



**TUGAS AKHIR - RF184838**

**IDENTIFIKASI SUNGAI BAWAH PERMUKAAN DENGAN  
METODE RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-  
SCHLUMBERGER KAWASAN KARST DESA SEKAR, PACITAN**

**AHMAD WAFI IRSYAD  
NRP. 0341154000056**

**DOSEN PEMBIMBING I :  
M. Singgih Purwanto S.Si., M.T  
NIP. 19800916 200912 1 002**

**DOSEN PEMBIMBING II :  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF184838**

**IDENTIFIKASI SUNGAI BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE  
RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI *WENNER-SCHLUMBERGER*  
KAWASAN KARST DESA SEKAR, PACITAN**

AHMAD WAFI IRSYAD  
NRP. 0341145000056

DOSEN PEMBIMBING I :  
M. Singgih Purwanto S.Si., M.T  
NIP. 19800916 200912 1 002

DOSEN PEMBIMBING II :  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**UNDERGRADUATED THESIS - RF184838**

**IDENTIFICATION OF UNDERGROUND RIVER USING 2D  
RESISTIVITY METHOD WENNER-SCHLUMBERGER ARRAY OF  
KARST REGION IN SEKAR VILLAGE, PACITAN**

AHMAD WAFI IRSYAD  
NRP. 0341145000056

Advisor I :  
M. Singgih Purwanto S.Si., M.T  
NIP. 19800916 200912 1 002

Advisor II :  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001

GEOPHYSICAL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL, PLANNING and GEO ENGINEERING  
INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Ahmad Wafi Irsyad  
NRP : 03411540000056  
Departemen : Teknik Geofisika  
Judul Tugas Akhir : Identifikasi Sungai Bawah Permukaan dengan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* Kawasan Karst Desa Sekar, Pacitan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 Juli 2020

1. ....

**M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T.**

(Pembimbing I)

NIP. 19800916 200912 1 002

2. ....

**Dr. Avi Syaeful Bahri, M.T.**

(Pembimbing II)

NIP. 19690906 199702 1 001

3. ....

**Dr. Widya Utama, DEA**

(Penguji I)

NIP. 19611024 198803 1 001

4. ....

**Nita Arivanti, S.T., M.Eng.**

(Penguji II)

NIP. 370181001

Menyetujui,  
Kepala Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



**Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si**

NIP. 19760123 200003 1 001

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Identifikasi Sungai Bawah Permukaan dengan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* Kawasan Karst Desa Sekar, Pacitan” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 30 Juli 2020

  
Ahmad Wafi Irsyad  
NRP. 0341154000056

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**IDENTIFIKASI SUNGAI BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE  
RESISTIVITAS 2D KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER  
KAWASAN KARST DESA SEKAR, PACITAN**

Nama : AHMAD WAFI IRSYAD  
NRP : 03411540000056  
Departemen : Teknik Geofisika  
Dosen Pembimbing I : M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T  
Dosen Pembimbing II : Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

**ABSTRAK**

Perilaku air di kawasan karst Pacitan membentuk sistem hidrogeologi pada sub-sistem Donorejo-Pringkukuku berkembang melalui sistem rekahan dan saluran bawah permukaan yang dikendalikan oleh sesar. Metode resistivitas 2D digunakan untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan dan arah alirannya berdasarkan distribusi nilai resistivitas pada kawasan karst Desa Sekar Dusun Ngrijang, Kecamatan Donorejo Kabupaten Pacitan. Digunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dikarenakan memiliki kemampuan pemetaan secara lateral dan vertikal yang baik. Metode inversi *smoothness-constrain least square* digunakan sehingga menghasilkan penampang 2D variasi resistivitas dari suatu lapisan tanah yang berasosiasi dengan struktur geologi di bawah permukaan. Akuisisi data dilakukan sebanyak enam lintasan dengan panjang tiap lintasan 185m, 185m, 145m, 130m, 145m, dan 130m. Dugaan sungai bawah permukaan di daerah penelitian diidentifikasi dengan nilai resistivitas antara 2.6-20 Ohm. Dengan indikasi hubungan sungai bawah permukaan dari Sumber Koboran menuju Sumber 1 dan Sumber Kali Cilik menuju Sumber Koboran berarah Timur Laut-Barat Daya yang diduga terkontrol oleh perbedaan elevasi dan Sesar Buyutan yang merupakan sesar terdekat yang terdapat pada wilayah timur lokasi penelitian.

Kata Kunci : Sungai Bawah Permukaan, Karst, Resistivitas 2D

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**IDENTIFICATION OF UNDERGROUND RIVER USING 2D  
RESISTIVITY METHOD WENNER-SCHLUMBERGER ARRAY OF  
KARST REGION IN SEKAR VILLAGE, PACITAN**

Name : AHMAD WAFI IRSYAD  
Student ID : 03411540000056  
Departement : Geophysical Engineering  
Advisor I : M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T  
Advisor II : Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T

**ABSTRACT**

*Water behavior in the Pacitan karst region forms the hydrogeological system in the Donorejo-Pringkukuku sub-system, which develops through fracture systems and subsurface channels that are controlled by faults. Resistivity 2D method is used to identify subsurface rivers and it's direction based on the distribution of resistivity in the karst area of Ngrijang Sekar Village, Donorejo District, Pacitan Regency. Wenner-Schlumberger configuration is used because it has fine lateral and vertical mapping capabilities. The least square smoothness-constrain inversion method is used so as to produce a 2D cross section of the resistivity variation of a soil layer associated with subsurface geological structures. Data acquisition was carried out in six lanes with lengths of each of 185m, 185m, 145m, 130m, 145m and 130m. Alleged subsurface rivers in the study area were identified with resistivity values between 2.6-20 Ohm.m. With an indication of the relationship between subsurface rivers from Koboran water source to I water source and Kali Cilik water source to the Koboran water source with orientation Northeast-Southwest which is allegedly controlled by differences in elevation and Buyutan Fault which is the closest fault found in the eastern area of the study site.*

*Key Words : Resistivity 2D, Underground River, Wenner-Schlumberger*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Identifikasi Sungai Bawah Permukaan dengan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* Kawasan Karst Desa Sekar, Pacitan” dengan baik. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan adik-adik penulis yang telah memberikan dukungan secara motivasi, fasilitas dan doa.
3. M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T dan Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T. selaku dosen pembimbing penulis atas arahan, saran dan kritik yang membangun dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Dr. Widya Utama, DEA. yang senantiasa sabar membimbing dan memberi nasihat kehidupan sebagai dosen wali.
5. Para dosen dan tenaga Pendidikan Departemen Teknik Geofisika ITS atas bimbingan dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir dan perkuliahan.
6. Seluruh Tim TA Pacitan 2020 yang telah bekerja sama dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Silmi Afina Aliyan, Putry Vibry Hardyani, Hanif F. Falah yang telah membantu dan memberikan saran selama pengerjaan Tugas Akhir.
8. Teman-teman WARKUY dan kontrakan robert yang menemani pengerjaan Tugas Akhir selama Pandemi COVID19.
9. Teman-teman TG-05, TG-04, TG-03, dan HMTG atas semangat dan dukungannya selama perkuliahan.

Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai pembelajaran penulis dan khalayak umum. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 22 Juni 2020

Penulis

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Manfaat .....	2
1.6 Target Luaran .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	3
2.1.1.1 Fisiografi Regional.....	3
2.1.1.2 Stratigrafi Regional .....	4
2.1.1.3 Struktur Geologi Daerah Regional.....	5
2.1.1.4 Karst .....	5
2.1.1.5 Sistem Hidrogeologi Karst .....	6
2.1.2 Metode Geolistrik Resistivitas.....	8
2.1.2.1 Teori Dasar .....	8
2.1.2.2 Inversi .....	11
2.2 Penelitian Terdahulu .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>15</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Lokasi Penelitian .....	15
3.3 Desain Akuisisi.....	15
3.4 Peralatan.....	18
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.6 Tahapan Penelitian.....	20
3.6.1 Studi Literatur.....	20
3.6.2 Survei Pendahuluan.....	20
3.6.3 Desain Akuisisi .....	20
3.6.4 Akuisisi Data .....	20
3.6.5 Pengolahan Data .....	21
3.6.6 Analisis dan Interpretasi Data.....	22

3.6.7 Pemodelan.....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>23</b>
4.1 Hasil Distribusi Nilai Resistivitas 2D .....	23
4.2 Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan .....	28
4.2.1 Analisa Topografi.....	28
4.2.2 Data Pendukung VLF-EM.....	29
4.2.2 Pembahasan Pola Sungai Bawah Permukaan .....	30
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran.....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>38</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>43</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Koordinat lintasan pengukuran.....	16
<b>Tabel 3.2</b> Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian.....	18

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur. (Van Bemmelen, 1949).....	3
<b>Gambar 2.2</b> Peta Geologi Daerah Penelitian (H Samodra dkk., 1990 yang telah termodifikasi).....	4
<b>Gambar 2.3</b> Teori terbentuknya gua dan sungai bawah permukaan pada kawasan karst : <i>Vadose Theory</i> (Kusumayudha, 2005).....	6
<b>Gambar 2.4</b> Satuan Hidrogeologi Karst Kawasan Gunungsewu (Haryono, 2011) .....	7
<b>Gambar 2.5</b> Elektroda Arus dan Potensial dipermukaan bumi homogen isotropis (Loke, 1999).....	9
<b>Gambar 2.6</b> Tabel rentang nilai resistivitas batuan konfigurasi <i>Wenner – Schlumberger</i> (Loke, 2004) .....	10
<b>Gambar 2.7</b> Konfigurasi <i>Wenner-Schlumberger</i> (Loke, 1999).....	11
<b>Gambar 3.1</b> Lokasi Penelitian Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Pacitan ....	15
<b>Gambar 3.3</b> Desain Akusisi Daerah Penelitian .....	16
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Penelitian .....	19
<b>Gambar 3.5</b> Sebaran data Konfigurasi <i>Wenner-Schlumberger</i> . .....	21
<b>Gambar 4.1</b> Penampang Resistivitas Lintasan 1 dengan azimuth line 12.26°SE , panjang 185 m, dan spasi elektroda 5 m .....	24
<b>Gambar 4.2</b> Penampang Resistivitas Lintasan 2 dengan azimuth line 77.97° SE, panjang 185 m, dan spasi elektroda 5m.....	24
<b>Gambar 4.3</b> Penampang Resistivitas Lintasan 3 dengan azimuth line 108.25°SE, panjang 145 m, dan spasi elektroda 5m.....	25
<b>Gambar 4.4</b> Penampang Resistivitas Lintasan 4 dengan azimuth line 102.2°SE, panjang 130 m, dan spasi elektroda 5m.....	26
<b>Gambar 4.5</b> Penampang Resistivitas Lintasan 5 dengan azimuth line 106.97°SE, panjang 145 m, dan spasi elektroda 5m.....	27
<b>Gambar 4.6</b> Penampang Resistivitas Lintasan 6 dengan azimuth line 120°SE, panjang 130 m, dan spasi elektroda 5m.....	27
<b>Gambar 4.7</b> Peta Topografi 3D Daerah Penelitian .....	29
<b>Gambar 4.8</b> Dugaan Arah Aliran Sungai Bawah Permukaan Dilihat Dari Gabungan Penampang Resistivitas 2D dan VLF-EM.....	31
<b>Gambar 4.9</b> Peta Overlay Topografi Dugaan Arah Aliran Sungai Bawah Permukaan .....	32
<b>Gambar 4.10</b> Sayatan A-A' Pada Peta Topografi.....	32

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kawasan karst mempunyai sistem hidrologi yang khas dengan sistem drainase bawah permukaan memiliki sifat batuan karbonat yang mempunyai banyak rongga percelahan dan mudah larut dalam air (Ford dan Williams, 2013). Maka sistem drainase permukaan tidak berkembang dan air yang mengalir di bawah permukaan akan terakumulasi dalam suatu pola aliran tertentu menjadi sistem bawah permukaan, dengan melewati lorong-lorong gua menjadi sistem sungai bawah permukaan (Eko Haryono dan Adji, 2017). Keberadaan sumber air pada karst di daerah Pacitan ini sangat melimpah, terdapat di sungai bawah permukaan yaitu berupa terusan gua-gua yang dialiri air, karena terjadi proses korosi dan erosi pada gua selama ribuan tahun, maka air dapat mengalir ke bawah permukaan hingga lapisan impermeabel dan membentuk sungai bawah permukaan (Hanang Samodra, 2001). Berkembangnya sungai bawah permukaan di kawasan karst Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan salah satunya dengan teridentifikasinya aliran sungai bawah permukaan berdasarkan penelitian dengan menggunakan metode resistivitas 2D (Naufaldi dkk., 2018).

Perilaku air di kawasan karst Desa Sekar membentuk sistem hidrogeologi pada sub-sistem Donorejo-Pringkukuku berkembang melalui sistem rekahan dan saluran bawah permukaan yang dikendalikan oleh sistem *joint-fault* atau rekahan-sesar berarah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara (Eko Haryono, 2017). Dari permasalahan yang ada, maka diperlukan upaya untuk mencari kemenerusan sungai bawah permukaan sehingga dapat mengidentifikasi arah aliran sungai bawah permukaan. Penelusuran sungai bawah permukaan secara langsung dengan menelusuri gua ternyata banyak mengalami kesulitan. Sehingga diperlukan penelitian dengan menggunakan salah satu metode geofisika yaitu metode geolistrik untuk mengetahui adanya sungai bawah permukaan. Sehingga penelitian lebih lanjut masih perlu dilakukan untuk mengidentifikasi sistem geohidrologi karst lebih lanjut.

Metode geolistrik yang digunakan adalah metode resistivitas konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Metode geolistrik resistivitas ini dapat mengetahui nilai resistivitas batuan dibawah permukaan dengan menerapkan sinyal berupa injeksi arus listrik yang dialirkan ke bawah permukaan bumi melalui elektroda. Kedalaman rata-rata dari konfigurasi ini 10% lebih besar dari konfigurasi *Wenner*. Konfigurasi ini juga memiliki cakupan horizontal sedikit lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Wenner*. Cakupan data horisontal sedikit lebih lebar dari konfigurasi *Wenner*, tapi lebih sempit dari data yang diperoleh konfigurasi dipole-dipole (Telford dkk., 1990). Metode inversi yang dipakai adalah *Smoothness-Constrain Least Square Inversion*. Metode ini merupakan metode inversi yang dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui pemodelan 2D, sehingga cenderung

menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth* (Loke, 2004).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana distribusi nilai resistivitas terhadap dugaan aliran sungai bawah permukaan dengan metode inversi *Smoothness-Constrain Least Square*?
2. Bagaimana arah aliran sungai dan faktor pengontrol sungai bawah permukaan di kawasan karst di Desa Sekar, Dusun Ngrijang, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Lokasi berada di Desa Sekar, Dusun Ngrijang, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan
2. Konfigurasi pengukuran yang digunakan adalah konfigurasi *Wenner-Schlumberger*
3. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak RES2DINV dengan metode inversi *Smoothness-Constrain Least Square Inversion*

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis distribusi nilai resistivitas 2D terhadap dugaan sungai bawah permukaan dengan metode inversi *Smoothness-Constrain Least Square*
2. Mengidentifikasi arah aliran dan faktor pengontrol sungai bawah permukaan pada kawasan karst Desa Sekar, Dusun Ngrijang, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan dengan Metode Resistivitas 2D konfigurasi *Wenner-Schlumberger*

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagi akademis, penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian terkait identifikasi sungai bawah permukaan dan pola alirannya pada kawasan karst menggunakan metode resistivitas 2D konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.
2. Bagi sosial, analisis penelitian dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan air di daerah sekitar.

## 1.6 Target Luaran

Luaran dari penelitian ini berupa laporan tugas akhir mengenai identifikasi sungai bawah permukaan dan pola alirannya pada kawasan karst menggunakan metode resistivitas 2D konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Sekaligus diharapkan sebagai pengembangan kawasan karst Pacitan secara berkelanjutan.

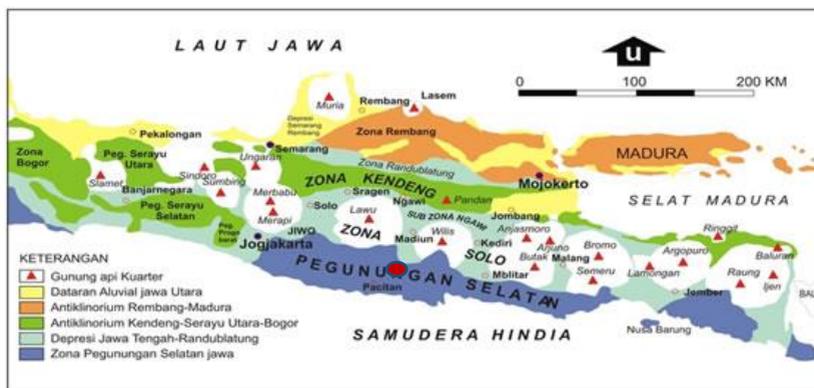
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dasar Teori

#### 2.1.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

##### 2.1.1.1 Fisiografi Regional

Zona jalur fisiografi di Jawa Timur secara umum dibagi menjadi 4 (empat), yaitu Zona Rembang di bagian Utara, kemudian ke bagian Selatan terdapat Zona Kendeng, kemudian Zona Solo dan di bagian paling Selatan adalah Zona Pegunungan Selatan. (Van Bemmelen, 1949)



**Gambar 2.1** Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur. (Van Bemmelen, 1949)

Gambar 2.1 lokasi penelitian ditandai dengan lingkaran merah yang merupakan bagian dari Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan di Jawa Timur merupakan blok yang terangkat dan miring ke arah selatan dan merupakan hasil perlipatan pada Miosen dan berlanjut Timur yaitu Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Daerah Pegunungan Selatan membujur dari Yogyakarta ke arah timur, Wonosari, Wonogiri, Pacitan menerus ke daerah Malang selatan, terus ke daerah Blambangan. Daerah ini merupakan perbukitan berelif sedang-terjal pada bagian utara, dataran tinggi karst di bagian tengah, dan perbukitan kerucut karst dibagian selatan (Gunung Sewu).

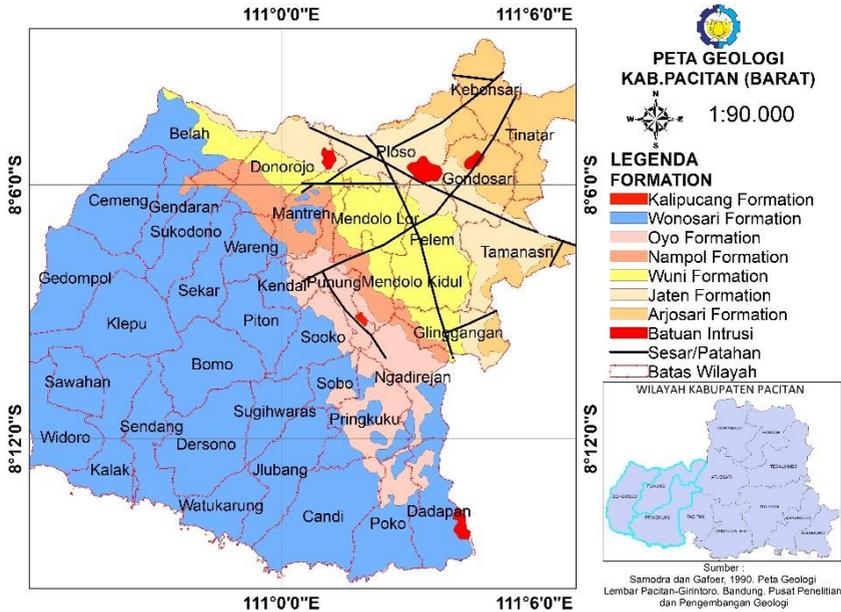
Kawasan karst Gunung Sewu di hasilkan oleh pengangkatan yang dimulai pada Pleiosen Akhir. Bagian utara kawasan karst Gunungsewu dibatasi oleh cekungan (basin) Wonosari dan Baturetno yang tersusun atas material gamping, namun memiliki tingkat karstifikasi yang tidak intensif. Kedua cekungan ini memisahkan kawasan Karst Gunung Sewu dengan pegunungan berbatuan sedimen vulkano klastik yang lebih dikenal dengan Pegunungan Baturagung (Eko Haryono dan Adji, 2004).

Kawasan karst Gunung Sewu terdiri dari batu gamping berumur miosen tengah. Perkembangan topografi karst dengan kenampakan permukaan berupa

dolina-dolina yang dipisahkan oleh bukit-bukit yang terlihat membulat yang disebut kubah kapur, dan sungai bawah permukaan.

### 2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Daerah penelitian termasuk kedalam sebagian Peta Geologi Regional Lembar Pacitan (Samodra & Gafoer, 1990) dan Lembar Surakarta-Girintoro (Surono dkk., 1992).



**Gambar 2.2** Peta Geologi Daerah Penelitian (H Samodra dkk., 1990 yang telah termodifikasi)

Gambar 2.2 menunjukkan peta geologi daerah penelitian yang berada di Desa Sekar Kecamatan Donorejo. Daerah penelitian termasuk dalam pegunungan selatan di Jawa Timur. Batuan yang menjadi dasar pada pegunungan selatan adalah batuan metamorf yang berumur Kapur-Paleosen Awal. Susunan litostatigrafi pegunungan selatan (dari tua ke muda) yaitu Kelompok Formasi Wungkul Gamping, Kebo Butak, Semilir, Nglanggran, Sambipitu, Oyo, Wonosari dan Kepek (Surono dkk., 1992).

Desa Sekar Kecamatan Donorejo, Pacitan termasuk dalam formasi wonosari (Tmwl). Formasi Wonosari tersusun atas batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, batu gamping mengeping, batu gamping pasiran, dan napal. Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menyebar dengan Formasi Oyo. Batugamping pada Formasi wonosari ditemukan fosil foraminifera besar berupa *Miogyosina sp.* dan *Lapidocyclina sp.*

Berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan terbentuk di lingkungan laut. (H Samodra dkk., 1990)

#### 2.1.1.3 Struktur Geologi Daerah Regional

Menurut (Van Bemmelen, 1949), daerah Pegunungan Selatan telah mengalami empat kali pengangkatan. Pola struktur di daerah penelitian dengan arah Barat Laut – Tenggara umumnya merupakan sesar geser dekstral dan arah Timur Laut – Barat Daya umumnya merupakan sesar geser sinistral yang terjadi akibat penunjaman lempeng Indo-Australia selama Eosen hingga Miosen Tengah. Menurut pendugaan sementara bahwa dua sesar ini merupakan bagian penting sebagai indikasi tegasan pengontrol pada sungai bawah permukaan yang berada di daerah penelitian.

Menurut penelitian (S. A. Aliyan dkk., 2020), struktur geologi yang terbentuk di daerah penelitian berupa sesar normal dan sesar mendatar terlihat seperti pada gambar 2.2, pada dasarnya sesar - sesar tersebut terbentuk hasil deformasi tektonik setelah semua satuan batuan pada daerah penelitian terendapkan. Sesar yang teraktifkan kembali di daerah penelitian berupa sesar berarah Timur Laut – Barat Daya, serta sesar mendatar berarah Barat Laut-Tenggara.

#### 2.1.1.4 Karst

Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia (*kras*) yang berarti lahan gersang berbatu. Karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik (Ford dan Williams, 2013). Karst tidak hanya terjadi di daerah berbatuan karbonat, tetapi terjadi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif), seperti batuan gipsium dan batugaram. Namun demikian, karena batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat (Eko Haryono dan Adji, 2004).

Kawasan karst dicirikan dengan bentuk-bentuk morfologi baik yang dipermukaan (*eksokars*) maupun yang berada dibawah permukaan bumi (*endokars*). Gejala *eksokars* antara lain diwujudkan dalam bentuk bukit-bukit tunggal lekuk-lekuk lembah (*dolina*, *polje*, dan *uvala*), mata air, serta menghilangnya sungai permukaan kedalam tanah melalui sistem rucutan misalnya *sink* atau mulut gua yang ada. Gejala *endokars* dicirikan dengan aliran sungai bawah permukaan yang disebabkan oleh proses pelarutan.

Karstifikasi atau proses permbentukan bentuk-lahan karst didominasi oleh proses pelarutan. Proses pelarutan batuan karbonat oleh air hujan dan jatuh ke permukaan terjadi banyak proses fisik dan kimia yang melibatkan unsur gas, cair dan padatan yang menyebabkan perpindahan massa antara udara, air, dan batuan. Dan tahapan proses pelarutan adalah sebagai berikut : Ketika terjadi hujan, gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) di atmosfer masuk ke dalam air melalui proses difusi,

kemudian air yang mengandung CO<sub>2</sub> bersenyawa membentuk asam karbonat (*carbonic acid*) dengan reaksi kimia  $CO_{2(di\ air)} + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$ , dan dapat dikatakan bahwa gas karbondioksida larut dalam air. Karena H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> merupakan asam kuat, maka dapat mengalami *dissociation* (perpecahan) yaitu yang pertama  $H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$  dan yang kedua adalah  $HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H^+$  dengan proporsi yang kecil dibawah pH 8,4 sehingga dapat diabaikan. Ketika air dan batuan karbonat berinteraksi, terjadi pelepasan ion dan kemudian terjadi reaksi pelarutan karbonat  $CaCO_3 \rightleftharpoons Ca^{2+} + CO_3^{2-}$ . Selanjutnya, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> bergabung dengan ion H<sup>+</sup> yang lepas pada reaksi (3) sehingga  $CO_3^{2-} + H^+ \rightleftharpoons HCO_3^-$ . Sehingga secara ringkas proses pelarutan dirumuskan seperti berikut :

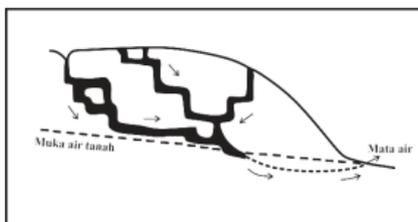


Karstifikasi dipengaruhi oleh dua kelompok faktor, faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi berlangsung, sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi. Faktor pengontrol antara lain batuan mudah larut, kompak, tebal, dan mempunyai banyak rekahan, curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun) dan batuan terekspos di ketinggian yang memungkinkan perkembangan sirkulasi air/drainase secara vertikal. Sedangkan faktor pendorongnya antara lain temperatur dan penutupan hutan. (Eko Haryono dan Adji, 2004)

#### 2.1.1.5 Sistem Hidrogeologi Karst

Wilayah yang daerahnya berupa kawasan karst dapat ditemukan sebuah gua dan sungai bawah permukaan. Hal ini, karena karst memiliki ciri khas batuan yang memiliki banyak rongga serta mudah larut dengan air. Sehingga mengakibatkan tidak berkembang sistem sungai permukaan namun menghasilkan sistem sungai bawah permukaan yang lebih dominan. (Ford dan Williams, 2013)

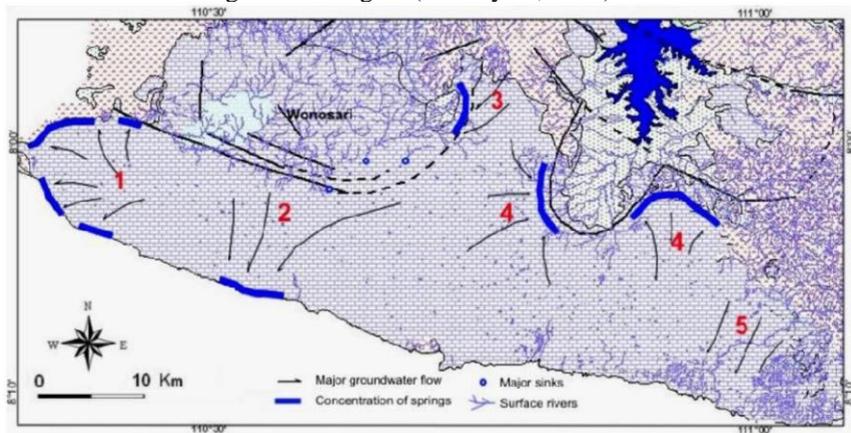
Air yang terdapat di batuan gamping bersifat dinamis, karena air tersebut bergerak dari permukaan sampai ke zona jenuh air. Pergerakan air ini, berdasarkan dari jalur yang dilalui air berpotensi terjadinya pelarutan batuan sehingga dalam jangka waktu tertentu terbentuklah lubang yang diameternya cukup besar. Maka terbentuklah sistem sungai bawah tanah di daerah karst (Eko Haryono dan Adji, 2004)



**Gambar 2.3** Teori terbentuknya gua dan sungai bawah permukaan pada kawasan karst : *Vadose Theory* (Kusumayudha, 2005)

Gambar 2.3 mengilustrasikan proses terbentuknya gua dan sungai bawah pada kawasan karst. Gua-gua yang berada dikawasan karst terbentuk oleh proses pelarutan air yang bersifat asam terhadap batu karbonat. Sisa-sisa dari pelarutan batuan karbonat inilah yang membentuk gua yang berupa rongga-rongga. Teori pembentukan gua tidak selalu sama tergantung pada geologi daerah tersebut. Terdapat 3 teori pembentukkan sebuah gua dan sungai bawah tanah pada kawasan oleh karst. Teori tersebut terdiri dari teori Vadus (*Vadose Theory*), teori Freatik Dalam (*Deep Phreatic Theory*) dan teori Freatik Dangkal (*Shallow Phreatic Theory*).

Teori Vadus (*Vadose Theory*) pada gambar 2.3 menjelaskan bahwa gua-gua terbentuk oleh adanya arus bawah tanah yang mengalir, baik pada atau di atas permukaan air tanah (*water table*). Dalam hal ini, air yang menginfiltrasi secara vertikal kedalam tanah melalui luweng-luweng dianggap sangat agresif. Agresivitas ini hilang saat air tersebut memasuki zona saturasi (zona jenuh air). Setelah air mencapai zona saturasi maka pergerakannya mulai horizontal dengan cara mengikuti celah-celah yang sudah ada, seperti bidang perlapisan, kekar, retakan, dan sebagainya. Selama bergerak, air mengerosi dan melarutkan bagian demi bagian batugamping yang dilaluinya. Hal ini mengakibatkan celah-celah tersebut perlahan-lahan semakin lebar hingga akhirnya membentuk saluran-saluran atau terowongan-terowongan. (Handayani, 2009)



**Gambar 2.4** Satuan Hidrogeologi Karst Kawasan Gunungsewu (Haryono, 2011)

Gunungsewu Karst dapat dibagi menjadi lima unit Hidrogeologi (Gambar 2.4) yaitu (1) Sub sistem Panggang; (2) Sub-sistem Bribin-Baron-Seropan, (3) Sub-sistem Ponjong, (4) Sub Sistem Pracimantoro dan Giritontro dan (5) Sub-Sistem Donorojo-Pringkuku. Sub-sistem Donorojo-Pringkuku menunjukkan aliran airtanah selatan secara keseluruhan, meskipun secara rinci dikendalikan oleh sistem joint-fault berarah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Airtanah secara bertahap semakin dalam ke selatan dan memasuki inti wilayah

yang terkarstifikasi. Secara umum batuan dari batuan gamping di sub sistem ini lebih dangkal daripada di bagian tengah kawasan Karst Gunungsewu. Fenomena ini mengakibatkan muka airtanah yang dangkal di mana di beberapa daerah muncul sebagai sumber mata air sungai. Imbuhan *allogenic* di sub-sistem ini juga bisa dikenali, namun sebagian (Eko Haryono, 2017). Sebagian gua-gua yang terdapat di daerah Gunung Sewu merupakan gua yang terbentuk di zona vadus, dan sebagian lainnya merupakan gua yang terbentuk pada level muka air tanah. Gua-gua pada zona vadus di Gunung Sewu biasanya dialiri air hanya pada musim penghujan. (Handayani, 2009).

### 2.1.2 Metode Geolistrik Resistivitas

#### 2.1.2.1 Teori Dasar

Geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Metode geolistrik digunakan untuk memperkirakan sifat kelistrikan pada formasi batuan dibawah permukaan. Prinsip pengukuran metode geolistrik dilakukan secara aktif, yaitu dengan cara menginjeksikan arus listrik ke permukaan tanah melalui sepasang elektroda dan mengukur beda potensial dengan sepasang elektroda yang lain. Jika nilai beda potensial telah didapat maka nilai hambatan dari medium (tanah) tersebut dapat diketahui.

Prinsip pelaksanaan survei resistivitas adalah mengalirkan arus listrik searah ke dalam bumi melalui dua telektroda arus yang ditancapkan pada dua titik permukaan tanah dan kemudian mengukur respon beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain di permukaan bumi dimana dua elektroda potensial ditempatkan dalam suatu susunan tertentu. Data pengukuran yang didapat yakni beda potensial dan kuat arus, dan akan diperoleh harga resistivitas semu untuk setiap spasi elektroda yang dibentangkan.

Berdasarkan hukum Ohm, besar beda potensial suatu benda bergantung pada nilai kuat arus  $I$  dan hambatan listrik  $R$  dengan persamaan :

$$V = I \cdot R \tag{2.2}$$

Pengukuran Resistivitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti homogenitas batuan, kandungan air, porositas, permeabilitas dan kandungan mineral. Resistivitas (Tahanan Jenis) merupakan suatu besaran yang menunjukkan tingkat hambatan terhadap arus listrik dari suatu bahan, yang diberi simbol  $\rho$ . Hambatan listrik  $R$  suatu bahan berbanding lurus dengan panjang penghantar  $L$  berbanding terbalik dengan luas penampang  $A$  (Zohdy dkk., 1974)

Harga tahanan jenis batuan diperoleh dari persamaan berikut :

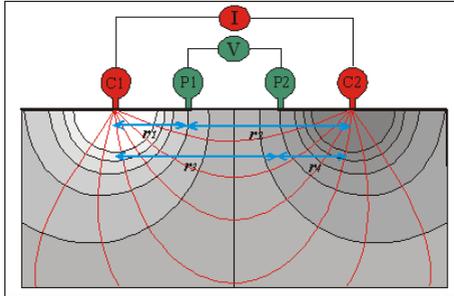
$$\rho = R \frac{A}{L} \tag{2.3}$$

Dari persamaan (2.2) dan persamaan (2.3) maka didapatkan persamaan baru menjadi

$$\rho = \frac{VA}{IL} \tag{2.4}$$

Pada model bumi yang berbentuk setengah bola homogen isotropis memiliki konduktivitas udara sama dengan nol. Dengan demikian arus  $I$  yang dialirkan melalui sebuah elektroda pada titik P di permukaan, akan tersebar ke semua arah dengan besar yang sama. Potensial di setiap titik yang berhubungan dengan sumber arus pada permukaan bumi yang homogen isotropis adalah

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.5)$$



**Gambar 2.5** Elektroda Arus dan Potensial dipermukaan bumi homogen isotropis (Loke, 1999)

Pengukuran yang dilakukan dilapangan digunakan dua elektroda yang berfungsi untuk mengalirkan arus (C1 dan C2) dan beda potensialnya diukur antara dua titik dengan menggunakan dua elektroda potensial (P1 dan P2).

Dari perhitungan 2.4 diperoleh persamaan untuk elektroda arus ganda pada permukaan medium.

Potensial di titik P1 dan P2 adalah

$$V_{P1} = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$V_{P2} = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.6)$$

sehingga beda potensialnya adalah

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2}$$

$$\Delta V = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.7)$$

atau dapat ditulis menjadi:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.8)$$

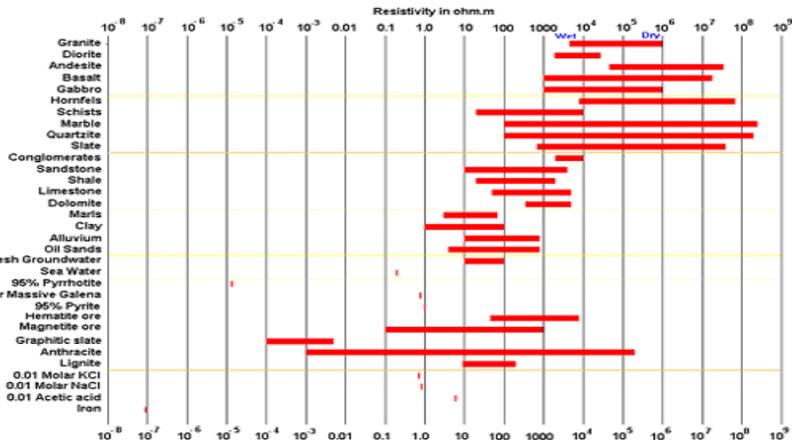
Sementara itu harga K ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$K = 2\pi \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \quad (2.9)$$

K adalah nilai besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus dan juga disebut faktor geometri.

Batuan memiliki kemampuan untuk menghantar arus maupun menahan arus yang mengalir. Untuk memudahkan untuk memudahkan dalam menentukan

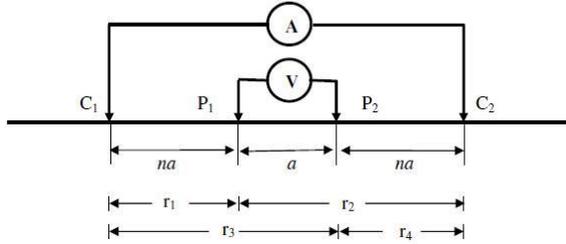
jenis batuan yang diukur, maka dibuat suatu rentang nilai resistivitas. Berikut adalah tabel nilai resistivitas batuan.



**Gambar 2.6** Tabel rentang nilai resistivitas batuan konfigurasi Wenner – Schlumberger (Loke, 2004)

Metode konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan salah satu metode konfigurasi dalam geolistrik. Pada konfigurasi ini digunakan dua buah elektroda yang bertindak sebagai arus dan dua buah elektroda bertindak sebagai potensial (Satriani, 2011). Konfigurasi ini digunakan dalam eksplorasi yang sifatnya relatif dangkal. *Wenner-Schlumberger* adalah salah satu konfigurasi paling umum digunakan untuk survei resistivitas 2D. Kedalaman rata-rata pada konfigurasi ini 10% lebih besar dari konfigurasi Wenner. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* juga memiliki cakupan horizontal sedikit lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi Wenner. Cakupan Data horisontal sedikit lebih lebar dari konfigurasi Wenner, tapi lebih sempit dari data yang diperoleh konfigurasi dipole-dipole. Dengan demikian konfigurasi *Wenner-Schlumberger* saling menutupi kelemahan masing-masing konfigurasi. (Telford dkk., 1990)

Pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dalam memperoleh kedalaman yang lebih maka jarak antara elektroda P1-P2 ditingkatkan menjadi 2a dan pengukuran diulangi untuk n yang sama sampai pada elektroda terakhir, kemudian jarak antara elektroda P1-P2 ditingkatkan menjadi 3a, dan seterusnya. Konfigurasi ini tidak terlalu sensitif terhadap perubahan horizontal oleh sebab itu baik digunakan untuk survei kedalaman. Metode ini dapat digunakan untuk survei bidang gelincir, sungai bawah tanah dan geoteknik.



**Gambar 2.7** Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Loke, 1999)

Gambar 2.7 menggambarkan susunan elektroda konfigurasi *wenner-schlumberger*. Konfigurasi ini memiliki aturan jarak spasi yang tetap dengan faktor- $n$ . Jika jarak elektroda potensial  $P_1$  dan  $P_2$  adalah  $a$  maka jarak antar elektroda arus  $C_1$  dan  $C_2$  adalah  $2na+a$ .

Dari persamaan (2.9) dapat diperoleh nilai dari  $K$  yaitu :

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left( \frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} \right) - \left( \frac{1}{a+na} - \frac{1}{na} \right) \right\}} \quad (2.10)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{na} - \frac{1}{a+na} - \frac{1}{a+na} + \frac{1}{na} \right)} \quad (2.11)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left( \frac{1}{na} + \frac{1}{na} \right) - \left( \frac{1}{a+na} + \frac{1}{a+na} \right) \right\}} \quad (2.12)$$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{2(a+na) - (na)}{na(a+na)}} \quad (2.13)$$

$$K = \frac{\pi}{\frac{(a+na - na)}{na(a+na)}} \quad (2.14)$$

$$K = \frac{\pi a^2 n + \pi n^2 a^2}{a} \quad (2.15)$$

$$K = \pi a n + \pi n^2 a \quad (2.16)$$

$$K = \pi a n (1 + n) \quad (2.17)$$

Persamaan faktor geometri berdasarkan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* didapat nilai faktor geometri yakni :  $K = \pi a n (1 + n)$

### 2.1.2.2 Inversi

Metode inversi *Smoothness-Constraint Least Square* merupakan metode inversi yang dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui pemodelan 2D. Metode inversi ini cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth* (Loke, 2004). Hasil inversi merupakan model distribusi tahanan jenis material bawah permukaan bumi yang dapat disebut *resistivity pseudosection* atau *inverse model resistivity section*.

Model yang diperoleh melalui proses inversi akan selalu memiliki nilai residual error dari efek perubahan lateral dan ketebalan yang dihasilkan dari proses inversi. Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai

error yang ada. Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi matematis yang sama secara berulang-ulang untuk memperoleh hasil yang diinginkan.

Proses inversi merupakan proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan bumi . Inversi dalam dunia Geofisika merupakan teknik untuk mencari sebuah model yang memberikan respon yang sama dengan nilai sebenarnya (Supriyanto, 2007). Respon yang sama dengan nilai sebenarnya menunjukkan bahwa metode inversi dapat memperoleh harga parameter dari sifat fisis batuan dan mineral penyusun batuan yang didapat saat pengukuran sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.

Formulasi inversi *Smoothness-Constraint Least Square* yang digunakan oleh perangkat lunak RES2DINV sebagai berikut :

$$(\mathbf{J}^T\mathbf{J} + \lambda\mathbf{F})\Delta\mathbf{q} = \mathbf{J}^T\mathbf{G} - \lambda\mathbf{F}\mathbf{q} \quad (2.18)$$

Dimana  $\mathbf{q}$  merupakan nilai-nilai resistivitas model,  $\mathbf{J}$  merupakan matriks *Jacobian*,  $\lambda$  adalah faktor *damping*,  $\Delta\mathbf{q}$  adalah vektor perubahan parameter model dan  $\mathbf{g}$  *discrepancy* vektor.  $\mathbf{F} = \alpha_x\mathbf{C}_x^T\mathbf{C}_x + \alpha_y\mathbf{C}_y^T\mathbf{C}_y + \alpha_z\mathbf{C}_z^T\mathbf{C}_z$  dimana  $\mathbf{C}_x$ ,  $\mathbf{C}_y$  dan  $\mathbf{C}_z$  adalah matriks *smoothing*,  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  dan  $\alpha_z$  merupakan pemberat-pemberat relatif yang diberikan pada filter-filter *smoothness*. Formulasi ini membatasi perubahan dalam nilai resistivitas model,  $\Delta\mathbf{q}$ , menjadi lebih *smooth* tetapi tidak menjamin bahwa nilai resistivitas berubah dengan mulus (Loke, 2004).

Keuntungan dari metode ini yaitu selain menghasilkan nilai resistivitas yang lebih halus, juga *damping factor* dan filter dapat disesuaikan bermacam-macam tipe data. *Damping factor* merupakan variabel yang berhubungan dengan proses peredam ketidakstabilan yang mungkin timbul akibat keterbatasan data pada inversi yang termasuk *underdetermined* (Adeoti dkk., 2012). *Damping factor* dapat ditentukan dengan cara *trial and error*, untuk memperkecil error maka dapat digunakan nilai dari *damping factor* yang kecil juga. Nilai error kecil berarti hasil penelitian dalam bentuk penampang 2D sudah memiliki perbedaan yang minimum.

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Menurut (Naufaldi dkk., 2018), penelitian di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan ini menggunakan metode geolistrik resistivitas pada pemodelan sungai bawah permukaan kawasan karst. Dalam penelitian ini dibuat 7 lintasan pengukuran yang tersebar dari luweng Kuniran hingga luweng Kedung Banteng. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa ada 4 lintasan yang teridentifikasi dilewati oleh sungai bawah permukaan dengan nilai resistivitas hasil inversi yang diinterpretasikan sebagai sungai bawah permukaan yaitu 20 ohm meter. Dan didapatkan hasil berupa pola aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Luweng Kuniran melewati Luweng Kedung Banteng dengan arah Timur Laut – Barat Daya. (Naufaldi dkk., 2018)

Menurut (Bahri dkk., 2019), berdasarkan informasi kedalaman sistem sungai bawah permukaan yang berkembang di Dersono, Pacitan, pada kedalaman <40 meter, jauh lebih dangkal daripada sistem di Bribin. Sistem bawah permukaan berkembang di zona *vadouse* atau bagian atas lapisan akuifer, sistem sungai bawah permukaan yang terjadi karena pergerakan air melalui patahan batuan atau lubang di permukaan seperti luweng.

Berdasarkan penelitian VLF-EM yang dilakukan di Desa Sekar, yang merujuk pada hasil interpretasi Rapat Arus Ekuivalen (RAE) setiap lintasan daerah penelitian, diindikasikan sebagai sistem bawah yang bernilai tanah bernilai RAE tinggi berkisar 4.07-13.96 yang tersebar pada kedalaman 10-50 meter dengan arah timur ke barat (Amrin dkk., 2018).

Menurut (S. Aliyan dkk., 2018) di daerah Pringkuku sesar-sesar berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya diduga masih mengontrol sistem pola aliran sungai bawah permukaan di bagian barat daerah penelitian. Pola aliran sungai bawah permukaan berarah barat laut-tenggara diduga dikontrol dua faktor pengontrol yaitu sesar geser dekstral Ngadirejan dan kelerengan curam yang berhubungan dengan elevasi sebagai faktor yang mengoptimalkan pelarutan pada proses karstifikasi sehingga menghasilkan banyak cabang sungai bawah permukaan yang mengarah ke Sungai Maron. Sedangkan pola aliran bawah permukaan berarah timur laut-barat daya diduga dikontrol aktif oleh sesar oblik sinistral Klanden dan sesar geser sinistral Barong sehingga menghasilkan sungai bawah permukaan yang konsisten menerus mengikuti arah bidang lemahnya yaitu arah timur laut-barat daya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

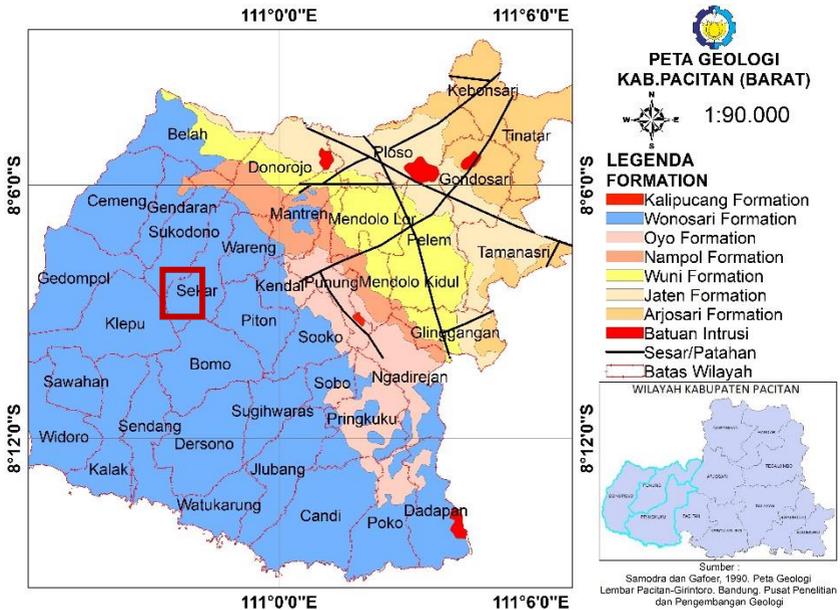
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Tugas akhir ini dikerjakan di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Desa Sekar, Dusun Ngrijang, Kecamatan Donorejo, Kabupeten Pacitan. Waktu pengerjaan tugas akhir ini selama 16 minggu.

### 3.2 Lokasi Penelitian

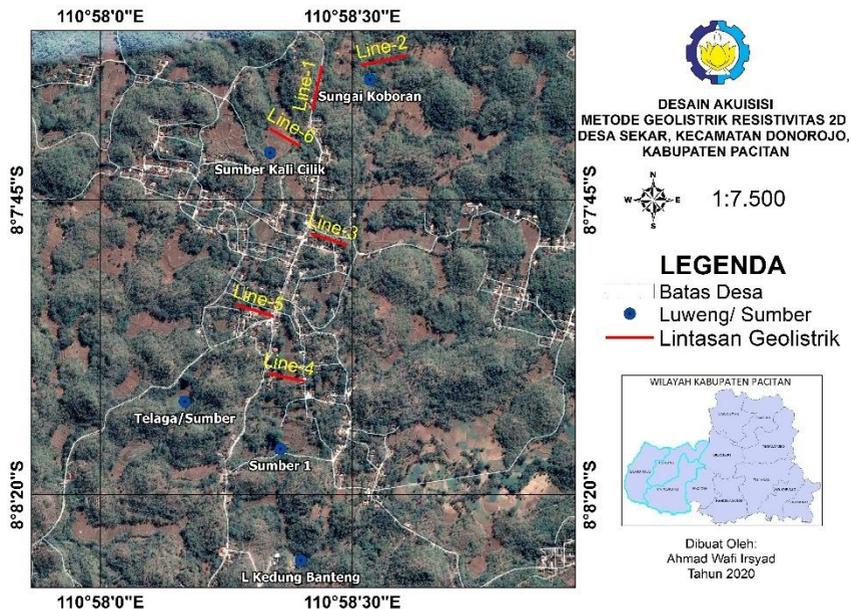
Lokasi penelitian di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan. Pada lokasi ini diduga terdapat aliran sungai bawah permukaan yang diindikasikan oleh adanya manifestasi lapangan berupa luweng (goa vertikal), sungai patah dan sumber antara lain Luweng Gender, Sumber Koboran, Sumber Kali Cilik dan Sumber 1.



**Gambar 3.1** Lokasi Penelitian Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Pacitan

### 3.3 Desain Akuisisi

Lokasi pengambilan data pada penelitian ini terdiri dari 6 lintasan, yang diduga berpotongan dengan arah aliran sungai yang tersebar didaerah dolina dan jalan desa.



**Gambar 3.2** Desain Akuisisi Penelitian

Pembuatan desain ini untuk menginvestigasi dugaan aliran dari beberapa manifestasi sumber mata air sehingga diperoleh dugaan aliran sungai bawah permukaan. Enam lintasan yang dibuat tersebar dengan orientasi Timur Laut – Barat Daya sebagai hipotesa awal dugaan hubungan sebaran manifestasi berdasarkan survei pendahuluan.

**Tabel 3.1** Koordinat lintasan pengukuran (*Decimal Degree*)

No	Line	Koordinat Awal		Koordinat Akhir		Azimuth (N-E)
		X	Y	X	Y	
1	Line 1	-8.126239°	110.973686°	-8.124733°	110.974006°	12.26°
2	Line 2	-8.124733°	110.975286°	-8.124406°	110.976836°	77.97°
3	Line 3	-8.130267°	110.973636°	-8.130653°	110.974828°	108.25°
4	Line 4	-8.134897°	110.972231°	-8.135167°	110.973433°	102.2°
5	Line 5	-8.132642°	110.971142°	-8.133028°	110.972417°	106.97°

6	Line 6	-8.126839°	110.972272°	-8.127381°	110.973275°	120°
---	-----------	------------	-------------	------------	-------------	------

Berikut adalah penjelasan desain akuisisi setiap lintasan :

- **Lintasan 1**

Pada lintasan ini panjang lintasan 1 yang diukur sepanjang 185 m yang membentang dari arah utara ke selatan. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan. Spasi elektroda pada lintasan 1 sebesar 5 m. Kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang relative datar yang berada di jalan desa. Lintasan pengukuran berada diantara manifestasi Sumber Koboran dan Sumber Kali Cilik. Pengambilan data pada lintasan 1 dilakukan pada tanggal 4 Agustus 2019.

- **Lintasan 2**

Kemudian lintasan 2 memiliki panjang 185 m yang membentang dari arah timur ke barat. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Sung. Spasi elektroda pada lintasan 2 sebesar 5 m. Kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang cukup curam dan naik turun yang berada di kebun warga. Lintasan pengukuran berada didekat manifestasi Sumber Koboran, pengambilan data dilakukan pada tanggal 6 Agustus 2019.

- **Lintasan 3**

Pada lintasan 3 memiliki panjang 145 m yang membentang dari arah barat ke timur. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Sumber Koboran. Spasi elektroda pada lintasan 3 sebesar 5 m. Kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang cukup curam yang berada di pemukiman di area jalan dusun. Lintasan pengukuran untuk mengetahui dugaan arah aliran ke selatan dari Sumber Koboran. Pengambilan data pada lintasan 3 dilakukan pada tanggal 4 Agustus 2019

- **Lintasan 4**

Pada lintasan ini memiliki panjang lintasan sepanjang 130 m yang membentang dari arah barat ke timur. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Sumber Koboran. Spasi elektroda pada lintasan 4 sebesar 5 m. Kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang sedikit naik turun yang berada di kebun warga dan pemukiman. Lintasan pengukuran untuk mengetahui dugaan arah aliran ke selatan dari Sumber Koboran. Pengambilan data pada lintasan 4 dilakukan pada tanggal 5 Agustus 2019.

- **Lintasan 5**

Panjang lintasan 5 yang diukur sebesar 145 m yang membentang dari arah barat ke timur. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Sumber Koboran. Spasi

elektroda pada lintasan 5 sebesar 5 m. Kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang sangat curam yang berada di jalanan dusun. Lintasan pengukuran untuk mengetahui dugaan arah aliran ke selatan dari Sumber Koboran. Pengambilan data pada lintasan 4 dilakukan pada tanggal 5 Agustus 2019.

• **Lintasan 6**

Panjang lintasan 6 yang diukur memiliki panjang 130 m yang membentang dari arah barat ke timur. Pembuatan arah lintasan bertujuan untuk memotong pendugaan aliran sungai bawah permukaan yang berasal dari Sumber Koboran. Spasi elektroda pada lintasan 6 sebesar 5 m. Kondisi daerah lintasan pengukuran memiliki topografi yang sedikit naik turun yang berada di kebun warga dekat dengan Sumber Kali Cilik. Lintasan pengukuran berada diantara manifestasi Sumber Koboran dan Sumber Kali Cilik. Pengambilan data pada lintasan 4 dilakukan pada tanggal 13 Agustus 2019.

**3.4 Peralatan**

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak untuk membantu pengolahan data. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1 Set *Resistivity meter* EDAK
- Kompas Geologi
- Accumulator sebesar 12 V sebagai sumber tegangan
- *Global Potisioning System* (GPS)
- Kabel rol sebanyak 5 buah
- Dua buah rol meteran
- Palu sebanyak 4 buah
- 40 Elektroda
- Rol meteran 100 meter sebanyak 2 buah
- Handy Talky sebanyak 2 buah
- Datasheet dan Alat Tulis

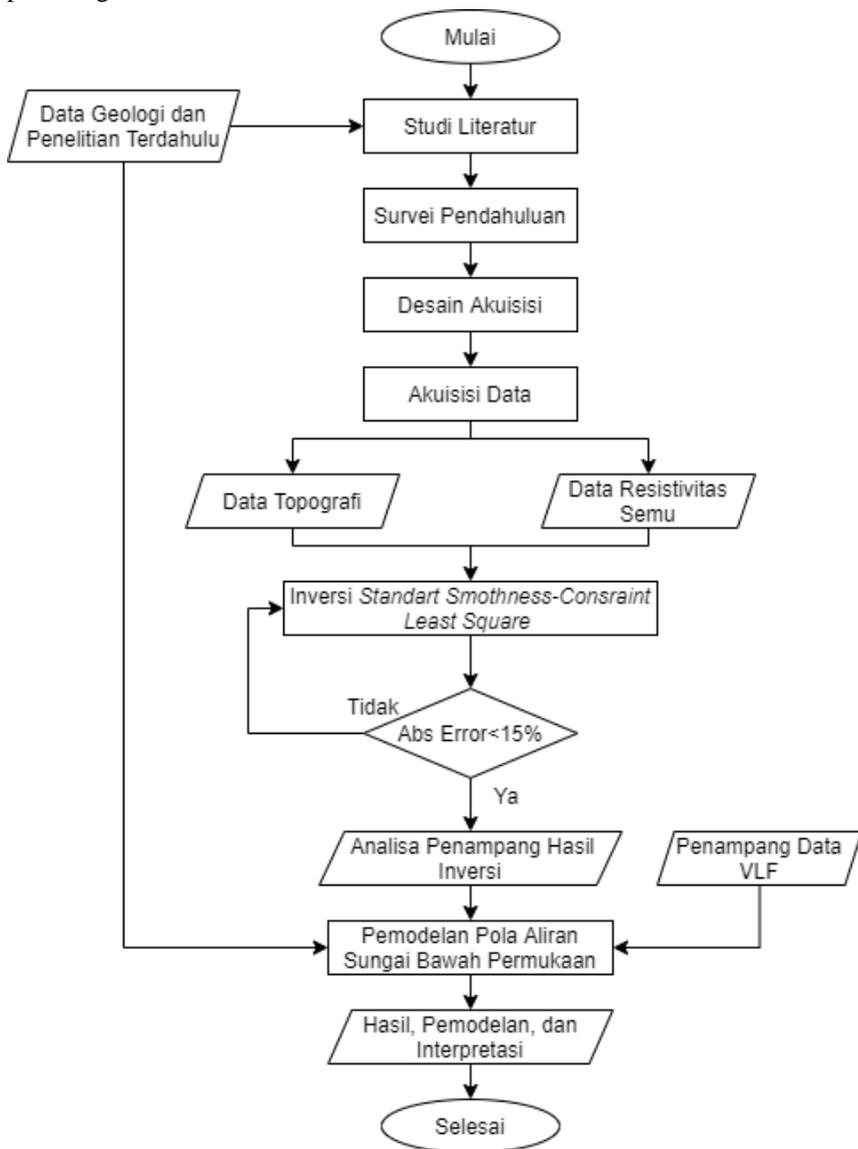
Perangkat lunak yang digunakan dijelaskan pada tabel 3.2

**Tabel 3.2** Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian

Ms. Word 2016	Perangkat lunak pengolahan Kata
Ms. Excel 2016	Perangkat lunak manajemen data numerik
Notepad	Perangkat lunak input data
RES2DINV	Perangkat lunak pengolahan inversi dan tomografi
Google Earth	Perangkat lunak <i>earth viewer</i>
ArcMap	Perangkat lunak desain peta
Surfer	Perangkat lunak desain peta topografi
Leap Frog	Perangkat lunak desain peta gabungan penampang

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Tugas akhir ini dikerjakan sebagaimana dengan alur pengerjaan yang tertera pada diagram dibawah



**Gambar 3.3** Diagram Alir Penelitian

## **3.6 Tahapan Penelitian**

### **3.6.1 Studi Literatur**

Tahapan ini dilakukan untuk memperoleh informasi dan referensi terkait penelitian yang dilakukan meliputi data geologi, penelitian terdahulu yang pernah dilakukan serta penelitian metode resistivitas di daerah karst. Melalui studi literatur disusun teori pendukung dan bagaimana penelitian ini dilakukakan semestinya.

### **3.6.2 Survei Pendahuluan**

Survei pendahuluan merupakan tahapan untuk memperoleh gambaran daerah penelitian sebelum pengambilan data dilakukan. Dalam survei pendahuluan, hal yang dilakukan adalah mencari *point of interest* berupa manifestasi luweng, sungai, maupun sumber. Keberadaan manifestasi luweng-luweng maupun sungai patah dilapangan dapat digunakan acuan untuk dugaan sistem aliran sungai bawah permukaan untuk menentukan lintasan pengukuran. Informasi yang diperoleh dari survei pendahuluan akan digunakan penulis untuk merancang desain akusisi.

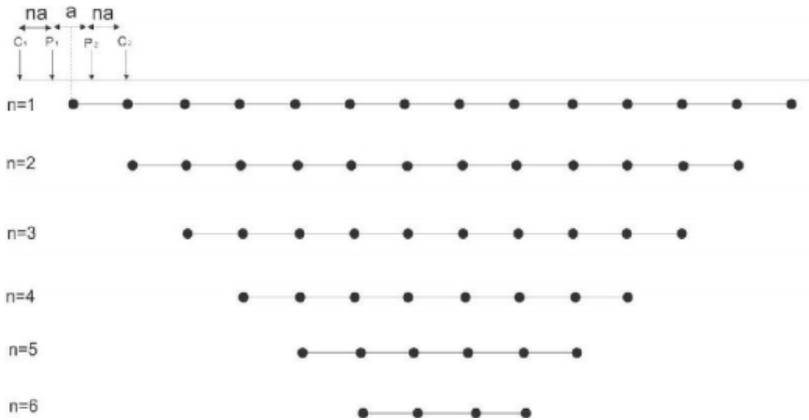
### **3.6.3 Desain Akusisi**

Informasi yang diperoleh dari survei pendahuluan digunakan untuk merancang desain akusisi pengambilan data. Pembuatan desain akusisi berdasarkan dugaan kemenerusan sistem aliran sungai bawah permukaan antar manifestasi sungai patah dan sumber. Terdapat 6 lintasan pengukuran yang berada di 2 lokasi berbeda. Lintasan 1 dengan panjang lintasan 185 m, lintasan 2 dengan panjang lintasan 185 m, lintasan 3 dengan panjang lintasan 145 m, lintasan 4 dengan panjang lintasan 130 m, lintasan 5 dengan panjang lintasan 145 m, dan lintasan 6 dengan panjang lintasan 130 m. Tiap-tiap lintasan pengukuran memiliki spasi elektroda yang sama yaitu 5 m.

### **3.6.4 Akusisi Data**

Pengambilan data dilakukan di lokasi berdasarkan desain akusisi yang telah dibuat. Dalam pengambilan data, metode yang digunakan adalah metode resistivitas 2D dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Pemilihan konfigurasi ini berdasarkan target yang diinginkan. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan salah satu konfigurasi metode geolistrik yang memiliki jangkauan penetreasi kedalaman yang cukup baik, resolusi vertikal yang baik dan tingkat sensitive terhadap heterogenitas secara lateral cukup baik. Karakteristik konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dianggap cocok untuk mencari target penelitian berupa goa/rongga bawah permukaan tanah. Proses akusisi data berlangsung pada tanggal 4, 5, 6 dan 12 Agustus 2019. Data yang diperoleh dari pengambilan data berupa beda potensial (V) yang terukur dari elektroda potensial, besar arus litrik (I) yang dialirkan ke bumi, faktor geometri (k) sesuai konfigurasi yang digunakan, datum point, dan Rho<sub>app</sub> sebagai nilai tahanan jenis

litologi. Data yang diperoleh dari akusisi akan digunakan untuk tahap pengolahan data. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan 4 buah elektroda yang terdiri dari C1 dan C2 sebagai elektroda arus, P1 dan P2 sebagai elektroda potensial yang diletakkan pada satu garis lurus. Kemudian dialirkan arus listrik kedalam bumi melalui elektroda arus sehingga akan terukur beda potensial pada elektroda potensial. Untuk pseudosection konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Sebaran data Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.

### 3.6.5 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari akusisi data akan digunakan dalam pengolahan data. Data yang digunakan sebagai *input* antara lain beda potensial (V), besar arus listrik (I), faktor geometri (k), datum point, spasi elektroda dan n. *Output* yang diperoleh dari pengolahan data adalah resistivitas semu ( $\rho$ ).

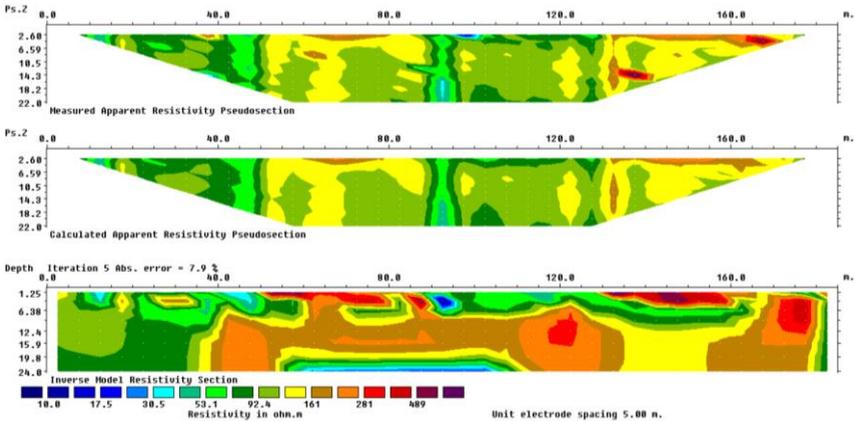
```

File Edit Format Lihat Bantuan
LINE C-D
5
7
275
1
0
7.5 5 1 94.62934957
12.5 5 1 41.95060849
17.5 5 1 105.3611222
22.5 5 1 77.71308143
27.5 5 1 85.40577043
32.5 5 1 72.44230073
37.5 5 1 243.8131703
42.5 5 1 63.41527359
47.5 5 1 46.63666486
52.5 5 1 126.7092037
57.5 5 1 148.1562631
62.5 5 1 178.997721
67.5 5 1 228.2366858
72.5 5 1 209.1959759
77.5 5 1 178.5083974
82.5 5 1 149.202483
87.5 5 1 92.70273404
92.5 5 1 68.59868907
97.5 5 1 11.74550866
102.5 5 1 57.96116679
107.5 5 1 107.1228616
112.5 5 1 67.380129
117.5 5 1 70.43450229
122.5 5 1 89.35613147
127.5 5 1 49.12916171
132.5 5 1 186.319941
137.5 5 1 173.6111202

```

**Gambar 3.5** Data *Raw Input* Resistivitas 2D

Persebaran nilai resistivitas semu ( $\rho$ ) akan ditampilkan berupa penampang 2D dengan metode inversi yang telah ditentukan.



**Gambar 3.6** Hasi Inversi Resistivitas 2D Menggunakan Perangkat Lunak Res2DINV

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan beberapa software seperti Google Earth Pro, ArcMap, Ms. Excel, Notepad, Res2DINV. Model 2D lateral persebaran Persebaran nilai resistivitas semu ( $\rho$ ) yang didapatkan dari *software* Res2DINV kemudian akan diinterpretasi lebih lanjut.

### 3.6.6 Analisis dan Interpretasi Data

### 3.6.7 Pemodelan

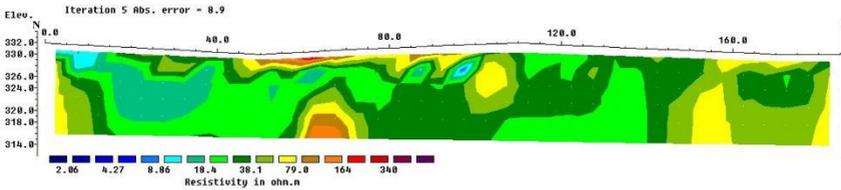
Pemodelan dilakukan bertujuan untuk menggambarkan kemenerusan sistem aliran sungai bawah permukaan berdasarkan interpretasi penampang 2D nilai resistivitas semu dan topografi.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Hasil Distribusi Nilai Resistivitas 2D**

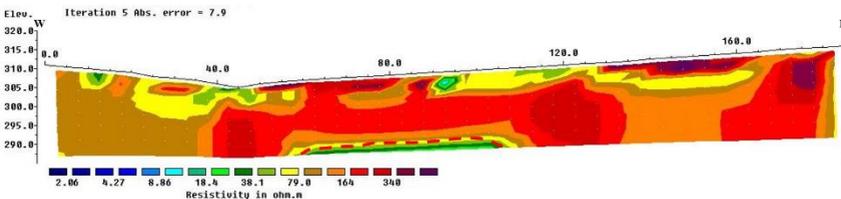
Penampang 2D yang dihasilkan merupakan luaran dari proses pengolahan dengan inversi *Smoothness-Constraint Least Square* pada setiap lintasan data resistivitas 2D. Dalam penampang yang dihasilkan berupa sebaran nilai resistivitas sebagai indikator yang ditunjukkan dengan kontur/warna dengan rentang tertentu. Penampang ini dianalisis dengan beberapa parameter, yaitu sebaran nilai resistivitas, nilai error, kondisi geologi lapangan, data pendukung, dan berdasarkan referensi penelitian terdahulu. Target atau tujuan yang dicari pada penelitian ini yaitu sungai bawah permukaan yang berupa gua yang berisi air entah penuh maupun setengah kosong. Adanya sungai bawah permukaan pada karst merupakan rekahan atau celah dan berupa gua yang berisi air maupun gua kosong sebagai lorong/saluran gua (Eko Haryono dan Adji, 2004). Daerah penelitian berdasarkan peta geologi regional Pacitan termasuk dalam Formasi Wonosari dimana formasi ini didominasi oleh batuan karbonat yang terdiri dari batugamping berlapis dan batugamping terumbu sebagaimana dijelaskan pada sub-bab 2.1.1.2.

Berdasarkan William E. Kelly dan Stanislav Mares dalam (Kuswanto, 2005), untuk interpretasi dan pemodelan pada wilayah karst dijelaskan bahwa terdapat empat jenis tipe lapisan batuan berdasarkan nilai resistivitas, yaitu : (1) lapisan dekat permukaan seperti *top soil* ataupun dolina (nilai resistivitas puluhan Ohm.m), (2) Batugamping yang mengalami proses pelarutan (nilai resistivitas ratusan Ohm.m), (3) Batugamping yang terisi oleh air (nilai resistivitas puluhan hingga ratusan Ohm.m) dan (4) Batugamping pejal (nilai resistivitas ribuan Ohm.m). Interpretasi berdasarkan warna yang ditampilkan pada model penampang sebagai indikator nilai resistivitas yang beracu pada tabel resistivitas pada gambar 2.9. Interpretasi penampang 2D dilakukan sesuai dengan informasi geologi dan data penelitian terdahulu pada kawasan karst. Melalui pendekatan rentang nilai resistivitas yang melokalisir dugaan sungai bawah permukaan pada kawasan karst. Pada tampilan setiap penampang telah disesuaikan antar lintasan dengan rentang nilai yang ditampilkan telah disesuaikan sebesar 2.06 hingga <340 ohm.m dan faktor peningkatan kontur resistivitas sebesar 1.44 sehingga didapatkan warna yang sama pada tiap penampang yang ditampilkan. Penampang 2D masing-masing lintasan dianalisis sebagai berikut :



**Gambar 4.1** Penampang Resistivitas Lintasan 1 dengan azimuth line 12.26°NE , panjang 185 m, dan spasi elektroda 5 m

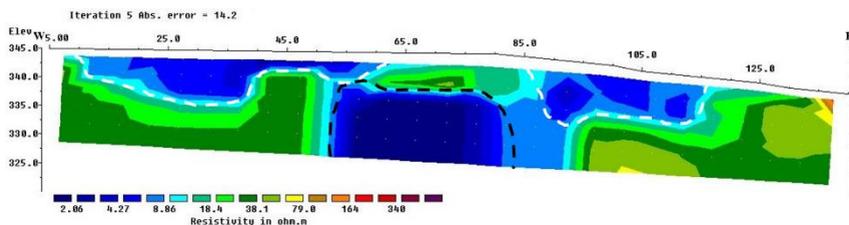
Gambar 4.1 menunjukkan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 1 dengan nilai *Abs. error* 8.9% dengan iterasi sebanyak 5 kali dan didapatkan kedalaman  $\pm 18$ m yang dengan jumlah *n* sebanyak 6. Lintasan dibentang di jalan desa dengan kondisi geologi di permukaan berupa karbonat lapuk. Diinterpretasikan rentang nilai resistivitas 2.06-20 Ohm.m sebagai karbonat yang tercampur tanah, yang terinfiltrasi oleh air yang ditandai garis putus-putus berwarna merah. Dapat dilihat pada penampang pada meter pengukuran 0-15 m terdapat anomali yang menunjukkan adanya karbonat yang tercampur tanah yang sesuai dengan kondisi lapangan. Dan pada meter 87 dan 98 terdapat rongga berisi air pada kedalaman  $\pm 5$  m. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya proses pelarutan oleh air dan karakteristik karbonat yang berongga. Air menembus bawah permukaan melewati celah batuan atau batuan yang rekah secara intensif sehingga semakin lama batuan akan tergerus. Untuk nilai resistivitas  $>20$  Ohm.m diinterpretasikan sebagai batu gamping. Pada lintasan 1 tidak terindikasi adanya sungai bawah permukaan dan didominasi oleh karbonat tanpa adanya perlapisan.



**Gambar 4.2** Penampang Resistivitas Lintasan 2 dengan azimuth line 77.97° NE, panjang 185 m, dan spasi elektroda 5m

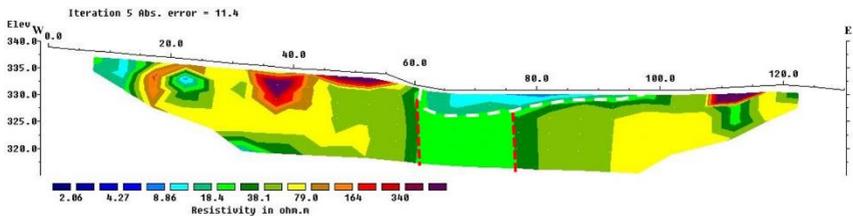
Pada gambar 4.2 menunjukkan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 2 dengan nilai *Abs. error* 7.9% dengan iterasi sebanyak 5 kali dan didapatkan kedalaman  $\pm 24$ m yang dengan jumlah *n* sebanyak 11. Lintasan dibentang di dolina tanpa adanya lapisan penutup dengan kondisi geologi di permukaan berupa karbonat pejal dan batu gamping. Diinterpretasikan rentang nilai resistivitas 2.06-20 Ohm.m sebagai sungai bawah permukaan yang berada

di kedalaman  $\pm 21$ m pada meter 55-100 yang ditandai garis putus-putus berwarna merah. Dugaan adanya sungai bawah permukaan diperkuat dengan lokasi pengukuran yang berada didekat manifestasi Sumber Koboran. Kemudian untuk nilai resistivitas 20-250 ohm.m diinterpretasikan sebagai batu gamping. Untuk nilai resistivitas  $>250$  Ohm.m diinterpretasikan sebagai batu gamping yang lebih masif atau rongga kosong pada karbonat. Pada meter 85-89 terdapat anomali nilai resistivitas tinggi yang diinterpretasikan sebagai rongga kosong. Sedangkan pada meter 129-162 merupakan batu gamping yang lebih masif yang sesuai dengan kondisi geologi permukaan pada saat akuisisi yang berupa karbonat yang kompak dan tidak lapuk. Sedangkan untuk anomali resistivitas tinggi dibawah permukaan diindikasikan merupakan batu gamping yang lebih masif sebagai lapisan penutup dari sungai bawah permukaan yang tersebar pada meter 40-130. Pada lintasan 2 terindikasi adanya sungai bawah permukaan yang diperkuat adanya manifestasi yang berada  $\pm 20$  m ke selatan dari lintasan.



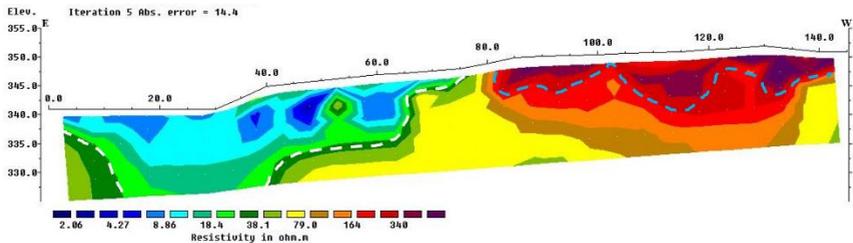
**Gambar 4.3** Penampang Resistivitas Lintasan 3 dengan azimuth line 108.25°NE, panjang 145 m, dan spasi elektroda 5m

Kemudian gambar 4.3 menunjukkan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 3 dengan nilai *Abs. error* 14.2% dengan iterasi sebanyak 5 kali dan didapatkan kedalaman  $\pm 15.9$ m yang dengan jumlah *n* sebanyak 6. Lintasan dibentang di jalan desa dengan kondisi geologi permukaan di dominasi dengan *top soil* dan terdapat karbonat pada meter 66-83. Diinterpretasikan rentang nilai resistivitas 2.06-20 Ohm.m yang berada di permukaan sebagai *top soil* dan pada meter 55-90 pada kedalaman  $<5$ m merupakan batu gamping. Hal tersebut diduga batuan terlarutkan, mengalami pelapukan dan tercampur dengan *top soil* akibat adanya infiltrasi oleh air yang ditandai garis putus-putus berwarna putih. Kemudian untuk nilai resistivitas  $>20$  ohm.m diinterpretasikan sebagai batu gamping.. Pada lintasan 3 diinterpretasikan tidak mengindikasikan adanya sungai bawah permukaan karena bukan zona lemah yang ditunjukkan oleh topografi yang lebih tinggi dari sekitarnya. Namun adanya anomali resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai karbonat yang tergerus dan tercampur hingga bersifat yang lebih permeabel yang ditandai garis putus-putus berwarna hitam.



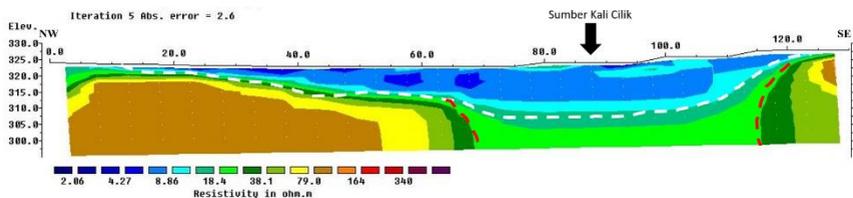
**Gambar 4.4** Penampang Resistivitas Lintasan 4 dengan azimuth line 102.2°NE, panjang 130 m, dan spasi elektroda 5m

Penampang pada gambar 4.4 menunjukkan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 4 dengan nilai *Abs. error* 11.4% dengan iterasi sebanyak 5 kali dan didapatkan kedalaman  $\pm 15.9$  m yang dengan jumlah  $n$  sebanyak 6. Lintasan dibentang di dolina dan jalan desa dengan kondisi geologi permukaan di berupa dengan lapisan penutup dolina, tanah timbunan dan terdapat beberapa karbonat masif pada meter. Diinterpretasikan rentang nilai resistivitas 2.06-20 Ohm.m yang berada di permukaan sebagai *top soil* yang merupakan lapisan penutup di dolina pada meter 60-90 yang ditandai garis putus-putus berwarna putih. Sedangkan pada meter 23 pada kedalaman 6m terdapat rongga terisi air. Pada lintasan ini dolina di interpretasikan memiliki kedalaman  $\pm 5$ m, dan nilai resistivitas  $\pm 18.4$ -25 Ohm.m dibawahnya diinterpretasikan sebagai epikarst atau zona subkutan akibat pelapukan dengan sifat permeabilitas tinggi (Doerfliger dkk., 1999) yang ditandai garis putus-putus berwarna merah. Kemudian untuk nilai resistivitas 20-250 Ohm.m merupakan batu gamping, sedangkan untuk nilai resistivitas tinggi sebesar  $< 250$  Ohm.m diinterpretasikan sebagai tanah timbunan berupa karbonat dengan banyak rongga yang ditunjukkan pada meter 45-57 dan 108-117 yang sesuai dengan kondisi permukaan. Namun untuk meter 37 pada kedalaman  $\pm 4$ m untuk nilai yang sama diinterpretasikan sebagai rongga kosong. Pada lintasan 4 diinterpretasikan terindikasi adanya sungai bawah permukaan namun tidak diketahui kedalamannya dan dengan adanya anomali resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai karbonat yang tergerus dan tercampur hingga bersifat yang lebih permeabel.



**Gambar 4.5** Penampang Resistivitas Lintasan 5 dengan azimuth line 106.97°NE, panjang 145 m, dan spasi elektroda 5m

Gambar 4.5 menunjukkan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 5 dengan nilai *Abs. error* 14.4% dengan iterasi sebanyak 5 kali dan didapatkan kedalaman  $\pm 15.9$  m yang dengan jumlah  $n$  sebanyak 6. Lintasan dibentang jalan desa dengan kemiringan cukup terjal dan kondisi geologi permukaan berupa dengan tanah dan terdapat beberapa karbonat masif pada meter. Diinterpretasikan rentang nilai resistivitas 2.06-20 Ohm.m yang berada di permukaan sebagai *top soil* dengan rekahan yang terinfiltrasi oleh air pada meter 0-60 dan memiliki kedalaman  $\pm 12.5$  m yang ditandai garis putus-putus berwarna hitam. Kemudian untuk nilai resistivitas 20-250 Ohm.m merupakan batu gamping, sedangkan untuk nilai resistivitas tinggi sebesar  $<250$  Ohm.m diinterpretasikan sebagai batu gamping pejal di yang ditunjukkan pada meter 85-150 yang sesuai dengan kondisi permukaan yang ditunjukkan garis putus-putus berwarna hitam. Pada lintasan 4 diinterpretasikan tidak terindikasi adanya sungai bawah permukaan namun adanya anomali resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai tanah penutup dengan rongga rongga berisi air.



**Gambar 4.6** Penampang Resistivitas Lintasan 6 dengan azimuth line 120°NE, panjang 130 m, dan spasi elektroda 5m

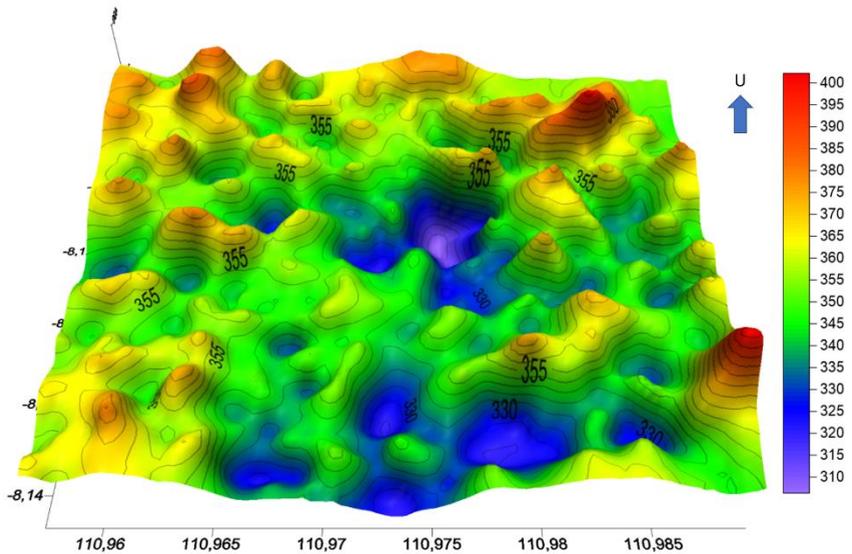
Yang terakhir pada gambar 4.6 menunjukkan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 5 dengan nilai *Abs. error* 2.6% dengan iterasi sebanyak 5 kali dan didapatkan kedalaman  $\pm 28.7$  m yang dengan jumlah  $n$  sebanyak 12. Lintasan dibentang di daerah dolina dengan kondisi geologi permukaan berupa lapisan penutup sedimen. Diinterpretasikan rentang nilai

resistivitas 2.06-20 Ohm.m yang ditandai dengan garis putus-putus berwarna berwarna putih berada di permukaan sebagai *top soil* dengan ketebalan hingga  $\pm 12$  m dan zona infiltrasi pada kedalaman  $< 12$  m dibawah lapisan penutup dengan nilai  $\pm 18.4-28$  Ohm.m yang ditandai garis putus-putus berwarna merah. Kemudian untuk nilai resistivitas 20-250 Ohm.m merupakan batu gamping. Pada lintasan 4 diinterpretasikan terindikasi adanya sungai bawah dengan ada validasi berupa manifestasi Sumber Kali Cilik dengan adanya air kedalaman dari permukaan  $\pm 7$  m. Namun terdapat ambiguitas antara nilai resistivitas air tanah dan lapisan penutup yang memiliki rentang resistivitas yang sama.

## **4.2 Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan**

### **4.2.1 Analisa Topografi**

Pola aliran sungai pada penelitian ini diinterpretasi dari hasil penampang 2D dengan melihat anomali resistivitas rendah yang diidentifikasi sebagai sungai bawah permukaan dan zona vadus. Menurut (Eko Haryono dan Adji, 2004) keberadaan air di karst biasanya hanya dapat diamati pada sungai bawah tanah dan mata air yang dapat keluar di laut ataupun pada goa serta karena adanya faktor topografi tertentu. Pada penelitian (Bahri dkk., 2019) sistem bawah permukaan ini berkembang di zona *vadouse* atau bagian atas lapisan akuifer, sistem sungai bawah permukaan yang terjadi karena pergerakan air melalui patahan batuan atau lubang di permukaan seperti luweng atau goa. Dan menurut (S. Aliyan dkk., 2018) pola aliran sungai bawah permukaan dikontrol dua faktor pengontrol yaitu sesar dan kelerengan curam yang berhubungan dengan elevasi sebagai faktor yang mengoptimalkan pelarutan pada proses karstifikasi sehingga menghasilkan banyak cabang sungai bawah permukaan konsisten menerus mengikuti arah bidang lemahnya. Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan dibuat model topografi untuk memudahkan interpretasi pola aliran sungai bawah permukaan.



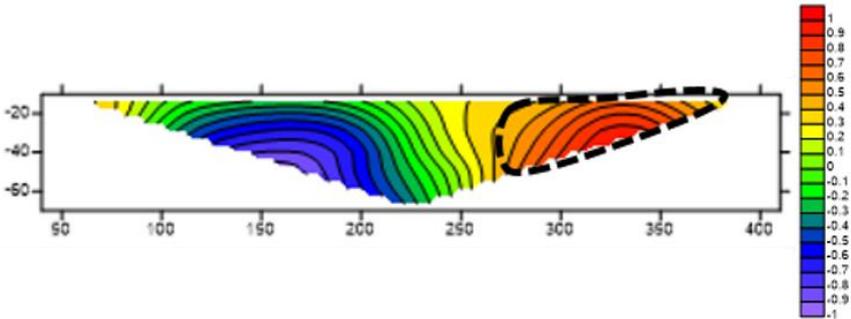
**Gambar 4.7** Peta Topografi 3D Daerah Penelitian

Gambar 4.7 Menunjukkan kenampakan morfologi kegelkarst yang berada pada daerah penelitian dengan dengan kumpulan bukit yang ditunjukkan dengan warna merah yang memiliki topografi tinggi yang sambung menyambung. Sela antar bukit membentuk zona lemah atau dikenal dengan dolina, yang ditunjukkan dengan warna biru yang memiliki topografi rendah. Terlihat bahwa rentang topografi pada daerah penelitian berkisar antara 305 hingga 405 meter di atas permukaan laut. Manifestasi sumber air di daerah penelitian tersebar di zona lemah sehingga lintasan juga relatif tersebar di zona lemah yang diduga dilewati oleh sungai bawah permukaan yang terhubung antar manifestasi. Pada Penelitian ini terdapat data pendukung berupa penampang Rapat Arus Ekuivalen (RAE). Pola aliran sungai bawah permukaan cukup sulit dilakukan apabila hanya dilihat dari anomali resistivitas rendah dari gabungan penampang resistivitas 2D dan penelitian (Siti Imania Luhri dkk., 2020) yaitu metode VLF-EM yang berupa anomali konduktif. Sehingga selain membuat model gabungan penampang juga dilakukan *overlay* lintasan akuisisi dengan model topografi 2D tampak atas yang telah dianalisis dengan hasil penampang resistivitas 2D yang diindikasikan terdapat sungai bawah permukaan maupun zona vadus dibawah lapisan penutup dolina.

#### 4.2.2 Data Pendukung VLF-EM

Metode *Very Low Frequency* (VLF) merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan komponen magnetik dari medan elektromagnet

yang ditimbulkan oleh pemancar gelombang radio berfrekuensi sangat rendah yaitu berkisar antara 15 – 30 kHz.

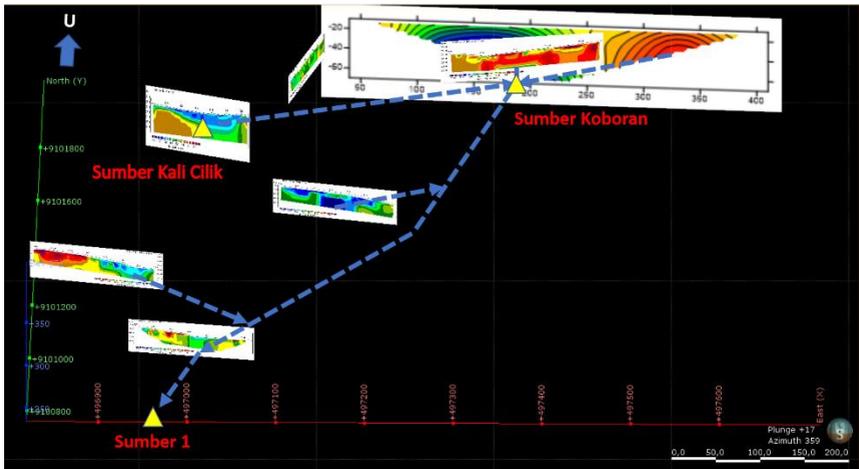


**Gambar 4.8** Penampang Rapat Arus Ekuivalen Metode VLF-EM

Pada Gambar 4.8 merupakan penampang persebaran Rapat Arus Ekuivalen (RAE) berdasarkan jarak dan kedalaman. RAE memberikan informasi daerah yang merupakan anomali konduktif. Hasil dari penampakan ini bukanlah nilai dari konduktivitas yang sebenarnya, karena filter ini merupakan pengolahan data yang bersifat kualitatif. Nilai RAE yang ada menunjukkan daerah yang lebih konduktif dari daerah sekitarnya. Artinya nilai konduktifitas dari hasil pengolahan tersebut bersifat lokal (hanya pada lokasi penelitian) dan bisa berbeda pada daerah yang lainnya. Dapat dilihat terdapat anomali konduktif dengan kedalaman 20-40 meter terdapat anomali konduktif di meter ke 300-350 (Siti Imania Luhri dkk., 2020).

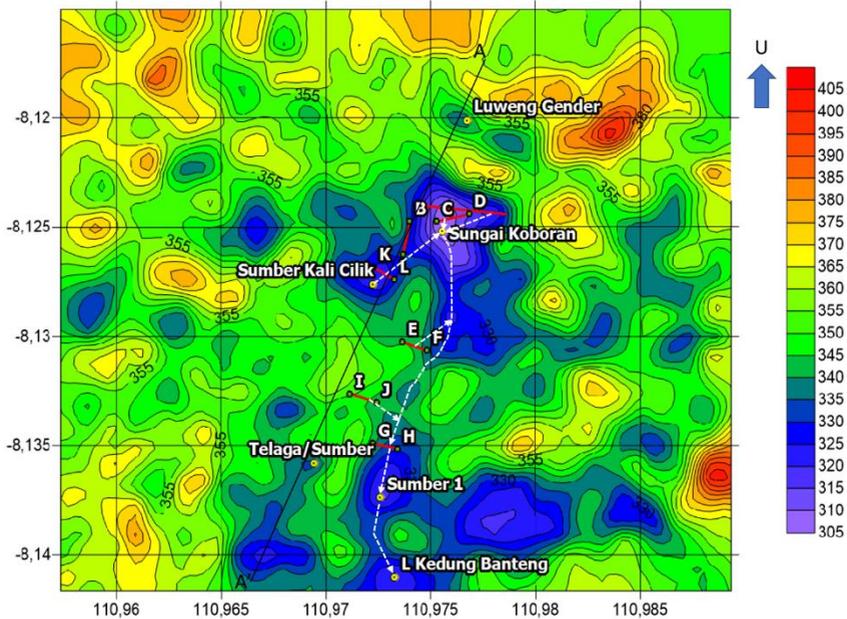
#### 4.2.2 Pembahasan Pola Sungai Bawah Permukaan

Pola aliran sungai bawah permukaan cukup sulit dilakukan apabila hanya dilihat dari anomali resistivitas rendah dari gabungan penampang resistivitas 2D dan metode VLF-EM yang berupa anomali konduktif. Sehingga selain membuat model gabungan penampang juga dilakukan *overlay* lintasan akuisisi dengan model topografi 2D tampak atas yang telah dianalisis dengan hasil penampang resistivitas 2D yang diindikasikan terdapat sungai bawah permukaan maupun zona vadus dibawah lapisan penutup dolina.

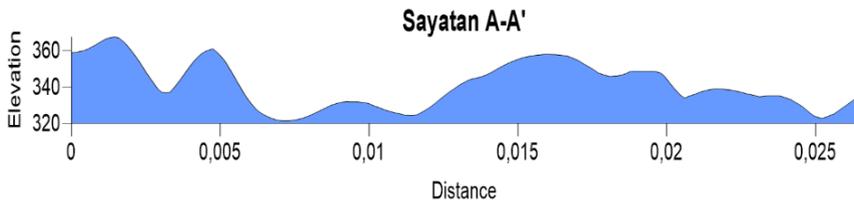


**Gambar 4.9** Dugaan Arah Aliran Sungai Bawah Permukaan Dilihat Dari Gabungan Penampang Resisitivitas 2D dan VLF-EM

Gambar 4.9 Menunjukkan pola aliran sungai bawah permukaan dari hubungan anomali resistivitas rendah antar penampang metode resistivitas 2D dan anomali RAE konduktivitas tinggi pada penampang hasil metode VLF-EM. Berdasarkan hasil penampang resistivitas yang telah diamati, dari 6 lintasan yang dilakukan akuisisi, terdapat 3 lintasan yang diidentifikasi dilewati sungai bawah permukaan yaitu lintasan 2, 4 dan 6. Namun terdapat 2 lintasan yang bukan berada di zona lemah dan tidak terindikasi dilewati sungai bawah permukaan namun terdapat zona infiltrasi yang ditandai oleh anomali rendah yaitu pada lintasan 3 dan 5. Sehingga secara gabungan penampang arah aliran sungai dari Sumber Koboran ke Sumber 1 relatif berarah SE-NW.



**Gambar 4.10** Peta Overlay Topografi Dugaan Arah Aliran Sungai Bawah Permukaan



**Gambar 4. 11** Sayatan A-A' Pada Peta Topografi

Gambar 4.11 Mengilustrasikan topografi tampak samping yang melewati manifestasi Gender dan Kali Cilik yang menunjukkan kenampakan zona lemah yang berupa dolina. Selain itu terlihat bukit-bukit yang digambarkan dengan daerah tinggi yang berupa *conekarst* pada kenampakan geologi permukaan. Sedangkan pada gambar 4.10 mengilustrasikan arah aliran sungai bawah permukaan yang menghubungkan manifestasi dengan mengikuti zona lemahnya berdasarkan penghubungan anomali resistivitas rendah dan konduktivitas tinggi VLF-EM. Terlihat bahwa pada maniestasi Sumber Kali Cilik yang menuju ke Sumber Koboran berarah SW-NE dengan faktor

pengontrol topografi. Hal tersebut dapat terjadi pada zona vadus dimana pada lorong conduit akan berkumpul pada zona yang lebih lemah pada *cockpit* atau *uvala* sehingga akan diteruskan secara vertikal pada epikarst (zona subkutan) yang memiliki permeabilitas tinggi yang terhubung dengan sungai utama (Doerflinger dkk., 1999), yang teridentifikasi pada lintasan 4 dan 6. Pada lintasan 2 pada analisis sebelumnya dijelaskan bahwa dolina yang terdapat di pusat Sumber Koboran tidak memiliki lapisan penutup dan merupakan zona paling lemah yang terdapat pada daerah penelitian. Sehingga dugaan arah aliran sungai bawah permukaan pada manifestasi akan terakumulasi pada zona lemah mengikuti morfologi dolina yang ditunjukkan pada kumpulan zona berwarna biru yang diilustrasikan pada gambar 4.9

Terdapat 3 lintasan yang tidak berada di dolina namun 2 diantaranya teridentifikasi zona yang terinfiltrasi oleh air sehingga mengalami pelarutan yaitu pada lintasan 3 dan 5. Dua lintasan tersebut berada di daerah dengan kemiringan yang cukup curam di dekat zona lemah, sehingga pada lintasan tersebut dapat diidentifikasi arah infiltrasinya mengarah ke zona lemah didekatnya yang berupa dolina. Interpretasi dugaan sungai bawah permukaan yang melewati Line 2, 4, dan 6 merupakan arah aliran utama yang yang relatif memiliki arah NE-SW. Hal tersebut sesuai dengan pendugaan awal sesuai dengan dasar teori pada sub bab 2.1.1.5 dan gambar 2.6. Selain itu juga didukung oleh penelitian sebelumnya di daerah Pringkuku yang berada  $\pm 7$  km di Selatan daerah penelitian dengan pola aliran bawah permukaan berarah NE-SW yang diduga dikontrol aktif oleh sesar oblik sinistral Klanden dan sesar geser sinistral Barong. Sedangkan NW-SE diduga dikontrol oleh sesar geser dekstral Ngadirejan. Namun pada daerah penelitian sesar terdekat yaitu sesar Buyutan yang diduga mengontrol pola aliran sungai bawah permukaan yang berarah NE-SW yang berjarak  $\pm 5$  km dari lokasi penelitian. Sedangkan NW-SE diduga dikontrol oleh sesar Punung yang berjarak  $\pm 4$  km dari lokasi penelitian yang sesuai dengan penelitian (S. Aliyan dkk., 2018) dengan faktor pengontrol sesar yang berbeda karena lokasi sebelumnya berada di selatan daerah penelitian.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi data, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sungai bawah permukaan di Desa Sekar, Dusun, Ngrijang, Kecamatan Donorojo, Pacitan diidentifikasi dengan nilai resistivitas antara 2.6-20 Ohm.m.
2. Terindikasi hubungan sungai bawah permukaan dari Sumber Koboran menuju Sumber 1 dan Sumber Kali Cilik menuju Sumber Koboran berarah Barat Daya-Timur Laut yang diduga terkontrol Sesar Buyutan.

### **5.2 Saran**

Saran penulis yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Lintasan pengukuran yang lebih panjang untuk mendapatkan penetrasi lebih dalam dan cakupan area yang lebih luas.
2. Perlunya metode analisis isotop untuk mengetahui kemenerusan aliran sungai bawah permukaan antar luweng.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeoti, L., Alile, O., Uchegbulam, O. dan Adegbola, R. (2012), *Geoelectrical investigation of the groundwater potential in Mowe, Ogun State, Nigeria*,.
- Aliyan, S., Bahri, S. dan Widodo, A. (2018), *Identifikasi Kontrol Struktur Geologi Terhadap Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan Di Kawasan Karst Pringkuku Pacitan*,.
- Aliyan, S.A., Bahri, A.S., Widodo, A. dan Utama, W. (2020), "Remote Sensing Data Integration of Landsat 8 and SRTM for Geomorphological Characteristics Identification in Karst Pringkuku, Pacitan, East Java", *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, Vol.9 (2019) No. 1, hal. pages: 212-218. <http://doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.6751>.
- Amrin, I., Purwanto, M.S., Utama, W. dan others (2018), "Identifikasi Sistem Sungai Bawah Tanah Daerah Karst Menggunakan Metode Very Low Frequency, Pacitan", *Jurnal Teknik ITS*, Vol.7, No.1, hal. C81–C83.
- Bahri, A., Hardyani, P., Utama, W., Hilyah, A., Purwanto, M. dan Fajar, M. (2019), "Controlling factors of underground river system of karst region in Pacitan Regency, East Java", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, hal. 012033,.
- Bemmelen, R.W.V (1949), *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, Government Printing Office.
- Doerfliger, N., Jeannin, P.-Y. dan Zwahlen, F. (1999), "Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method)", *Environmental Geology*, Vol.39, No.2, hal. 165–176.
- Ford, D. dan Williams, P.D. (2013), *Karst hydrogeology and geomorphology*, John Wiley & Sons.
- Handayani, A. (2009), *Analisis Potensi Sungai Bawah Tanah di Gua Seropan dan Gua Semuluh untuk Pendataan Sumber Daya Air Kawasan Karst di Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*, Universitas Sebelas Maret.
- Haryono, E (2011), "Introduction to Gunungsewu Karst", *Field Guide of Asian Trans-Disciplinary Karst Conference*, Yogyakarta: Karst Research Group, Faculty of Geogrpahy-Gadjah Mada University,.
- Haryono, Eko (2017), *Introduction to Gunungsewu Karst: Asian Trans-disciplinary Karst Conference Field Guide*,.
- Haryono, Eko dan Adji, T.N. (2017), *Geomorfologi dan hidrologi karst*,.
- Haryono, Eko dan Adji, T.N. (2004), *Bahan Ajar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*,.
- Kusumayudha, S.B. (2005), *Hidrogeologi karst dan geometri fraktal di daerah Gunungsewu, Adicita*.

- Kuswanto (2005), "Aplikasi Metoda Res-2D Untuk Eksplorasi Air Bawah Tanah", *Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral – BPPT*, Vol.1, No.2, hal. 226–234.
- Loke, M. (2004), *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*.
- Loke, M. (1999), "Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies", *A practical guide to*, Vol.2.
- Naufaldi, F., Hilyah, A. dan Bahri, A.S. (2018), "Aplikasi Metode Resistivitas 2D pada Pemetaan Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan Kedung Banteng, Pacitan, Jawa Timur", *Repository ITS*, Diambil dari <http://repository.its.ac.id/id/eprint/50845>.
- Samodra, H, Gafoer, S. dan Tjokrosapoetro, S. (1990), "Tatanan Stratigrafi dan Tektonik Pegunungan Selatan Jawa Timur Antara Pacitan–Ponorogo", *Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*.
- Samodra, Hanang (2001), "Nilai Strategis Kawasan Kars Di Indonesia", *Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, Bandung*.
- Siti Imania Luhri, Ayi Syaeful Bahri dan Anik Hilyah (2020), "Pendugaan Kemenerusan Aliran Sungai Bawah Permukaan Desa Sekar, Pacitan Menggunakan Metode VLF-EM dengan Filter EEMD", *Tugas Akhir ITS, Surabaya*.
- Supriyanto, E. dan Fisika-FMIPA, D. (2007), "Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi", *Diktat Jurusan Fisika Komputasi Universitas Indonesia*.
- Surono, T. (n.d.), "B., and Sudarno, I., 1992", *Geological Map of Surakarta-Girontro Sheet, Jawa, scale*, Vol.1, No.100.000.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), "Telford - Applied Geophysics" *Book*. <http://doi.org/10.1180/minmag.1982.046.341.32>.
- Zohdy, A.A., Eaton, G.P. dan Mabey, D.R. (1974), *Application of surface geophysics to ground-water investigations*.

## LAMPIRAN



**Gambar 1** Sumber Koboran



**Gambar 2** Sumber 1



**Gambar 3** Sumber Kali Cilik



**Gambar 4** Pengukuran Lintasan 1



**Gambar 5** Pengukuran Lintasan 2



**Gambar 6** Pengukuran Lintasan 3



**Gambar 7** Pengukuran Lintasan 4



**Gambar 8** Pengukuran Lintasan 5



**Gambar 9** Pengukuran Lintasan 6

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Ahmad Wafi Irsyad lahir di Gresik, 5 Maret 1997. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Pendidikan formal dimulai di SD Nahdlatul Ulama 1 Gresik (2003-2009), melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Gresik (2009-2012), kemudian SMA Negeri 1 Gresik (2012-2015) dan sekarang menempuh pendidikan di Departemen Teknik Geofisika ITS mulai tahun 2015. Penulis aktif dalam organisasi antara lain sebagai staff di Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Teknik Geofisika ITS Kabinet Eksplorasi periode 2016-2017 dan sebagai Ketua Divisi Kaderisasi di Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Teknik Geofisika ITS Kabinet ProAksi periode 2017-2018. Penulis pernah aktif dalam kepanitiaan sebagai *Liaison Officer* (LO) dalam acara Geosphere 2016 di ITS, panitia Kelas Inspirasi Kebumihan 2016 di Jombang, dan *volunteer* pada ‘Ekspedisi Papua Terang’ di Distrik Wamena, Provinsi Papua yang diadakan oleh Kementerian BUMN dengan PT. PLN Persero sebagai Pelaksana. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [wafi.irsyad@gmail.com](mailto:wafi.irsyad@gmail.com).