

**ESTIMASI STRUKTUR BATUAN MENGGUNAKAN *SMOOTHNESS-
CONSTRAINED LEAST-SQUARES INVERSION* DATA GEOLISTRIK
TAHANAN JENIS KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI
BUKIT LANTIAK PADANG SELATAN**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



RAHMI KURNIA PUTRI

NIM. 18432/2010

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2014**

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Estimasi Struktur Batuan Menggunakan *Smoothness-Constraint Least Squares Inversion* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Lantio Padang Selatan

Nama : Rahmi Kurnia Putri

NIM : 18432

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 17 Juli 2014

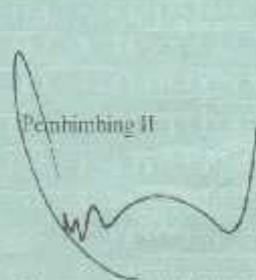
Disetujui oleh :

Pembimbing I



Des. Akhman, M.Si.
NIP. 19630526 198703 1 003

Pembimbing II



Harman Amir, S.Si, M.Si.
NIP. 19701005 199903 1 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Rahmi Kurnia Putri
NIM : 18432
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : MIPA

dengan judul

ESTIMASI STRUKTUR BATUAN MENGGUNAKAN *SMOOTHNESS-CONSTRAINT LEAST SQUARES INVERSION* DATA GEOFISIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI BUKIT LANTIAK PADANG SELATAN

Dinyatakan lulus setelah dipertaharkan di depan Tim Penguji Skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang

Padang, 12 Agustus 2014

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Drs. Akman, M.Si.
Sekretaris	: Harman Amir, S.Si, M.Si.
Anggota	: Drs. Muhrizal, M.Si.
Anggota	: Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D.
Anggota	: Noli Yendi Sudiar, S.Si, M.Si.

Tanda Tangan











SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan tata cara penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 12 Agustus 2014
Yang menyatakan,




Rahmi Kurnia Putri
Nim. 18432

ABSTRAK

Rahmi Kurnia Putri : Estimasi Struktur Batuan Menggunakan *Smoothness-Constraint Least Squares Inversion* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Lantiak Padang Selatan

Bukit Lantiak merupakan daerah perbukitan yang sering terjadi longsor, sehingga menyebabkan banyak korban jiwa dan korban harta benda. Bahaya longsor seharusnya dapat diminimalkan dengan cara mengetahui faktor-faktor penyebab longsor. Salah satu faktor penyebab longsor yaitu struktur batuan penyusun lereng yang tidak stabil. Untuk itu telah dilaksanakan penelitian yang bertujuan mengetahui struktur batuan penyusun lereng Bukit Lantiak.

Jenis penelitian yang dilaksanakan merupakan penelitian dasar yang bersifat deskriptif. Pengambilan data dilakukan menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger*. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran kemudian dianalisis dan diinterpretasikan menggunakan metode interpretasi data *Smoothnes-Constraint Least Squares Inversion* dengan bantuan *software Res2dinv* untuk memperoleh model penampang 2D bawah permukaan bumi. Estimasi struktur batuan bawah permukaan bumi dilakukan dengan cara membandingkan tahanan jenis hasil interpretasi dengan tahanan jenis pada tabel Telford dan data Geologi daerah pengukuran. Model penampang 3D bawah permukaan bumi dibuat dengan cara penggabungan 3 lintasan pengukuran yang sejajar dengan bantuan *software Voxler*.

Hasil penelitian ini diduga terdapat 4 jenis lapisan batuan di Bukit Lantiak, yaitu: *Andesite*, *Clay*, *Sandstone* dan *Limestone*. Lapisan *Sandstone* terdapat di permukaan sampai kedalaman 6 m, lapisan *Limestone* dan *Andesite* terdapat setelahnya dengan ketebalana 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. Penampang 3D memperlihatkan lapisan *Sandstone* dan *Clay* tersebar merata di daerah Bukit Lantiak. Lapisan *Andesite* terdapat dibagian Timur Laut dan *Limestone* terdapat di bagian Barat Daya.

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Estimasi Struktur Batuan Menggunakan *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Lantiak Padang Selatan.**

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis mendapatkan bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak selama penyelesaian skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai pembimbing I dan sebagai Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Harman Amir, S.Si, M.Si sebagai pembimbing II dan Penasehat Akedemis.
3. Bapak Drs. Mahrizal, Ibu Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D dan Bapak Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si selaku tim penguji.
4. Ibu Dra. Yurnetti, M.Pd sebagai Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai Ketua Prodi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

6. Bapak dan Ibu staf Pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. DP2M DIKTI yang telah memberikan bantuan dana penelitian ini melalui PKM Penelitian.
8. Teman satu perjuangan selama penyelesaian skripsi, Irepia Refa Dona dan Silvia Dona Sari.
9. Edi Kurnia, S.Si, Basra Kurniawan, S.Si, Jemmy Rohmana, Risaldi Putra dan teman-teman tim Geolistrik 2010, sebagai teknisi dan teman-teman yang membantu pengambilan data.
10. Kedua orang tua, kakak-kakak dan keluarga yang selalu mendukung penulis.
11. Teman-teman seangkatan dan seperjuangan.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Padang , 17 Juli 2014

Penulis

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 Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Pertanyaan Penelitian	5
F. Tujuan Penelitian	5
G. Manfaat Penelitian	6
H. Definisi Istilah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Kajian Teori	
1. Batuan	8
2. Struktur Batuan	14
3. Tahanan Jenis Batuan	16
4. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis	21
5. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	27

6. <i>Smoothness-Constraint Least Square Inversion</i>	29
B. Penelitian yang Relevan	32
C. Kerangka Berfikir	33
D. Kondisi Geologi Daerah Penelitian	35
BAB III METODA PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	37
B. Waktu dan Tempat Penelitian	37
C. Desain Penelitian	37
D. Variabel Penelitian	39
E. Instrument dan Bahan	39
F. Prinsip Kerja Ares <i>Multielectrode</i>	40
G. Prosedur Penelitian	43
H. Teknik Analisis dan Interpretasi Data	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Deksripsi Data	47
B. Interpretasi Data	48
C. Pembahasan	63
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	69
B. Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Batuan Sedimen Klastik beserta Nama Partikel dan Endapannya	12
2. Simbol dan Warna Litologi Batuan	15
3. Tahanan Jenis Batuan Beku Telford	18
4. Tahanan Jenis Batuan Sedimen Telford	18
5. Nilai Tahanan Jenis Material	19
6. Nilai Resistivitas Beberapa Batuan dan Mineral	20
7. Nilai Resistivitas Batuan di Jeneberg Watershed	20
8. Spesifikasi ARES	42
9. Nilai Tahanan Jenis Semu, Arus dan Beda Potensial Maksimum dan Minimum Tiap Lintasan Pengukuran.....	47
10. Estimasi kedalaman, ketebalan dan jenis batuan Lintasan 1	51
11. Estimasi kedalaman, ketebalan dan jenis batuan Lintasan 2	55
12. Estimasi kedalaman, ketebalan dan jenis batuan Lintasan 3	57
13. Estimasi kedalaman, ketebalan dan jenis batuan Lintasan 4	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus Batuan	9
2. Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen	22
3. Dua Elektroda Arus dan Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ	25
4. Susunan Elektroda Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	28
5. Kedalaman yang Dapat Dicapai Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	29
6. Kerangka Berfikir	35
7. Peta Geologi Kota Padang	36
8. Desain Lintasan Pengukuran	38
9. Skema Alat untuk Mengukur Tahanan Jenis	40
10. <i>ARES Main Unit</i>	41
11. Profil Bawah Permukaan Lintasan 1 dengan Topogarfi	49
12. Profil Bawah Permukaan Lintasan 2 dengan Topogarfi	53
13. Profil Bawah Permukaan Lintasan 3 dengan Topogarfi	57
14. Profil Bawah Permukaan Lintasan 4 dengan Topogarfi	60
15. Struktur Batuan Bukit Lantiak	66
16. Tampilan Penampang 3D Daerah Penelitian	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Lintasan 1	74
2. Data Lintasan 2	75
3. Data Lintasan 3	76
4. Data Lintasan 4	77
5. Cara Mencari Kedalaman Lapisan Batuan	78
6. Cara Menentukan Rentangan Nilai Tahanan Jenis	80
7. Gambar Struktur Batuan 1 D Berdasarkan Struktur Batuan	81
8. Cara Pembuatan Struktur Batuan	82
9. Cara Membuat Penampang 3 D	83
10. Dokumentasi Penelitian	84

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Bukit Lantiak merupakan salah satu daerah perbukitan yang terletak di Kelurahan Seberang Palinggam Kecamatan Padang Selatan Kota Padang. Bukit Lantiak secara spesifik merupakan satu dari tiga bukit yang terdapat di daerah Gunung Padang, dimana di daerah ini juga terdapat Bukit Gado-Gado dan Bukit Air Manis. Rata-rata daerah perbukitan ini memiliki topografi miring dengan sudut kemiringan berkisar antara $30^{\circ} - 65^{\circ}$ dengan puncak tertinggi berelevasi ± 321 meter di atas permukaan laut (Dedi, 2010). Kemiringan lereng dan tingginya curah hujan di Kota Padang menjadikan daerah perbukitan ini rawan longsor.

Daerah Bukit Lantiak merupakan daerah yang terjadi longsor secara berulang-ulang, khususnya pada musim hujan. Longsor telah terjadi pada tahun 1999, tahun 2000, tahun 2001 dan terakhir tahun 2005. Peristiwa longsor telah menghancurkan permukiman penduduk di Kelurahan Seberang Palinggam. Selain menghancurkan harta benda penduduk, longsor di daerah ini juga banyak menelan korban jiwa.

Salah satu longsor yang banyak menelan korban jiwa yaitu pada tahun 1999. Longsor tahun 1999 ini telah menghancurkan 20 rumah warga dengan jumlah korban sebanyak 58 jiwa. Sebanyak 22 jiwa telah ditemukan dan sisanya 36 jiwa tidak ditemukan hingga sekarang (Posmetro Padang, 2013).

Korban longsor di Bukit Lantiak ini seharusnya dapat diminimalkan dengan mempelajari penyebab dan gejala akan terjadinya longsor di daerah ini.

Salah satu penyebab terjadinya longsor yaitu struktur batuan yang tidak seimbang di daerah lereng. Tanah atau batuan penyusun lereng yang berada dalam keadaan tidak seimbang akan bergerak menuruni lereng. Untuk menanggulangi bahaya longsor maka diperlukan informasi mengenai struktur batuan di daerah yang sering terjadi longsor.

Struktur batuan di daerah Bukit Lantiak belum pernah diteliti sebelumnya. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui struktur batuan dan kedalaman lapisan batuan di daerah ini. Struktur batuan dapat diperkirakan dengan menggunakan metode pengukuran Geofisika. Salah satu metode Geofisika yang sering digunakan untuk menduga struktur batuan adalah metode pengukuran Geolistrik. Metode pengukuran Geolistrik dilakukan dengan cara mengalirkan arus ke dalam bumi kemudian mengukur beda potensial listrik yang ditimbulkan di permukaan bumi melalui elektroda potensial. Struktur batuan bawah permukaan bumi dapat diperkirakan berdasarkan nilai tahanan jenis semu yang diperoleh.

Metoda Geolistrik yang digunakan merupakan metoda Geolistrik konfigurasi *Schlumberger*. Metoda Geolistrik konfigurasi *Schlumberger* memiliki keunggulan dapat mendeteksi secara sounding (mengetahui nilai resistivitas secara vertikal) (Reynolds, 1991). Konfigurasi *Schlumberger* sensitif terhadap perubahan secara vertikal sehingga baik digunakan untuk mengetahui perubahan nilai tahanan jenis semu setiap lapisan.

Nilai tahanan jenis semu hasil analisis data dapat diinterpretasikan dengan metoda inversi. Interpretasi data pada penelitian ini dilakukan dengan metode *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion*. Hasil interpretasi data dengan teknik inversi data *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* akan menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth* (Loke, 2004). Hasil inversi merupakan nilai tahanan jenis yang sebenarnya beserta kedalaman dari setiap lapisan. Selanjutnya nilai tahanan jenis sebenarnya dan kedalaman diestimasi menggunakan kondisi geologi dan tabel tahanan jenis batuan dalam Telford untuk memperoleh jenis batuan beserta struktur batuan di Bukit Lantiak.

Metode Geolistrik Tahanan Jenis telah digunakan untuk menduga struktur batuan di beberapa daerah di Indonesia. Syamzurijal dkk (2007) telah melakukan penelitian di sepanjang jalan lintas propinsi Sumberjaya Lampung Barat. Daerah ini memiliki struktur batuan yang sangat bervariasi, dimana terdiri dari endapan gunung api muda yang bercampur dengan aluvium pada bagian atas, lapisan kedua terdiri dari Lempung-Tufaan. Lapisan terakhir ditafsirkan sebagai lapisan *basement* jenis *Andesite* pada kedalaman lebih dari 200 m. Media (2012) juga telah melakukan penelitian Geolistrik di kampus Universitas Negeri Padang. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui kedalaman, nilai tahanan jenis dan kedalaman batuan dasar di kampus Universitas Negeri Padang. Kampus Universitas Negeri Padang diduga memiliki jenis batuan dasar *Andesite* pada kedalaman sekitar 21,85 m dengan nilai tahanan jenis 596,5 – 734 Ω m.

Berdasarkan uraian di atas penulis telah melakukan penelitian yang berjudul “estimasi struktur batuan menggunakan *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* data geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Lantiak Padang Selatan”. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang struktur batuan daerah rawan longsor di Bukit Lantiak Padang Selatan, guna menanggulangi bahaya longsor.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Belum diketahui jenis batuan di daerah Bukit lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.
2. Belum diketahui struktur batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.
3. Belum diketahui bentuk penampang 3D sebaran batuan di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan dalam penelitian dan keterbatasan waktu dan kemampuan penulis perlu adanya batasan masalah, sebagai berikut:

1. Lokasi pengambilan data yang dipilih yaitu lokasi yang dapat merentangkan kabel elektroda secara maksimal.
2. Jumlah lintasan pengukuran pada penelitian ini adalah 4 lintasan.

3. Struktur batuan di daerah penelitian digambarkan berdasarkan nilai tahanan jenis batuan.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah penelitian yaitu, bagaimana struktur batuan di Bukit Lantiak Padang Selatan ditinjau dari metode *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* data geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* ?

D. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan maka beberapa hal yang menjadi pertanyaan pada penelitian ini adalah:

1. Apa jenis batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang ?
2. Bagaimana struktur batuan bila ditinjau menggunakan *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion* data geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang ?
3. Bagaimana bentuk penampang 3D sebaran batuan di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang ?

E. Tujuan

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

1. Jenis batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.
2. Struktur batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.
3. Bentuk penampang 3D sebaran batuan di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi yaitu bagi :

1. Pemerintah kota Padang dalam mengetahui jenis dan struktur batuan di daerah Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.
2. Penulis dalam memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di jurusan Fisika FMIPA UNP.
3. Peneliti selanjutnya dalam melakukan penelitian mengenai struktur batuan di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang.

G. Defenisi Istilah

Berikut ini beberapa definisi istilah yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Batuan merupakan benda padat yang terdiri atas satu atau gabungan beberapa mineral.
2. Struktur batuan merupakan gambaran bawah permukaan bumi yang terdapat pada peta geologi.

3. Tahanan jenis merupakan sifat fisika yang menunjukkan kemampuan bahan dalam menghambat aliran arus listrik.
4. Metoda geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu metoda geofisika yang digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan bumi dengan cara mempelajari sifat aliran listrik di dalam batuan di bawah permukaan bumi.
5. Konfigurasi *Schlumberger* merupakan konfigurasi dalam eksplorasi geolistrik dimana susunan jarak elektroda potensial lebih kecil dari jarak elektroda arus.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

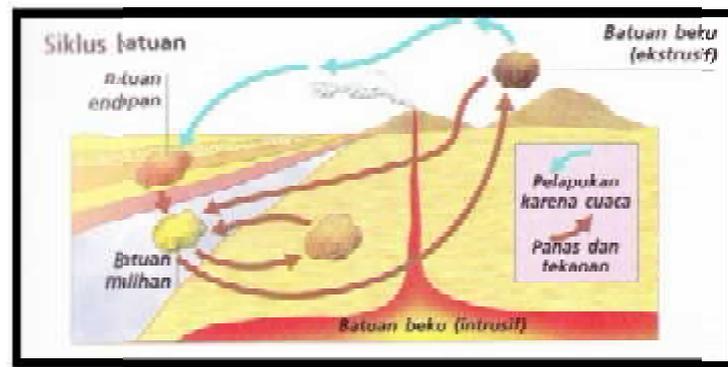
A. Kajian Teori

1. Batuan

Batuan adalah benda padat yang terdiri atas satu atau gabungan beberapa mineral. Menurut Munir (1996:48) “batuan adalah benda alam yang menjadi penyusun utama bumi. Kebanyakan batuan merupakan campuran mineral yang bergabung secara fisik satu sama lain”. Mineral adalah benda padat yang terdiri atas senyawa unsur-unsur tertentu. Sibson (2010:5) juga mengatakan bahwa “sebagian besar mineral tidak ditemukan dalam bentuk halus di alam, melainkan bercampur dengan mineral lainnya menjadi batuan”. Mineral-mineral pembentuk batuan dapat dijadikan acuan untuk mengenal jenis-jenis batuan.

Batuan telah terbentuk sejak awal sejarah bumi dan masih terbentuk hingga saat ini. Menurut Moesdarjono (2009:3) “Terbentuknya batuan dapat dijelaskan secara garis besar yaitu dimulai dari membekunya magma panas yang keluar ke permukaan bumi dan mengeras karena pendinginan”. Magma merupakan larutan yang kompleks. Penyusun utama magma adalah silica (SiO_2), magma memiliki temperatur yang tinggi dan magma terdiri atas cairan yang memiliki kemampuan untuk mengalir (Skinner dan Porter, 1987). Magma yang telah keluar ke permukaan bumi mengalami proses pembekuan yang dikenal dengan batuan.

Batuan akan mengalami proses lanjutan yaitu, proses pelapukan dan terurai menjadi tanah. Tanah akan terbawa oleh angin, air dan es yang kemudian mengendap di daerah yang lebih rendah. Pengendapan dalam jangka waktu yang lama akan semakin tebal dan mendesak ke bawah. Lapisan terbawah akan menerima tekanan dan panas yang tinggi, kemudian mengeras dan membentuk batuan endapan (Moesdarjono, 2009). Proses ini dikenal dengan siklus batuan (lihat Gambar 1). Siklus batuan ini menyebabkan terbentuknya 3 kelompok utama batuan di muka bumi yaitu: Batuan Beku (*Igneous Rocks*), Batuan Sedimen (*Sedimentary Rocks*) dan Batuan Metamorf (*Metamorphic Rocks*).



Gambar 1. Siklus batuan (Taylor, 2001:9)

Gambar 1 memperlihatkan siklus batuan. Batuan Beku terbentuk dari pembekuan magma. Berdasarkan tempat pembekuan magma, batuan Beku terbagi atas dua jenis yaitu: batuan Beku intrusif dan batuan Beku ekstrusif. Batuan Beku yang tersingkap di permukaan bumi akan bersentuhan dengan atmosfer dan hidrosfer, sehingga terjadi proses pelapukan. Melalui proses pelapukan, batuan akan mengalami proses penghancuran. Batuan yang telah hancur ini akan digerakkan dari

tempatnya oleh media pengikis (gayaberat, tenaga air, tenaga angin, gelombang di pantai dan gletser di pegunungan yang tinggi). Hasil pelapukan batuan yang diangkut oleh media pengikis ini akan diendapkan di tempat-tempat tertentu sebagai batuan Sedimen.

Batuan Sedimen dan batuan Beku akibat perubahan suhu dan tekanan, batuan ini akan mengalami perubahan membentuk batuan *Metamorf*. Batuan *Metamorf* yang mengalami peningkatan suhu akan kembali meleleh dan menjadi magma (Djauhari, 2009). Sifat ketiga batuan ini adalah sebagai berikut:

a. Batuan Beku

Batuan Beku merupakan batuan yang terbentuk melalui proses pendinginan dan pembekuan oleh material-material bumi. Menurut Munir (1996:54) “batuan Beku adalah batuan yang terdiri dari pembekuan materi yang kental yang berasal dari dalam bumi (magma)”. Batuan Beku disebut juga dengan batuan induk, karena merupakan fase awal terbentuknya batuan lain.

Batuan Beku memiliki warna yang berbeda-beda, mulai dari warna hitam, abu-abu sampai putih. Warna batuan sangat dipengaruhi oleh komposisi dari mineral penyusun batuan, apabila terjadi pencampuran mineral maka warnanya merupakan warna pencampuran mineral itu sendiri (Maulana, 2011). Warna pada batuan Beku dapat dijadikan dasar klasifikasi batuan Beku.

Batuan Beku terbagi atas dua berdasarkan proses terbentuknya yaitu: batuan Beku *intrusive* dan batuan Beku *ekstrusive*. Batuan Beku *intrusive* terbentuk ketika massa magma mendingin dan mengeras jauh di bawah tanah (Skinner dan Porter, 1987). Contoh batuan Beku *intrusive* antara lain: *Granit, Dolorit, Gabro* dan *Monsonit*. Batuan Beku *ekstrusive* terbentuk oleh pembekuan aliran magma di atas permukaan bumi (Skinner dan Porter, 1987). Contoh batuan Beku *ekstrusive* ini adalah: batu *Basalt, Andesite*, batu Apung dan *Obsidian*.

b. Batuan Sedimen

Batuan Sedimen adalah batuan yang terjadi akibat pengendapan materi hasil erosi. Batuan Sedimen sebagian besar ditemukan di permukaan bumi, dimana membentuk lapisan tipis yang tidak dijumpai pada batuan Beku dan batuan Metamorf (Skinner dan Porter, 1987). Batuan Sedimen merupakan hasil pengendapan dari batuan Beku, batuan Metamorf dan batuan Sedimen lainnya yang mengalami pengikisan.

Batuan Sedimen memiliki sifat-sifat utama yaitu:

- 1) Adanya bidang perlapisan yaitu struktur sedimen yang menandakan proses sedimentasi.
- 2) Sifat klastik atau fragmen yang menandakan bahwa butir-butir pernah lepas.
- 3) Adanya bekas-bekas tanda kehidupan (fosil).

4) Jika bersifat *hablur* maka selalu *monomineralik*, misalnya: *Gypsum, Klasit, Dolomit dan Rijing*".

Sekitar 80 % permukaan benua tertutup oleh batuan Sedimen. Berdasarkan tenaga yang mengangkut hasil pelapukan dan erosi, batuan Sedimen digolongkan atas tiga bagian utama yaitu: Sedimen *Aquatis*, Sedimen *Aeolis/Aeris* dan Sedimen *Glacial*. Batuan Sedimen juga digolongkan menjadi 3 kelas berdasarkan cara pengendapannya, yaitu Sedimen Klastik, Sedimen Kimia dan Sedimen Organik (Shorck, 2008). Ketiga jenis batuan sedimen ini memiliki bentuk dan sifat yang berbeda-beda.

Sedimen Klastik terdiri dari mineral-mineral yang diperoleh dari pemecahan batuan sebelumnya dimana batuan yang sangat besar pecah menjadi bagian yang sangat kecil. Menurut Munir (1996: 87), "Sedimen Klastik adalah akumulasi partikel-partikel yang berasal dari pecahan batuan dan sisa-sisa kerangka organisme yang telah mati". 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	Batu pasir
Lumpur	1/256- 1/16	Lumpur	Batu lumpur
Lempung	<1/256	Lempung	Batu Lempung, lumpur dan serpih

(Sumber : Skinner dan Porter, 1987: 102)

Batuan Sedimen Kimia terbentuk melalui presipitasi kimia. Menurut Shorck (2008:123) “batuan Sedimen Kimia yaitu yang tersangkut dalam bentuk larutan kemudian diendapkan secara Kimia di tempat lain”. Batuan ini agak sulit digolongkan karena butir-butirnya sangat kompleks. Contoh batuan Sedimen Kimia yaitu: *Stalagtit* dan *Stalagnit*, Lapisan garam, *Limestone*, *Gypsum*, *Hematit* dan lain-lain.

Batuan Sedimen Organik terbentuk dari gabungan sisa-sisa makhluk hidup. Batuan Sedimen Organik/*Organogen*, yaitu batuan Sedimen yang dibentuk atau diendapkan oleh organisme (Folk, 1980). Ciri-ciri batuan Sedimen Organik, yaitu: berlapis-lapis, lebih lunak, berwarna terang dan tempat utama fossil. Contoh batuan Sedimen Organik ini adalah: Batu bara, Endapan *Diatomae*/kerangka silika/Kersik dan Karang.

c. Batuan Metamorf

Batuan Metamorf adalah batuan yang berasal dari batuan sebelumnya. 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* 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*.

2. Struktur Batuan

Longsor terjadi pada daerah yang berlereng dengan curah hujan tinggi, selain itu longsor juga dipengaruhi oleh Litologi dan susunan batuan. Litologi suatu daerah bisa terdiri atas satu jenis batuan atau sekelompok batuan tapi dalam formasi yang kompleks (Folk, 1980). Litologi dapat juga dikatakan sebagai penyusun lapisan batuan suatu daerah.

Struktur batuan di daerah yang sering terjadi longsor memiliki ciri-ciri tertentu. Lapisan batuan yang berselingan antara batuan lunak dan lapisan batuan keras merupakan salah satu ciri-ciri struktur batuan penyebab longsor (Colangelo dkk, 2008). Longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban dan berat jenis tanah atau batuan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah (Perrone dkk, 2012). Kekuatan batuan pada lereng juga menjadi salah satu faktor penyebab longsor.

Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa ada jenis batuan tertentu yang mudah terjadi longsor. Penelitian Bhattarai di Jepang menyimpulkan bahwa mayoritas tanah longsor di Niigata Jepang terjadi pada batuan Sedimen *Neogen* lembut, terutama pada batu Lempung (Bhattarai dkk, 2006). Hasil penelitian Bhattarai menjelaskan bahwa selain struktur batuan, kekuatan dan jenis batuan juga menjadi faktor pemicu longsor. Batuan Endapan gunung api dan batuan Sedimen berukuran pasir dan campuran antara Kerikil, Pasir, dan Lempung umumnya kurang kuat

(Bhattarai dkk, 2006). Batuan tersebut akan mudah menjadi tanah bila mengalami proses pelapukan dan umumnya rentan terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal. Semakin mudah batuan melapuk semakin mengurangi gaya kohesi antar batuan.

Struktur batuan di suatu daerah berbeda dengan daerah lainnya. Struktur batuan dapat digambarkan jika diketahui jenis batuan dan ketebalan serta kedalaman tiap-tiap lapisan batuan. Penggambaran struktur batuan juga membutuhkan simbol Litologi, yang dapat berupa warna dari batuan atau simbol dari batuan. Dalam bidang Geologi telah disepakati berbagai macam simbol Litologi dalam bentuk gambar, garis-garis tertentu dan warna (Sukandarrumidi, 2011). Simbol dan warna Litologi batuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Simbol dan Warna Litologi Batuan

No	Jenis batuan	Simbol	Warna
1	Konglomerat		Jingga / coklat
2	Breksi		Jingga / coklat
3	Batupasir		Kuning
4	Napal (marl)		Biru muda
5	Lempung		Hijau
6	Serpilh (shale)		Kelabu
7	Lanau (silt)		Kuning muda
8	Batugamping		Biru
9	Dolomit		Biru tua
10	Evaporit		Merah muda
11	Batubara		Hitam
12	Batuan beku		Merah
13	Tuff		Coklat / ungu
14	Batu Metamorf		Ungu / jingga

(Sukandarrumidi, 2011:15)

Tabel 2 memperlihatkan simbol beserta warna dari beberapa batuan. Batu Konglomerat dan Breksi memiliki warna yang sama, tapi simbol berbeda. Struktur batuan di suatu daerah dapat digambarkan dengan simbol dan warna, dapat juga salah satu antara warna atau simbol saja.

3. Tahanan Jenis Batuan

Berdasarkan kemampuan dalam menghantarkan arus listrik, material dikelompokkan menjadi tiga yaitu: konduktor, semikonduktor dan isolator. Konduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik karena banyak memiliki elektron bebas. Isolator merupakan material yang tidak dapat menghantarkan arus listrik karena tidak memiliki elektron bebas. Semikonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik, namun tidak sebaik konduktor.

Aliran arus listrik di dalam material dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik (Telford dkk, 1990). Konduksi secara elektronik terjadi pada batuan yang memiliki banyak elektron bebas, sehingga arus listrik yang mengalir dalam batuan/mineral dialirkan oleh elektron bebas (Telford dkk, 1990). Salah satu sifat atau karakteristik batuan yang memiliki banyak elektron bebas adalah resistivitas.

Konduksi secara elektrolitik terjadi jika batuan/mineral bersifat porus dan pori-pori tersebut terisi cairan-cairan elektrolitik. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume dan susunan pori-porinya (Telford dkk, 1990). Konduktivitas akan semakin besar jika

kandungan air dalam batuan bertambah banyak, sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang.

Konduksi secara dielektrik terjadi jika batuan/mineral bersifat dielektrik artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit bahkan tidak sama sekali. Menurut Telford (1990:286) “konduksi secara dielektrik terjadi pada batuan yang memiliki konduktivitas rendah”. Arus listrik yang mengalir pada batuan ini akan terpolarisasi karena elektron dalam batuan berpindah. Perpindahan elektron disebabkan oleh adanya medan listrik dari luar.

Nilai tahanan jenis untuk batuan bervariasi. Menurut Telford dkk (1990: 289) “secara umum berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: Konduktor ($10^{-8} \Omega\text{m} < \rho < 1 \Omega\text{m}$), Semikonduktor ($1 \Omega\text{m} < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$) dan Isolator ($\rho > 10^7 \Omega\text{m}$)”. Nilai tahanan jenis batuan beku, sedimen dan metamorf dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Tahanan Jenis Batuan Beku

Batuan	Resistivitas (Ωm)
<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>	4×10^3 (basah)
<i>Albite</i>	3×10^2 (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) – 6×10^4 (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>	60×10^4
<i>Dacite</i>	2×10^4 (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>	3×10^3 (basah) – $6,5 \times 10^3$ (kering)
<i>Hornfels</i>	8×10^3 (basah) – 6×10^7 (kering)
<i>Schists</i>	$20 - 10^4$
<i>Tulst</i>	2×10^3 (basah) – 10^5 (kering)
<i>Graphite schists</i>	$10 - 10^2$
<i>Slates (various)</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
<i>Gneiss (various)</i>	$6,8 \times 10^4$ (basah) – 3×10^6 (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 4. Tahanan Jenis Batuan Sedimen

Batuan	Resistivitas (Ωm)
<i>Consolidated shales</i>	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Argillites</i>	$10 - 8 \times 10^2$
<i>Konglomerat</i>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Sandstone (Batu pasir)</i>	$1 - 6,4 \times 10^8$
<i>Limestone (Batu gamping)</i>	$50 - 10^7$
<i>Dolomite</i>	$3,5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
<i>Unconsolidated wet clay</i>	20
<i>Marls</i>	3 – 70
<i>Clay (Lempung)</i>	1 – 100
<i>Alluvium and Sands (Alluvium dan pasir)</i>	10 – 800
<i>Oil sands</i>	4 – 800

(Sumber : Telford dkk, 1990: 290)

Tabel 3 dan 4 memperlihatkan variasi nilai tahanan jenis batuan Beku dan batuan Sediment. Tabel 3 memperlihatkan bahwa nilai tahanan jenis batuan yang basah lebih kecil dibandingkan dengan nilai tahanan jenis batuan yang kering. Hal ini karena batuan yang basah memiliki kandungan air yang dapat menghantarkan arus lebih cepat dibandingkan batuan yang tidak mengandung air.

Distribusi nilai tahanan jenis batuan dan mineral juga dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Tahanan Jenis Material

No	Material	Nominal Resistivity
1	<i>Quartz</i> (Kwarsa)	$3 \times 10^2 - 10^6$
2	<i>Rock salt</i>	$3 \times 10 - 10^{13}$
3	<i>Anthracite</i> (Antrasit)	$10^{-3} - 2 \times 10^5$
4	<i>Lignite</i> (batu Bara muda)	$9 - 2 \times 10^2$
5	<i>Granite</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
6	<i>Diorite</i>	$10^4 - 10^5$
7	<i>Gabbro</i>	$10^3 - 10^6$
8	<i>Basalt</i>	$10 - 1,3 \times 10^7$
9	<i>Slates</i> (batu tulis)	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
10	<i>Marble</i> (marmer)	$10^2 - 2,5 \times 10^8$
11	<i>Consolidated Shales</i>	$20 - 2 \times 10^3$
12	<i>Conglomerates</i> (konglomerat)	$2 \times 10^3 - 10^4$
13	<i>Sandstones</i> (batu Pasir)	$1 - 7,4 \times 10^8$
14	<i>Limestones</i> (batu Gamping)	$5 \times 10 - 10^7$
15	<i>Dolomite</i>	$3,5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
16	<i>Marls</i> (tanah bahan semen)	$3 - 7 \times 10$
17	<i>Clays</i> (lempung)	$1 - 10^2$
18	<i>Alluvium and sand</i> (alluvium dan Pasir)	$10 - 8 \times 10^2$
19	<i>Moraine</i> (tumpukan batu di gunung es)	$10 - 5 \times 10^3$

(Sumber: Reynolds, 1991: 422)

Nilai tahanan jenis material dalam Reynolds pada Tabel 5 tidak selengkap nilai tahanan jenis batuan dalam Telford pada Tabel 3 dan 4. Tabel 5 menggabungkan antara nilai tahanan jenis material dengan nilai tahanan

jenis batuan. Untuk mengetahui nilai tahanan jenis batuan yang lebih kompleks dapat dilihat nilai tahanan jenis batuan pada Tabel 3 dan 4.

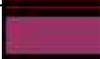
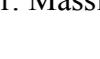
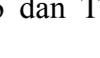
Tabel 6 dan 7 merupakan distribusi nilai tahanan jenis batuan yang diambil dari penelitian geolistrik yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Tabel 6. Nilai Resistivitas Beberapa Batuan Dan Mineral

No	Material	Resistivity (Ωm)
1	<i>Alluvium</i>	10 – 80
2	<i>Sand</i>	60 – 1000
3	<i>Clay</i>	1 – 100
4	<i>Groundwater(fresh)</i>	10 – 100
5	<i>Sandstone</i>	8 – 4×10^3
6	<i>Shale</i>	20 – 2×10^3
7	<i>Limestone</i>	50 – 4×10^3
8	<i>Granite</i>	5000 – 1,000,000

(Sumber: Saad, 2012:2983)

Tabel 7. Nilai Resistivitas Batuan Di Jeneberang Watershed

No	Layer Code	Resistivity	Rocks
1		1 – 24	<i>Alluvium</i>
2		25 – 30	<i>Clay</i>
3		65 – 80	<i>Sandquarter</i>
4		250	<i>Breccia</i>
5		250 – 300	<i>Abdesite</i>
6		320 – 420	<i>Granite</i>
7		400 – 450	<i>Basalt</i>
8		470 – 550	<i>Sandstone</i>
9		560 – 640	<i>Limestone</i>
10		660 – 790	<i>Granodiorite</i>
11		800 – 920	<i>Dioride</i>
12		940 – 1500	<i>Conglomerate</i>
13		1500 – 2000	<i>Gabbro</i>

(Sumber: Massinai, Syamsuddin dan Makharani, 2010:102)

Tabel 6 dan Tabel 7 memperlihatkan rentangan nilai tahanan jenis yang diambil untuk beberapa jenis batuan. Rentangan nilai tahanan jenis

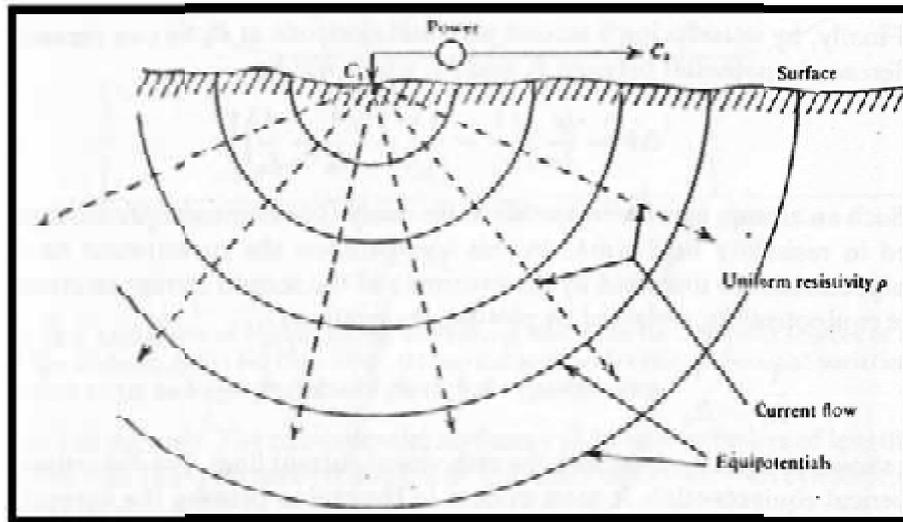
yang ditetapkan oleh peneliti sebelumnya dapat dipakai jika melakukan penelitian di daerah yang sama.

4. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis

Metode pengukuran Geolistrik merupakan salah satu metode Geofisika yang mempelajari sifat tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi. Ada beberapa metode pengukuran Geolistrik yaitu : Tahanan Jenis (*Resistivitas*), *Induced Polarization (IP)*, *Self Potensial (SP)*, *Magnetotelluric* dan lain-lain.

Pada metoda Geolistrik tahanan jenis, tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi dipelajari dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus. Beda potensial yang dihasilkan diukur melalui dua buah elektroda lainnya (Akmam dan Nofi, 2013). Arus listrik merupakan besaran yang diinjeksikan ke dalam bumi. Besaran yang diukur merupakan beda potensial listrik dan besaran yang dihitung adalah nilai tahanan jenis semu.

Bumi diasumsikan sebagai medium homogen isotropis. Ketika arus listrik dialirkan ke dalam bumi, arus listrik 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. Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen (Telford *dkk*, 1990: 524)

Pada konduksi secara elektronik arus listrik yang dialirkan pada suatu material akan dialirkan oleh elektron-elektron bebas di dalam material tersebut. Aliran arus listrik akan menghasilkan medan listrik. Hubungan antara rapat arus J dengan kuat medan listrik E menurut Hukum Ohm adalah

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

dimana σ adalah konduktivitas listrik. Jika rumusan dari besar kuat medan listrik $E = \frac{V}{L}$, maka diperoleh $J = \sigma \frac{V}{L}$. Kuat arus sebanding dengan rapat arus dan luas permukaan, sehingga kuat arus dapat ditulis sebagai berikut

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

Persamaan (2) memperlihatkan bahwa saat σ konstan, arus total I sebanding dengan beda potensial V . Perbandingan antara V dengan I pada konduktor disebut resistansi.

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

Hubungan resistansi dengan resistivitas pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan menggunakan persamaan (2) dan (3), yaitu

$$R = \frac{V}{I} \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{A} \quad (4)$$

Persamaan (4) memperlihatkan hubungan antara resistivitas dan kuat arus. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan kuat arus listrik. Sebaliknya, semakin kecil nilai resistivitas suatu bahan maka semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Resistivitas memiliki hubungan berbanding terbalik dengan konduktivitas, seperti pada persamaan (5) berikut:

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

dimana σ adalah konduktivitas bahan (Ωm)⁻¹. Jenis batuan dapat diketahui berdasarkan nilai dari tahanan jenis batuan.

Medium homogen isotropis pada Gambar 2 dengan luas A , jika dilalui arus listrik I maka kerapatan arus J dapat dihitung menggunakan Persamaan (2). Persamaan (5) disubstitusikan pada Persamaan (1), maka diperoleh hubungan kerapatan arus J dengan tahanan jenis ρ yaitu:

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (6)$$

Medan listrik E merupakan daerah di sekitar benda bermuatan listrik yang masih mengalami gaya listrik sehingga bisa dinyatakan dengan Persamaan (7).

$$E = -\nabla V = -\frac{dV}{dr} \quad (7)$$

Medan listrik E pada Persamaan (7) disubstitusikan ke Persamaan (6) akan menunjukkan hubungan antara medan listrik dengan tahanan jenis ρ dan kerapatan arus J pada Persamaan (8).

$$\frac{dV}{dr} = -\rho J \quad (8)$$

Kerapatan arus J pada Persamaan (2) disubstitusikan ke Persamaan (8) akan menghasilkan hubungan antara medan listrik dengan luas permukaan A dan arus listrik I .

$$\frac{dV}{dr} = -\rho \frac{I}{A} \quad (9)$$

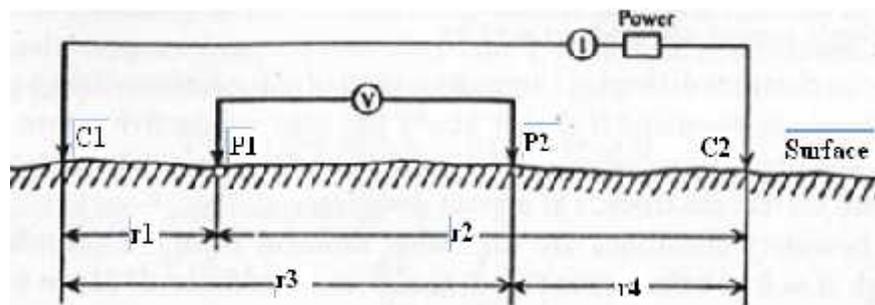
dimana luas permukaan A adalah luas permukaan distribusi arus yaitu setengah bola $2\pi r^2$ sehingga perbedaan potensial dV terhadap distribusi arus dr yaitu:

$$dV = -\frac{I}{2\pi r^2} dr \quad (10)$$

Persamaan (10) dapat diselesaikan dengan cara melakukan pengintegralan sehingga diperoleh beda potensial V pada titik r yaitu:

$$V(r) = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (11)$$

Menurut Telford dkk (1990: 524), “When the distance between the two current electrodes is finite, the potential at any nearby surface point will be affected by both current electrodes”. (Ketika jarak diantara dua elektroda arus ditentukan, potensial pada setiap titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut).



Gambar 3. Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ (Telford dkk, 1990: 524)

Gambar 3 memperlihatkan 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:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} = \frac{I\rho}{2\pi r_1} \quad (12)$$

dimana

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (13)$$

Potensial yang disebabkan oleh C_2 pada P_1 adalah

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} = -\frac{I\rho}{2\pi r_2} \quad (14)$$

dimana

$$A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad (15)$$

Kemudian, diperoleh

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

Terakhir, dengan mengetahui potensial yang disebabkan oleh kedua elektroda C_1 dan C_2 pada P_2 , dapat diukur perbedaan potensial antara P_1 dan P_2 , yaitu:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (17)$$

dapat juga ditulis

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (18)$$

dimana

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (19)$$

dimana K adalah faktor Geometri dari susunan elektroda, yang nilainya berubah sesuai dengan perubahan jarak spasi antara elektroda-elektroda. Persamaan (20) menunjukkan bahwa K bergantung pada susunan atau konfigurasi elektroda yang digunakan.

Secara umum tahanan jenis bumi tidak homogen, berarti bahwa yang terhitung dengan Persamaan (18) di atas adalah tahanan jenis semu (*apparent resistivity*, ρ_a) (Akmam dan Nofi, 2013). Tahanan jenis semu

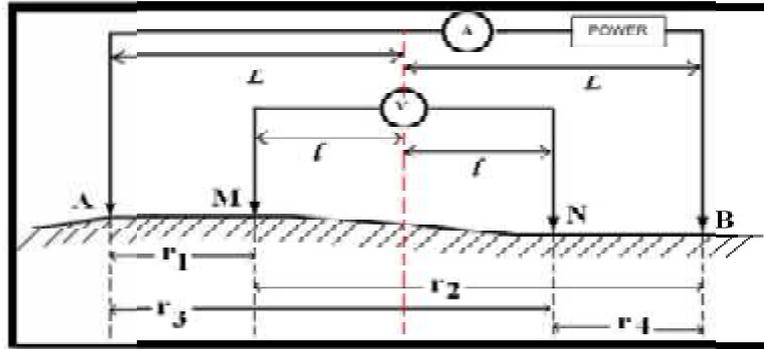
tidak secara langsung menunjukkan nilai tahanan jenis medium, namun mencerminkan distribusi nilai tahanan jenis medium. Hal ini disebabkan karena bumi merupakan medium non homogen yang terdiri dari banyak lapisan dengan tahanan jenis yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi potensial listrik yang terukur. Tahanan jenis semu dilambangkan dengan ρ_a sehingga Persamaan (18) dapat ditulis menjadi:

$$\rho_a = K \frac{V}{I} \quad (20)$$

Persamaan 20 memperlihatkan kesimpulan bahwa jarak spasi elektroda mempengaruhi tahanan jenis semu. Metoda geolistrik memiliki beberapa konfigurasi berdasarkan variasi spasi elektroda yang digunakan salah satunya yaitu metoda Geolistrik konfigurasi *Schlumberger*.

5. Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger*

Konfigurasi *Schlumberger* merupakan salah satu konfigurasi dalam eksplorasi Geolistrik dengan susunan jarak elektroda potensial lebih kecil daripada jarak elektroda arus. Keuntungan dari metoda Geolistrik konfigurasi *Schlumberger* adalah: dapat mendeteksi secara sounding (mengetahui nilai resistivitas secara vertikal) dan elektroda potensial tidak sering dipindahkan. Kekurangan dari konfigurasi *Schlumberger* adalah tidak dapat untuk pengambilan data secara mapping (mengetahui nilai resistivitas secara lateral).



Gambar 4. Susunan Elektroda Konfigurasi *Schlumberger* (Reynolds, 1997:425)

Gambar 4 memperlihatkan bahwa elektroda M dan N digunakan sebagai elektroda potensial dan elektroda A dan B digunakan sebagai elektroda arus, dimana jarak MN lebih kecil daripada jarak AB. Jarak masing-masing elektroda pada Gambar 5 dapat dirumuskan menjadi:

$$r_1 = L - l \quad \text{misal: } AB/2 = L \text{ dan } MN/2 = l$$

$$r_2 = L + l$$

$$r_3 = L + l$$

$$r_4 = L - l$$

Jarak masing-masing elektroda tersebut disubsitusikan ke persamaan (19), sehingga diperoleh nilai K konfigurasi *Schlumberger*, sebagai berikut:

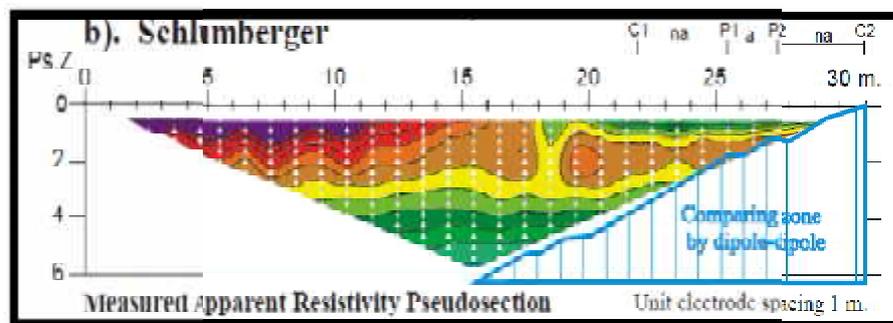
$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \quad (21)$$

Substitusi persamaan (21) ke persamaan (20), sehingga dapat dihitung nilai tahanan jenis semu untuk konfigurasi *Schlumberger*, yaitu:

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - l^2) \Delta V}{2l I} \quad (22)$$

Persamaan (22) memperlihatkan hubungan antara nilai tahanan jenis semu dengan faktor Geometri (K). Nilai faktor Geometri (K) tergantung kepada jarak elektroda yang digunakan.

Kedalaman yang dapat dicapai oleh konfigurasi *Schlumberger* adalah $1/5$ dari panjang lintasan (*GF.Instrument, 2007*). Gambar 5 merupakan kedalaman yang dapat dicapai konfigurasi *Schlumberger* dengan spasi elektroda 1 m.



Gambar 5. Kedalaman yang Dapat Dicapai Konfigurasi *Schlumberger* (sumber: *GF.Instrument, 2007:8*)

Gambar 5 memperlihatkan bahwa panjang lintasan pengukuran yang digunakan adalah 30 m dan kedalaman yang dapat dicapai adalah 6 m. Hal ini yang membuat konfigurasi *Schlumberger* bagus untuk pengambilan data secara sounding (mengetahui nilai resistivitas secara vertikal).

6. *Smoothness - Constraint Least Squares Inversion*

Geofisika merupakan ilmu yang mempelajari kondisi di bawah permukaan bumi dengan memberikan gangguan fisis terhadap suatu objek, kemudian mengamati respon yang ditimbulkan. Metoda geolistrik tahanan jenis bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan jenis yang sebenarnya dari setiap lapisan bumi. Tahanan jenis yang terukur sewaktu pengukuran

adalah tahanan jenis semu dimana untuk mengestimasi distribusi tahanan jenis sesungguhnya dari tahanan jenis semu terhadap kedalaman dapat dilakukan dengan metoda inversi (Akmam dan Nofi, 2013). Metode inversi umumnya tidak menghasilkan informasi yang unik. Informasi yang unik/satu solusi dapat kita peroleh dengan menambahkan sejumlah informasi tambahan yang dikenal dengan *a priori information*, yang selanjutnya akan digunakan untuk mengconstrain suatu solusi (Supriyanto, 2007). Hal inilah yang menjadi alasan kenapa perlu mengconstrain suatu solusi sehingga diperoleh informasi yang akurat mengenai benda dibawah permukaan bumi.

Bumi terdiri dari n lapis, setiap lapisan dianggap homogen isotropis. Jika di dalam bumi tidak ada sumber arus, persamaan laplace $\nabla^2 V = 0$ tetap berlaku, sehingga persamaan Laplace dapat dipecah menjadi $V_{(r,z)} = R(r)Z(z)$. Untuk bumi yang di aliri arus, fungsi potensial menjadi:

$$V(r,z) = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{(r^2 + z^2)^{1/2}} \quad (23)$$

sedangkan untuk model bumi 2 lapis dapat dilihat pada Persamaan (24)

$$V(r,z) = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{(r^2 + z^2)^{1/2}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{[r^2 + (2nd_1 + z)^2]^{1/2}} + \sum \frac{K^n}{[r^2 + (2nd_1 - z)^2]^{1/2}} \right] \quad (24)$$

Untuk potensial dipermukaan bumi ($z = 0$), dapat ditulis seperti Persamaan (25)

$$V(r,0) = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r^2} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{[r^2 + (2nd_1)^2]^{1/2}} \right] \quad (25)$$

$$E = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r^2} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{[r^2 + (2nd_1)^2]^{1/2}} \right] \quad (26)$$

Nilai tahanan jenis semu yang didapatkan saat pengukuran menjadi *output* pada proses inversi, sehingga dari nilai tahanan jenis semu ini didapatkan nilai tahanan jenis sebenarnya dan kedalaman. Secara matematis persamaan tahanan jenis sebenarnya dan kedalaman pada konfigurasi *Schlumberger*, dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho_{as} = 2\pi r \frac{E}{I} = \rho_1 \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\delta^3 K^n}{(\delta^2 + 4n^2)^{3/2}} \right] \quad (27)$$

ρ_1 adalah nilai tahanan jenis , sedangkan kedalaman dapat dihitung menggunakan Persamaan (28) sebagai berikut:

$$\delta = \frac{L}{d_1} = \frac{AB}{2d_1} \quad (28)$$

Metode inversi 2D digunakan untuk menghasilkan penampang bawah permukaan *true resistivity* secara vertikal maupun lateral. Salah satu metoda inversi 2D yaitu metode Inversi *Smoothness - Constraint Least Squares*. Metoda Inversi *Smoothness - Constraint Least Squares* merupakan metode inversi yang cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth*. Metode ini dirumuskan sesuai persamaan berikut:

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q = J^T g - \lambda F q \quad (\text{Loke, 2004: 50}) \quad (29)$$

Persamaan (29) merupakan persamaan inversi metode *Smoothness - Constraint Least Squares* dimana q merupakan nilai-nilai resistivitas

model, J merupakan matriks Jacobian, λ adalah faktor damping, Δq adalah vektor perubahan parameter model dan g *discrepancy vektor*.

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z$$
 dimana C_x , C_y dan C_z adalah matriks *smoothing*, masing-masing pada arah x, y dan z. α_x , α_y dan α_z merupakan pemberat-pemberat relatif yang diberikan pada filter-filter smoothness, masing-masing pada arah x, y dan z (Loke, 2004).

Damping factor merupakan variabel yang berhubungan dengan proses peredam ketidakstabilan yang mungkin timbul akibat keterbatasan data pada inversi yang termasuk *underdetermined* (Hendra, 2009). *Damping factor* dapat ditentukan dengan cara *trial and error*. *Damping factor* memungkinkan untuk menset nilai dari *initial Damping factor* dan *minimum limit*. Untuk memperkecil *error* maka dapat digunakan nilai dari *Damping factor* yang kecil juga.

B. Penelitian yang Relevan

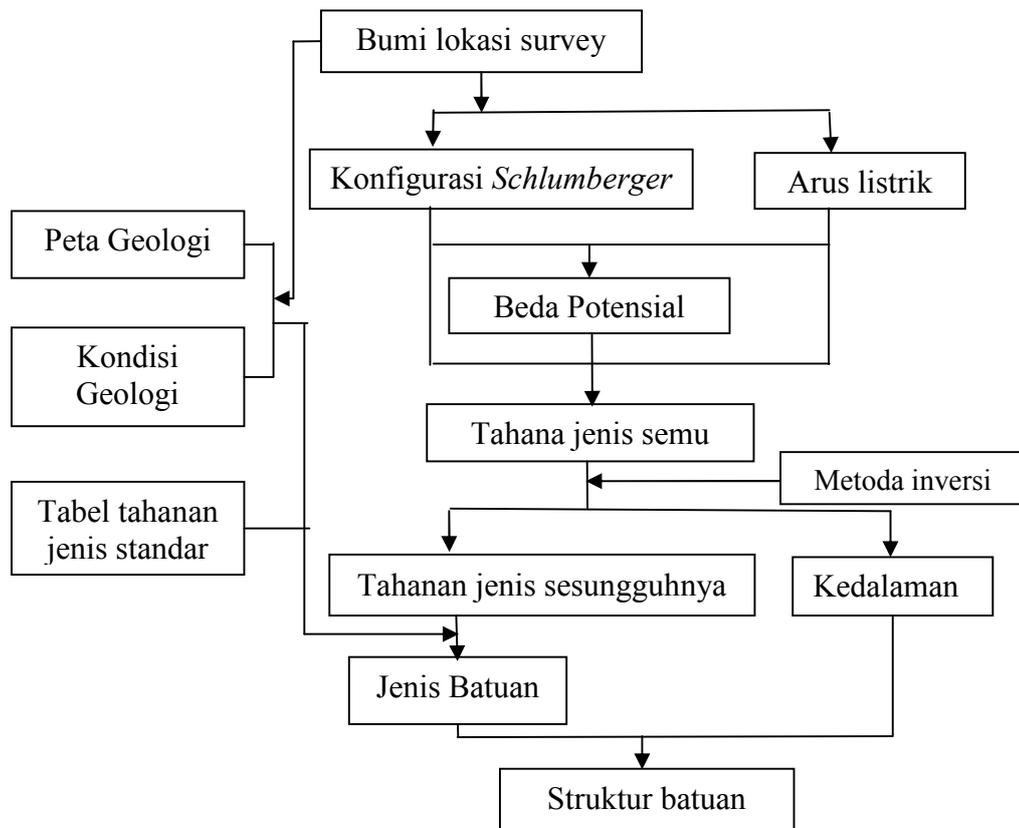
Penelitian menggunakan metoda pengukuran Geolistrik tahanan jenis telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Syamsurijal dkk (2007) telah melakukan penelitian di sepanjang Jalan Lintas Propinsi Sumberjaya Lampung Barat. Daerah ini merupakan daerah yang berpotensi longsor. Penelitian Geolistrik Tahanan Jenis 2D ini dilakukan untuk mengidentifikasi Struktur batuan *Basement*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan batuan di bawah jalan lintas propinsi di daerah Sumberjaya sangat bervariasi. Lapisan batuan paling atas terdiri dari endapan batuan

gunung api muda yang bercampur dengan aluvium. Lapisan inilah yang diidentifikasi berpotensi longsor jika terinfiltrasi oleh air hujan. Lapisan berikutnya adalah lapisan Lempung Tufaan pada kedalaman 3 – 20 m yang berselang-seling tidak sempurna dengan Pasir Tufaan. Lapisan terakhir diperkirakan merupakan batuan dasar jenis *Andesite* yang lebih kompak pada kedalaman lebih dari 20 m dengan nilai tahanan jenis 200 Ωm .

Media (2012) juga telah melakukan penelitian Geolistrik di kampus Universitas Negeri Padang (UNP). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman, nilai tahanan jenis dan jenis dari batuan dasar di kampus UNP. Media menyimpulkan bahwa batuan dasar pada Lintasan 1 dan Lintasan 2 dengan masing-masing nilai tahanan jenis 513 – 622 Ωm dan 632 – 2150 Ωm pada kedalaman yang sama yaitu lebih dari 25,2 m. Lintasan 3 juga terdapat batuan dasar dengan nilai tahanan jenis 596,5 – 734 Ωm pada kedalaman lebih dari 21,85 m. Batuan dasar yang ditemukan di kampus UNP diinterpretasikan sebagai batuan dasar jenis *Andesite*.

C. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6. Penelitian ini menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumbereger*.



Gambar 6. Kerangka Berfikir Penelitian

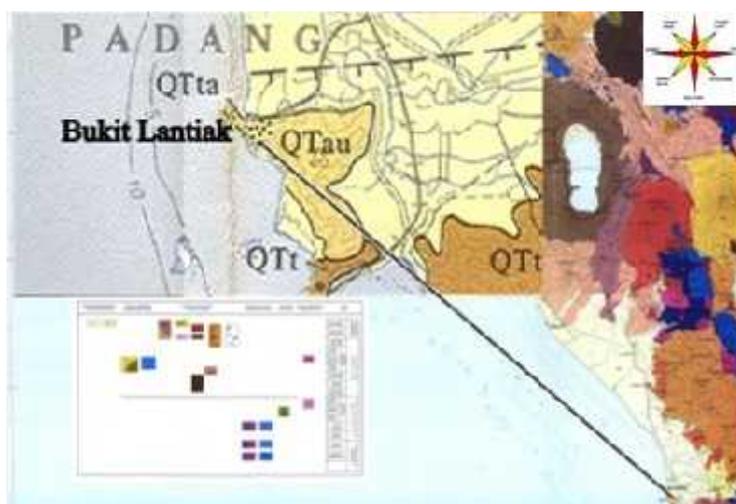
Penelitian diawali dengan survey pendahuluan ke lokasi penelitian. Survey awal diperlukan untuk menentukan panjang lintasan pengukuran dan spasi elektroda. Susunan elektroda arus dan elektroda potensial harus sesuai dengan konfigurasi yang digunakan. Setelah ditentukan jenis konfigurasi yang digunakan selanjutnya kuat arus diinjeksikan ke permukaan bumi melalui dua buah elektroda arus, kemudian potensial yang dihasilkan diukur melalui dua buah elektroda potensial. Nilai dari variabel kuat arus, beda potensial dan variasi jarak elektroda dianalisis sehingga menghasilkan nilai tahanan jenis semu. Alat *Res2dinv* secara otomatis sudah menghasilkan nilai

tahanan jenis semu, namun nilai tahanan jenis semu juga dapat diperoleh dengan metoda analisis menggunakan rumus (22).

Nilai tahanan jenis semu diinterpretasikan menggunakan metoda inversi. Metoda inversi yang digunakan yaitu *Smoothnes Constraint Least-Squares Inversion*. Hasil interpretasi data ini akan menghasilkan nilai tahanan jenis sebenarnya dan kedalaman. Nilai tahanan jenis yang sebenarnya diestimasi menggunakan peta geologi daerah penelitian dan tabel tahanan jenis standar. Tabel tahanan jenis standar yang digunakan yaitu Tabel tahanan jenis batuan yang terdapat dalam Telford (lihat Tabel 3 dan 4). Estimasi batuan akan menghasilkan jenis batuan di daerah penelitian. Struktur batuan akan diperoleh melalui hubungan jenis batuan dengan kedalaman.

I. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang. Gambar 7 merupakan peta geologi daerah penelitian.



Gambar 7. Peta Geologi Bukit Lantiak
(Dinas ESDM Provinsi Sumatera Barat. 2012)

Gambar 7 memperlihatkan bahwa Geologi daerah Bukit Lantiak didominasi oleh batuan QTta. QTta merupakan batu *Andesite* berselingan dengan Tufa atau *Andesite* sebagai inklusi di dalam Tufa (Kastowo dan Gerhard, 1973). *Andesite* adalah suatu jenis batuan beku vulkanik dengan komposisi dan tekstur spesifik. Batu ini memiliki ciri-ciri berwarna putih keabu-abuan dan butirannya kecil. Proses terbentuknya batu *Andesite* yaitu dari magma yang membeku sangat cepat di bawah kerak bumi. Batu *Andesite* umumnya ditemukan pada lingkungan *subduksi* tektonik di wilayah perbatasan atau daerah-daerah dengan aktivitas vulkanik yang tinggi. Batuan Tufa terbentuk dari resapan *kalsium* melalui penguapan air di sekitar mata sungai atau di dalam gua.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Jenis batuan penyusun lapisan bawah permukaan bumi di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan Kota Padang terdiri dari *Andesite* yang diselingi tufa, *Clay*, *Sandstone* dan *Limestone*.
2. 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.
3. Tampilan 3D memperlihatkan secara umum struktur batuan di daerah Bukit Lantiak. Lapisan *Clay* dan *Sandstone* tersebar merata di daerah ini, lapisan batu *Andesite* terdapat di bagian Timur Laut, dan lapisan *Limestone* sebagian terdapat di Barat Daya dan sebagian lagi tersebar merata.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka disarankan untuk

1. Dalam pengukuran Geolistrik dibutuhkan tenaga yang cukup banyak dan disediakan *accu* cadangan agar pengukuran tidak terganggu.
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan metoda yang berbeda (khususnya menggunakan ilmu Geologi) sebagai perbandingan tentang jenis batuan dan struktur batuan di Bukit Lantiak.