohletz and Heiken Grant. 1992. *Volcanology and Geothermal Energy*. University of California Press. Berkeley.

Martha. KP, Tri dan Utama.W. 2012. **Permodelan Arah Retakan Kawasan Manifestasi Panasbumi Tiris Probolinggo Menggunakan Metode Azimuthal Resistivity Sounding. Coop Penelitian** Laboratorium Geofisika-Jurusan Fisika FMIPA ITS.

Milsom, john. 2003. *Field Geophysics Third Edition*. John Wiley & Sons Ltd. England.

Prasetiawati, L. 2004. **Aplikasi Metode Resistivitas Dalam Eksplorasi Endapan Laterit Nikel Serta Studi Perbedaan Ketebalan Endapannya Berdasarkan Morfologi Lapangan.** Universitas Indonesia. Jakarta.

Riski, Utama. W, Bahri. AS dan Warnana. DD. 2012. **Analisis Citra ETM⁺ untuk Kajian Awal Penentuan Daerah Potensi Panasbumi di Gunung Lamongan, Tiris, Probolinggo.** Jurnal Fisika dan Aplikasinya, ITS.

Reynold, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Willey and Sons Lid., New York.

Santoso, Djoko. 2002. **Pengantar Teknik Geofisika.** ITB. Bandung.

Saptadji, N. M. 2002. **Teknik Panasbumi.** ITB. Bandung.

Suharsono dan Suwarti. T. 1992. **Peta Geologi Bersistim Indonesia. Lembar: Probolinggo 1608-2. Jawa skala 1: 100.000.** Pusat Penelitian Pengembangan Geologi. Bandung.

Suparno. 2009. **Energi Panasbumi; A Present From the Hearth of The Earth, Edisi I.** Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia. Jakarta.

Suparman, Yasa. 2010. **Gunungapi Indonesia Arjuno-Welirang, Jawa Timur.**

<http://volcanoindonesia.blogspot.com/2010/10/arjuno.html>.

Diakses pada tanggal 24 Agustus 2013.

- Seyhan, Ersin. 1990. **Dasar-Dasar Hidrologi**. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Soemartono, CD. 1987. **Hidrologi Teknik**. Usaha Nasional. Surabaya.
- Soenarto, Bambang. 2004. **Identifikasi Keberadaan Air Tanah dan Keluaran Air Daerah Karst di Kabupaten Sumba Barat**. Peneliti muda-Bidang Hidrologi Pusat Litbang Sumber Daya Air.
- Sosrodarsono, suyono. 1983. **Hidrologi Untuk Pengairan**. PT. Pradya Paramita. Edisi ketiga. Erlangga. Jakarta.
- Sharma, P.V. 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press.
- Telford. W.M, Geldart. L.P, and. R.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press. USA.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, R.E. Sheriff, dan D.A. Keys. 1982. *Applied Geophysic*. London. Cambridge University Press.
- Uchron, Afffan. 2006. **Studi Efektifitas Hutan Kota Malabar Sebagai Daerah Resapan Air Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas**. Skripsi Universitas Brawijaya, Malang. Jawa Timur.
- Wahyuni. N. 2012. **Indonesia Bakal Jadi Penghasil Listrik Panasbumi Terbesar di Dunia**. <http://bisnis.liputan6.com/read/461333/indonesia-bakal-jadi-penghasil-listrik-panas-bumi-terbesar-di-dunia>. Diakses pada tanggal 15 Januari 2013.
- Waluyo. 2001. **Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori & Aplikasi) Metode Resistivitas**. Laboratorium Geofisika, Fakultas MIPA, UGM. Yogyakarta.

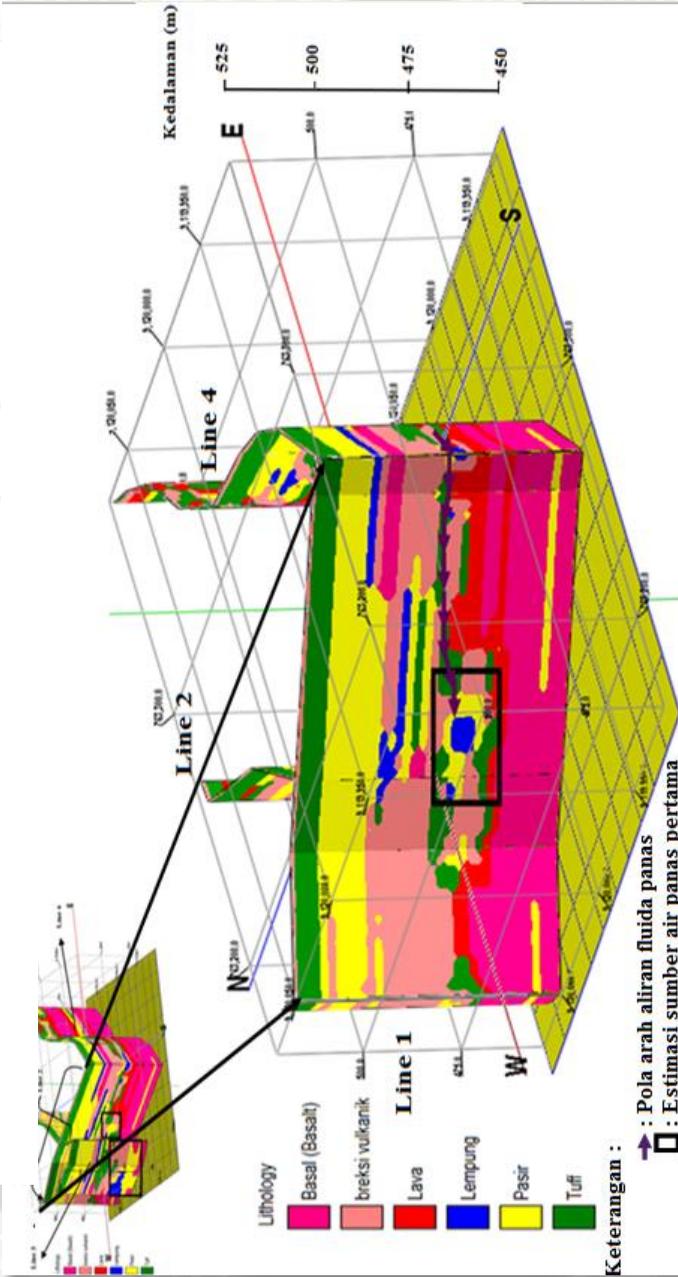
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

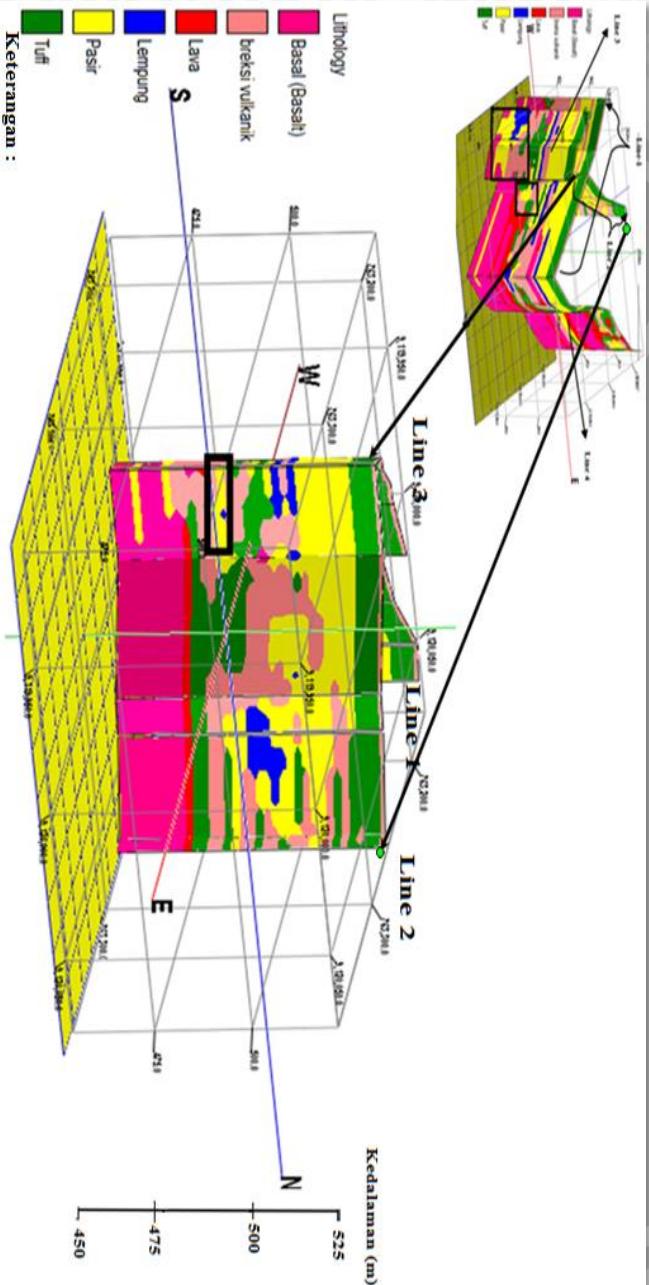


LAMPIRAN

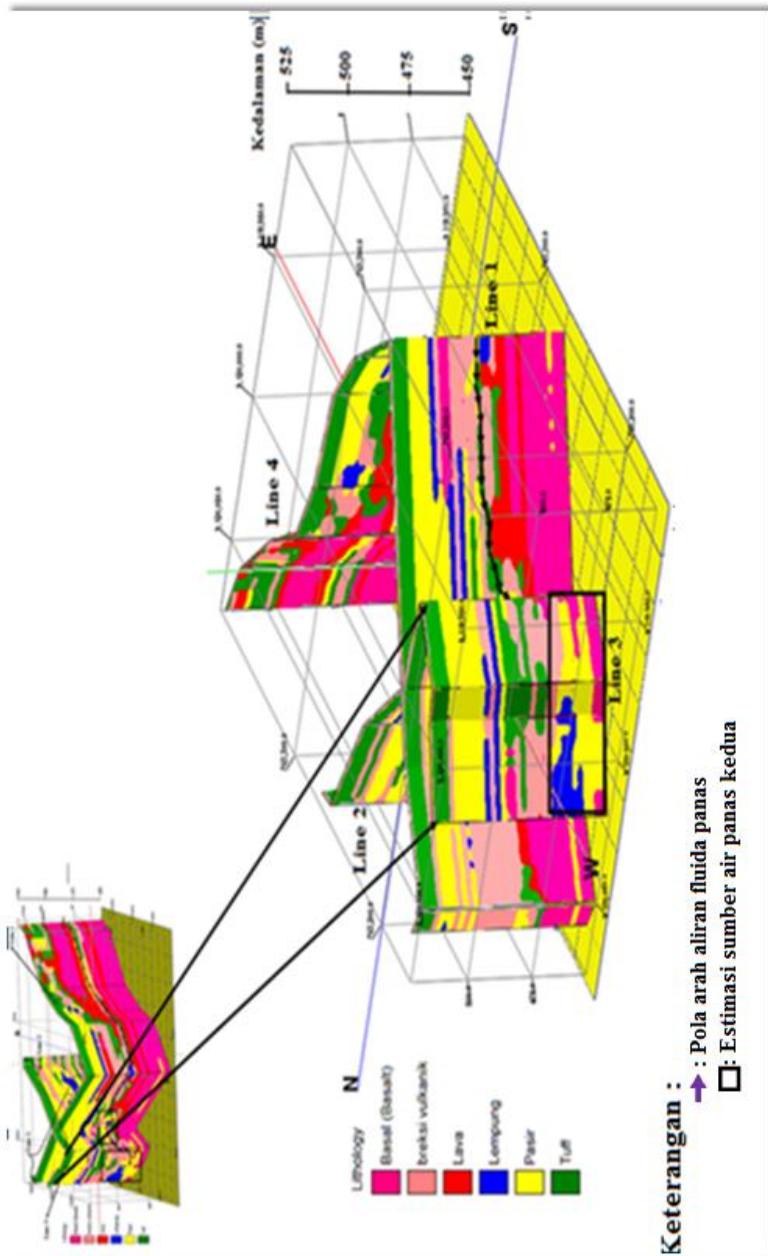
Lampiran 1 Permodelan 3 dimensi pada tiap lintasan



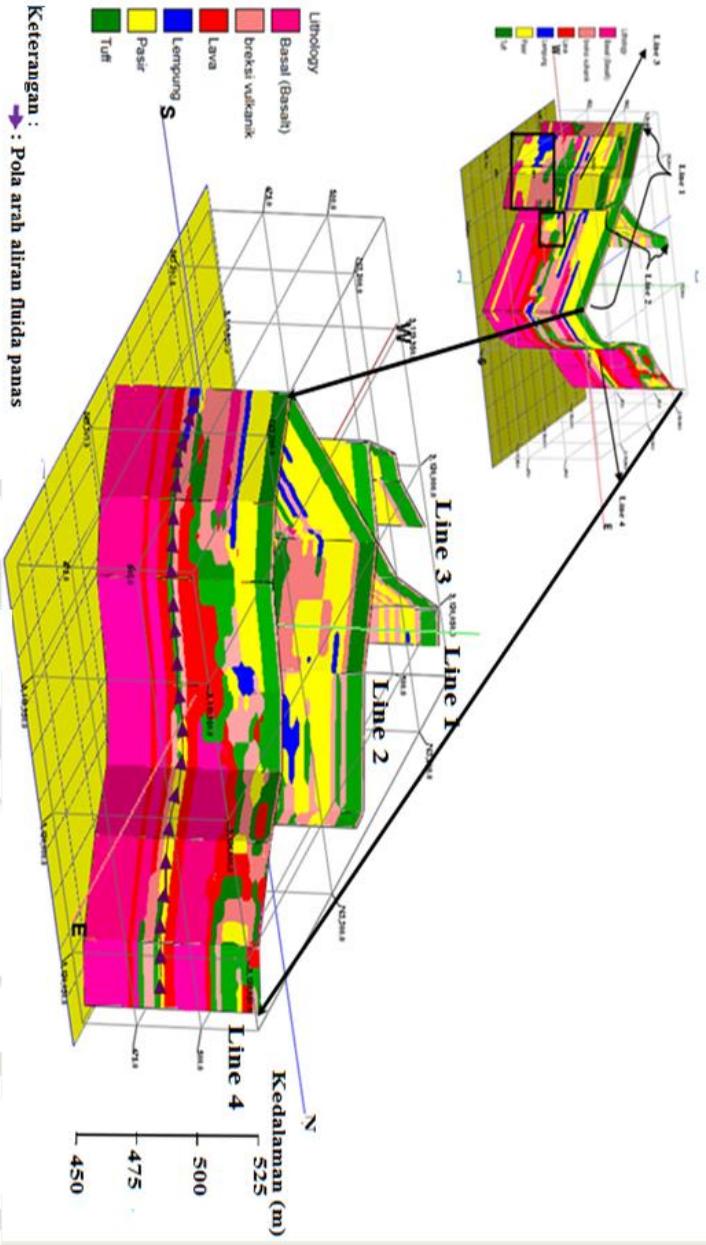
Gambar L.1.1 Hasil permodelan 3D pada lintasan 1



Gambar L.1.2 Hasil permodelan 3D pada lintasan 2

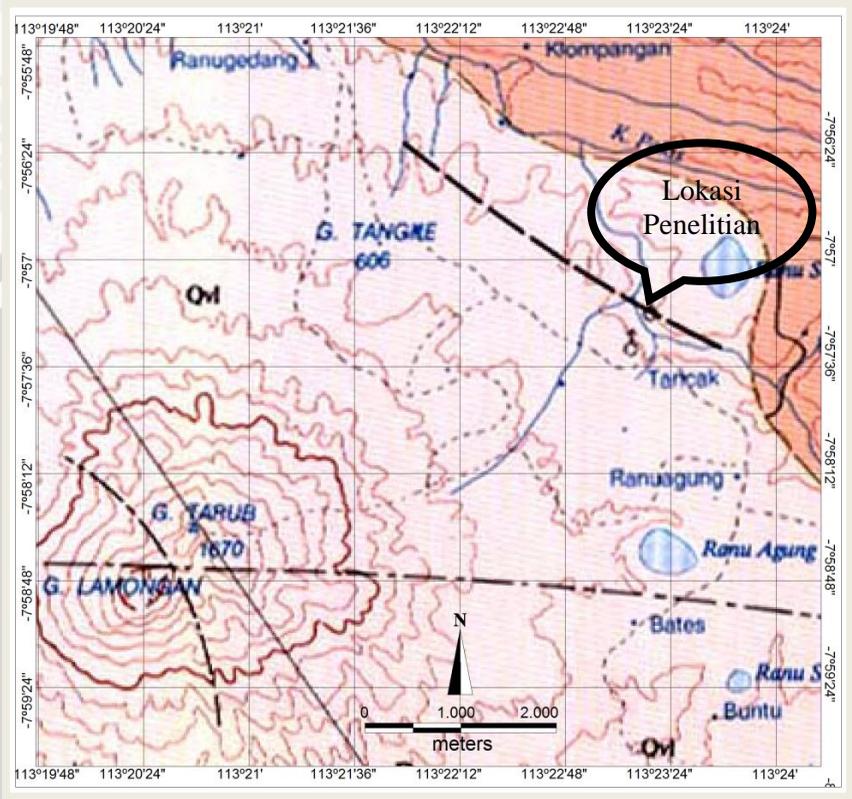


Gambar L.1.1.3 Hasil permodelan 3D pada lintasan 3



Gambar L.1.14 Hasil permodelan 3D pada lintasan 4

Lampiran 2 Peta geologi lembar Probolinggo



Gambar L.2.1 Peta geologi lembar Probolinggo

EXPLANATION

- Qa** ALUVIUM
ALLOVIUM
: Lempung, lumpur, pasir, kerikil, kerakal, bongkah dan sisa-sisa
: Clay, mud, sand, pebbles, cobbles, boulders and glass remains
- Ql** BATUCAMRING KORAL
CORALLINE LIMESTONE
: Batugamping koral dan batugamping pasir
: Coralline limestone and sandy limestone
- Qm** BATUAN GUNUNGAPI
LAMONGAN
LAONGAN VOLCANIC
ROCKS
: Lava, ash to lapilli tuff, lahar and volcanic breccia

- Om1** LAVA LAMONGAN
LAMONGAN LAYAS
: Lava andeak basal
: Andesite to basaltic lava

- Or** ENDAPAN ROMBAKAN
CEKRAKATICA DEBRIS
: Lahar tuf, breksi gunungapi dan runtuhan batuan gunungapi
: Lahar tuff, volcanic breccia and volcanic debris

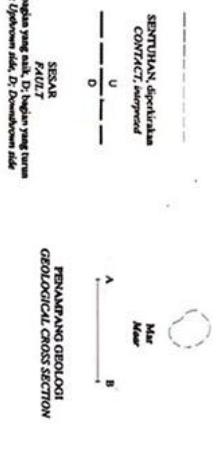
- Om** BATUAN GUNUNGAPI
TENGER
TENGER VOLCANIC
ROCKS
: Tuf, breksi gunungapi, lava dan lahar
: Tuff, volcanic breccia, lava and lahar

- Oms** BATUAN GUNUNGAPI
AROGUNO
AROGUNO VOLCANIC
ROCKS
: Lava andeak basal, breksi gunungapi dan tuf
: Andesite to basaltic lava, volcanic breccia and tuff

- Op1** BATUAN GUNUNGAPI
TENGER TUA
OLD TENGER VOLCANIC
ROCKS
: Breksi gunungapi, tuf, lava, agglomerat dan lahar
: Volcanic breccia, tuff, lava, agglomerat and lahar

PETA GEOLOGI LEMBAR PROBOLINGGO, JAWA.
GEOLOGICAL MAP OF THE PROBOLINGGO QUADRANGLE, JAVA

PERPUSTAKAAN
SILAHMAJONG 1942
DIAKHIRI T. SURWATI



Gambar L.2.2 Keterangan peta geologi lembar Probolinggo

Lampiran 3 Akuisisi data penelitian



Gambar L.3.1 Akuisisi data pada daerah lintasan 1 dan lintasan 2



Gambar L.3.2 Akuisisi data pada daerah lintasan 3



Gambar L.3.3 Akuisisi data pada daerah lintasan 4

Lampiran 4 Manifestasi sumber air panas



Gambar L.4.1 Lokasi manifestasi sumber air panas 1



Gambar L.4.2 Lokasi manifestasi sumber air panas 2

Lampiran 5 Lokasi daerah penelitian



Gambar L.5.1 Lokasi akuisisi data pada lintasan 1



Gambar L.5.2 Lokasi akuisisi data pada lintasan 2



Gambar L.5.3 Lokasi akuisisi data pada lintasan 3



Gambar L.5.4 Lokasi akuisisi data pada lintasan 4

