

ANALISIS JENIS BATUAN MENGGUNAKAN METODA GEOLISTRIK  
TAHANAN JENIS KONFIGURASI *WENNER* DI BUKIT APIT PUHUN  
KECAMATAN GUGUK PANJANG KOTA BUKITTINGGI

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang*



MIA AZHARI

1201441/2012

PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2016

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Analisis Jenis Batuan Menggunakan Metoda Geolistrik  
Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner* di Bukit Apit Puhun  
Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi

Nama : Mia Azhari

NIM : 1201441

Program Studi : Fisika

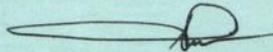
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 22 Januari 2016

Disetujui oleh :

Pembimbing I



Drs. Akmam, M.Si.  
NIP. 19630526 198703 1 003

Pembimbing II



Drs. Mahrizal, M.Si.  
NIP. 19510512 197603 1 00

PENGESAHAN LULUSAN UJIAN SKRIPSI

Nama : Mia Azhari  
NIM : 1201441  
Program Studi : Fisika  
Jurusan Fisika : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

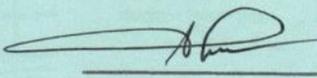
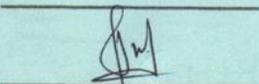
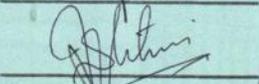
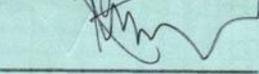
dengan judul

**Analisis Jenis Batuan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis  
Konfigurasi *Wenner* Di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang  
Kota Bukittinggi**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi  
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Padang, 29 Januari 2016

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Drs. Akmam, M.Si.	
Sekretaris	: Drs. Mahrizal, M.Si.	
Anggota	: Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D.	
Anggota	: Drs. Letmi Dwiridal, M.Si.	
Anggota	: Harman Amir, S.Si, M.Si.	

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul Analisis Jenis Batuan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 17 Februari 2016

Yang membuat pernyataan



Mia Azhari  
NIM. 1201441

## ABSTRAK

### **Mia Azhari : Analisis Jenis Batuan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner Di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi**

Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi terletak di segmen patahan aktif Sumatera yaitu Segmen Sianok. Kondisi ini menyebabkan Bukit Apit Puhun rawan akan gempa bumi. Guncangan akibat gempa bumi mengakibatkan berubahnya susunan lapisan bumi, sehingga berdampak terhadap kerusakan bangunan di atasnya. Berdasarkan kondisi daerah, maka perlu dilakukan penelitian mengenai jenis dan sebaran batuan penyusun geologi Bukit Api Puhun.

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian dasar bersifat deskriptif. Pengukuran dilakukan menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner*. Konfigurasi *Wenner* memiliki resolusi vertikal yang bagus sehingga cocok digunakan untuk pemetaan jenis batuan. Data hasil pengukuran diinterpretasikan menggunakan metode Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* untuk memperoleh penampang model 2D bawah permukaan dan *Surfer 11* untuk mengetahui luas sebaran setiap jenis batuan yang teridentifikasi.

Hasil penelitian menunjukkan terdapat 5 jenis batuan penyusun geologi Bukit Apit Puhun yaitu *Clay*, *Sandstone*, *Limestone*, *Andesite* dan *Granite*. Perhitungan luas pendekatan masing-masing jenis batuan di Bukit Apit Puhun adalah, *Clay* terdiri dari 2.149,522 m<sup>2</sup>, *Sandstone* 10.969,60 m<sup>2</sup>, *Limestone* 23.477,64 m<sup>2</sup>, *Andesite* 4.218,541 m<sup>2</sup>, dan *Granite* 4.218,541. Total luas pendekatan yang diperoleh dari 5 lintasan adalah 45.643,25 m<sup>2</sup>. Berdasarkan luas pendekatan yang diperoleh, sebaran batuan *Limestone* dominan menyusun geologi Bukit Apit Puhun.

Kata Kunci: Jenis Batuan, Geolistrik Tahanan Jenis, Wenner

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis diberi kesempatan, kekuatan dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **Analisis Jenis Batuan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner Di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.**

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai Pembimbing I.
2. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si sebagai Pembimbing II.
3. Ibu Syafriani, S.Si.,M.Si.,Ph.D, Bapak Drs. Letmi Dwiridal, M.Si, dan Bapak Harman Amir, S.Si, M.Si, sebagai Tim Penguji.
4. Ibuk Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Yohandri, M. Si, Ph.D sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
6. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang dan sebagai Penasehat Akademis.
7. Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

8. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M– DIKTI) yang telah memberikan donasi untuk penelitian melalui dana PKM 2014.
9. Tim PKM-P 2014 dengan anggota Basra Kurniawan, Herawati, Bavitra, dan Imran Razat.
10. Kedua Orang Tua penulis yang selalu memberikan semangat dan doa untuk penulis dengan tidak henti-hentinya.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Padang, Januari 2016

Mia Azhari

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah .....	6
E. Pertanyaan Penelitian .....	6
F. Tujuan Penelitian .....	6
G. Manfaat Penelitian .....	7
BAB II KERANGKA TEORITIS	
A. Jenis Batuan .....	8
B. Sifat Kelistrikan Batuan .....	14
C. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis.....	20
D. Konfigurasi <i>Wenner</i> .....	26
E. Metode Inversi <i>Smoothness-Constraint Least Squares</i> .....	29
F. Teori <i>Kriging</i> .....	36
G. Kondisi Geologi Daerah Penelitian.....	38

H. Kerangka Berfikir.....	39
I. Penelitian yang Relevan.....	42
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Jenis Penelitian.....	43
B. Lokasi Penelitian.....	43
C. Parameter yang Diamati.....	45
D. Instrumentasi / Alat dan Bahan.....	45
E. Prinsip Kerja ARES ( <i>Automatic Resistivity</i> ).....	46
F. Prosedur Penelitian.....	48
G. Teknik Analisa Data.....	49
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Deskripsi Data.....	52
B. Interpretasi Data.....	54
C. Pembahasan.....	90
<b>BAB V PENUTUP</b>	
A. Kesimpulan.....	94
B. Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN.....	98

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi batuan Sedimen beserta ukuran partikel penyusun.....	13
2. Resistivitas Batuan Beku dan Batuan Metamorf .....	18
3. Resistivitas Batuan Sedimen .....	29
4. Koordinat dan ketinggian pada setiap Lintasan pengukuran di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi .....	44
5. Nilai Tahanan Jenis semu, Arus, dan Beda Potensial Maksimum dan Minimum Tiap Lintasan Pengukuran di Bukit Apit Puhun .....	52
6. Hasil Interpretasi Data Lintasan 1 .....	57
7. Hasil Interpretasi Data Lintasan 2.....	64
8. Hasil Interpretasi Data Lintasan 3.....	72
9. Hasil Interpretasi Data Lintasan 4.....	78
10. Hasil Interpretasi Data Lintasan 3.....	86
11. Perbandingan Nilai <i>Error</i> Hasil Pengolahan Data antara Metode Inversi <i>Smoothness-Constrained Least-Squared</i> Data Geolistrik Konfigurasi <i>Wenner</i> dengan Metode Inversi <i>Robust 2D</i> dan Metode inversi <i>Smoothness-Constrained Least-Squared</i> konfigurasi <i>Schlumberger</i> Tiap Lintasan. ....	91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus Batuan .....	9
2. Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen.....	21
3. Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas .....	23
4. Susunan elektroda Wenner.....	27
5. Kedalaman yang dapat dicapai Konfigurasi <i>Wenner</i> .....	29
6. Peta Geologi Kota Bukittinggi .....	39
7. Kerangka Berfikir.....	41
8. Desain lintasan pengukuran .....	43
9. <i>ARES Main Unit</i> .....	46
10. Penampang Model 2D Lintasan 1 dengan Topografi .....	55
11. Penampang Model 2D Lintasan 1 pada Program <i>Surfer</i> .....	59
12. Penampang Model 2D Lintasan 2 dengan Topografi .....	62
13. Penampang Model 2D Lintasan 2 pada Program <i>Surfer</i> .....	67
14. Penampang Model 2D Lintasan 3 dengan Topografi .....	70
15. Penampang Model 2D Lintasan 3 pada Program <i>Surfer</i> .....	74
16. Penampang Model 2D Lintasan 4 dengan Topografi .....	76
17. Penampang Model 2D Lintasan 4 pada Program <i>Surfer</i> .....	81
18. Penampang Model 2D Lintasan 5 dengan Topografi .....	84
19. Penampang Model 2D Lintasan 5 pada Program <i>Surfer</i> .....	88

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Peta Geologi Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi .....	98
2. Data Lintasan 1 .....	99
3. Data Lintasan 2 .....	100
4. Data Lintasan 3 .....	101
5. Data Lintasan 4 .....	102
6. Data Lintasan 5 .....	103
7. Cara Mencari Kedalaman Dan Ketebalan Lapisan Batuan.....	104
8. Cara Menentukan <i>Damping Factor</i> dengan batas nilai <i>constraint</i> Lintasan 1 .....	106
9. Cara Menentukan <i>Damping Factor</i> dengan batas nilai <i>constraint</i> Lintasan 2 .....	109
10. Cara Menentukan <i>Damping Factor</i> dengan batas nilai <i>constraint</i> Lintasan 3 .....	112
11. Cara Menentukan <i>Damping Factor</i> dengan batas nilai <i>constraint</i> Lintasan 4 .....	115
12. Cara Menentukan <i>Damping Factor</i> dengan batas nilai <i>constraint</i> Lintasan 5 .....	118
13. Cara Menentukan Luas Pendekatan Masing-masing Lintasan Menggunakan <i>Grid Node Editor</i> .....	121

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi merupakan daerah yang tumbuh dan berkembang di segmen patahan aktif Sumatera yaitu Segmen Sianok. Segmen Sianok merupakan satu diantara 19 segmen yang terdapat pada Sesar Sumatera. Lokasi Bukit Apit Puhun selain berada di segmen patahan aktif Sumatera juga terletak diantara dua buah gunung berapi, yaitu Gunung Singgalang dan Gunung Marapi. Hal ini menyebabkan secara alamiah Kota Bukittinggi menghadapi bahaya gempa bumi, seperti yang terjadi pada tahun 2015 terjadi gempa bumi dengan kekuatan 4,0 SR dan kedalaman 10 KM yang berpusat di Segmen Sianok merusak bangunan di daerah sekitar Bukittinggi (SindoNews, 25/07/2015). Menurut Johannes (2005), “Goncangan akibat gempa bumi akan mengakibatkan kerusakan dan berubahnya susunan lapisan bumi”. Endapan kuarter dan endapan sedimen tersier yang telah mengalami pelapukan bersifat mudah terurai dan tidak kompak (*unconsolidated*), sehingga memberikan dampak terhadap kerusakan bangunan di permukaan apabila terjadi gempa bumi yang besar.

Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi merupakan daerah pemukiman penduduk dengan luas wilayah sekitar 6.931 km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk 38.510 jiwa (Pemerintah Kota Bukittinggi, 2015). Bukit Apit Puhun juga merupakan daerah wisata yang ramai dikunjungi oleh

wisatawan yang berasal dari dalam maupun luar negeri. Berdasarkan kondisi daerah, perlu dilakukan penelitian mengenai kondisi batuan dan sebaran batuan penyusun lapisan bawah permukaan di Bukit Apit Puhun.

Bavitra *et al* (2015) melakukan penyelidikan batuan dasar menggunakan konfigurasi *Dipole-dipole* dan metode inversi *Robust 2D* di Bukit Apit Puhun. Konfigurasi *Dipole-dipole* kurang baik untuk menentukan resolusi secara vertikal namun memiliki penetrasi terhadap kedalaman yang bagus (Reynolds, 1997). Keunggulan konfigurasi *Dipole-dipole* dalam penetrasi terhadap kedalaman menyebabkan konfigurasi ini cocok digunakan untuk penyelidikan batuan dasar, namun tidak cocok digunakan dalam pemetaan jenis batuan karena tidak memiliki resolusi vertikal yang bagus. Metoda inversi yang digunakan untuk interpretasi data yaitu inversi *Robust 2D*. Menurut (Guitton *et al*, 2003), “ Metode inversi *Robust* kurang sensitif terhadap *error* pengukuran yang besar dibandingkan dengan metode *Least Squares*”. Kondisi daerah penelitian yang dekat dengan jalan raya dan pemukiman penduduk memungkinkan nilai *error* yang besar, sehingga tidak cocok diinterpretasikan menggunakan inversi *Robust*.

Imran Razat *et al* (2015) melakukan penelitian mengenai investigasi *aquifer* di Bukit Apit Puhun menggunakan metode inversi *Smoothnes-Constraint Least Square* data Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger*. Konfigurasi *Schlumberger* memiliki kelemahan dalam tingkat sensitivitas terhadap pengaruh ketidakhomogenan material di bawah permukaan bumi secara lateral (Reynolds, 1997). Kelemahan konfigurasi

*Schlumberger* dalam menentukan ketidakhomogenan material di bawah permukaan bumi secara lateral menyebabkan konfigurasi ini tidak cocok digunakan untuk mengidentifikasi sebaran jenis batuan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan konfigurasi yang memiliki sensitivitas lateral serta resolusi vertikal yang bagus untuk mengetahui jenis dan sebaran batuan penyusun geologi daerah Bukit Apit Puhun.

Jenis batuan akan di eksplorasi menggunakan metode Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner*. Konfigurasi *Wenner* sangat sensitif dalam mendeteksi ketidakhomogenan lapisan di bawah permukaan bumi secara lateral, memiliki resolusi vertikal yang tinggi serta bagus dalam pengukuran CST (*Constant Separation Traversing*) (Reynolds, 1997). Pengukuran CST lebih dikenal sebagai metode *Profiling Horizontal* yang digunakan untuk menentukan variasi nilai tahanan jenis secara horizontal. Konfigurasi *Wenner* merupakan konfigurasi yang tepat untuk mendapatkan informasi perubahan harga resistivitas baik arah lateral maupun vertikal, jadi Konfigurasi *Wenner* baik digunakan untuk pemetaan jenis batuan berdasarkan tahanan jenisnya.

Jenis batuan akan diinterpretasikan menggunakan metoda inversi untuk memperoleh penampang 2D di bawah permukaan. Luas sebaran batuan dapat diestimasi menggunakan *Grid Node Editor*. Hasil pengolahan data menggunakan *Grid Node Editor* digunakan untuk mengestimasi luas sebaran jenis batuan. Hasil estimasi jenis batuan akan semakin akurat apabila nilai *error* yang dihasilkan kecil. Nilai *error* saat interpretasi data diminimalisir

menggunakan *damping factor* yang tepat. *Damping factor* ditentukan dengan memilih koefisien determinasi yang mendekati 1 dari hubungan persamaan tahanan jenis semu dan kedalaman. Jenis batuan dan luas sebaran yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan pendugaan kandungan mineral yang terdapat di Bukit Apit Puhun.

Metode inversi yang digunakan adalah *Smoothness-Constraint Least Squares*. Metode inversi ini dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model sehingga cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth*. Menurut Akmam dan Nofi (2013), “optimasi inversi dilakukan dengan meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur dengan menyesuaikan resistivitas model blok”. Oleh karena itu metode inversi ini cocok digunakan untuk mendapatkan hasil resistivitas yang lebih baik.

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik melakukan penelitian yang berjudul “analisis jenis batuan menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi”. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang jenis dan luas sebaran batuan di daerah penelitian. Informasi dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa identifikasi masalah yaitu:

1. Penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya di Bukit Apit Puhun berorientasi terhadap kedalaman di bawah permukaan, sedangkan kondisi geologi daerah secara lateral dan vertikal belum diidentifikasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi jenis batuan di Bukit Apit Puhun menggunakan konfigurasi yang memiliki resolusi vertikal dan sensitivitas lateral yang bagus.

## **C. Batasan Masalah**

Mengingat luasnya permasalahan di atas dan keterbatasan penulis maka perlu adanya batasan masalah, sebagai berikut :

1. Pengolahan data diinterpretasikan menggunakan metode inversi *Smoothness - Constraint Least Squares* konfigurasi *Wenner* untuk memperoleh penampang 2D dibawah permukaan.
2. Luas pendekatan sebaran batuan yang dihitung adalah luas masing-masing jenis batuan yang teridentifikasi menggunakan metode inversi *Smoothness - Constraint Least Squares* konfigurasi *Wenner* di Bukit Apit Puhun.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, dapat dirumuskan masalah pada penelitian ini yaitu apa saja jenis batuan dan berapa luas setiap jenis batuan penyusun struktur bawah permukaan Bukit Apit Puhun jika ditinjau dari Inversi *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* data geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner*.

#### **E. Pertanyaan Penelitian**

Adapun pertanyaan pada penelitian ini adalah:

1. Apa jenis batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi apabila ditinjau dengan menggunakan Metoda Inversi *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* data geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner*.
2. Berapa luas masing-masing jenis batuan penyusun Geologi di Bukit Apit Puhun jika ditinjau dari metode inversi *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* data geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner*.

#### **F. Tujuan Penelitian**

Agar penelitian ini lebih terarah dan dapat menjawab pertanyaan penelitian yang telah diuraikan, ditetapkan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui :

1. Jenis batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi menggunakan Metoda Inversi

*Smoothness-Constraint Least Squares* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner*.

2. Luas sebaran batuan lapisan penyusun bawah permukaan bumi untuk masing-masing lintasan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.

#### **G. Manfaat Penelitian**

Penelitian mengenai jenis batuan dan luas sebaran batuan ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi yaitu :

1. Sebagai informasi tentang luas pendekatan sebaran batuan dan sebagai perbandingan terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai jenis batuan penyusun geologi Bukit Apit Puhun di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi
2. Sebagai pertimbangan dalam perencanaan pembangunan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.

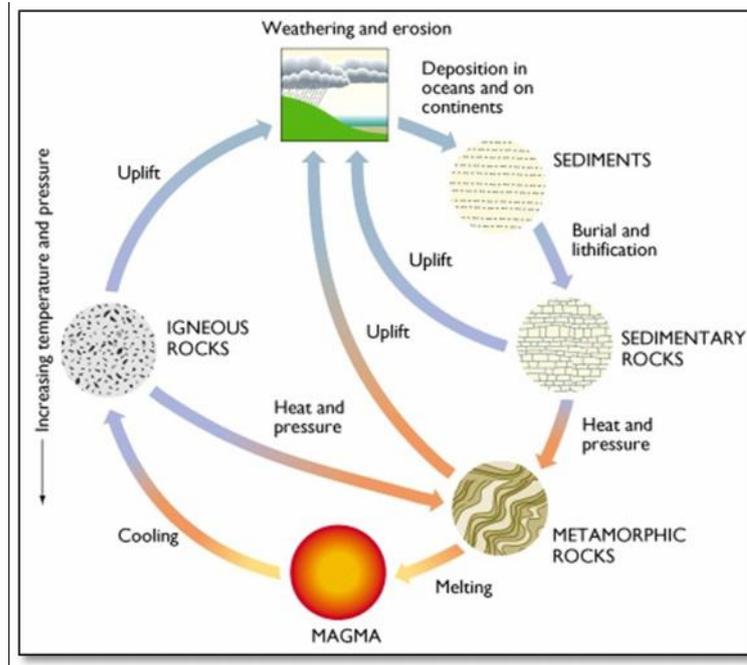
## **BAB II**

### **KERANGKA TEORITIS**

#### **A. Jenis Batuan**

Batuan merupakan material yang mengandung satu atau beberapa mineral yang berbentuk padatan. Menurut Munir (1996) “batuan adalah benda alam yang menjadi penyusun utama bumi. Kebanyakan batuan merupakan campuran mineral yang bergabung secara fisik satu sama lain”. Secara umum batuan dapat dikelompokkan menjadi tiga macam yaitu, batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf.

Batuan yang terbentuk akibat pendinginan magma di bawah maupun di atas permukaan bumi adalah batuan beku. Menurut Noor (2012), “Pada awalnya seluruh bagian luar dari bumi ini terdiri dari batuan beku. Pengaruh lingkungan menyebabkan terjadi perubahan pada batuan beku sehingga membentuk kelompok-kelompok batuan yang lainnya”. Batuan sedimen terbentuk dari pengendapan material yang berasal dari pecahan batuan yang hancur karena proses alam, kemudian terangkut oleh air, angin, es dan terakumulasi pada suatu tempat sehingga terjadi pemampatan atau kompaksi menjadi satu lapisan batuan baru. Batuan beku dan batuan sedimen yang mengalami perubahan suhu dan tekanan yang cukup tinggi akan membentuk batuan metamorf . Proses perubahan dari satu kelompok batuan ke kelompok batuan lainnya disebut siklus batuan.



Gambar 1. Siklus Batuan  
(Sumber: Crawford: 1998:10)

Gambar 1 merupakan siklus batuan yang menggambarkan proses terbentuknya batuan. Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa batuan beku terbentuk dari pelelehan dan kristalisasi magma. Batuan beku terbentuk saat magma yang berasal dari dapur magma membeku di permukaan atau di bawah permukaan bumi (Carlson, 2009). Batuan Beku yang tersingkap di permukaan bumi akan bersentuhan dengan atmosfer dan hidrosfer, sehingga terjadi proses pelapukan. Pelapukan yang terjadi pada batuan beku akan membentuk jenis batuan baru yang disebut batuan sedimen. Batuan sedimen akibat tekanan dan temperatur yang tinggi mengalami metamorfosis sehingga membentuk batuan yang disebut Batuan Metamorf. Apabila batuan metamorf masih mengalami peningkatan tekanan dan suhu, maka batuan metamorf akan

kembali meleleh dan berubah menjadi magma. Berdasarkan kejadian atau cara terbentuknya, batuan dibedakan menjadi tiga kelompok utama, yaitu:

### **1. Batuan Beku**

Batuan beku merupakan batuan yang terbentuk dari hasil pendinginan dan kristalisasi magma di dalam bumi atau di permukaan bumi. Menurut Crawford (1998), “Batuan beku terbentuk dari magma yang keluar dari dapur magma dalam bentuk lava”. Lava akan mengalami pendinginan akibat bersentuhan dengan udara. Lava yang sudah dingin tersebut akan membeku dan membentuk batuan beku.

Batuan beku memiliki variasi warna yang dipengaruhi oleh komposisi dari mineral penyusun batuan. Pencampuran mineral menyusun batuan beku menyebabkan warna dari batuan merupakan warna pencampuran mineral itu sendiri. Warna batuan beku berbeda-beda, mulai dari warna hitam, abu-abu sampai putih (Maulana, 2011). Variasi warna pada batuan Beku dapat dijadikan sebagai dasar klasifikasi batuan Beku.

Batuan beku dibedakan menjadi 2 kelompok berdasarkan tempat pembekuannya, yaitu: batuan beku *intrusive* dan batuan beku *ekstrusive*. Menurut Noor (2012), “Batuan Beku *ekstrusive* adalah batuan beku yang proses pembekuannya berlangsung di permukaan bumi”. Proses terbentuknya Batuan Beku *ekstrusive* dipengaruhi oleh udara di permukaan bumi yang bersentuhan dengan lava sehingga lava akan mengalami pendinginan dan membeku membentuk batuan beku *ekstrusive*. Contoh batuan Beku *ekstrusive* ini adalah: batu *Basalt*,

*Andesite*, batu Apung dan *Obsidian* (batu kaca). Batuan Beku *intrusive* terbentuk ketika massa magma mendingin di bawah permukaan bumi (Skinner dan Porter, 1989). Batuan beku *intrusive* terbentuk ketika magma mengalami pendinginan dan mengeras di bawah permukaan bumi. Batuan beku *intrusive* dapat berupa *still* dan *dike*. Menurut Noor (2012), “Still merupakan tubuh batuan berupa lembaran dan sejajar dengan perlapisan batuan di sekitarnya, sedangkan dike adalah tubuh batuan yang memotong perlapisan di sekitarnya dan memiliki bentuk tabular atau memanjang”. Contoh batuan Beku *intrusive* antara lain: *Granit*, *Dolorit*, *Gabro* dan *Monsonit*.

## 2. Batuan Metamorf

Batuan Metamorf merupakan batuan yang berasal dari batuan sebelumnya. Menurut Crawford (1998), “Batuan metamorf mengalami perubahan bentuk dari batuan asalnya disebabkan oleh tekanan tinggi dan perubahan suhu”. Tekanan tinggi dan perubahan suhu menyebabkan terjadinya perubahan bentuk dan struktur pada batuan metamorf. Menurut Bachrul dan Asmita (2012), “Batuan Metamorf berarti batuan mengalami perubahan komposisi dan struktur sehingga membentuk jenis batuan baru. Metamorfisme berarti terjadi perubahan struktur dan komposisi pada batuan sepanjang batuan tersebut tidak hancur dan tidak berubah menjadi cair”. Contoh metamorfisme batuan diantaranya: *Shale* yang merupakan batuan Sedimen berubah menjadi *Slate* akibat tekanan tinggi, batu Kapur

menjadi *Marble* akibat kondisi tertentu, begitu juga dengan *Granite* yang dapat menjadi *Gneiss*.

### 3. Batuan Sedimen

Batuan Sedimen (endapan) terbentuk sebagai akibat pengendapan material yang berasal dari pecahan, bongkahan batuan yang hancur karena proses alam kemudian dialirkan oleh air, udara dan terakumulasi dalam suatu tempat. Menurut Hamblin (2003), “Batuan Sedimen terbentuk di permukaan bumi akibat perubahan suhu dan tekanan yang menyebabkan pelapukan pada batuan yang sudah ada sebelumnya”. Produk dari proses pelapukan merupakan sumber material untuk pembentukan Batuan Sedimen.

Batuan Sedimen secara genetis digolongkan atas Sedimen Klastik, Sedimen Kimia, dan Sedimen Organik (Hamblin, 2003). Ketiga jenis Batuan Sedimen ini memiliki bentuk dan sifat yang berbeda-beda.

#### a) Sedimen Klastik

Sedimen Klastik terbentuk dari pengendapan kembali batuan asal. Batuan asal dapat berupa Batuan Beku dan Batuan Metamorf. Menurut Munir (1996), “Sedimen Klastik adalah akumulasi partikel-partikel yang berasal dari pecahan batuan dan sisa-sisa kerangka organisme yang telah mati”. Ukuran butir akibat dari pecahan batuan dan jenis fragmen batuan yang membentuk sedimen dapat dijadikan sebagai dasar klasifikasi Batuan Sedimen Klastik. Klasifikasi Batuan

Sedimen Klasik beserta ukuran partikel penyusunnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Batuan Sedimen beserta ukuran partikel penyusun

<b>Ukuran Partikel pada Batuan Sedimen Klastik</b>			
<b>Diameter (mm)</b>	<b>Tipe Partikel</b>	<b>Nama Sedimen</b>	<b>Batuan Sedimen</b>
>256	Batu besar	Kerikil	Konglomerat
64-265	Batu bulat		
4-64	Kerikil		
2-4	Butir		
1/16-2	Pasir	Pasir	Pasir
1/256-1/16	Lanau	Lumpur	Tanah liat, lumpur dan <i>shale</i>
<1/256	Tanah liat		

(Sumber: Crawford. 1998:24)

Batu Konglomerat disusun oleh kumpulan krikil dengan fragmen yang lebih besar dari 2 mm. Batu Konglomerat terdiri atas kerikil yang permukaannya tumpul (Hambli, 2003). Pada umumnya kerikil penyusun Batu Konglomerat merupakan kerikil yang halus dan bulat karena batu ini ditemukan jauh dari sumbernya.

Pasir terbentuk dari butiran yang ukurannya mencapai 2 mm. Pasir merupakan tersusun oleh banyak material. Menurut Hambli (2003), “Salah satu material penyusun pasir adalah butir kwarsa”. Pasir dapat terbentuk hampir di semua tempat, namun lebih sering terbentuk di dasar laut dan gurun.

Lumpur berasal dari endapan partikel tanah liat. Ukuran batu lumpur sangat kecil mencapai 256 mm. Lumpur umumnya terdapat pada daerah yang memiliki aliran air yang tenang. Lumpur dominan terdapat pada daerah seperti danau ataupun laut serta sungai-sungai yang memiliki aliran air cukup tenang.

b) Sedimen Kimia

Batuan sedimen kimia terbentuk melalui presipitasi kimia. Menurut Munir (1996), "batuan sedimen kimia yaitu batuan yang tersangkut dalam bentuk larutan kemudian diendapkan secara kimia di tempat lain". Batuan ini agak sulit digolongkan seperti sedimen klastik karena butir-butirnya sangat kompleks. Contoh batuan sedimen kimia yaitu: Stalagtit dan Stalagnit, lapisan garam, *Limestone*, *Gypsum*, Hematit dan lain-lain.

c) Sedimen Organik

Batuan sedimen organik terbentuk dari akumulasi bahan organik. Menurut Hamblin (2003), "Sedimen organik terbentuk dari endapan organisme". Ciri-ciri batuan sedimen organik, yaitu: berlapis-lapis, lebih lunak, berwarna terang dan tempat utama fosil. Contoh batuan sedimen organik ini adalah : Batu bara, Endapan diatomae / kerangka silica / kersik, karang.

## **B. Tahanan Jenis Batuan**

Sifat kelistrikan batuan merupakan karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik. Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi

secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik (Telford *et al*, 1990). Kondisi elektronik terjadi jika batuan memiliki banyak elektron bebas, sehingga arus listrik mudah melalui batuan. Konduksi elektrolitik terjadi pada batuan yang bersifat porus dan pori-pori yang berisi larutan elektrolit, dimana arus listrik mengalir akibat dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit. Konduksi dielektrik terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik, artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit.

Berdasarkan daya hantar dan daya hambat yang dimilikinya material dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor. Menurut Telford *et al* (1990) berdasarkan harga tahanan jenisnya, secara umum batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, konduktor memiliki nilai tahanan jenis kecil yaitu ( $10^{-8} < \rho < 1 \text{ m}$ ), semikonduktor memiliki nilai tahanan jenis ( $1 < \rho < 10^7 \text{ m}$ ), dan isolator memiliki tahanan jenis ( $\rho > 10^7 \text{ m}$ ). Tahanan jenis suatu material berbanding terbalik dengan daya hantar listriknya. Material yang memiliki nilai tahanan jenis besar akan sulit mengalirkan arus listrik, sedangkan material yang memiliki nilai tahanan jenis rendah akan lebih mudah mengalirkan arus listrik.

Tahanan jenis merupakan sifat fisika yang menunjukkan kemampuan suatu material dalam menghambat arus listrik. Harga tahanan jenis setiap batuan berbeda-beda tergantung jenis materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, cairan elektrolit serta kandungan air yang terdapat dalam pori batuan dan suhu. Aliran arus pada setiap lapisan batuan

sangat bergantung kepada cairan elektrolitik yang terdapat dalam pori-pori batuan tersebut. Tahanan jenis dari batuan sangat dipengaruhi oleh kehadiran air tanah yang bertindak sebagai elektrolit, terutama pada sedimen berpori dan batuan sedimen (Lowrie, 2007). Batuan yang jenuh air mempunyai tahanan jenis lebih rendah dibandingkan dengan batuan kering karena kandungan air dalam batuan bersifat menghantarkan arus listrik, sehingga arus mudah mengalir dan menyebabkan tahanan jenis menjadi rendah.

Aliran arus pada sebuah medium dapat dijelaskan menggunakan Hukum Ohm. Hubungan antara rapat arus  $J$  dengan kuat medan listrik  $E$  menurut Hukum Ohm adalah

$$J = \sigma E \quad (1)$$

dimana  $\sigma$  adalah daya hantar listrik. Jika besar kuat medan listrik,  $E = \frac{V}{L}$ , maka diperoleh  $J = \frac{\sigma V}{L}$ , sehingga kuat arus dapat ditulis

$$I = JA = \sigma \frac{A}{L} V \quad (2)$$

Persamaan (2) memperlihatkan bahwa saat daya hantar listrik konstan, arus total  $I$  sebanding dengan beda potensial  $V$ . Perbandingan antara  $V$  dengan  $I$  pada konduktor disebut resistansi  $R$  yang secara matematis dapat ditulis

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Persamaan (3) menyatakan bahwa semakin besar kemampuan suatu benda untuk menahan aliran arus listrik menyebabkan elektron-elektron yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik dari potensial tinggi ke potensial rendah akan semakin sedikit mengalir.

Hubungan resistansi  $R$  dengan daya hantar listrik pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut.

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A} \quad (4)$$

Persamaan (4) menyatakan kemampuan suatu benda dalam menghantarkan arus listrik akan berkurang apabila hambatan listrik terhadap aliran elektron-elektron besar, sehingga arus listrik sulit untuk mengalir. Besar daya hantar listrik selain dipengaruhi oleh besarnya resistansi suatu bahan juga dipengaruhi oleh luas penampang dan panjang bahan tersebut.

Hubungan antara tahanan jenis dengan daya hantar listrik  $\sigma$  dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (5)$$

Berdasarkan rumusan pada Persamaan (5), kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik akan berkurang apabila nilai tahanan jenis bahan besar. Nilai tahanan jenis pada Persamaan (5) jika di substitusikan ke rumusan resistansi pada Persamaan (4) akan menghasilkan Persamaan (6):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (6)$$

Berdasarkan Persamaan (6), dapat diketahui bahwas kemampuan suatu bahan dalam menghambat arus listrik yang melewati bahan tersebut dipengaruhi oleh jenis bahan yang menyebabkan besarnya nilai hambatan bahan tersebut ( $\rho$ ).

Hubungan antara kemampuan suatu bahan dalam menghambat arus listrik dengan besarnya aliran arus listrik yang mengalir dapat diperoleh dengan

mensubstitusikan Persamaan (6) ke Persamaan (3) yang dinyatakan sebagai Persamaan berikut

$$\frac{V}{l} = \rho \frac{L}{A} \quad (7)$$

Persamaan (7) menyatakan bahwa aliran arus listrik pada suatu bahan tergantung pada tahanan jenis suatu material tersebut. Hal ini juga sesuai dengan prinsip konduktivitas (daya hantar listrik) suatu bahan. Bahan yang memiliki tahanan jenis besar akan memiliki nilai daya hantar listrik yang kecil dan sebaliknya. Tahanan jenis setiap batuan berbeda-beda. Tabel 2 menunjukkan nilai tahanan jenis batuan beku dan batuan metamorf, sedangkan Tabel 3 menunjukkan nilai tahanan jenis batuan sedimen.

Tabel 2. Resistivitas Batuan Beku dan Batuan Metamorph

<b>Batuan</b>	<b>Tahanan Jenis (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
<i>Granite</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
<i>Granite porphyry</i>	$4,5 \times 10^3$ (basah) – $1,3 \times 10^6$ (kering)
<i>Feldspar porphyry</i>	$4 \times 10^3$ (basah)
<i>Albite</i>	$3 \times 10^2$ (basah) – $3,3 \times 10^3$ (kering)
<i>Syenite</i>	$10^2 - 10^6$
<i>Diorite</i>	$10^4 - 10^5$
<i>Diorite porphyry</i>	$1,9 \times 10^3$ (basah) – $2,8 \times 10^4$ (kering)
<i>Porphyrite</i>	$10 - 5 \times 10^4$ (basah) – $3,3 \times 10^3$ (kering)
<i>Carbonatized porphyry</i>	$2,5 \times 10^3$ (basah) – $6 \times 10^4$ (kering)
<i>Quartz porphyry</i>	$3 \times 10^2 - 3 \times 10^5$
<i>Quartz diorite</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (basah) – $1,8 \times 10^5$ (kering)
<i>Porphyry (various)</i>	$60 \times 10^4$
<i>Dacite</i>	$2 \times 10^4$ (basah)
<i>Andesite</i>	$4,5 \times 10^4$ (basah) – $1,7 \times 10^2$ (kering)
<i>Diabase porphyry</i>	$10^3$ (basah) – $1,7 \times 10^5$ (kering)

<i>Diabase (various)</i>	$20 - 5 \times 10^7$
<i>Lavas</i>	$10^2 - 5 \times 10^4$
<i>Gabbro</i>	$10^3 - 10^6$
<i>Basalt</i>	$10 - 1,3 \times 10^7$ (kering)
<i>Olivine norite</i>	$10^3 - 6 \times 10^4$ (basah)
<i>Peridotite</i>	$3 \times 10^3$ (basah) – $6,5 \times 10^3$ (kering)
<i>Hornfels</i>	$8 \times 10^3$ (basah) – $6 \times 10^4$ (kering)
<i>Schists</i>	$20 - 10^4$
<i>Tulst</i>	$2 \times 10^3$ (basah) – $10^5$ (kering)
<i>Graphite schists</i>	$10 - 10^2$
<i>Slate (various)</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
<i>Gneiss (various)</i>	$6,8 \times 10^4$ (basah) – $3 \times 10^5$ (kering)
<i>Marmar</i>	$10^2 - 2,5 \times 10^8$ (kering)
<i>Skarn</i>	$2,5 \times 10^2$ (basah) – $2,5 \times 10^8$ (kering)
<i>Quartzites (various)</i>	$10 - 2 \times 10^8$

(Sumber : Telford dkk, 1990 : 290)

Tabel 3. Resistivitas Batuan Sedimen

<b>Batuan</b>	<b>Tahanan jenis (<math>\Omega m</math>)</b>
<i>Consolidated shales</i> (serpihan gabungan)	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Argillities</i>	$10 - 8 \times 10^2$
<i>Conglomerates</i> (Konglomerat)	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Sandstones</i> (Batu pasir)	$1 - 6,4 \times 10^3$
<i>Limestones</i> (batu gamping)	$50 - 10^7$
<i>Dolomite</i>	$3,5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
<i>Unconsolidated wet clay</i> (lempung basah tidak gabungan)	20
Marls	3 – 70
<i>Clay</i> (lempung)	1 – 100
<i>Alluvium and sands</i>	10 – 800
<i>Oil sands</i>	4 – 800

(Sumber: Telford dkk. 1990: 290)

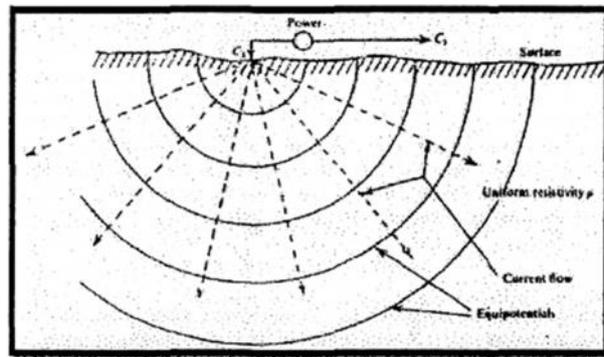
Tabel 2 dan 3 memperlihatkan bahwa secara umum nilai tahanan jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorf lebih besar dibandingkan dengan Batuan Sedimen. Hal ini berarti Batuan Sedimen memiliki daya hantar listrik yang lebih besar dibandingkan dengan Batuan Beku dan Batuan Metamorf karena

Batuan Sedimen memiliki konduktivitas yang lebih besar dibandingkan Batuan Beku dan Batuan Metamorf.

### **C. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis**

Metode geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu metode Geofisika yang mempelajari struktur geologi di bawah permukaan bumi dengan memakai sifat kelistrikan. Prinsip kerja metode Geolistrik tahanan jenis adalah menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan mengukur beda potensial listrik yang ditimbulkan. Beda potensial yang dihasilkan diukur melalui dua buah elektroda lainnya (Akman dan Nofi, 2013). Arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus dan beda potensial diukur melalui sepasang elektroda potensial. Berdasarkan hasil pengukuran arus listrik dan beda potensial akan dihitung nilai tahanan jenis pada lapisan bawah permukaan bumi.

Metode Geolistrik mengasumsikan bumi sebagai medium homogen isotropis. Arus yang di alirkan ke bawah permukaan bumi akan mengalir kesegala arah, karena udara memiliki tahanan jenis yang sangat besar menyebabkan arus tidak dapat mengalir ke udara. Hal ini menyebabkan sebaran aliran arus hanya ke bawah permukaan bumi dengan bidang *equipotensial* berbentuk setengah bola seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen  
(Telford *dkk*, 1990: 524)

Medium homogen isotropis dengan luas  $A$  dialiri arus listrik sehingga rapat arus  $\vec{J}$  dapat dihitung dengan mensubstitusikan Persamaan (5) ke Persamaan (1). Hubungan rapat arus  $\vec{J}$  dengan tahanan jenis ( $\rho$ ) dirumuskan sebagai berikut.

$$\vec{J} = \frac{\vec{E}}{\rho} \quad (8)$$

Persamaan (8) menyatakan bahwa medan listrik dalam suatu penghantar menyebabkan timbulnya rapat arus. Medan listrik merupakan gradien dari potensial listrik. Gradien potensial merupakan suatu metode untuk mencari intensitas medan listrik berdasarkan beda potensial atau perbedaan jumlah elektron yang berada pada suatu aliran arus listrik. Intensitas medan listrik berdasarkan gradien potensial dapat dirumuskan pada Persamaan (9):

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V = -\frac{dV}{dr} \quad (9)$$

Kuantitas  $\vec{\nabla}V$  dinamakan gradien potensial. Gradien potensial menunjukkan arah perubahan potensial terhadap perubahan posisi pada setiap titik.

Hubungan antara gradien potensial dengan tahanan jenis dan kerapatan arus diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (8) ke Persamaan (9) yang dinyatakan dengan Persamaan (10) berikut.

$$\frac{dV}{dr} = -\vec{j} \quad (10)$$

Persamaan (10) menyatakan setiap perubahan jarak ( $dr$ ) dengan arus tetap, luas yang diperoleh semakin besar sehingga rapat arus akan semakin kecil. Rapat arus menunjukkan besarnya aliran muatan listrik pada suatu luas penampang tertentu di suatu titik penghantar.

Hubungan antara gradien potensial dengan luas permukaan dan arus listrik didapat dengan mensubstitusikan Persamaan (2) ke Persamaan (10) yang dinyatakan oleh Persamaan (11) berikut

$$\frac{dV}{dr} = - \frac{I}{A} \quad (11)$$

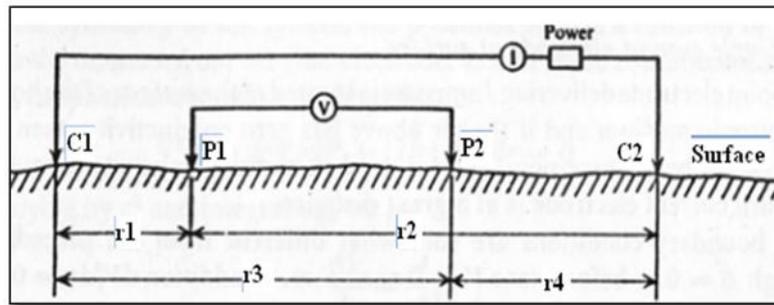
dimana  $A=2\pi r^2$ , karena luas permukaan distribusi arus membentuk setengah bola, sehingga beda potensial  $dV$  yang terjadi pada elemen jarak ( $dr$ ) oleh sumber arus  $I$  adalah sebagai berikut.

$$dV = - \frac{I}{2 r^2} dr \quad (12)$$

Harga potensial pada titik yang berjarak  $r$  dari sumber dapat dihitung dengan mengintergralkan Persamaan (12), sehingga didapatkan:

$$V(r) = \frac{I}{2 r} \quad (13)$$

Metode Geolistrik pada dasarnya terdiri dari dua elektroda arus dan dua elektroda potensial (Gambar 3). Perbedaan potensial dipermukaan bumi akan terjadi apabila arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi.



Gambar 3. Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas  $\rho$  (Telford *et al.* 1990: 524)

Gambar 3 menunjukkan susunan pasangan elektroda pada metode Geolistrik. Pengukuran dengan metode Geolistrik menggunakan dua elektroda arus yang dilambangkan dengan C dan dua elektroda potensial yang dilambangkan dengan P. Berdasarkan Gambar 3 dimisalkan bahwa  $r_1$  adalah jarak antara  $P_1$  dengan  $C_1$ ,  $r_2$  adalah jarak antara  $P_1$  dengan  $C_2$ ,  $r_3$  adalah jarak antara  $P_2$  dengan  $C_1$  dan  $r_4$  adalah jarak antara  $P_2$  dengan  $C_2$ . Potensial yang disebabkan oleh  $C_1$  pada  $P_1$  adalah :

$$V_1 = \frac{I}{2} \frac{1}{r_1} \quad (14)$$

Potensial yang disebabkan oleh  $C_2$  pada  $P_1$  sama halnya dengan potensial oleh  $C_1$  pada  $P_1$ , persamaannya adalah:

$$V_2 = -\frac{I}{2} \frac{1}{r_2} \quad (15)$$

Tanda negatif pada potensial  $V_2$  disebabkan karena arus pada  $C_2$  sama dengan arus pada  $C_1$ , tapi berlawanan arah. Sehingga diperoleh :

$$V_{p1} = V_1 + V_2 = \frac{I}{2} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (16)$$

Potensial yang disebabkan oleh  $C_1$  dengan  $P_2$  adalah

$$V_3 = \frac{I}{2} \frac{1}{r_3} \quad (17)$$

Potensial yang disebabkan oleh  $C_2$  pada  $P_2$  sama halnya dengan potensial oleh  $C_1$  dan  $P_2$ , persamaannya adalah:

$$V_4 = -\frac{I}{2} \frac{1}{r_4} \quad (18)$$

Tanda negatif pada potensial  $V_4$  disebabkan karena arus pada  $C_2$  sama dengan arus pada  $C_1$ , tapi berlawanan arah, sehingga diperoleh :

$$V_{p2} = V_3 + V_4 = \frac{I}{2} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (19)$$

Berdasarkan persamaan (16) dan Persamaan (19) dapat diukur perbedaan potensial  $V$  antara  $P_1$  dan  $P_2$ , yaitu:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{p1} - V_{p2} \\ \Delta V &= \frac{I}{2} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \end{aligned} \quad (20)$$

Berdasarkan persamaan beda potensial yang diperoleh pada Persamaan (20), maka nilai tahanan jenis adalah sebagai berikut:

$$= \frac{2 \Delta V}{I} \frac{1}{\left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \quad (21)$$

Persamaan (21) dapat disederhanakan menjadi Persamaan (22), sehingga diperoleh nilai tahanan jenis:

$$= K \frac{\Delta V}{I} \quad (22)$$

Persamaan (22) menyatakan nilai tahanan jenis suatu bahan dapat diperoleh dari perhitungan besarnya arus listrik yang mengalir dan beda potensial yang diukur. Tahanan jenis juga dipengaruhi oleh lebar spasi

elektroda yang digunakan saat pengukuran. Nilai K pada Persamaan (22) adalah:

$$K = 2 \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (23)$$

K merupakan faktor geometri dari susunan elektroda, yang harganya berubah sesuai dengan perubahan jarak spasi antara elektroda-elektroda.

Menurut Akmam (2004), "Secara umum tahanan jenis bumi tidak homogen, berarti bahwa yang terhitung dengan Persamaan (22) di atas adalah tahanan jenis semu (*apparent resistivity, ...a*)". Tahanan jenis semu tidak secara langsung menunjukkan nilai tahanan jenis medium, namun mencerminkan distribusi nilai tahanan jenis medium. Hal ini disebabkan karena bumi merupakan medium non homogen yang terdiri dari banyak lapisan dengan tahanan jenis yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi potensial listrik yang terukur. Tahanan jenis semu dilambangkan dengan  $\rho_a$  sehingga Persamaan (22) dapat ditulis menjadi persamaan (24):

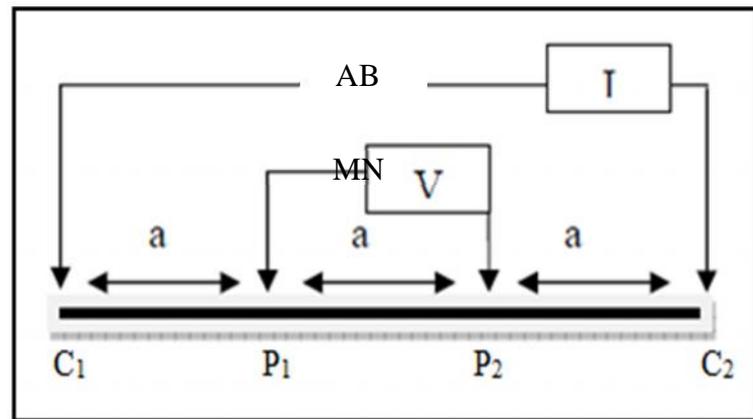
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (24)$$

Persamaan (24) merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung data lapangan. Persamaan (24) memperlihatkan kesimpulan bahwa jarak spasi elektroda dan konfigurasi mempengaruhi tahanan jenis semu. Metoda geolistrik memiliki beberapa konfigurasi berdasarkan variasi spasi elektroda yang digunakan yaitu *Wenner*, *Schlumberger*, *Pole-dipole*, *Pole-pole*, *Dipole-dipole* dan *Square*. Penelitian mengenai jenis batuan memerlukan konfigurasi dengan resolusi yang bagus dan sensitivitas tinggi

yang digunakan untuk pemetaan jenis batuan. Konfigurasi *Wenner* mempunyai keunggulan dalam tingkat sensitivitas terhadap pengaruh nonhomogenitas benda di bawah permukaan bumi secara lateral dan memiliki resolusi vertikal yang bagus (Raynolds, 1997). Keunggulan konfigurasi *Wenner* menyebabkan konfigurasi ini cocok digunakan untuk mengidentifikasi jenis batuan dibawah permukaan bumi pada setiap lapisan.

#### **D. Konfigurasi *Wenner***

Salah satu susunan elektroda yang umum digunakan dalam pengukuran resistivitas adalah konfigurasi *Wenner*. Konfigurasi *Wenner* dikembangkan oleh Frank *Wenner* berkebangsaan Amerika menggunakan empat elektroda. Elektroda-elektroda terletak dalam satu garis dan simetris terhadap titik tengah. Susunan elektroda konfigurasi *Wenner* terdiri dari dua buah elektroda arus yang dilambangkan dengan  $C_1$  dan  $C_2$  serta dua buah elektroda potensial yang dilambangkan dengan  $P_1$  dan  $P_2$ . Bila jarak kedua elektroda arus yang dilambangkan dengan  $AB$  diperlebar, maka jarak kedua elektroda potensial yang dilambangkan dengan  $MN$  juga harus diubah sehingga jarak  $MN$  tetap sepertiga jarak  $AB$  dan susunan jarak antar elektroda sama panjang seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Susunan elektroda Wenner  
(Sumber : Sharma, 1997)

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa prosedur konfigurasi *Wenner* pada metoda geolistrik tahanan jenis menggunakan empat konfigurasi elektroda. Pemilihan spasi elektroda tergantung pada kedalaman lapisan yang akan diidentifikasi (Sharma, 1997). Batas pembesaran spasi elektroda tergantung pada kemampuan alat yang dipakai. Jarak spasi yang dapat diukur akan semakin besar apabila alat yang digunakan memiliki sensitifitas yang tinggi dan arus yang dihasilkan besar, sehingga semakin dalam lapisan yang dapat terdeteksi.

Konfigurasi *Wenner* mempunyai kelebihan dan kekurangan. Menurut Burger *et al.* (2006), kelebihan konfigurasi *Wenner* adalah dengan lebar spasi elektroda potensial yang lebih besar dari konfigurasi lain maka tidak memerlukan peralatan yang sensitif. Kekurangan konfigurasi *Wenner* adalah semua elektroda harus dipindahkan untuk setiap pembacaan data resistivitas, hal ini juga memberikan manfaat untuk mendapatkan sensitifitas yang lebih tinggi untuk daerah lokal dan variasi lateral dekat permukaan. Faktor geometri dari konfigurasi *Wenner* adalah:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad (25)$$

karena  $r_1 = a$ ,  $r_2 = 2a$ ,  $r_3 = 2a$ , dan  $r_4 = a$ , maka:

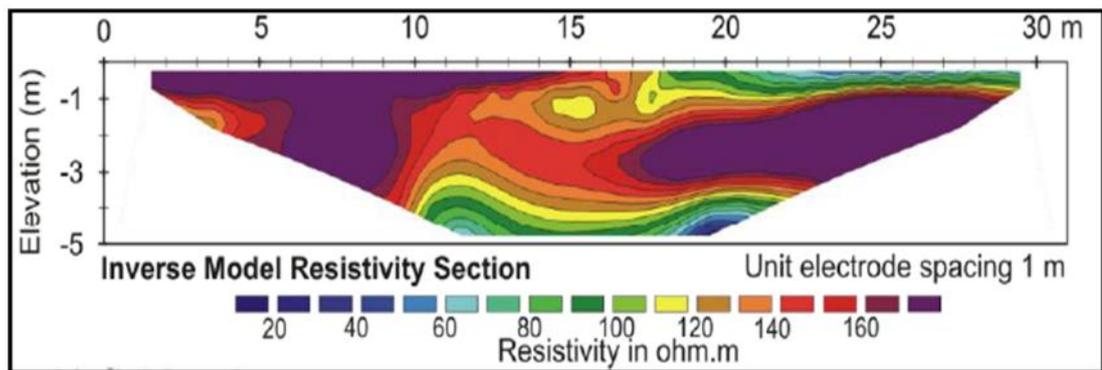
$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)} \quad (26)$$

$$K = 2\pi a \quad (27)$$

dengan demikian persamaan (24) dapat di tulis menjadi:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (28)$$

Konfigurasi *Wenner* memiliki kemampuan penetrasi 1/6 dari panjang lintasan (Burger *et al*, 2006), Gambar 5 menunjukkan kedalaman yang dapat dicapai oleh konfigurasi *Wenner* dengan spasi elektroda 1 m.



Gambar 5. Kedalaman yang dapat dicapai Konfigurasi *Wenner* (GF Instruments, 2007)

Berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa panjang lintasan pengukuran yang digunakan adalah 30 meter dan kedalaman yang dapat dicapai adalah 5 meter. Selain itu, konfigurasi *Wenner* mempunyai keunggulan dalam tingkat sensitif terhadap pengaruh *nonhomogenitas* benda di bawah permukaan bumi secara lateral [ (Reynolds,1997).

### E. Metode Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares*

Data lapangan yang diperoleh saat pengukuran Geolistrik mengandung informasi mengenai sifat-sifat fisis batuan. Harga parameter dari sifat fisis batuan didapatkan melalui persamaan matematika. Metoda inversi merupakan salah satu metoda yang digunakan untuk memperoleh parameter sifat fisis batuan menggunakan persamaan matematika. Menurut Supriyanto (2007), “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 (Loke,2004). Respon yang sama dengan nilai sebenarnya menunjukkan bahwa metode inversi dapat memperoleh harga parameter dari sifat fisis batuan yang didapat saat pengukuran sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.

Nilai tahanan jenis semu dapat diperoleh berdasarkan nilai kuat arus, beda potensial, dan spasi elektroda yang didapatkan pada saat pengukuran menggunakan Persamaan (28). Distribusi nilai tahanan jenis semu diinterpretasikan menjadi nilai tahanan jenis sesungguhnya menggunakan metode inversi. Metode inversi umumnya tidak menghasilkan informasi yang unik. Informasi yang unik dapat diperoleh dengan menambahkan sejumlah informasi tambahan yang dikenal dengan *a priori information*, yang selanjutnya akan digunakan untuk mengconstrain suatu solusi (Supriyanto,2007). Satu solusi yang unik menjadi alasan kenapa perlu

melakukan *constraint* terhadap suatu solusi sehingga diperoleh informasi akurat mengenai benda dibawah permukaan bumi.

Menurut Akmam.*et al* (2015) dan Koefoed (1970), potensial pada lapisan permukaan bumi ( $z = 0$ ) dengan jarak  $x$  dari elektroa arus dapat dirumuskan pada Persamaan (29)

$$V(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} T_1(\lambda) J_0(\lambda x) d\lambda \quad (29)$$

dimana  $J_0(\lambda x)$  adalah fungsi Bessel orde nol,  $T_1(\lambda)$  merupakan fungsi perubahan resistivitas dengan parameter model resistivitas dan ketebalan, serta  $\lambda$  adalah variabel integral. Koefoed (1970) mengasosiasikan perubahan resistivitas ( $T_1(\lambda)$ ) untuk mendapatkan fungsi Kernal seperti dengan Persamaan (30)

$$T_1(\lambda) = \rho_1 [1 + 2K_1(\lambda)] \quad (30)$$

untuk lapisan ke- $i$  maka dapat dirumuskan

$$T_i(\lambda) = \rho_i [1 + 2K_i(\lambda)] \quad (31)$$

Menurut Gupta (1996), nilai resistivitas model dalam bentuk diskrit dapat dirumuskan seperti Persamaan (32) dengan pengukuran menggunakan empat buah elektroda

$$\rho_a(s) = \sum_{j=0}^{\infty} T_{1j} G_j^{(2)}(s) \quad (32)$$

dimana nilai  $G_j^{(2)}$  adalah

$$G_j^{(2)}(s) = \frac{m}{m-1} G_j^{(1)}(s) - G_j^{(2)}(ms) \text{ dan } G_j^{(1)}(s) = \frac{s}{(\epsilon_j^2 + s^2)^{1/2}} \quad (33)$$

Parameter ( $m$ ) pada Persamaan (33) merupakan konfigurasi elektroda khusus,, Konfigurasi *Wenner* ( $m = 2$ ), *Schlumberger* ( $1 < m < 1.1$ ), *pole-pole* ( $m = \infty$ ) (Gupta, 1997).

Persamaan (33) merupakan bentuk persamaan nilai resistifitas model dalam bentuk diskrit, dimana  $a$  merupakan output dari fungsi,  $T_{1j}$  merupakan Input fungsi berupa matrik transform nilai resistivitas dan ketebalan serta  $G_j$  merupakan harga koefisien filter linear”. Dari Persamaan (33) tampak bahwa hubungan antara tahanan jenis semu  $a$  dengan parameter model tahanan jenis dan ketebalan lapisan ( $\rho_k, h_k$ ) sangat tidak linear, sehingga untuk mengestimasi tahanan jenis semu menjadi tahanan jenis sesungguhnya dibutuhkan solusi inversi non-linear. Metode inversi yang digunakan dalam pengolahan data lapangan adalah metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares*. Metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* merupakan metode inversi yang dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui permodelan 2D dan cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth*. Menurut Akmam dan Nofi (2013), “optimasi inversi dilakukan dengan meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur dengan menyesuaikan resistivitas model blok”. Dengan meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur maka akan dapat mengurangi nilai *error* dalam pengolahan data.

Persamaan inversi geolistrik secara umum dinyatakan oleh

$$d = g(m) \quad (34)$$

Persamaan tersebut menyatakan hubungan antara data terukur  $d$  dengan parameter model  $m$ , dalam hal ini  $g$  merupakan suatu fungsi pemodelan yang merupakan fungsi non-linear dari parameter model atau disebut respon model (Loke, 2004). Fungsi  $g$  dinyatakan dalam notasi vektor untuk menyatakan adanya komponen yang berasosiasi dengan komponen data, misalkan solusi inversi dari Persamaan (34) adalah model  $m$  yang merupakan suatu model awal  $m_0$  yang dipertubasi dengan  $\Delta m$  agar diperoleh kecocokan yang lebih baik antara respon model tersebut dengan data

$$m = m_0 + \Delta m \quad (35)$$

sehingga nilai  $d$  adalah

$$d = g(m_0 + \Delta m) \quad (36)$$

Jika Persamaan (36) dituliskan kembali dalam bentuk komponennya maka diperoleh persamaan

$$d_i = g_i(m_0^j + \delta m_j) \quad (37)$$

dimana  $i = 1, 2, \dots, N$  dan  $j = 1, 2, \dots, M$  dengan  $N$  dan  $M$  masing-masing adalah jumlah data dan jumlah parameter model. Menurut Hendra (2009), ekspansi Taylor orde pertama fungsi  $g(m)$  disekitar suatu model awal  $m_0$  dengan menggunakan notasi komponen seperti Persamaan (37) menghasilkan:

$$g_i(m_0^j + \delta m_j) = g_i(m_0^j) + \left. \frac{\partial g_i}{\partial m_j} \right|_{m_0} \delta m_j + O(m_j) \quad (38)$$

dimana  $O(m_j)$  merupakan suku sisa yang melibatkan turunan ke-2 dan orde yang lebih tinggi. Hasil substitusi Persamaan (38) ke Persamaan (37) dengan mengabaikan suku sisa tersebut adalah sebagai berikut:

$$d_i = g_i(m_0^j) + \left. \frac{\partial g_i}{\partial m_j} \right| \delta m_j \quad (39)$$

Suku kedua pada ruas kanan Persamaan (39) adalah komponen turunan parsial fungsi  $g(m)$  terhadap suatu elemen parameter model  $m$  yang membentuk matriks Jacobi atau *Jacobian matrix* berikut:

$$J_{ij} = \frac{\partial g_i}{\partial m_j} \quad (40)$$

Persamaan (43) menjelaskan perubahan respon model ke- $i$  akibat perubahan parameter model ke- $j$ . Menurut Loke (2004), pada data tahanan jenis lebih praktis digunakan aturan logaritma dari nilai tahanan jenis semu  $a$  untuk data terukur dan respon model. Persamaan (40) disubstitusikan ke Persamaan (39) menghasilkan:

$$d_i - g_i(m_0^j) = J_{ij} \delta m_j \quad (41)$$

Bentuk lengkap Persamaan (41) dalam notasi matriks adalah sebagai Persamaan berikut.

$$d - g(m_0) = J_0 \Delta m_0 \text{ atau } \Delta d_0 = J_0 \Delta m_0 \quad (41)$$

dimana  $J_0$  adalah matriks Jacobi yang dievaluasi pada  $m = m_0$ . Dengan menganggap  $d_0 = d - g(m_0)$  maka persamaan (41) mirip dengan persamaan yang berlaku pada hubungan linear data antara data terukur dengan parameter model yang ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$d = Gm \quad (42)$$

Berdasarkan analogi, solusi inversi dalam bentuk  $m_0$  dari suatu permasalahan dapat dinyatakan oleh persamaan (43) berikut.

$$\Delta m_0 = [J^T J]^{-1} J_0^T \Delta d_0 \quad (43)$$

Persamaan (43) pada dasarnya menyatakan perturbasi yang diperlukan terhadap suatu model awal  $m_0$  agar diperoleh model yang lebih baik, yaitu  $m = m_0 + \Delta m_0$ . Sehingga respon model  $m$  diharapkan lebih *fit* dengan data. Mengingat sifat non-linear dari fungsi yang menghubungkan data dengan parameter model maka pendekatan orde pertama diatas tidak dapat langsung menghasilkan model optimum. Oleh karena itu proses perturbasi model dilakukan terhadap model awal  $m_0$  secara iteratif menggunakan persamaan (43) sampai diperoleh konvergensi menuju solusi optimum. Untuk memperoleh solusi inversi optimum diperlukan perturbasi secara iteratif suatu model awal  $m_0$ . Dengan demikian pada iterasi ke-(n+1) perturbasi dilakukan terhadap model hasil iterasi sebelumnya menggunakan persamaan berikut.

$$m_{n+1} = m_n + [J_n^T J_n]^{-1} J_n^T \Delta d_n \quad (44)$$

Dengan menganggap  $m = m_{n+1} - m_n$  dan  $d_n = d$ , maka Persamaan (45) menjadi.

$$\Delta m = [J^T J]^{-1} J^T d \text{ atau } J^T J \Delta m = J^T d \quad (45)$$

Persamaan (45) disebut dengan Persamaan Gauss-Newton (Loke, 2004). Persamaan (45) jarang digunakan pada proses inversi geofisika. Hasil kali  $J^T J$  pada beberapa kondisi bernilai tunggal, sehingga tidak memiliki penyelesaian untuk parameter model ( $m$ ). Masalah umum lainnya adalah produk matriks  $J^T J$  mendekati tunggal (*singular*). Hal ini dapat terjadi jika

model awal sangat buruk dan berbeda model yang seharusnya digunakan. Vektor perubahan parameter model yang dihitung dengan Persamaan (45) terkadang mempunyai nilai yang sangat besar, sehingga nilai yang dihasilkan kurang mendekati keadaan yang sebenarnya. Masalah ini dapat diatasi dengan memodifikasi persamaan (45) untuk meminimalkan variasi spasial dalam parameter model (yaitu model nilai resistivitas berubah secara halus atau bertahap). Metode yang dapat digunakan adalah metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* (Ellis dan Oldenburg, 1994a).

Formulasi inversi *default Smoothness-Constraint* yang digunakan dalam program Res2dinv, diberikan oleh (Loke, 2004):

$$(J^T J + \mu F) \Delta m_k = J^T d \quad (46)$$

Persamaan (46) membatasi perubahan pada nilai-nilai resistivitas model  $\Delta m$  untuk *smooth*, tetapi tidak menjamin perubahannya dalam cara yang *smooth*. Problem tersebut dapat diatasi dengan memodifikasi persamaan (46) untuk meminimalisir variasi-variasi spasial pada parameter model, menjadi:

$$(J^T J + \mu F) \Delta m_k = J^T d - \mu F r \quad \text{dengan } F = f_x f_x^T \text{ dan } f_z f_z^T \quad (47)$$

Persamaan (47) merupakan persamaan inversi metode *Smoothness - Constraint Least Squares*. Pada Persamaan (47)  $f_x$  dan  $f_z$  merupakan filter vertikal dan horizontal J dan  $J^T$  merupakan matriks Jacobian dan transposnya, d merupakan *discrepancy vector* (vector ketidakcocokan) hasil pengukuran dan model,  $\Delta m_k$  merupakan vector gangguan model dari hasil pengukuran,  $\mu$  adalah vector yang mengandung logaritma dan nilai resistivitas model,  $\mu$

merupakan faktor *damping* yang berfungsi untuk mempercepat proses konvergensi (Akmam, 2006).

#### F. Teori *Kriging*

Menurut Delfiner (1999), “*Kriging* adalah suatu teknik untuk memprediksi suatu lokasi dengan menggunakan nilai rata-rata bobot sample data terdekat”. *Kriging* adalah suatu teknik perhitungan untuk estimasi dari suatu variabel tereregional yang menggunakan pendekatan bahwa data yang dianalisis dianggap sebagai suatu realisasi dari suatu variabel acak. *Kriging* merupakan metoda default pada *Surfer*.

*Kriging* secara umum merupakan suatu metode untuk menganalisis data geostatistik untuk menginterpolasi suatu nilai berdasarkan data sampel. Data sampel pada ilmu kebumihannya biasanya diambil di tempat-tempat yang tidak beraturan. Dengan kata lain, metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai karakteristik  $\hat{Z}$  pada titik tidak tersampel berdasarkan informasi dari karakteristik titik-titik tersampel yang berada di sekitarnya. Estimator *Kriging*  $\hat{Z}(u)$  dapat ditulis sebagai berikut (Davis, 1997):

$$\hat{Z}(u) - m(u) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] \quad (48)$$

dengan:

$u, u_{\alpha}$  : vektor lokasi untuk estimasi dan salah satu dari data yang berdekatan,

dinyatakan sebagai  $\alpha$

$m(u)$  : nilai ekspektasi dari  $Z(u)$

$m(u_{\alpha})$  : nilai ekspektasi dari  $Z(u_{\alpha})$

$\lambda_\alpha$  : Nilai  $Z(u_\alpha)$  untuk estimasi lokasi  $u$ . Nilai  $Z(u_\alpha)$  yang sama akan memiliki nilai yang berbeda untuk estimasi pada lokasi berbeda.

$n$  : banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi.

Tujuan kriging adalah untuk menentukan nilai  $\lambda_\alpha$  dengan meminimalkan variansi pada estimator *error*, dapat dinyatakan sebagai Persamaan (49):

$$\widehat{\sigma_e^2} = \{\hat{Z}(u) - Z(u)\} \quad (49)$$

Estimator error  $\widehat{\sigma_e^2}$  pada setiap lokasi merupakan perbedaan antara nilai estimasi  $\hat{Z}(u)$  dengan nilai sebenarnya  $Z(u)$ . Varietas *Kriging* bertujuan meminimalkan estimasi atau kesalahan varian, dengan rumusan seperti Persamaan (50)

$$E\{\hat{Z}(u) - Z(u)\} = 0 \quad (50)$$

#### 1. *Ordinary Kriging*

*Ordinary Kriging* adalah metode geostatistika yang digunakan untuk memprediksi data pada lokasi tertentu. Metode ini merupakan interpolasi suatu nilai peubah pada suatu titik tertentu yang dilakukan dengan mengamati data sejenis dilokasi lainnya. *Ordinary Kriging* menduga suatu variabel pada suatu titik tertentu dilakukan dengan mengamati data yang sejenis pada suatu daerah. Data yang digunakan pada metode *Ordinary Kriging* merupakan data spasial dengan rata-rata populasi tidak diketahui dan diasumsi bersifat stasioner (Cressie, 1993). Asumsi model *Ordinary Kriging* adalah:

$$\hat{Z}(u) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(u) Z(u_\alpha) \text{ dengan } \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(u) = 1 \quad (51)$$

## 2. Simple Kriging

Data yang digunakan pada metode *Simple Kriging* merupakan data spasial dengan rata-rata populasi diketahui. Asumsi model *Simple Kriging* adalah:

$$\hat{Z}(u) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(u)Z(u_{\alpha}) + \lambda_{\alpha}(u)m \quad (53)$$

dengan

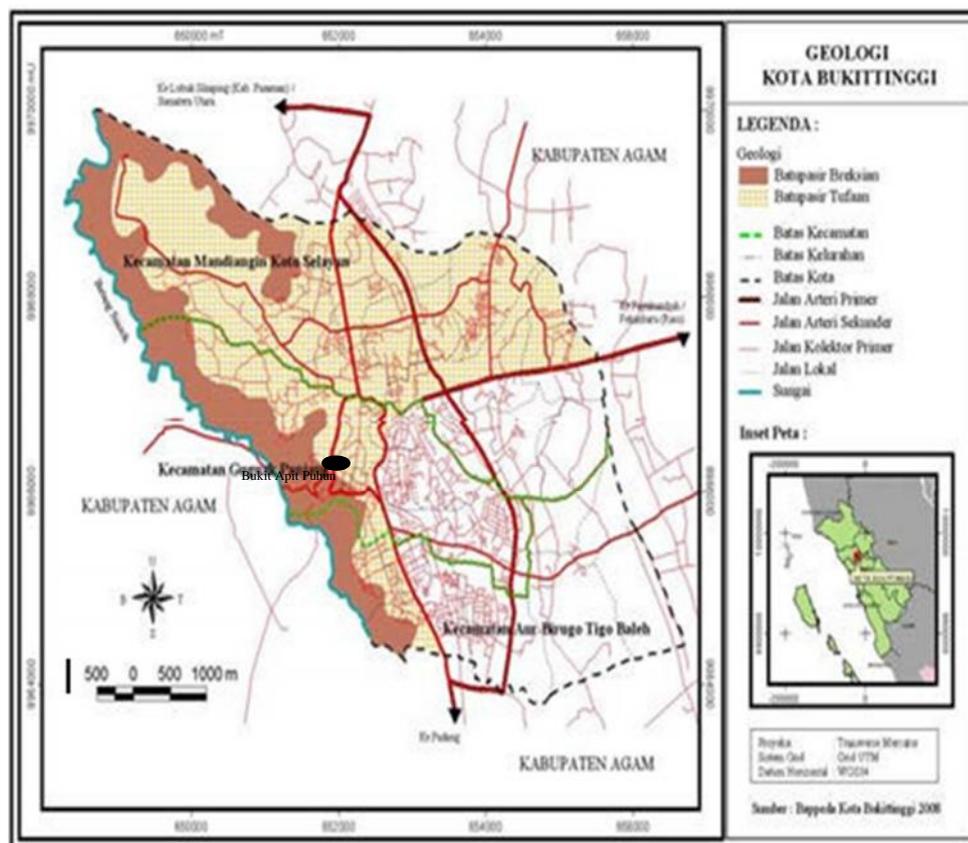
$$\lambda_{\alpha}(u) = 1 - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(u) \quad (54)$$

Variansi *error* pada *Simple Kriging* adalah:

$$\sigma_{OK}^2(u) = C_R(0) - \sum_{r=1}^{n(u)} \lambda_r^{OK}(u)C_R(u_r - u) \quad (55)$$

## G. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi. Menurut Bappeda Kota Bukittinggi (2008) daerah Bukit Apit Puhun berbatasan langsung dengan Ngarai Sianok. Kondisi Geologi Bukit Apit Puhun ditunjukkan oleh gambar 6. Berdasarkan gambar 6 diketahui bahwa wilayah Bukittinggi dan sekitarnya didominasi oleh kelompok batuan beku yang berasal dari aktivitas Gunung api. Gambar 6 menunjukkan bahwa pada bagian barat di sepanjang Ngarai Sianok terdapat batu pasir Breksian dan di bagian utara dan tengah terdapat Batu Pasir Tufaan.



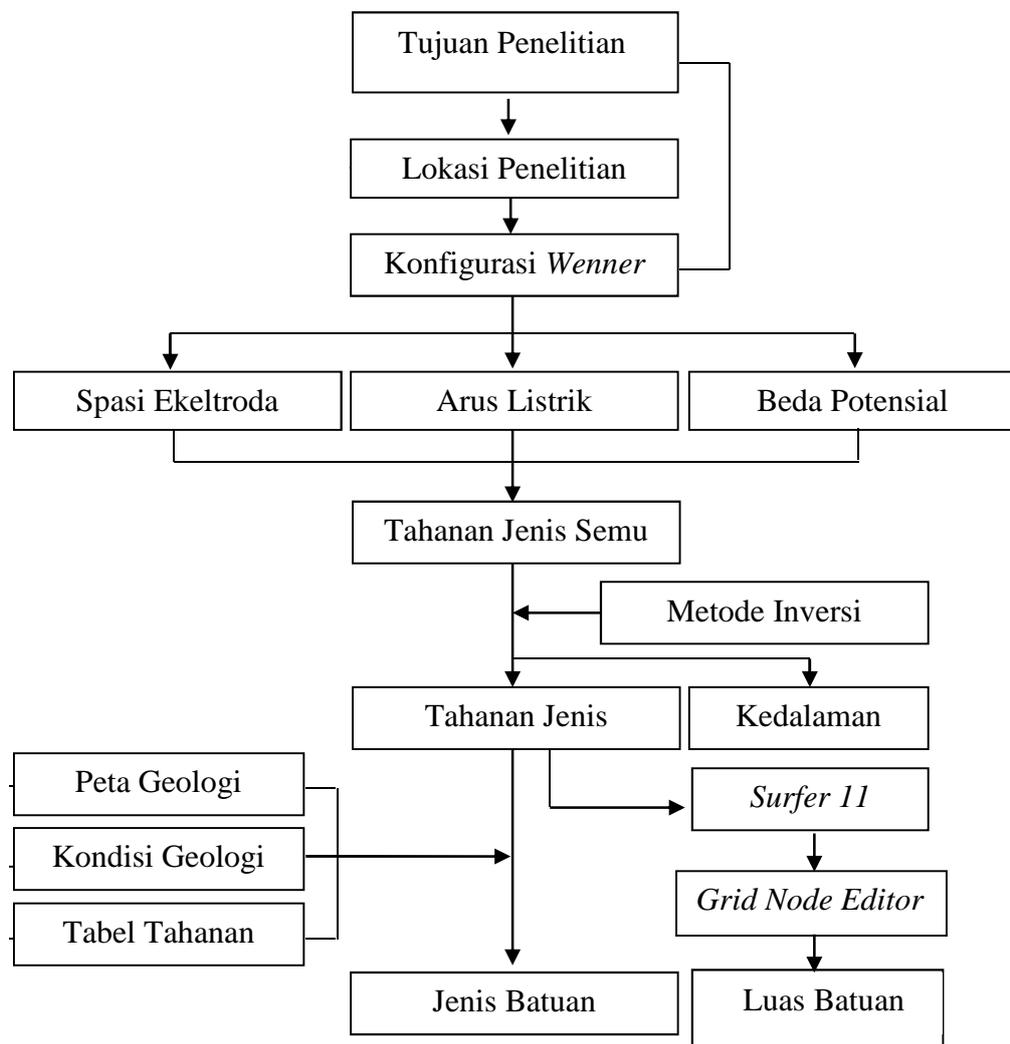
Gambar 6. Peta Geologi Kota Bukittinggi  
(Sumber : Bappeda Kota Bukittinggi, 2008)

## H. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir pada penelitian ini yang pertama menetapkan tujuan dilakukannya penelitian. Tujuan penelitian dijadikan acuan untuk menentukan lokasi penelitian yang tepat serta pemilihan konfigurasi. Konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi *Wenner*. Metoda pengukuran yang digunakan adalah metoda geolistrik tahanan jenis. Metoda ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik ke bawah permukaan bumi melalui elektroda arus dan elektroda potensial. Spasi elektroda yang digunakan harus sesuai dengan konfigurasi yang digunakan.

Saat arus listrik dialirkan ke bawah permukaan bumi, beda potensial akan terukur di permukaan bumi. Jadi variabel yang terukur pada metoda ini adalah kuat arus, beda potensial dan jarak spasi elektroda. Besaran yang di hitung pada metoda geolistrik ini adalah tahanan jenis semu yang dipengaruhi oleh kuat arus, beda potensial dan jarak spasi elektroda .

Variabel terukur ini kemudian diinterpretasikan menggunakan inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* sehingga diperoleh tahanan jenis lapisan bawah permukaan bumi. Kedalaman akan diperoleh berdasarkan jarak spasi elektroda. Semakin panjang jarak spasi elektroda maka semakin dalam kedalaman yang diperoleh. Nilai tahanan jenis sebenarnya yang diperoleh menggunakan metode inversi kemudian disimpan dalam format .Grd agar dapat dibaca di *Surfer*. Data kemudian dibuka menggunakan *Grid Node Editor* untuk memperoleh luas masing-masing sebaran jenis batuan. Kerangka berfikir pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Kerangka Berfikir Penelitian

Gambar 7 menjelaskan bahwa data tahanan jenis diinterpretasikan dengan cara membandingkan dengan tabel tahanan jenis dan Geologi daerah penelitian sehingga diperoleh suatu kesimpulan yaitu jenis batuan penyusun bawah permukaan bumi.

## I. Penelitian yang Relevan

Penelitian menggunakan metode geolistrik tahanan jenis telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Akmam dan Nofi (2013) juga telah melakukan penelitian mengenai struktur batuan bawah permukaan di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar menggunakan metode inverse *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* data geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner*. Berdasarkan hasil analisis data, ditemukan batuan penyusun struktur ini diestimasi terdiri dari *Sandstone*, *silt* dan *Alluvium*, *Andesite* dan air tanah yang terkontaminasi oleh air laut.

Jemmy Rohmana *et al*, (2015) melakukan penelitian mengenai jenis batuan di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan menggunakan metode inversi *Marquardt* data Geolistrik konfigurasi *Dipole-dipole*. Penelitian ini menggunakan 4 lintasan. Hasil penelitian menunjukkan jenis batuan penyusun geologi Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang terdiri dari *Andesite* berselingan *Tufa*, *Sandstone*, *Limestone*, dan *Clay*.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Hasil penelitian lanjutan mengenai jenis batuan pada lima lintasan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi menggunakan Metoda Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner* menyatakan bahwa jenis batuan yang terdapat Bukit Apit Puhun terdiri dari batuan *Clay*, *Sandstone*, *Limestone*, *Andesite* dan Batuan *Granite*.
2. Luas pendekatan sebaran jenis batuan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi menggunakan *Grid Node Editor* pada 5 Lintasan terdiri dari 4,7 % *Clay*; 24,05 % *Sandstone*; 51,44 % *Limestone*; 9,24 % *Andesite* ; dan 10,57 % batuan *Granite*.

#### B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka disarankan:

1. Dalam pengukuran Geolistrik dibutuhkan kerjasama tim yang baik, agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan waktu serta biaya yang digunakan saat penelitian lebih efisien.
2. Dalam pembuatan lintasan sebaiknya masing-masing lintasan dibuat sejajar agar mudah dalam interpretasi sebaran jenis batuan dan volume batuan pada daerah penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akmam, Irefian, R., D., , Silvia D. , S., Jemmy, R. 2015. “ Optimization Of Least Squares Methods Smooth Constrain Using Occam’s Inversion Geoelectric Resistivity Dipole-Dipole Consfiguration For Estimation Slip Surface”. Prosiding ICOMSET ISBN 978-602-19877-3-5.
- Akmam dan Nofi, Y., S. 2013. Analisis Struktur Batuan Dengan Metoda Inversi Smoothness-Constrained Least-Squares Data Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, 2013*. Hlm 1-6.
- Akmam. 2006. Studi Terhadap Air Tanah Padang Simawang Kecamatan Rambatan dengan Metoda Inversi *Least-Square* Dua Dimensi. *SAINTEK Vol. VIII. Nomor 2, Maret 2006*.
- Akmam. 2004. “Existence of Spring in Batulimbak Village Simawan Kecamatan Rambatan Kabupaten Tanahdatar”. *Prosiding Seminar PPD Forum HEDS 2004 Bidang MIPA, ISBN 979-95726-7-3*.
- Bachrul Ibrahim dan Asmita Ahmad. 2012. *Agrogeologi Dan Mineralogi Tanah*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Bavitra. Akmam dan Harman Amir. 2014. “Estimasi Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Metode Inversi Robust 2-D Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-Dipole Di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi”. *Phylar of Physics, Vol. 6. Oktober 2015*
- Burger, H., R., ,Anne, F., S., ,Craig, H., J. 2006, *Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurface*, New York, WW Norton.
- Carlson, Diane H. Charles C Plummer & Lisa Hammersley. 2009. *Physical geology: earth revealed, 9th edition*. Penerbit: McGraw-Hill.
- Crawford, MS, Mark J. (1998), ‘Physical Geology’. USA: Lincoln , Nebraska. ISBN: -8220-5335-7 Education. *Geologi, Vol. 56, No .2* . hal 118-129.
- Davis, John. 1997. *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Delfiner, P. C. P. 1999. *Geostatistics Modeling Spatial Uncertainty*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- GF Instruments, S.R.O. 2007. *Short Guide for Resistivity Imaging*. Jecna. Geophysical Equipment and Services.

- Guitton, Antoine. Symes, William. (2003). "Robust Inversion of Seismic Data Using the Huber Norm". *Jurnal. Geophysics* Vol 68. No 4 July-August 2003. Hlm. 1310-1319
- Gupta, Previn K. 1996. Straightforward Inversion of Vertical Electrical Sounding Data. Departement received of Eart Scienties, University of Roorkee, India 247 667.
- Hamblin, W. Kenneth. 2003. *Earth's Dynamic System*. Penerbit: Prentice Hall. ISBN/ASIN: 0131420666. ISBN-13: 9780131420663.
- Hendra Grandis. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Imran Razat, Akmam dan Mahrizal. 2015. *Investigasi Aguifer dengan Metode Inversi Smoothness- Constraint Least Squares Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguak Panjang Kota Bukittinggi*. Phylar of Physics, Vol. 6. Oktober 2015
- Jemmy Rohmana, Akmam dan Mahrizal. 2015. "Identifikasi Jenis Batuan Menggunakan Metode Inversi Marquardt Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-Dipole Bukit Lantiak Padang Selatan". Phylar of Physics, Vol. 6. Oktober 2015
- Johannes Tarigan. 2005. Kerusakan Akibat Tsunami Dan Gempa Northen Sumatra 26 Desember 2004 Terhadap Banda Aceh dan Sirombu Nias Barat. *Jurnal Sistem Teknik Industri* Volume 6, No. 3 Juli 2005.
- Koefoed, O., *A fast method for determining the layer distribution from the raised kernel function*: Geophys. Prospecting, Volume 18, 564 570. 1970, [18].
- Li, Yogou. 2002. *Three-dimensional DC resistivity forward modeling using finite element in comparison with finite-difference solution*.
- Loke, M.H. 1999. Electrical imaging surveys for environmental and engineering, Cangkat Minden Lorong 6, Minden Heights, 11700 Penang: Malaysia
- Lowrie, William. 2007. *Fundamental of Geophysics, Second Edition*. Newyork: Cambridge University Press.
- Maulana Irsyad. 2011. *Dasar-Dasar Klasifikasi Batuan* .Geological Handbook.
- Munir, Moch. 1995. *Geologi dan Mineralogi Tanah*. Malang: Pustaka Jaya.

- Saputra S.E.A, 2010. Makrozonasi dan Mikrozonasi Kerentanan Bencana Gempa Bumi di Wilayah Ende sebagai Data dasar Perencanaan dan Pengembangan Wilayah. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 5 No. 3 September 2010: 171-186.
- Noor, Djauhari. 2012. *Pengantar Geologi*. Bogor: Universitas Pakuan.
- Pemerintah Kota Bukittinggi: [http://www.bukittinggikota.go.id/index.php?class=text&file\\_id=101](http://www.bukittinggikota.go.id/index.php?class=text&file_id=101) diunduh pada 20 januari 2015.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: Jhon Geophysicin Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd.
- Skinner, B.J. dan Porter, S.C., 1989, *The Dynamic Earth*, John Wiley & Sons, Toronto
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia.
- Telford, W.M. Geldart, L.P, Sheriff R.E and Keys, D.A. 1990. *Applied Geophysics*. USA : Cambridge University Press.