



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENENTUAN ARAH PATAHAN DANGKAL SEBAGAI JALAN
KELUARNYA GAS MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK
2-D DI KAYANGAN API BOJONEGORO**

Yul Kifli Kiftoni
NRP 01111 34 00000 86

Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - SF 141501

**DETERMINATION DIRECTION OF SHALLOW FRACTURE AS
A WAY OF GAS SEEPING USING 2 DIMENSION RESISTIVITY
METHOD IN KAYANGAN API, BOJONEGORO**

Yul Kifli Kiftoni
NRP 01111 34 00000 86

Advisors
Dr. Sungkono, M.Si

Department of Physics
Faculty of Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN ARAH PATAHAN DANGKAL SEBAGAI JALAN KELUARNYA GAS MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK 2-D DI KAYANGAN API BOJONEGORO

TUGAS AKHIR

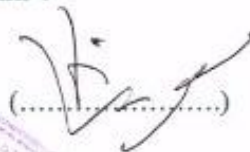
Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains pada :
Program Sarjana Departemen Fisika,
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YUL KIFLI KIFTONI
NRP. 01111 34 00000 86

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Sungkono, M.Si
NIP. 19850702 201404.1.002


(.....)



PENENTUAN ARAH PATAHAN DANGKAL SEBAGAI JALAN KELUARNYA GAS MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK 2-D DI KAYANGAN API BOJONEGORO

Nama Mahasiswa : Yul Kifli Kiftoni
NRP : 0111134000086
Departemen : Fisika FIA-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sungkono, M.Si

ABSTRAK

Kayangan Api merupakan fenomena geologi alam berupa api abadi yang terletak di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Semburan gas ini karena adanya gas yang merembes melalui patahan menuju ke permukaan bumi. Hal ini mengindikasikan bahwa di Bojonegoro memiliki cadangan hidrokarbon gas yang melimpah. Untuk mengetahui tentang arah dan posisi patahan di daerah Kayangan Api, dilakukan pengukuran menggunakan metode geolistrik 2-D konfigurasi Wenner-Schlumberger. Proses analisa data menggunakan metode Occam. Diperoleh model 2 dimensi kontur resistivitas yang menggambarkan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas batuan. Hasilnya ialah terdapat anomali konduktif yang diidentifikasi dengan adanya suatu patahan. Patahan pada anomali konduktif disebabkan karena patahan tersebut tersaturasi fluida. Patahan dangkal di Kayangan Api ini memiliki arah Barat Daya menuju ke arah Timur Laut.

Kata kunci : Api abadi, inversi, patahan, resistivitas

***DETERMINATION DIRECTION OF SHALLOW
FRACTURE AS A WAY OF GAS SEEPING USING 2
DIMENSION RESISTIVITY METHOD IN KAYANGAN API,
BOJONEGORO***

Nama Mahasiswa : Yul Kifli Kiftoni
NRP : 0111134000086
Departemen : Fisika FIA-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sungkono, M.Si

ABSTRACT

Kayangan Api is natural geological phenomena of eternal flame that located in Bojonegoro, East Java. Gas bursts appear caused gas seeping to the surface of the earth through a fracture. This is indicates that in Bojonegoro has abundant gas reserves. Therefore, geoelectric 2-D method with Wenner-Schlumberger configuration used to identify direction and position of fracture. The least-square inversion using Occam technique process is performed on measurement data by ZondRes2D software. The result is a two dimensional model of resistivity contour that describes the subsurface based on the resistivity value of rocks. The result is that there are conductive anomaly identified by the presence of a fracture. Fractures in conductive anomalies are caused because the fracture is saturated fluid. Interpretation results showed that the direction of fracture is southwest to northeastt.

Keywords: eternal flame, fracture, inverse, resistivity

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, karena hanya atas rahmat dan karunia-Nya penulis bisa menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Penentuan Arah Patahan Dangkal Sebagai Jalan Keluarnya Gas Menggunakan Metode Geolistrik 2-D Di Kayangan Api Bojonegoro”**.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian sebagai salah satu syarat untuk menempuh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geofisika, Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari skripsi ini dapat diselesaikan atas bimbingan, arahan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Sungkono M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan, wawasan dan dukungan yang luar biasa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Keluarga tercinta, Ibuku Istikharoh, Ayahanda Edy Supangat dan Kakak Yuniar Erviana dan Vidu Dirma yang selalu memberikan dukungan semangat, nasehat dan do'a restunya kepada penulis
3. Bapak Prof. Dr. Bagus Jaya Sentosa dan Bapak Dr. Ali Yunus Rohedi selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir yang memberikan masukan dan wawasan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M.Eng dan Dr. rer. Nat. Eko Minarto, selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Fisika FIA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah.
5. Bapak Dr. Suasmoro selaku dosen wali penulis yang telah memberi saran dan nasehat selama masa kuliah
6. Tim Kayangan Api yaitu Fairus Salimatul Fajriyah, Shafitri Wulandari dan M. Dwi Nurdiansyah yang selalu menemani saat pengambilan data Tugas Akhir

7. Husein, Uunk, Adib, Oman, Arda, Getek, Dani, Mas Adi dan Mas Fandi yang telah membantu tim Kayangan Api saat pengambilan data.
8. Ayu Pradita sebagai teman penulis yang senantiasa memberikan waktu luang untuk berbagi canda tawa
9. Teman-teman Geofisika 2013 yang membantu dan saling berbagi wawasan dengan penulis selama belajar tentang ilmu kebumian (geofisika)
10. Segenap teman Fisika 2013 (Supernova) yang telah menemani, berbagi dukungan dan saling memberi wawasan dengan penulis dalam segala hal selama masa kuliah di ITS
11. Bapak Rahayu Kiswanto selaku laboran lab. Geofisika ITS yang memberikan kemudahan dalam memberikan fasilitas di Laboratorium Geofisika
12. Teman-teman kost terutama Jati Widiyanto yang senantiasa membantu penulis dalam berbagai urusan

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini, maka dari itu penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun demi hasil yang lebih baik. Dengan kerendahan hati, semoga karya ini dapat bermanfaat bagi semua. *Aamiin*.....

Surabaya, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>TITLE PAGE</i>	i
LEMBAR PENGESAHAN ...Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Geologi Regional Bojonegoro	5
2.2 Patahan.....	7
2.3 Gas Alam	9
2.4 Sifat Kelistrikan Bumi	12
2.4.1 Potensial Litrik Batuan.....	14

2.4.2 Konduktivitas Listrik Batuan	15
2.5 Potensial Listrik Dalam Medium Homogen	16
2.6 Metode Resistivitas.....	17
2.7 Konfigurasi Elektroda Wenner-Schlumberger	20
2.8 Konsep Resistivitas Semu.....	21
2.9 Tomografi Geolistrik	22
2.10 Inversi Resistivity 2-D.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Kajian Literatur.....	28
3.2 Survei Awal	28
3.3 Akuisisi Data	29
3.4 Pengolahan Data	32
3.5 Interpretasi Data.....	33
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Analisa Data.....	35
4.2 Interpretasi Data.....	35
4.3 Pembahasan	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi regional daerah Bojonegoro.....	6
Gambar 2.2 Macam-macam patahan.....	8
Gambar 2.3 Zonasi hidrokarbon di alam.....	9
Gambar 2.4 Proses migrasi gas.....	10
Gambar 2.5 Asumsi silinder dialiri arus listrik.....	12
Gambar 2. 6 Equipotensial dan garis arus dari dua titik sumber diper permukaan.....	18
Gambar 2.7 Susunan elektroda ganda di permukaan homogen...	20
Gambar 2. 8 Susunan titik datum pada metode resistivitas 2D konfigurasi Wenner-Schlumberger.....	21
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Resistivitymeter Campus Tigre.....	30
Gambar 3. 3 Perlengkapan alat geolistrik resistivitas.....	30
Gambar 3. 4 Desain lintasan pengukuran.....	31
Gambar 3.5 Teknik pengukuran untuk mendapatkan profil 2D....	32
Gambar 4. 1 Penampang 2D kontur resistivitas hasil inversi	37
Gambar 4. 2 Pemodelan 3D dari penampang resistivitas 2D masing-masing lintasan	45
Gambar 4. 3 Interpretasi hasil Pemodelan 3D dari penampang resistivitas 2D masing-masing lintasan	46
Gambar 4. 4 Pemodelan 3-D parameter resistivitas hasil inversi setiap lintasan dengan metode VLF-EM.....	48

Gambar 4. 5 Interpretasi Pemodelan 3-D parameter resistivitas hasil inversi tiap lintasan metode VLF-EM	49
Gambar 4. 6 Persebaran anomali dipol dan monopol pada contour	49
Gambar 4. 7 Arah patahan berdasarkan anomali dipol.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Variasi resistivitas beberapa jenis material.....	12
Tabel 4.1 Iterasi dan nilai RMS <i>error</i> hasil inversi tiap lintasan...	38

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Administrasi Perizinan	56
LAMPIRAN 2 Data Sheet Wenner-Schlumberger	59
LAMPIRAN 3 Dokumentasi Kegiatan Penelitian	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan ini ada beberapa fenomena geologi yang lazim terjadi. Salah satu fenomena geologi alam ini adalah Kayangan Api yang terletak di Desa Sendangharjo, Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. Kompleks kayangan api yang terletak di kawasan hutan lindung ini merupakan fenomena geologi alam berupa keluarnya gas alam dari dalam bumi. Gas alam ini lalu tersulut api sehingga menjadi terbakar. Selain di Bojonegoro, terdapat fenomena alam serupa di daerah Pamekasan, Madura.

Fenomena api tak kunjung padam terjadi karena adanya rembesan gas metana yang mengalir dari bawah ke permukaan bumi melalui patahan (Etiope et al., 2013). Hal ini disebabkan tekanan di dalam bumi lebih besar daripada tekanan di permukaan bumi sehingga gas muncul keluar ke permukaan. Fenomena ini memberikan gambaran bahwa di sekitar lokasi kayangan api terdapat kandungan hidrokarbon gas. Pada jarak 2-3 Km dari Kayangan Api terdapat adanya pengeboran gas yang dilakukan oleh PT. Exxon Mobil sehingga semakin memperkuat dugaan adanya hidrokarbon di bawah lokasi Kayangan Api tersebut.

Untuk mengetahui arah rekahan daerah Kayangan Api perlu dilakukan penelitian geofisika untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi di daerah tersebut. Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geofisika aktif yang dapat mengukur potensial listrik batuan. Menurut Fitrah et al. (2015), metode geolistrik resistivitas merupakan metode geolistrik yang sering digunakan untuk menggambarkan zona rekahan. Metode ini menggunakan sumber arus buatan yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui elektroda. Hasil pengukuran yang diperoleh didasarkan pada perbedaan tingkat kelistrikan suatu batuan. Menurut Purwasatriya dan Waluyo (2011) bidang patahan yang dilalui oleh fluida akan semakin konduktif, sehingga batuan yang

mengandung gas akan memberikan respon yang berbeda dan kontras terhadap batuan lain disekitarnya. Hal ini yang dijadikan acuan dalam menduga bidang patahan.

Loke (1996) memperkenalkan analisis kuantitatif data geolistrik dengan menggunakan inversi kuadrat terkecil (*least-square*). Hasilnya berupa penampang 2-D kontur resistivitas yang mewakili nilai resistivitas struktur batuan di bawah permukaan. Pada proses inversinya dilakukan dengan teknik Occam. Teknik inversi ini menggunakan operator *smoothing* yang mampu mereduksi perbedaan antara pengukuran dan perhitungan nilai resistivitas. Pemodelan 3 dimensi dari penampang 2 dimensi kontur resistivitas hasil inversi dilakukan untuk mempermudah interpretasi.

Penyelidikan menggunakan metode geolistrik resistivitas 2-D konfigurasi Wenner-Schlumberger diharapkan dapat diketahui informasi tentang kondisi bawah permukaan, baik secara horizontal maupun vertikal di daerah lokasi penelitian. Sehingga nantinya dapat ditentukan arah patahan dangkal yang terdapat di Kayangan Api sebagai jalan keluarnya gas.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian tentang menggunakan metode geolistrik yang akan dilakukan di Kayangan Api Bojonegoro ini adalah:

1. Berapakah nilai resistivitas lapisan bawah permukaan di daerah Kayangan Api Bojonegoro?
2. Bagaimana struktur tanah bawah permukaan di daerah Kayangan Api Bojonegoro?
3. Bagaimana arah patahan yang mengontrol keluarnya gas di Kayangan Api Bojonegoro berdasarkan interpretasi kuantitatif data geolistrik?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Akuisisi data di lapangan dengan menggunakan metode resistivitas 2-D dengan konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger
2. Pengolahan data resistivitas menggunakan *software* ZondRes2D untuk proses inversi.
3. Lokasi penelitian di Kayangan Api Desa Sendangharjo, Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian ini, tujuan penelitian ini antara lain:

1. Menentukan nilai resistivitas lapisan bawah permukaan di daerah Kayangan Api Bojonegoro
2. Mengetahui struktur tanah bawah permukaan di daerah Kayangan Api Bojonegoro
3. Mengetahui arah patahan yang mengontrol keluarnya gas di Kayangan Api Bojonegoro berdasarkan interpretasi kuantitatif data geolistrik

1.5 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir ini tersusun atas urutan sebagai berikut :

1. **Bab I Pendahuluan**, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
2. **Bab II Dasar Teori**, berisi tentang dasar-dasar teori yang menjadi landasan pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
3. **Bab III Metodologi Penelitian**, berisi tentang lokasi penelitian, peralatan, metode yang digunakan dalam

penelitian, langkah-langkah penelitian, dan metode untuk analisis data penelitian.

4. **Bab IV Analisa dan Pembahasan**, berisi tentang analisa dan interpretasi data yang diperoleh dari hasil akuisisi data di lapangan
5. **Bab V Penutup**, berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang bisa dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

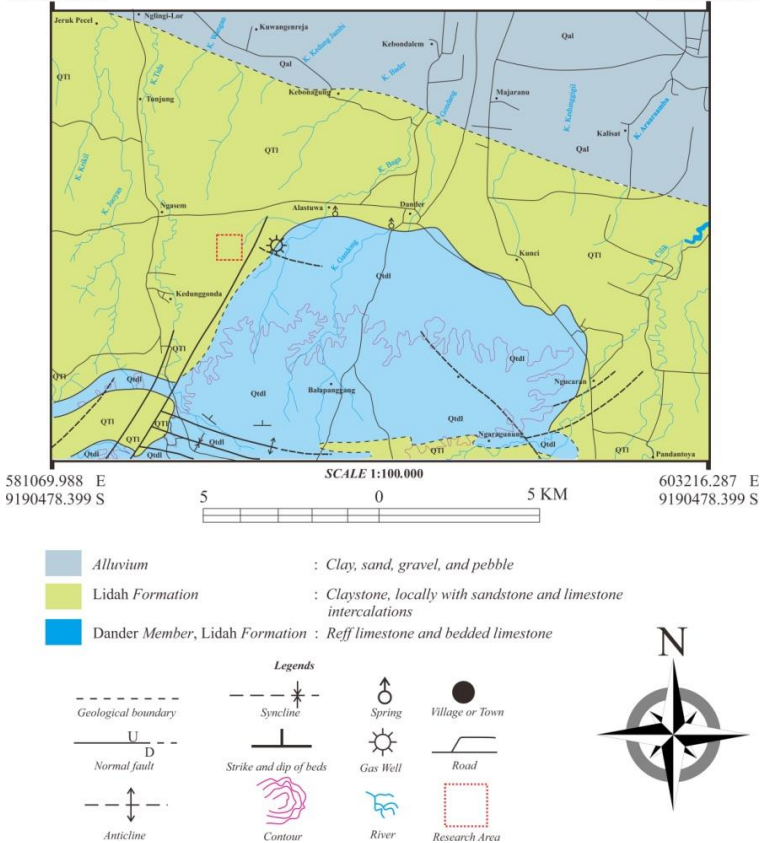
LANDASAN TEORI

2.1 Geologi Regional Bojonegoro

Bojonegoro merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Bojonegoro terletak pada posisi 6°59' sampai 7°37' lintang selatan dan 111°25' sampai 112°09' bujur timur. Wilayah Bojonegoro merupakan bagian dari blok Cepu dan salah satu sumber deposit minyak bumi di Indonesia. Bagian barat Bojonegoro terdapat sungai Bengawan Solo yang mengalir dari selatan, dan menjadi batas alam antara Provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Pada bagian selatan terdapat pegunungan kapur, yang merupakan bagian dari rangkaian Pegunungan Kendeng. Pada utara terdapat bagian rangkaian Pegunungan Kapur Utara. Bojonegoro termasuk daerah cekungan Jawa Timur utara. Cekungan ini mengarah dari Semarang hingga Surabaya sejauh 250 Km dengan lebar antara 60-70 Km.

Bojonegoro merupakan mandala geologi Rembang yang mana pada zona ini terdapat struktur pelipatan. Struktur lipatan ini terdapat pada 2 bagian yaitu bagian barat dan bagian timur. Pada bagian barat berupa antiklin yang memiliki poros arah dari barat menuju timur. Sedangkan pada bagian timur poros antiklin mengarah dari barat laut menuju tenggara.

Daerah penelitian berada di kawasan Kayangan Api, Desa Sendangharjo, Ngasem, Bojonegoro. Secara geografis kawasan ini terletak pada 111°79' bujur timur dan 7°25' lintang selatan yang ditandai dengan kotak warna merah pada Gambar 2.1. Dalam peta geologi Bojonegoro, Kawasan Kayangan Api berada di daerah Dander. Dander merupakan anggota dari Formasi Lidah dengan litologi umumnya berupa batu gamping (Pringgoprawiro, 1983).

581069.988 E
9205685.086 S603216.287 E
9205685.086 S

Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Daerah Bojonegoro

Berdasarkan pada Gambar 2.1, Formasi Lidah sebagian besar tersusun atas batuan lempung biru tua. Di bagian selatan Bojonegoro, diantara lapisan batuan lempung terdapat sisipan napal dan batu pasir kuarsa yang mengandung glaukonit. Formasi Lidah secara tidak selaras tertutup endapan alluvial dan endapan tersa singai. Sedangkan menurut Barianto et al., (2015), jenis tanah di Bojonegoro adalah: Alluvial seluas 46.349 Ha (20,09%),

Gruasol seluas 88.937 Ha (38,55%), Litosol sebesar 50.871 Ha (22.05%), dan Medeteran seluas 44.549 Ha (19,31 %)

Cekungan Jawa Timur terbagi menjadi dua periode. Periode pertama yang berorientasi dari arah timur laut menuju barat daya (searah pola Meratus) dengan batuan yang mengalami tektonik regangan yang diindikasikan oleh litologi batuan dasar. Periode kedua cekungannya berarah dari timur menuju barat (searah dengan memanjangnya Pulau Jawa), yang merupakan tektonik kompresi, sehingga menghasilkan struktur geologi lipatan, sesar–sesar anjak menyebabkan cekungan Jawa Timur Utara terangkat (Pulunggono dan Martodjoyo, 1994).

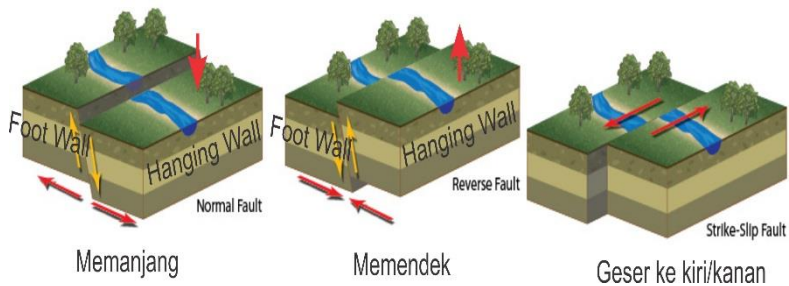
2.2 Patahan

Patahan adalah zona rekahan pada batuan yang memperlihatkan pergeseran. Pergeseran bisa terjadi sepanjang garis lurus (translasi) atau rotasi. Patahan merupakan struktur bidang dimana kedudukannya dinyatakan dalam *strike* dan *dip* dimana terdapat dislokasi atau struktur yang memotong bidang perlintasan batuan (Chumairoh et al., 2010).

Menurut Wiliams (2004) secara garis besar, sesar dibagi menjadi dua, yaitu sesar tampak dan sesar buta (*blind fault*). Sesar yang tampak adalah sesar yang mencapai permukaan bumi sedangkan sesar buta adalah sesar yang terdapat dibawah permukaan bumi dan tertutupi oleh lapisan seperti lapisan deposisi sedimen. Beberapa kenampakan yang dapat digunakan sebagai penunjuk adanya sesar antara lain:

- a. Adanya struktur yang tidak menerus (lapisan terpotong dengan tiba-tiba).
- b. Adanya perulangan lapisan atau hilangnya lapisan batuan.
- c. Kenampakan khas pada bidang sesar, seperti cermin sesar dan gores garis.
- d. Kenampakan khas pada zona sesar.
- e. Silisifikasi dan mineralisasi sepanjang zona sesar.
- f. Adanya *boundins*, yaitu suatu lapisan batuan yang terpotong-potong akibat sesar.

Patahan (*fault*) atau sesar merupakan satu bentuk rekahan pada lapisan batuan bumi yang menyebabkan satu blok batuan bergerak relatif terhadap blok yang lain. Pergerakan bisa relatif turun, relatif naik, ataupun bergerak relatif mendatar terhadap blok yang lain. Pergerakan yang tiba-tiba dari suatu patahan bisa mengakibatkan gempa bumi. Patahan bisa terjadi sepanjang retakan pada kerak bumi yang terdapat slip diantara dua sisi yang terdapat sesar tersebut. Beberapa macam patahan dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Macam-macam patahan

- **Normal Fault**
Disebut juga patahan turun yang disebabkan oleh *stress* tensional yang seolah-olah menarik/memisahkan kerak. Pada *normal fault* ini didefinisikan sebagai patahan yang *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall*. Hal ini menyebabkan batuan yang berumur lebih muda akan menutupi bagian yang lebih tua
- **Reverse Fault**
Disebut juga patahan naik yang disebabkan oleh *stress* kompresional yang seolah-olah mendorong kerak. Pada *reverse fault* ini didefinisikan sebagai patahan yang *hanging wall* relatif naik terhadap *foot wall*. Hal ini menyebabkan batuan yang berumur lebih tua akan menutupi bagian yang lebih muda

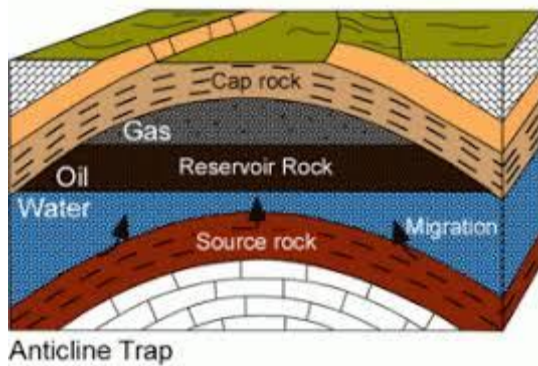
- *Strike Slip Fault*

Patahan ini disebut juga patahan geser. Gerak utama patahan ini adalah horizontal dan sejajar dengan bidang patahannya. Patahan ini diakibatkan oleh *shear stress*. Pergerakan lateralnya dapat ditentukan secara relatif berdasarkan pengamat. Bila pengamat mengamati bahwa pergerakannya ke arah kanan maka dapat didefinisikan sebagai patahan mendatar dextral. Bila pengamat mengamati bahwa pergerakannya ke arah kiri maka dapat didefinisikan sebagai patahan mendatar sinistra (Magetsari et al., 2004).

Rekahan yang terdapat pada lapisan bumi bisa disebabkan karena adanya tekanan yang bekerja pada batuan. Tekanan yang bekerja dapat menyebabkan rusaknya susunan struktur batuan sehingga menimbulkan patah. Patahan ini dapat dialiri oleh fluida karena sifat fluida yang dapat mengalir apabila terdapat adanya perbedaan tekanan. Patahan merupakan anomali struktur pelapisan bumi yang secara umum berada pada posisi horizontal. Bidang patahan merupakan bidang konduktif karena adanya fluida yang melewatinya.

2.3 Gas Alam

Suatu tempat terakumulasinya hidrokarbon (minyak dan gas bumi) disebut reservoir (Gambar 2.3). Pada umumnya reservoir minyak ataupun gas memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung dari komposisi, temperatur dan tekanan pada tempat dimana terjadi akumulasi hidrokarbon didalamnya. Batuan reservoir merupakan batuan berpori yang dapat menyimpan dan melewatkan fluida. Sehingga adanya reservoir sangat tergantung dari permeabilitas dan porositas tekstur batuan. Tekstur batuan ini sangat dipengaruhi oleh proses sedimentasi dan lingkungan proses pengendapannya. Semakin besar tingkat porositas dan permeabilitasnya maka semakin besar kemungkinan adanya reservoir.



Gambar 2. 3 Zonasi hidrokarbon di alam

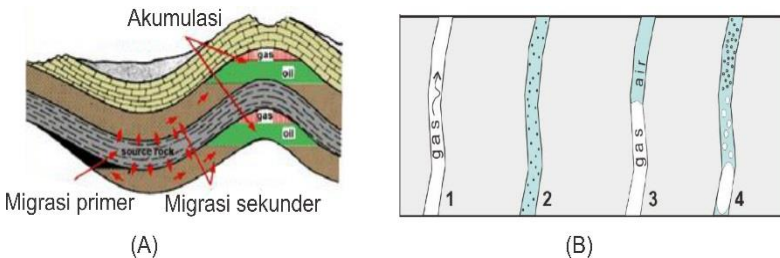
Di alam batuan reservoir biasanya berupa batuan pasir atau batu karbonat. Beberapa syarat terakumulasinya minyak dan gas bumi adalah :

1. Adanya batuan induk (*source rock*), batuan sedimen yang mengandung bahan organik seperti sisa-sisa hewan dan tumbuhan yang telah mengalami proses pematangan dengan waktu sangat lama sehingga menghasilkan minyak dan gas.
2. Adanya batuan waduk (*reservoir rock*), batuan sedimen yang mempunyai pori, sehingga minyak dan gas yang dihasilkan batuan induk dapat masuk dan terakumulasi.
3. Adanya batuan penutup (*cap rock*) yaitu batuan sedimen yang tidak dapat dilalui oleh cairan (*impermeable*), sehingga minyak dan gas bumi terjebak dalam batuan tersebut.
4. Adanya jalur migrasi yaitu jalan masuk untuk minyak dan gas dari batuan induk sampai terakumulasi pada perangkap.

Sifat fisik dan kimia gas sangat tergantung dari tekanan, temperature dan komposisi dari gas tersebut. Setiap reservoir minyak pasti memiliki mekanisme pendorong (Hermeidi, 2015). Mekanisme pendorong reservoir didefinisikan sebagai tenaga yang dimiliki oleh reservoir secara alamiah, sehingga menyebabkan dapat mengalirnya fluida hidrokarbon dari formasi batuan menuju

ke lubang sumur atau dari formasi batuan satu ke formasi batuan lainnya. Besarnya tenaga pendorong tergantung kondisi tekanan dan temperatur formasi dimana reservoir tersebut berada, dan pelepasan energinya dipengaruhi proses produksi yang dilakukan.

Proses migrasi gas dalam formasi batuan di bawah tanah dibedakan menjadi 2 yaitu berdasarkan gradient konsentrasi dan gradient tekanan. Disebut gradient konsentrasi bila fluida gas bergerak dari *source rock* ke arah rongga-rongga batuan di sekitarnya sehingga tiap rongga akan memiliki konsentrasi gas yang sama disebut difusi (Gambar 2.4 A). Bila pergerakan disebabkan karena gradient tekanan yang mana mengalir dari tekanan tinggi menuju ke rendah disebut adveksi (Gambar 2.4 B). Dalam hal ini dapat dikatakan rembesan apabila gas yang mengalir ke permukaan merupakan jenis gas metana, etana, propane atau butana.



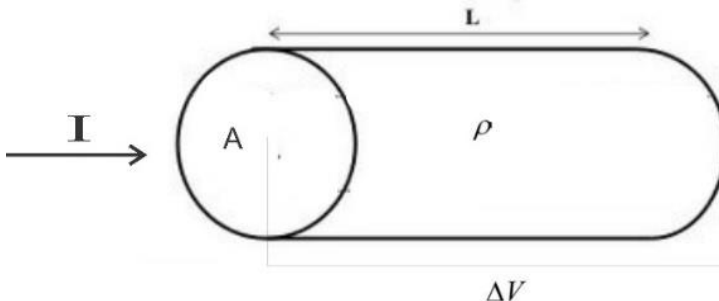
Gambar 2. 4 Proses migrasi gas (A) difusi (B) adveksi

Proses perpindahan hidrokarbon dari titik satu ke titik lainnya dapat dilakukan dengan menggunakan pertolongan air maupun tanpa pertolongan air. Proses perpindahan hidrokarbon dari reservoir ke tempat lebih tinggi yang melewati pori-pori batuan atau celah antarbatuan disebut migrasi. Kemiringan lapisan secara regional akan mempengaruhi migrasi hidrokarbon. Pada dasarnya ada beberapa sumber penggerak yang membantu proses migrasi hidrokarbon diantaranya tekanan hidrostatik, tenaga potensial, tenaga permukaan fluida dan adanya pembebasan gas terlarut dalam cairan.

2.4 Sifat Kelistrikan Bumi

Bumi terbentuk dari berbagai macam mineral atau batuan yang saling terikat, baik itu berupa mineral padat yang diam ataupun mineral yang mengalir atau fluida. Setiap mineral memiliki sifat-sifat fisika seperti sifat kemagnetan, potensial, gelombang radioaktif alami, atau panas bumi. Batuan merupakan suatu materi yang juga memiliki sifat kelistrikan. Mineral-mineral yang dikandung batuan dan struktur pembentuknya mengakibatkan batuan bersifat konduktif ataupun resistif terhadap arus listrik. Sifat ini merupakan karakteristik dari batuan tersebut apabila ada arus listrik yang mengalir di dalamnya. Sifat listrik ini bisa berasal dari alam ataupun dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalamnya sehingga terjadi ketidakseimbangan muatan.

Sifat konduktivitas listrik batuan sangat dipengaruhi oleh jumlah fluida dan bagaimana cara fluida didistribusikan dalam batuan. Konduktivitas listrik batuan yang mengandung air sangat ditentukan terutama oleh sifat air, yakni elektrolit. Larutan garam terdiri dari anion dan kation yang bergerak bebas dalam air. Adanya medan listrik eksternal menyebabkan kation dalam larutan elektrolit dipercepat menuju kutub negatif sedangkan anion menuju kutub positif. Batuan berpori berisi air, nilai resistivitas listriknya berkurang yang artinya akan semakin konduktif.



Gambar 2. 5 Silinder dialiri arus listrik

Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan). Resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk

bahan tersebut, sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri. Jika ditinjau suatu silinder dengan rapat massa ρ dialiri arus listrik I (Gambar 2.5) dengan panjang L dan luas penampang A , maka nilai resistansi R dapat dirumuskan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.1)$$

dengan ρ menotasikan resistivitas (tahanan jenis) dalam $\Omega.m$. Menurut hukum Ohm, resistansi R dapat dirumuskan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

dengan R menotasikan resistansi (Ω), V menotasikan beda potensial (volt), I menotasikan kuat arus (Ampere). Kemudian Persamaan (2.2) disubstitusi ke Persamaan (2.1) sehingga didapatkan nilai resistivitas (ρ) pada Persamaan (2.3) sebesar:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.3)$$

Berikut ini merupakan nilai resistivitas material-material bumi sebagaimana pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Variasi resistivitas beberapa jenis material

Jenis Material	Resistivity ($\Omega.m$)
Kuarsa	500-800.000
Kalsit	1×10^{12} - 1×10^{13}
Granit	200-100.000
Andesit	200-400.000
Basal	200-100.000
Batu gamping	500-10.000
Batu tulis	20-2.000
Batu pasir	200-8.000
Pasir	1-1.000
Lempung	1-100

Magnetit	0,01-1.000
Alluvium	10-800
Kerikil kering	600-1.000
Kerikil basah	100-600
Air tanah	0,5-300
Air Laut	0,2

2.4.1 Potensial Listrik Batuan

Potensial listrik batuan merupakan potensial listrik alam yang ditimbulkan dari proses elektrokimia maupun mekanik. Proses-proses ini terjadi karena adanya air tanah yang berfungsi sebagai factor penyeimbang dari semua peristiwa di dalam tanah.

Menurut Wahyono (2004) sumber potensial listrik batuan dapat dibagi menjadi 4 kelompok yaitu :

1. Potensial Elektrokinetik
Potensial elektrokinetik terjadi apabila larutan memiliki resistivitas listrik dan viskositas yang bekerja pada kapiler atau medium yang berpori. Potensial ini secara umum tidak terlalu penting, tetapi efek dari aliran ini dapat menjadi penyebab terjadinya anomali.
2. Potensial Difusi
Potensial difusi ini disebabkan oleh terjadinya perbedaan variasi ion dalam larutan yang memiliki konsentrasi berbeda.
3. Potensial Nerst
Apabila dua elektroda logam yang identik dimasukkan ke dalam larutan yang homogen, maka tidak akan terjadi potensial antara kedua elektroda tersebut. Namun bila konsentrasi larutan itu berubah, maka akan timbul beda potensial antara kedua elektroda tersebut. Beda potensial yang timbul dinamakan potensial nerst.
4. Potensial Mineralisasi
Potensial ini terjadi bila dua elektroda logam yang berbeda dimasukkan dalam larutan bersifat homogen. Potensial ini memiliki harga yang paling besar bila dibandingkan dengan

jenis potensial lainnya. Biasanya potensial ini timbul pada daerah yang mengandung banyak sulfide dan grafit. Jadi potensial listrik dapat ditimbulkan karena adanya suatu larutan yang mengalir melalui medium berpori dengan sifat kapilernya, pada daerah yang banyak mengandung sulfida.

2.4.2 Konduktivitas Listrik Batuan

Batuan dapat bersifat konduktor disebabkan karena adanya ikatan kovalen antar ion pada batuan tersebut. Menurut Wahyono (2004) sifat konduktif pada batuan mineral ini dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu:

1. **Konduksi Elektronik**

Konduksi jenis ini merupakan bentuk normal dari aliran dalam batuan karena mempunyai banyak electron bebas. Sebagai contohnya, batuan yang banyak mengandung logam.

2. **Konduksi Elektrolitik**

Konduksi jenis ini dapat ditemukan pada batuan yang mempunyai sifat porositas tinggi sehingga dengan mudah terisi oleh larutan elektrolit. Arus listrik dapat mengalir karena adanya sifat elektrolit larutan yang mengisi pori-pori batuan. Konduksi elektrolitik bersifat lebih lambat bila dibandingkan konduksi elektronik.

3. **Konduksi Dielektrik**

Konduksi ini terjadi pada batuan bersifat dielektrik. Sebenarnya batuan tersebut sedikit sekali mempunyai elektron bebas atau bahkan tidak memiliki sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar, maka electron-electron itu terganggu kedudukannya sehingga menimbulkan polarisasi. Potensial jenis ini bergantung pada konstanta dielektrik batuan.

Jadi sifat konduktik batuan mineral dapat dibedakan karena banyak sedikitnya elektron bebas, tingkat porositas, dan adanya pengaruh medan listrik dari luar.

2.5 Potensial Dalam Medium Homogen

Apabila suatu medium homogen isotropis dialiri arus listrik dengan rapat arus J dan kuat medan listrik E , maka menurut Hukum Ohm dapat ditulis sebagai berikut:

$$J = \sigma E \quad (2.4)$$

dengan σ adalah:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.5)$$

sehingga didapatkan persamaan:

$$J = \frac{1}{\rho} E \quad (2.6)$$

dengan E satuannya adalah Volt/meter, J satuannya adalah Ampere/m² dan ρ menotasikan resistivitas dalam Ωm . Medan listrik E merupakan gradient dari potensial skalar yang dirumuskan:

$$E = -\nabla V \quad (2.7)$$

dengan memasukkan Persamaan (2.7) ke Persamaan (2.6) maka didapatkan:

$$J = -\frac{1}{\rho} \nabla V \quad (2.8)$$

atau bisa juga ditulis dengan Persamaan (2.9) di bawah ini:

$$J = -\sigma \nabla V \quad (2.9)$$

jika sumber tidak memiliki muatan, dapat dituliskan:

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (2.10)$$

dengan mensubstitusikan Persamaan (2.9) ke dalam Persamaan (2.10) maka diperoleh:

$$\nabla \cdot J = -\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (2.11)$$

Selanjutnya dengan menggunakan teorema vector maka diperoleh:

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (2.12)$$

karena medium dianggap homogen isotropis (ρ konstan), maka suku pertama sama dengan nol, sehingga didapatkan persamaan Laplace dalam bentuk potensial harmonik:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.13)$$

dalam koordinat bola, operator Laplacian dapat dirumuskan:

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} = 0$$

Dari sistem yang simetri, potensial akan berupa fungsi r saja, dimana r jarak dari elektroda pertama. Di dalam koordinat bola persamaan Laplace dituliskan secara sederhana di bawah ini:

$$\nabla^2 V = \frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} \quad (2.14)$$

dengan dikalikan r^2 dan diintegalkan terhadap dr , maka:

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (2.15)$$

selanjutnya Persamaan (2.15) diintegalkan kembali terhadap dr , sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (2.16)$$

dengan A dan B adalah konstanta disebabkan $V = 0$ ketika $r \rightarrow \infty$, didapatkan $B = 0$.

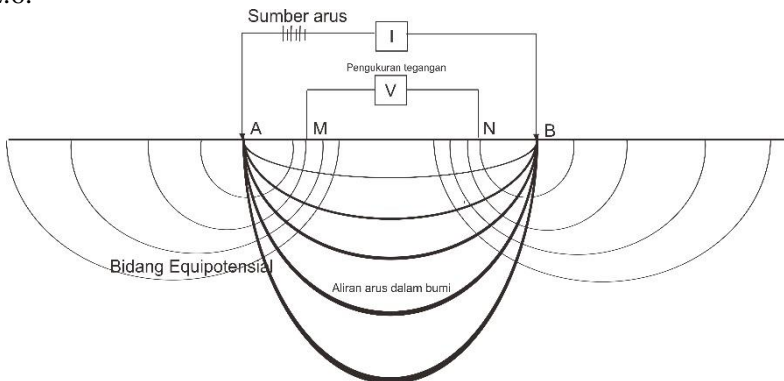
2.6 Metode Resistivitas

Geolistrik merupakan metode geofisika yang mempelajari sifat listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya dipermukaan bumi. Prinsipnya adalah metode eksplorasi geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan dibawah permukaan tanah dengan mengalirkan arus DC (*Direct Current*) ke dalam tanah. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi.

Tujuannya adalah untuk memperkirakan sifat kelistrikan medium atau formasi batuan bawah permukaan terutama kemampuannya untuk menghantarkan atau menghambat listrik (As'ari, 2011). Metode geolistrik tahanan jenis 2D dapat menghasilkan citra lapisan batuan bawah permukaan bumi secara dua dimensi berdasarkan nilai tahanan jenis batuan penyusun lapisan tersebut (Telford, 1990).

Berdasarkan pada harga resistivitas listriknya, suatu struktur bawah permukaan bumi dapat diketahui material penyusunnya. Metode geolistrik lebih efektif jika digunakan untuk eksplorasi yang sifatnya dangkal, jarang memberikan informasi lapisan di kedalaman lebih dari 1500 kaki (Handayani et al., 2001). Oleh karena itu, metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi minyak tetapi banyak digunakan dalam bidang geologi teknik.

Pendekatan paling sederhana dalam pembahasan gejala kelistrikan di dalam bumi adalah dengan menganggap bumi sebagai medium homogen isotropis. Dengan perlakuan tersebut kemudian medan listrik dari titik sumber di dalam bumi dianggap memiliki simetri bola. Bila dibuat penampang melalui sumber A dan B, maka terlihat pola distribusi bidang equipotensial Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Equipotensial dan garis arus dari dua titik sumber dipermukaan (Telford, 1990)

Injeksi arus listrik dilakukan dengan menggunakan 2 buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda AB akan menyebabkan aliran arus listrik dapat menembus lapisan batuan lebih dalam. Sedangkan beda potensial diukur pada elektroda potensial M dan N yang terletak diantara A dan B. Persamaan potensial untuk injeksi elektroda arus ganda pada permukaan medium homogen adalah (Telford, 1990):

$$V_{P_1} = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.17)$$

$$V_{P_2} = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.18)$$

sehingga beda potensial kedua elektroda adalah:

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2}$$

$$\Delta V = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.19)$$

atau dapat ditulis menjadi:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.20)$$

sementara itu harga K ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$K = 2 \pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \quad (2.21)$$

K menotasikan faktor geometri yang besarnya tergantung susunan elektroda yang digunakan sebagai koreksi dalam pengolahan data.

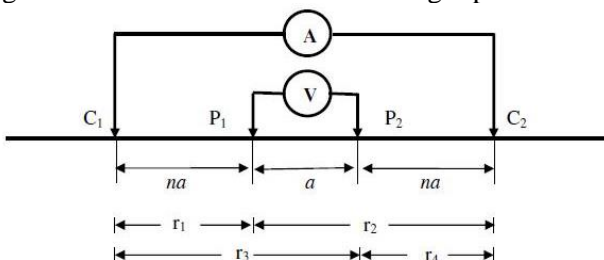
Pada Gambar 2.6 digambarkan aliran arus dan bidang equipotensial pada A terdistorsi akibat adanya penjalaran arus pada B. Dalam medium yang homogen isotropis, besar potensial adalah konstan dan simetris terhadap elektroda. Akibat pengaruh arus pada elektroda B, maka bidang equipotensial yang terbentuk akan semakin tidak setengah bola. Jika jarak antar elektroda arus diperbesar, maka equipotensial bernilai lebih kecil dari setengah permukaan bola.

2.7 Konfigurasi Elektroda Wenner-Schlumberger

Konfigurasi Wenner-Schlumberger merupakan metode resistivitas *mapping-sounding* yang menggunakan konfigurasi Schlumberger, tetapi pergeseran elektroda sesuai dengan konfigurasi Wenner (Muchibin, 2009). *Mapping* dimaksudkan untuk mengetahui variasi horizontal tahanan jenis batuan pada kedalaman tertentu. Sedangkan *sounding* dimaksudkan untuk mengetahui variasi tahanan jenis batuan terhadap kedalaman (Minarto, 2007).

Jarak antar elektroda diperbesar dalam suatu arah bentangan pada suatu titik tertentu. Semakin jauh jarak antar elektroda arus maka penetrasi yang didapatkan juga akan semakin dalam. Kedua konfigurasi ini dapat digunakan pada sistem konfigurasi yang menggunakan aturan spasi yang konstan dengan catatan faktor untuk konfigurasi ini adalah perbandingan jarak antara elektroda C-P dengan spasi antara elektroda P1-P2. Dengan a adalah jarak antara elektroda P1-P2 (Hidayat et al., 2014).

Dibanding konfigurasi Wenner, konfigurasi ini mempunyai nilai maksimum penetrasi 15% lebih dalam. Selain itu konfigurasi ini juga mempunyai resolusi lateral yang baik karena jarak elektroda potensial cukup dekat. Susunan elektroda ganda di permukaan homogen pada pengukuran resistivitas 2D dengan konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Susunan elektroda ganda di permukaan homogen (Hendrajaya and Arif, 1990)

Persamaan 2.21 selanjutnya dapat diturunkan sebagaimana berikut ini:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{na+a} - \frac{1}{na+a} + \frac{1}{na}\right)}$$

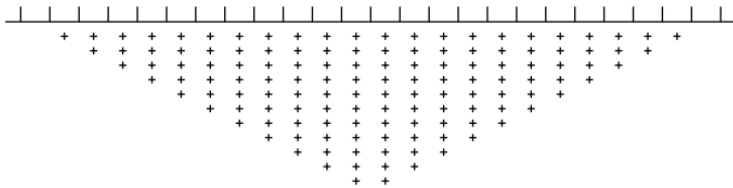
$$K = 2\pi \frac{a^2(n+n^2)}{2a}$$

$$K = \pi n(n+1)a \quad (2.22)$$

Maka nilai resistivitas untuk metode Wenner-Schlumberger dapat dihitung dengan faktor geometri K dengan persamaan berikut:

$$\rho = \pi \frac{n(n+1)}{a} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.23)$$

Dengan a menotasikan jarak antara elektroda potensial dan n menotasikan perbandingan jarak antara C1-P1 dan P1-P2. Susunan Titik datum hasil pengukuran dengan konfigurasi ini adalah seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Susunan Titik Datum pada Metode Resistivitas 2D Konfigurasi Wennner-Schlumberger

2.8 Konsep Resistivitas Semu

Apabila bumi diasumsikan bersifat homogen isotropi maka nilai resistivitas yang terukur merupakan nilai resistivitas yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda, tetapi pada kenyataannya bumi terdiri atas beberapa lapisan dengan nilai ρ yang berbeda-beda, sehingga nilai potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut (Vidiyoga, 2016). Sehingga nilai resistivitas yang terukur bukan nilai

resistivitas satu lapisan saja . Hal ini berlaku terutama untuk spasi elektroda yang lebar. Dengan ρ_a resistivitas semua atau *apparent resistivity* yang bergantung pada elektroda. Oleh karena itu, bumi diasumsikan berlapis-lapis dengan masing-masing lapisan mempunyai harga resistivitas yang berbeda. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau (Djoko, 2002).

Medium berlapis yang ditinjau misalnya terdiri dari dua lapisan yang mempunyai resistivitas berbeda (ρ_1 dan ρ_2) dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas semu (ρ_a) dengan konduktansi masing-masing lapisan:

$$\sigma_f = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (2.24)$$

Untuk medium berlapis harga resistivitas semu ini akan merupakan fungsi jarak bentangan (jarak antar elektroda arus). Untuk jarak antar elektroda arus kecil akan memberikan ρ_a yang harganya mendekati ρ batuan di dekat permukaan. Sedangkan untuk jarak bentangan yang besar, ρ_a yang diperoleh akan mewakili harga ρ batuan yang lebih dalam. Menurut Telford (1990) nilai resistivitas semu dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$R_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.25)$$

2.9 Tomografi Geolistrik

Data resistivitas listrik ditampilkan sebagai *pseudosection* yang mana digunakan untuk setiap titik di sepanjang profil dengan jenis konfigurasi yang digunakan. Program Res2Dinv digunakan untuk mendapatkan model inversi dari distribusi resistivitas listrik di seluruh panjang masing-masing profil. Metodologinya dengan membagi bagian yang akan diteliti dalam block diskrit 2 dimensi dan menetapkan nilai tahanan listrik untuk masing-masing daerah (parameter model) berdasarkan pengukuran yang diambil.

Menurut Khalil and Santos (2013) masalah inversi melibatkan hubungan non linier antara respon model dan parameter model, sehingga membutuhkan sebuah prosedur secara matematis. Logaritma dari model resistivitas dan resistivitas semu

digunakan sebagai parameter model dan data set untuk masing-masing. Untuk masalah linear dituliskan sebagai berikut:

$$J \Delta p = \Delta d \quad (2.26)$$

Dengan Δp menotasikan vector yang berisi koreksi parameter model p , $\Delta d = y^c - y^{ob}$ adalah perbedaan vector antara respon model dan data pengukuran, dan J adalah matrix derivative (Jacobian) yang mengandung turunan dari respon model terhadap parameter model (Sasaki, 1994). Dalam pengerjaan ini komponen Jacobian diestimasi menggunakan algoritma yang dipresentasikan oleh Loke and Barker (1996) dan diasumsikan sebagai blok yang tertanam dalam setengah ruang homogen. Nilai Jacobian diperbarui menggunakan metode Broyden (1965).

Proses inversi dilakukan untuk meminimalisasi suatu fungsi obyektif sebagai jalan untuk mendapatkan parameter model. Fungsi obyektif ini sebagai berikut:

$$E(m^{k+1}) = \|W_d (J \Delta m - d_{cat})\|^2 + \lambda \|C m^{k+1}\|^2 \quad (2.27)$$

dengan m menotasikan model resistivitas, C menotasikan matrik *smoothing*, d menotasikan resistivitas semu perhitungan dan J adalah matrik Jacobian pemodelan ke depan dan k merupakan iterasi ke -k (Sungkono, 2016). Untuk meminimumkan nilai *error*, maka Persamaan (2.27) harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\frac{\partial E}{\partial m^{k+1}} = 0 \quad (2.28)$$

Parameter model kemudian diperbarui dengan menambahkan vector Δm . Prosedur iterasi akan terus berlanjut sampai misfit berkurang pada nilai yang cukup kecil dan konstan. Misfit antara data dengan respon model diiberikan oleh rata-rata error absolut, dengan N adalah jumlah poin data

$$misfit(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\left(\frac{y_i^c - y_i^{ab}}{y_i^{ab}} \right)^2} \quad (2.29)$$

Setiap profile termasuk *Vertikal Electrical Sounding* terdekat, adalah inversi menggunakan algoritma 2-D yang dijelaskan diatas.

2.10 Inversi Resistivity 2-D

Dalam geofisika, inversi bertujuan mencari model yang memberikan respon yang mirip dengan nilai pengukuran. Model ini merupakan representasi matematis ideal dari suatu bagian bumi. Model memiliki seperangkat parameter yaitu suatu kuantitas fisis yang ingin diestimasi dari data yang diamati. Respon model adalah data sintesis yang dapat dihitung dari hubungan matematis yang menjelaskan model tersebut untuk seperangkat parameter model. Semua model inversi geofisika berusaha untuk menentukan model bawah permukaan yang memiliki respon sesuai dengan data yang terukur yang dikenai batasan-batasan tertentu.

Pada metode berbasis sel, parameter model adalah nilai resistivitas dari model sel, sementara data adalah nilai resistivitas semu terukur. Hubungan matematis antara parameter model dan respon model untuk model 2 dimensi diberikan oleh *finite-difference* atau metode *finite-element* ((Loke, 1996).

Metode finite-element merupakan persamaan matematika yang digunakan untuk menyelesaikan masalah pemodelan ke depan dan pemodelan ke belakang pada *software* ZondRes2D. Persamaan ini memberikan hasil yang terbaik dalam komparasi dengan metode mesh. Hasil penampang 2D yang didapatkan lebih *smooth* dengan efisiensi maksimum (Dey A and Morisson, 1979).

Untuk pemodelan medium dari sumber medan digambarkan dalam bentuk segitiga grid sel dengan perbedaan nilai resistivitas. Nilai potensial dimodelkan dalam bentuk grid sel dengan menggunakan pendekatan fungsi basis linier:

$$N(x, z) = \frac{(a + bx + cz)}{2A} \quad (2.30)$$

Medan sumber titik memiliki struktur 3D dalam medium 2D. Dengan menggunakan transformasi Fourier memungkinkan untuk memecahkan masalah ke dalam bentuk domain frekuensi spasial:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \lambda^2 \sigma \phi = -I \delta(x) \delta(z) \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} + v \cdot \phi = 0 \quad (2.32)$$

dengan ϕ menotasikan nilai potensial spectral, λ menotasikan frekuensi spasial, I menotasikan arus, σ elektrokonduktivitas medium dan δ fungsi delta Dirac.

Algoritma *least-square* dengan regularisasi digunakan untuk mendapatkan solusi inversi. Regularisasi meningkatkan stabilitas solusi dan memungkinkan distribusi potensial dan resistivitas yang lebih halus (Constable et al., 1987).

$$(A^T W^T W A + \mu C^T R C) \Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T R C m \quad (2.33)$$

dengan A menotasikan matrix Jacobian dari turunan parsial, C menotasikan operator *smoothing*, W menotasikan matrix error relatif, m menotasikan vector parameter, μ menotasikan parameter pengatur, Δf menotasikan vector nilai perbedaan antara pengukuran dengan perhitungan dan R operator pemfokus.

Pada semua metode optimasi, model awal dimodifikasi dalam bentuk iteratif sehingga selisih anatra respon model dan nilai data terukur bisa dikurangi. Sejumlah data terukur dapat ditulis:

$$y = \text{col}(y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (2.34)$$

dengan m menotasikan jumlah pengukuran. Sedangkan respon model f dapat ditulis:

$$f = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (2.35)$$

Untuk masalah resistivitas, umumnya digunakan logaritma dari nilai resistivitas semu data observasi dan respon model. Parameter model dapat direpresentasikan:

$$q = \text{col}(q_1, q_2, \dots, q_m) \quad (2.36)$$

dengan n adalah jumlah parameter model. Selisih antara data observasi dan respon model ditunjukkan oleh vektor discrepancy g yaitu:

$$g = y - f \quad (2.37)$$

Pada metode observasi *least-square*, model awal dimodifikasi sehingga jumlah kuadrat error E diminimalisir.

$$E = g^T g = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (2.38)$$

Untuk mengurangi nilai error, persamaan Gauss-Newton digunakan untuk menentukan perubahan parameter model yang akan mengurangi jumlah kuadrat error (Loke, 1996). Persamaan Gauss-Newton dinyatakan:

$$J^T J \Delta q_i = J^T g \quad (2.39)$$

dengan Δq menotasikan perubahan vektor model parameter dan \mathbf{J} merupakan matriks Jacobian ($m \times n$). Elemen matriks Jacobian adalah:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (2.40)$$

Persamaan (2.40) merupakan perubahan respon model ke- i akibat perubahan parameter model ke- j . Sehingga diperoleh model baru:

$$q_{k+1} = q_k + \Delta q_k \quad (2.41)$$

Vektor perubahan parameter yang dihitung menggunakan persamaan (2.35) dapat bernilai sangat besar sehingga model baru yang dihasilkan dapat bernilai tidak realistis. Oleh karena itu dilakukan modifikasi dengan teknik Occam.

Teknik Occam merupakan salah satu inversi dengan algoritma least square yang menggunakan operator *smoothing*. Melalui inversi Occam dengan menggunakan metode Gauss-Newton dapat meminimalkan kontras hasil inversi yang diperoleh sehingga penampang 2D yang dihasilkan bisa terlihat *smooth*. Hasil algoritma ini nantinya berupa distribusi parameter smoothness. Persamaan matrik jenis inversi ini adalah:

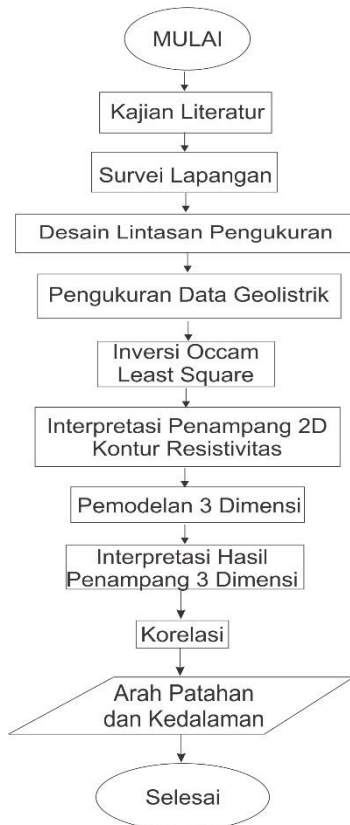
$$(A^T W^T W A + \mu C^T C) \Delta m = A^T W^T \Delta f + \mu C^T C m \quad (2.42)$$

Tingkat *smoothness* pada model yang diperoleh dapat dikatakan sebagai nilai faktor *smoothness*. Nilai parameter yang tinggi dapat menyebabkan ketidaksesuaian akan semakin meningkat. Sedangkan solusi untuk Persamaan 2.42 adalah:

$$m^{k+1} = m^k + (A^T W^T W A + \alpha^2 C^T C) A^T W^T \Delta f \quad (2.43)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan metodologi penelitian yang berisi tentang gambaran umum lokasi penelitian, peralatan akuisisi data di lapangan dan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini. Secara umum kegiatan yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini sebagaimana pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Diagram alir pelaksanaan penelitian tersebut dapat dijelaskan ke dalam bagian sub bab berikut ini

3.1 Kajian Literatur

Sebelum melakukan penelitian perlu dilakukan kajian literatur yang diambil dari berbagai sumber baik itu buku, paper maupun jurnal sebelumnya baik dalam negeri ataupun internasional. Kajian literatur juga dilakukan dengan memahami peta geologi yang berkaitan dengan lokasi penelitian. Kajian literatur ini dilakukan untuk mengkaji ulang hasil penelitian-penelitian sebelumnya. Kegiatan ini dapat menunjang pemahaman komponen-komponen dasar dari permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan. Sehingga nantinya dapat membantu menganalisis hasil penelitian.

3.2 Survey Awal

Sebelum melakukan proses pengambilan data di lapangan, terlebih dahulu dilakukan tahap persiapan yaitu melakukan studi lapangan. Studi lapangan dilakukan satu minggu sebelum akuisisi data. Studi lapangan adalah penyelidikan awal area permasalahan dalam penelitian ini yang meliputi informasi geologi lokasi penelitian dan deskripsi kondisi daerah pengukuran. Melalui studi lapangan ini diperoleh desain akuisisi sehingga nantinya dapat menentukan lintasan pengukuran dengan tepat

Penentuan lintasan meliputi panjang lintasan yang akan digunakan, arah lintasan, jumlah lintasan yang akan diukur, spasi antar elektroda yang digunakan, dan penentuan konfigurasi. Untuk menentukan posisi dan ketinggian tiap elektroda digunakan dengan kompas dan GPS.

Daerah *survey* terletak di Desa Sendangharjo Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. *Survey* awal ini juga terkait penyelesaian administrasi perizinan ke berbagai pihak terkait seperti ke dinas pariwisata Kabupaten Bojonegoro, Pengelola Kayangan Api serta jurusan fisika FIA ITS.

3.3 Akuisisi Data

Penelitian ini menggunakan data pengukuran di Kayangan Api, Desa Sendangharjo, Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur. Akuisisi data dilakukan 6 hari pada tanggal 13-18 Februari 2017. Penelitian menggunakan metode pengukuran resistivitas 2 dimensi dengan konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger agar dapat memperlihatkan bagian lapisan bumi secara vertikal maupun horizontal dengan baik. Pada pengambilan data ini, peralatan yang digunakan adalah:

- Resistivity meter Campus Tigre (Gambar 3.2) digunakan untuk mengukur tahanan jenis batuan
- 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial
- Palu geologi
- Kabel penghubung 4 buah untuk menghubungkan masing-masing elektroda ke resistivity meter
- GPS Garmin 64s digunakan untuk mengukur koordinat atau posisi dan ketinggian titik pengamatan
- Meteran, digunakan untuk alat ukur jarak elektroda

Selain alat resistivity meter Campus Tigre, semua peralatan yang digunakan saat pengambilan data di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



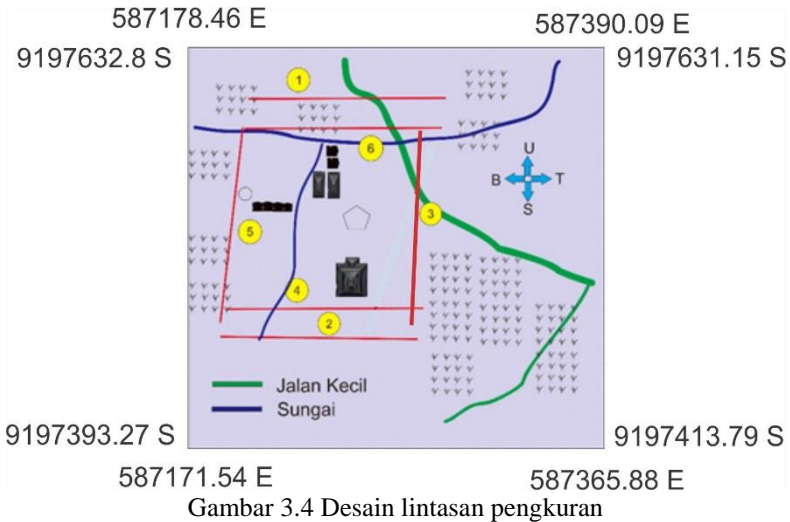
Gambar 3. 2 Resistivitymeter Campus Tigre



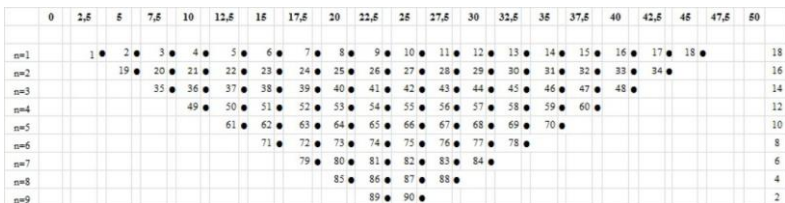
Gambar 3. 3 Perlengkapan alat geolistrik resistivitas

Pengambilan data dilakukan dengan cara memasang 4 elektroda (2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial) menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger yang diletakkan sejajar dalam satu garis lurus. Empat elektroda ini dihubungkan melalui kabel menuju Resistivity meter Campus Tigre. Secara berurutan keempat elektroda tersebut bergeser dari titik awal pengukuran sampai titik akhir pengukuran dengan spasi a pada antar elektroda potensial dan $2a$ pada jarak antara elektroda potensial dan elektroda arus.

Kemudian, pada pengambilan data berikutnya diberikan variasi jarak antara C (elektroda arus) dan P (elektroda potensial) sebesar $3a$, $4a$, $5a$ dan $6a$. Sedangkan untuk jarak antar elektroda potensial tetap menggunakan spasi a . Pengambilan data tersebut dilakukan pada setiap lintasan pengukuran yang telah diakuisisi seperti Gambar 3.4.



Pengukuran akan dilakukan dengan menggunakan 6 lintasan dengan 4 lintasan akan sejajar dari arah timur ke barat dan 2 lintasan akan memotong lintasan lainnya membentang dari arah utara ke selatan (Gambar 3.4). Setiap lintasan akan dibuat sepanjang 200 meter. Jarak antar elektroda potensial akan selalu sama yaitu 5 meter, sedangkan jarak elektroda arus terhadap elektroda potensial akan bervariasi dengan menggunakan 5n. Titik datum untuk pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.5 (Loke and Barker, 1996).



Gambar 3.5 Teknik pengukuran untuk mendapatkan profil 2D

3.4 Pengolahan Data

Setelah dilakukan akuisisi data di lapangan diperoleh data pengukuran berupa nilai hambatan (R). Untuk mendapatkan nilai tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) dengan satuan $\Omega.m$ digunakan Persamaan (2.23). Berdasarkan persamaan tersebut, data dari tiap titik pengukuran (satuan Ω) dikalikan dengan faktor geometri (K). Faktor geometri untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger menggunakan Persamaan (2.22). Selanjutnya nilai *apparent resistivity* di inversi dengan menggunakan ZondRes2D. Melalui *software* ini nantinya akan diperoleh model 2-D kontur resistivitas dari struktur lapisan tanah bawah permukaan.

Data-data yang digunakan sebagai input dalam proses inversi adalah resistivitas semu, jarak antar elektroda, serta posisi datum. Proses inversi ini dilakukan dengan menggunakan metode *least-square* dengan teknik Occam. Tahapan-tahapan dalam proses inversi adalah :

1. Model bumi dianggap homogen, nilai resistivitas awal q_0 (dalam bentuk log) dihitung melalui persamaan :

$$q_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_i \quad (3.1)$$

2. Menghitung matrik Jacobian J . Faktor *damping* dipilih (kira-kira 0.05) dan persamaan *least-square* dapat dijalankan. Nilai factor *damping* tergantung dari tingkat noise (Sasaki, 1994). Nilai λ besar digunakan untuk tingkat gangguan yang tinggi. Matrik C semakin meningkat sesuai dengan kedalamannya untuk kestabilan proses. Setelah menyelesaikan masalah *least—quare*, didapatkan nilai q_i yaitu :

$$q_i = q_0 + p_i \quad (3.2)$$

Karena perkiraan distribusi resistivitas lapisan bawah permukaan q_1 dipengaruhi oleh nilai faktor *damping* yang dipilih, maka pemilihan nilai λ harus disesuaikan dengan kondisi

matematisnya. Dengan metode ini akan diperoleh hasil inversi yang terbaik dengan nilai error minimum.

Dalam proses inversi *least-square*, digunakan teknik Occam. Teknik inversi ini menggunakan operator *smoothing* yang mampu mereduksi perbedaan antara pengukuran dan perhitungan nilai resistivitas. Melalui teknik ini juga terlihat cukup jelas resolusi batas antar lapisan di bawah permukaan.

Hasil penampang model 2-D yang didapatkan kemudian dimodelkan ke dalam bentuk model 3-D dengan bantuan *software* corel draw. Hal ini dilakukan untuk melihat letak setiap patahan dari titik keluarnya gas. Sehingga akan memudahkan interpretasi dalam hal menentukan arah patahan utama.

3.5 Interpretasi Data

Setelah dilakukan pengolahan data, dilakukan interpretasi hasil inversi yang berupa penampang 2-D kontur resistivitas. Hasil pengolahan data diinterpretasi dengan cara melihat nilai resistivitas pada setiap titik terukur. Setiap nilai resistivitas pada model 2-D diwakili oleh perbedaan warna. Perbedaan warna pada penampang menunjukkan adanya distribusi resistivitas batuan/tanah yang berada di bawah permukaan.

Pada model 2-D, perbedaan nilai resistivitas yang kontras diindikasikan dengan adanya patahan. Patahan disini memiliki nilai resistivitas kecil diantara lapisan batuan yang memiliki nilai resistivitas relatif besar. Selanjutnya interpretasi model 3-D dilakukan untuk mencari kemenerusan arah patahan utama. Berdasarkan nilai resistivitas pada setiap model penampang, diperoleh informasi mengenai ketebalan dan jenis tanah lapisan bawah permukaan di daerah pengukuran.

Melalui interpretasi data ini dapat digunakan untuk menjawab permasalahan pada penelitian ini. Untuk menunjang interpretasi yang optimal, dilakukan korelasi dengan hasil penelitian sebelumnya. Dengan demikian nantinya dapat ditentukan arah patahan dangkal sebagai jalan keluarnya gas Kayangan Api Bojonegoro.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Pengambilan data geolistrik menggunakan metode resistivitas 2 dimensi konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger agar dapat memperlihatkan bagian lapisan bumi secara vertikal maupun horizontal dengan baik. Data pengukuran diolah dengan menggunakan *software* ZondRes2D untuk mendapatkan hasil inversinya. Hasil inversi ini berupa tampilan penampang kontur resistivitas model 2 dimensi dari struktur lapisan tanah bawah permukaan. Selanjutnya dengan menggunakan bantuan *software* corel draw didapatkan tampilan kontur resistivitas model 3-D dari struktur lapisan tanah bawah permukaan.

4.2 Interpretasi Data

Penentuan arah jalur patahan kayangan api dilakukan berdasarkan hasil analisa kuantitatif (proses inversi) dari data pengukuran. Analisa kuantitatif dilakukan dengan menganalisis penampang 2 dimensi kontur resistivitas hasil proses inversi data pengukuran di lapangan. Setiap warna yang ditunjukkan pada penampang mewakili nilai resistivitas batuan yang berada di bawah permukaan. Adanya perbedaan nilai resistivitas antara batuan satu dengan batuan yang lainnya disebabkan oleh adanya perbedaan faktor geometri, rapat massa dan sifat fisika.

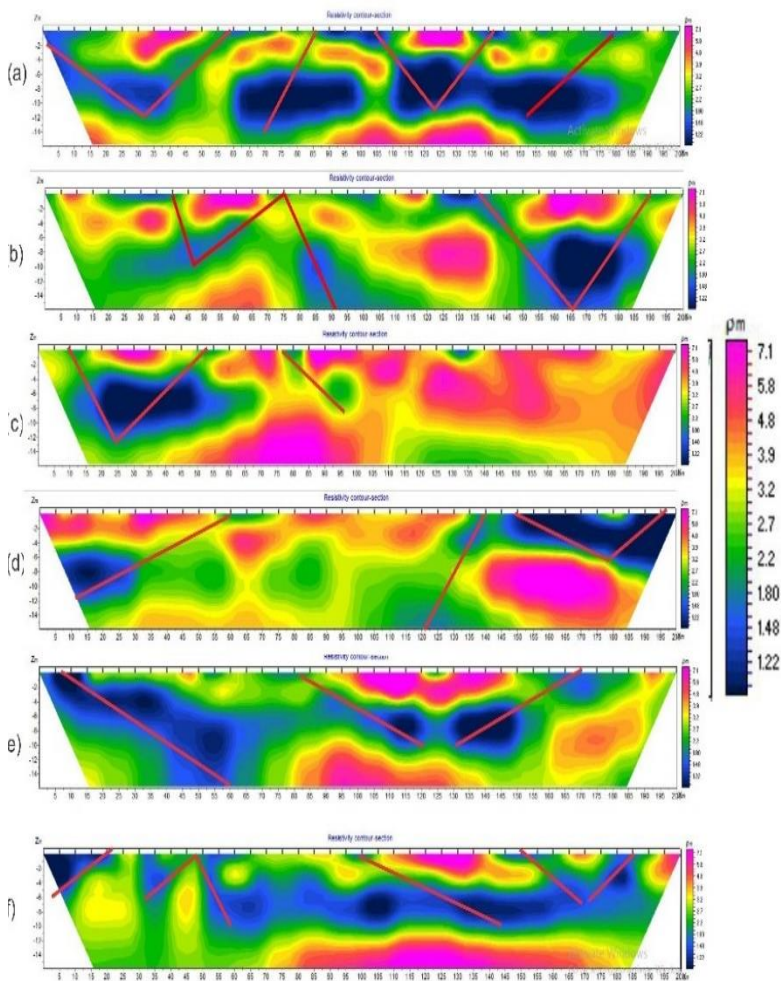
Bidang patahan yang dilalui oleh fluida gas akan semakin konduktif. Konsep dasar perpindahan aliran listrik yaitu listrik dapat teralir karena adanya fluida (dalam hal ini adalah gas). Fluida memiliki sifat resistivitas yang kecil sehingga ketika ada fluida yang mengalir di antara formasi batuan akan membantu listrik mengalir. Hal ini menjadikan patahan yang dilalui gas akan memiliki nilai resistivitas yang kecil dibandingkan dengan nilai resistivitas batuan di sekitarnya. Perbedaan nilai resistivitas ini biasanya cukup kontras. Nilai resistivitas yang digunakan dalam pendugaan arah patahan yaitu berkisar antara $1,07 \Omega.m - 1,60 \Omega.m$.

Hasil inversi data observasi menggunakan *software* ZondRes2D diinterpretasi untuk menentukan arah patahan dangkal pada Kayangan Api. Daerah yang memiliki nilai resistivitas kecil dekat permukaan diduga sebagai daerah jalan keluarnya gas sedangkan nilai resistivitas sedang sampai besar diduga sebagai lapisan tanah setempat di sekitar jalur patahan.

Teknik Occam dengan algoritma *least-square* digunakan dalam inversi ini. Pada proses inversinya dilakukan skema *robust weighting*. Skema ini dilakukan karena ada beberapa data hasil pengukuran di lapangan yang dianggap buruk. Sehingga dengan skema ini hasil inversi yang diperoleh bisa lebih *smooth* tanpa menghapus salah satu titik data pengukuran yang dianggap buruk tersebut. Teknik Occam mampu mereduksi perbedaan antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan nilai resistivitas. Teknik ini juga mampu menunjukkan dengan baik hasil resolusi antar batas lapisan. Nilai *smoothing factor* pada model digunakan untuk mendapatkan penampang 2 dimensi kontur resistivitas yang lebih halus. Akan tetapi, apabila nilai *smoothing factor* yang digunakan terlalu besar akan menyebabkan ketidaksesuaian yang tinggi. Nilai *smoothing factor* yang digunakan sebesar 0,3.

Hasil penampang 2 dimensi kontur resistivitas struktur lapisan tanah pada setiap lintasan yang terukur sebagaimana pada Gambar 4.1. Pada gambar ini semua lintasan memiliki *range* nilai resistivitas yang sama. Dari model 2 dimensi kontur resistivitas yang diperoleh dapat diidentifikasi mengenai kondisi geologi daerah penelitian.

Biasanya juga digunakan data bor untuk lebih memperkuat hasil dugaan tentang penyusun struktur batuan di bawah permukaan. Tetapi dalam penelitian ini tidak menggunakan data bor. Selain itu juga bisa menggunakan metode geofisika lainnya yang dapat mengukur arus listrik alami. Sedangkan untuk metode geolistrik resistivitas menggunakan arus listrik buatan yang diinjeksikan melalui elektroda ke dalam tanah.



Gambar 4. 1 Penampang 2D kontur resistivitas hasil inversi
 (a)Lintasan 1, (b) Lintasan 2, (c)Lintasan 3, (d)Lintasan 4, (e)Lintasan 5
 dan (f)Lintasan 6

Iterasi dilakukan untuk melakukan pengulangan proses inversi. Iterasi dapat mencapai nilai konvergen yang merupakan akhir dari suatu iterasi atau divergen yang artinya iterasi tidak berhasil. Iterasi ini dilakukan untuk mengurangi nilai *RMS error*. Semakin kecil nilai *RMS error* yang didapatkan maka semakin baik karena penampang 2 dimensi hasil inversi semakin mendekati dengan kondisi geologi sebenarnya. Untuk iterasi dan nilai *RMS error* pada hasil inversi setiap lintasan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Iterasi dan nilai *RMS error* hasil inversi tiap lintasan

Lintasan	Iterasi	<i>RMS error</i> (%)
Lintasan 1	30	4.9
Lintasan 2	35	6
Lintasan 3	20	3
Lintasan 4	40	5.8
Lintasan 5	30	3.5
Lintasan 6	40	4.8

- **Lintasan 1**

Lintasan 1 berada di Utara Kayangan Api. Lintasan ini memiliki panjang 200 meter dengan arah pengukuran dari Timur ke Barat. Gambar 4.1 (a) merupakan model 2-D kontur resistivitas dari Lintasan 1. Garis merah merupakan anomali konduktif yang diduga patahan yang tersaturasi oleh air sebagai jalan keluarnya gas ke permukaan. Anomali konduktif inilah yang digunakan untuk menentukan arah patahan dangkal di Kayangan Api. Lintasan 1 memiliki nilai resistivitas terukur di sepanjang lintasan sebesar 1,07 $\Omega.m$ - 7,10 $\Omega.m$ dengan anomali konduktif yang terukur 1,07 $\Omega.m$ - 1,60 $\Omega.m$.

Anomali konduktif pertama berada pada meter ke-0 sampai meter ke-40. Anomali konduktif ini menunjam dari permukaan hingga kedalaman 11 meter. Anomali ini ditunjukkan dengan warna biru dengan sedikit warna biru tua. Diduga anomali

konduktif ini merupakan jalur patahan utama (mayor) yang tersaturasi oleh fluida gas. Jalur patahan ditandai garis warna merah yang ditarik dari permukaan hingga kedalaman 11 meter.

Anomali konduktif kedua berada pada meter ke-60 sampai meter ke-95 dengan warna biru tua pada kedalaman 6 sampai 13 meter dari permukaan. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi lapangan, anomali konduktif ini diduga sebagai batuan lempung yang tersisipi batu pasir. Diduga terdapat patahan kecil (minor) sebagai jalan keluarnya gas dengan ditandai garis warna merah menunjam dari permukaan hingga kedalaman 13 meter.

Anomali konduktif ketiga berada pada meter ke-115 sampai meter ke-175 dengan kedalaman 5 sampai 13 meter dari permukaan tanah. Anomali ini ditunjukkan dengan warna biru tua keunguan. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologinya, anomali konduktif ini diakibatkan oleh persawahan warga. Terdapat 2 patahan minor di sekitar anomali konduktif ini. Patahan minor pertama pada meter ke-105 hingga meter ke-140 dan patahan minor kedua pada meter ke-155 hingga meter ke-180.

- **Lintasan 2**

Lintasan 2 berada di Selatan kayangan api dengan panjang lintasan 200 meter dan arah pengukuran dari Timur ke Barat. Gambar 4.1(b) merupakan model 2-D kontur resistivitas Lintasan 2. Garis merah merupakan anomali konduktif yang diduga patahan yang tersaturasi oleh air sebagai jalan keluarnya gas ke permukaan. Lintasan 2 memiliki nilai resistivitas terukur di sepanjang lintasan sebesar $1,07 \Omega.m$ sampai $6,60 \Omega.m$ dengan anomali konduktif yang terukur $1,07 \Omega.m$ sampai $1,80 \Omega.m$.

Anomali konduktif pertama pada meter ke-25 sampai meter ke-60 dengan kedalaman bervariasi antara 4 sampai 11 meter yang ditunjukkan dengan warna biru. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi, anomali ini diduga sebagai rembesan air dari persawahan warga. Antara titik ke-45 dan ke-70 terdapat lapisan tanah didekat permukaan yang bersifat resistif. Sehingga dari dua titik (40 meter dan 75 meter) dapat ditarik garis yang menandakan

adanya patahan yang saling terhubung di meter ke-50 dengan kedalaman 9 meter. Diduga patahan ini merupakan patahan minor.

Anomali konduktif kedua pada meter ke-80 sampai meter ke-90 yang menjam dari kedalaman 6 hingga 14 meter yang dengan resistivitas sekitar $1,60 \Omega.m$. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi, pada wilayah ini terdapat bekas aliran sungai kecil. Anomali konduktif kedua berhubungan dengan lapisan konduktif di meter ke-75 dekat permukaan sehingga dapat ditarik garis yang menandakan adanya patahan minor.

Anomali konduktif ketiga pada meter ke-150 sampai meter ke-185 dengan kedalaman 7 hingga 15 meter. Anomali konduktif ini memiliki resistivitas $1,07 \Omega.m$ hingga $1,39 \Omega.m$. Sedangkan dari permukaan tanah hingga kedalaman 6 meter pada rentang meter yang sama terdapat lapisan yang resistif. Sehingga dapat ditarik garis dugaan patahan dari kedua titik (135 meter dan 190 meter) yang terhubung pada meter ke-165 di kedalaman 15 meter. Diduga patahan yang melintasi anomali konduktif ini merupakan patahan mayor.

- **Lintasan 3**

Lintasan 3 berada di Timur kayangan api dengan panjang lintasan 200 meter dan arah pengukuran dari Utara ke Selatan. Gambar 4.1(c) merupakan model 2-D kontur resistivitas Lintasan 3. Lintasan 3 memiliki nilai resistivitas terukur di sepanjang lintasan sebesar $1,14 \Omega.m$ sampai $5,10 \Omega.m$ dengan anomali konduktif yang terukur $1,14 \Omega.m$ sampai $1,48 \Omega.m$. Anomali konduktif berada pada meter 15 sampai meter ke 55 pada kedalaman 4 sampai 12 meter. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi, letak anomali ini berada dekat dengan aliran sungai. Tetapi pada meter ke-15 sampai meter ke-40 terdapat lapisan resistif. Sehingga dari dua titik (10 meter dan 53 meter) yang mengelilingi lapisan resistif, ditarik garis dugaan patahan yang saling terhubung di meter ke-25 pada kedalaman 12 meter. Patahan yang melintasi anomali konduktif diduga sebagai patahan mayor.

Patahan minor juga terlihat pada meter ke-75 sampai meter ke-96. Patahan minor ini ditandai garis warna merah yang menonjol dari permukaan hingga kedalaman 8 meter.

- **Lintasan 4**

Lintasan 4 berada di Utara Lintasan 2 dengan jarak dari lintasan 2 sekitar 30 meter. Arah pengukuran dari Timur ke Barat. Gambar 4.1(d) merupakan model 2-D kontur resistivitas dari Lintasan 4. Lintasan 4 memiliki nilai resistivitas terukur di sepanjang lintasan sebesar 1,07 Ω .m sampai 5,40 Ω .m dengan anomali konduktif yang terukur 1,07 Ω .m sampai 1,39 Ω .m.

Anomali konduktif pertama berada di meter 5 sampai meter ke 30 pada kedalaman 5 sampai 11 meter dengan nilai resistivitas antara 1,14 Ω .m-1,39 Ω . Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi, anomali ini terjadi karena adanya bekas aliran sungai. Pada anomali konduktif ini terdapat patahan minor yang ditandai garis warna merah. Garis ini menonjol dari permukaan di titik 60 meter hingga kedalaman 11 meter di titik 10 meter.

Anomali konduktif kedua berada di meter ke-145 sampai meter ke-200 dari permukaan tanah hingga kedalaman 8 meter. Anomali memiliki nilai resistivitas antara 1,07 Ω .m – 1,30 Ω .m. Anomali konduktif ini diduga sebagai patahan mayor jalur keluarnya gas ke permukaan. Jadi pada lintasan 2 dan 4 saling berkorelasi dengan dugaan jalur patahan berada pada sebelah Barat Daya dari titik pusat keluarnya gas.

Anomali konduktif juga terlihat pada titik 140 meter hingga titik 120 meter yang menonjol ke bawah. Anomali ini memiliki resistivitas antara 1,30 Ω .m - 1,39 Ω .m. Diduga anomali ini merupakan patahan minor yang tersaturasi air.

- **Lintasan 5**

Lintasan 5 berada di Barat kayangan api dengan panjang lintasan 200 meter dan arah pengukuran dari Utara ke Selatan. Gambar 4.1(e) merupakan model 2-D kontur resistivitas dari Lintasan 5. Lintasan 5 memiliki nilai resistivitas terukur di

sepanjang lintasan sebesar $1,07 \Omega.m$ sampai $7,10 \Omega.m$ dengan anomali konduktif yang terukur $1,07 \Omega.m$ sampai $1,48 \Omega.m$.

Anomali konduktif pertama berada di titik 5 meter sampai titik 70 meter yang menjam dari permukaan hingga kedalaman 15 meter. Anomali ini memiliki nilai resistivitas antara $1,07 \Omega.m$ – $1,30 \Omega.m$. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi, anomali ini akibat adanya persawahan warga sehingga banyak terdapat rembesan air. Pada anomali ini diduga terdapat patahan minor jalur keluarnya gas ke permukaan.

Anomali konduktif lainnya berada di meter 90 sampai meter ke 120 pada kedalaman 3 hingga 10 meter dengan nilai resistivitas antara $1,14 \Omega.m$ – $1,39 \Omega.m$. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi, pada meter 110 sampai meter ke 115 terdapat aliran sungai. Anomali pada titik 120 meter, memiliki kontur yang berhubungan dengan anomali konduktif pada titik 130 meter dengan kedalaman 4-10 meter. Selain itu, pada titik 160-175 meter juga memiliki anomali konduktif didekat permukaan. Dengan anomali pada titik 170 meter juga memiliki kontur yang berhubungan dengan anomali konduktif di titik 130 meter dengan kedalaman 10 meter.

Dari kedua titik (90 meter dan 170 meter) dapat ditarik garis yang diidentifikasi sebagai adanya sistem patahan yang tersaturasi oleh fluida. Kedua patahan ini saling terhubung pada titik 125 meter dengan kedalaman 10 meter. Patahan dari permukaan titik 90 meter diduga sebagai patahan minor sedangkan patahan dari permukaan titik 170 meter diduga sebagai patahan mayor. Patahan mayor di Lintasan 4 ini saling berkorelasi dengan patahan mayor di Lintasan 2.

- **Lintasan 6**

Lintasan 6 berada di Selatan Lintasan 1 dengan jarak dari lintasan 1 sekitar 30 meter. Arah pengukuran dari Timur ke Barat. Gambar 4.1(f) merupakan model 2-D kontur resistivitas dari Lintasan 6. Lintasan 6 memiliki nilai resistivitas terukur di sepanjang lintasan sebesar $1,07 \Omega.m$ sampai $7,10 \Omega.m$ dengan anomali konduktif yang terukur $1,07 \Omega.m$ sampai $1,39 \Omega.m$.

Anomali konduktif pertama di titik 0 meter sampai titik 20 meter dari permukaan tanah hingga kedalaman 5 meter dengan nilai resistivitas antara $1,07 \Omega.m - 1,22 \Omega.m$. Pada anomali ini diduga terdapat patahan mayor (patahan utama) sebagai jalan keluarnya gas dan hal ini berkorelasi dengan Lintasan 3.

Anomali konduktif kedua berada di meter 30 sampai meter ke 40 dari permukaan tanah hingga kedalaman 6 meter dengan nilai resistivitas $1,30 \Omega.m - 1,39 \Omega.m$. Anomali konduktif ketiga memanjang dari meter 50 sampai meter ke 185 pada kedalaman 4 sampai 8 meter dengan nilai resistivitas antara $1,07 \Omega.m - 1,39 \Omega.m$. Setelah dikorelasikan dengan kondisi geologi, hampir sepanjang pengukuran lintasan 6 dekat sekali dengan aliran sungai yang menyebabkan daerah pengukuran banyak bersifat konduktif. Pada titik 130 meter hingga titik 180 meter juga dekat sekali dengan area persawahan warga. Dari titik 30 meter hingga titik 185 meter banyak terdapat patahan minor sebanyak 5 yang ditandai garis berwarna merah.

4.3 Pembahasan

Berdasarkan peta geologi lembar Bojonegoro (Gambar 2.1) Kayangan Api termasuk dalam formasi lidah. Formasi ini sebagian besar tersusun atas batu lempung, dengan adanya sisipan batu pasir dan batu gamping. Pada struktur batuan penyusun di daerah Kayangan Api didominasi oleh batuan lempung. Batuan lempung merupakan jenis batuan yang sulit dilalui oleh fluida dengan kata lain memiliki permeabilitas yang kecil.

Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.1 diatas. Berdasarkan gambar setiap penampang pada masing masing lintasan memiliki nilai resistivitas yang kecil. Nilai resistivitas ini berkisar antara $1,07 - 7,10 \Omega.m$. Berdasarkan tabel 2.1, rentang nilai resistivitas tersebut merupakan jenis batuan lempung. Pada tabel 2.1 disebutkan bahwa batuan lempung memiliki rentang nilai resistivitas antara $1 - 100 \Omega.m$. Nilai resistivitas yang kecil pada masing masing lintasan ini disebabkan karena batuan lempung tersaturasi oleh fluida

Pada dasarnya fluida selalu bergerak dari tekanan yang lebih tinggi menuju ke tekanan yang lebih rendah. Karena di dalam bumi memiliki nilai tekanan yang lebih tinggi daripada di permukaan, maka gas akan bergerak naik keatas menuju permukaan. Fluida yang muncul ke permukaan tanah bergerak melintasi patahan-patahan kecil (patahan minor) diantara bebatuan lempung. Kemudian patahan-patahan kecil (patahan minor) akan berasosiasi dengan rekahan/patahan utama (patahan mayor) sehingga fluida dapat keluar ke permukaan.

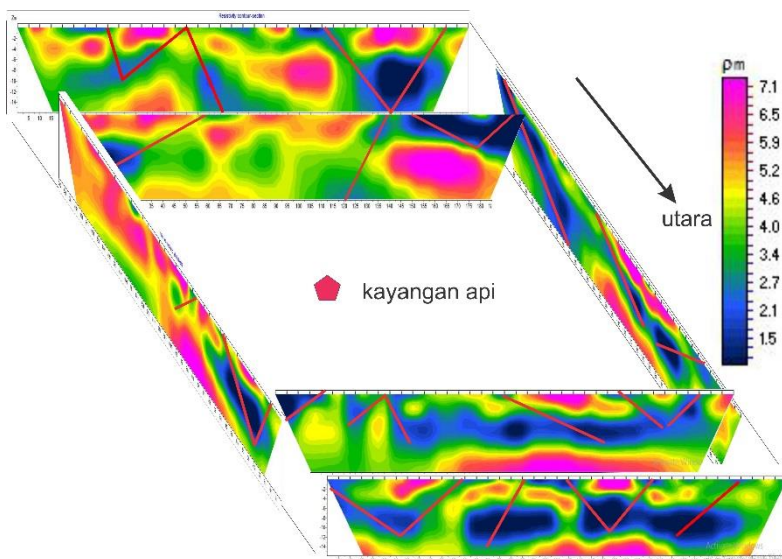
Anomali rekahan atau patahan dapat disebabkan karena dua kemungkinan yaitu patahan yang tersaturasi air dan patahan yang tidak tersaturasi air. Untuk bisa mengetahui apakah patahan tersaturasi air atau tidak bisa ditentukan saat musim apa pengambilan data lapangan di lakukan. Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan pada saat musim penghujan, artinya patahan tersaturasi air.

Bidang patahan yang dilalui fluida gas tersaturasi oleh air, sehingga bidang patahan bersifat konduktif dibandingkan batuan di dekatnya. Hal ini dikarenakan jumlah air dalam suatu batuan sebanding dengan tingkat konduktivitas batuan tersebut. Jadi untuk mengetahui arah rekahan/patahan di bawah permukaan dapat ditentukan melalui anomali konduktif. Konduktivitas berbanding terbalik dengan resistivitas. Karena dalam hal ini digunakan parameter resistivitas, maka anomali konduktif memiliki nilai resistivitas yang kecil.

Untuk menentukan parameter rentang nilai resistivitas bisa dianggap kecil, maka dapat dibandingkan dengan resistivitas lingkungan di daerah penelitian. Biasanya terdapat perbedaan yang kontras antara nilai resistivitas bidang patahan dengan nilai resistivitas lingkungan. Nilai resistivitas lingkungan yang digunakan pada penelitian ini yaitu $4 \Omega.m$. Nilai tersebut merupakan nilai estimasi hasil pengukuran dengan berdasarkan nilai resistivitas tiap jenis batuan seperti pada Tabel 2.1. Jadi nilai resistivitas bisa dianggap kecil jika nilainya berkisar antara $0 \Omega.m$ - $1,5 \Omega.m$.

Daerah yang memiliki nilai resistivitas kecil menjadi anomali konduktif yang kemudian digunakan untuk penentuan arah patahan dangkal. Setiap anomali konduktif dikorelasikan dengan kondisi geologi lapangan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi salah penafsiran dalam memahami penyebab anomali konduktif.

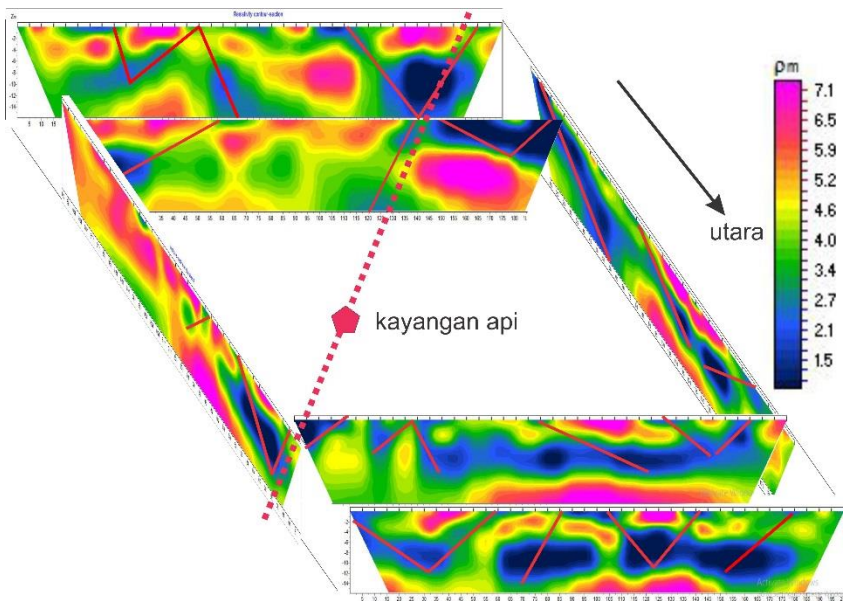
Hasil inversi menggunakan *software* ZondRes2D yang berupa penampang 2D dari 6 lintasan dimodelkan kedalam model 3 dimensi. Pemodelan 3 dimensi ini bertujuan untuk mengetahui letak dari anomali rekahan atau patahan serta mengetahui struktur lapisan batuan bawah permukaan di daerah penelitian. Gambar 4.2 menunjukkan nilai resistivitas rendah berkisar antara 1,07–1,39 $\Omega.m$.



Gambar 4. 2 Pemodelan 3D dari penampang resistivitas 2D masing-masing lintasan

Gambar 4.2 merupakan pemodelan 3D hasil inversi ZondRes2D dari lintasan 1-lintasan 6. Gambar segilima warna

merah muda menotasikan titik keluarnya gas pada Kayangan Api dan garis berwarna merah merupakan letak anomali konduktif yang diduga patahan sebagai jalan keluarnya gas menuju ke permukaan. Di bawah permukaan daerah penelitian diduga banyak mengandung hidrokarbon berupa gas. Gas dapat keluar ke permukaan lewat patahan-patahan kecil (minor) diantara bebatuan yang kemudian berasosiasi dengan patahan utama (mayor). Sehingga untuk mengetahui arah patahan mayor (patahan utama) dilakukan dengan cara melihat kemenerusan patahan mayor. Patahan mayor terletak pada anomali konduktif yang telah ditandai pada Gambar 4.2. Titik kayangan api jelas merupakan jalur patahan utama (mayor) yang menyebabkan gas muncul ke permukaan tanah.

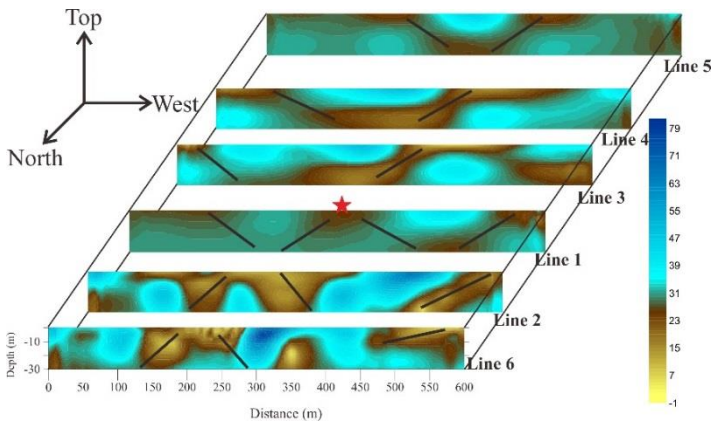


Gambar 4. 3 Interpretasi Hasil Pemodelan 3D dari penampang resistivitas 2D masing-masing lintasan

Berdasarkan Gambar 4.3 diduga arah patahan jalur keluarnya gas berasal dari arah Barat Daya menuju ke Timur Laut yang ditunjukkan dengan garis patah-patah warna merah. Garis segi lima warna merah muda merupakan titik keluarnya gas ke permukaan. Hal ini dikarenakan letak anomali konduktif yang dilalui patahan mayor berada di bagian Barat Daya dan Timur Laut dari titik keluarnya gas. Berdasarkan hasil inversi, nilai resistivitas yang terukur sampai pada kedalaman 15 meter sehingga patahan di daerah ini bisa dikatakan sebagai jenis patahan dangkal. Pada arah Barat Laut dari titik keluarnya gas terdapat beberapa titik yang memiliki nilai resistivitas kecil. Daerah konduktif pada barat laut ini merupakan persawahan warga. Sehingga anomali konduktif pada bagian ini, lebih banyak disebabkan karena aliran fluida air yang merembes di bawah permukaan tanah dan bergerak di dalam pori-pori batuan.

Berdasarkan pada peta geologi lembar Bojonegoro (Gambar 2.1), di sebelah timur Kayangan Api terdapat patahan yang mengarah dari Barat Daya menuju ke Timur Laut. Sehingga hasil arah patahan dangkal pada penelitian ini berkorelasi dengan peta geologi Bojonegoro tersebut.

Untuk memperkuat dugaan hasil penelitian ini, selain dikorelasikan dengan peta geologi lembar Bojonegoro juga dikorelasikan dengan 2 penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya yang pertama menggunakan metode VLF-EM untuk mengetahui arah patahan dangkal di Kayangan Api. Berikut ini merupakan pemodelan 3 dimensi dari hasil inversi yang telah dilakukan.

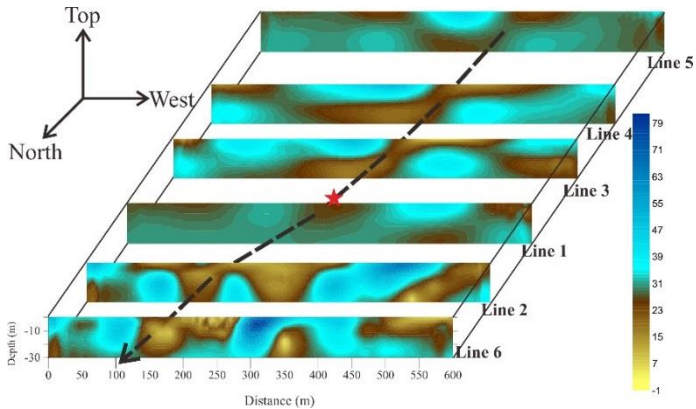


Gambar 4. 4 Pemodelan 3-D parameter resistivitas hasil inversi setiap lintasan dengan metode VLF-EM (Nurdiansyah, 2017)

Pada Gambar 4.4, bintang merah menotasikan titik keluarnya gas ke permukaan. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa nilai resistivitas kecil ditunjukkan dengan kontur warna coklat kekuningan. Kontur warna coklat kekuningan inilah yang dijadikan sebagai anomali konduktif. Tepat di tengah lintasan 1 yang terdapat bintang, terdapat anomali konduktif di dekat permukaan. Hal ini sesuai teori kelistrikan batuan bahwa bidang yang dilalui fluida gas merupakan daerah yang lebih konduktif daripada lapisan tanah sekitarnya. Di setiap lintasan terlihat adanya beberapa patahan (garis lurus warna hitam) pada anomali konduktif. Patahan ini ada yang merupakan patahan mayor (patahan utama) dan juga patahan minor (patahan minor).

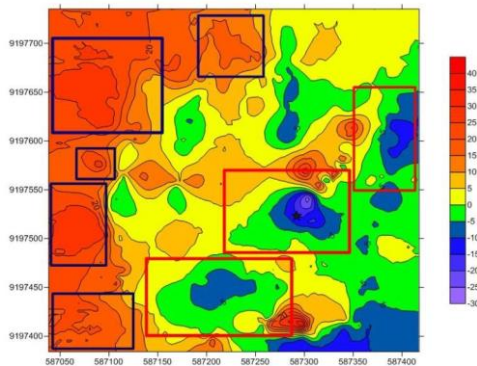
Patahan-patahan minor ini nantinya akan saling berasosiasi dengan patahan mayor. Jadi baik patahan mayor dan patahan minor akan dilalui oleh gas saat bergerak keluar ke permukaan. Untuk mengetahui apakah patahan tersebut merupakan patahan minor atau mayor dilakukan dengan cara melihat kemenerusan pada setiap lintasan. Pada Gambar 4.5, dari lintasan 5 di sebelah Selatan hingga Lintasan 6 di sebelah Utara terdapat kemenerusan patahan pada anomali konduktif. Kemenerusan ini ditandai dengan garis patah-patah berwarna hitam. Garis patah-

patah warna hitam inilah yang diduga sebaga arah patahan mayor. Sedangkan patahan pada anomali konduktif yang tidak dilalui garis warna hitam merupakan patahan minor.



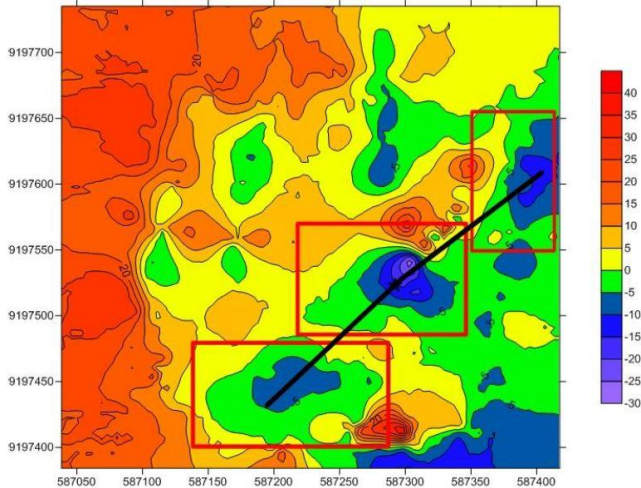
Gambar 4. 5 Interpretasi pemodelan 3-D parameter resistivitas hasil inversi setiap lintasan dengan metode VLF-EM (Nurdiansyah, 2017)

Berdasarkan penelitian sebelumnya, menggunakan metode *Self Potential* untuk tujuan yang sama dengan penelitian ini. Berikut ini merupakan hasil pengolahan data yang telah didapatkan menggunakan metode SP



Gambar 4. 6 Persebaran anomali dipol dan monopol pada *contour* (Fajriyah, 2017)

Berdasarkan anomali *self potential*, daerah yang mempunyai aliran fluida gas melewati suatu patahan di bawah permukaan memiliki anomali dipol. Anomali dipol ialah anomali yang terdiri dari dua *closure* sedangkan anomali monopol hanya memiliki satu jenis *closure*. Pada Gambar 4.6 terdapat anomali *closure* negatif dan anomali *closure* positif yang saling berdekatan. Jenis anomali seperti ini merupakan anomali *self potential* jenis dipol (garis kotak warna merah). Pada Gambar 4.6 juga bisa ditemukan anomali *self potential* jenis monopol. Anomali jenis monopol ini tersebar di bagian kiri (garis kotak warna hitam) dengan *closure* positif saja. Bintang warna hitam merupakan titik keluarnya gas ke permukaan. Jadi untuk mencari arah rekahan gas akan terfokus pada anomali *self potential* jenis dipol.



Gambar 4. 7 Arah patahan berdasarkan anomali dipol(Fajriyah, 2017)

Berdasarkan Gambar 4.7 patahan sebagai jalan keluarnya gas Kayangan Api di Bojonegoro memiliki arah dari Barat Daya menuju Timur Laut. Hal ini dikarenakan tampak anomali dipol saling terhubung pada arah tersebut dengan *range* nilai beda potensial yang hampir sama. Jadi hasil penelitian ini saling berkorelasi dengan peta geologi Bojonegoro dan juga dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan metode geofisika lainnya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan interpretasi data geolistrik resistivitas di daerah Kayangan Api Bojonegoro, dapat disimpulkan bahwa :

1. Lapisan struktur batuan bawah permukaan daerah Kayangan Api Bojonegoro memiliki nilai resistivitas antara 1,07 – 7,10 Ω .m.
2. Pada struktur tanah bawah permukaan di daerah Kayangan Api banyak ditemukan adanya patahan. Patahan ini ada yang merupakan patahan minor dan ada patahan mayor.
3. Arah patahan utama sebagai jalan keluarnya gas di Kayangan Api Bojonegoro diduga sebagai patahan dangkal. Arah patahan membentang dari Barat Daya menuju Timur Laut.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini terdapat saran untuk penelitian lebih lanjut sebagai bahan perbandingan yaitu antara lain :

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan metode geofisika magnetotelluric yang dapat mengukur arus listrik alami dalam bumi, yang dihasilkan oleh induksi magnetik dari arus listrik di ionosfer.
2. Untuk penelitian lebih lanjut disarankan menggunakan data bor (*borehole*) di beberapa titik lokasi penelitian yang dapat dijadikan informasi tambahan yang lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- As'ari, 2011. Pemetaan Air Tanah di Kabupaten Jenepono dengan Metode Geolistrik.
- Bariato, D.H., Faza, A.F., Novian, M.I., Husein Salahuddin, 2015. Stratigrafi Karbonat Formasi Seloredjo Anggota Dander di Sungai Banyurejo Kecamatan Bubulan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur, Indonesia.
- Broyden, 1965. A class of method for solving nonlinie simulations equations, *mathematics of computation* 577–593.
- Chumairoh, I., Susilo, A., Juwono, A., 2010. Identifikasi Litologi dan Indikasi Patahan pada Daerah Karangates Malang Selatan dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipol-Dipol.
- Constable, S.C., Parker, R.L., Constable, C.G., 1987. Occam's inversion: a practical alhoritm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics* 52 289–300.
- Dey A, Morisson, H., 1979. Resistivity modelling for arbitrary shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting* 27 106–136.
- Djoko, S., 2002. Pengantar Teknik Geofisika. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Etiopie, G., Drobnik, A., Schimmelmann, A., 2013. Natural seepage of shale gas and the origin of “eternal flames” in the Northern Appalachian Basin 178–186.
- Fajriyah, F.S., 2017. Identifikasi Penyebab Rembesan Gas Kayangan Api Bojonegoro dengan Menggunakan Metode Self-Potential (SP). Tugas Akhir Fis. FMIPA ITS 34–35.
- Fitrah, F., Sunaryo, Susilo, A., 2015. Identifikasi Zona Rekahan di Bendungan Sutami Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. *Indones. J. Appl. Phys.* 5, 64.
- Handayani, Gunawan, Ngadimin, 2001. Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Alat Monitoring Rembesan Limbah. Fisika ITB, Bandung.
- Hendrajaya, L., Arif, L., 1990. Geolistrik Tahanan Jenis, Monografi: Metode Eksplorasi. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Hermeidi, A., 2015. Mekanisme Pendorong Reservoir, Karakteristik Reservoir. ed. 6. Jakarta.

- Hidayat, A.N., Darmanto, Darsono, 2014. Interpretasi Salt Water-Fresh Water Zone menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger di Desa Majasto dan Ponowaren, Kecamatan Tawang Sari, Kabupaten Sukoharjo. *J. Fis. Dan Apl. Fis. MIPA ITS* 10, 2.
- Khalil, M.A., Santos, M., 2013. 2D and 3D resistivity inversion of Schlumberger vertical electrical soundings in Wadi El Natrun 116–124.
- Loke, M., 1996. 2-D and 3-D electrical imaging surveys.
- Loke, M., Barker, R., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method *Geophysical Prospecting* 131–152.
- Magetsari, N.A., Abdullah, C.I., Brahmantyo, B., 2004. *Geologi Fisik*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Minarto, E., 2007. Pemodelan Inversi Data Geolistrik untuk Menentukan Struktur Perlapisan Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Mataloko. *J. Fis. Dan Apl. Fis. MIPA ITS* 3, 2.
- Muchibin, R., 2009. Interpretasi Persebaran Bijih Mangan (Mn) Dengan Metode Resistivitas Wenner-Schlumberger di Kec. Kademangan, Kab. Blitar. *J. Fis. FMIPA ITS*.
- Nurdiansyah, M.D., 2017. Pencitraan Rembesan Gas Menggunakan Metode VLF-EM: Studi Kasus di Kayangan Api Bojonegoro, Jawa Timur. *Tugas Akhir Fis. FMIPA ITS* 49–50.
- Pringgoprawiro, H., 1983. Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru. Disertasi Dr. ITB.
- Pulunggono, A., Martodjoyo, S., 1994. Kerangka tektonik dan stratigrafi Pulau Jawa secara regional dengan kaitannya dengan potensi hidrokarbon. *Proceeding Geol. Geotek. UGM* 253–274.
- Purwasatriya, E.B., Waluyo, G., 2011. Pembuatan Model Geologi Bawah Permukaan dengan Metode Geolistrik dan Studi Stratigrafi Pada Rembesan Gas di Jatilawang, Banyumas 1–7.
- Sasaki, Y., 1994. resistivity inversion using the finite element method 1839–1848.
- Sungkono, 2016. Pengembangan Metode Analisa data VLF-EM, Dispersi Gelombang Rayleigh dan Resistivitas untuk Menilai Kestabilan Tanggul LUSI.
- Telford, W., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge Press, London.
- Vidiyoga, S.E., 2016. Investigasi Batuan Purbakala Menggunakan Metode Resistivitas :Studi Kasus di Sistu Sendang, Sidoarjo.

- Wahyono, S., 2004. Penentuan Bidang Gelincir Pada Daerah Rawan Longsor dengan Metode Geolistrik 2-D di desa Lumbang Rejo, Prigen, Pasuruan. J. Fis. FMIPA ITS.
- Williams, 2004. Earth Science and Geology. McGraw Hill Companis, inc, New York.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

Administrasi Perizinan

PEMERINTAH KABUPATEN BOJONEGORO
BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK
Jl. Trunojoyo No. 12 Telepon / Fax. (0353) 893526
BOJONEGORO

SURAT REKOMENDASI

Nomor : 072 / 2a / 204.412 / 2017

TENTANG SURVEY/ RESEARCH/ PENELITIAN/ KKN

- Dasar :
- Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2014 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 64 Tahun 2011 Tentang Peraturan Bupati Bojonegoro Nomor 18 Tahun 2011 Tentang Perubahan Atas Peraturan Bupati Bojonegoro Nomor : 5 Tahun 2009 Tentang Tugas Pokok Dan Fungsi Inspektoral , Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Dan Lembaga Teknis Daerah Kab.Bojonegoro sebagaimana telah diubah beberapa kali terakhir dengan Peraturan Bupati Bojonegoro Nomor 40 Tahun 2013 Tentang Perubahan ketiga Atas Peraturan Bupati Bojonegoro Nomor : 5 Tahun 2009 Tentang Tugas Pokok Dan Fungsi Inspektoral, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Dan Lembaga Teknis Daerah Kab.Bojonegoro
 - Peraturan Bupati Bojonegoro Nomor 33 Tahun 2014 Tentang Penyelenggaraan Perijinan Dan Non Perijinan Di Kabupaten Bojonegoro
 - Peraturan Bupati Bojonegoro Nomor 63 Tahun 2014 Tentang Pelimpahan Wewenang Bupati Di Bidang Perijinan Dan Non Perijinan Kepada Kepala Satuan Kerja Perangkat Daerah Dan Camat
 - Surat Ketua Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya No : 3384/IT.2.V1.1/PP/05.02/2017 tanggal 19 Januari 2017 hal Penelitian Tugas Akhir.

MENGIZINKAN :

- Nama Ketua : MUL KFLI GEYON (1113 100 093)
- Alamat : Gang II (Gang Pasar) Keputh Sukolilo Surabaya
- Anggota :
 - FABUS SALMATUS FAIRYAH (1113 100 019)
 - SHAFITRI WULANDHARI (1113 100 041)
 - MUH. DWI NURDIANSYAH (1112 100 038)
- Asal / Civitas : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Fak. / Jurusan : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam / Fisika
- Keperluan : Penelitian
- Judul : "Integrasi Geofisika Untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan di Daerah Khayangan Api".
- Tempat penelitian : Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kab. Bojonegoro - Khayangan Api
- Waktu : Tmt 1 Februari 2017 s/d 1 Maret 2017

DENGAN KETENTUAN SEBAGAI BERIKUT :

- Dalam jangka waktu 1 x 24 jam tiba ditempat yang dituju diwajibkan melaporkan kedatangannya kepada Kecamatan/Kantor Instansi setempat.
- Mentaati ketentuan yang berlaku dalam daerah desa/instansi setempat.
- Menjaga tata tertib keamanan dan keselamatan serta menghindari pernyataan-pernyataan baik lisan maupun tulisan yang dapat melukai / menyiratkan persaan atau menghina Agama, Bangsa dan Negara dari suatu golongan penduduk.
- Tidak diperkenankan menjatuhkan kegiatan-kegiatan diluar ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan sebagai tersebut diatas.
- Setelah berakhirnya dilakukan tugas diwajibkan terlebih dahulu melaporkan kepada Pejabat Kecamatan/Kantor Instansi setempat mengenai selesainya pelaksanaan tugas tersebut cobatan menggalakan daerah tempat dimaksud.
- Setelah melakukan kegiatan diwajibkan/diharuskan untuk membuat/mengirimkan 1 buah hasil penelitian/ survey/ research, kepada Bupati Bojonegoro melalui Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kab. Bojonegoro.
- Surat tjin ini akan dicabut dan dinyatakan tidak berlaku apabila ternyata bahwa pemegang surat pengantar ini tidak memenuhi ketentuan tersebut diatas.

Demikian untuk menjadikan maklum dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Ditandatangani Di : Bojonegoro
Pada Tanggal : 20 Januari 2017
An. KEPALA BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK
KABUPATEN BOJONEGORO



Disampaikan kepada :

- Sdr. Kepala Disparbud Kab. Bojonegoro
- Sdr. Ketua Jurusan Fisika ITS Surabaya
- Yang bersangkutan



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN FISIKA

Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
 Telp: 031-5943351, Fax: 031-5943351, PABX: 1210
<http://www.physics.its.ac.id>

Nomor : 3384 /IT2.VI.1.1/PP.05.02/2017.
 Lampiran : 1 lbr
 Perihal : Penelitian Tugas Akhir

9 Januari 2017

Kepada Yth. : Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik
Jl. Trunojoyo No. 12
Bojonegoro

Sehubungan dengan rencana pelaksanaan Tugas Akhir mahasiswa Program Sarjana (S1) Jurusan Fisika FMIPA ITS :

Nama : Fairus Salimatul Fajriyah
 NRP. : 1113 100 016
 Nama : Shafitri Wulandhari
 NRP. : 1113 100 041
 Nama : Yul Kifli Kifroni
 NRP. : 1113 100 086
 Nama : Muh. Dwi Nurdiansyah
 NRP. : 1112 100 038
 Pembimbing : Dr. Sungkono, M.Si.

Dengan ini kami mohon mahasiswa tersebut diperkenankan untuk melakukan Penelitian dengan Integrasi Geofisika di Khayangan Api. Adapun penelitian tersebut dalam rangka Tugas Akhir dengan judul " *Integrasi Geofisika untuk mengetahui Struktur bawah Permukaan di Daerah Khayangan Api* " pelaksanaannya direncanakan pada 1-18 Februari 2017.

Demikian atas bantuan dan kerja samanya kami ucapkan terima kasih.



Dr. Puji Hadi Pramono, M.Eng.
 NIP. 196809041992031003

LAMPIRAN 2
Data Sheet Wenner-Schlumberger

Lintasan 1

C1	No	P1	P2	C2	a	n	K	R (ohm)	$\rho(\Omega.m)$	Error(%)
0	1	10	15	25	5	2	94.29	0.02258	2.12897	1.5
5	2	15	20	30	5	2	94.286	0.02403	2.26569	1.3
10	3	20	25	35	5	2	94.286	0.02435	2.29586	2.7
15	4	25	30	40	5	2	94.286	0.02424	2.28549	2.7
20	5	30	35	45	5	2	94.286	0.0231	2.17800	1.2
25	6	35	40	50	5	2	94.286	0.02986	2.81537	2.8
30	7	40	45	55	5	2	94.286	0.02539	2.39391	2.9
35	8	45	50	60	5	2	94.286	0.02507	2.36374	1.9
40	9	50	55	65	5	2	94.286	0.02518	2.37411	3.4
45	10	55	60	70	5	2	94.286	0.02435	2.29586	6
50	11	60	65	75	5	2	94.286	0.02414	2.27606	1.6
55	12	65	70	80	5	2	94.286	0.02643	2.49197	0.4
60	13	70	75	85	5	2	94.286	0.02549	2.40334	4.2
65	14	75	80	90	5	2	94.286	0.05566	5.24794	6.8
70	15	80	85	95	5	2	94.286	0.02507	2.36374	2.8
75	16	85	90	100	5	2	94.286	0.0231	2.17800	1.2
80	17	90	95	105	5	2	94.286	0.01873	1.76597	2.4
85	18	95	100	110	5	2	94.286	0.03225	3.04071	3.5
90	19	100	105	115	5	2	94.286	0.02258	2.12897	1.5
95	20	105	110	120	5	2	94.286	0.02289	2.15820	1.6

100	21	110	115	125	5	2	94.286	0.02133	2.01111	2.6
105	22	115	120	130	5	2	94.286	0.01529	1.44163	2.1
110	23	120	125	135	5	2	94.286	0.01945	1.83386	0.1
115	24	125	130	140	5	2	94.286	0.02466	2.32509	0.9
120	25	130	135	145	5	2	94.286	0.02091	1.97151	3.4
125	26	135	140	150	5	2	94.286	0.01883	1.77540	2.7
130	27	140	145	155	5	2	94.286	0.0181	1.70657	3
135	28	145	150	160	5	2	94.286	0.02424	2.28549	0.2
140	29	150	155	165	5	2	94.286	0.02747	2.59003	2
145	30	155	160	170	5	2	94.286	0.01727	1.62831	2.7
150	31	160	165	175	5	2	94.286	0.02133	2.01111	0.9
155	32	165	170	180	5	2	94.286	0.02435	2.29586	0.6
160	33	170	175	185	5	2	94.286	0.02258	2.12897	1.5
165	34	175	180	190	5	2	94.286	0.0231	2.17800	0.4
170	35	180	185	195	5	2	94.286	0.02445	2.30529	1.3
175	36	185	190	200	5	2	94.286	0.02559	2.41277	1.9
0	37	15	20	35	5	3	188.57	0.01175	2.21571	2.5
5	38	20	25	40	5	3	188.57	0.01031	1.94417	2.6
10	39	25	30	45	5	3	188.57	0.01165	2.19686	5.7
15	40	30	35	50	5	3	188.57	0.01269	2.39297	2.4
20	41	35	40	55	5	3	188.57	0.01498	2.82480	4.7
25	42	40	45	60	5	3	188.57	0.01165	2.19686	2.9
30	43	45	50	65	5	3	188.57	0.01196	2.25531	5.5
35	44	50	55	70	5	3	188.57	0.01155	2.17800	2.2
40	45	55	60	75	5	3	188.57	0.01144	2.15726	2.9
45	46	60	65	80	5	3	188.57	0.01155	2.17800	2.2
50	47	65	70	85	5	3	188.57	0.01248	2.35337	3.1

55	48	70	75	90	5	3	188.57	0.01155	2.17800	3.2
60	49	75	80	95	5	3	188.57	0.01186	2.23646	3.6
65	50	80	85	100	5	3	188.57	0.01144	2.15726	3.3
70	51	85	90	105	5	3	188.57	0.00982	1.85234	0.7
75	52	90	95	110	5	3	188.57	0.01186	2.23646	0.3
80	53	95	100	115	5	3	188.57	0.01207	2.27606	3.7
85	54	100	105	120	5	3	188.57	0.01092	2.05920	1.2
90	55	105	110	125	5	3	188.57	0.01113	2.09880	3.1
95	56	110	115	130	5	3	188.57	0.01144	2.15726	0.1
100	57	115	120	135	5	3	188.57	0.01134	2.13840	0.2
105	58	120	125	140	5	3	188.57	0.00938	1.76786	0.2
110	59	125	130	145	5	3	188.57	0.01363	2.57023	2.9
115	60	130	135	150	5	3	188.57	0.01123	2.11766	1.8
120	61	135	140	155	5	3	188.57	0.00878	1.65603	1.2
125	62	140	145	160	5	3	188.57	0.0096	1.81104	3.4
130	63	145	150	165	5	3	188.57	0.0104	1.96114	3.8
135	64	150	155	170	5	3	188.57	0.01238	2.33451	4.3
140	65	155	160	175	5	3	188.57	0.01134	2.13840	4
145	66	160	165	180	5	3	188.57	0.01123	2.11766	2.9
150	67	165	170	185	5	3	188.57	0.01015	1.91400	3.7
155	68	170	175	190	5	3	188.57	0.01175	2.21571	0.4
160	69	175	180	195	5	3	188.57	0.01051	1.98189	0.9
165	70	180	185	200	5	3	188.57	0.01394	2.62869	0.2
0	71	20	25	45	5	4	314.29	0.0074	2.32509	3.7
5	72	25	30	50	5	4	314.29	0.00722	2.26946	4
10	73	30	35	55	5	4	314.29	0.00772	2.42660	3.7
15	74	35	40	60	5	4	314.29	0.00944	2.96623	0

20	75	40	45	65	5	4	314.29	0.00714	2.24337	1.1
25	76	45	50	70	5	4	314.29	0.0071	2.23017	3.9
30	77	50	55	75	5	4	314.29	0.00711	2.23363	4
35	78	55	60	80	5	4	314.29	0.00719	2.25971	3.2
40	79	60	65	85	5	4	314.29	0.00694	2.18114	3.4
45	80	65	70	90	5	4	314.29	0.00811	2.54760	3.7
50	81	70	75	95	5	4	314.29	0.00745	2.34143	4.7
55	82	75	80	100	5	4	314.29	0.00713	2.24023	3.4
60	83	80	85	105	5	4	314.29	0.00736	2.31220	0
65	84	85	90	110	5	4	314.29	0.00697	2.19120	3.1
70	85	90	95	115	5	4	314.29	0.00603	1.89357	5.2
75	86	95	100	120	5	4	314.29	0.00922	2.89740	4.9
80	87	100	105	125	5	4	314.29	0.00589	1.85083	0.9
85	88	105	110	130	5	4	314.29	0.00717	2.25311	6.5
90	89	110	115	135	5	4	314.29	0.00651	2.04726	4.4
95	90	115	120	140	5	4	314.29	0.00666	2.09185	3
100	91	120	125	145	5	4	314.29	0.00785	2.46589	5.4
105	92	125	130	150	5	4	314.29	0.00768	2.41340	1.4
110	93	130	135	155	5	4	314.29	0.00629	1.97780	4
115	94	135	140	160	5	4	314.29	0.00599	1.88351	5.1
120	95	140	145	165	5	4	314.29	0.00323	1.01357	3.2
125	96	145	150	170	5	4	314.29	0.00653	2.05354	0.1
130	97	150	155	175	5	4	314.29	0.00826	2.59663	2.3
135	98	155	160	180	5	4	314.29	0.00557	1.75183	7.6
140	99	160	165	185	5	4	314.29	0.00681	2.13871	1.7
145	100	165	170	190	5	4	314.29	0.00664	2.08654	5
150	101	170	175	195	5	4	314.29	0.00644	2.02431	6.1

155	102	175	180	200	5	4	314.29	0.00675	2.12237	5.5
0	103	25	30	55	5	5	471.43	0.00494	2.33074	2
5	104	30	35	60	5	5	471.43	0.00528	2.48679	2.8
10	105	35	40	65	5	5	471.43	0.00565	2.66357	4.8
15	106	40	45	70	5	5	471.43	0.00496	2.33970	4.3
20	107	45	50	75	5	5	471.43	0.00475	2.23693	8.9
25	108	50	55	80	5	5	471.43	0.0048	2.26144	2.5
30	109	55	60	85	5	5	471.43	0.00461	2.17281	4.9
35	110	60	65	90	5	5	471.43	0.00442	2.08466	5.3
40	111	65	70	95	5	5	471.43	0.00473	2.23174	6.5
45	112	70	75	100	5	5	471.43	0.00406	1.91306	0.6
50	113	75	80	105	5	5	471.43	0.0049	2.31047	3.4
55	114	80	85	110	5	5	471.43	0.00486	2.29067	2.9
60	115	85	90	115	5	5	471.43	0.00472	2.22703	0.3
65	116	90	95	120	5	5	471.43	0.00377	1.77540	3.2
70	117	95	100	125	5	5	471.43	0.00566	2.66829	3.8
75	118	100	105	130	5	5	471.43	0.00466	2.19733	3.2
80	119	105	110	135	5	5	471.43	0.00505	2.37883	3.4
85	120	110	115	140	5	5	471.43	0.00463	2.18271	3.6
90	121	115	120	145	5	5	471.43	0.00464	2.18790	7.3
95	122	120	125	150	5	5	471.43	0.00568	2.67819	3
100	123	125	130	155	5	5	471.43	0.00522	2.46227	3.9
105	124	130	135	160	5	5	471.43	0.00648	3.05580	3.3
110	125	135	140	165	5	5	471.43	0.00327	1.54016	4.1
115	126	140	145	170	5	5	471.43	0.00409	1.92767	4.4
120	127	145	150	175	5	5	471.43	0.00424	1.99650	0.2
125	128	150	155	180	5	5	471.43	0.0054	2.54571	0.2

130	129	155	160	185	5	5	471.43	0.00426	2.00640	4.3
135	130	160	165	190	5	5	471.43	0.00466	2.19733	7.2
140	131	165	170	195	5	5	471.43	0.00494	2.32980	2.5
145	132	170	175	200	5	5	471.43	0.00436	2.05543	2.4
0	133	30	35	65	5	6	660	0.00359	2.36940	3.4
5	134	35	40	70	5	6	660	0.00461	3.04194	3
10	135	40	45	75	5	6	660	0.00386	2.54760	2.5
15	136	45	50	80	5	6	660	0.00379	2.49942	5.6
20	137	50	55	85	5	6	660	0.00376	2.47896	0.3
25	138	55	60	90	5	6	660	0.0035	2.30736	6.1
30	139	60	65	95	5	6	660	0.00374	2.46510	4.1
35	140	65	70	100	5	6	660	0.00333	2.19714	4.9
40	141	70	75	105	5	6	660	0.00388	2.56278	2.5
45	142	75	80	110	5	6	660	0.00356	2.34828	4
50	143	80	85	115	5	6	660	0.00375	2.47236	2.8
55	144	85	90	120	5	6	660	0.00361	2.38260	2.6
60	145	90	95	125	5	6	660	0.00337	2.22486	0
65	146	95	100	130	5	6	660	0.00426	2.80896	4.3
70	147	100	105	135	5	6	660	0.00414	2.73306	0.2
75	148	105	110	140	5	6	660	0.00387	2.55486	7.1
80	149	110	115	145	5	6	660	0.00342	2.25918	3.4
85	150	115	120	150	5	6	660	0.00311	2.05326	2.4
90	151	120	125	155	5	6	660	0.00366	2.41692	2.7
95	152	125	130	160	5	6	660	0.00516	3.40626	1.6
100	153	130	135	165	5	6	660	0.0038	2.50800	0.6
105	154	135	140	170	5	6	660	0.0035	2.30736	3.4
110	155	140	145	175	5	6	660	0.00329	2.17008	7.2

115	156	145	150	180	5	6	660	0.00375	2.47236	0.7
120	157	150	155	185	5	6	660	0.00442	2.91852	4.7
125	158	155	160	190	5	6	660	0.00291	1.92258	0
130	159	160	165	195	5	6	660	0.00355	2.34168	6.8
135	160	165	170	200	5	6	660	0.0037	2.44464	6

Lintasan 2

No	C1	P1	P2	C2	a	n	K	R (ohm)	$\rho(\Omega.m)$	Error(%)
1	0	10	15	25	5	2	94.29	0.031	2.92286	4
2	5	15	20	30	5	2	94.286	0.0282	2.65886	4
3	10	20	25	35	5	2	94.286	0.02924	2.75691	2.1
4	15	25	30	40	5	2	94.286	0.03153	2.97283	2.9
5	20	30	35	45	5	2	94.286	0.03153	2.97283	3.9
6	25	35	40	50	5	2	94.286	0.0309	2.91343	4.3
7	30	40	45	55	5	2	94.286	0.03073	2.89740	5.3
8	35	45	50	60	5	2	94.286	0.0298	2.80971	2.9
9	40	50	55	65	5	2	94.286	0.02903	2.73711	2.8
10	45	55	60	70	5	2	94.286	0.0258	2.43257	2.6
11	50	60	65	75	5	2	94.286	0.03447	3.25003	3.1
12	55	65	70	80	5	2	94.286	0.02663	2.51083	6.2
13	60	70	75	85	5	2	94.286	0.02601	2.45237	4.4
14	65	75	80	90	5	2	94.286	0.03136	2.95680	1.8
15	70	80	85	95	5	2	94.286	0.02965	2.79557	6.6
16	75	85	90	100	5	2	94.286	0.03105	2.92757	3.7
17	80	90	95	105	5	2	94.286	0.03163	2.98226	6.5

18	85	95	100	110	5	2	94.286	0.02955	2.78614	4.5
19	90	100	105	115	5	2	94.286	0.02622	2.47217	4.3
20	95	105	110	120	5	2	94.286	0.02996	2.82480	6.4
21	100	110	115	125	5	2	94.286	0.02986	2.81537	0.7
22	105	115	120	130	5	2	94.286	0.03871	3.64980	0.5
23	110	120	125	135	5	2	94.286	0.02674	2.52120	2.9
24	115	125	130	140	5	2	94.286	0.02903	2.73711	1
25	120	130	135	145	5	2	94.286	0.02955	2.78614	2.4
26	125	135	140	150	5	2	94.286	0.03059	2.88420	0
27	130	140	145	155	5	2	94.286	0.02903	2.73711	1.2
28	135	145	150	160	5	2	94.286	0.02809	2.64849	3
29	140	150	155	165	5	2	94.286	0.02403	2.26569	0.4
30	145	155	160	170	5	2	94.286	0.02278	2.14783	0.3
31	150	160	165	175	5	2	94.286	0.03631	3.42351	2.2
32	155	165	170	180	5	2	94.286	0.01977	1.86403	0.5
33	160	170	175	185	5	2	94.286	0.02289	2.15820	0.2
34	165	175	180	190	5	2	94.286	0.02726	2.57023	2
35	170	180	185	195	5	2	94.286	0.02549	2.40334	2
36	175	185	190	200	5	2	94.286	0.02695	2.54100	0.2
37	0	15	20	35	5	3	188.57	0.01529	2.88326	5.8
38	5	20	25	40	5	3	188.57	0.01331	2.50989	9.5
39	10	25	30	45	5	3	188.57	0.0154	2.90400	9.1
40	15	30	35	50	5	3	188.57	0.01696	3.19817	1.6
41	20	35	40	55	5	3	188.57	0.01477	2.78520	1.6
42	25	40	45	60	5	3	188.57	0.01207	2.27606	2.5
43	30	45	50	65	5	3	188.57	0.0144	2.71543	6.5
44	35	50	55	70	5	3	188.57	0.01612	3.03977	6.9

45	40	55	60	75	5	3	188.57	0.01373	2.58909	1.1
46	45	60	65	80	5	3	188.57	0.01633	3.07937	0.7
47	50	65	70	85	5	3	188.57	0.01342	2.53063	0.3
48	55	70	75	90	5	3	188.57	0.01259	2.37411	9.1
49	60	75	80	95	5	3	188.57	0.01477	2.78520	1.4
50	65	80	85	100	5	3	188.57	0.01498	2.82480	3.9
51	70	85	90	105	5	3	188.57	0.01612	3.03977	2.1
52	75	90	95	110	5	3	188.57	0.01508	2.84366	4.5
53	80	95	100	115	5	3	188.57	0.01415	2.66829	10.4
54	85	100	105	120	5	3	188.57	0.01165	2.19686	8.4
55	90	105	110	125	5	3	188.57	0.0162	3.05486	2.4
56	95	110	115	130	5	3	188.57	0.01467	2.76634	2.7
57	100	115	120	135	5	3	188.57	0.02268	4.27680	0.3
58	105	120	125	140	5	3	188.57	0.01321	2.49103	2.4
59	110	125	130	145	5	3	188.57	0.0129	2.43257	2.8
60	115	130	135	150	5	3	188.57	0.01321	2.49103	2.2
61	120	135	140	155	5	3	188.57	0.01425	2.68714	1.8
62	125	140	145	160	5	3	188.57	0.01415	2.66829	0.9
63	130	145	150	165	5	3	188.57	0.01279	2.41183	3.6
64	135	150	155	170	5	3	188.57	0.01217	2.29491	0.7
65	140	155	160	175	5	3	188.57	0.01124	2.11954	3
66	145	160	165	180	5	3	188.57	0.01581	2.98131	0.5
67	150	165	170	185	5	3	188.57	0.0088	1.65999	1.9
68	155	170	175	190	5	3	188.57	0.01155	2.17800	3.1
69	160	175	180	195	5	3	188.57	0.01165	2.19686	2.8
70	165	180	185	200	5	3	188.57	0.01227	2.31377	2.3
71	0	20	25	45	5	4	314.29	0.0076	2.38731	17.5

72	5	25	30	50	5	4	314.29	0.00825	2.59317	10.7
73	10	30	35	55	5	4	314.29	0.00886	2.78300	5.3
74	15	35	40	60	5	4	314.29	0.00855	2.68809	2
75	20	40	45	65	5	4	314.29	0.00718	2.25657	4
76	25	45	50	70	5	4	314.29	0.00882	2.77326	2.7
77	30	50	55	75	5	4	314.29	0.00916	2.87791	8.6
78	35	55	60	80	5	4	314.29	0.00871	2.73711	6.6
79	40	60	65	85	5	4	314.29	0.00999	3.13940	13.67
80	45	65	70	90	5	4	314.29	0.00817	2.56709	7.6
81	50	70	75	95	5	4	314.29	0.00793	2.49197	2.3
82	55	75	80	100	5	4	314.29	0.00864	2.71417	2.6
83	60	80	85	105	5	4	314.29	0.00857	2.69374	2.3
84	65	85	90	110	5	4	314.29	0.00947	2.97597	5.5
85	70	90	95	115	5	4	314.29	0.00889	2.79463	1.7
86	75	95	100	120	5	4	314.29	0.0084	2.63906	7.1
87	80	100	105	125	5	4	314.29	0.0062	1.94889	3.3
88	85	105	110	130	5	4	314.29	0.00873	2.74371	8
89	90	110	115	135	5	4	314.29	0.01383	4.34657	5.1
90	95	115	120	140	5	4	314.29	0.01026	3.22457	6.4
91	100	120	125	145	5	4	314.29	0.01103	3.46657	3.2
92	105	125	130	150	5	4	314.29	0.01103	3.46657	1.9
93	110	130	135	155	5	4	314.29	0.01071	3.36600	8.5
94	115	135	140	160	5	4	314.29	0.01082	3.40057	5
95	120	140	145	165	5	4	314.29	0.00765	2.40366	3.4
96	125	145	150	170	5	4	314.29	0.00719	2.25971	2.6
97	130	150	155	175	5	4	314.29	0.00811	2.54760	4.1
98	135	155	160	180	5	4	314.29	0.00546	1.71694	0.3

99	140	160	165	185	5	4	314.29	0.00776	2.43949	2.4
100	145	165	170	190	5	4	314.29	0.00522	1.64151	5.3
101	150	170	175	195	5	4	314.29	0.00689	2.16511	0.1
102	155	175	180	200	5	4	314.29	0.00684	2.14846	5.6
103	0	25	30	55	5	5	471.43	0.00486	2.29067	10
104	5	30	35	60	5	5	471.43	0.00486	2.29067	8.2
105	10	35	40	65	5	5	471.43	0.00537	2.53110	5.1
106	15	40	45	70	5	5	471.43	0.00457	2.15349	7.8
107	20	45	50	75	5	5	471.43	0.00658	3.10011	2.2
108	25	50	55	80	5	5	471.43	0.00686	3.23259	3
109	30	55	60	85	5	5	471.43	0.00591	2.78614	4.5
110	35	60	65	90	5	5	471.43	0.00727	3.42870	7.3
111	40	65	70	95	5	5	471.43	0.0014	0.66189	9.7
112	45	70	75	100	5	5	471.43	0.0053	2.49669	8.2
113	50	75	80	105	5	5	471.43	0.00554	2.60936	7.5
114	55	80	85	110	5	5	471.43	0.00534	2.51649	8.5
115	60	85	90	115	5	5	471.43	0.00596	2.81066	4.6
116	65	90	95	120	5	5	471.43	0.00538	2.53581	5.7
117	70	95	100	125	5	5	471.43	0.00569	2.68337	4.2
118	75	100	105	130	5	5	471.43	0.00409	1.92673	5.3
119	80	105	110	135	5	5	471.43	0.00605	2.84979	5.1
120	85	110	115	140	5	5	471.43	0.00612	2.88420	4.3
121	90	115	120	145	5	5	471.43	0.00726	3.42116	0
122	95	120	125	150	5	5	471.43	0.00586	2.76163	8.9
123	100	125	130	155	5	5	471.43	0.00478	2.25154	1.7
124	105	130	135	160	5	5	471.43	0.00484	2.28077	11.1
125	110	135	140	165	5	5	471.43	0.00478	2.25154	3.8

126	115	140	145	170	5	5	471.43	0.00495	2.33499	6.5
127	120	145	150	175	5	5	471.43	0.00481	2.26616	4.1
128	125	150	155	180	5	5	471.43	0.00565	2.66357	0.8
129	130	155	160	185	5	5	471.43	0.00521	2.45756	5.8
130	135	160	165	190	5	5	471.43	0.00681	3.20807	2.1
131	140	165	170	195	5	5	471.43	0.00338	1.59390	5.9
132	145	170	175	200	5	5	471.43	0.00488	2.30057	0
133	0	30	35	65	5	6	660	0.00413	2.72646	10.2
134	5	35	40	70	5	6	660	0.00373	2.45850	3.4
135	10	40	45	75	5	6	660	0.0034	2.24532	9.3
136	15	45	50	80	5	6	660	0.00438	2.89080	3.6
137	20	50	55	85	5	6	660	0.00469	3.09738	5.7
138	25	55	60	90	5	6	660	0.00412	2.71920	9.9
139	30	60	65	95	5	6	660	0.00475	3.13170	7.2
140	35	65	70	100	5	6	660	0.00437	2.88420	7.3
141	40	70	75	105	5	6	660	0.00366	2.41560	1.9
142	45	75	80	110	5	6	660	0.00391	2.58192	12
143	50	80	85	115	5	6	660	0.00345	2.27964	11.2
144	55	85	90	120	5	6	660	0.00445	2.93898	6.3
145	60	90	95	125	5	6	660	0.00399	2.63010	10.6
146	65	95	100	130	5	6	660	0.00405	2.67102	9.4
147	70	100	105	135	5	6	660	0.00409	2.69874	1.1
148	75	105	110	140	5	6	660	0.00405	2.67102	2.7
149	80	110	115	145	5	6	660	0.00448	2.95944	5.2
150	85	115	120	150	5	6	660	0.0049	3.23466	5.3
151	90	120	125	155	5	6	660	0.00377	2.48556	6.1
152	95	125	130	160	5	6	660	0.00385	2.54100	1

153	100	130	135	165	5	6	660	0.00369	2.43804	7.5
154	105	135	140	170	5	6	660	0.00364	2.40372	3.6
155	110	140	145	175	5	6	660	0.00369	2.43804	2.8
156	115	145	150	180	5	6	660	0.00339	2.23872	2
157	120	150	155	185	5	6	660	0.00406	2.67828	4.5
158	125	155	160	190	5	6	660	0.00354	2.33508	1.2
159	130	160	165	195	5	6	660	0.00535	3.52968	9.4
160	135	165	170	200	5	6	660	0.0025	1.64802	3.9

Lintasan 3

No	C1	P1	P2	C2	a	n	K	R (ohm)	$\rho(\Omega.m)$	Error(%)
1	0	10	15	25	5	2	94.29	0.02029	1.91306	2.1
2	5	15	20	30	5	2	94.286	0.02216	2.08937	2.5
3	10	20	25	35	5	2	94.286	0.01977	1.86403	1.6
4	15	25	30	40	5	2	94.286	0.01966	1.85366	1.7
5	20	30	35	45	5	2	94.286	0.02164	2.04034	1.3
6	25	35	40	50	5	2	94.286	0.01914	1.80463	5
7	30	40	45	55	5	2	94.286	0.01914	1.80463	3.2
8	35	45	50	60	5	2	94.286	0.02372	2.23646	5.3
9	40	50	55	65	5	2	94.286	0.02195	2.06957	3.3
10	45	55	60	70	5	2	94.286	0.02424	2.28549	6.1
11	50	60	65	75	5	2	94.286	0.0257	2.42314	3.4
12	55	65	70	80	5	2	94.286	0.02757	2.59946	0.4
13	60	70	75	85	5	2	94.286	0.03891	3.66866	0.3
14	65	75	80	90	5	2	94.286	0.02226	2.09880	0.6

15	70	80	85	95	5	2	94.286	0.02174	2.04977	6.5
16	75	85	90	100	5	2	94.286	0.03912	3.68846	2.2
17	80	90	95	105	5	2	94.286	0.02799	2.63906	0.9
18	85	95	100	110	5	2	94.286	0.02726	2.57023	5.3
19	90	100	105	115	5	2	94.286	0.02892	2.72674	0.8
20	95	105	110	120	5	2	94.286	0.03121	2.94266	1.7
21	100	110	115	125	5	2	94.286	0.0334	3.14914	2.4
22	105	115	120	130	5	2	94.286	0.03142	2.96246	0.3
23	110	120	125	135	5	2	94.286	0.031	2.92286	0.3
24	115	125	130	140	5	2	94.286	0.03517	3.31603	0.6
25	120	130	135	145	5	2	94.286	0.02611	2.46180	2.5
26	125	135	140	150	5	2	94.286	0.03173	2.99169	1.6
27	130	140	145	155	5	2	94.286	0.03506	3.30566	2.9
28	135	145	150	160	5	2	94.286	0.03381	3.18780	1.8
29	140	150	155	165	5	2	94.286	0.03184	3.00206	2.6
30	145	155	160	170	5	2	94.286	0.02996	2.82480	1
31	150	160	165	175	5	2	94.286	0.03038	2.86440	1.3
32	155	165	170	180	5	2	94.286	0.03121	2.94266	1.6
33	160	170	175	185	5	2	94.286	0.03236	3.05109	4.1
34	165	175	180	190	5	2	94.286	0.03048	2.87383	3.4
35	170	180	185	195	5	2	94.286	0.03038	2.86440	1.3
36	175	185	190	200	5	2	94.286	0.03121	2.94266	0.2
37	0	15	20	35	5	3	188.57	0.01155	2.17800	1.1
38	5	20	25	40	5	3	188.57	0.0096	1.81104	0.5
39	10	25	30	45	5	3	188.57	0.01035	1.95171	7.7
40	15	30	35	50	5	3	188.57	0.01061	2.00074	6.9
41	20	35	40	55	5	3	188.57	0.01061	2.00074	0.7

42	25	40	45	60	5	3	188.57	0.00931	1.75617	0.7
43	30	45	50	65	5	3	188.57	0.01071	2.01960	6.4
44	35	50	55	70	5	3	188.57	0.01082	2.04034	0.4
45	40	55	60	75	5	3	188.57	0.01352	2.54949	2.9
46	45	60	65	80	5	3	188.57	0.01269	2.39297	1.3
47	50	65	70	85	5	3	188.57	0.01404	2.64754	0.6
48	55	70	75	90	5	3	188.57	0.01729	3.26040	0.8
49	60	75	80	95	5	3	188.57	0.01186	2.23646	5.5
50	65	80	85	100	5	3	188.57	0.0104	1.96114	6.8
51	70	85	90	105	5	3	188.57	0.01935	3.64886	2
52	75	90	95	110	5	3	188.57	0.01404	2.64754	2.9
53	80	95	100	115	5	3	188.57	0.01477	2.78520	0.8
54	85	100	105	120	5	3	188.57	0.01342	2.53063	1
55	90	105	110	125	5	3	188.57	0.01592	3.00206	2.5
56	95	110	115	130	5	3	188.57	0.01612	3.03977	1.9
57	100	115	120	135	5	3	188.57	0.01581	2.98131	4.1
58	105	120	125	140	5	3	188.57	0.01477	2.78520	3
59	110	125	130	145	5	3	188.57	0.01737	3.27549	5.9
60	115	130	135	150	5	3	188.57	0.01227	2.31377	4.5
61	120	135	140	155	5	3	188.57	0.0155	2.92286	0.3
62	125	140	145	160	5	3	188.57	0.01508	2.84366	1.2
63	130	145	150	165	5	3	188.57	0.01789	3.37354	0
64	135	150	155	170	5	3	188.57	0.01581	2.98131	2.3
65	140	155	160	175	5	3	188.57	0.01529	2.88326	2.3
66	145	160	165	180	5	3	188.57	0.01394	2.62869	1.5
67	150	165	170	185	5	3	188.57	0.01571	2.96246	0.4
68	155	170	175	190	5	3	188.57	0.01612	3.03977	0.6

69	160	175	180	195	5	3	188.57	0.0154	2.90400	2.9
70	165	180	185	200	5	3	188.57	0.01508	2.84366	1.5
71	0	20	25	45	5	4	314.29	0.00587	1.84423	5.4
72	5	25	30	50	5	4	314.29	0.0066	2.07334	2.9
73	10	30	35	55	5	4	314.29	0.00739	2.32194	3.7
74	15	35	40	60	5	4	314.29	0.00678	2.13211	5.5
75	20	40	45	65	5	4	314.29	0.00596	1.87377	4.4
76	25	45	50	70	5	4	314.29	0.00696	2.18774	3.5
77	30	50	55	75	5	4	314.29	0.00641	2.01457	3.6
78	35	55	60	80	5	4	314.29	0.00774	2.43320	3.4
79	40	60	65	85	5	4	314.29	0.00824	2.59003	1.9
80	45	65	70	90	5	4	314.29	0.00942	2.95963	0.8
81	50	70	75	95	5	4	314.29	0.01082	3.40057	9.4
82	55	75	80	100	5	4	314.29	0.0071	2.23017	2.7
83	60	80	85	105	5	4	314.29	0.00648	2.03720	6.3
84	65	85	90	110	5	4	314.29	0.01227	3.85629	0.6
85	70	90	95	115	5	4	314.29	0.00749	2.35463	5.4
86	75	95	100	120	5	4	314.29	0.0088	2.76666	6.6
87	80	100	105	125	5	4	314.29	0.00901	2.83203	5.2
88	85	105	110	130	5	4	314.29	0.00891	2.79934	5.6
89	90	110	115	135	5	4	314.29	0.01028	3.23086	3.1
90	95	115	120	140	5	4	314.29	0.007	2.20094	0.8
91	100	120	125	145	5	4	314.29	0.00937	2.94329	2.1
92	105	125	130	150	5	4	314.29	0.0095	2.98571	7.6
93	110	130	135	155	5	4	314.29	0.00736	2.31220	0.1
94	115	135	140	160	5	4	314.29	0.00901	2.83203	1.7
95	120	140	145	165	5	4	314.29	0.00873	2.74371	0.2

96	125	145	150	170	5	4	314.29	0.00971	3.05109	2.6
97	130	150	155	175	5	4	314.29	0.01031	3.24029	0.7
98	135	155	160	180	5	4	314.29	0.00895	2.81254	1
99	140	160	165	185	5	4	314.29	0.0086	2.70129	5.4
100	145	165	170	190	5	4	314.29	0.00895	2.81411	4.2
101	150	170	175	195	5	4	314.29	0.00945	2.96937	5.3
102	155	175	180	200	5	4	314.29	0.0089	2.79620	1.6
103	0	25	30	55	5	5	471.43	0.00484	2.28077	6.9
104	5	30	35	60	5	5	471.43	0.00508	2.39391	6.6
105	10	35	40	65	5	5	471.43	0.00495	2.33499	1.6
106	15	40	45	70	5	5	471.43	0.00458	2.15820	2.9
107	20	45	50	75	5	5	471.43	0.00444	2.09456	8.4
108	25	50	55	80	5	5	471.43	0.00438	2.06486	7
109	30	55	60	85	5	5	471.43	0.00605	2.84979	6.1
110	35	60	65	90	5	5	471.43	0.00631	2.97283	3.8
111	40	65	70	95	5	5	471.43	0.00574	2.70694	1
112	45	70	75	100	5	5	471.43	0.00754	3.55646	5.3
113	50	75	80	105	5	5	471.43	0.00519	2.44766	0.5
114	55	80	85	110	5	5	471.43	0.00457	2.15349	8.9
115	60	85	90	115	5	5	471.43	0.0084	3.95859	2
116	65	90	95	120	5	5	471.43	0.00534	2.51649	3.6
117	70	95	100	125	5	5	471.43	0.00591	2.78614	2.2
118	75	100	105	130	5	5	471.43	0.00588	2.77153	0
119	80	105	110	135	5	5	471.43	0.00636	2.99734	2
120	85	110	115	140	5	5	471.43	0.00658	3.10011	11.1
121	90	115	120	145	5	5	471.43	0.00635	2.99216	3
122	95	120	125	150	5	5	471.43	0.00618	2.91390	8.8

123	100	125	130	155	5	5	471.43	0.00858	4.04674	7
124	105	130	135	160	5	5	471.43	0.00493	2.32509	0.8
125	110	135	140	165	5	5	471.43	0.00567	2.67347	1.1
126	115	140	145	170	5	5	471.43	0.0057	2.68809	9.1
127	120	145	150	175	5	5	471.43	0.00618	2.91390	0.8
128	125	150	155	180	5	5	471.43	0.00627	2.95774	6.2
129	130	155	160	185	5	5	471.43	0.00612	2.88420	7.1
130	135	160	165	190	5	5	471.43	0.00612	2.88326	3.2
131	140	165	170	195	5	5	471.43	0.00637	3.00206	3.3
132	145	170	175	200	5	5	471.43	0.0062	2.92333	1.6
133	0	30	35	65	5	6	660	0.00364	2.40372	4
134	5	35	40	70	5	6	660	0.00375	2.47236	2.7
135	10	40	45	75	5	6	660	0.00331	2.18394	0.8
136	15	45	50	80	5	6	660	0.00334	2.20440	10.6
137	20	50	55	85	5	6	660	0.0035	2.30736	10.9
138	25	55	60	90	5	6	660	0.00374	2.46510	10.1
139	30	60	65	95	5	6	660	0.00383	2.52714	9.3
140	35	65	70	100	5	6	660	0.00387	2.55486	6.8
141	40	70	75	105	5	6	660	0.00595	3.92832	4.3
142	45	75	80	110	5	6	660	0.00368	2.43078	7.2
143	50	80	85	115	5	6	660	0.00309	2.03940	9.2
144	55	85	90	120	5	6	660	0.00578	3.81150	0
145	60	90	95	125	5	6	660	0.00373	2.45850	1.2
146	65	95	100	130	5	6	660	0.00416	2.74692	5.6
147	70	100	105	135	5	6	660	0.00396	2.61624	5.4
148	75	105	110	140	5	6	660	0.00453	2.98716	4.5
149	80	110	115	145	5	6	660	0.00488	3.22080	3.6

150	85	115	120	150	5	6	660	0.00342	2.25918	1.4
151	90	120	125	155	5	6	660	0.00426	2.80896	8.5
152	95	125	130	160	5	6	660	0.00414	2.73306	4.6
153	100	130	135	165	5	6	660	0.00291	1.92258	0.1
154	105	135	140	170	5	6	660	0.00418	2.76078	9.2
155	110	140	145	175	5	6	660	0.00399	2.63010	0.8
156	115	145	150	180	5	6	660	0.00445	2.93898	7.9
157	120	150	155	185	5	6	660	0.00428	2.82216	1.2
158	125	155	160	190	5	6	660	0.00417	2.75352	1.6
159	130	160	165	195	5	6	660	0.00429	2.82942	9.2
160	135	165	170	200	5	6	660	0.00416	2.74692	8.7

Lintasan 4

No	C1	P1	P2	C2	a	n	K	R (ohm)	$\rho(\Omega.m)$	Error(%)
1	0	10	15	25	5	2	94.29	0.03059	2.88420	2
2	5	15	20	30	5	2	94.286	0.0295	2.78143	0.4
3	10	20	25	35	5	2	94.286	0.0231	2.17800	1.6
4	15	25	30	40	5	2	94.286	0.02424	2.28549	1.9
5	20	30	35	45	5	2	94.286	0.03756	3.54137	4.7
6	25	35	40	50	5	2	94.286	0.02684	2.53063	4.4
7	30	40	45	55	5	2	94.286	0.02591	2.44294	5.7
8	35	45	50	60	5	2	94.286	0.02882	2.71731	5.5
9	40	50	55	65	5	2	94.286	0.03288	3.10011	5.8
10	45	55	60	70	5	2	94.286	0.03381	3.18780	0

11	50	60	65	75	5	2	94.286	0.03225	3.04071	1.3
12	55	65	70	80	5	2	94.286	0.03579	3.37449	4.6
13	60	70	75	85	5	2	94.286	0.0339	3.19629	0
14	65	75	80	90	5	2	94.286	0.0335	3.15857	0.6
15	70	80	85	95	5	2	94.286	0.03402	3.20760	3.6
16	75	85	90	100	5	2	94.286	0.03236	3.05109	4
17	80	90	95	105	5	2	94.286	0.03194	3.01149	3.5
18	85	95	100	110	5	2	94.286	0.0335	3.15857	5.7
19	90	100	105	115	5	2	94.286	0.0308	2.90400	0.8
20	95	105	110	120	5	2	94.286	0.03392	3.19817	1.2
21	100	110	115	125	5	2	94.286	0.03142	2.96246	1.7
22	105	115	120	130	5	2	94.286	0.03444	3.24720	1.4
23	110	120	125	135	5	2	94.286	0.03288	3.10011	1.5
24	115	125	130	140	5	2	94.286	0.03028	2.85497	1.8
25	120	130	135	145	5	2	94.286	0.02674	2.52120	2.1
26	125	135	140	150	5	2	94.286	0.01571	1.48123	2.9
27	130	140	145	155	5	2	94.286	0.03142	2.96246	6.3
28	135	145	150	160	5	2	94.286	0.02487	2.34489	2
29	140	150	155	165	5	2	94.286	0.01966	1.85366	2.8
30	145	155	160	170	5	2	94.286	0.02518	2.37411	1.7
31	150	160	165	175	5	2	94.286	0.00373	0.35121	9.3
32	155	165	170	180	5	2	94.286	0.00805	0.75938	7.8
33	160	170	175	185	5	2	94.286	0.006	0.56609	9.4
34	165	175	180	190	5	2	94.286	0.00895	0.84376	0.7
35	170	180	185	195	5	2	94.286	0.0047	0.44343	3.6
36	175	185	190	200	5	2	94.286	0.00689	0.64944	1
37	0	15	20	35	5	3	188.57	0.00959	1.80915	1.5

38	5	20	25	40	5	3	188.57	0.01113	2.09880	1.4
39	10	25	30	45	5	3	188.57	0.01082	2.04034	3.5
40	15	30	35	50	5	3	188.57	0.01945	3.66771	2.8
41	20	35	40	55	5	3	188.57	0.01363	2.57023	1.8
42	25	40	45	60	5	3	188.57	0.01373	2.58909	0.9
43	30	45	50	65	5	3	188.57	0.01914	3.60926	0.5
44	35	50	55	70	5	3	188.57	0.01769	3.33583	2
45	40	55	60	75	5	3	188.57	0.0156	2.94171	2.6
46	45	60	65	80	5	3	188.57	0.0155	2.92286	2.4
47	50	65	70	85	5	3	188.57	0.01675	3.15857	1.5
48	55	70	75	90	5	3	188.57	0.01612	3.03977	6.9
49	60	75	80	95	5	3	188.57	0.01654	3.11897	0.3
50	65	80	85	100	5	3	188.57	0.0156	2.94171	1.4
51	70	85	90	105	5	3	188.57	0.0154	2.90400	5.3
52	75	90	95	110	5	3	188.57	0.01467	2.76634	5.5
53	80	95	100	115	5	3	188.57	0.01592	3.00206	1
54	85	100	105	120	5	3	188.57	0.01508	2.84366	4.5
55	90	105	110	125	5	3	188.57	0.01436	2.70789	0.3
56	95	110	115	130	5	3	188.57	0.01467	2.76634	0
57	100	115	120	135	5	3	188.57	0.01529	2.88326	3.1
58	105	120	125	140	5	3	188.57	0.01633	3.07937	1.8
59	110	125	130	145	5	3	188.57	0.01363	2.57023	1.9
60	115	130	135	150	5	3	188.57	0.01227	2.31377	2
61	120	135	140	155	5	3	188.57	0.01092	2.05920	1
62	125	140	145	160	5	3	188.57	0.01685	3.17743	3.8
63	130	145	150	165	5	3	188.57	0.01311	2.47217	1.7
64	135	150	155	170	5	3	188.57	0.01071	2.01960	4.4

65	140	155	160	175	5	3	188.57	0.01155	2.17800	2.6
66	145	160	165	180	5	3	188.57	0.01269	2.39297	2.7
67	150	165	170	185	5	3	188.57	0.01217	2.29491	5.1
68	155	170	175	190	5	3	188.57	0.01248	2.35337	0.6
69	160	175	180	195	5	3	188.57	0.01363	2.57023	3.1
70	165	180	185	200	5	3	188.57	0.01404	2.64754	4.3
71	0	20	25	45	5	4	314.29	0.00685	2.15191	0.3
72	5	25	30	50	5	4	314.29	0.00658	2.06674	4.2
73	10	30	35	55	5	4	314.29	0.0068	2.13557	4.3
74	15	35	40	60	5	4	314.29	0.00864	2.71417	4.4
75	20	40	45	65	5	4	314.29	0.00834	2.61957	1.8
76	25	45	50	70	5	4	314.29	0.00771	2.42314	2
77	30	50	55	75	5	4	314.29	0.00965	3.03160	1.2
78	35	55	60	80	5	4	314.29	0.00937	2.94329	2.2
79	40	60	65	85	5	4	314.29	0.00922	2.89740	3.5
80	45	65	70	90	5	4	314.29	0.00919	2.88766	2.3
81	50	70	75	95	5	4	314.29	0.00972	3.05454	2.1
82	55	75	80	100	5	4	314.29	0.00959	3.01526	1.6
83	60	80	85	105	5	4	314.29	0.00954	2.99891	2.2
84	65	85	90	110	5	4	314.29	0.00912	2.86566	3.8
85	70	90	95	115	5	4	314.29	0.00899	2.82543	0.7
86	75	95	100	120	5	4	314.29	0.00947	2.97597	2.7
87	80	100	105	125	5	4	314.29	0.00867	2.72423	6.4
88	85	105	110	130	5	4	314.29	0.00807	2.53471	2.2
89	90	110	115	135	5	4	314.29	0.00848	2.66514	1.8
90	95	115	120	140	5	4	314.29	0.00906	2.84837	2.6
91	100	120	125	145	5	4	314.29	0.00957	3.00866	4.2

92	105	125	130	150	5	4	314.29	0.00795	2.49857	5.4
93	110	130	135	155	5	4	314.29	0.00731	2.29586	3.6
94	115	135	140	160	5	4	314.29	0.00703	2.21069	3.2
95	120	140	145	165	5	4	314.29	0.01003	3.15229	4
96	125	145	150	170	5	4	314.29	0.01034	3.24971	3.7
97	130	150	155	175	5	4	314.29	0.00842	2.64566	3.1
98	135	155	160	180	5	4	314.29	0.00845	2.65540	3.1
99	140	160	165	185	5	4	314.29	0.00992	3.11646	4.1
100	145	165	170	190	5	4	314.29	0.00878	2.76006	6.6
101	150	170	175	195	5	4	314.29	0.00786	2.46903	1.5
102	155	175	180	200	5	4	314.29	0.00769	2.41686	6.3
103	0	25	30	55	5	5	471.43	0.00435	2.05024	4.8
104	5	30	35	60	5	5	471.43	0.00831	3.91946	6.4
105	10	35	40	65	5	5	471.43	0.00609	2.86959	2.1
106	15	40	45	70	5	5	471.43	0.00586	2.76257	4.2
107	20	45	50	75	5	5	471.43	0.00569	2.68149	2.3
108	25	50	55	80	5	5	471.43	0.00553	2.60559	4.4
109	30	55	60	85	5	5	471.43	0.00514	2.42456	3.8
110	35	60	65	90	5	5	471.43	0.0057	2.68809	3.3
111	40	65	70	95	5	5	471.43	0.00611	2.87949	4.1
112	45	70	75	100	5	5	471.43	0.00643	3.03129	3.5
113	50	75	80	105	5	5	471.43	0.0061	2.87430	0.3
114	55	80	85	110	5	5	471.43	0.00569	2.68337	1.6
115	60	85	90	115	5	5	471.43	0.00601	2.83517	6
116	65	90	95	120	5	5	471.43	0.00575	2.71260	4
117	70	95	100	125	5	5	471.43	0.00649	3.06099	3.8
118	75	100	105	130	5	5	471.43	0.00567	2.67347	3.5

119	80	105	110	135	5	5	471.43	0.00523	2.46746	3.6
120	85	110	115	140	5	5	471.43	0.00572	2.69799	1.7
121	90	115	120	145	5	5	471.43	0.00585	2.75691	4.8
122	95	120	125	150	5	5	471.43	0.00609	2.86959	4
123	100	125	130	155	5	5	471.43	0.00548	2.58484	3.5
124	105	130	135	160	5	5	471.43	0.00528	2.48679	7.9
125	110	135	140	165	5	5	471.43	0.00466	2.19733	5.7
126	115	140	145	170	5	5	471.43	0.00708	3.33583	4.3
127	120	145	150	175	5	5	471.43	0.00595	2.80594	2.1
128	125	150	155	180	5	5	471.43	0.00471	2.22184	2.7
129	130	155	160	185	5	5	471.43	0.00503	2.36940	7.6
130	135	160	165	190	5	5	471.43	0.00492	2.32037	4.9
131	140	165	170	195	5	5	471.43	0.00485	2.28549	4.6
132	145	170	175	200	5	5	471.43	0.00537	2.53110	6.4
133	0	30	35	65	5	6	660	0.00604	3.98310	3.8
134	5	35	40	70	5	6	660	0.00422	2.78784	1.9
135	10	40	45	75	5	6	660	0.00471	3.11058	2.9
136	15	45	50	80	5	6	660	0.00416	2.74692	5.2
137	20	50	55	85	5	6	660	0.00382	2.52054	9.1
138	25	55	60	90	5	6	660	0.00371	2.45124	5.9
139	30	60	65	95	5	6	660	0.00539	3.55740	1.9
140	35	65	70	100	5	6	660	0.00452	2.98056	5.2
141	40	70	75	105	5	6	660	0.00466	3.07626	5.3
142	45	75	80	110	5	6	660	0.00443	2.92512	4.3
143	50	80	85	115	5	6	660	0.00422	2.78784	4
144	55	85	90	120	5	6	660	0.00439	2.89806	1.6
145	60	90	95	125	5	6	660	0.00396	2.61624	4.5

146	65	95	100	130	5	6	660	0.00413	2.72646	8.3
147	70	100	105	135	5	6	660	0.00365	2.41032	2
148	75	105	110	140	5	6	660	0.00379	2.49942	7.3
149	80	110	115	145	5	6	660	0.00388	2.56146	5.2
150	85	115	120	150	5	6	660	0.00414	2.73306	9.8
151	90	120	125	155	5	6	660	0.00433	2.85648	9.3
152	95	125	130	160	5	6	660	0.00446	2.94624	9.3
153	100	130	135	165	5	6	660	0.0039	2.57532	4.6
154	105	135	140	170	5	6	660	0.00323	2.12850	3
155	110	140	145	175	5	6	660	0.00557	3.67422	4.7
156	115	145	150	180	5	6	660	0.00385	2.54100	0
157	120	150	155	185	5	6	660	0.00338	2.23146	4.1
158	125	155	160	190	5	6	660	0.00361	2.38260	1.3
159	130	160	165	195	5	6	660	0.00365	2.41032	6.6
160	135	165	170	200	5	6	660	0.00363	2.39646	8.6

Lintasan 5

No	C1	P1	P2	C2	a	n	K	R (ohm)	$\rho(\Omega.m)$	Error(%)
1	0	10	15	25	5	2	94.29	0.018	1.69714	2.5
2	5	15	20	30	5	2	94.286	0.02539	2.39391	4.1
3	10	20	25	35	5	2	94.286	0.01839	1.73391	0
4	15	25	30	40	5	2	94.286	0.01883	1.77540	1.6
5	20	30	35	45	5	2	94.286	0.01831	1.72637	2.9
6	25	35	40	50	5	2	94.286	0.01935	1.82443	3.3

7	30	40	45	55	5	2	94.286	0.01977	1.86403	4.3
8	35	45	50	60	5	2	94.286	0.0258	2.43257	1.2
9	40	50	55	65	5	2	94.286	0.01945	1.83386	3.8
10	45	55	60	70	5	2	94.286	0.02195	2.06957	0.7
11	50	60	65	75	5	2	94.286	0.02726	2.57023	2.6
12	55	65	70	80	5	2	94.286	0.02372	2.23646	1.2
13	60	70	75	85	5	2	94.286	0.02455	2.31471	3.4
14	65	75	80	90	5	2	94.286	0.02497	2.35431	8.1
15	70	80	85	95	5	2	94.286	0.02653	2.50140	1.4
16	75	85	90	100	5	2	94.286	0.02715	2.55986	2.2
17	80	90	95	105	5	2	94.286	0.02715	2.55986	1
18	85	95	100	110	5	2	94.286	0.0258	2.43257	1.1
19	90	100	105	115	5	2	94.286	0.02393	2.25626	2.4
20	95	105	110	120	5	2	94.286	0.02507	2.36374	1.9
21	100	110	115	125	5	2	94.286	0.03902	3.67903	0.6
22	105	115	120	130	5	2	94.286	0.06836	6.44537	0.7
23	110	120	125	135	5	2	94.286	0.02341	2.20723	2.3
24	115	125	130	140	5	2	94.286	0.02924	2.75691	1
25	120	130	135	145	5	2	94.286	0.03048	2.87383	2
26	125	135	140	150	5	2	94.286	0.02497	2.35431	5.8
27	130	140	145	155	5	2	94.286	0.02539	2.39391	0.7
28	135	145	150	160	5	2	94.286	0.02466	2.32509	3.3
29	140	150	155	165	5	2	94.286	0.02403	2.26569	2.1
30	145	155	160	170	5	2	94.286	0.02674	2.52120	0.7
31	150	160	165	175	5	2	94.286	0.02549	2.40334	1.9
32	155	165	170	180	5	2	94.286	0.02518	2.37411	0.3
33	160	170	175	185	5	2	94.286	0.0258	2.43257	2.3

34	165	175	180	190	5	2	94.286	0.02913	2.74654	1
35	170	180	185	195	5	2	94.286	0.02695	2.54100	0.1
36	175	185	190	200	5	2	94.286	0.02695	2.54100	1.1
37	0	15	20	35	5	3	188.57	0.013	2.45143	5.8
38	5	20	25	40	5	3	188.57	0.01051	1.98189	3.4
39	10	25	30	45	5	3	188.57	0.01113	2.09880	2.6
40	15	30	35	50	5	3	188.57	0.0088	1.65999	3.1
41	20	35	40	55	5	3	188.57	0.01071	2.01960	1.6
42	25	40	45	60	5	3	188.57	0.00983	1.85422	2.6
43	30	45	50	65	5	3	188.57	0.01227	2.31377	5.9
44	35	50	55	70	5	3	188.57	0.00933	1.76013	5.5
45	40	55	60	75	5	3	188.57	0.01123	2.11766	1.7
46	45	60	65	80	5	3	188.57	0.01217	2.29491	5.2
47	50	65	70	85	5	3	188.57	0.01186	2.23646	2.4
48	55	70	75	90	5	3	188.57	0.01207	2.27606	1.1
49	60	75	80	95	5	3	188.57	0.01227	2.31377	4.3
50	65	80	85	100	5	3	188.57	0.013	2.45143	2.3
51	70	85	90	105	5	3	188.57	0.01352	2.54949	2.3
52	75	90	95	110	5	3	188.57	0.01279	2.41183	2.8
53	80	95	100	115	5	3	188.57	0.01186	2.23646	2.2
54	85	100	105	120	5	3	188.57	0.01279	2.41183	1.7
55	90	105	110	125	5	3	188.57	0.01279	2.41183	1
56	95	110	115	130	5	3	188.57	0.01956	3.68846	2.9
57	100	115	120	135	5	3	188.57	0.01082	2.04034	1.9
58	105	120	125	140	5	3	188.57	0.01123	2.11766	2.5
59	110	125	130	145	5	3	188.57	0.01134	2.13840	0.9
60	115	130	135	150	5	3	188.57	0.01498	2.82480	1.9

61	120	135	140	155	5	3	188.57	0.01383	2.60794	1.9
62	125	140	145	160	5	3	188.57	0.01113	2.09880	1.4
63	130	145	150	165	5	3	188.57	0.01155	2.17800	2.2
64	135	150	155	170	5	3	188.57	0.01259	2.37411	2.3
65	140	155	160	175	5	3	188.57	0.01331	2.50989	0.7
66	145	160	165	180	5	3	188.57	0.01342	2.53063	3.7
67	150	165	170	185	5	3	188.57	0.0129	2.43257	2.4
68	155	170	175	190	5	3	188.57	0.01342	2.53063	4.7
69	160	175	180	195	5	3	188.57	0.01436	2.70789	6.4
70	165	180	185	200	5	3	188.57	0.01363	2.57023	2
71	0	20	25	45	5	4	314.29	0.00688	2.16166	1.1
72	5	25	30	50	5	4	314.29	0.00682	2.14186	7.7
73	10	30	35	55	5	4	314.29	0.00596	1.87377	7.5
74	15	35	40	60	5	4	314.29	0.00624	1.96209	4
75	20	40	45	65	5	4	314.29	0.0061	1.91620	3
76	25	45	50	70	5	4	314.29	0.00758	2.38071	7.6
77	30	50	55	75	5	4	314.29	0.00582	1.82789	1.5
78	35	55	60	80	5	4	314.29	0.00675	2.12237	3.4
79	40	60	65	85	5	4	314.29	0.00758	2.38071	3.6
80	45	65	70	90	5	4	314.29	0.00709	2.22703	3.1
81	50	70	75	95	5	4	314.29	0.00762	2.39391	3.2
82	55	75	80	100	5	4	314.29	0.00737	2.31534	5.6
83	60	80	85	105	5	4	314.29	0.00992	3.11646	2.6
84	65	85	90	110	5	4	314.29	0.00816	2.56394	2.9
85	70	90	95	115	5	4	314.29	0.00734	2.30560	2.8
86	75	95	100	120	5	4	314.29	0.00764	2.40051	3
87	80	100	105	125	5	4	314.29	0.00992	3.11646	2.2

88	85	105	110	130	5	4	314.29	0.0086	2.70129	3.8
89	90	110	115	135	5	4	314.29	0.01165	3.66143	3
90	95	115	120	140	5	4	314.29	0.00665	2.08969	4.8
91	100	120	125	145	5	4	314.29	0.00697	2.19120	4.7
92	105	125	130	150	5	4	314.29	0.00733	2.30214	9
93	110	130	135	155	5	4	314.29	0.00837	2.62931	3.1
94	115	135	140	160	5	4	314.29	0.00872	2.74057	5.3
95	120	140	145	165	5	4	314.29	0.00748	2.35117	5
96	125	145	150	170	5	4	314.29	0.0074	2.32509	1.4
97	130	150	155	175	5	4	314.29	0.00787	2.47217	4.6
98	135	155	160	180	5	4	314.29	0.00826	2.59663	2.3
99	140	160	165	185	5	4	314.29	0.00819	2.57369	1.4
100	145	165	170	190	5	4	314.29	0.00876	2.75346	5.2
101	150	170	175	195	5	4	314.29	0.00727	2.28517	3.2
102	155	175	180	200	5	4	314.29	0.00858	2.69783	2.9
103	0	25	30	55	5	5	471.43	0.00487	2.29586	3.7
104	5	30	35	60	5	5	471.43	0.00432	2.03563	4.7
105	10	35	40	65	5	5	471.43	0.00264	1.24504	0.8
106	15	40	45	70	5	5	471.43	0.0043	2.02573	0.6
107	20	45	50	75	5	5	471.43	0.00509	2.39863	3.3
108	25	50	55	80	5	5	471.43	0.00462	2.17611	6.3
109	30	55	60	85	5	5	471.43	0.00486	2.29209	2.7
110	35	60	65	90	5	5	471.43	0.00504	2.37411	7.1
111	40	65	70	95	5	5	471.43	0.0055	2.59474	6.6
112	45	70	75	100	5	5	471.43	0.00493	2.32509	7.8
113	50	75	80	105	5	5	471.43	0.00523	2.46746	2.2
114	55	80	85	110	5	5	471.43	0.00521	2.45756	2.5

115	60	85	90	115	5	5	471.43	0.00516	2.43304	2.5
116	65	90	95	120	5	5	471.43	0.00532	2.50659	0.5
117	70	95	100	125	5	5	471.43	0.00542	2.55561	3
118	75	100	105	130	5	5	471.43	0.00561	2.64377	3.7
119	80	105	110	135	5	5	471.43	0.00526	2.47736	2.7
120	85	110	115	140	5	5	471.43	0.00798	3.76247	2.5
121	90	115	120	145	5	5	471.43	0.00461	2.17281	3.9
122	95	120	125	150	5	5	471.43	0.00489	2.30529	3.3
123	100	125	130	155	5	5	471.43	0.00537	2.53110	1.9
124	105	130	135	160	5	5	471.43	0.00543	2.56033	1
125	110	135	140	165	5	5	471.43	0.00548	2.58484	2.7
126	115	140	145	170	5	5	471.43	0.00512	2.41324	3.7
127	120	145	150	175	5	5	471.43	0.00534	2.51649	1.8
128	125	150	155	180	5	5	471.43	0.00585	2.75691	2.4
129	130	155	160	185	5	5	471.43	0.00673	3.17366	1
130	135	160	165	190	5	5	471.43	0.00562	2.64896	2.6
131	140	165	170	195	5	5	471.43	0.00491	2.31519	2.8
132	145	170	175	200	5	5	471.43	0.00487	2.29586	9.8
133	0	30	35	65	5	6	660	0.00307	2.02554	11
134	5	35	40	70	5	6	660	0.00364	2.40372	5.2
135	10	40	45	75	5	6	660	0.00319	2.10804	8.4
136	15	45	50	80	5	6	660	0.00375	2.47236	4.4
137	20	50	55	85	5	6	660	0.00277	1.82622	1.7
138	25	55	60	90	5	6	660	0.0034	2.24532	0.5
139	30	60	65	95	5	6	660	0.00387	2.55486	6.4
140	35	65	70	100	5	6	660	0.00363	2.39646	3.5
141	40	70	75	105	5	6	660	0.0036	2.37600	7.7

142	45	75	80	110	5	6	660	0.00384	2.53374	5.1
143	50	80	85	115	5	6	660	0.00369	2.43804	5.5
144	55	85	90	120	5	6	660	0.00389	2.56806	3.5
145	60	90	95	125	5	6	660	0.00393	2.59578	3.9
146	65	95	100	130	5	6	660	0.00394	2.60238	0.9
147	70	100	105	135	5	6	660	0.0046	3.03534	1.1
148	75	105	110	140	5	6	660	0.00382	2.52054	4.4
149	80	110	115	145	5	6	660	0.00589	3.88674	4.5
150	85	115	120	150	5	6	660	0.00343	2.26578	2.3
151	90	120	125	155	5	6	660	0.00373	2.45850	3.6
152	95	125	130	160	5	6	660	0.00675	4.45170	0
153	100	130	135	165	5	6	660	0.00404	2.66442	3.9
154	105	135	140	170	5	6	660	0.00381	2.51328	6.6
155	110	140	145	175	5	6	660	0.00381	2.51328	4.3
156	115	145	150	180	5	6	660	0.00374	2.46510	0.8
157	120	150	155	185	5	6	660	0.00365	2.41032	6.9
158	125	155	160	190	5	6	660	0.00364	2.40372	0.9
159	130	160	165	195	5	6	660	0.00402	2.65056	3.9
160	135	165	170	200	5	6	660	0.00377	2.48556	2.7

Lintasan 6

No	C1	P1	P2	C2	a	n	K	R (ohm)	$\rho(\Omega.m)$	Error(%)
1	0	10	15	25	5	2	94.29	0.02243	2.11483	4.3
2	5	15	20	30	5	2	94.286	0.018	1.69714	0.7

3	10	20	25	35	5	2	94.286	0.02351	2.21666	0.2
4	15	25	30	40	5	2	94.286	0.03017	2.84460	1.4
5	20	30	35	45	5	2	94.286	0.01508	1.42183	3.1
6	25	35	40	50	5	2	94.286	0.0207	1.95171	4.3
7	30	40	45	55	5	2	94.286	0.02278	2.14783	2
8	35	45	50	60	5	2	94.286	0.02341	2.20723	4.5
9	40	50	55	65	5	2	94.286	0.01862	1.75560	3.2
10	45	55	60	70	5	2	94.286	0.01987	1.87346	2.4
11	50	60	65	75	5	2	94.286	0.02278	2.14783	4.8
12	55	65	70	80	5	2	94.286	0.02039	1.92249	2
13	60	70	75	85	5	2	94.286	0.02102	1.98189	2.3
14	65	75	80	90	5	2	94.286	0.02029	1.91306	1.6
15	70	80	85	95	5	2	94.286	0.01925	1.81500	2
16	75	85	90	100	5	2	94.286	0.02247	2.11860	3.5
17	80	90	95	105	5	2	94.286	0.02487	2.34489	0.4
18	85	95	100	110	5	2	94.286	0.02056	1.93851	6.2
19	90	100	105	115	5	2	94.286	0.02014	1.89891	5.4
20	95	105	110	120	5	2	94.286	0.02487	2.34489	6.1
21	100	110	115	125	5	2	94.286	0.02185	2.06014	0.3
22	105	115	120	130	5	2	94.286	0.02164	2.04034	0.4
23	110	120	125	135	5	2	94.286	0.02216	2.08937	0.3
24	115	125	130	140	5	2	94.286	0.02351	2.21666	0.5
25	120	130	135	145	5	2	94.286	0.02549	2.40334	0.2
26	125	135	140	150	5	2	94.286	0.02341	2.20723	6.1
27	130	140	145	155	5	2	94.286	0.02429	2.29020	0.5
28	135	145	150	160	5	2	94.286	0.02216	2.08937	1.3
29	140	150	155	165	5	2	94.286	0.02351	2.21666	2.6

30	145	155	160	170	5	2	94.286	0.0206	1.94229	3.6
31	150	160	165	175	5	2	94.286	0.01987	1.87346	4.5
32	155	165	170	180	5	2	94.286	0.02174	2.04977	0.2
33	160	170	175	185	5	2	94.286	0.02247	2.11860	1
34	165	175	180	190	5	2	94.286	0.018	1.69714	0.5
35	170	180	185	195	5	2	94.286	0.01831	1.72637	4.6
36	175	185	190	200	5	2	94.286	0.02226	2.09880	0.8
37	0	15	20	35	5	3	188.57	0.01033	1.94794	1.3
38	5	20	25	40	5	3	188.57	0.01123	2.11766	0.4
39	10	25	30	45	5	3	188.57	0.01456	2.74560	1.9
40	15	30	35	50	5	3	188.57	0.01415	2.66829	4.2
41	20	35	40	55	5	3	188.57	0.01092	2.05920	2.5
42	25	40	45	60	5	3	188.57	0.01071	2.01960	9.6
43	30	45	50	65	5	3	188.57	0.01415	2.66829	3.8
44	35	50	55	70	5	3	188.57	0.00898	1.69337	0.3
45	40	55	60	75	5	3	188.57	0.01103	2.07994	0.2
46	45	60	65	80	5	3	188.57	0.01061	2.00074	0.4
47	50	65	70	85	5	3	188.57	0.0104	1.96114	0.3
48	55	70	75	90	5	3	188.57	0.01123	2.11766	3.5
49	60	75	80	95	5	3	188.57	0.01071	2.01960	4.5
50	65	80	85	100	5	3	188.57	0.01039	1.95926	3.9
51	70	85	90	105	5	3	188.57	0.01123	2.11766	0.1
52	75	90	95	110	5	3	188.57	0.013	2.45143	0.3
53	80	95	100	115	5	3	188.57	0.0109	2.05543	7.5
54	85	100	105	120	5	3	188.57	0.0109	2.05543	7.1
55	90	105	110	125	5	3	188.57	0.01165	2.19686	2.3
56	95	110	115	130	5	3	188.57	0.01248	2.35337	1.8

57	100	115	120	135	5	3	188.57	0.01134	2.13840	3.6
58	105	120	125	140	5	3	188.57	0.01155	2.17800	0.3
59	110	125	130	145	5	3	188.57	0.01227	2.31377	1
60	115	130	135	150	5	3	188.57	0.01321	2.49103	3.4
61	120	135	140	155	5	3	188.57	0.01165	2.19686	2.2
62	125	140	145	160	5	3	188.57	0.01123	2.11766	1.7
63	130	145	150	165	5	3	188.57	0.01134	2.13840	4.6
64	135	150	155	170	5	3	188.57	0.01144	2.15726	1.4
65	140	155	160	175	5	3	188.57	0.01238	2.33451	1.7
66	145	160	165	180	5	3	188.57	0.00787	1.48330	4.6
67	150	165	170	185	5	3	188.57	0.01269	2.39297	0.7
68	155	170	175	190	5	3	188.57	0.01415	2.66829	2.4
69	160	175	180	195	5	3	188.57	0.00992	1.86987	1
70	165	180	185	200	5	3	188.57	0.00806	1.52064	1.2
71	0	20	25	45	5	4	314.29	0.00735	2.30874	1
72	5	25	30	50	5	4	314.29	0.00865	2.71763	4.7
73	10	30	35	55	5	4	314.29	0.00448	1.40926	4.6
74	15	35	40	60	5	4	314.29	0.00745	2.34143	9.2
75	20	40	45	65	5	4	314.29	0.00691	2.17171	2.5
76	25	45	50	70	5	4	314.29	0.00944	2.96623	1.8
77	30	50	55	75	5	4	314.29	0.00471	1.48123	5.9
78	35	55	60	80	5	4	314.29	0.00677	2.12897	6.8
79	40	60	65	85	5	4	314.29	0.00668	2.09943	4.2
80	45	65	70	90	5	4	314.29	0.007	2.20094	2.7
81	50	70	75	95	5	4	314.29	0.00724	2.27606	0.8
82	55	75	80	100	5	4	314.29	0.00691	2.17140	3.6
83	60	80	85	105	5	4	314.29	0.00678	2.13211	3.1

84	65	85	90	110	5	4	314.29	0.00713	2.24023	2.3
85	70	90	95	115	5	4	314.29	0.00862	2.70883	0.6
86	75	95	100	120	5	4	314.29	0.00665	2.08969	5
87	80	100	105	125	5	4	314.29	0.00689	2.16386	2.5
88	85	105	110	130	5	4	314.29	0.00677	2.12897	1.9
89	90	110	115	135	5	4	314.29	0.00686	2.15506	3.2
90	95	115	120	140	5	4	314.29	0.00764	2.40051	3.3
91	100	120	125	145	5	4	314.29	0.00779	2.44954	2.8
92	105	125	130	150	5	4	314.29	0.00872	2.74057	3.6
93	110	130	135	155	5	4	314.29	0.00795	2.49857	1.5
94	115	135	140	160	5	4	314.29	0.00751	2.36123	4.3
95	120	140	145	165	5	4	314.29	0.00734	2.30560	0.2
96	125	145	150	170	5	4	314.29	0.00671	2.10760	8.7
97	130	150	155	175	5	4	314.29	0.00696	2.18774	2.8
98	135	155	160	180	5	4	314.29	0.00647	2.03406	1.2
99	140	160	165	185	5	4	314.29	0.00716	2.24997	0.9
100	145	165	170	190	5	4	314.29	0.00837	2.62931	0.3
101	150	170	175	195	5	4	314.29	0.0087	2.73397	4.1
102	155	175	180	200	5	4	314.29	0.00648	2.03720	1.1
103	0	25	30	55	5	5	471.43	0.00617	2.90871	6.5
104	5	30	35	60	5	5	471.43	0.00314	1.48123	6.2
105	10	35	40	65	5	5	471.43	0.00344	1.62360	1.5
106	15	40	45	70	5	5	471.43	0.00467	2.20251	3.4
107	20	45	50	75	5	5	471.43	0.00657	3.09540	4.2
108	25	50	55	80	5	5	471.43	0.00294	1.38789	5.9
109	30	55	60	85	5	5	471.43	0.0052	2.45284	1.5
110	35	60	65	90	5	5	471.43	0.00486	2.29067	3.7

111	40	65	70	95	5	5	471.43	0.00464	2.18790	1
112	45	70	75	100	5	5	471.43	0.00463	2.18271	3.4
113	50	75	80	105	5	5	471.43	0.00495	2.33499	4.3
114	55	80	85	110	5	5	471.43	0.00481	2.26616	2.1
115	60	85	90	115	5	5	471.43	0.00506	2.38401	0.8
116	65	90	95	120	5	5	471.43	0.00628	2.96151	0.9
117	70	95	100	125	5	5	471.43	0.00528	2.48679	1.6
118	75	100	105	130	5	5	471.43	0.00481	2.26616	0.2
119	80	105	110	135	5	5	471.43	0.00217	1.02489	6.9
120	85	110	115	140	5	5	471.43	0.00496	2.33970	3.5
121	90	115	120	145	5	5	471.43	0.00492	2.32037	0.9
122	95	120	125	150	5	5	471.43	0.00558	2.62916	0.9
123	100	125	130	155	5	5	471.43	0.00562	2.64896	0.1
124	105	130	135	160	5	5	471.43	0.00562	2.64896	4.2
125	110	135	140	165	5	5	471.43	0.00524	2.47217	0.2
126	115	140	145	170	5	5	471.43	0.00505	2.37883	1.3
127	120	145	150	175	5	5	471.43	0.00492	2.32037	1.1
128	125	150	155	180	5	5	471.43	0.00503	2.36940	1.4
129	130	155	160	185	5	5	471.43	0.00568	2.67819	2.1
130	135	160	165	190	5	5	471.43	0.00507	2.38873	4.7
131	140	165	170	195	5	5	471.43	0.00558	2.62916	0.3
132	145	170	175	200	5	5	471.43	0.00552	2.59993	2.9
133	0	30	35	65	5	6	660	0.00233	1.53780	7.8
134	5	35	40	70	5	6	660	0.00332	2.19054	9
135	10	40	45	75	5	6	660	0.00357	2.35554	0.2
136	15	45	50	80	5	6	660	0.00445	2.93898	0.6
137	20	50	55	85	5	6	660	0.00245	1.61370	2.3

138	25	55	60	90	5	6	660	0.00339	2.23872	4.2
139	30	60	65	95	5	6	660	0.00387	2.55486	2.4
140	35	65	70	100	5	6	660	0.00266	1.75758	2.6
141	40	70	75	105	5	6	660	0.00408	2.69214	8.8
142	45	75	80	110	5	6	660	0.0038	2.50668	2.7
143	50	80	85	115	5	6	660	0.00382	2.52054	4.8
144	55	85	90	120	5	6	660	0.00414	2.73306	3.2
145	60	90	95	125	5	6	660	0.00436	2.87760	0.8
146	65	95	100	130	5	6	660	0.00349	2.30076	3
147	70	100	105	135	5	6	660	0.00312	2.05986	6.4
148	75	105	110	140	5	6	660	0.00436	2.87760	2.6
149	80	110	115	145	5	6	660	0.00414	2.73306	1
150	85	115	120	150	5	6	660	0.00448	2.95944	1.3
151	90	120	125	155	5	6	660	0.00436	2.87760	1.1
152	95	125	130	160	5	6	660	0.00484	3.19308	2.1
153	100	130	135	165	5	6	660	0.00596	3.93492	0.1
154	105	135	140	170	5	6	660	0.00339	2.23872	7.7
155	110	140	145	175	5	6	660	0.00396	2.61624	2.6
156	115	145	150	180	5	6	660	0.00359	2.36940	2.1
157	120	150	155	185	5	6	660	0.00383	2.52714	8.8
158	125	155	160	190	5	6	660	0.00322	2.12190	7
159	130	160	165	195	5	6	660	0.00374	2.46510	6.7
160	135	165	170	200	5	6	660	0.00439	2.89806	7.2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3
Dokumentasi Kegiatan Penelitian









BOGRAFI PENULIS



Penulis “Yul Kifli Kiftoni” merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang lahir dari pasangan bapak Edy Supangat dan ibu Istikharoh. Penulis lahir di Mojokerto pada 15 Juni 1995. Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah TK Beringin, SDN Kwedenkembar, SMPN 2 Mojoanyar dan SMAN 1 Puri. Penulis menjadi mahasiswa Fisika ITS sejak tahun 2013 melalui jalur SBMPTN dengan NRP 1113100086 dan mendalami bidang geofisika.

Selama menjadi mahasiswa penulis, penulis pernah aktif sebagai asisten laboratorium Fisika Dasar. Penulis aktif dalam kegiatan organisasi di HIMASIKA ITS. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan acara kampus diantaranya *Instructor Committee* Gerakan Integralistik ITS 2015, *Steering Committee* Intern FMIPA 2015 dan kepanitiaan Radiasi Jurusan Fisika ITS. Selain itu pernah menjadi anggota aktif AAPG ITS SC sebagai staff Ristek (2014-2015) dan Kadep *Big Event* (2015-2016). Penulis juga pernah mengikuti UKM Badminton dan UKM Teater Tiyang Alit. Penulis pernah menjalani kerja praktek di Pusdiklat Migas Cepu, Jawa Tengah. Penulis yang hobbi badminton ini memiliki mimpi untuk dapat bekerja di Pertamina atau Exxon Mobile.