

**ESTIMASI 3D KEDALAMAN BATUAN DASAR MENGGUNAKAN DATA  
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI *DIPOLE-DIPOLE*  
DI BUKIK LANTIAK KECAMATAN PADANG SELATAN**

**SKRIPSI**

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



**HAMIDAH  
1201439/2012**

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

## HALAMAN PERSETUJUAN

Judul : Estimasi 3-D Kedalaman Batuan Dasar  
Menggunakan Data Geolistrik Tahanan Jenis  
Konfigurasi *Dipole-Dipole* Di Bukik Lantiak  
Kecamatan Padang Selatan

Nama : Hamidah

NIM : 1201439

Program Studi : Fisika

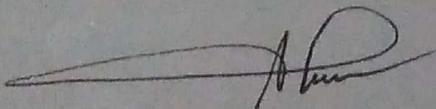
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2016

Disetujui oleh

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Drs. Mahrizal, M.Si.  
NIP. 19510512 197603 1 005

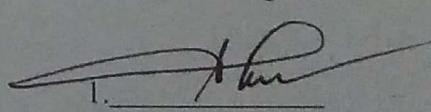
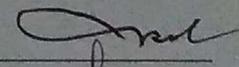
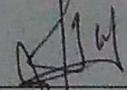
## HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Hamidah  
NIM : 1201439/2012

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan skripsi di depan Tim Penguji  
Program Studi Pendidikan Fisika  
Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang  
dengan judul

**Estimasi 3-D Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Data Geolistrik Tahanan  
Jenis Konfigurasi *Dipole-Dipole* di Bukik Lantiak Padang Selatan**

Padang, Agustus 2016

Tim Penguji	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. Akmam, M.Si	1. 
2. Sekretaris	: Drs. Mahrizal, M.Si	2. 
3. Anggota	: Syafriani, M.Si, Ph.D	3. 
4. Anggota	: Harman Amir, S.Si, M.Si	4. 
5. Anggota	: Dra. Hidayati, M.Si	5. 

## HALAMAN PERNYATAAN

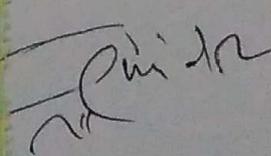
Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Estimasi 3-D Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-Dipole di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan” adalah asli karya saya sendiri;
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, 9 Agustus 2016

Yang membuat pernyataan



  
Hamidah  
NIM. 1201439

## ABSTRAK

**Hamidah : Estimasi 3-D Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Dipole-dipole* di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan**

[Hamidah1304@gmail.com](mailto:Hamidah1304@gmail.com)

Bukik Lantiak merupakan salah satu daerah perbukitan di Kota Padang yang tengah dalam masa pembangunan. Bangunan yang didirikan di daerah perbukitan memiliki resiko salah satunya rawan longsor. Pembangunan infrastruktur di daerah perbukitan perlu adanya perancangan bangunan yang cukup matang. Salah satu peranan penting yang perlu dipertimbangkan adalah jenis dan kedalaman Batuan Dasar. Selain itu, Batuan Dasar memiliki peranan penting disektor konstruksi, seperti jalan raya, gedung, jembatan, saluran air/irigasi dan lainnya. Berdasarkan uraian di atas, telah dilakukan penelitian yang bertujuan menentukan tahanan jenis dan kedalaman Batuan Dasar berdasarkan penampang 3D menggunakan inversi *Smoothness-Constraint Least Squares*. Penelitian yang bersifat deskriptif ini menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Dipole-dipole*. Hasil penelitian menunjukkan Batuan Dasar di Bukik Lantiak kecamatan Padang Selatan merupakan batuan Beku, yaitu *Andesite*. Batuan Dasar pada Lintasan 1 ditemukan pada kedalaman lebih dari 50 m, pada Lintasan 2 ditemukan pada kedalaman lebih dari 30 m, dan pada Lintasan 2 ditemukan pada kedalaman lebih dari 30 m.

**Kata Kunci** : Batuan Dasar, Geolistrik Tahanan Jenis, *Dipole-dipole*

## 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 **Estimasi 3D Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Dipole-dipole* di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan.**

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 dan sebagai Penasehat Akademis.
2. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si sebagai Pembimbing II dan sebagai Ketua Peneliti Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2015 oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kemendikbud.
3. Ibu Syafriani, S.Si, M.Si, PhD sebagai sebagai Tim Penguji dan Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Harman Amir, S.Si, M.Si, dan Ibu Dra. Hidayati, M.Si, sebagai Tim Penguji.
5. Ibuk Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

6. Bapak Yohandri, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
7. Kedua Orang Tua penulis yang selalu memberikan semangat dan doa untuk penulis dengan tidak henti-hentinya.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Padang, Agustus 2016

Hamidah

## DAFTAR ISI

	halaman
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 .....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Pertanyaan Penelitian .....	6
F. Tujuan Penelitian .....	6
G. Manfaat Penelitian .....	7
BAB II KERANGKA TEORITIS	
A. Batuan Dasar .....	8
B. Tahanan Jenis Batuan.....	15
C. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis.....	18
D. Konfigurasi <i>Dipole-dipole</i> .....	23
E. Metode Inversi <i>Smoothness-Constraint Least Squares</i> .....	25
F. Penelitian yang Relevan.....	31

G. Daerah Penelitian .....	34
H. Kerangka Berfikir.....	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Jenis Penelitian.....	36
B. Lokasi Penelitian.....	36
C. Desain Penelitian.....	36
D. Parameter yang Diamati .....	37
E. Instrumentasi / Alat dan Bahan .....	38
F. Prinsip Kerja ARES ( <i>Automatic Resistivity</i> ).....	38
G. Prosedur Penelitian.....	40
H. Teknik Analisa Data.....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Deskripsi Data.....	44
B. Interpretasi Data .....	45
C. Pembahasan.....	61
<b>BAB V PENUTUP</b>	
A. Kesimpulan .....	67
B. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA .....	69
LAMPIRAN.....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Batuan Sedimen Klastik Beserta Nama Partikel dan Endapannya .....	11
2. Tahanan jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorph .....	17
3. Tahanan jenis Batuan Sedimen .....	18
4. Nilai Tahanan Jenis semu, Arus, dan Beda Potensial Maksimum dan Minimum Tiap Lintasan Pengukuran di Bukik Lantiak .....	45
5. Hasil Interpretasi Data Lintasan 1 .....	49
6. Hasil Interpretasi Data Lintasan 2 .....	54
7. Hasil Interpretasi Data Lintasan 3 .....	58
8. Perbandingan Nilai <i>Error</i> Hasil Analisa Data Antara Penelitian yang Telah Dilakukan oleh Peneliti dengan Penelitian Sebelumnya .....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Batuan Bukik Lantiak .....	13
2. Arus dan Garis <i>Equipotential</i> yang Dihasilkan Oleh Sumber Arus.....	19
3. Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis .....	21
4. Susunan elektroda <i>Dipole-dipole</i> .....	24
5. Peta Geologi Kota Padang .....	34
6. Skema Kerangka Berfikir Penelitian.....	35
7. Desain Penelitian daerah Bukik Lantiak .....	37
8. <i>ARES Main Unit</i> .....	39
9. Skrip Program Format Data Notepad.....	43
10. Penampang Model 2D Lintasan 1 dengan Topografi .....	46
11. Penampang Model 2D Lintasan 2 dengan Topografi .....	50
12. Penampang Model 2D Lintasan 3 dengan Topografi .....	54
13. Penampang 3-D.....	58
14. Sayatan Penampang Horizontal Lapisan Bawah Tanah.....	65

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Lintasan 1 .....	72
2. Data Lintasan 2 .....	73
3. Data Lintasan 3 .....	74
4. Peta Geologi Kota Padang .....	75
5. Surat Keterlibatan dalam Penelitian Dosen.....	76

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

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

Kepadatan penduduk yang semakin meningkat pada suatu daerah akan menyebabkan pembangunan di daerah tersebut mengalami peningkatan. Pembangunan yang semakin pesat, akan menyebar dari pusat kota menuju ke tepi kota. Ibu kota Provinsi Sumatera Barat, yaitu kota Padang merupakan daerah yang padat penduduk. Kota Padang dengan luas wilayah 694,96 Km<sup>2</sup> (PP No. 17 tahun 1980) memiliki jumlah penduduk sampai tahun 2013 sebesar 876.678 jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Padang). Laju pertumbuhan penduduk cukup tinggi dan cepat yaitu sebesar 3% pertahun. Hal ini akan berdampak pada aspek kehidupan yang luas dan pembangunan.

Bukik Lantiak merupakan salah satu daerah perbukitan yang terletak di Kelurahan Seberang Palinggam Kecamatan Padang Selatan Kota Padang yang tengah dalam masa pembangunan. Rata-rata topografi daerah perbukitan memiliki sudut kemiringan berkisar antara 30° – 65° dengan puncak tertinggi berelevasi ± 321 meter di atas permukaan laut (Dedi, 2010). Bangunan yang didirikan di daerah perbukitan memiliki beberapa resiko salah satunya daerah perbukitan rawan terjadi longsor. Pembangunan infrastruktur di daerah perbukitan diperlukan adanya perancangan bangunan yang cukup matang. Salah satu peranan penting yang perlu dipertimbangkan adalah jenis dan kedalaman Batuan Dasar.

Batuan Dasar memiliki nilai porositas kecil mengindikasikan batuan ini memiliki tekstur keras. Tekstur yang keras dapat dijadikan sebagai acuan dalam pemberian beban terhadap permukaan bumi. Selain itu, Batuan Dasar memiliki peranan penting disektor konstruksi, seperti jalan raya, gedung, jembatan, saluran air/irigasi dan lainnya. Sebagai negara yang sedang membangun, Indonesia membutuhkan bahan galian ini secara terus menerus disetiap tahun.

Metode Geolistrik merupakan salah satu metode pada Geofisika yang cukup banyak digunakan dalam dunia eksplorasi. Metode ini dapat memberikan gambaran susunan dan kedalaman lapisan batuan dengan mengukur sifat kelistrikan pada batuan. Metode Geolistrik mempunyai banyak konfigurasi. Salah satu konfigurasi yang cocok untuk menentukan Batuan Dasar ini adalah konfigurasi *Dipole-dipole*, karena konfigurasi ini memiliki kemampuan penetrasi yang dalam sehingga sangat baik untuk penyelidikan Batuan Dasar.

Batuan dasar di Bukik Lantiak secara tidak langsung telah diidentifikasi pada penelitian-penelitian sebelumnya. Rahmi (2014) dan Irepia (2014) telah melakukan penelitian mengenai struktur batuan dan bidang gelincir menggunakan data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*. Konfigurasi *Schlumberger* kurang bagus dalam pengukuran CST (*Constant Separation Traversing*) (Reynolds. 1997). Pengukuran CST lebih dikenal sebagai metoda *Profiling Horizontal* yang digunakan untuk menentukan variasi nilai tahanan jenis secara horizontal. Hasil identifikasi batuan pada konfigurasi

*Schlumberger* dalam pengukuran CST perlu disempurnakan lagi, sehingga resolusi lateral yang dihasilkan menjadi lebih baik.

Investigasi *aquifer* telah dilakukan di Bukik Lantiak. Penelitian mengenai investigasi *aquifer* menggunakan inversi *Robust Counstraint* data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Wenner* dilakukan oleh Silvia (2014). Menurut Reynolds (1997) konfigurasi *Wenner* memiliki kelemahan terhadap penetrasi kedalaman, sehingga konfigurasi ini kurang bagus digunakan untuk penyelidikan Batuan Dasar. Keunggulan konfigurasi *Wenner* dalam tingkat sensitif terhadap permukaan bumi secara lateral menyebabkan konfigurasi ini cocok dalam pemetaan sebaran air tanah.

Estimasi bidang gelincir optimalisasi inversi *Least-Square* dengan Inversi *Occam* (Akmam, 2015) dan identifikasi jenis batuan menggunakan Inversi *Marquadt* data Geolistrik Tahanan Jenis (Jemmy, 2015) telah diidentifikasi menggunakan konfigurasi *Dipole-dipole*. Hasil identifikasi jenis batuan yang diperoleh adalah *Andesite* berselingan *Tufa*, *Sandstone*, *Limestone*, dan *Clay*. Informasi dari penampang topografi yang ditampilkan masih berupa jenis batuan dan kedalaman yang dicapai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan konfigurasi dengan penetrasi kedalaman yang lebih dalam dan interpretasi data berbentuk penampang 3-D.

Jenis dan kedalaman Batuan Dasar sebaiknya diidentifikasi menggunakan metode eksplorasi dengan kemampuan penetrasi yang dalam agar peluang ditemukannya Batuan Dasar semakin besar. Konfigurasi yang cocok untuk penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan konfigurasi lainnya

adalah konfigurasi *Dipole-dipole*. Selain itu konfigurasi *Dipole-dipole* bagus untuk pengukuran CST (*Constant Separation Traversing*). Konfigurasi *Dipole-dipole* juga memiliki resolusi tinggi dibandingkan dengan konfigurasi lain.

Batuan Dasar diinterpretasikan menggunakan metode Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares*. Metoda ini dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model, sehingga menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth*. Gambaran distribusi *resistivitas* 3-D bawah permukaan memiliki kelebihan daripada hasil survei 2-D. Kelebihannya dapat dilihat dari hasil penggambaran distribusi resistivitas 3-D yang mampu menampilkan citra penyebaran *resistivitas* yang baik secara vertikal maupun horizontal untuk tiap lapisan. Pada penelitian sebelumnya Batuan Dasar yang telah diidentifikasi dapat diketahui letak berdasarkan kedalaman, namun belum diketahui bagaimana sebaran di tiap sayatan dengan kedalaman berbeda beda. Sehingga diperlukan penelitian lanjutan yaitu estimasi 3-D Batuan Dasar. Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik melakukan penelitian yang berjudul “Estimasi 3-D Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Dipole-Dipole* di Bukik Lantiak Padang Selatan”.

## **B. Identifikasi Masalah**

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

1. Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan merupakan daerah rawan longsor di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.
2. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya berorientasi pada kondisi geologi secara lateral dan vertikal, sedangkan keadaan kedalaman bawah permukaan penampang 3-D belum diidentifikasi dengan baik.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi Batuan Dasar di Bukik Lantiak menggunakan konfigurasi yang memiliki penetrasi kedalaman yang bagus.

## **C. Batasan Masalah**

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

1. Pengolahan data 2-D diinterpretasikan menggunakan metode Inversi *Smoothness - Constraint Least Squares* konfigurasi *Dipole-dipole* menggunakan perangkat lunak *Res2dinv*.
2. Bentuk penampang 3-D bawah permukaan diinterpretasikan menggunakan metode Resistivitas 3-D menggunakan perangkat lunak *Res3dinv*.

## **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, dapat dirumuskan masalah pada penelitian ini yaitu berapakah kedalaman Batuan Dasar berdasarkan penampang 3-D bawah permukaan jika

ditinjau dengan menggunakan data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Dipole-dipole* di Bukik Lantiak Kecamatan Padang selatan Kota Padang.

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

Adapun pertanyaan pada penelitian ini adalah berapa kedalaman Batuan Dasar berdasarkan penampang 3-D bawah permukaan di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang ditinjau dengan menggunakan data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Dipole-dipole*.

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

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

1. Melakukan penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi jenis Batuan Dasar penyusun lapisan bawah permukaan bumi berdasarkan penampang 3-D di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan menggunakan data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Dipole-dipole*.
2. Mengetahui bentuk penampang 3-D dan sebaran jenis Batuan Dasar lapisan bawah permukaan bumi di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan.

## **G. Manfaat Penelitian**

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

1. Memberikan informasi bentuk penampang 3-D jenis batuan penyusun geologi bawah permukaan bumi di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan di daerah Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan.
3. Sebagai informasi peneliti selanjutnya dalam melakukan penelitian yang berkaitan dengan Batuan Dasar di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan.

## **BAB II**

### **KERANGKA TEORITIS**

#### **A. Batuan Dasar**

Batuan merupakan padatan yang mengandung satu atau beberapa jenis mineral. Batuan terbentuk dari magma yang meleleh ke permukaan bumi. Suhu permukaan bumi yang lebih rendah dari suhu dalam bumi menyebabkan magma yang meleleh tersebut akan membeku membentuk padatan atau batuan. Batuan Dasar dianggap sebagai batuan Metamorf ataupun batuan Beku (tanpa menghiraukan umur) yang ditumpangi tak selaras oleh batuan Sedimen (Sircar, 2004, dalam Landes et al, 1960). Batuan Dasar umumnya menjadi dasar tipe batuan yang ada di atasnya.

Batuan Dasar memiliki porositas dan permeabilitas yang sangat rendah. Hal ini menyebabkan Batuan Dasar memiliki nilai tahanan jenis yang cukup tinggi. Menurut Sircar (2004:148), “Batuan Dasar memiliki nilai porositas mendekati nol”, sementara menurut Gutmanis (2010:4), “Nilai porositas Batuan Dasar adalah antara 0,1 – 1% dan nilai permeabilitas Batuan Dasar kecil dari 0,5% kecuali pada zona lapuk yaitu 5 – 10%”. Nilai porositas dan permeabilitas yang rendah disebabkan kurang memiliki pori dan kurang menyerap air sehingga arus listrik sedikit mengalir melalui Batuan Dasar.

Batuan Dasar dapat ditemukan di permukaan bumi sampai kedalaman tertentu. Batuan Dasar merupakan batuan yang paling tua diantara batuan yang ada disekitar wilayahnya. Batuan Dasar yang dimiliki setiap daerah berbeda satu

sama lainnya tergantung pada sejarah Geologi daerah tersebut sehingga Batuan Dasar dapat berupa Batuan Beku, Sedimen maupun Metamorf.

## **1. Batuan Beku**

Batuan Beku merupakan batuan yang terbentuk melalui magma yang keluar menuju permukaan bumi membentuk lava. Akibat suhu yang sangat rendah mengalami pendinginan membentuk Batuan Beku. Menurut Noor (2009) Batuan Beku adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras. Batuan Beku disamping berfungsi sebagai bahan bangunan, juga berperan sebagai Batuan Dasar atau pondasi. Batuan Beku merupakan fase awal terbentuknya batuan lain sehingga Batuan Beku disebut juga batuan induk.

Berdasarkan tempat pembekuannya Batuan Beku dibedakan menjadi Batuan Beku ekstrusif dan intrusif (Noor, 2009). Batuan Beku ekstrusif adalah Batuan Beku yang proses pembekuannya berlangsung dipermukaan bumi. Batuan Beku ekstrusif ini yaitu lava yang memiliki berbagai struktur yang memberi petunjuk mengenai proses yang terjadi pada saat pembekuan lava tersebut. Struktur ini diantaranya, Masif yaitu struktur yang memperlihatkan suatu masa batuan yang terlihat seragam, Vesikular yaitu struktur yang memperlihatkan lubang-lubang pada Batuan Beku yang terbentuk akibat pelepasan gas pada saat pembekuan, struktur aliran yaitu struktur yang memperlihatkan adanya kesejajaran mineral pada arah tertentu akibat aliran. Batuan Beku Intrusif adalah Batuan Beku yang proses pembekuannya berlangsung dibawah permukaan bumi.

## 2. Batuan Sedimen

Batuan Sedimen adalah batuan yang terjadi karena pengendapan materi yang dialirkan oleh air, udara dan es sehingga terjadi perubahan fisik dan kimiawi. Batuan Sedimen sebagian besar ditemukan dipermukaan bumi, dimana membentuk lapisan tipis yang tidak dijumpai pada Batuan Beku dan batuan Metamorf (Skinner dan Porter, 1987). Batu Sedimen merupakan hasil pengendapan dari Batuan Beku, Metamorf dan Sedimen lainnya yang mengalami pelapukan terbawa pergi dan mengalami pengendapan. Menurut Noor (2009) secara umumnya, batu Sedimen terbagi dengan dua cara, yaitu :

- a. Batuan Sedimen yang terbentuk dalam cekungan pengendapan atau dengan kata lain tidak mengalami proses pengangkutan. Sedimen ini dikenal sebagai Sedimen *Autochthonous*, yang termasuk dalam kelompok batuan *Autochthonous* antara lain adalah batuan Evaporit dan batu Gamping.
- b. Batuan Sedimen yang mengalami proses transportasi, atau dengan kata lain, Sedimen yang berasal dari luar cekungan yang ditransport dan diendapkan di dalam cekungan. Sedimen ini dikenal dengan Sedimen *Allochthonous*, yang termasuk dalam kelompok Sedimen ini adalah Batupasir, Konglomerat, Breksi, Batuan Epiklastik.

Selain kedua jenis batuan diatas, batuan Sedimen juga digolongkan menjadi 3 kelas berdasarkan cara pengendapannya, yaitu Sedimen Klastik (*Clastic Sediment*), Sedimen Kimia (*Chemically Precipitated Sediment*) dan Sedimen Organik (*Organic Sediment*).

a. Sedimen Klastik

Sedimen Klastik yaitu batuan yang terbentuk dari hancuran batuan lain. Menurut Noor (2009 : 79), “Sedimen Klastik merupakan batuan yang berasal dari suatu tempat yang kemudian tertransportasi dan diendapkan pada suatu cekungan”. Contoh batuan Sedimen klastik beserta asal endapannya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batuan Sedimen klastik beserta Nama Partikel dan Endapannya.

Nama partikel	Kisaran ukuran diameter (mm)	Nama Endapan yang lepas	Nama Batuan Gabungan
Batu besar	> 256	Kerikil	Konglomerat
Kerikil kasar	64-256	Kerikil	Sedimen
Kerikil halus	2-64	Kerikil	Breksi
Pasir	1/16-2	Pasir	Pasir
Lumpur	1/256-1/16	Lumpur	Lumpur
Liat	<1/256	Liat	Tanah liat, lumpur dan serpih

(Sumber : Skinner dan Porter, 1987:102)

Konglomerat merupakan batuan yang mengalami sedimentasi dan menjadi padat dimana butir-butir kerikilnya berbentuk bulat-bulat atau halus. Konglomerat adalah batuan Sedimen yang tersusun dari bahan-bahan dengan ukuran berbeda dan bentuk membulat yang direkat menjadi batuan padat (Folk, 2002). Batuan konglomerat ini ditemukan jauh dari sumbernya karena mengalami proses transportasi yang jauh.

Pasir (*Sandstone*) terbentuk dari butiran-butiran pasir (*Quartz*) yang ukurannya mencapai 2 mm. Pasir terdiri dari berbagai bahan pokok,

seperti butir Kwarsa dan semen (Tucker, 2003). Pasir dapat terbentuk hampir di semua tempat, namun sering terbentuk di dasar laut dan gurun.

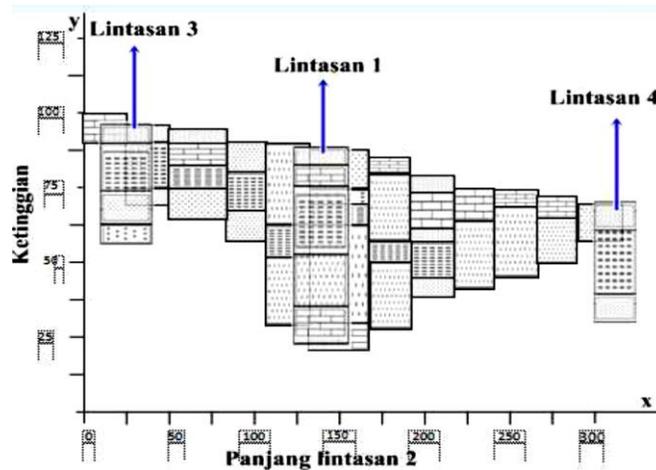
b. Sedimen Kimia

Batuan Sedimen Kimia terbentuk melalui presipitasi kimia yang terdiri dari campuran anorganik yang mengendap setelah dialirkan laut. Menurut Noor (2009) "Batuan Sedimen kimiawi/biokimia adalah batuan hasil pengendapan dari proses kimiawi suatu larutan, atau organisme bercangkang atau yang mengandung mineral Silika atau Fosfat". 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. Batuan Vulkanoklastik (Volcanoclastic rocks).

Batuan Vulkanoklastik ini berasal daripada aktivitas gunung api. Debu dari aktivitas gunungapi ini akan terendapkan seperti Sedimen yang lain. Endapan tersebut kemudian mengalami proses kimiawi maupun fisika. Adapun kelompok batuan Vulkanoklastik adalah: Batupasir tufa dan Aglomerat.

Struktur batuan pada daerah penelitian didominasi oleh Lempung, hal ini berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Rahmi (2014) terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur Batuan Bukik Lantiak  
(Sumber : Rahmi, 2014)

Keterangan : x = panjang lintasan , y = kedalaman.

 = Clay 
  = Sandstone 
  = Limestone 
  = Andesite

Berdasarkan Gambar 1 struktur batuan Bukik Lantiak lapisan batuan di daerah didominasi Lempung. Lempung merupakan hasil pelapukan batuan pada kerak bumi yang sebagian besar terdiri dari batuan *Feldspatik* berupa batuan Granit dan Batuan Beku. Hasil pelapukan tersebut berbentuk partikel-partikel halus dan sebagian besar dipindahkan oleh tenaga air dan angin ke suatu tempat yang lebih rendah dan jauh dari tempat batuan induk. Lempung biasa dikenal dengan tanah liat. Menurut Mitchell (1976), jenis tanah ini memiliki kadar mineral lempung yang tinggi dan memiliki leburan Silica yang sangat halus. Lempung merupakan suatu zat yang terbentuk dari partikel-partikel yang sangat kecil terutama dari mineral-mineral yang disebut Kaolinit, yaitu persenyawaan dari Oksida Alumina ( $Al_2O_3$ ), dengan Oksida Silica ( $SiO_2$ ) dan Air ( $H_2O$ ). Lempung dalam Kimia termasuk Hidrosilikat

Alumina, yang dalam keadaan murni mempunyai rumus  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Satu partikel Lempung dibuat dari satu molekul Aliminium (2 atom Alumina dan 3 atom Oksigen), dua molekul Silikat (2 atom Silica) dan 2 atom Oksigen), dan dua molekul Air (2 atom Hidrogen dan 1 atom Oksigen).

### 3. Batuan Metamorf

Batuan Metamorf adalah batuan yang berasal dari batuan sebelumnya yang mengalami perubahan bentuk tekstur. Batuan Metamorf merupakan hasil perubahan dari kumpulan mineral dan tekstur dari batuan-batuan padat di muka bumi akibat perubahan temperatur dan tekanan (Skinner dan Porter, 1987). Misalnya *Shale* (Lempung) 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* dalam temperatur tinggi.

Batuan yang berada jauh didalam perut bumi dapat mengalami penurunan tekanan dan temperatur apabila mengalami erosi sebagai akibat dari pengangkatan secara tektonik. Peristiwa tersingkapnya batuan akibat erosi ini memungkinkan batuan mengalami pembalikan proses metamorfosa, yaitu batuan kembali pada kondisi awal sebelum mengalami metamorfosa. Pembalikan proses metamorfosa seperti ini dikenal dengan istilah Metamorfosa *Retrogresif*. Apabila proses Metamorfosa *Retrogresif* merupakan sesuatu yang bersifat umum, maka batuan jenis ini seharusnya juga umum dijumpai dipermukaan bumi, namun demikian kenyataannya bahwa batuan Metamorfosa *Retrogresif* jarang dijumpai tersingkap

dipermukaan bumi (Noor, 2009). Salah satu alasan mengapa batuan *Retrogresif* tidak umum dijumpai adalah karena reaksi kimia akan melambat seiring dengan menurunnya temperature.

Faktor yang sangat berpengaruh dalam proses pembentukan Batuan Metamorf adalah panas (temperatur) yang dihasilkan dari pembebanan dari batuan Sedimen dan intrusi magma ke permukaan yang melewati perlapisan batuan. Tekanan (*pressure*) yang dihasilkan oleh gravitasi. Larutan/cairan kimia aktif menyebabkan timbulnya reaksi kimia yang akan mempengaruhi mineral yang ada (Kurt Bucher, 2011). Air merupakan cairan utama dalam reaksi ini, tetapi juga terdapat larutan asam/basa yang dihasilkan magma.

## **B. Tahanan Jenis Batuan**

Sifat kelistrikan dari batuan tergantung pada nilai tahanan jenis yang dilambangkan dengan ( $\rho$ ) dengan satuan ohmmeter. Menurut Akmam (2004), “Nilai tahanan jenis pada batuan atau mineral tidak hanya dipengaruhi oleh minerologi batuan, melainkan juga tergantung kepada porositas, cairan elektrolit serta kandungan air yang terdapat dalam pori batuan”. Beda potensial yang diberikan kepada batuan akan mengakibatkan adanya aliran arus. Aliran arus pada perlapisan batuan sangat bergantung kepada cairan eletrolitik dalam pori – pori batuan serta sifat konduktif batuan.

Hubungan antara rapat arus  $\vec{J}$  dengan kuat medan listrik  $\vec{E}$  menurut Hukum Ohm dapat dinyatakan pada Persamaan (1) :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas listrik. Jika besar kuat medan listrik diberikan oleh Persamaan (2) :

$$\vec{E} = \frac{V}{L} \quad (2)$$

maka diperoleh

$$\vec{J} = \sigma \frac{V}{L} \quad (3)$$

sehingga kuat arus dapat ditulis :

$$I = \vec{J} A = \sigma \frac{A}{L} V \quad (4)$$

Persamaan (4) memperlihatkan bahwa saat  $\sigma$  konstan, arus total I sebanding dengan beda potensial V. Perbandingan antara V dengan I pada konduktor disebut resistansi.

$$R = \frac{V}{I} \quad (5)$$

Hubungan resistansi dengan tahanan jenis pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (4) dan (5), yaitu :

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{A} \quad (6)$$

Persamaan (6) memperlihatkan hubungan antara tahanan jenis dan kuat arus. Semakin besar nilai tahanan jenis suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan kuat arus listrik. Sebaliknya, semakin kecil nilai tahanan jenis suatu bahan maka semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Tahanan jenis memiliki hubungan berbanding terbalik dengan konduktivitas, seperti pada Persamaan (7) berikut:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (7)$$

dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas bahan ( $\Omega\text{m}$ )<sup>-1</sup>. Jenis batuan dapat diketahui berdasarkan nilai dari tahanan jenis batuan.

Nilai tahanan jenis untuk batuan bervariasi. Menurut Telford et.al (1990: 289) "secara umum berdasarkan harga tahanan jenis listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu : Konduktor baik ( $10^{-8} \Omega\text{m} < \rho < 1 \Omega\text{m}$ ), Semikonduktor ( $1 \Omega\text{m} < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$ ), dan Isolator ( $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$ )".

Tabel 2. Tahanan jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorf

Batuan	Tahanan Jenis ( $\Omega\text{m}$ )
<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>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 et.al, 1990 : 290)

Tabel 3. Tahanan Jenis Batuan Sedimen

Batuan	Tahanan jenis ( $\Omega\text{m}$ )
<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 nilai tahanan jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorf lebih besar dibandingkan dengan Batuan Sedimen. Hal ini berarti Batuan Sedimen memiliki daya hantar listrik Batuan Sedimen lebih besar dibandingkan Batuan Beku dan Metamorf karena Batuan Sedimen memiliki konduktivitas yang lebih besar dibandingkan Batuan Beku dan Metamorf.

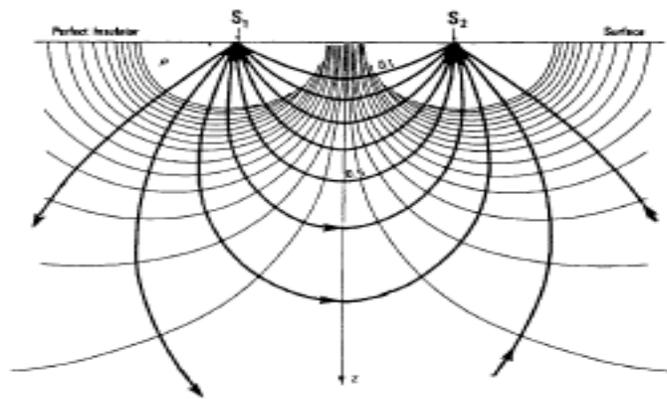
### C. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis

Metode Geolistrik adalah 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 (Akmam 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.

Aliran arus listrik di dalam bumi diasumsikan bahwa bumi merupakan medium homogen isotropis. Arus listrik yang dialirkan ke dalam bumi akan mengalir ke segala arah dan membentuk bidang *equipotensial* setengah bola.

Penjalaran arus listrik ke dalam bumi dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Arus dan Garis *Equipotential* yang Dihasilkan Oleh Sumber Arus (Reynolds, 1997: 425).

Medium homogen isotropis dengan luas  $A$ , jika dilalui arus listrik  $I$  maka kerapatan arus  $\vec{J}$  dapat dihitung mensubstitusikan persamaan (7) ke persamaan (1), maka diperoleh hubungan kerapatan arus  $\vec{J}$  dengan tahanan jenis ( $\rho$ ) yaitu:

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

Medan listrik  $\vec{E}$  merupakan daerah di sekitar benda bermuatan listrik yang masih mengalami gaya listrik sehingga dapat dinyatakan dengan Persamaan (9) :

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

Medan listrik  $\vec{E}$  pada Persamaan (9) disubstitusikan ke Persamaan (8) akan menunjukkan hubungan antara gradient potensial dengan tahanan jenis  $\rho$  dan kerapatan arus  $\vec{J}$  pada Persamaan (10)

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

Kerapatan arus  $\vec{J}$  pada Persamaan (3) disubstitusikan ke Persamaan (10) akan menghasilkan hubungan antara gradient potensial dengan luas permukaan  $A$  dan arus listrik  $I$ .

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

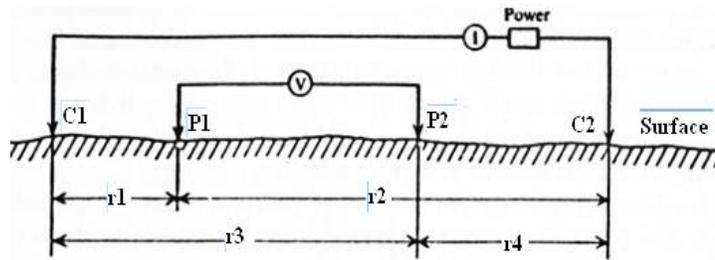
dimana luas permukaan  $A$  adalah luas permukaan distribusi arus yaitu setengah bola  $2\pi r^2$  sehingga perbedaan potensial  $dV$  terhadap distribusi arus  $dr$  yaitu:

$$dV = -\rho \frac{1}{2\pi r} dr \quad (12)$$

Persamaan (12) dapat diselesaikan dengan cara melakukan pengintegralan sehingga diperoleh beda potensial  $V$  pada titik  $r$  yaitu :

$$V(r) = \frac{\rho 1}{2\pi r} \quad (13)$$

Metode Geolistrik pada dasarnya terdiri dari dua elektroda arus dan dua elektroda potensial (Gambar 4). Perbedaan potensial dipermukaan bumi akan terjadi apabila arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi.



Gambar 3 Konfigurasi Dua Elektroda Arus dan dua Elektroda Potensial di atas permukaan tanah yang Homogen Isotropis (Telford *et al.* 1990: 524)

Gambar 3 menunjukkan susunan dua Elektroda Arus dan dua Elektroda Potensial 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 :

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

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

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

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

$$V_{P1} = V_1 + V_2 = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (16)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

Secara umum tahanan jenis bumi tidak homogen menurut (Akmam, 2004), berarti bahwa yang terhitung dengan Persamaan (20) di atas adalah tahanan jenis semu (*apparent resistivity,  $\rho_a$* ). 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  $p_a$  sehingga Persamaan (22) dapat ditulis menjadi:

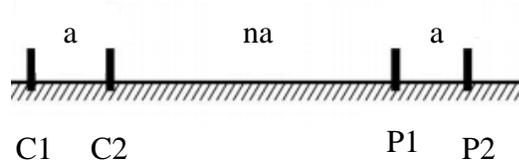
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (24)$$

Persamaan (24) disimpulkan bahwa tahanan jenis semu dipengaruhi oleh besarnya beda potensial akibat aliran arus listrik dari dalam permukaan bumi.

#### **D. Konfigurasi *Dipole-dipole***

Konfigurasi *Dipole-dipole* merupakan salah satu konfigurasi dalam eksplorasi Geolistrik dimana jarak antara elektroda arus dengan jarak antara

elektroda potensial sama. Susunan elektroda pada konfigurasi *Dipole-dipole* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Susunan Elektroda pada Konfigurasi *Dipole-dipole*  
(Sumber : Marescot, 2009)

Gambar 4 menunjukkan susunan pemasangan elektroda pada pengukuran dengan metode Geolistrik. Berdasarkan Gambar 4 bahwa  $r_1$  adalah jarak  $P_1$  dengan  $C_1$ ,  $r_2$  adalah jarak  $P_1$  dengan  $C_2$ ,  $r_3$  adalah jarak  $P_2$  dengan  $C_1$  dan  $r_4$  adalah jarak antara  $P_2$  dengan  $C_2$ . Besar jarak  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ , dan  $r_4$  dari Gambar 4 adalah:

$$r_1 = na + a = a(n + 1) \quad (25)$$

$$r_2 = na \quad (26)$$

$$r_3 = 2a + na = a(n + 2) \quad (27)$$

$$r_4 = na + a = a(n + 1) \quad (28)$$

Persamaan (25), (26), (27) dan (28) disubstitusikan ke Persamaan faktor Geometri pada Persamaan (23) sehingga diperoleh faktor Geometri K untuk konfigurasi *Dipole-dipole* yaitu:

$$K = \pi an(n + 1)(n + 2) \quad (29)$$

Persamaan (29) disubstitusikan ke Persamaan (24) sehingga diperoleh nilai tahanan jenis semu untuk konfigurasi *Dipole-dipole* seperti Persamaan (30).

$$\rho_a = \pi a n(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I} \quad (30)$$

dimana  $a$  merupakan jarak antara dua Elektroda Arus atau jarak antara dua Elektroda Potensial, sementara  $na$  merupakan jarak antara spasi elektroda arus dengan spasi elektroda potensial.

#### E. **Metoda Inversi *Smoothness-Constrained Least Squares***

Data lapangan yang diperoleh saat pengukuran mengandung informasi mengenai sifat-sifat fisis batuan. Informasi tersebut dapat diketahui jika persamaan matematika yang menghubungkan antara data lapangan dengan sifat-sifat fisis batuan juga diketahui. Metoda inversi merupakan salah satu metoda yang digunakan untuk memperoleh parameter sifat fisis batuan menggunakan persamaan matematika. Inversi dibutuhkan untuk mentransformasi data pengukuran kedalam bentuk interpretasi parameter fisika yang lebih mudah (Gubbins. 2004 :15). 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 keadaan sebenarnya.

Nilai tahanan jenis semu dapat diperoleh berdasarkan nilai kuat arus, beda potensial, dan spasi elektroda yang didapatkan pada saat pengukuran menggunakan Persamaan (29). Distribusi nilai tahanan jenis semu diinterpretasikan menjadi nilai tahanan jenis sesungguhnya menggunakan

metode inversi. Potensial pada lapisan permukaan bumi ( $z = 0$ ) dengan jarak  $x$  dari elektroda arus dapat dinyatakan dengan persamaan (31).

$$V(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} T_1(\lambda) J_0(\lambda x) d\lambda \quad (31)$$

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 (Akmam. *et al*, 2015 dan koefoed, 1970). Koefoed (1970) mengasosiasikan perubahan resistivitas ( $T_1(\lambda)$ ) untuk mendapatkan fungsi Kernal seperti dengan Persamaan (32)

$$T_1(\lambda) = \rho_1[1 + 2K_1(\lambda)] \quad (32)$$

untuk lapisan ke- $i$  maka dapat dirumuskan

$$T_i(\lambda) = \rho_i[1 + 2K_i(\lambda)] \quad (33)$$

Bumi bukanlah struktur yang mempunyai resistivitas bumi yang homogen, berarti resistivitas yang terukur saat pengukuran adalah resistivitas semu (*apparent resistivity*) yang harganya dihitung persamaan ( Koefoed: 1070);

$$\rho_a(x) = x^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda x) \lambda d\lambda \quad (34)$$

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.

Hubungan data terukur ( $d$ ) dengan fungsi parameter model ( $m$ ) secara umum dinyatakan oleh

$$d = g(m) \quad (35)$$

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 (35) 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

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

sehingga

$$\bar{d} = g(m_0 + \Delta m) \quad (37)$$

Jika Persamaan (38) dituliskan kembali dalam bentuk komponennya maka diperoleh

$$\bar{d}_i = g_i(m_0^j + \delta m_j) \quad (38)$$

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 (38) menghasilkan:

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

dimana  $O(m_j)$  merupakan suku sisa yang melibatkan turunan ke-2 dan orde yang lebih tinggi. Hasil substitusi Persamaan (39) ke Persamaan (38) dengan mengabaikan suku sisa tersebut adalah sebagai berikut:

$$\bar{d}_i = g_i(m_0^j) + \left. \frac{\partial g_i}{\partial m_j} \right| \delta m_j \quad (40)$$

Suku kedua pada ruas kanan Persamaan (40) adalah komponen turunan parsial fungsi  $g(m)$  terhadap suatu elemen parameter model  $m$  yang membentuk matriks Jacobi atau *Jacobian matrix* berikut:

$$J_{ij} = \frac{\partial g_i}{\partial m_j} \quad (41)$$

Persamaan (42) 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  $\rho_a$  untuk data terukur dan respon model. Persamaan (41) disubstitusikan ke Persamaan (40) menghasilkan:

$$\bar{d}_i - g_i(m_0^j) = J_{ij} \delta m_j \quad (42)$$

Bentuk lengkap Persamaan (43) dalam notasi matriks adalah sebagai berikut.

$$\bar{d} - g(m_0) = J_0 \Delta m_0 \quad \text{atau} \quad \Delta d_0 = J_0 \Delta m_0 \quad (43)$$

dimana  $J_0$  adalah matriks Jacobi yang dievaluasi pada  $m = m_0$ . Dengan menganggap  $\Delta d_0 = \bar{d} - g(m_0)$  maka persamaan (44) mirip dengan persamaan yang berlaku pada hubungan linear data antara data terukur dengan parameter model yang ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$\bar{d} = Gm \quad (44)$$

Berdasarkan analogi, solusi inversi dalam bentuk  $\Delta m_0$  dari suatu permasalahan dapat dinyatakan oleh persamaan (45) berikut.

$$\Delta m_0 = [J^T J]^{-1} J_0^T \Delta d_0 \quad (45)$$

Persamaan (45) 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 di atas tidak dapat langsung menghasilkan model optimum, oleh karena itu proses perturbasi model dilakukan terhadap model awal  $m_0$  secara iteratif menggunakan persamaan (46) sampai diperoleh konvergensi menuju solusi optimum. Dalam 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.

$$m_{n+1} = m_n + [J_n^T J_n]^{-1} J_n^T \Delta d_n \quad (46)$$

dengan menganggap  $\Delta m = m_{n+1} - m_n$  dan  $\Delta d_n = d$ , maka Persamaan (46) menjadi.

$$\Delta m = [J^T J]^{-1} J^T \bar{d} \quad \text{atau} \quad J^T J \Delta m = J^T \bar{d} \quad (47)$$

Persamaan (47) disebut dengan Persamaan Gauss-Newton (Loke, 2004). Persamaan (47) 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 (47) terkadang mempunyai nilai yang sangat besar, sehingga nilai yang dihasilkan kurang mendekati keadaan yang sebenarnya. Masalah ini dapat diatasi dengan memodifikasi persamaan (47) 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*.

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

$$(J^T J + \mu F) \Delta m_k = J^T \bar{d} \quad (48)$$

Persamaan (49) 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 (48) untuk meminimalisir variasi-variasi spasial pada parameter model, menjadi:

$$(J^T J + \mu F) \Delta m_k = J^T \bar{d} - \mu F \quad \text{dengan } F = f_x f_x^T \text{ dan } f_z f_z^T \quad (49)$$

Pada Persamaan (49)  $f_x$  dan  $f_z$  merupakan filter vertikal dan horizontal,  $J$  dan  $J^T$  merupakan matriks Jacobian dan transposnya,  $\bar{d}$  merupakan *discrepancy vector*

(vector ketidakcocokan) hasil pengukuran dan model,  $\Delta m$  merupakan vector gangguan model dari hasil pengukuran,  $r$  adalah vector yang mengandung logaritma dan nilai resistivitas model,  $\mu$  merupakan faktor *damping* yang berfungsi untuk mempercepat proses konvergensi (Akmam, 2006). Hasil perhitungan merupakan tahanan jenis batuan yang diinversi.

#### **F. Penelitian Yang Relevan**

Penelitian mengenai Batuan Dasar menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis telah dilakukan di beberapa daerah di Indonesia. Kurniawan (2014) telah melakukan penelitian tentang estimasi kedalaman Batuan Dasar di Desa Kampung Kecamatan Padang Panjang Barat. Penelitian ini yang terdiri dari 4 lintasan pengukuran menemukan Batuan Dasar jenis *Andesite* pada lintasan dan kedalaman yang berbeda dengan nilai tahanan jenis batuan *Andesite* berkisar antara 170-790  $\Omega\text{m}$ . Pada lintasan 1, Batuan Dasar diduga pada kedalaman lebih dari 58,20 m. Lintasan 3 terdapat Batuan Dasar pada kedalaman lebih 14,80 m.

Penelitian estimasi kedalaman Batuan Dasar di Desa Kroyo, Karang Malang Kabupaten Sragen telah dilakukan oleh Ayu Margaworo (2009). Sebanyak 3 lintasan pengukuran ditemukan Batuan Dasar pada setiap lintasan. Batuan Dasar yang terdeteksi mencapai kedalaman 100,9 m pada Lintasan 1, lintasan 2 maupun Lintasan 3. Jenis Batuan Dasar yang diduga merupakan jenis Batuan Dasar Breksi. yang menjadi dasar batuan bagi lapisan batuan di atasnya, yaitu *Clays* dan *Sands*.

Penelitian mengenai estimasi kedalaman Batuan Dasar di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi dilakukan oleh Bavitra pada

2015. Banyak pengukuran pada penelitian ini adalah 5 lintasan. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah Batuan Dasar yang ditemukan dalam pengukuran diinterpretasikan sebagai *Andesite* dan nilai tahanan jenis batuan *Andesite* berkisar antara 1950 – 6228  $\Omega$ m. Kedalaman Batuan Dasar pada keempat lintasan diduga terdapat pada kedalaman mulai dari 00,0 m sampai kedalaman 15.4 m.

Penelitian menggunakan metode Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* di Bukik Lantiak bertujuan mengidentifikasi bidang gelincir telah dilakukan oleh Irepia (2014). Kesimpulan dari penelitian ini adalah Bidang gelincir lintasan 1 memiliki sudut kemiringan  $34,98^0$ . Bidang gelincir lintasan 3 memiliki sudut kemiringan  $25,94^0$ . Bidang gelincir lintasan 1 dan lintasan 3 diklasifikasikan memiliki kemiringan curam. Potensi bahaya longsor yang besar terdapat pada lintasan 1.

Penelitian mengenai analisa sebaran air tanah menggunakan Inversi *Robust Constraint* data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner di daerah Bukit Lantiak telah dilakukan oleh Silvia (2014). Hasil penelitian ini berupa sebaran air tanah Sebaran air tanah pada Lintasan 1 dapat ditemukan pada kedalaman 9,1 – 22,6 m. Lintasan 2 sebaran air tanahnya dapat ditemukan pada kedalaman 11,7 – 22,6 m. Lintasan 3 sebaran air tanahnya pada kedalaman 9,1 – 19,85 m dan Lintasan 4 ditemukan pada kedalaman 8,1 – 30,2 m.

Estimasi struktur batuan menggunakan *Smoothness-constrained Least-Squares* Inversion Data Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Lantiak Padang Selatan telah diteliti oleh Rahmi (2014). Kesimpulan yang

didapatkan pada penelitian ini adalah Struktur penyusun lapisan bumi pada Lintasan 1, Lintasan 2 dan Lintasan 3 sama yaitu: *Andesite*, *Clay*, *Sandstone* dan *Limestone* dengan kedalaman dan ketebalan bervariasi. Lapisan *Sandstone* terdapat di permukaan sampai kedalaman 6 m, lapisan *Limestone* dan *Andesite* terdapat setelahnya dengan ketebalannya lapisan masing-masing sekitar 9 m dan 3 m. Selanjutnya terdapat lapisan *Clay* pada kedalaman 34 m dengan ketebalan lapisan sekitar 8,94 m. Lapisan paling bawah kembali terdapat lapisan *Sandstone* dan *Andesite* dengan ketebalan sekitar 3 m dan 2 m.

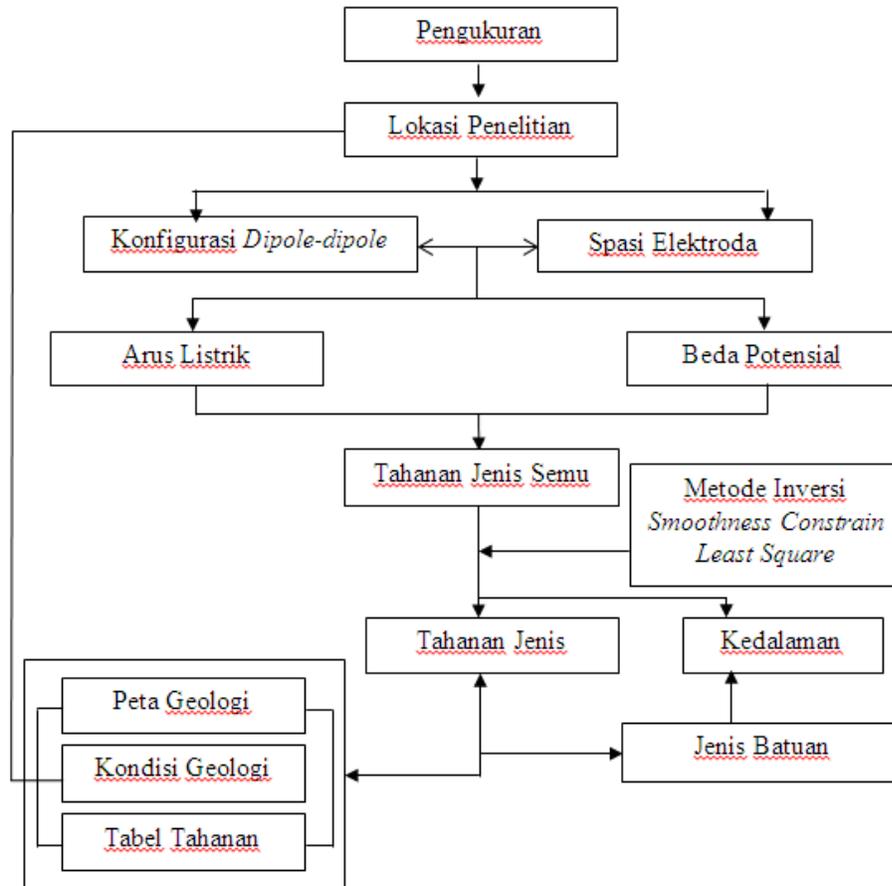
Identifikasi jenis batuan menggunakan Inversi *Marquardt* di Bukik Lantiak Padang Selatan telah dilakukan oleh Jemmy (2015). Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai *error* yang dihasilkan pada pengolahan data menggunakan metode Inversi *Marquardt* data Geolistrik konfigurasi *Dipole-dipole* lebih kecil dibandingkan dengan pengolahan data menggunakan metode inversi *Smoothness-Constrained Least-Squared* konfigurasi *Schlumberger*. Akmam (2015) telah melakukan riset di Bukik Lantiak mengenai optimalisasi Metoda Inversi *Smoothness - Constrained Least - Squared* menggunakan Inversi *Occam's*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bidang gelincir memiliki sudut kemiringan  $33,45^{\circ}$  pada kedalaman 19,3 m dengan hasil interpretasi menggunakan Inversi *Occam's* lebih tajam dibandingkan hasil interpretasi menggunakan Inversi *Smoothness - Constrained Least - Squared*.

## **G. Daerah Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di daerah Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Sumatera Barat. Kondisi geologi daerah penelitian berdasarkan peta geologi pada gambar dapat dilihat bahwa daerah Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan disusun oleh 2 batuan utama, yaitu batuan *Andesite* dan *Tufa*. Batuan ini berasal dari batuan gunung berapi yang masih aktif bewarna hitam keabu-abuan hingga putih. Peta geologi Kota Padang dapat dilihat pada Lampiran 4.

## H. Kerangka Berfikir

Kerangka berpikir pada penelitian ini menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis. Metoda ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik ke bawah permukaan bumi melalui elektroda arus dan elektroda potensial.



Gambar 6 Skema Kerangka Berfikir Penelitian

Gambar 6 menjelaskan bahwa data tahanan jenis diinterpretasikan dengan cara membandingkan dengan tabel tahanan jenis dan geologi daerah penelitian sehingga diperoleh suatu kesimpulan yaitu jenis batuan bawah permukaan bumi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

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

1. Hasil penelitian lanjutan mengenai estimasi Batuan Dasar di Bukik Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang menggunakan Metoda Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Dipole-dipole* menyatakan bahwa jenis batuan yang terdapat Bukik Lantiak terdiri dari batuan *Clay*, *Sandstone*, *Limestone*, dan *Andesite*. Batuan dasar diidentifikasi berupa *Andesite*, pada Lintasan 1 kedalaman lebih dari 50 m, pada Lintasan 2 kedalaman lebih dari 30 m, dan pada Lintasan 3 kedalaman kedalaman lebih dari 30 m.
2. Bentuk penampang dan sebaran pendekatan jenis batuan jika dilihat dengan pemodelan 3-D menggunakan metode Inversi *Smoothness Counstraint Least Square* dengan bantuan perangkat lunak *Res3dinv* di Bukik Lantiak kecamatan Padang Selatan, terdapat sampai pada sayatan keenam. Pada sayatan pertama sampai sayatan terakhir telah diidentifikasi terdapat 4 jenis batuan yaitu *Clay*, *Limestone*, *Sandstone* dan *Andesite*.

## **B. Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan:

1. Melakukan Penelitian berikutnya sebaiknya menggunakan Metoda yang lain, untuk mendapatkan pemodelan 3D yang lebih baik lagi.
2. Dalam merancang pembangunan di Bukik Lantiak, pemerintah sebaiknya terlebih dahulu mempertimbangkan letak dan kedalaman Batuan Dasar.
3. Dalam pembuatan lintasan sebaiknya jumlah lintasan ditambah, agar semakin akurat dalam interpretasi sebaran Batuan Dasar pada daerah penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akmam. (2004). “*Existence of Spring in Batulimbak Village Simawan Kecamatan Rambatan Kabupaten Tanah datar*”. Jurnal Prosiding Seminar PPD Forum HEDS 2004 Bidang MIPA, ISBN 979-95726-7-3. Hlm 593-608.
- Akmam dan Nofi Yendri Sudiar. 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, Irefia, R., D., , Silvia D. , S., S., Jemmy, R. 2015. “*Optimition of Least Squares Methods Smooth Constrain Using Occam’s Inversion Geoelectric Resistivity Dipole-Dipole Consfiguration For Estimation Slip Surface*”. Jurnal ICOMSET ISBN 978-602-19877-3-5. Hlm 178-185
- Basra Kurniawan, Akmam dan Nofi Yendri Sudiar. 2014. “*Estimasi Kedalaman Batuan Dasar di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat Menggunakan Metoda Inversi Robust 2D Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner*”. Pillar of Physics, Vol 1. April 2014, 49-56
- Bavitra, Akmam, Harman Amir. 2015. “*Estimasi Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Metoda Inversi Robust 2D Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-Dipole di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi*”. Pillar of Physics, Vol 6. Oktober 2015, 01-08
- Dedi Hermon. 2010. *Prediksi Erosi Yang Diperbolehkan (Edp) Dan Degradasi Fisik Tanah Daerah Gunung Padang Sumatera Barat*. J. Hidrolitan., Vol 1 : 1 : 18 – 25 . 2010 ISSN 2086 – 4825. Hal 1-8
- Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatera Barat. 2014. *Peta Geologi Kota Padang*. Padang.
- Folk, Robert L. 2002. *Petology of Sedimentary Rocks*. Austin: University of Texas.
- Grandis, Hendra. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Gubbins, David. 2004. *Time Series Analysis and Inverse Theory for Geophysicists*. New York : The Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Gupta, Previn K. 1996. *Straightforward Inversion of Vertical Electrical Sounding Data. Depertement received of Eart Scienties*. University of Roorkee, India 247 667.

Gutmanis, Jon. (2010). “*Hydrocarbon Production From Fractured Basement Formation*”. Jurnal. Geoscience Limited Versi 9. Hlm. 1-40.

<http://padangkota.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/7> diakses tanggal 29 januari 2016

Kurt Bucher and Rodnet Grapes. 2011. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks, 8<sup>th</sup> Edition*. New York: Springer

Irepia Refa Dona, Akmam dan Nofi Yendri Sudiar. 2015. “*Identifikasi Bidang Gelincir Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger di Bukit Lantiak Padang Selatan*”. Phylar of Physics, Vol. 5 April 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

Koefoed, O., *A fast method for determining the layer distribution from the raised kernel function*: Geophys. Prospecting, Volume 18, 564 570. 1970, [18].

Loke, M. H. 2013. *2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Geophysics. Malaysia

Marescot, Laurent. 2009. *Electrical Surveying*. Swiss: University of Fribourg.

Margarowo, Ayu. 2009. *Identifikasi Batuan Dasar di Desa Kroyo, Karangmalang Kabupaten Sragen Menggunakan Metoda Geolistrik Konfigurasi Dipole-dipole*. Skripsi: Surakarta: Jurusan Fisika UNS.

Mitchell, James K. 1976. *Fundamental of Soil Behavior*. University of California, Berkeley

Noor, Djauhari. 2009. *Pengantar Geologi Dasar Edisi Pertama*. Bogor: Universitas Pakuan

Rahmi Kurnia Putri, Akmam dan Harman Amir. 2014. “*Estimasi Struktur Batuan Menggunakan Smoothness-Constraint Least-Squares Inversion Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger di Bukit Lantiak Padang Selatan*”. Phylar of Physics, Vol. 4 November 2014

Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: Jhon Geophysicsin Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd.

Silvia Dona Sari, Akmam dan Nofi Yendri Sudiar. 2014. “*Analisa Sebaran Air Tanah Menggunakan Inversi Robust Constraint Data Geolistrik Tahanan Jenis*

*Konfigurasi Wenner di Daerah Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan*".  
Phylar of Physics, Vol. 4 November 2014

Sircar, Anirbid. 2004. "*Hydrocarbon Production from Fractured Basement Formations*". Jurnal. Current Science. Vol.87. No.2. Hlm 147-151.

Skinner, Brian J. Dan Stephen C. Porter. 1987. *Physical Geologi*. Canada. Von Hoffman Press.

Telford, W.M. Geldart, L.P, Sheriff R.E and Keys, D.A. 1990. *Applied Geophysics*. USA : Cambridge University Press.

Tucker, Maurice E. 2003. *Sedimentary Rocks in the Field Third Edition*. UK: University of Durham

Verhoef, P. N. W. 1994. *Geologi Untuk Tehnik Sipil*. Terjemahan. E. Diraatmaja. cetakan ketiga, Jakarta : Erlangga