

**PERUBAHAN TEMPORAL AIR BAWAH TANAH DAERAH
AGROTECHNO PARK CANGAR, BATU, JAWA TIMUR BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN CURAH HUJAN**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Sains dalam bidang Fisika**



Oleh:

**SITI AINUR ROHMAH
156090300011005**

**PROGRAM STUDI ILMU FISIKA
MINAT GEOFISIKA**

**PROGRAM PASCASARJANA FAKULTAS MIPA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**



TESIS

**PERUBAHAN TEMPORAL AIR BAWAH TANAH DAERAH
AGROTECHNO PARK CANGAR, BATU, JAWA TIMUR BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN CURAH HUJAN**

Oleh :

SITI AINUR ROHMAH

156090300011005

Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji

pada tanggal 25 Juli 2018

dan dinyatakan LULUS

Menyetujui,

KOMISI PEMBIMBING

Ketua

Anggota

Sukir Maryanto, Ph.D

NIP.197106211998021001

Adi Susilo, Ph.D

NIP.196312271991031002

Mengetahui,

Ketua Program Studi S2 Fisika

Mauludi Ariesto Pamungkas, Ph.D

NIP.197304122000031013

IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL TESIS:

PERUBAHAN TEMPORAL AIR BAWAH TANAH DAERAH

**AGROTECHNO PARK CANGAR, BATU, JAWA TIMUR BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN CURAH HUJAN**

Nama Mahasiswa : Siti Ainur Rohmah

NIM : 156090300011005

Program Studi : S2 Fisika

Minat : Geofisika

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Sukir Maryanto, Ph.D

Anggota : Adi Susilo, Ph.D

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ahmad Nadhir, S.Si, M.T, Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Didik R. Santoso, M.Si

Tanggal Ujian : 25 Juli 2018



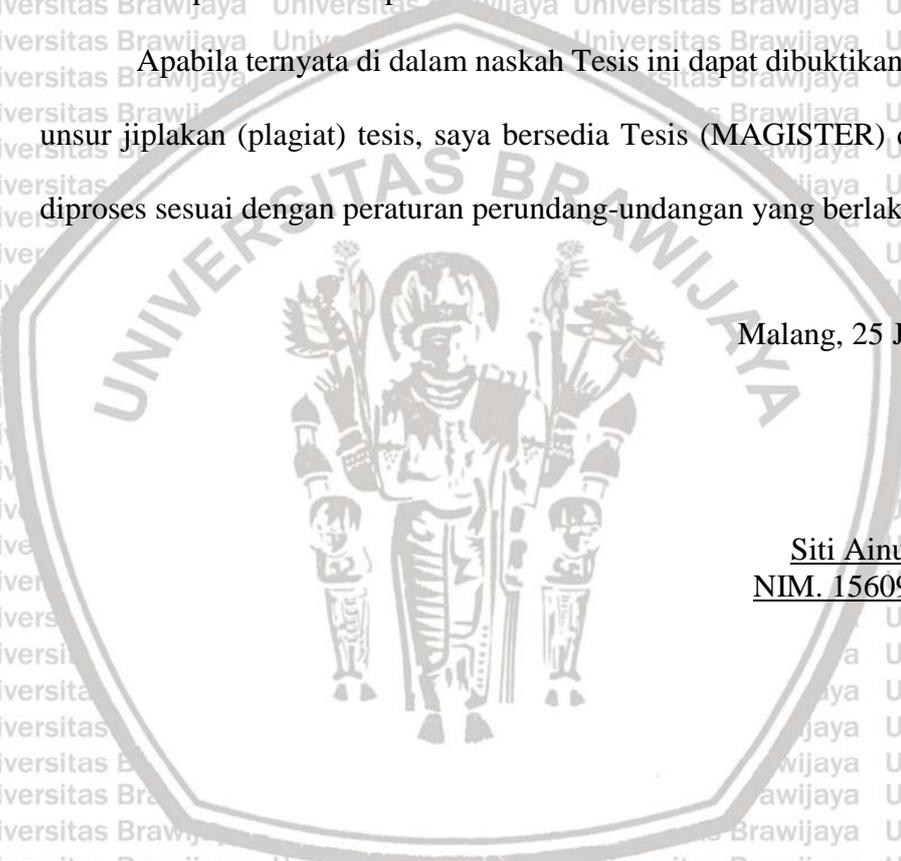
PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan (plagiat) tesis, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 25 Juli 2018

Siti Ainur Rohmah
NIM. 156090300011005



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Siti Ainur Rohmah dilahirkan di Jember pada tanggal 18 September 1992. Penulis merupakan Anak ketiga dari pasangan Asmuni dan Sudarmi. Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar di SD NU 05 Hidayatul Murid dan lulus pada tahun 2005. Kemudian, Penulis melanjutkan Pendidikan Menengah Pertama di SMPN 1 Wuluhan dan lulus pada tahun 2008. Pendidikan Menengah Atas ditempuh Penulis di SMA 02 Diponegoro Wuluhan dan lulus tahun 2011. Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Negeri Malang pada prodi Pendidikan Fisika jurusan Fisika Fakultas MIPA pada tahun 2011 dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan S2 pada program studi Ilmu Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Malang, 25 Juli 2018

Penulis



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Asmuni (alm) dan Ibu Sudarmi selaku kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa.
2. Bapak Sukir Maryanto, Ph.D dan Adi Susilo, Ph.D selaku dosen pembimbing I dan pembimbing II atas bimbingan serta motivasi yang telah diberikan selama pengerjaan tesis ini.
3. Bapak Ahmad Nadhir S.Si, M.T, Ph.D dan Dr. Eng. Didik R. Santoso selaku dosen penguji atas saran yang telah diberikan.
4. Lembaga pengelola dana pendidikan (LPDP) yang telah mendanai penelitian ini.
5. PTUPT Ristek Dikti No.: 063/SP2H/LT/DPRM/IV/2017 atas dukungan yang diberikan terhadap penelitian ini.
6. Bapak Mauludi A. Pamungkas, Ph.D selaku Ketua Program Studi S2 Fisika, Program Pascasarjana FMIPA Universitas Brawijaya.
7. Bapak dan Ibu dosen jurusan Fisika Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmunya.
8. Yanti Boimau, Rohmatul Uluwiyah, Fajri Mubarak, Azwar Panshori dan teman-teman Laboratorium Geofisika Universitas Brawijaya atas bantuan selama pengambilan data.
9. Kepala Agrotechnopark Cangar Universitas Brawijaya atas ijin yang telah diberikan selama pengambilan data.
10. Semua pihak yang telah banyak membantu secara langsung maupun tidak langsung selama penelitian.

PERUBAHAN TEMPORAL AIR BAWAH TANAH DAERAH AGROTECHNO PARK CANGAR, BATU, JAWA TIMUR BERDASARKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DAN CURAH HUJAN

ABSTRAK

Penelitian mengenai air bawah tanah telah dilakukan di daerah *Agrotechno Park* Cangar dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas. Akuisisi data dilakukan menggunakan konfigurasi *scumberger* sebanyak 5 titik sounding dan konfigurasi *mapping dipole-dipole* sebanyak 11 *line* yang terbagi menjadi 2 wilayah. Pengambilan data dilakukan pada 3 periode yaitu bulan Juli, Agustus, dan September. Inversi dilakukan terhadap data hasil akuisisi menggunakan *software Res2dinv*. Inversi data menghasilkan distribusi nilai resistivitas terhadap kedalaman penetrasi secara lateral struktur bawah permukaan yang disajikan dalam bentuk 2D dan 3D. Berdasarkan hasil inversi data diketahui bahwa lapisan bawah permukaan daerah penelitian memiliki resistivitas bernilai tinggi yang menunjukkan bahwa daerah penelitian terdiri dari produk batuan vulkanik dan sebagian kecil yang mengandung air. Pada Wilayah 1 (*line* AL01-AL05) memiliki resistivitas rendah yaitu sekitar 100 Ohm.m. Lapisan tersebut diduga sebagai lapisan yang mengandung air namun potensinya yang rendah. Sedangkan pada wilayah 2 (AL06-AL11) lapisan bawah permukaan didominasi oleh lapisan yang memiliki resistivitas tinggi yaitu >1000 Ohm.m. nilai tersebut menunjukkan bahwa wilayah ini tidak memiliki potensi air tanah. Kandungan air yang berada pada bawah permukaan daerah penelitian dipengaruhi oleh besar curah hujan yang terjadi. Semakin menuju puncak musim kemarau nilai resistivitas batuan semakin besar.

Kata kunci : Air Tanah, *Agrotechno Park*, Geolistrik Resistivitas

TEMPORAL CHANGES OF GROUNDWATER IN AGROTECHNO PARK CANGAR, BATU, EAST JAVA BASED ON GEOELECTRICAL RESISTIVITY METHOD AND RAINFALL

ABSTRACT

Research on subsurface structure has been done in Agrotechno park Cangar area using geoelectric resistivity method. five- Schlumberger point and 11 lines dipole-dipole configuration obtained from the acquisition. Data collected on 3 periods in July, August, and September. Inversion method carried out on the acquisition data using the Res2dinv software. Inversion of data results in the distribution of resistivity values of sub-surface structures presented in 2D and 3D model. Based on the result of data inversion it is known that the subsurface of the research area has the high-value resistivity which shows that the research area consists of volcanic rock product and a small part containing water. Region 1 (line AL01-AL05) has a low resistivity of about 100 Ohm.m. The coating suspected as a layer containing water but low potency. While in region 2 (AL06-AL11) the bottom layer of the surface is dominated by high resistivity layer that is > 1000 Ohm.m. the value indicates that this area has no groundwater potential. The content of water the sub-surface of the research area influenced by the amount of rainfall that occurs. The more towards the peak of the dry season the higher the value of rock resistivity.

Keyword: Groundwater, Agrotehno Park, Geoelectrical Resistivity

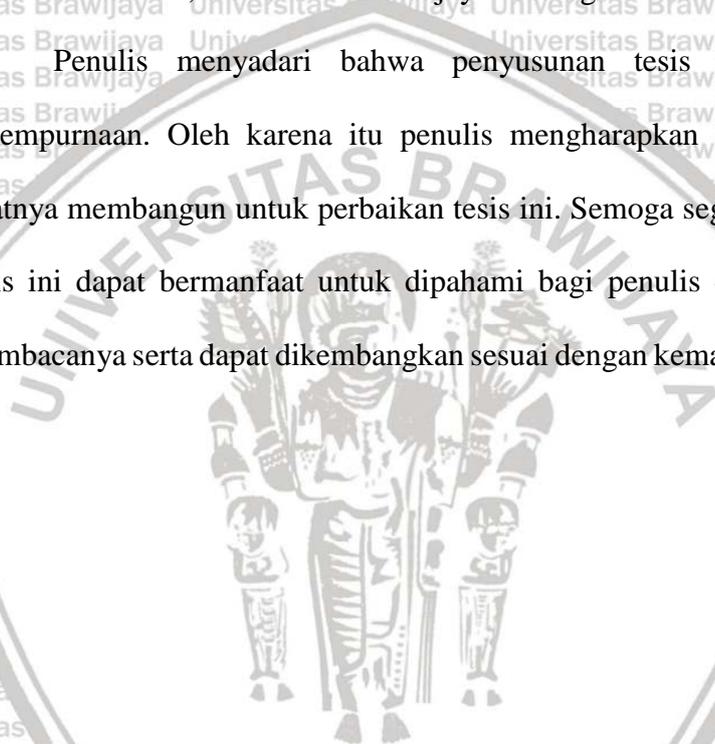
KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Perubahan Temporal Air Bawah Tanah Daerah Agrotechno Park Cangar, Batu, Jawa Timur Berdasarkan Metode Geolistrik Resistivitas dan Curah Hujan ”** sebagai salah satu syarat diperoleh gelar agister sains dalam bidang fisika di Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan tesis ini. Semoga segala yang tertulis dalam tesis ini dapat bermanfaat untuk dipahami bagi penulis dan semua orang yang membacanya serta dapat dikembangkan sesuai dengan kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, 25 juli 2018

Siti Ainur Rohmah





DAFTAR ISI	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
RIWAYAT HIDUP	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Geologi Regional.....	5
2.2 Air Tanah.....	6
2.3 Resistivitas Batuan.....	9
2.4 Geolistrik Resistivitas.....	11
2.4.1 Konfigurasi Elektroda.....	19
2.4.2 Resistivitas Semu.....	19
BAB III KERANGKA BERPIKIR	21
BAB IV METODE PENELITIAN	23

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
4.2 Peralatan Penelitian	23
4.3 Data Penelitian	23
4.4 Prosedur Penelitian.....	24
4.4.1 Akuisisi Data.....	25
4.4.2 Pengolahan Data	26
4.4.3 Interpretasi Data.....	27
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	29
5.1 Hasil Pengolahan Data	29
5.1.1 Data VES	30
5.1.2 Data Geolistrik Mapping.....	33
5.2 Pembahasan.....	46
BAB VI PENUTUP	52
6.1 Kesimpulan	52
6.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi daerah Cangar (Modifikasi dari Tim Survey Geologi PSDG, 2010; Santosa dan Suwarti, 1992) 6

Gambar 2.2 (a) Porositas batuan karena pelarutan, (b) Porositas batuan karena retakan, (c) Porositas batuan karena endapan sedimen (Seyhan, 1977)..... 8

Gambar 2.3 Penampang silinder 12

Gambar 2.4 Arus diinjeksikan ke dalam bumi (Telford, 1990) 14

Gambar 2.5 Titik sumber arus pada permukaan homogen isotropik (Telford, 1990)..... 16

Gambar 2.6 Potensial pada titik P 16

Gambar 2.7 Dua elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropik (Telford, 1990) 17

Gambar 2.8 Metode vertical electrical sounding (Santoso dkk., 2016) 18

Gambar 2.9 Resistivitas semu 20

Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian 22

Gambar 4.1 Alur penelitian 24

Gambar 4.2 Konfigurasi dipole-dipole 25

Gambar 4.3 Konfigurasi schlumberger (Santoso dkk., 2016)..... 26

Gambar 4.4 Design survey 26

Gambar 5.1 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 01 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September 34

Gambar 5.2 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 02 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September 35

Gambar 5.3 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 03 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September 36

Gambar 5.4 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL04 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September 37

Gambar 5.5 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 05 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September 39

Gambar 5.6 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 06 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September 40

Gambar 5.7 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 07 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September41

Gambar 5.8 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 08 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September42

Gambar 5.9 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL09 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September43

Gambar 5.10 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 10 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September44

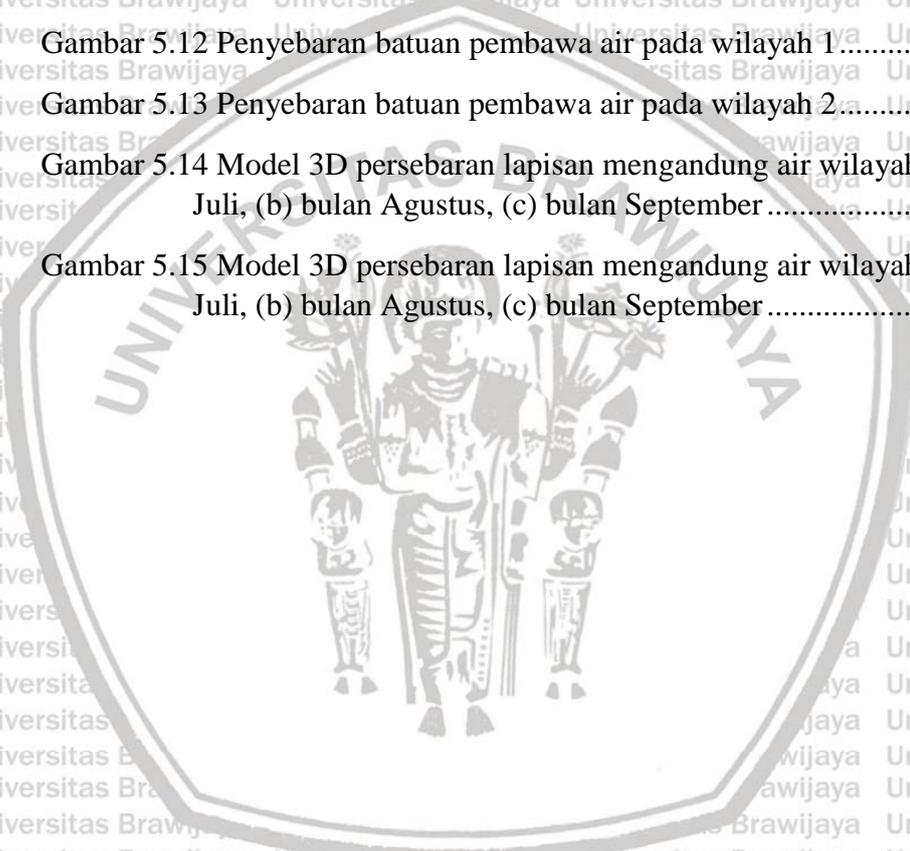
Gambar 5.11 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 11 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September45

Gambar 5.12 Penyebaran batuan pembawa air pada wilayah 147

Gambar 5.13 Penyebaran batuan pembawa air pada wilayah 248

Gambar 5.14 Model 3D persebaran lapisan mengandung air wilayah 1 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September49

Gambar 5.15 Model 3D persebaran lapisan mengandung air wilayah 2 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September50



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Batuan (Telford, et al., 1990).....10

Tabel 2.2 Konfigurasi elektoda.....19

Tabel 5.1 Hasil Interpretasi Data VES 1.....30

Tabel 5.2 Hasil Interpretasi Data VES 2.....31

Tabel 5.3 Hasil Interpretasi Data VES 3.....31

Tabel 5.4 Hasil Interpretasi Data VES 4.....32

Tabel 5.5 Hasil Interpretasi Data VES 5.....32



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian..... 56

Lampiran 2 Tren Curah Hujan Daerah Cagar..... 65

Lampiran 3 Akuisisi Data Penelitian 66

Lampiran 4 Sertifikat Bebas Plagiasi..... 68

Lampiran 5 Artikel Ilmiah 69



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Agrotechno Park merupakan area yang berada di wilayah Arjuno-Welirang.

Pada wilayah ini akan dilakukan pengembangan lebih lanjut dimana di dalamnya akan dibangun berbagai fasilitas antara lain peternakan, perkebunan, tempat wisata serta fasilitas penunjang pendidikan seperti laboratorium. Pada proses pengembangan serta pengelolaan fasilitas tersebut tentunya akan membutuhkan air sebagai salah satu faktor pendukung. Seiring dengan kemajuan pembangunan maka kebutuhan air akan meningkat baik untuk memenuhi kebutuhan manusia maupun untuk kegiatan peternakan dan pertanian didaerah tersebut. Oleh sebab itu faktor pendukung seperti ketersediaan sumber daya air merupakan faktor yang perlu diperhatikan dalam pengembangan *Agrotechno Park*.

Ketersediaan sumber daya air harus mampu mencukupi kebutuhan air.

Kebutuhan air dapat dipenuhi dari permukaan tanah seperti sungai dan danau serta dapat juga diperoleh dari bawah permukaan tanah yang disebut sebagai air tanah.

Air tanah memiliki kualitas lebih tinggi daripada air permukaan karena air permukaan sering tercemar oleh aktivitas antropogenik (Anomohanran, 2017 dan Kuswoyo dan Masduqi, 2014). Oleh sebab itu, Dalam penggunaannya air tanah lebih dipertimbangkan sebagai sumber air dari pada air permukaan.

Untuk mengetahui keberadaan air tanah pada suatu wilayah dapat dilakukan dengan penyelidikan kondisi bawah permukaan tanah. Hal tersebut karena air tanah merupakan salah satu komponen dari struktur bawah permukaan. Penyelidikan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode geofisika. Metode geofisika

yang biasa digunakan untuk menyelidiki struktur bawah permukaan khususnya untuk eksplorasi hidrologi adalah metode geolistrik resistivitas (Aning et al., 2014).

Metode ini akan memberikan gambaran mengenai struktur bawah permukaan dalam bentuk 2D maupun 3D.

Metode geolistrik resistivitas merupakan metode aktif yang bekerja dengan menginjeksikan arus listrik ke permukaan bumi melalui elektroda arus yang kemudian direspon oleh elektroda potensial (Vekantaroo, 2014). Secara umum metode ini memanfaatkan resistivitas batuan yang berbeda-beda. Data yang diperoleh akan diinversi sehingga dapat menunjukkan struktur bawah permukaan dalam bentuk penampang 2D. Untuk mendapatkan hasil yang menyerupai keadaan sesungguhnya dilakukan interpolasi atas hasil yang diperoleh sehingga penggambaran mengenai struktur bawah permukaan tanah didapatkan dalam model 3D.

Pada penelitian sebelumnya metode geolistrik telah digunakan untuk menyelidiki air antara lain Suciningtyas (2013) yang mengkombinasikan metode geolistrik dan georadar di daerah Blawan-Ijen. Pada penelitian tersebut dihasilkan gambaran mengenai persebaran air panas bumi. Selanjutnya, Jayeoba dan Oladunjoye (2015) menggunakan *2-D Electrical Resistivity Tomography* untuk eksplorasi air tanah pada daerah batuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eksplorasi dan pengembangan air tanah layak dilakukan di daerah penelitian yang berada di wilayah Nigeria. Sedangkan berdasarkan beberapa penelitian yang dilakukan di daerah cangar diketahui bahwa masih sedikit penelitian yang dilakukan di wilayah *Agrotechno Park* terutama untuk eksplorasi hidrologi.

Penelitian yang dilakukan lebih terfokus di daerah sumber air panas cangar

seperti yang dilakukan oleh Rakhmanto dkk. (2011) yang meneliti tomografi wilayah Cangar menggunakan metode tomografi geolistrik. Pada penelitian tersebut menyebutkan bahwa air panas menyebar ke arah selatan pemandian cangar sedangkan wilayah utara (termasuk *Agrotechno Park*) data bawah permukaan yang dimiliki terutama data mengenai air tanah.

Daerah *Agrotechno Park* merupakan daerah dengan tingkat curah hujan tinggi. Oleh sebab itu, untuk menunjang hasil penelitian pengambilan data yang dilakukan secara berkala serta memperhatikan parameter lain berupa data curah hujan di daerah penelitian. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan akuifer yang berada di bawah permukaan tanah. Penelitian sebelumnya yang menggunakan data hujan telah dilakukan oleh Lee, et al. (2006) yaitu untuk menganalisis respon level air terhadap hujan serta implementasinya terhadap daerah resapan. Penelitian lain yang menggunakan geolistrik berkala dan curah hujan dilakukan oleh Winters G., et al. (2015) untuk mengetahui keadaan bawah permukaan khususnya persebaran air di daerah gersang.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan mengenai wilayah *Agrotechno Park* maka dilakukan penelitian mengenai perubahan temporal air bawah tanah daerah *Agrotechno Park* Cangar, Batu, Jawa Timur berdasarkan metode geolistrik resistivitas dan curah hujan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan tanah di daerah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana struktur bawah permukaan tanah yang berada di daerah *Agrotechno Park* Cangar berdasarkan pengolahan data geolistrik resistivitas?

2. Bagaimana gambaran persebaran air tanah di *Agrotechno Park* berdasarkan hasil pengolahan data geolistrik resistivitas?

3. Bagaimanakah perubahan air tanah berdasarkan data geolistrik resistivitas dan nilai curah hujan dalam kurun waktu tertentu?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan struktur bawah permukaan tanah yang berada di daerah *Agrotechno Park Cangar*

2. Memodelkan persebaran air tanah di *Agrotechno Park* berdasarkan hasil pengolahan data geolistrik resistivitas

3. Menentukan perubahan air tanah berdasarkan data geolistrik resistivitas dan nilai curah hujan dalam kurun waktu tertentu.

1.4 Batasan

1. Pemodelan 3D yang dibuat merupakan hasil interpolasi data geolistrik resistivitas menggunakan software *Rockwork*

2. Data curah hujan merupakan data curah hujan regional yang tercatat pada Stasiun Klimatologi Karangploso dan BMKG Tretes.

1.5 Manfaat

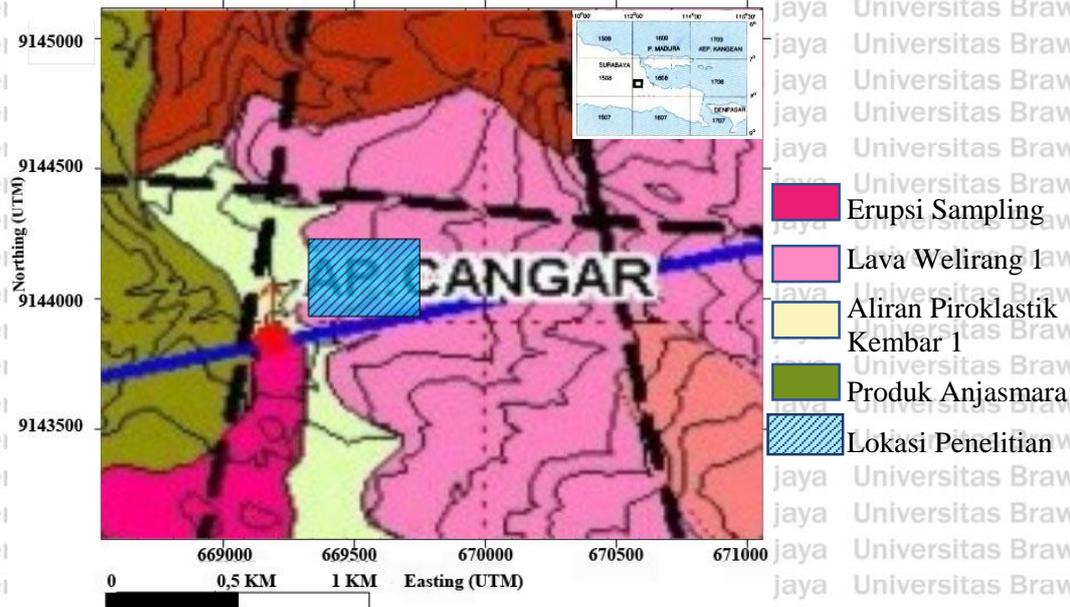
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai keadaan air bawah tanah sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Agrotechno Park berlokasi di kawasan Taman Hutan Raya R. Soeryo, Cangar, Sumber Brantas, Kota Batu. Daerah ini terletak diantara rangkaian gunung api Arjuno-Welirang yang masih aktif. Terletak dirangkaian kompleks gunung api Arjuno-Welirang mengakibatkan geologi yang dimiliki daerah ini merupakan akibat dari aktifitas gunung api Arjuno-Welirang. Komplek Gunung Arjuno-Welirang sendiri merupakan suatu kompleks gunung api yang setidaknya memiliki 5 pusat erupsi, diantaranya Gunung Welirang, Gunung Arjuno, Gunung Kembar I, Gunung Kembar II, Gunung Bakal, serta beberapa erupsi sampling (Gunung Butak dan Gunung Pundak di sebelah utara Puncak Welirang dan Gunung Tunggangan di sebelah baratnya).

Produk-produk gunung api Arjuno-Welirang yang berada diwilayah Cangar umumnya berupa lava dan piroklastik. Menurut Santosa dan Suwarti (1992) komposisi batuan tersebut berupa lava basalt berwarna abu-abu, porfiritik, masif, terdiri dari mineral plagioklas, piroksen, olivin dan mineral sekunder berupa mineral lempung dan oksida besi. Struktur-struktur geologi yang berkembang di daerah cangar berupa sesar mendatar, serta beberapa sesar dugaan. Sesar berarah utara-selatan dan barat-timur. Perhatikan Gambar 2.1



Gambar 2.1 Peta geologi daerah Cangar (Modifikasi dari Tim Survey Geologi PSDG, 2010; Santosa dan Suwarti, 1992)

2.2 Air Tanah

Air tanah adalah air yang berada di bawah permukaan tanah. Air tanah menempati dua zona yang yaitu zona tidak jenuh (*unsaturated zone*) dan zona jenuh (*saturated zone*). Zona tidak jenuh (*unsaturated zone*) merupakan lapisan yang berada di bawah permukaan tanah dan sebagian besar berisi air dan udara.

Sedangkan zona jenuh adalah lapisan yang penuh dengan air dan berada di bawah daerah tidak jenuh (Ralph, 1983).

Menurut Seyhan (1977) secara praktis air bawah permukaan (air tanah) berasal dari presipitasi dan sedikit tambahan dari sumber lain. Berdasarkan asalnya air tanah dibedakan menjadi:

1. Air Meteorik, merupakan air yang berasal dari atmosfer dan mencapai zona jenuh (*saturated zone*). Air meteorik mencapai zona jenuh dapat secara langsung oleh infiltrasi pada permukaan tanah maupun secara tidak langsung oleh perembesan influen dari danau, sungai, saluran buatan dan lautan.

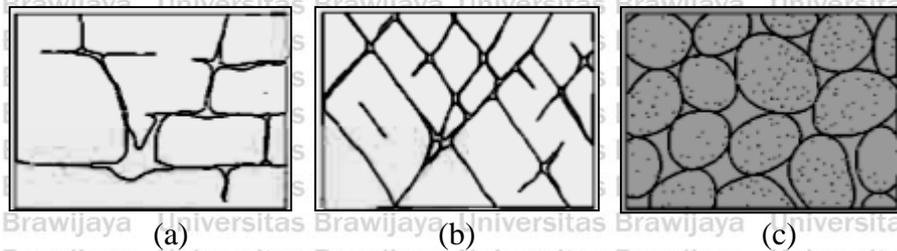
2. Air Juvenil, merupakan air yang berada pada zona jenuh dari kerak bumi yang dalam. berdasarkan sumbernya air juvenile dibedakan menjadi air magmatic, air gunung api dan air kosmik.
3. Air diremajakan (*rejuvenated water*), merupakan air yang untuk sementara waktu telah dikeluarkan dari daur hidrologi karena pelapukan ataupun sebab-sebab lainnya, yang kemudian kembali lagi ke daur hidrologi dengan proses-proses metamorphosis, pemadatan, ataupun proses lain yang sejenis.
4. Air Konat, merupakan air yang terjebak pada beberapa batuan sendimen atau gunung pada asal mulanya. Air tersebut biasanya sangat termineralisi dan memiliki salinitas yang lebih tinggi daripada air laut.

Berdasarkan asal air tanah tersebut diketahui bahwa keberadaan air tanah dipengaruhi oleh intensitas hujan. Hal tersebut terjadi karena hampir seluruh air tanah berasal dari air meteorik. Sehingga, terjadinya perubahan intensitas hujan akan mempengaruhi susunan air dibawah permukaan tanah seperti ketinggian muka air tanah, serta volume air tanah.

Selain intensitas hujan potensi air tanah sangat bergantung pada kondisi geologi, terutama sifat fisis batuan penyusun bawah permukaan. Sifat batuan yang utama dalam hubungannya dengan air tanah meliputi permeabilitas dan porositas batuan. Permeabilitas batuan atau tanah didefinisikan sebagai kemampuan untuk mengalirkan fluida (Todd,1980). Sedangkan porositas merupakan sifat batuan karena mengandung pori-pori atau rongga (Kruseman, 2000).

Porositas juga diartikan sebagai persentase volum pori terhadap volum batuan (Seyhan, 1977). Pori-pori atau rongga pada batuan tersebut akan ditempati

oleh air tanah. Pada zona jenuh, air tanah mengisi semua lubang sehingga dapat dianggap bahwa lengas tanah sama dengan porositas batuan.



Gambar 2.2 (a) Porositas batuan karena pelarutan, (b) Porositas batuan karena retakan, (c) Porositas batuan karena endapan sedimen (Seyhan, 1977)

Pori pada batuan dapat terbentuk secara primer maupun sekunder. Secara primer pori proses pengendapan berlangsung (*syngenetic*), yaitu terbentuknya ruang antar butiran komponen penyusunan batuan sedimen. Sedangkan secara sekunder pori terbentuk pada proses litifikasi seperti pelarutan, dan rekahan. Perhatikan Gambar 2.2. Porositas bergantung pada bentuk dan susunan partikel individu, sebaran ukuran pori, derajat sementara dan pepadatan. Sedangkan sebaran lubang batuan menurut Ward dalam Seyhan (1977) dipengaruhi oleh tipe batuan, keragaman vertical litologi, keretakan batuan dan pelapukan.

Menurut Kruseman (2000) dan Todd (1980) berdasarkan sifat dan perilaku batuan terhadap air tanah, formasi batuan dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok yaitu

1. Akuifer, merupakan formasi yang berisi material permeable yang cukup jenuh untuk menyimpan dan menyalurkan air dalam jumlah yang besar ke sumur dan mata air. Formasi batuan yang dapat membentuk akuifer adalah endapan alluvial, batu kapur, batuan vulkanik, batu pasir, lempung, batuan beku dan batuan metamorf.

2. Akuiklud, merupakan formasi geologi kedap yang menyimpan/ mengandung air namun tidak dapat memindahkan seluruh air tersebut sama sekali.

3. Akuitard, merupakan formasi geologi yang cukup permeabel untuk menyalurkan air yang cukup ke atau dari akuifer yang berdekatan namun permeabilitas yang dimiliki tidak cukup untuk mendirikan sumur produksi yang ditempatkan tersebut.

4. Akuifug, merupakan fomasi yang impermeable sehingga tidak dapat menampung ataupun menyalurkan air sama sekali.

Berdasarkan materi penyusun dan lingkungan fisiknya, batuan pennyimpan dan penyalur air (akuifer) dapat dibedakan menjadi empat jenis (Vebrianto, 2015), yaitu

1. Akuifer alluvial, merupakan akuifer yang dapat ditemukan di daerah pantai dan endapan sungai.
2. Akuifer sendimen, merupakan akuifer yang berada di dalam lapisan gambut dan berasosiasi dengan senyawa organik.
3. Akuifer karst, merupakan akuifer yang berada dalam suatu area dengan batuan kapur yang dominan. Akuifer ini dapat ditemui di daerah pegunungan kapur.
4. Akuifer vulkanik, merupakan akuifer yang terbentuk di daerah pegunungan dan berasosiasi dengan batuan vulkanik. Batuan beku penyusun daerah vulkanik dapat menjadi akuifer baik jika terdapat banyak rekahan dan lubang-lubang bekas gas karbondioksida (saat proses pembekuan).

2.3 Resistivitas Batuan

Resistivitas batuan merupakan kemampuan atau daya hambat yang dimiliki batuan untuk dialiri listrik. Satuan resistivitas adalah ohm.meter. Resistivitas

masing-masing batuan memiliki nilai yang berbeda-beda. Besar nilai tersebut bergantung pada jenis, densitas, porositas, kandungan air, kualitas, suhu, ukuran dan bentuk pori-pori batuan. Porositas dan permeabilitas pada batuan memberikan ruang untuk diisi cairan misalnya air. Adanya cairan atau air dalam sistem rekahan atau ruang antar butir batuan dapat menurunkan nilai resistivitas batuan. Hal tersebut terjadi karena nilai resistivitas batuan berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas batuan. Saat cairan yang mengisi ruangan (pori-pori) pada batuan memiliki konduktivitas yang tinggi maka batuan akan memiliki konduktivitas yang tinggi pula. Nilai resistivitas beberapa bahan dapat dilihat pada Table 2.1

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Batuan (Telford, et al., 1990).

Material	Resistivitas (ohm meter)
<i>Granite</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
<i>Quartzite (various)</i>	2.5×10^2 (wet) - 2.5×10^8 (dry)
<i>Slates (Various)</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
<i>Albite</i>	$3 \times 10^2 - 3.3 \times 10^3$ (dry)
<i>Diorite</i>	$10^4 - 10^5$
<i>Sandstone</i>	$1 - 10^8$
<i>Limestone</i>	$50 - 10^7$
<i>Dolomite</i>	$10^2 - 10^4$
<i>Tuffs</i>	$2 \cdot 10^1 - 2 \cdot 10^2$
<i>Sand</i>	$1 - 10^3$
<i>Clay</i>	$1 - 10^2$
<i>Marl</i>	$1 - 10^2$
<i>Portabel well water</i>	$1 - 10^3$
<i>Brackish Water</i>	$1 - 10$
<i>Sea Water</i>	0.2

2.4 Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas dikembangkan pada awal abad 20 masehi. Perkembangan metode ini semakin pesat seiring dengan ditemukannya komputer sebagai sarana pengolahan data. Metode geolistrik resistivitas merupakan metode geofisika yang dapat digunakan untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan tanah. Metode ini banyak digunakan dalam penyelidikan mengenai air tanah serta jenis pencemarannya. Dalam bidang arkeologi metode ini bisa digunakan untuk mengetahui area bangunan arkeologi yang terpendam. Metode geolistrik juga banyak digunakan untuk untuk pemboran/*logging* (Reynolds, 1997). selanjutnya, metode ini juga digunakan untuk menyelidiki reservoir panas bumi (Telford, et al., 1990).

Metode ini bekerja dengan memanfaatkan arus listrik yang diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian nilai beda potensial yang dihasilkan akan terukur melalui dua elektroda potensial. Pengukuran dilakukan dengan melakukan variasi jarak antar elektroda. Hal tersebut dilakukan untuk menentukan variasi harga resistivitas setiap lapisan bawah permukaan tanah yang diukur.

Secara teori, metode geolistrik resistivitas lebih unggul jika dibandingkan dengan metode yang lain. Hal tersebut karena hasil kuantitatif yang diperoleh dapat dikendalikan berdasarkan dimensi tertentu (Telford, et al., 1990). Selain itu kelebihan dari metode ini juga terletak pada biaya yang dikeluarkan relatif kecil untuk cakupan wilayah yang luas.

Selain kelebihan metode geolistrik juga memiliki beberapa kekurangan.

Menurut Telford (1990) metode ini memiliki sensitivitas yang cukup tinggi

terhadap perubahan konduktivitas lapisan yang berada didekat permukaan sehingga akan mudah terjadi *noise*. Pada saat pengambilan data, akan terjadi sedikit kesusahan dalam menggeser elektroda dengan kabel yang panjang melewati medan yang memiliki topografi yang cukup sulit seperti di hutang dan jurang.

Prinsip dasar metode geolistrik resistivitas adalah hukum *ohm* dimana beda potensial ΔV akan timbul karena adanya arus I searah yang mengalir (Reynolds, 1997). Selanjutnya, berdasarkan nilai beda potensial dan arus akan didapatkan nilai resistansinya. Berikut ini merupakan hubungan antara beda potensial dan arus yang mengalir:

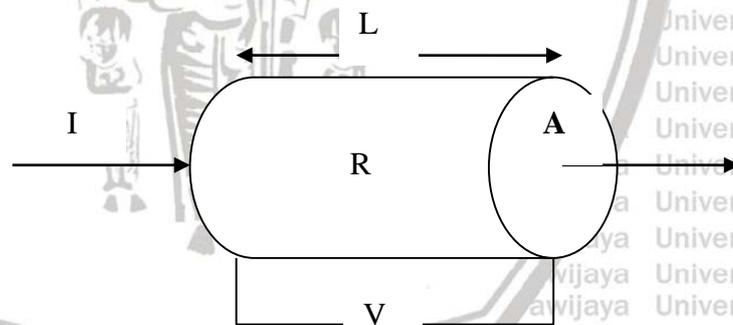
$$V = IR \quad (2.1)$$

Dimana

R = Resistansi (Ω)

V = Beda potensial (V)

I = Kuat arus yang melalui bahan (A)



Gambar 2.3 Penampang silinder

Material dalam bumi memiliki nilai resistansi hambatan yang berbeda-beda.

Oleh sebab itu, pengukuran beda potensial terhadap arus yang mengalir dalam bumi dapat digunakan untuk menentukan besar resistansi dan jenis material yang berada di bawah permukaan. Perhatikan gambar 2.3. suatu material homogen yang

berbentuk silinder memiliki panjang L dan luas penampang A , maka nilai resistivitas ρ material tersebut diperoleh berdasarkan persamaan berikut.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

Dimana

R = Resistansi (Ω)

ρ = Resistivitas (Ωm)

L = Panjang silinder (m)

A = luas penampang silinder (m^2)

Jika dilakukan substitusi persamaan antara persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 maka didapatkan (Reynolds, 1997)

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

Pada penyelidikan dengan metode geolistrik, Telford (1990) mengasumsikan bahwa bumi sebagai medium yang homogen isotropis. Jika dialirkan arus dengan rapat arus J pada penampang dA maka arus yang melewati penampang tersebut adalah

$$dI = JdA \quad (2.4)$$

Dimana

I = Kuat arus (*ampere*)

J = Rapat arus (*ampere/m²*)

A = luas penampang silinder (m^2)

Berdasarkan hukum ohm hubungan antara rapat arus J dengan medan listrik E dinyatakan dalam persamaan 2.5 berikut

$$J = \sigma E \quad (2.5)$$

Dimana E merupakan medan listrik dalam volt per meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam siemens per meter (S/m).

Medan listrik (E) merupakan gradient dari potensial (V) sehingga dapat dinyatakan

$$E = -\nabla V \quad (2.6)$$

Jika dilakukan substitusi antara persamaan 2.5 dan 2.6 maka didapatkan persamaan berikut

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

Jika $\nabla \cdot J = 0$ maka diperoleh

$$-\nabla \cdot \nabla(\sigma V) = 0 \quad (2.8)$$

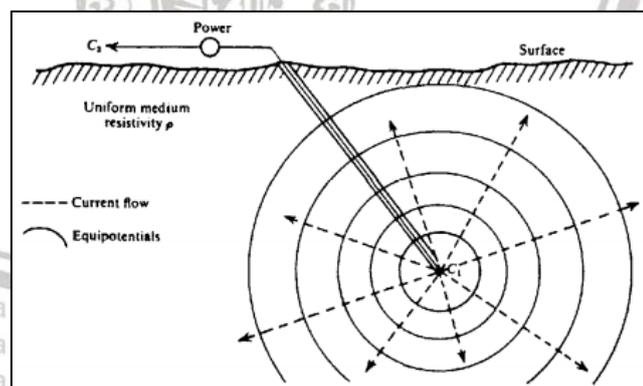
Jika dilakukan penurunan terhadap persamaan 2.8 maka diperoleh persamaan berikut

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

Jika nilai konduktivitas medium bernilai tetap, maka nilai $\nabla \sigma = 0$.

Berdasarkan hal tersebut didapatkan

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.10)$$



Gambar 2.4 Arus diinjeksikan ke dalam bumi (Telford, 1990)

Telford (1990) menyatakan suatu arus yang diinjeksikan ke dalam bumi jika bumi diasumsikan sebagai medium yang homogen isotropis melalui suatu elektroda maka arus akan dihantarkan menyebar kesegala arah sama besar. Perhatikan

gambar 2.4. Potensial yang ditimbulkan memiliki sifat simetri dan besarnya potensial pada titik tertentu yang berjarak r dari C_1 , nilainya dapat ditentukan. Nilai potensial Laplace dalam koordinat bola adalah:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (2.11)$$

jika V merupakan fungsi r maka didapatkan.

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

Maka persamaan 2.11 memiliki solusi sebagai berikut

$$V(r) = -\frac{C_1}{r} + C_2 \quad (2.13)$$

Dimana C_1 dan C_2 merupakan tetapan. Jika r bernilai tak berhingga (jarak sangat jauh dari sumber), maka nilai potensialnya sama dengan nol sehingga nilai $C_2 = 0$ didapatkan solusi

$$V(r) = -\frac{C_1}{r} \quad (2.14)$$

Nilai arus pada persamaan 2.4 dengan jarak r dalam koordinat bola dapat ditulis

$$I = \int \mathbf{J} d\mathbf{A} = 4\pi r^2 \mathbf{J} \quad (2.15)$$

Selanjutnya pada persamaan 2.7 kita mendapatkan nilai rapat arus sebagai berikut

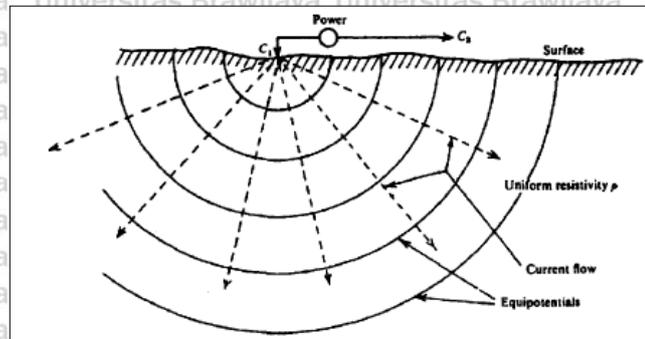
$$\mathbf{J} = -\sigma \frac{dV}{dr} = -\frac{1}{\rho} \frac{C_1}{r^2} \quad (2.16)$$

Berdasarkan persamaan 2.15 dan 2.16, maka didapatkan

$$C_1 = \frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.17)$$

Sehingga

$$V = \frac{I\rho}{4\pi r} \quad (2.18)$$



Gambar 2.5 Titik sumber arus pada permukaan homogen isotropik (Telford, 1990)

Telford (1990) menambahkan jika penginjeksian arus dilakukan dipermukaan bumi dan karena konduktivitas udara sama dengan 0 maka akan terbentuk bidang equipotensial berbentuk setengah lingkaran. Perhatikan gambar

2.5. Berdasarkan persamaan 2.4 dan 2.7, maka nilai arus diperoleh

$$I = \int J dA = \frac{1}{2} 4\pi r^2 J = \frac{2\pi}{\rho} C_1 \quad (2.19)$$

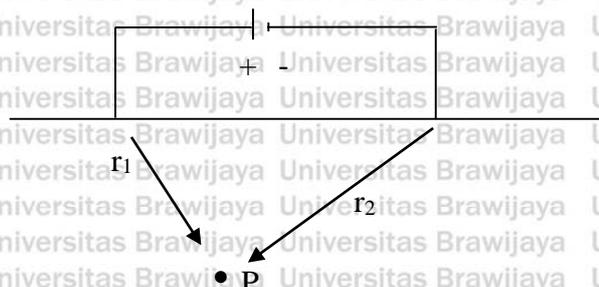
Sehingga

$$C_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.20)$$

Berdasarkan persamaan 2.14 didapatkan

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.21)$$

Dimana V merupakan beda potensial (volt) dan ρ merupakan resistivitas batuan.



Gambar 2.6 Potensial pada titik P

Jika jarak antara dua elektroda arus maka pada suatu titik P akan terpengaruh oleh kedua elektroda arus tersebut (Telford, 1990). Perhatikan Gambar

2.6. nilai potensial pada titik P adalah

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.22)$$

Dimana

r_1 = jarak titik P dengan elektroda arus +

r_2 = jarak titik P dengan elektroda arus -

Sedangkan jika terdapat dua buah elektroda potensial P_1 dan P_2 seperti pada gambar 2.7, maka beda potensial yang terjadi pada titik P_1 dan P_2 akibat injeksi arus pada elektroda C_1 dan C_2 adalah:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.23)$$

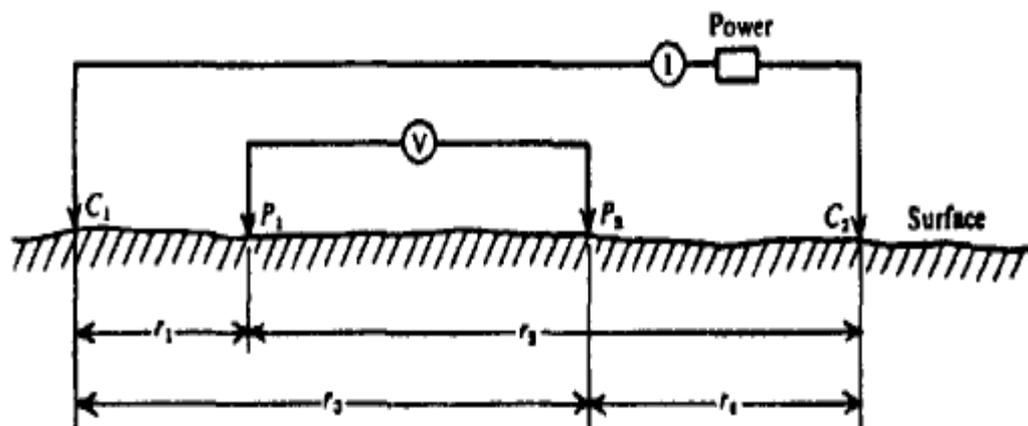
Dimana

r_1 merupakan jarak C_1 ke P_1

r_2 merupakan jarak C_2 ke P_1

r_3 merupakan jarak C_1 ke P_2

r_4 merupakan jarak C_2 ke P_2

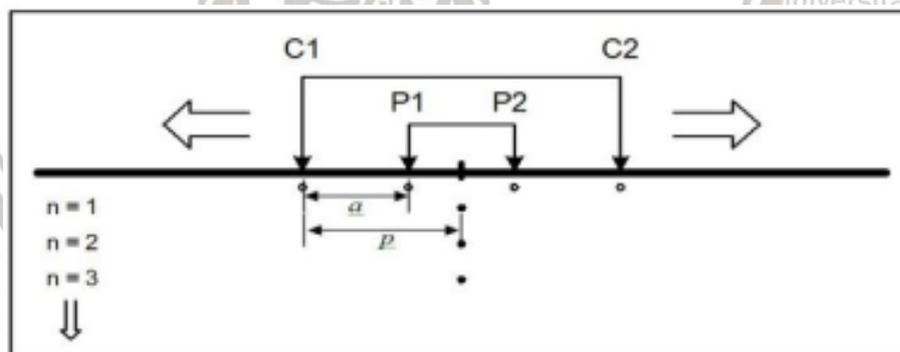


Gambar 2.7 Dua elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropik (Telford, 1990)

Metode geolistrik resistivitas banyak digunakan dalam penyelidikan struktur bawah permukaan (Sherrod *et al.*, 2016), eksplorasi batubara (Santoso, 2016), memonitor tanah (Alamry *et al.*, 2017), memonitor air bawah tanah (Wagner *et al.*, 2013), serta penyelidikan lainnya. Berdasarkan targetnya geolistrik dibagi menjadi 2 yaitu *vertical electrical sounding* dan *mapping*

Metode *vertical electrical sounding* merupakan metode geolistrik resistivitas yang bertujuan mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara vertikal. Menurut Loke (2000), dalam metode *vertical electrical sounding* pengukuran dilakukan dengan memvariasi jarak spasi elektroda arus dan tegangan secara graduil untuk titik yang diamati, sedangkan jarak antar elektroda potensial (P_1 dan P_2) dibuat tetap. Dalam hal ini semakin besar jarak a maka arus yang diinjeksikan semakin dalam hingga semua lokasi pengukuran terlindungi.

Perhatikan Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Metode *vertical electrical sounding* (Santoso dkk., 2016)

Kedua, menggunakan metode *mapping* dalam pengambilan data. Penggunaan cara kedua ini membutuhkan waktu lebih lama namun menghasilkan informasi yang detail pada arah horizontal dan vertikal. Pengambilan data menggunakan metode *mapping* yaitu melakukan variasi elektroda sesuai dengan konfigurasi elektroda yang digunakan.

2.4.1 Konfigurasi Elektroda

Pada survey geolistrik resistivitas digunakan empat buah elektroda yang terdiri dari dua lektroda arus dan dua elektroda potensial. Elektroda-elektroda tersebut disusun sedemikian rupa sesuai dengan tujuan pengambilan data yang diinginkan. Model penyusunan elektroda-elektroda arus dan potensial tersebut dikenal dengan sebutan konfigurasi elektroda. Dalam metode geolistrik resistivitas terdapat beberapa konfigurasi elektroda yang memiliki karakteristik masing masing.

Pada tabel 2.2 berikut ini merupakan konfigurasi elektroda dalam survey geolistrik resistivitas.

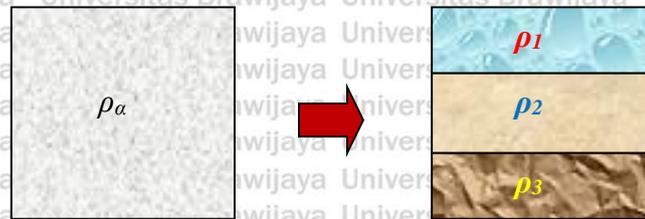
Tabel 2.2 Konfigurasi elektoda

No	Konfigurasi	Karakteristik
1.	<i>Wenner</i> (Reynolds, 1997)	- Kedalaman penetrasi rendah - Memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap inhomogenitas secara lateral.
2.	<i>Schlumberger</i> (Reynolds, 1997)	- Memiliki kesesuaian yang tinggi untuk metode geolistrik resistivitas <i>sounding</i> . - Kedalaman penetrasi sedang
3.	<i>Dipole-dipole</i> (Reynolds, 1997)	- Kedalaman penetrasi tinggi - Memiliki kesesuaian yang tinggi untuk metode geolistrik resistivitas <i>mapping</i> .
4.	<i>Pole-pole</i>	- Lebih efisien karena hanya dua elektroda yang bergerak.
5.	<i>Pole-dipole</i> (Telford, et al., 1990)	- Memiliki kesesuaian yang tinggi untuk metode geolistrik resistivitas <i>mapping</i> .

2.4.2 Resistivitas Semu

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa bumi diasumsikan sebagai medium homogen isotropis. Namun, pada kenyataannya bumi merupakan medium nonhomogen yang memiliki lapisan-lapisan dimana masing-masing lapisan

berbeda nilai resistivitasnya. Oleh sebab itu, nilai resistivitas yang diperoleh pada penjelasan sebelumnya bukanlah resistivitas yang sebenarnya melainkan resistivitas semu. Perhatikan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Resistivitas semu

Resistivitas semu tersebut didapat dengan mengalikan faktor geometri konfigurasi elektroda dengan perbandingan antara nilai beda potensial dan arus yang digunakan. Nilai faktor geometri akan muncul dikarenakan perbedaan konfigurasi elektroda yang digunakan. Sehingga nilainya akan menyesuaikan dengan konfigurasi yang digunakan. Nilai resistivitas semu dapat diperoleh dengan persamaan berikut (Reynolds, 1997).

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.21)$$

Dimana

ρ_a = Resistivitas semu (*ohm.m*)

K = Faktor geometri

V = Beda potensial (V)

I = Kuat arus yang melalui bahan (A)

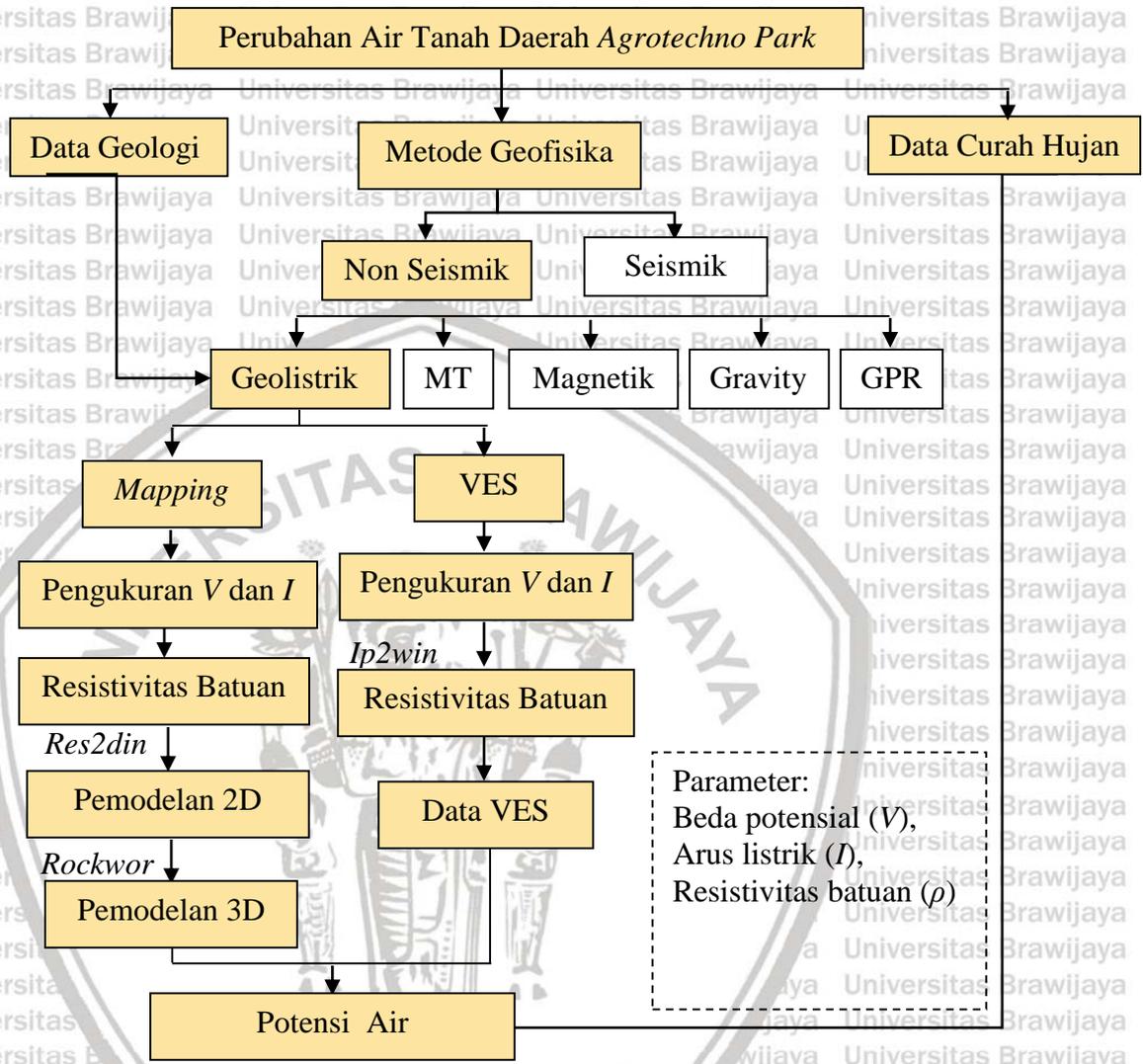
BAB III KERANGKA BERPIKIR

Air merupakan kebutuhan utama makhluk hidup. Air dapat berasal dari permukaan maupun bawah permukaan tanah. Dalam penggunaannya air tanah lebih banyak digunakan dari pada air permukaan. Untuk mengetahui ketersediaan air tanah dapat diketahui dengan melakukan identifikasi struktur bawah permukaan. Penyelidikan tersebut dapat dilakukan dengan metode geolistrik resistivitas.

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui keadaan struktur bawah permukaan. Pengambilan data dilakukan dengan menginjeksikan sejumlah arus melalui elektroda arus yang kemudian akan terekam nilai potensial oleh elektroda potensial. Berdasarkan nilai arus dan potensial tersebut maka dihasilkan parameter data berupa distribusi resistivitas batuan. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software res2dinv* untuk memperoleh gambaran gradasi resistivitas bawah permukaan dalam bentuk 2D. Selanjutnya, dilakukan interpolasi sehingga didapatkan hasil dalam bentuk 3D menggunakan *software rockwork*. Data geolistrik berdasarkan metode *mapping* akan disandingkan dengan data *VES* yang diolah dengan menggunakan *software ip2win*. Hal tersebut dilakukan untuk

mendapatkan data struktur bawah permukaan yang memiliki validitas tinggi. Data geolistrik resistivitas yang diperoleh diambil secara berulang. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan gambaran perubahan keadaan struktur bawah permukaan dalam kurun waktu tertentu. Hasil pengolahan data akan diinterpretasikan bersama dengan data curah hujan pada didaerah penelitian. Hasil interpretasi data berdasarkan tersebut akan memberikan gambaran mengenai

struktur bawah permukaan terutama ketersediaan air. Kerangka konsep penelitian secara lengkap dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan data primer berupa data geolistrik resistivitas dilakukan di daerah *Agrotechno Park* Cangar desa Tulungrejo, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu, Jawa Timur. Pengambilan data dilakukan pada bulan Juli 2017, Agustus 2017 dan September 2017. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.

4.2 Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan peralatan penelitian sebagai berikut:

1. Resistivity meter merk OYYO tipe McOhm-EL
2. Dua elektroda Arus dan dua elektroda potensial
3. Rol kabel arus dan potensial
4. Palu
5. GPS
6. Roll meter
7. Sumber tegangan
8. Alat tulis
9. Handy Talk (HT)
10. Laptop
11. Software pendukung : Notepad, Res2dinv, Ip2win, dan Rockwork

4.3 Data Penelitian

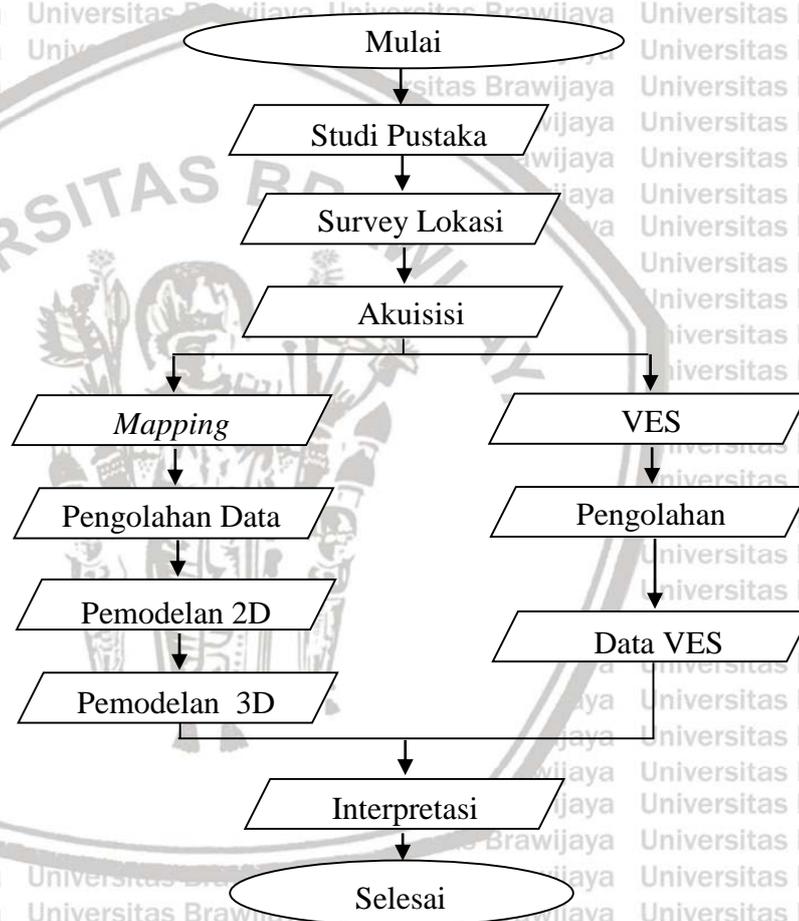
Data penelitian yang diperoleh dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diambil secara langsung yang

diambil dilapang maupun di laboratorium. Pada penelitian ini diperoleh data primer berupa beda potensial, arus, posisi elektroda arus dan potensial, ketinggian titik penelitian, koordinat titik penelitian. Sedangkan data sekunder adalah data curah hujan yang diperoleh dari BMKG.

4.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dalam penelitian ini sesuai dengan alur penelitian pada

Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Alur penelitian

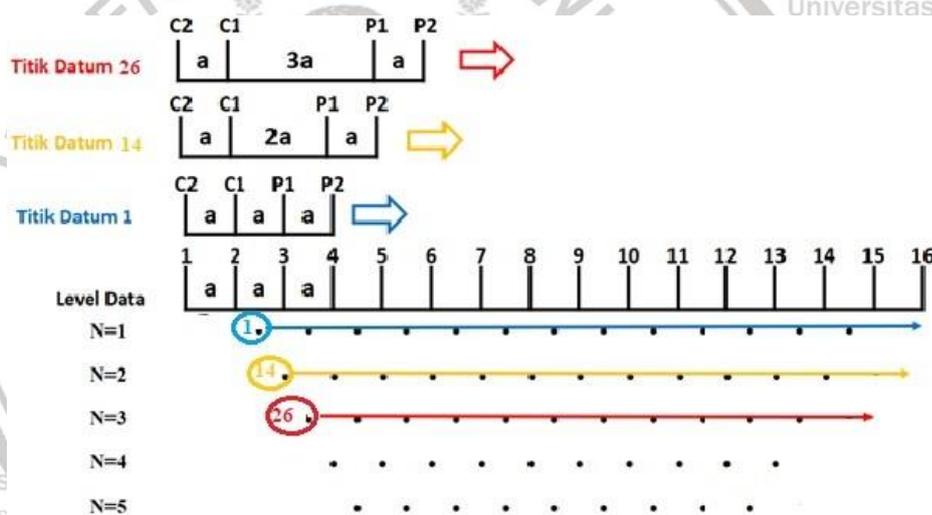
Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi pendahuluan berupa studi pustaka dan survei lokasi penelitian. Kedua langkah tersebut dilakukan sebagai acuan penentuan lokasi dan design survei pengambilan data. Setelah melakukan studi pendahuluan maka dilanjutkan dengan prosedur penelitian

selanjutnya yang terbagi menjadi 3 tahapan yaitu akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi. Ketiga tahapan tersebut diuraikan sebagai berikut:

4.4.1 Akuisisi Data

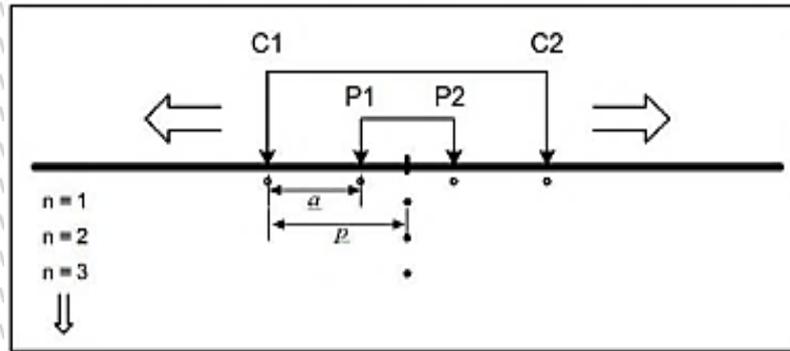
Akuisisi data dengan menggunakan metode geolistrik. Data pada penelitian ini menggunakan 2 metode pengambilan data yaitu

1. Metode *mapping*, pengambilan data dilakukan dengan konfigurasi *dipole-dipole*. Perhatikan Gambar 4.4. Pengambilan data dilakukan sebanyak 11 line *mapping*. Bentangan yang diambil disesuaikan dengan kondisi lokasi penelitian yaitu antara 55-100 m dengan spasi 5 m. Setiap lintasan yang diambil akan saling berpotongan. Perhatikan Gambar 4.2.

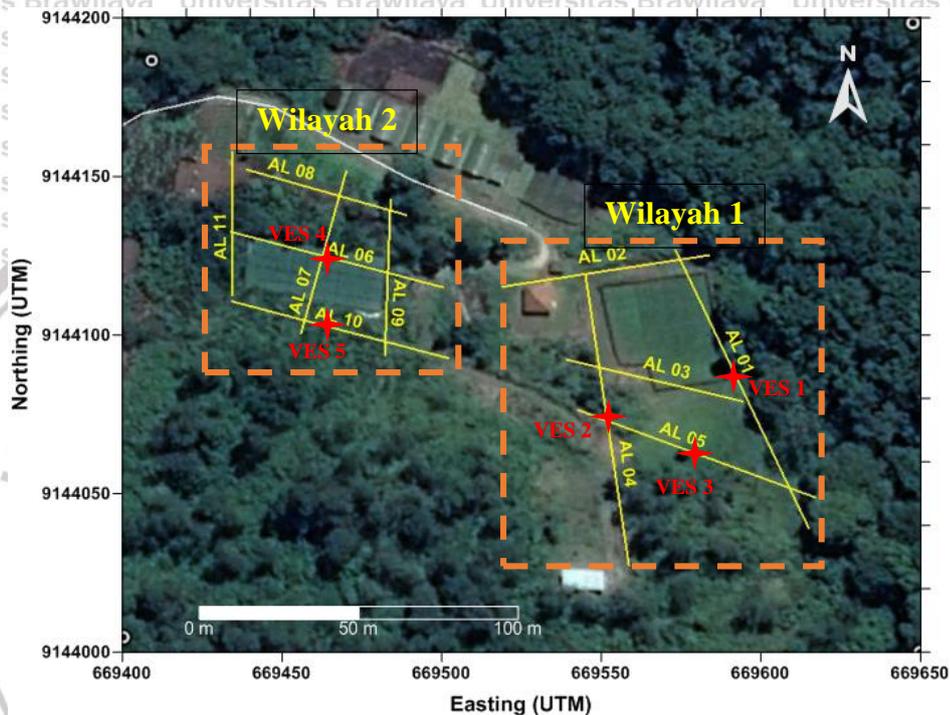


Gambar 4.2 Konfigurasi *dipole-dipole*

2. Metode VES, pengambilan data dilakukan dengan menggunakan konfigurasi *schlumberger*. Perhatikan Gambar 4.3. Pengambilan data dilakukan sehingga didapatkan data sebanyak 5 titik *sounding*. Distribusi pengambilan titik dapat dilihat pada desain survei pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Konfigurasi schlumberger (Santoso dkk., 2016)



Gambar 4.4 Design survey

4.4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada metode VES dilakukan menggunakan software *ip2win* untuk menampilkan nilai tahanan jenis yang sebenarnya dan jumlah lapisan bantuan. Selanjutnya, data tahanan jenis tersebut diolah menggunakan software *Progress3* untuk menampilkan gambar borelog persumur dari analisis data tahanan jenis yang sebenarnya.

Data yang dihasilkan dari akuisisi data harus melalui beberapa tahap pengolahan data. Pengolahan data menggunakan metode *mapping* pengolahan awal

dilakukan dengan menggunakan *Ms Excel* untuk menghitung nilai resistivitas semu ($\rho\alpha$). Nilai resistivitas semu tersebut diperoleh berdasarkan nilai hambatan (R) dan faktor geometris konfigurasi (K). Selanjutnya, nilai resistivitas semu tersebut dikonversi kedalam bentuk file *.dat** dengan menggunakan software *Notepad*. Selanjutnya dilakukan proses inversi data dengan metode *least square inversion* menggunakan software *Res2dinv* (Ravindran et al, 2012). Proses inversi ini dilakukan untuk menghilangkan efek geometris sehingga diperoleh nilai resistivitas sesungguhnya dari masing-masing *line* (Oladunjoye et al, 2015) Hasil yang diperoleh disajikan dalam model penampang 2D. Model penampang tersebut berupa kontur distribusi nilai resistivitas terhadap kedalaman penetrasinya secara lateral struktur bawah permukaan dari masing-masing *line*. Selanjutnya berdasarkan hasil tersebut dilakukan interpolasi sehingga dihasilkan pemodelan 3D menggunakan *Software Rockwork*.

4.4.3 Interpretasi Data

Intepretasi merupakan langkah akhir penelitian yang dilakukan. Interpretasi data dilakukan dengan menentukan kontras resistivitas batuan secara kuantitatif berdasarkan model 2D. Selain itu mengacu informasi geologi regional pada area penelitian kontras resistivitas hasil model 2D juga diinterpretasi secara kualitatif. Hasil penelitian diartikan untuk mendapatkan gambaran kondisi bawah permukaan sehingga dapat diketahui struktur bawah permukaan terutama struktur penyimpanan air yang berada di area daerah penelitian.

Pada tahap ini juga dilakukan intepretasi mengenai data geolistrik yang diambil secara berkala. Intepretasi yang dilakukan berdasarkan data curah hujan

dari daerah penelitian. Berdasarkan intepretasi tersebut diharapkan dapat mengetahui perubahan lapisan akuifer di daerah penelitian.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan terhadap data yang berupa data geolistrik resistivitas. Data geolistrik tersebut dibedakan menjadi 2 yaitu data VES dan data *mapping*. Data VES diperoleh dari 5 titik sounding. Data tersebut kemudian diolah menggunakan software IPI2WIN. Pengolahan dilakukan untuk memberikan gambaran per lapisan tanah secara vertikal. Selanjutnya, data tersebut akan digunakan sebagai data pendukung atau validator dari data *mapping*.

Data *mapping* diperoleh dari 11 lintasan yang terbagi menjadi 2 area. Wilayah 1 terdiri dari lintasan 1-5 dan sisanya merupakan wilayah 2. Setiap lintasan memiliki 3 variasi data yang didasarkan pada waktu pengambilan data. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software *Res2div*. Hasil pengolahan berupa gambaran 2D lapisan bawah permukaan tanah. Selanjutnya, masing-masing hasil variasi data pada setiap lintasan dibandingkan sehingga dapat diketahui struktur bawah permukaan serta perubahan yang terjadi. Bentuk 2D akan digabung membentuk pola 3D dengan menggunakan software *Rockwork*.

Berdasarkan data geologi daerah penelitian yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, daerah penelitian terdiri dari beberapa jenis batuan yaitu:

- a) Breksi gunung api berkomponen basalt, andesit, batu apung, obsidian, mineral dengan masadasar tuff pasir.
- b) Lava yang berasal dari erupsi welirang.

5.1.1 Data VES

Pengolahan data VES dilakukan terhadap 5 titik sounding yang dilakukan menggunakan software IPI2WIN.

1. VES 1

Pengambilan data VES 1 dilakukan pada titik 52,5 m pada lintasan AL01.

Total bentangan AB pada VES1 adalah 105 m. hasil pengolahan data pada VES 1 ditunjukkan oleh tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Interpretasi Data VES 1

Kedalaman	Resistivitas	Litologi
0.00	611.44	Soil
3.99	589.16	Tuff
5.36	61.32	Sand
6.59	160.17	Sand
10.10	806.24	Lava
16.24	408.74	Lava
22.25	750.38	Lava
32.23	6795.86	Lava

Berdasarkan hasil pengolahan data VES 1 daerah pengukuran terdiri dari tuff, sand dan lava. Batuan yang mendominasi pada titik ini adalah lava mulai dari kedalaman 10 m. Titik ves 1 merupakan titik yang dekat dengan sungai oleh sebab itu diduga erosi aliran sungai juga mempengaruhi pelapisan susunan bawah permukaan. Pada titik VES 1 lapisan yang diduga mengandung air adalah lapisan pada kedalaman 4-6 m di bawah permukaan tanah.

2. VES 2

Titik VES 2 memiliki bentangan AB sepanjang 100 m. Titik ini berada pada titik ke 52,5 m dari titik awal lintasan AL 04. Hasil pengolahan data pada VES 2 dapat dilihat pada tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Interpretasi Data VES 2

Kedalaman	Resistivitas	Litologi
0.00	940.54	Soil
1.83	715.91	Tuff
4.43	70.33	Sand
5.97	136.44	Sand
9.25	1845.38	Lava
20.67	3089.32	Lava

Berdasarkan hasil interpretasi data diketahui bahwa titik VES 2 terdiri dari tuff, sand dan lava. Pada titik ini terdapat nilai lapisan awal memiliki resistivitas yang tinggi. Hal tersebut terjadi karena permukaan berupa tanah bercampur bongkahan batu. Pada titik ini lapisan yang mengandung air diduga berada pada kedalaman 4-6 m dibawah permukaan tanah.

3. VES 3

Titik VES 3 merupakan Titik yang berada pada titik ke 37,5 m dari titik awal lintasan AL 05. VES 3 memiliki panjang bentangam AB maksimum sebesar 75 m. Hasil pengolahan data pada VES 3 dapat dilihat pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Hasil Interpretasi Data VES 3

Kedalaman	Resistivitas	Litologi
0.00	1691.12	Soil
2.93	347.90	Tuf
3.63	69.77	Sand
5.10	399.77	Tuf
13.85	1559.18	Lava
28.43	1825.06	Lava

Pelapisan bawah permukaan pada titik VES 3 terdiri dari tuff, sand dan lava. Lapisan mengandung air pada titik ini berada pada kedalaman 3.63-5 m. Selanjutnya, lapisan lava dimulai pada kedalaman 10 m.

4. VES 4

Titik VES 4 memiliki bentangan AB maksimum sepanjang 75 m. Titik ini berada pada titik ke 42,5 m dari titik awal lintasan AL 06. Hasil pengolahan data pada VES 2 dapat dilihat pada tabel 5.4

Tabel 5.4 Hasil Interpretasi Data VES 4

Kedalaman	Resistivitas	Litologi
0.00	375.78	Soil
3.61	935.81	Lava
9.80	3002.20	Lava
27.57	1984.10	Lava

Berdasarkan hasil interpretasi pada titik ves 4 pelapisan dibawah permukaan didominasi oleh batuan lava. Lapisan permukaan berupa *top soil* hanya menutup hingga kedalaman 3,61 m dibawah permukaan tanah. Selanjutnya pada titik ini tidak didapatkan jenis lapisan lain.

5. VES 5

Titik VES 5 merupakan Titik yang berada pada titik ke 37,5 m dari titik awal lintasan AL 10. VES 5 memiliki panjang bentangan AB maksimum sebesar 75 m. Hasil pengolahan data pada VES 3 dapat dilihat pada tabel 5.5

Tabel 5.5 Hasil Interpretasi Data VES 5

Kedalaman	Resistivitas	Litologi
0.00	1049.02	Soil
1.87	753.43	Tuf
2.99	246.76	Tuf
4.65	235.75	Tuff
8.68	73507.95	Lava

Pada titik VES 5 pelapisan bawah permukaan terdiri dari tuff dan lava, pada titik ini tidak terdapat lapisan batuan yang mengandung air.

5.1.2 Data Geolistrik Mapping

Hasil pengolahan data menghasilkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang bervariasi. Variasi nilai tersebut terdiri dari resistivitas rendah hingga resistivitas tinggi. Nilai resistivitas batuan dipengaruhi oleh kandungan air yang dimiliki, semakin besar kandungan air maka resistivitasnya semakin kecil.

Pada penelitian ini warna biru diinterpretasikan sebagai lapisan bawah permukaan dengan nilai resistivitas lebih rendah dari pada daerah sekitarnya. Oleh karena itu, lapisan dengan warna biru diduga merupakan lapisan yang memiliki kandungan air.

Selanjutnya, semakin besar nilai resistivitas ditunjukkan oleh warna yang menuju warna ungu gelap. Semakin besar nilai resistivitas maka menunjukkan batuan yang semakin kering dan kompak.

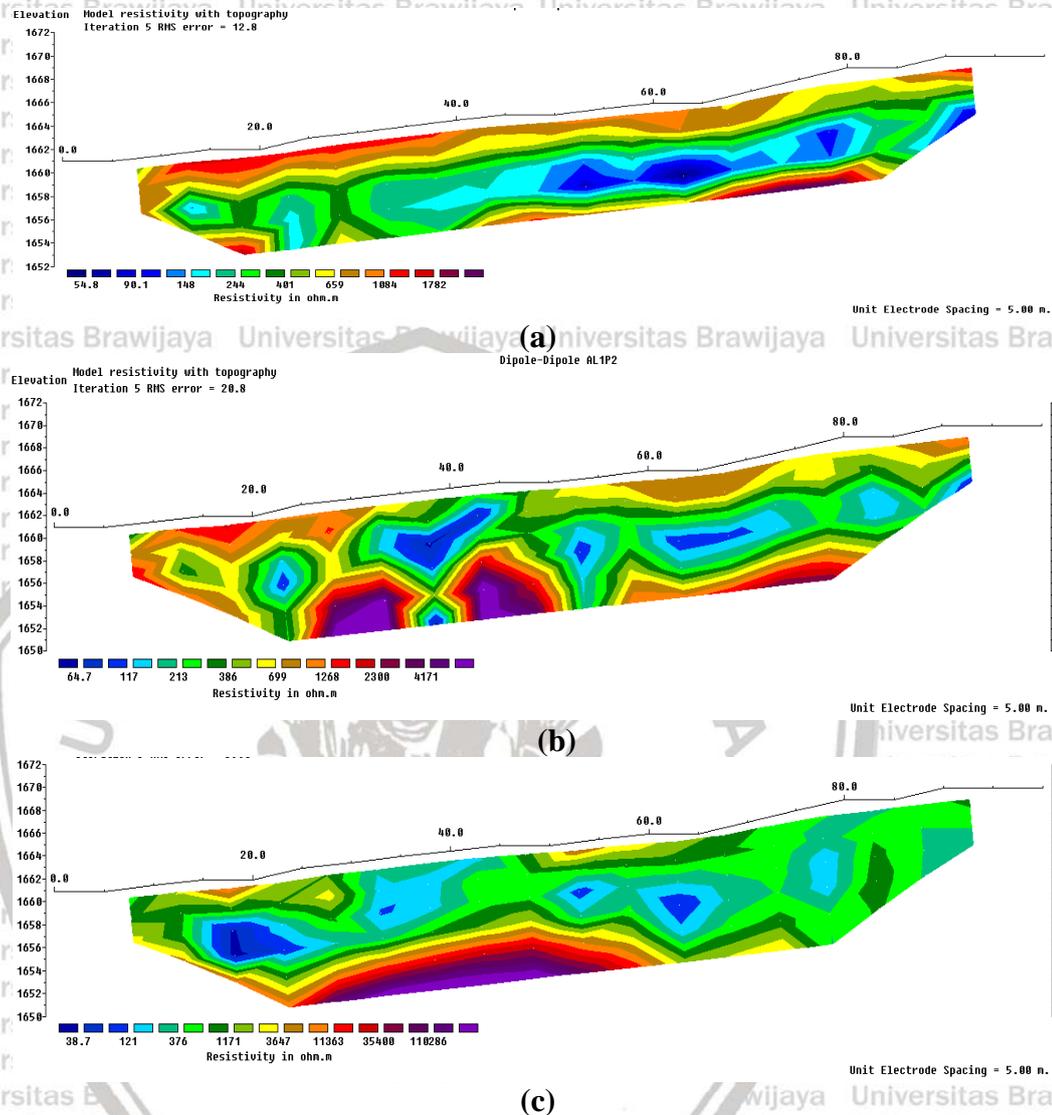
1. Perubahan Temporal Lapisan Bawah Permukaan Wilayah 1

Akuisisi data lintasan AL01 dilakukan pada lintasan yang membentang sepanjang 100 m. Lintasan tersebut membentang dari arah utara ke selatan.

Topografi lintasan AL01 antara 1960-1970 mdpl, dengan topografi tertinggi berada di titik 100 m dari titik nol lintasan AL01. Lintasan ini berada paling dekat dengan sungai yang berada di arah timur daerah penelitian. Data pada lintasan ini diambil sebanyak 3 variasi menunjukkan bahwa resistivitas rendah berada pada kedalaman rata-rata 5 m di bawah permukaan tanah dengan rentang nilai antara 30-158 Ohm.m.

Hasil interpretasi pada lintasan ini ditunjukkan pada Gambar 5.1. Pada gambar hasil pengolahan data lintasan AL01 didapatkan bahwa pada 3 periode pengambilan data terjadi perubahan keadaan dimana pada periode bulan Juli batuan mengandung air lebih banyak dijumpai dari pada periode lainnya. Pada bulan Juli resistivitas rendah

terdistribusi disepanjang lintasan. Namun pada bulan Agustus dan September distribusi resistivitas rendah membentuk blok pada beberapa bagian lintasan.

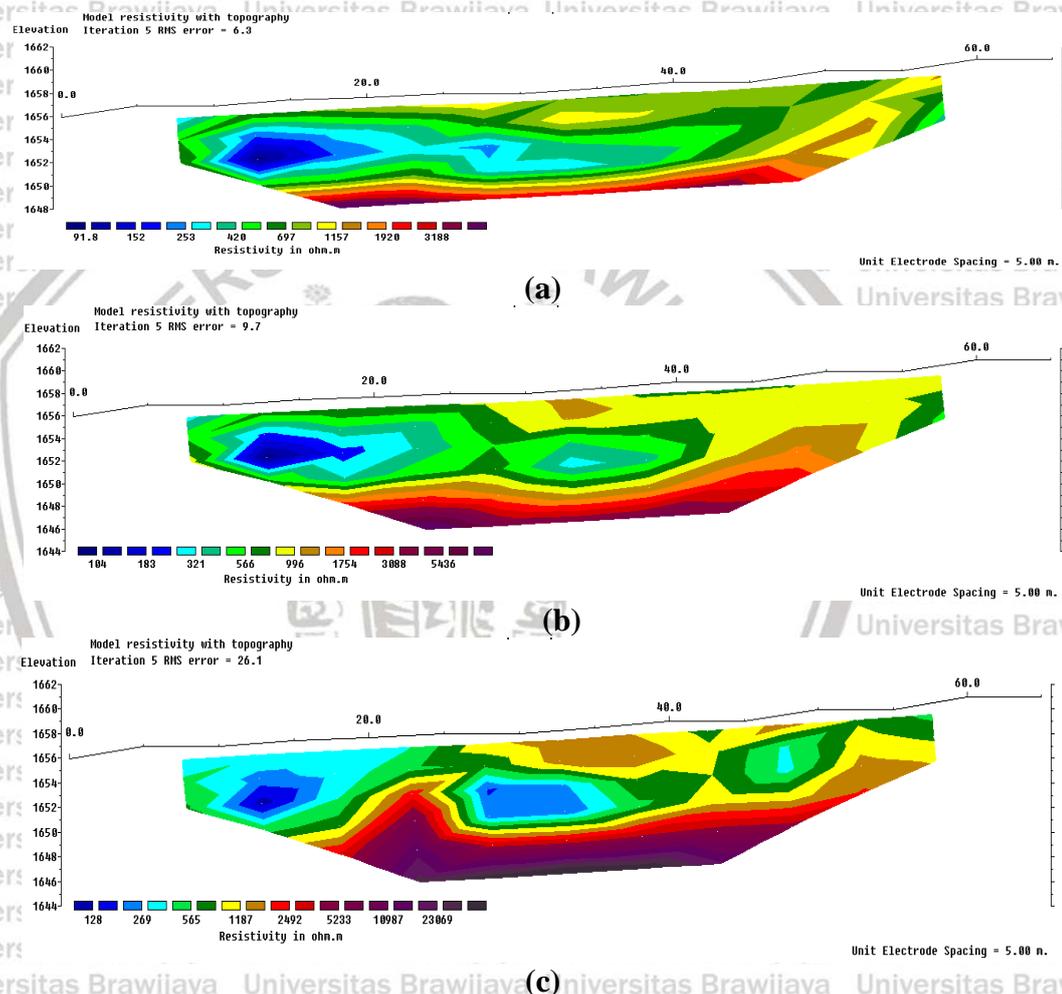


Gambar 5.1 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 01 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

Lintasan AL02 membentang dari barat ke arah timur sepanjang 65 meter.

Lintasan ini memiliki topografi antara 1655-1661 m dpl. Hasil pengolahan data pada lintasan ini ditunjukkan pada Gambar 5.2. Lintasan ini didominasi oleh batuan yang memiliki resistivitas tinggi diatas 400 ohm.m. Lintasan ini di interpretasikan terdiri dari batuan yang kering dan masif. Gambar 5.2 (a) menunjukkan kondisi bawah permukaan pada bulan Juli warna biru yang diduga mengandung air berada

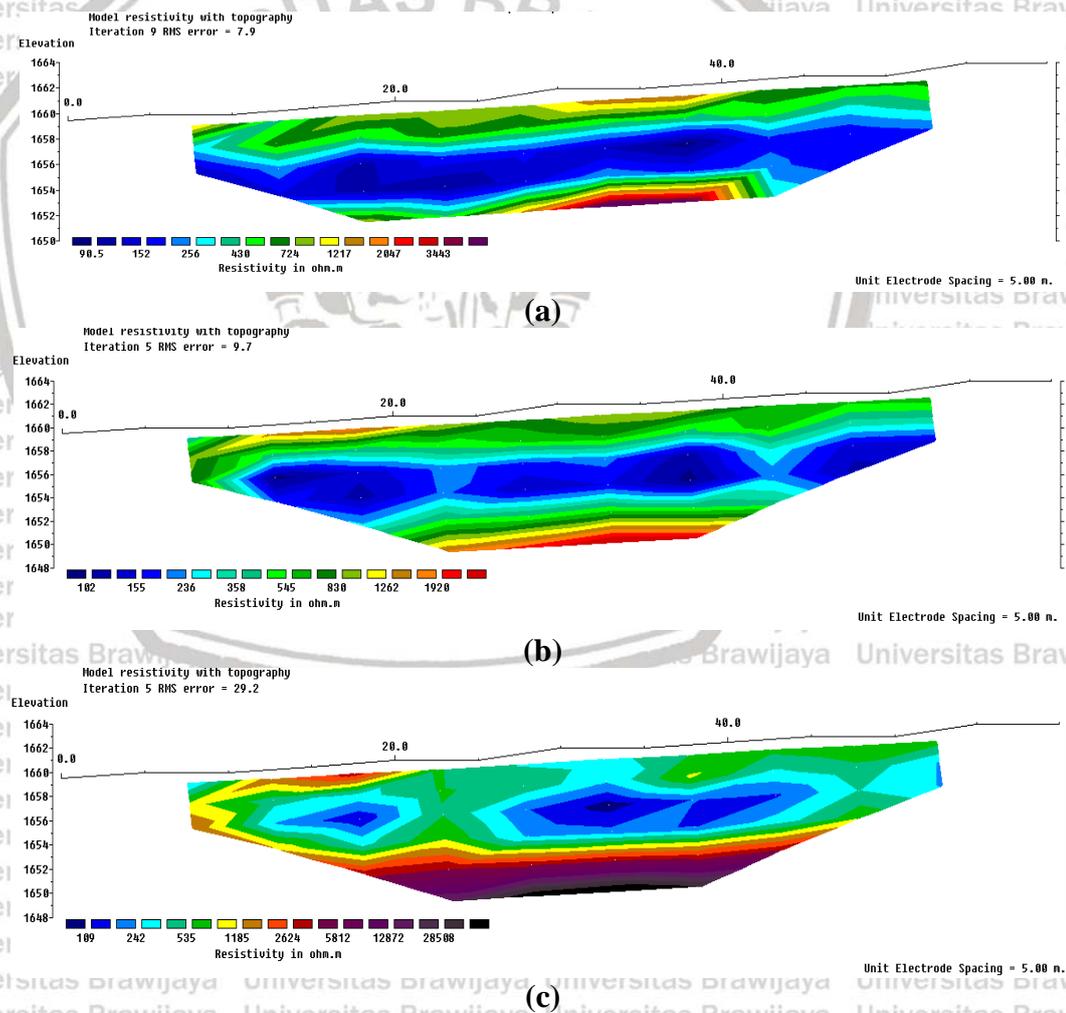
pada pada titik 10 m dari awal lintasan. Warna biru tersebut berada pada kedalaman 2-6 m dengan panjang 20 m. Kondisi AL 02 pada bulan Agustus yang ditunjukkan Gambar 5.2 (b) dimana warna biru yang diperoleh semakin memusat pada titik 10 m dari titik awal dengan panjang 10 m. pada gambar 5.2 (c) warna biru tua semakin berkurang dan berganti dengan warna biru muda mendekati hijau. Hal tersebut menunjukkan air yang diduga berada pada batuan semakin berkurang.



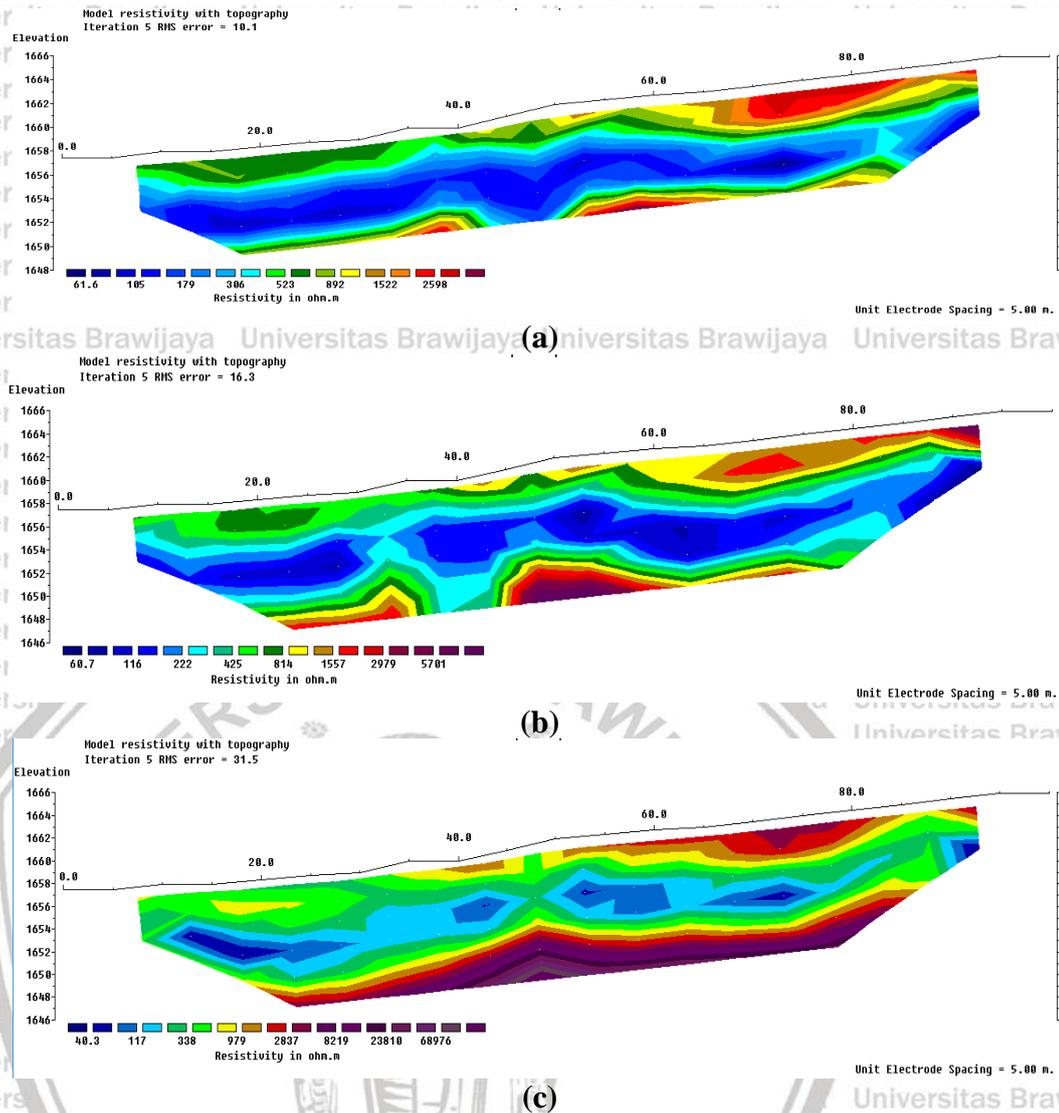
Gambar 5.2 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 02 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

Lintasan AL03 membentang dari barat ke timur dengan panjang bentangan sebesar 55 m. Spasi yang digunakan sebesar 5 m. Topografi lintasan AL03 berada pada rentang 1659-1663 mdpl. Nilai resistivitas rendah yang mendominasi pada

lintasan ini yaitu sebesar 79-200 Ohm.m. Gambar 5.3(a) menunjukkan kondisi bawah permukaan lintasan 3 pada periode pertama. Gambar tersebut menunjukkan bahwa warna biru tua ditemukan sepanjang lintasan pada kedalaman 4-8 m. Periode 2 ditunjukkan oleh gambar 5.3(b). Pada periode ini didapatkan lapisan berwarna biru di sepanjang lintasan. Biru tua pada lintasan ini jika dibandingkan dengan periode bulan Juli nampak lebih pudar. Konsistensi warna biru semakin berkurang pada bulan September yang ditunjukkan pada gambar 5.3(c). Pada bulan September warna biru terbagi menjadi 2 dengan panjang masing masing 10 m dan 20 m.



Gambar 5.3 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 03 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September



Gambar 5.4 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL04 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

Lintasan AL04 mementang dari utara ke selatan dengan panjang bentangan sebesar 100 m. Lintasan ini memiliki topografi antara 1657-1666 m dpl. Topografi tertinggi berada pada titik ke 100 m dari titik awal. Lintasan AL04 merupakan lintasan yang berada di dekat tandon air yang akan digunakan sebagai penampungan air sementara sebelum dialirkan di wilayah *Agrotechno Park*. Hasil interpretasi data pada lintasan AL04 ditunjukkan pada Gambar 5.4. Berdasarkan hasil pengolahan data nilai padalintasan ini didapatkan resistivitas rendah dengan rentang 40-200 ohm.m yang ditunjukkan oleh warna biru. Hasil pengolahan juga

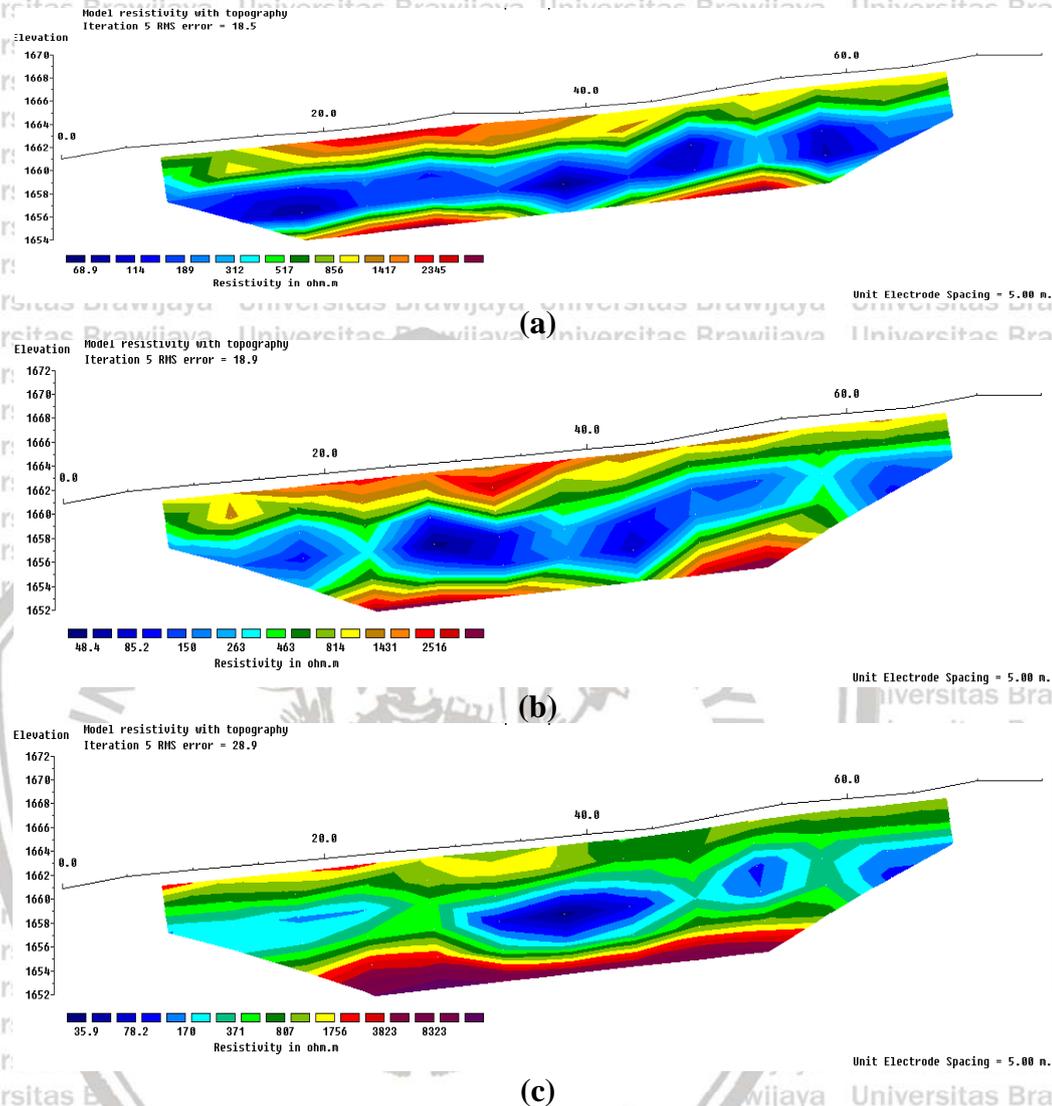
menunjukkan bahwa pada periode bulan Juli (Gambar 5.4 (a)) lapisan batuan yang diduga mengandung air membentang di sepanjang lintasan. Lapisan tersebut memiliki ketebalan 6 m yang dimulai dari ketebalan 2 m di bawah permukaan tanah.

Keadaan serupa juga didapatkan pada periode agustus yang ditunjukkan Gambar 5.4 (b). Pada periode ini konsistensi warna biru tua mulai digantikan warna biru muda yang menandakan pertambahan nilai resistivitas. Keadaan berbeda terjadi pada bulan September (Gambar 5.4 (b)) dimana pada periode ini yang mengandung air ditemukan hanya di beberapa bagian saja yaitu pada 10 m, dan 60 m dari titik awal dengan ketebalan yang kecil yaitu antara 1-2 m.

Lintasan AL05 memiliki panjang bentangan sebesar 75 m. Lintasan ini membentang dari barat ke timur dengan arah sedikit menyerong ke selatan. Lintasan ini berada pada rentang topografi antara 1660-1670 mdpl. Hasil pengolahan data pada lintasan AL 05 ditunjukkan pada gambar 5.5. Pada lintasan ini lapisan batuan yang diduga mengandung air berada diantara batuan yang memiliki resistivitas tinggi. lapisan bagian atas lintasan ini memiliki resistivitas yang tinggi diakibatkan adanya bongkahan batu pada permukaan tanah. Lapisan berwarna biru pada lintasan ini mengalami penurunan konsistensi pada setiap periode pengambilan data. Pada Gambar 5.5 (a) lapisan batuan mengandung air ditemukan di sepanjang lintasan pada kedalaman 4-9 m dibawah permukaan tanah dengan nilai resistivitas antara 60-200 ohm.m. Gambar 5.5 (b) dan (c) menunjukkan bahwa adanya penyempitan dan pemudaran warna biru menuju warna hijau.

Meskipun secara kualitatif gradasi warna disemakin menurun namun nilai resistivitas menjadi lebih kecil yaitu antara 30-200 ohm.m. Hal tersebut

dimungkinkan terjadi pemusatan air pada salah satu bagian bawah permukaan tanah.

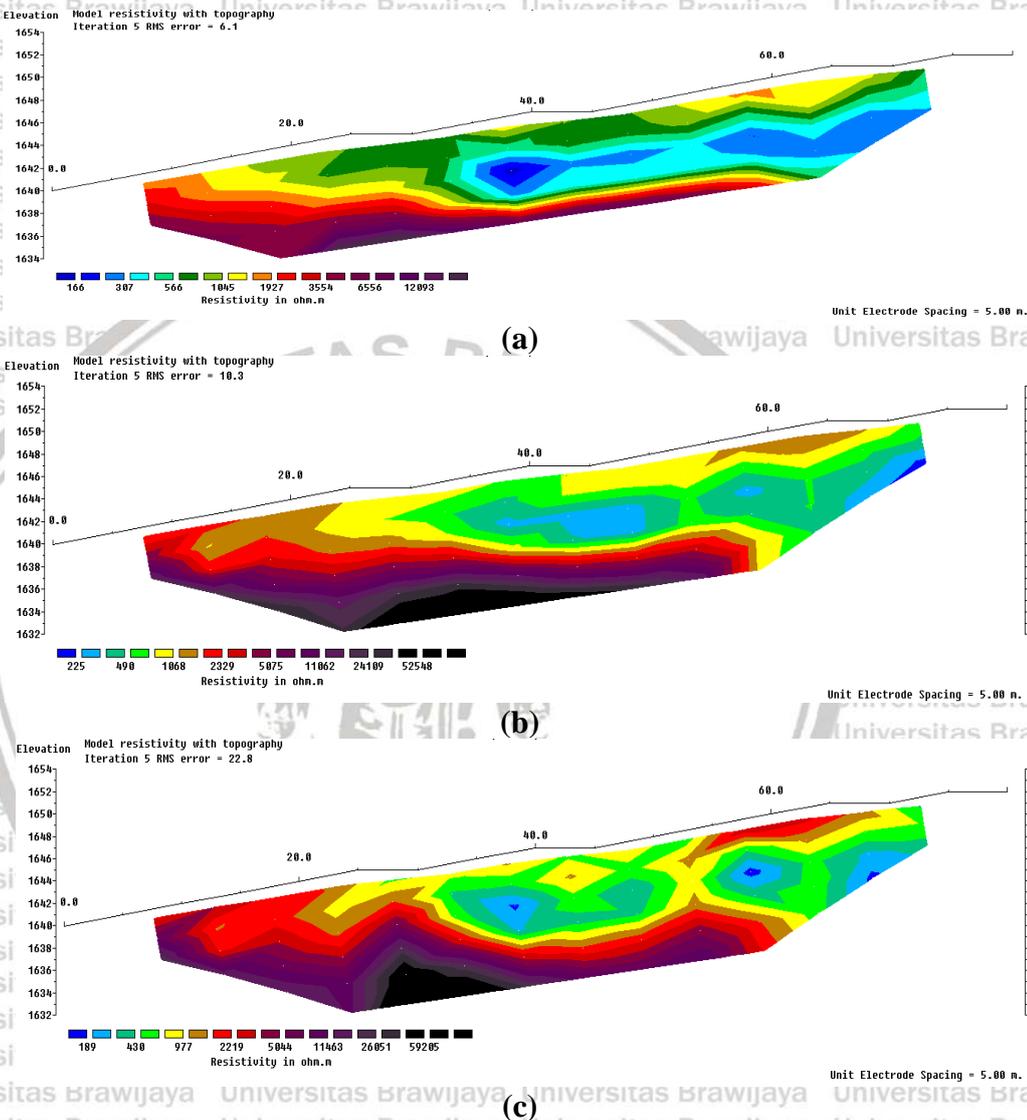


Gambar 5.5 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 05 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

2. Perubahan Temporal Lapisan Bawah Permukaan Wilayah 2

Lintasan AL06 membentang dari arah barat ke timur sejauh 80 m. Lintasan ini berada pada topografi antara 1640-1652 mdpl. Topografi tertinggi berada di titik 80 m dari titik awal lintasan. Hasil pengolahan data pada lintasan ini ditunjukkan pada Gambar 5.6. Lintasan AL06 secara umum memiliki batuan penyusun dengan

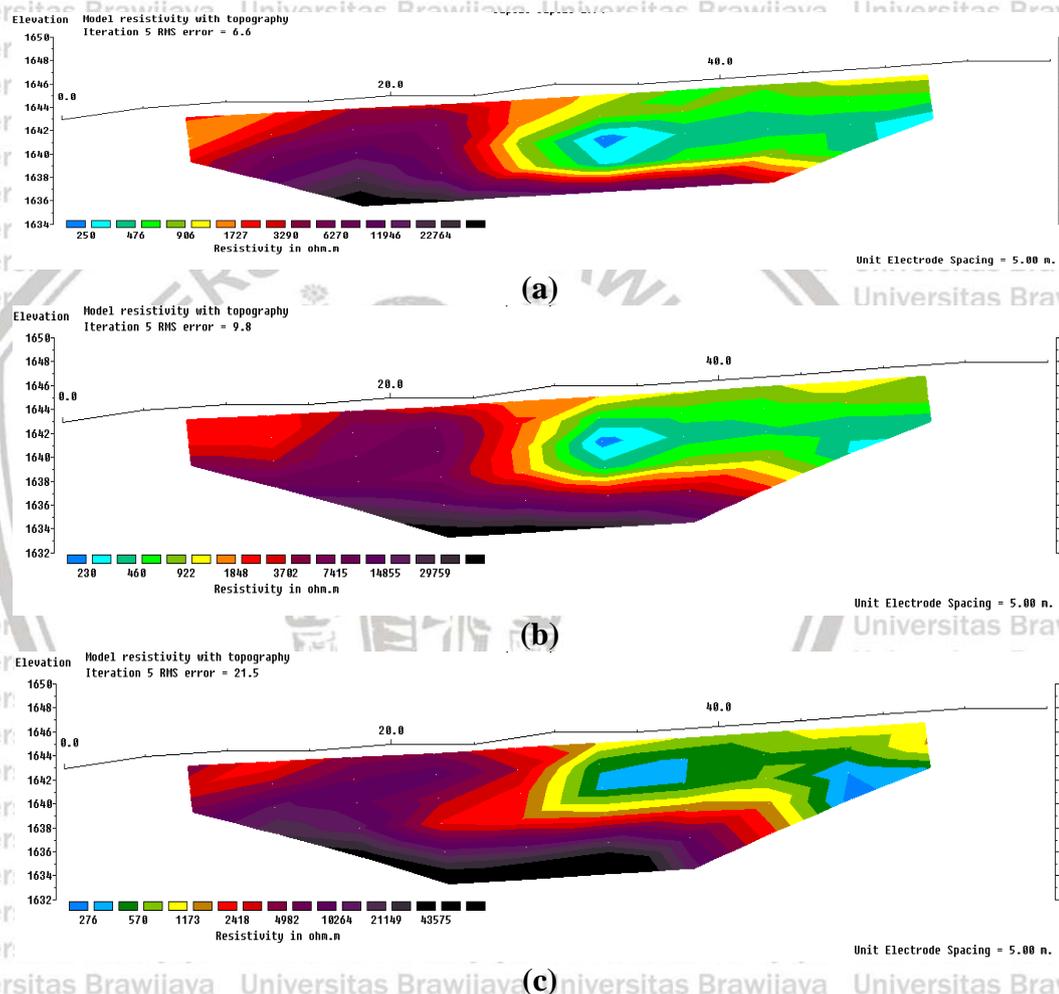
nilai resistivitas tinggi. Lapisan warna biru yang berada bulan Juli (Gambar 5.6 (a)) hanya dijumpai sedikit. Warna biru yang ditemukan pada penampang bulan Agustus (Gambar 5.6 (b)) dan September (Gambar 5.6(c)) semakin memudar yang menandakan bertambahnya nilai resistivitas batuan .



Gambar 5.6 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 06 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

Lintasan AL07 merupakan lintasan yang membentang sepanjang 60 m dari arah utara menuju ke selatan. Lintasan ini berada pada topografi antara 1643-1647m dpl. Lintasan ini memiliki titik perpotongan dengan lintasan AL06 pada titik 40 m dari titik awal lintasan AL07. Hasil pengolahan data pada lintasan ini ditunjukkan

pada Gambar 5.7. Pada lintasan AL07 lapisan dengan resistivitas tinggi yang digambarkan dengan warna ungu gelap menempati sebagian besar lintasan. Semakin menuju bulan september luasan berwarna ungu gelap semakin lebar. Keadaan sebaliknya terjadi pada area yang berwarna biru, warna biru semakin menghilang dan berganti menjadi warna hijau. Hal ini disebabkan berkurangnya kandungan air sehingga nilai resistivitas semakin berkurang.



Gambar 5.7 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 07 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

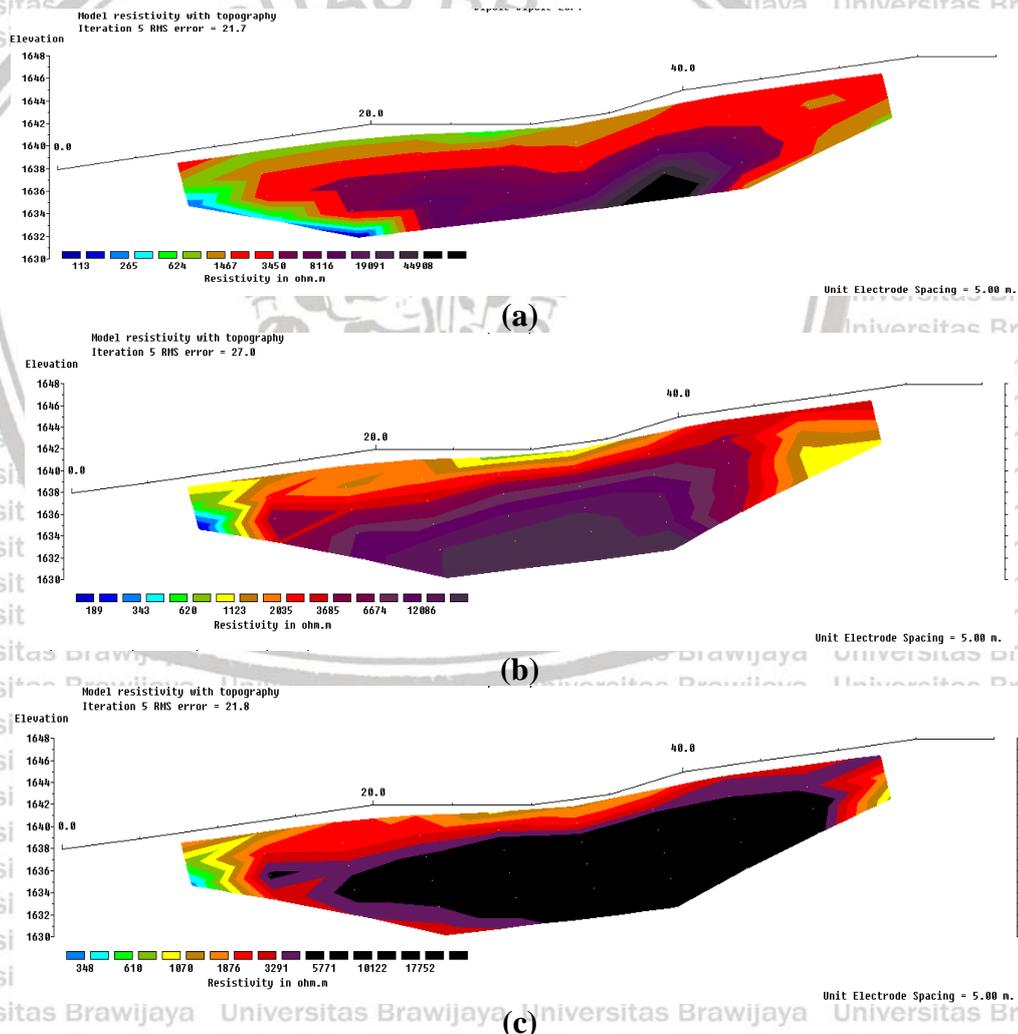
Lintasan AL08 membentang dari arah barat ke timur dengan panjang bentangan sebesar 60 m. Lintasan ini berada pada topografi antara 1638-1647 mdpl.

Dengan topografi tertinggi berada di titik 60 dari titik awal lintasan AL08. Berikut

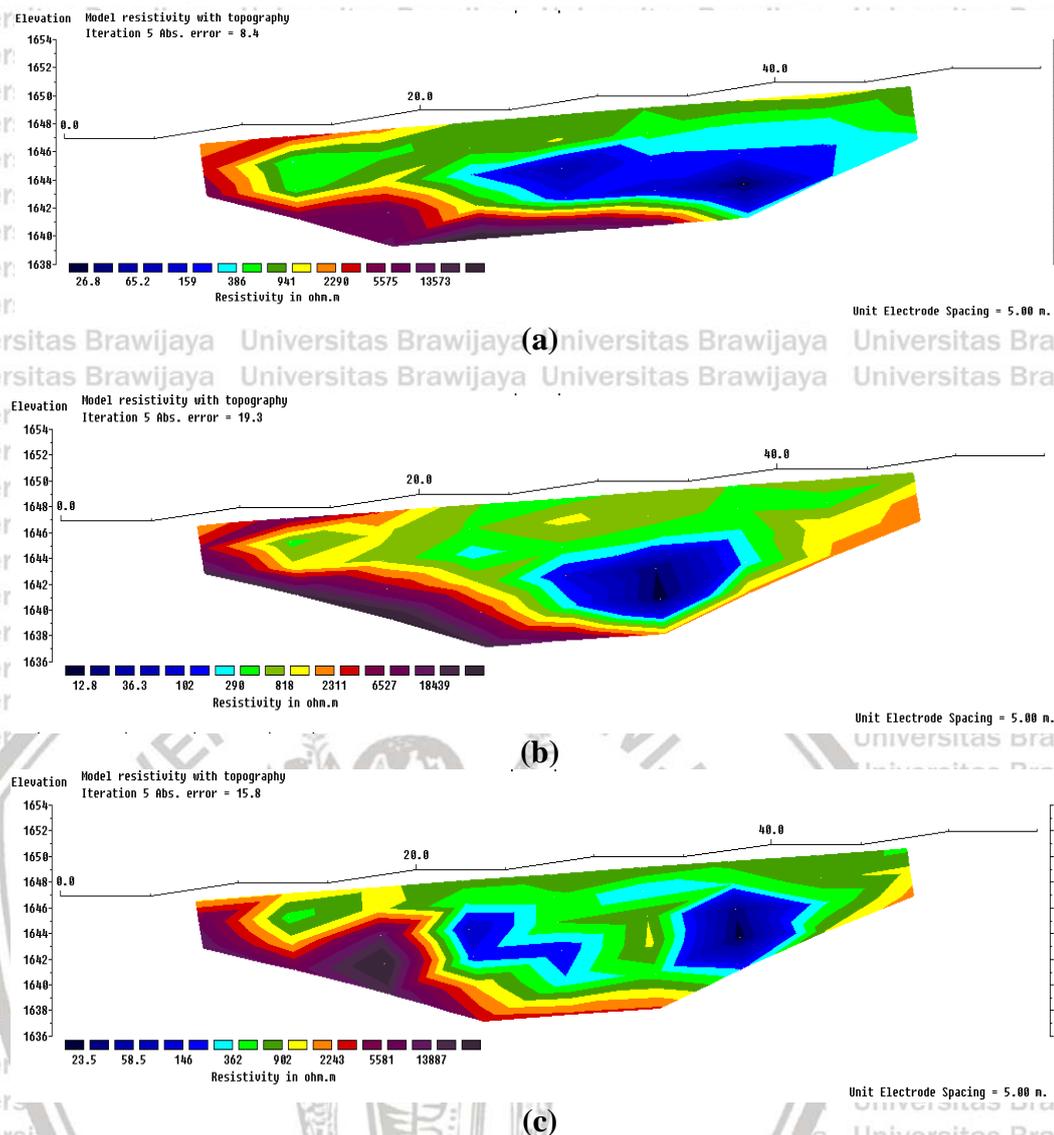
ini merupakan hasil pengolahan data lintasan 8 yang ditunjukkan Gambar 5.8.

Berdasarkan hasil pengolahan data diketahui bahwa pada lintasan AL08 memiliki nilai resistivitas yang tinggi yaitu >1000 ohm.m. nilai resistivitas yang didapat tidak menunjukkan adanya lapisan yang mengandung air pada lintasan ini.

Tingginya nilai resistivitas batuan pada lintasan ini ditemukan pada seluruh periode pengambilan data yang ditunjukkan pada gambar 5.8 (a), (b), dan (c). Berdasarkan ketiga gambar tersebut terjadi perubahan warna menuju warna ungu tua. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa batuan dengan resistivitas tinggi juga mengalami peningkatan nilai resistivitas.



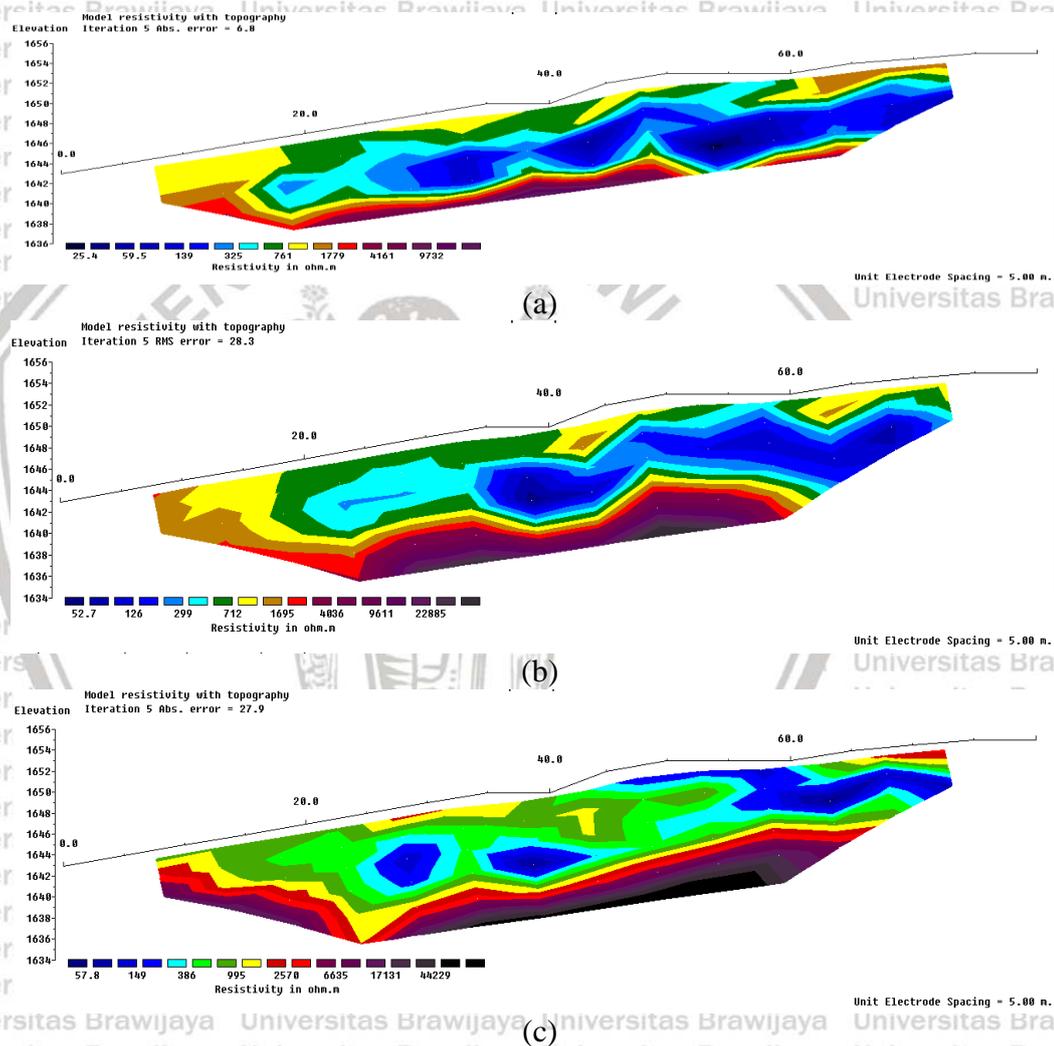
Gambar 5.8 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 08 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September



Gambar 5.9 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL09 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

Lintasan AL09 memiliki panjang bentangan sebesar 60 m. Lintasan ini berada pada topografi antara 1645-1652 mdpl. Lintasan ini memotong lintasan AL06 pada titik 67 m dari titik awal lintasan AL06. Berikut ini merupakan hasil pengolahan data lintasan AL09 yang ditunjukkan Gambar 5.9, berdasarkan hasil dapat dilihat bahwa resistivitas rendah yang ditunjukkan oleh warna biru berada pada kedalaman 5-10 m dibawah permukaan tanah. Lapisan tersebut diduga merupakan lapisan yang mengandung air. Berdasarkan tiga data pengamatan dapat dilihat bahwa resistivitas

pada lintasan AL09 mengalami perubahan yaitu terjadi penurunan intensitas serta kuantitas dari resistivita rendah. Dimana pada bulan juli resistivitas rendah ditemukan pada 20-40 m dari titik awal dengan rata rata resistivitas antara 20-200 ohm.m. Pada bulan Agustus ditemukan pada 25-35 m dari titik awal dengan resistivitas antara 10-200 ohm.m. Selanjutnya, pada bulan September resistivitas rendah antara 20-200 ohm.m berada pada 35-40 m dari titik awal.

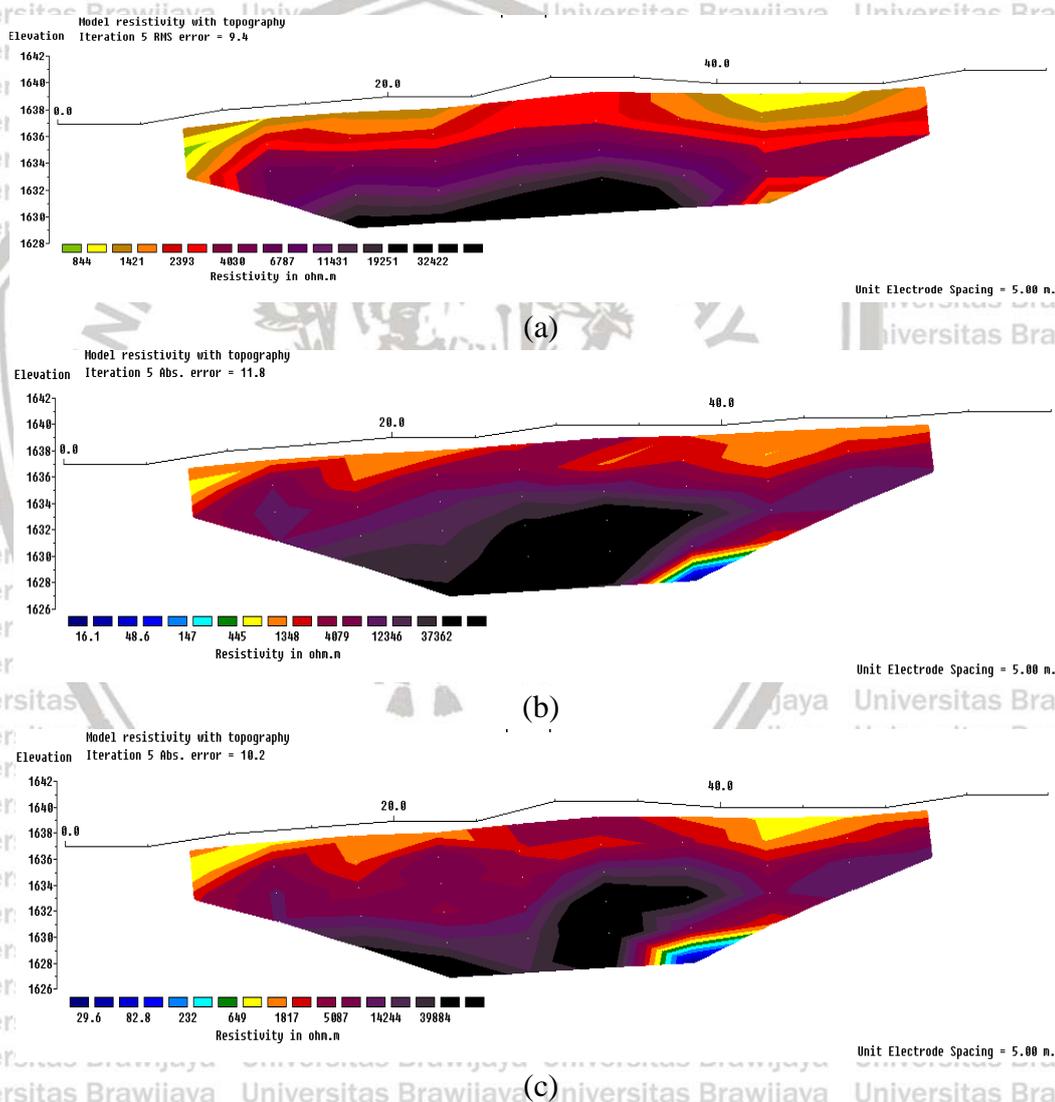


Gambar 5.10 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 10 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

Lintasan AL10 membentang dari arah barat ke timur dengan panjang bentangan sebesar 80 m. Lintasan ini berada pada topografi antara 1643-1655 mdpl.

Topografi terendah berada pada titik 0m kemudian berangsur-angsur naik seiring

bertambahnya panjang lintasan. Berikut ini merupakan hasil pengolahan data lintasan AL10 yang ditunjukkan Gambar 5.10. berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh lapisan berwarna biru pada tiga periode rata-rata berada pada kedalaman 2-8 m di bawah permukaan tanah. Berdasarkan tiga hasil yang dibandingkan diperoleh kenaikan resistivitas pada setiap periode. Periode bulan juli merupakan periode yang memiliki lapisan berwarna biru paling banyak. Lapisan biru ini semakin menuju September intensitasnya semakin berkurang.



Gambar 5.11 Hasil pengolahan geolistrik lintasan AL 11 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

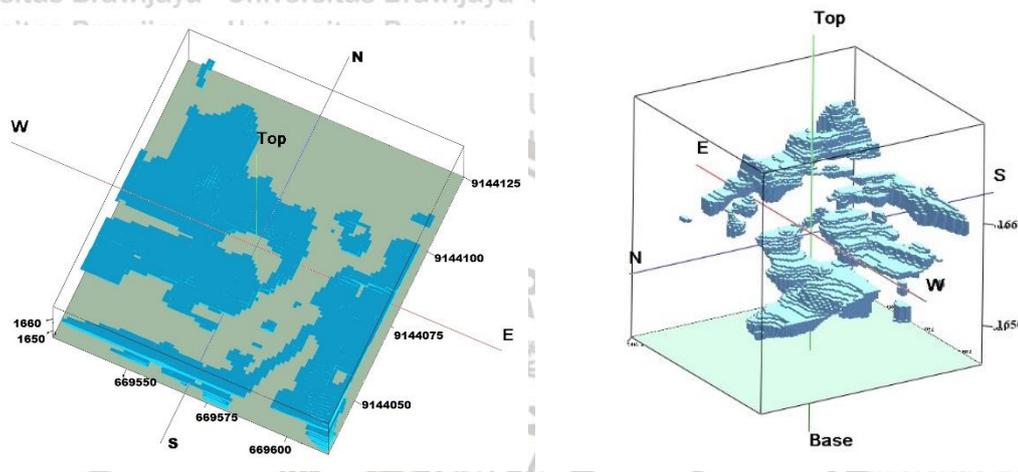
Lintasan AL11 memiliki panjang bentangan sebesar 60 m. Lintasan ini berada pada topografi antara 1637-1642 mdpl dengan topografi tertinggi berada pada titik 60 m dari titik awal lintasan. Berikut ini merupakan hasil pengolahan data lintasan AL10 yang ditunjukkan Gambar 5.11. berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan hasil penampang 2D kondisi bawah permukaan berupa lapisan dengan resistivitas tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa pada lintasan AL11 tidak didapatkan tuang yang mengandung air. Pada lintasan ini diduga didominasi oleh batuan lava yang kering dan kompak.

5.2 Pembahasan

Metode geolistrik merupakan metode yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan keadaan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas batuan. Nilai resistivitas batuan merupakan respon batuan terhadap aliran listrik yang diinjeksikan. Setiap batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda. Semakin padat dan kompak suatu batuan maka batuan akan memiliki resistivitas yang tinggi.

Secara umum hasil pengolahan data menunjukan bahwa batuan penyusun bawah permukaan daerah *Agrotechno Park* memiliki nilai resistivitas yang tinggi dan hanya sebagian kecil yang memiliki resistivitas rendah. Hasil tersebut memiliki kesesuaian jika dibandingkan dengan data geologi wilayah *Agrotechno Park*. Seperti yang telah diketahui, wilayah *Agrotechno Park* terdiri dari produk-produk aktivitas gunungapi Arjuno-Welirang. Produk-produk yang dimaksud berupa batuan lava dan tuff yang diselingi pasir. Batuan vulkanik tersebut memiliki karakteristik resistivitas yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan batuan lempung, batuan kapur dan sebagainya.

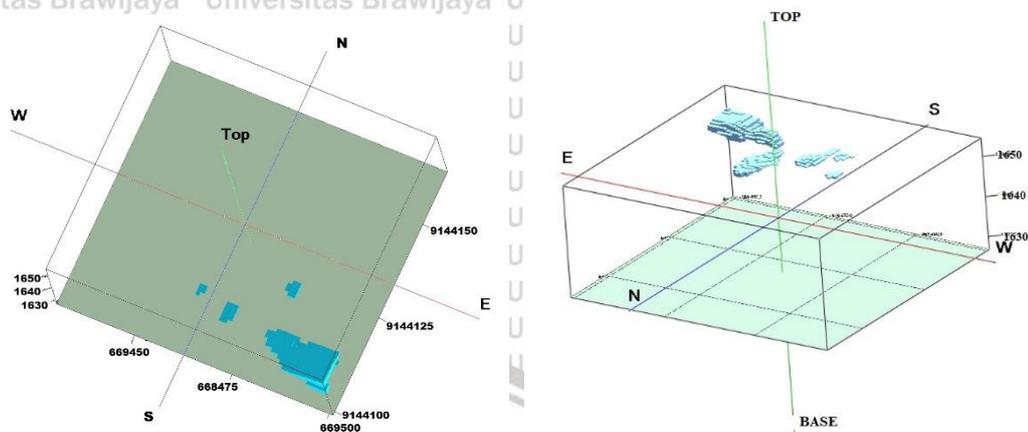
Air bawah tanah yang berada pada wilayah penelitian akan menempati ruang-ruang pada batuan. Pengisian ini mengakibatkan menurunnya nilai resistivitas batuan. Resistivitas batuan yang rendah pada setiap lintasan jika digabungkan akan mereresetasikan bentuk persebaran air di daerah penelitian. Persebaran air pada daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.13 dan 5.14.



Gambar 5.12 Penyebaran batuan pembawa air pada wilayah 1

Pada gambar 5.12 menunjukkan penyebaran batuan pembawa air pada wilayah 1 daerah penelitian. Gambar kiri menunjukkan penyebaran pembawa air tampak atas sedangkan pada gambar kanan merupakan tampak samping. Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa batuan mengandung air menyebar di wilayah 1. Lokasi pembawa air dengan elevasi yang tinggi berada dibagian selatan dan kemudian semakin menuju utara dan barat elevasinya semakin rendah. Pada wilayah 1 memiliki lapisan dengan resistivitas rendah antara 30-200 ohm.m. Nilai tersebut juga menunjukkan bahwa terdapat lapisan bawah permukaan yang mengandung air namun lapisan tersebut tidak jenuh dengan air. Pada wilayah ini dapat dikatakan bahwa potensi air di daerah ini rendah. Nilai resistivitas tersebut juga menginterpretasikan bahwa meskipun daerah penelitian berada di daerah

geotermal namun air pada daerah tersebut bukan merupakan air panas. Dimana air panas memiliki resistivitas >10 ohm.m (Rakhmanto, 2011).

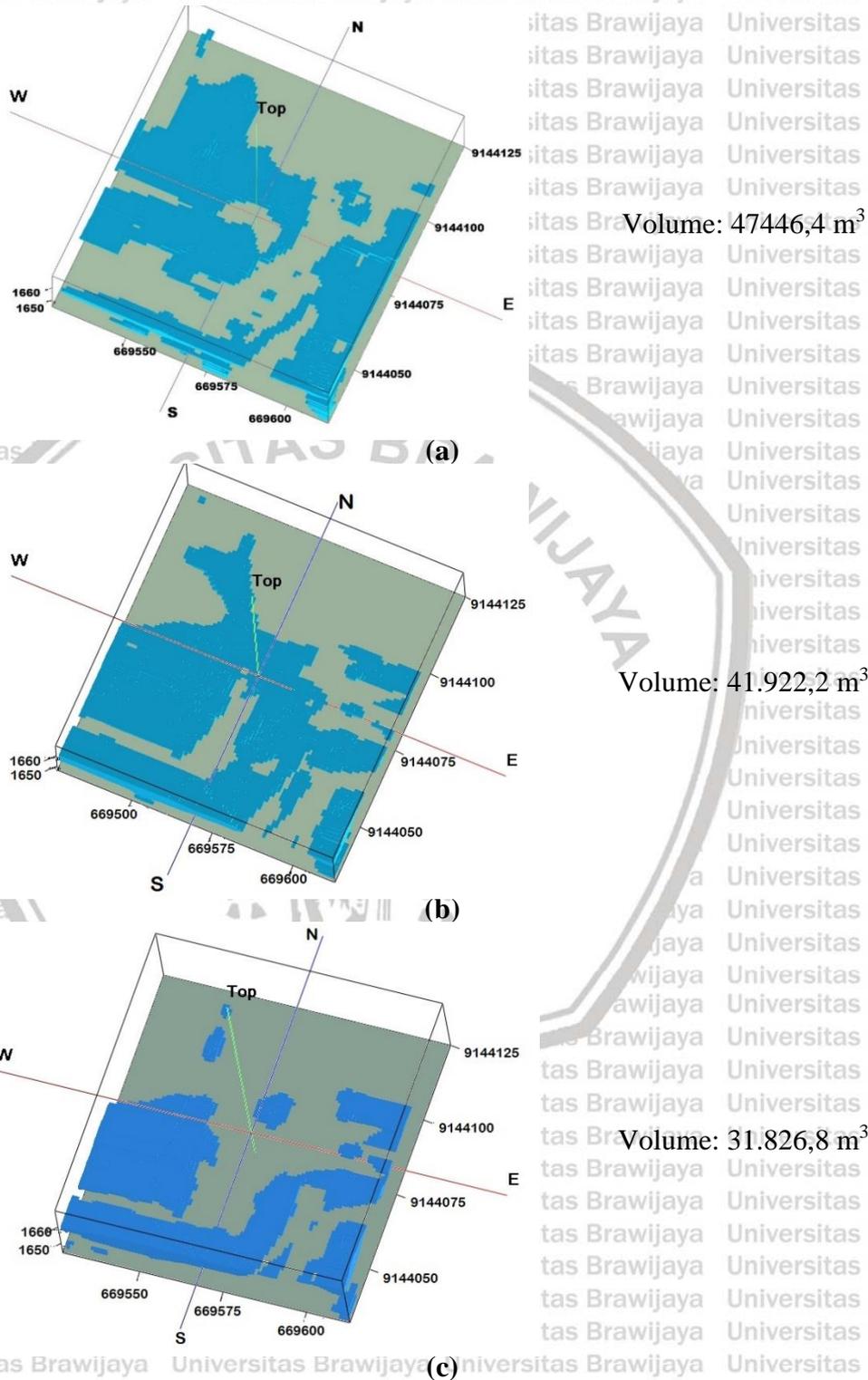


Gambar 5.13 Penyebaran batuan pembawa air pada wilayah 2

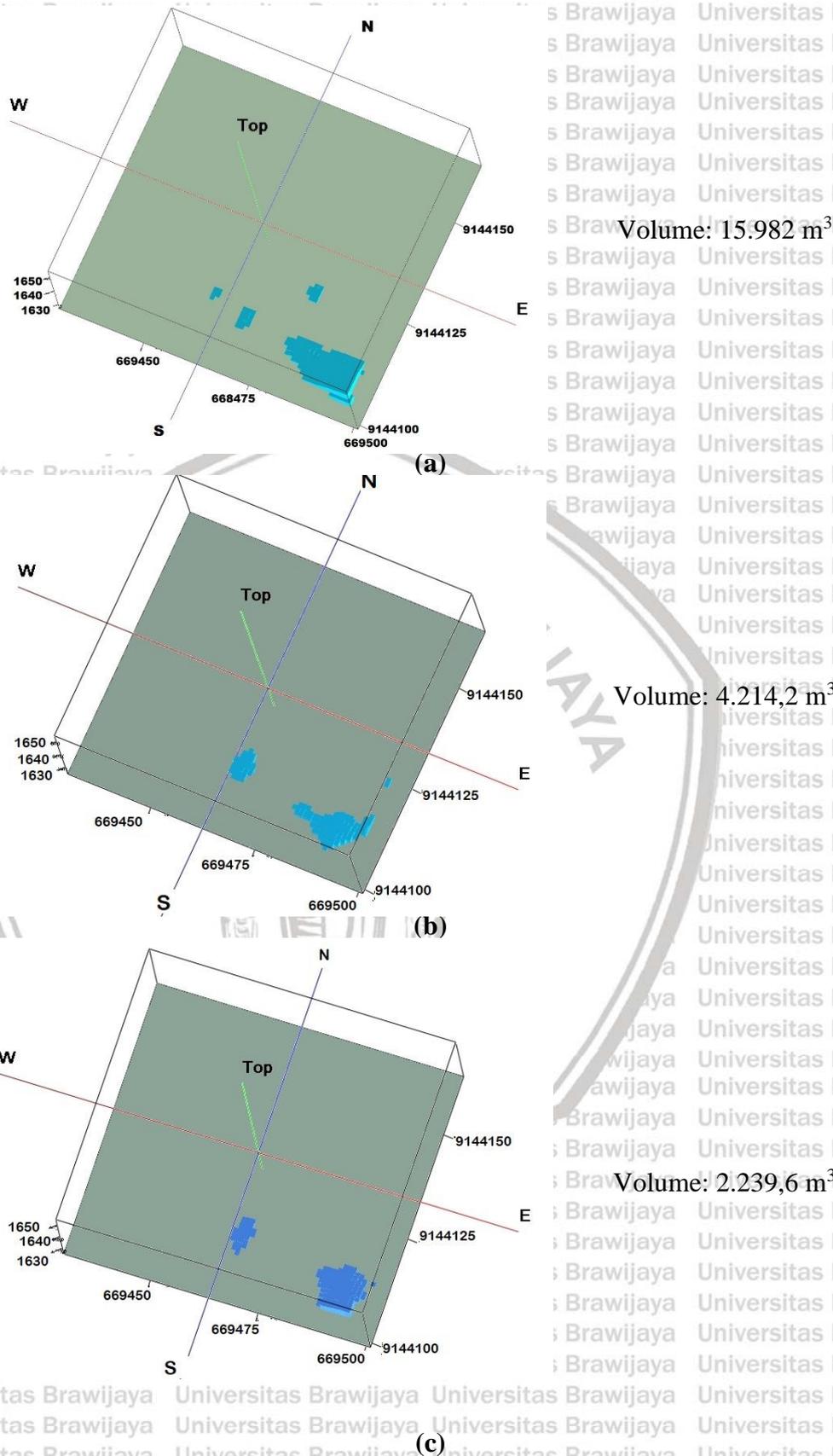
Gambar 5.13 menunjukkan penyebaran batuan yang diduga membawa air pada wilayah 2. Gambar kiri menunjukkan penyebaran pembawa air tampak atas sedangkan pada gambar kanan merupakan tampak samping. Pada wilayah 2 seperti yang dijelaskan pada bagian hasil penelitian bahwa wilayah ini memiliki resistivitas yang tinggi >1000 ohm.m sehingga lapisan batuan yang diduga mengandung air hanya sebagian kecil saja. Lapisan mengandung air pada wilayah ini berpusat pada arah tenggara. Pada wilayah ini dapat disimpulkan bahwa tidak ada aliran air dan tidak ada potensi air tanah. Lapisan yang mengandung air diduga merupakan perpanjangan dari wilayah 1.

Pengambilan data geolistrik dilakukan secara berkala. Pengambilan data geolistrik secara berkala seperti yang telah dilakukan pada peneliti memiliki beberapa keuntungan salah satunya adalah dapat mengetahui perubahan keadaan bawah permukaan seiring perubahan kondisi curah hujan. Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali. Ketiga data tersebut masing-masing diambil pada bulan Juli, Agustus, dan September. Berdasarkan analisis data terjadi

perubahan keadaan bawah permukaan dari bulan Juli menuju bulan September. Perubahan lapisan mengandung air secara kualitatif dan kuantitatif ditunjukkan pada Gambar 5.14, untuk wilayah 1 dan 5.15 untuk wilayah 2.



Gambar 5.14 Model 3D persebaran lapisan mengandung air wilayah 1 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September



Gambar 5.15 Model 3D persebaran lapisan mengandung air wilayah 2 (a) bulan Juli, (b) bulan Agustus, (c) bulan September

Kenaikan nilai resistivitas diduga dikarenakan berkurangnya kadar air. Hal tersebut terbukti dengan perubahan volume lapisan mengandung air pada bawah permukaan daerah penelitian. Berkurangnya kadar air dalam tanah dapat dikarenakan faktor input dan output air dalam lapisan bawah permukaan (Winters G., et al., 2015). Output air pada penelitian ini dapat diabaikan sebab tidak ada perubahan eksplorasi air saat pengambilan data. Perubahan kondisi air ini dikarenakan input air yaitu hujan. Berdasarkan data curah hujan dari BMKG (dapat dilihat pada lampiran 2) diketahui bahwa terdapat perbedaan curah hujan antara bulan Juni sampai September. Berdasarkan data curah hujan mengalami penurunan kemudian naik pada bulan september. Interpretasi data yang digunakan adalah data yang berasal dari bulan sebelumnya dari bulan pengambilan data sehingga terjadi kesesuaian bahwa nilai resistivitas akan semakin besar saat menuju bulan September.

Perubahan pada wilayah 1 mengalami perubahan pola pada setiap periode. Hal tersebut dapat diartikan bahwa pada wilayah 1 lapisan bawah permukaan merupakan lapisan batuan yang dapat diisi air. Keberadaan air tersebut bergantung pada adanya input oleh air hujan oleh karena itu potensi yang berada pada wilayah 1 dapat dikatakan rendah. Dengan potensi yang rendah wilayah 1 tidak cocok untuk dilakukan eksplorasi hidrologi.

Pada wilayah 2 tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap pola penyebaran pada setiap periode. Hal tersebut dapat diartikan bahwa pada wilayah 2 terdiri dari lapisan bawah permukaan berupa batuan kompak. Batuan kompak ini memiliki porositas yang rendah sehingga tidak dapat diisi air. Pada wilayah 2 dikatakan bahwa tidak berpotensi air.

BAB V PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Batuan di lokasi penelitian didominasi oleh batuan beresistivitas tinggi yang terdiri dari tuf, pasir, dan lava. Lapisan ini kurang mempunyai sifat sebagai lapisan pembawa air.
2. Berdasarkan model 3D yang dihasilkan dari pengolahan data resistivitas didapatkan persebaran air didaerah penelitian . Persebaran lapisan pembawa air terkonsentrasi di arah tenggara kemudian semakin menuju ke barat laut sesuai dengan arah aliran sungai yang ada didekat daerah penelitian.
3. Terjadi perubahan nilai resistivitas seiring dengan perubahan curah hujan yang terjadi didaerah penelitian. Semakin besar curah hujan maka semakin kecil resistivitas batuan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa belum ditemukan lokasi yang memiliki potensi air tanah yang tinggi maka disarankan untuk melakukan pengambilan data dengan memperluas wilayah penelitian. Rekomendasi perluasan wilayah penelitian berada di bagian barat laut. Selain itu, pengambilan data dengan metode ini lebih banyak dilakukan perulangan serta ditunjang dengan metode lain.

DAFTAR PUSTAKA

Alamry, A. S., Meijde, M. V. D., Noomen, M., Addink, E. A., Benthem, R. V., De Jong, S. M., (2017), Spatial and temporal monitoring of soil moisture using surface electrical resistivity tomography in Mediterranean soils. *Catena*, 157, 388-396.

Aning A. A., Sackey N., Jakalia I. S., Sedoawu O., Tetteh E. H., Hinson G., Akorlie R. K., Appiah D., Quaye E. K., (2014), Electrical Resistivity as a Geophysical Mapping Tool; A Case Study Of The New Art Department, Knust- Ghana. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(1), 1-7.

Anomohanran, O., 2017. Investigation of Groundwater in Parts of Ndokwa District in Nigeria Using Geophysical Logging and Electrical Resistivity Methods: Implications for Groundwater Exploration. *Journal of Taibah University for Science*, 129, 108-116.

Jayeoba, A., Oladunjoye, M. A., (2015), 2-D Electrical Resistivity Tomography for Groundwater Exploration in Hard Rock Terrain. *International Journal of Science and Technology* 4(4), 156-163.

Kuswoyo, A. dan Masduqi, A., (2014), Pemetaan Potensi Air Tanah Sebagai Sumber Air Bersih Di Daerah Pesisir Pantai Batakan Kabupaten Tanah Laut. *Jurnal Teknologi & Industri*, 1(3), 1-10.

Kruseman g. p. dan de rider. 2000. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement.

Lee, L. J. E., Lawrence, D. S. L., Prince, M. (2006), Analysis Of Water Level To Rainfall And Implications For Recharge Pathways Inthe Chalk Aquifer, England. *Journal Hydrologi* (330), 604-620.

Loke, M. H., 2000, *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Partical Guide to 2-D and 3-D Surveys*

Prabowo R. E., Yuliyanto G., Nurwidyanto M. I., (2006), *Pemodelan Tomografi Cross-Hole Metode Geolistrik Resistivitas (Bentuk Anomali Silindris). Berkala Fisika* 1(9), 23-30.

Rahmanto, F., Maryanto, S., Susilo, A., (2011), *Tomografi Geolistrik Daerah Sumber Air Panas Cangar, Batu Kompleks Arjuno-Welirang. Natural B* 1(2), 188-195.

Ralph C., 1983, *Basic Ground Water Hydrology*, Virginia : U.S. Geological Survey.

Ravindran, Antony., Prabhu, M. A. K., (2012). *Groundwater Exploration Study Using Wenner-Schlumberger Electrode Array Through W-4 2D Resistivity Imaging Systems At Mahapallipuram, Chennai, Tamilnadu, India. Research Journal of Recent Sciences* 1(11), 36-40.

Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. United State of America: John Wiley & Sons.

Santosa, S. dan Suwarti, T. 1997. *Geologi lembar malang* .departemen pertambangan dan energi.

Santoso, Budi.2016, *Penentuan Resistivitas Batubara Menggunakan Metode Electrical Resistivity Tomography dan Vertical Electrical Sounding. Jurnal Material dan Energi Indonesia* 1(6), 8-14.

Seyhan, Ersin. 1977. *Fundamental of hydrology*. Revised Edition. Instituut Voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit. Amsterdam. Terjemahan S.

Subagyo. 1995. *Dasar dasar hidrologi*. Cetakan 3. Gajah mada university Press. Yogyakarta.

Sherrod, L (2016), *Subsurface structure of water-gas escape features revealed by ground-penetrating radar and electrical resistivity tomography*, Glen

Canyon National Recreation Area, Lake Powell delta, Utah, USA.
Sedimentary Geology 1(344), 160-174.

Suciningtyas, Ika Karlina L. N., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A., 2013.

Sebaran Mata Air Panas Blawan Ijen Berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas. *Natural B* 2(2), 164-171.

Telford, W.M., Geldart, L.P., & Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. USA: Cambridge University Press.

Tim Survey Terpadu Geologi dan Geokimia PSDG, 2010. *Laporan Akhir Survey Geologi Dan Geokimia Daerah Panas bumi Arjuno-Welirang Kabupaten Mojokerto dan Malang Provinsi Jawa Timur*. (Laporan Akhir). Bandung

Todd, D. K., 1980. *Groundwater Hydrology, Second Edition*. United State of America: John Wiley & Sons.

Vebrianto, S., 2015. *Eksplorasi Metode Geolistrik: Resistivitas, Polarisasi, Terinduksi Dan Potensial Diri*. Malang: UB Press.

VenkataRao, G., Kalpana, P., SrinivasaRao, R., (2014), Groundwater Investigation Using Geophysical Methods- A Case Study of Pydibhimavaram Industrial Area. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(16), 13-17.

Wagner, F. M., Möller, M., Hattenberger, C. S., Kempka, T., Maurer H., (2013), Monitoring freshwater salinization in analog transport models bytime-lapse electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 89, 84-95.

Winters, G., Ryvkin, I., Rudkov, T., Moreno, Z., Furman, A., (2015), Mapping underground layers in the super arid Gidron Wadi using electrical resistivity tomography (ERT). *Journal of Arid Environments*, 121, 79-46.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian

Tabel L1.1 Lintasan AL01

No.	n	a	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum (M)	I (mA)	R (Ohm)		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	7.692	8.391	8.061
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	5.736	5.607	6.663
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	6.787	5.814	3.747
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	6.769	9.946	10.052
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	7.389	6.589	6.193
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	1.504	1.886	2.362
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	0.896	0.805	0.279
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	1.075	1.175	0.546
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	1.088	1.326	0.975
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	0.985	0.666	0.469
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.523	0.513	0.263
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.328	0.347	0.456
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.333	0.312	0.053
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	0.365	0.327	0.243
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	0.271	0.119	0.134
16	3	5	25	30	45	50	37.5	0.002	0.357	6.499	1.033
17	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.260	0.310	0.103
18	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.150	0.128	0.060
19	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.171	0.127	0.030
20	4	5	15	20	40	45	30	0.002	0.141	0.090	0.070
21	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.143	0.421	0.352
22	4	5	25	30	50	55	40	0.002	0.158	1.751	0.612
23	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.132	0.131	0.217
24	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.085	0.055	0.121
25	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.079	0.048	0.350
26	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.109	0.217	0.749
27	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.088	0.164	0.237
28	5	5	25	30	55	60	42.5	0.002	0.097	0.297	0.408
29	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.081	0.061	0.177
30	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.043	0.023	0.114
31	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.053	0.072	0.480
32	6	5	15	20	50	55	35	0.002	0.056	0.090	0.583
33	6	5	20	25	55	60	40	0.002	0.051	0.070	0.312
34	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.049	0.016	0.708
35	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.036	0.061	0.243

Dst.

Tabel LI.2 Lintasan AL02

No.	n	a	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum (M)	I (mA)	R (Ohm)		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	5.994	7.764	8.646
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	9.559	7.700	7.877
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	7.276	9.473	3.862
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	7.146	7.696	10.873
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	8.407	10.412	9.506
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	2.021	2.098	2.169
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	2.381	2.297	1.959
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	1.655	2.132	2.517
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	1.912	2.241	3.007
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	1.746	1.941	1.540
11	2	5	25	30	40	45	35	0.002	1.177	1.136	9.878
12	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.834	0.946	0.874
13	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.934	0.959	1.354
14	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.795	1.077	1.237
15	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	0.856	0.907	0.363
16	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	0.623	0.630	0.553
17	3	5	25	30	45	50	37.5	0.002	0.455	0.456	1.340
18	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.402	0.465	0.452
19	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.535	0.590	1.081
20	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.457	0.554	0.698
21	4	5	15	20	40	45	30	0.002	0.447	0.398	0.438
22	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.335	0.336	0.336
23	4	5	25	30	50	55	40	0.002	0.236	0.256	0.762
24	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.243	0.314	0.434
25	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.329	0.339	0.257
26	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.268	0.301	0.392
27	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.266	0.253	0.274
28	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.188	0.189	0.191
29	5	5	25	30	55	60	42.5	0.002	0.151	0.234	0.246
30	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.171	0.193	0.331
31	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.204	0.193	0.369
32	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.162	0.193	0.261
33	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.104	0.118	0.254
34	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.130	0.131	0.149
35	7	5	10	15	50	55	32.5	0.002	0.106	0.118	0.126

Dst.

Tabel LI.3 Lintasan AL03

No.	n	a	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum	I	R		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	3.786	3.482	3.757
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	3.816	3.994	3.867
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	5.222	5.154	4.623
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	3.687	5.230	4.182
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	4.996	0.864	0.373
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	0.657	0.615	0.649
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	0.759	0.730	0.868
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	0.625	0.678	0.702
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	0.587	4.744	4.040
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	0.797	0.300	0.683
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.299	0.270	0.349
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.275	0.278	0.191
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.253	0.260	0.618
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	0.270	0.695	0.555
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	0.325	0.190	0.199
16	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.143	0.146	0.121
17	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.145	0.161	0.118
18	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.167	0.176	0.307
19	4	5	15	20	40	45	30	0.002	0.156	0.302	0.337
20	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.156	0.080	0.200
21	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.101	0.090	0.138
22	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.105	0.108	0.358
23	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.088	0.103	0.454
24	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.087	0.187	0.128
25	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.136	0.066	0.133
26	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.072	0.074	0.135
27	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.076	0.034	0.071
28	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.061	0.075	0.209
29	6	5	15	20	50	55	35	0.002	0.090	0.078	0.167
30	6	5	20	25	55	60	40	0.002	0.075	0.141	0.104
31	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.028	0.048	0.110
32	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.039	0.040	0.118
33	7	5	10	15	50	55	32.5	0.002	0.048	0.038	0.109
34	7	5	15	20	55	60	37.5	0.002	0.056	0.041	0.080

Dst

.

Tabel LI.4 Lintasan AL04

No.	n	a	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum	I	R		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	3.595	2.987	2.649
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	3.804	4.631	4.026
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	5.550	4.704	3.912
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	4.294	5.267	4.471
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	3.717	3.942	4.298
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	0.613	0.693	0.575
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	0.637	0.699	0.621
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	0.755	0.739	0.664
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	0.638	0.730	0.773
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	0.582	0.604	0.617
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.246	0.235	0.229
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.244	0.270	0.267
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.269	0.269	0.276
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	0.255	0.298	0.268
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	0.293	0.279	0.255
16	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.137	0.138	0.144
17	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.127	0.149	0.181
18	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.150	0.140	0.153
19	4	5	15	20	40	45	30	0.002	0.175	0.190	0.219
20	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.129	0.129	0.116
21	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.092	0.100	0.086
22	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.070	0.099	0.114
23	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.112	0.097	0.066
24	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.083	0.083	0.088
25	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.087	0.080	0.058
26	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.066	0.066	0.329
27	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.081	0.032	0.101
28	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.057	0.062	0.064
29	6	5	15	20	50	55	35	0.002	0.056	0.091	0.019
30	6	5	20	25	55	60	40	0.002	0.049	0.049	0.067
31	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.059	0.063	0.141
32	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.033	0.026	0.147
33	7	5	10	15	50	55	32.5	0.002	0.039	0.042	0.025
34	7	5	15	20	55	60	37.5	0.002	0.034	0.035	0.035

Dst.

Tabel LI.5 Lintasan AL05

No.	n	a	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum	I	R		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	5.388	6.103	6.595
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	5.668	5.134	5.253
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	6.491	7.154	6.001
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	5.284	5.869	4.837
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	5.630	5.434	5.077
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	0.752	0.729	0.696
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	0.879	0.816	0.939
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	0.780	0.849	0.987
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	0.706	0.689	0.680
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	0.943	0.826	1.054
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.331	0.348	0.255
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.295	0.300	0.259
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.341	0.483	0.320
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	0.315	0.264	0.309
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	0.307	0.310	0.518
16	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.148	0.142	0.231
17	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.163	0.182	0.128
18	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.177	0.222	0.176
19	4	5	15	20	40	45	30	0.002	0.150	0.190	0.101
20	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.175	0.137	0.303
21	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.110	0.105	0.090
22	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.109	0.085	0.078
23	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.113	0.253	0.095
24	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.102	0.045	0.106
25	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.198	0.146	0.118
26	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.072	0.095	0.061
27	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.075	0.063	0.066
28	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.066	0.071	0.112
29	6	5	15	20	50	55	35	0.002	0.078	0.136	0.156
30	6	5	20	25	55	60	40	0.002	0.189	0.067	0.093
31	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.047	0.032	0.027
32	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.016	0.022	0.085
33	7	5	10	15	50	55	32.5	0.002	0.067	0.065	0.114
34	7	5	15	20	55	60	37.5	0.002	0.037	0.091	0.107

Dst.

Tabel LI.6 Lintasan AL06

No.	n	a	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum	I	R		
									Jul	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	5.216	5.348	6.638
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	5.095	5.422	5.738
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	11.599	9.523	9.076
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	6.293	7.593	4.433
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	7.052	8.867	14.231
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	1.082	1.158	1.258
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	0.904	0.871	0.850
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	1.304	1.301	0.768
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	1.229	1.584	1.604
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	1.217	1.174	1.278
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.388	0.375	0.448
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.363	0.364	0.313
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.497	0.587	0.464
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	0.493	0.546	0.530
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	0.529	0.484	0.732
16	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.229	0.201	0.198
17	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.171	0.196	0.322
18	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.261	0.252	0.340
19	4	5	15	20	40	45	30	0.002	0.311	0.292	0.325
20	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.335	0.393	0.521
21	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.100	0.111	0.136
22	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.149	0.090	0.128
23	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.150	0.148	0.163
24	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.221	0.273	0.293
25	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.309	0.301	0.301
26	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.081	0.061	0.062
27	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.075	0.056	0.034
28	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.115	0.138	0.037
29	6	5	15	20	50	55	35	0.002	0.204	0.204	0.243
30	6	5	20	25	55	60	40	0.002	0.270	0.264	0.432
31	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.057	0.028	0.056
32	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.062	0.082	0.043
33	7	5	10	15	50	55	32.5	0.002	0.114	0.103	0.270
34	7	5	15	20	55	60	37.5	0.002	0.177	0.185	0.205

Dst.

Tabel LI.7 Lintasan AL09

No.	n	a	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum	I	R		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	7.356	8.750	9.886
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	5.289	5.145	6.005
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	6.187	7.538	6.359
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	6.653	6.168	6.322
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	6.422	3.044	3.194
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	1.040	1.104	1.178
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	1.089	1.104	1.052
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	1.239	1.127	1.064
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	1.348	5.426	4.733
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	2.670	1.875	1.766
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.514	0.531	0.560
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.464	0.418	0.510
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.600	0.613	0.513
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	1.418	1.086	1.843
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	1.602	0.550	0.565
16	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.255	0.225	0.185
17	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.315	0.215	0.521
18	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.966	1.069	1.105
19	4	5	15	20	40	45	30	0.002	1.081	1.379	1.379
20	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.577	0.380	0.760
21	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.149	0.190	0.309
22	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.563	0.578	0.596
23	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.834	0.867	0.966
24	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.435	1.054	0.638
25	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.327	0.381	0.467
26	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.397	0.394	0.398
27	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.519	0.529	0.713
28	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.357	0.263	0.268
29	6	5	15	20	50	55	35	0.002	0.264	0.371	0.627
30	6	5	20	25	55	60	40	0.002	0.235	0.576	0.703
31	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.373	0.362	0.321
32	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.239	0.171	0.191
33	7	5	10	15	50	55	32.5	0.002	0.235	0.279	0.361
34	7	5	15	20	55	60	37.5	0.002	0.201	0.304	0.885

Dst.

Tabel LI.8 Lintasan AL08

No.	n	A	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum	I	R		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	17.290	21.296	25.707
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	15.195	20.823	28.345
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	16.374	22.626	32.372
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	27.740	29.347	40.576
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	12.518	17.895	18.724
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	4.913	5.464	7.779
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	4.110	6.448	8.618
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	6.685	7.352	13.125
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	7.509	12.195	13.075
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	7.147	9.464	10.912
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	1.644	1.734	3.236
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	2.279	2.698	5.153
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	2.304	3.885	5.764
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	5.098	7.896	9.109
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	3.609	4.968	5.111
16	4	5	0	5	25	30	15	0.002	1.071	1.210	2.122
17	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.893	1.709	1.936
18	4	5	10	15	35	40	25	0.002	1.721	2.241	3.881
19	4	5	15	20	40	45	30	0.002	2.748	4.454	4.335
20	4	5	20	25	45	50	35	0.002	1.537	1.054	1.721
21	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.427	0.090	1.357
22	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.683	0.449	1.535
23	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.905	1.339	1.665
24	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	1.266	1.668	1.543
25	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.818	1.054	0.999
26	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.359	0.074	0.522
27	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.424	0.621	0.736
28	6	5	10	15	45	50	30	0.002	0.458	0.710	1.187
29	6	5	15	20	50	55	35	0.002	0.740	1.167	1.611
30	6	5	20	25	55	60	40	0.002	0.169	0.328	0.295
31	7	5	0	5	40	45	22.5	0.002	0.220	5.700	0.406
32	7	5	5	10	45	50	27.5	0.002	0.240	1.138	0.488
33	7	5	10	15	50	55	32.5	0.002	0.505	0.213	0.412
34	7	5	15	20	55	60	37.5	0.002	0.258	0.640	0.230

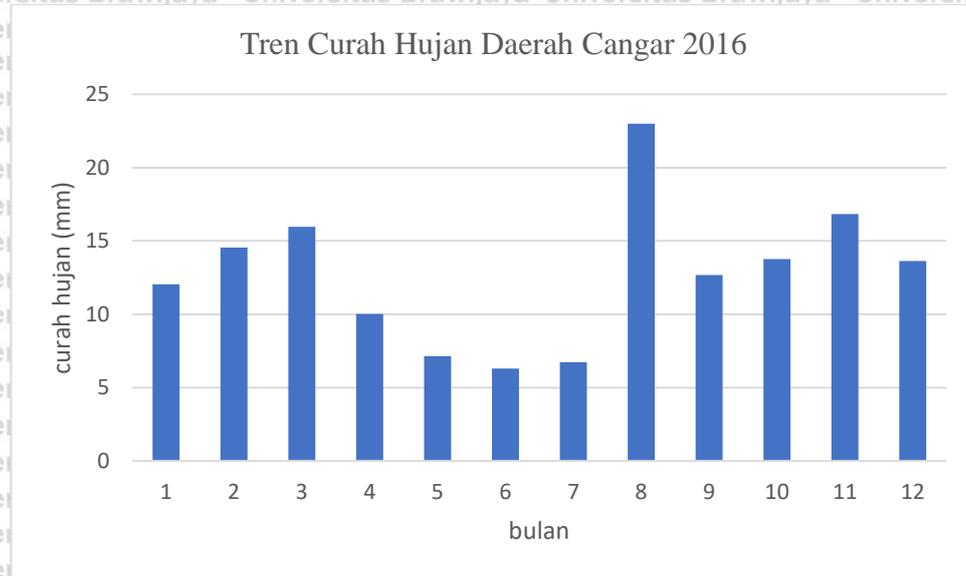
Dst.

Tabel LI.9 Lintasan AL09

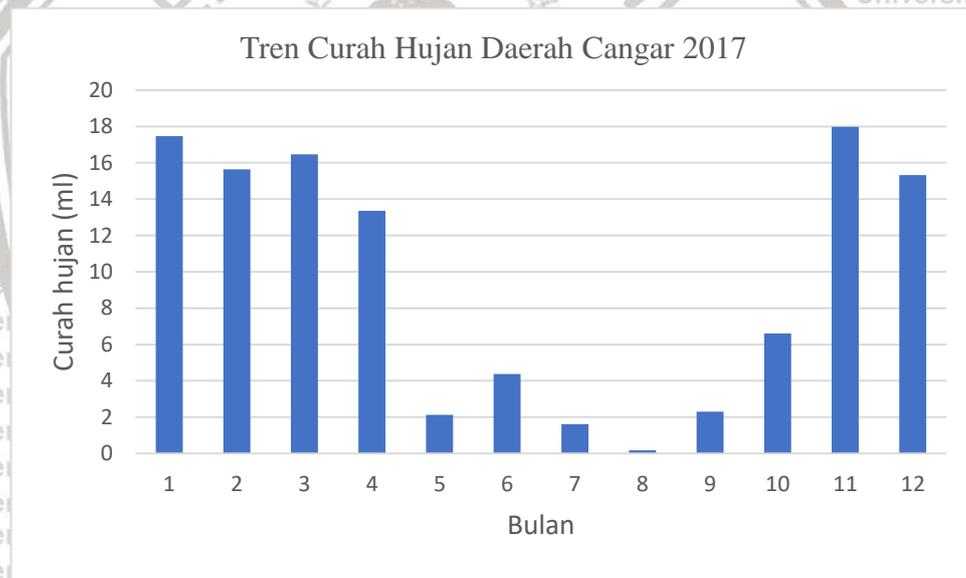
No.	n	A	P ₂	P ₁	C ₁	C ₂	Datum	I	R		
									Juli	Ags	Sep
1	1	5	0	5	10	15	7.5	0.002	21.983	28.127	33.790
2	1	5	5	10	15	20	12.5	0.002	9.907	10.675	15.679
3	1	5	10	15	20	25	17.5	0.002	7.483	6.612	6.468
4	1	5	15	20	25	30	22.5	0.002	7.234	6.353	5.443
5	1	5	20	25	30	35	27.5	0.002	4.207	5.548	7.463
6	2	5	0	5	15	20	10	0.002	2.467	1.585	3.022
7	2	5	5	10	20	25	15	0.002	1.317	1.238	1.172
8	2	5	10	15	25	30	20	0.002	1.150	1.139	1.000
9	2	5	15	20	30	35	25	0.002	1.621	1.844	2.547
10	2	5	20	25	35	40	30	0.002	0.872	0.780	0.879
11	3	5	0	5	20	25	12.5	0.002	0.516	0.631	0.561
12	3	5	5	10	25	30	17.5	0.002	0.422	0.436	0.570
13	3	5	10	15	30	35	22.5	0.002	0.668	0.757	1.087
14	3	5	15	20	35	40	27.5	0.002	0.593	0.731	0.718
15	3	5	20	25	40	45	32.5	0.002	0.255	0.169	0.215
16	4	5	0	5	25	30	15	0.002	0.192	0.158	0.188
17	4	5	5	10	30	35	20	0.002	0.292	0.271	0.433
18	4	5	10	15	35	40	25	0.002	0.209	0.104	0.121
19	4	5	15	20	40	45	30	0.002	0.126	0.115	0.109
20	4	5	20	25	45	50	35	0.002	0.131	0.109	0.202
21	5	5	0	5	30	35	17.5	0.002	0.348	0.532	0.645
22	5	5	5	10	35	40	22.5	0.002	0.145	0.112	0.184
23	5	5	10	15	40	45	27.5	0.002	0.104	0.122	0.102
24	5	5	15	20	45	50	32.5	0.002	0.078	0.070	0.147
25	5	5	20	25	50	55	37.5	0.002	0.216	0.251	0.213
26	6	5	0	5	35	40	20	0.002	0.230	0.267	0.257
27	6	5	5	10	40	45	25	0.002	0.067	0.074	0.072

Dst

Lampiran 2 Tren Curah Hujan Daerah Cangar



Gambar L2.1 Tren Curah Hujan Daerah Cangar 2016



Gambar L2.2 Tren Curah Hujan Daerah Cangar 2017

Lampiran 3 Akuisisi Data Penelitian





Gambar L3.1 Pengambilan data geolistrik resistivitas

Lampiran 4 Sertifikat Bebas Plagiasi



18 0333 T

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
PASCASARJANA**

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI
Nomor: 1591/UN10.F40/PN/2018
Sertifikat ini diberikan kepada:

Nama	: Siti Ainur Rohmah
NIM	: 156090300011005
Program Studi	: Program Magister Fisika
Fakultas	: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas	: Universitas Brawijaya

Dengan Judul Tesis
**Perubahan Temoral Air Bawah Tanah Daerah Agrotechno Park Cangar, Batu,
Jawa Timur Berdasarkan Metode Geolistrik Resistivitas dan Curah Hujan**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya secara online pada tanggal **11 Juli 2018**
dan dinyatakan **bebas plagiasi** dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$.

Malang, 16 Juli 2018
Ketua Badan Penerbitan Jurnal

Prof. Dr. Abdul Hakim, M.Si
NIP. 19640202 198503 1 006

Lukman Hakim, SSi, M.Sc, Dr.Sc.
NIP. 19820412 200312 1 002



Lampiran 5 Artikel Ilmiah

