

**ESTIMASI KEDALAMAN BATUAN DASAR DI DESA KAMPUNG
MANGGIS KECAMATAN PADANG PANJANG BARAT
MENGUNAKAN METODA INVERSI ROBUST 2D DATA GEOLISTRIK
TAHANAN JENIS KONFIGURASI WENNER**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**BASRA KURNIAWAN
18435/2010**

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Estimasi Kedalaman Batuan Dasar di Desa Kampung
Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat
Menggunakan Metode Inversi *Robust 2D* Data
Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner*

Nama : Basra Kurniawan

NIM/BP : 18435/2010

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 22 Januari 2014

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si
NIP. 19781110 200604 1 001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Basra Kurniawan
NIM/BP : 18435/2010
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

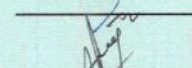
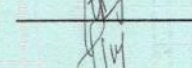
dengan judul

**ESTIMASI KEDALAMAN BATUAN DASAR DI DESA KAMPUNG
MANGGIS KECAMATAN PADANG PANJANG BARAT
MENGUNAKAN METODE INVERSI *ROBUST 2D DATA*
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI *WENNER***

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

Padang, 28 Januari 2014

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Drs. Akmam, M.Si	
Sekretaris	: Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si	
Anggota	: Dr. Hamdi, M.Si	
Anggota	: Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Drs. Letmi Dwiridal, M.Si	

SURAT PERNYATAAN

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

Padang, 14 Februari 2014

Yang menyatakan,



Basra Kurniawan
18435/201

ABSTRAK

**BASRA KURNIAWAN : Estimasi Kedalaman Batuan Dasar di Desa
Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang
Barat Menggunakan Metoda Inversi *Robust 2D*
Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi
*Wenner***

NIM/BP : 18435/2010

Desa Kampung Manggis, Kecamatan Padang Panjang Barat merupakan salah satu daerah yang perlu diketahui informasi mengenai jenis dan kedalaman batuan dasarnya. Daerah ini merupakan daerah padat pemukiman penduduk dan memiliki satu jalan utama yang terletak di tepi perbukitan terjal. Infrastruktur yang dibangun di tepi perbukitan terjal jika tidak didukung oleh kekuatan formasi batuan di bawah permukaan bumi dapat menyebabkan terjadinya peristiwa pergerakan tanah, seperti penurunan tanah maupun longsor. Berdasarkan uraian di atas telah dilaksanakan penelitian yang bertujuan untuk estimasi jenis dan kedalaman batuan dasar menggunakan metode Inversi *Robust 2D* di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat.

Penelitian dasar bersifat deskriptif ini menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner*. Data Penelitian diambil 4 lintasan menggunakan *ARES (Automatic Resistivitymeter)*. Data yang diperoleh diolah menggunakan *software Res2dinv v3.59* dengan inversi *Robust 2D* untuk memperoleh penampang model 2D di bawah permukaan bumi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa batuan dasar di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat merupakan kelompok batuan beku, yaitu *Andesite*. Nilai tahanan jenis batuan *Andesite* tersebut bervariasi pada setiap lintasan. Letak kedalaman batuan di bawah permukaan bumi juga bervariasi, namun pada umumnya terletak pada kedalaman lebih dari 20 m.

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis diberi kesempatan, kekuatan dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Estimasi Kedalaman Batuan Dasar di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat Menggunakan Metoda Inversi *Robust 2D* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner*.**

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai pembimbing I dan sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si sebagai pembimbing II.
3. Bapak Drs. Letmi Dwiridal, M.Si sebagai Pembimbing Akademik dan sebagai Tim Penguji.
4. Bapak Dr. Hamdi, M.Si dan Ibu Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Tim Penguji.
5. Ibu Dra.Yurnetti, M.Pd sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
6. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

7. Bapak dan Ibu staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
8. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M– DIKTI) yang telah memberikan donasi untuk penelitian ini melalui dana PKM 2013.
9. Rekan Tim PKM Bidang Penelitian, yang diketuai oleh Lismalini, S.Si dan beranggotakan Nofri Hardisal, S.Si, Yosi Permata Sari dan Bavitra.
10. Walikota Padang Panjang melalui Kepala Kantor Pelayanan Perizinan Terpadu (KPPT) Kota Padang Panjang yang telah memberikan izin dalam melakukan penelitian.
11. Kedua Orang Tua penulis yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dengan tidak henti-hentinya.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini kemungkinan masih memiliki beberapa kekurangan yang belum penulis sadari karena keterbatasan. Kritik dan saran sangat penulis harapkan dari pembaca semua demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca, Amin.

Padang, Februari 2014

Penulis

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 Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Pembatasan Masalah	4
D. Perumusan Masalah	5
E. Pertanyaan Penelitian	5
F. Tujuan Penelitian	5
G. Manfaat Penelitian	6
BAB II KERANGKA TEORITIS	
A. Batuan Dasar	7
B. Sifat Kelistrikan Batuan	16
C. Metode Geolistrik Tahanan Jenis	18
D. Susunan Elektroda Metode Geolistrik	22
E. Tahanan Jenis Semu	24
F. Konfigurasi <i>Wenner</i>	24
G. Metode Inversi <i>Robust 2D</i>	26

H. Kondisi Geologi Daerah Padang Panjang	30
I. Penelitian yang Relevan	31
J. Kerangka Berfikir	32
BAB III METODA PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian.....	34
B. Waktu dan Tempat Penelitian	34
C. Desain Penelitian.....	34
C. Parameter Penelitian.....	36
D. Instrumentasi/Alat dan Bahan	36
E. Prinsip Kerja ARES.....	37
F. Prosedur Penelitian	41
G. Teknik Analisis Data.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Deskripsi Data.....	45
B. Analisa Data dan Interpretasi	46
C. Pembahasan	59
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	64
B. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Batuan Beku Berdasarkan Tekstur dan Ukuran Butir	10
2. Klasifikasi Batuan Metamorf Berdasarkan Tekstur dan Ukuran Butir.....	13
3. Klasifikasi Batuan Sedimen Beserta Ukuran Partikel Penyusun.....	14
4. Nilai Tahanan Jenis Maksimum dan Minimum Tiap Lintasan.....	46
5. Hasil Interpretasi Data Lintasan 1 dengan Inversi Robust Constraint 0,001 ...	49
6. Hasil Interpretasi Data Lintasan 2 dengan Inversi Robust Constraint 0,001 ...	52
7. Hasil Interpretasi Data Lintasan 3 dengan Inversi Robust Constraint 0,001 ...	54
8. Hasil Interpretasi Data Lintasan 4 dengan Inversi Robust Constraint 0,001 ...	56
9. Nilai Tahanan Jenis dan Kedalaman Batuan Dasar Tiap Lintasan	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Proses Pembentukan Batuan Beku	9
2. Hubungan Antara Tekanan (P), Suhu (T), Kedalaman (D) dan Derajat Metamorfosa	12
3. Titik sumber arus pada permukaan dari medium homogen isotropis	20
4. Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di atas permukaan tanah yang homogen isotropis dengan resistivitas ρ	22
5. Elektroda Arus dan Potensial pada Konfigurasi <i>Wenner</i>	25
6. Kerangka Berfikir Penelitian.....	33
7. Desain Lintasan Pengukuran.....	35
8. Skema Alat Resistivity Meter	38
9. <i>ARES Main Unit</i>	39
10. Penampang model 2D lintasan 1 dengan inversi <i>Robust Constraint</i> 0,001.....	47
11. Penampang model 2D lintasan 2 dengan inversi <i>Robust Constraint</i> 0,001	50
12. Penampang model 2D lintasan 3 dengan inversi <i>Robust Constraint</i> 0,001.....	53
13. Penampang model 2D lintasan 4 dengan inversi <i>Robust Constraint</i> 0,001.....	55
14. Penampang 2D Lintasan 1 dan 2	57
15. Penampang 2D Lintasan 2 dan 4	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Batuan Beku	68
2. Batuan Metamorf	69
3. Batuan Sedimen	70
4. Kondisi Geologi Daerah Penelitian	71
5. Tahanan Jenis Batuan Beku dan Metamorf	72
6. Tahanan Jenis Batuan Sedimen	73
7. Data Lintasan 1	74
8. Data Lintasan 2	75
9. Data Lintasan 3	76
10. Data Lintasan 4	77
11. Dokumentasi	78

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan daerah pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik. Aktivitas tektonik yang disebabkan oleh ketiga lempeng tersebut dapat mempengaruhi kondisi geologi Indonesia. Salah satu aktivitas tektonik adalah peristiwa tumbukan antar lempeng. Persitiwa tumbukan tersebut dapat menyebabkan kerak bumi menjadi tersingkap dan membentuk gunung berapi.

Gunung berapi memiliki magma yang bergerak menuju permukaan bumi. Pergerakan magma dapat menyebabkan terbentuknya beraneka ragam jenis batuan. Magma bergerak menuju permukaan bumi dan mengalami pendinginan. Proses pendinginan tersebut menyebabkan magma menjadi membeku, sehingga membentuk suatu jenis batuan.

Batuan terbentuk di atas landasan yang disusun oleh beberapa jenis batuan. Batuan yang berperan sebagai landasan bagi jenis batuan lainnya disebut dengan batuan dasar. Menurut North (1990: 216), “Batuan dasar sebagai batuan yang mengalami proses sedimentasi dan memiliki nilai porositas yang kecil”. Proses sedimentasi menunjukkan bahwa batuan dasar lebih dahulu terbentuk dan mengalami pelapukan, sehingga membentuk jenis batuan lainnya.

Batuan dasar memiliki peranan yang penting dalam perencanaan pembangunan infrastruktur pada suatu daerah. Jenis dan kedalaman batuan dasar di bawah permukaan bumi dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam membangun suatu infrastuktur. Sifat batuan dasar yang memiliki nilai porositas kecil mengindikasikan bahwa batuan ini memiliki tekstur keras, sehingga dapat dijadikan sebagai acuan dalam pemberian beban terhadap permukaan bumi akibat pembangunan infrastruktur di atas permukaannya.

Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat merupakan salah satu daerah yang perlu diketahui informasi mengenai jenis dan kedalaman batuan dasarnya. Daerah ini merupakan daerah padat pemukiman penduduk dan memiliki satu jalan utama yang terletak di tepi perbukitan terjal. Infrastruktur yang dibangun di tepi perbukitan terjal jika tidak didukung oleh kekuatan formasi batuan di bawah permukaan bumi dapat menyebabkan terjadinya peristiwa pergerakan tanah, seperti penurunan tanah maupun longsor.

Berdasarkan kondisi topografi daerah penelitian diduga daerah tersebut dapat mengalami penurunan tanah akibat pemberian beban yang berlebihan di atas permukaan tanah. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap struktur bawah permukaan di daerah tersebut terutama mengenai jenis dan kedalaman batuan dasarnya. Informasi mengenai jenis dan kedalaman batuan dasar dapat dijadikan sebagai acuan dalam menentukan tingkat kerawanan daerah penelitian terhadap penurunan tanah, sehingga perencanaan pembangunan infrastruktur menjadi lebih baik.

Salah satu metode Geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis dan kedalaman batuan dasar adalah metoda Geolistrik Tahanan Jenis. Metoda geolistrik memiliki beberapa konfigurasi yaitu *Wenner*, *Schlumberger*, *Pole-dipole*, *Pole-pole*, *Dipole-dipole* dan *Square*. Penelitian ini menggunakan konfigurasi *Wenner*. Konfigurasi ini mempunyai keunggulan dalam tingkat sensitif terhadap pengaruh *nonhomogenitas* benda di bawah permukaan bumi secara lateral.

Metode analisis data yang digunakan adalah metode inversi *Robust 2D*. Menurut Loke (2013: 53), “Metoda inversi *Robust 2D* memberikan hasil yang baik dalam menggambarkan model resistivitas pada daerah yang memiliki batas lapisan yang tajam dibandingkan dengan metode inversi *Least Square*”. Bumi yang tidak homogen dapat menyebabkan geologi bawah permukaan terdiri dari sejumlah daerah dengan batas-batas yang tajam (*sharp-boundaries*) antara daerah-daerah yang berbeda, sehingga untuk hasil pencitraan yang lebih baik digunakan metoda inversi *Robust 2D*. Pencitraan batas yang lebih tajam juga dapat dimanfaatkan dalam meningkatkan keakuratan interpretasi data dalam mengestimasi jenis dan kedalaman batuan dasar di daerah penelitian.

Berdasarkan uraian di atas telah dilakukan penelitian yang berjudul **Estimasi Kedalaman Batuan Dasar di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat Menggunakan Metoda Inversi *Robust 2D* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Wenner***. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang jenis dan kedalaman batuan dasar. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan untuk memprediksi

tingkat kerawanan daerah penelitian terhadap penurunan tanah serta sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat dibuat identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Belum diketahui jenis dan kedalaman batuan dasar yang terdapat di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat.
2. Kondisi topografi di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat diduga dapat menyebabkan terjadinya pergerakan tanah, salah satunya penurunan tanah.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya cakupan dan daerah penelitian, maka perlu adanya batasan masalah, sebagai berikut:

1. Lokasi pengukuran dibatasi pada 4 lintasan. Lintasan 1 memiliki panjang 300 m, lintasan 2 memiliki panjang 300 m, lintasan 3 memiliki panjang 192 m dan lintasan 4 memiliki panjang 192 m.
2. Lokasi pengukuran dibuat paralel, dimana lintasan 1 paralel dengan lintasan 2 dan lintasan 3 paralel dengan lintasan 4.
3. Data diinterpretasikan dari nilai tahanan jenis batuan.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini yaitu berapakah kedalaman batuan dasar jika ditinjau dengan metode inversi *Robust 2D* di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Wenner*?

E. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian yang dapat dibuat untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini, yaitu berapakah kedalaman batuan dasar yang terdapat di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat jika ditinjau dengan metode inversi *Robust 2D* data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Wenner*?

F. Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan jenis batuan batuan dasar yang terdapat di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat dengan metode inversi *Robust 2D* data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Wenner* .
2. Menentukan kedalaman batuan dasar yang terdapat di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat dengan metode inversi *Robust 2D* data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Wenner*.

G. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu :

1. Acuan bagi pemerintah dan masyarakat di daerah sekitar lokasi penelitian dalam mengantisipasi resiko pergerakan tanah, seperti penurunan tanah.
2. Bahan pertimbangan dalam pembangunan infrastruktur bagi pemerintah dan masyarakat di sekitar lokasi penelitian.
3. Salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Fisika FMIPA UNP

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Batuan Dasar

Batuan merupakan material yang mengandung beberapa jenis mineral, karena batuan berasal dari magma. Hamblin (2003: 83) menyatakan bahwa “Magma disusun oleh beberapa unsur seperti Oksigen (O₂), Silika (Si) dan unsur lainnya yang dapat mengontrol sifat fisik magma seperti massa jenis dan viskositas”. Unsur yang terkandung dalam magma akan menyebabkan batuan yang terbentuk bervariasi. Salah satu batuan yang terbentuk adalah batuan dasar (*basement rock*).

Batuan dasar terdiri dari beberapa jenis batuan. Menurut Sircar (2004: 147), “Batuan dasar merupakan jenis batuan beku dan batuan metamorf yang ditutupi oleh batuan sedimen”. Batuan beku akan mengalami pelapukan dan membentuk jenis batuan baru. Hal ini sesuai dengan Abidin (2012: 1) yang menyatakan bahwa “Proses pelapukan suatu batuan tidak hanya mengubah batuan asal secara fisik dan kimiawi, namun dalam proses tersebut akan terjadi akumulasi unsur-unsur tertentu”. Perubahan secara fisik dan kimiawi dapat dijadikan sebagai pembeda dengan batuan asalnya.

Batuan dasar memiliki beberapa karakteristik. Menurut Setyobudi (2013: 20), “Batuan dasar umumnya memiliki sifat pejal dan keras”. Sifat tersebut dipengaruhi oleh proses geologi, baik proses *endogen* maupun proses

eksogen yang menyebabkan batuan dasar memiliki porositas sekunder.

Menurut Sircar (2004: 148),

“Porositas sekunder yang terjadi pada batuan dasar dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu:

1. Porositas tektonik, yaitu berupa patahan, sesar dan sebagainya.
2. *Dissolution porosity*, yaitu efek dari adanya pelarutan pada wilayah pelapukan ataupun pada wilayah sesar yang dipengaruhi oleh sirkulasi hidrotermal.”

Porositas sekunder ini terbentuk sesudah batuan sedimen diendapkan.

Nilai porositas dan permeabilitas batuan dasar cukup kecil. Menurut Gutmanis (2010: 4), “Nilai porositas batuan dasar berkisar antara 0.1 – 1% dan nilai permeabilitas batuan dasar kecil dari 0.5%, kecuali pada zona lapuk, yaitu antara 5 - 10%”. Nilai porositas yang kecil menyebabkan batuan dasar memiliki sedikit kandungan fluida. Akibatnya arus listrik akan sulit mengalir, sehingga batuan dasar memiliki nilai tahanan jenis yang besar.

Batuan dasar terletak pada kedalaman tertentu di bawah permukaan bumi. Batuan dasar yang berada pada suatu wilayah berbeda dengan wilayah yang lainnya. Jenis batuan dasar dipengaruhi oleh sejarah geologi suatu daerah tersebut, sehingga batuan dasar dapat berupa batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf.

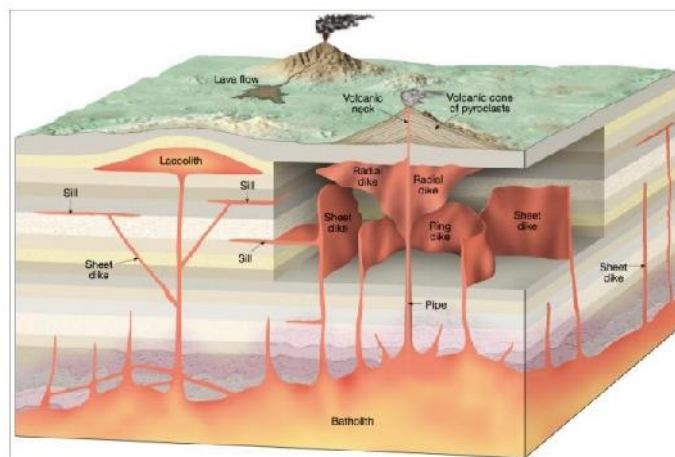
1. Batuan Beku (*Igneous Rock*)

Batuan beku terbentuk dari lava yang membeku. Menurut Crawford (1998: 11), “Batuan beku terbentuk dari pergerakan magma yang naik menuju permukaan bumi dan keluar dalam bentuk lava. Lava akan

mengalami pendinginan akibat bersentuhan dengan udara. Lava yang sudah dingin tersebut akan membeku dan membentuk batuan beku.

Batuan beku dibedakan menjadi 2 kelompok berdasarkan tempat pembekuannya, yaitu batuan beku *ekstrusive* dan batuan beku *intrusive*. Menurut Noor (2012: 66), “Batuan beku *ekstrusive* adalah batuan beku yang proses pembekuannya berlangsung di permukaan bumi”. Udara di permukaan bumi menyebabkan lava lebih cepat membeku dan membentuk batuan beku *ekstrusive*. Salah satu contoh batuan beku *ekstrusive* adalah *Andesite*.

Batuan beku *intrusive* merupakan batuan beku yang proses pembekuannya berlangsung di bawah permukaan bumi.



Gambar 1. Proses pembentukan batuan beku (Sumber: Noor. 2012: 67)

Pada Gambar 1 dapat dilihat proses pembentukan batuan beku di bawah permukaan bumi. Batuan beku *intrusive* dapat berupa *sill* dan *dike*. Menurut Noor (2012: 67), “*Sill* merupakan tubuh batuan berupa lembaran

dan sejajar dengan perlapisan batuan di sekitarnya, sedangkan *dike* adalah tubuh batuan yang memotong perlapisan di sekitarnya dan memiliki bentuk tabular atau memanjang”. Beberapa contoh batuan beku *intrusive* adalah *Granit*, *Diorit* dan *Gabbro*.

Batuan beku dikelompokkan berdasarkan bentuk teksturnya. Menurut Potter (1987: 70-71),

“Batuan beku diklasifikasikan berdasarkan teksturnya menjadi 4 kelompok, yaitu:

- a. *Phanerites*, yaitu batuan beku yang memiliki komponen mineral yang dapat dibedakan secara makroskopik.
- b. *Aphanites*, yaitu batuan beku yang memiliki ukuran mineral yang tidak dapat dibedakan secara kasat mata.
- c. *Porphyry*, yaitu batuan beku yang disusun oleh mineral kasar yang tersebar melalui mineral yang berukuran halus.
- d. *Pyroclastic*, yaitu kelompok batuan beku fragmen yang diekstrusi dengan kuat oleh gunung berapi”.

Bentuk tekstur batuan tersebut didasarkan pada ukuran butir partikel penyusunnya. Ukuran butir batuan beku dan nama batumannya ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi batuan Beku berdasarkan tekstur dan ukuran butir

Jenis Batuan			Ukuran Butir (mm)	Tekstur
Obsidian		Basaltic		
Vesikular Rhyolite	Vesikular Andesite			
Rhyolite	Andesite	Basalt	< 1	Halus
Granite	Diorite	Gabbro	1 – 10	Kasar
Pegmatite			> 10	Sangat kasar

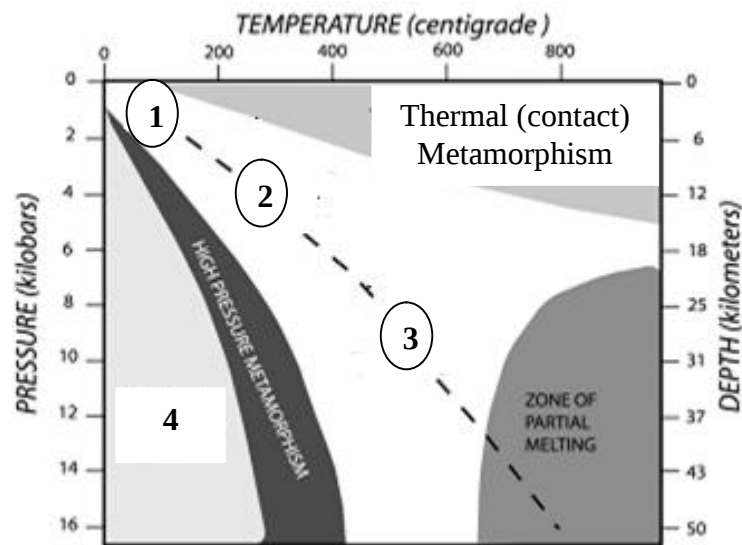
(Sumber: Carnicelli. 1999)

Granite merupakan salah satu batuan yang termasuk kelompok *Phanerites*, sedangkan *Basalt* termasuk dalam kelompok *Aphanites*. Contoh batuan yang termasuk ke dalam kelompok *Porphyry* adalah *Andesite*. Bentuk fisik beberapa contoh batuan tersebut dapat dilihat dalam Lampiran 1.

2. Batuan Metamorf

Batuan metamorf merupakan jenis batuan yang mengalami perubahan bentuk dari jenis batuan asalnya. Menurut Crawford (1998: 31), “Batuan metamorf mengalami perubahan bentuk dari batuan asalnya yang disebabkan oleh tekanan tinggi dan suhu”. Pada umumnya batuan metamorf hanya mengalami perubahan bentuk dan tekstur. Komposisi penyusun kimia batuan metamorf sama dengan batuan asalnya.

Tingkat perubahan suatu batuan yang diakibatkan oleh suhu dan tekanan tinggi disebut dengan derajat metamorfosa. Menurut Noor (2012: 102), “Ada tiga kelompok derajat metamorfosa batuan, yaitu derajat metamorfosa rendah, sedang dan tinggi”. Karakteristik derajat tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 yang menyatakan pengaruh suhu dan tekanan terhadap sifat fisik batuan.



Gambar 2. Hubungan antara tekanan (P), suhu (T), kedalaman (D), dan derajat metamorfosa (Sumber: Noor.2012: 102)

Keterangan Gambar:

1. *Burial metamorphism*
2. *Low – grade regional metamorphism*
3. *High grade regional metamorphism*
4. *Condition not found in crust*

Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa pada suhu dan tekanan terendah, terjadi metamorfosa burial. Metamorfosa burial akan semakin meningkat menjadi metamorfosa derajat rendah, sedang dan tinggi seiring dengan bertambahnya suhu, tekanan dan kedalaman. Menurut Noor (2012: 102), “Pada kedalaman ($D > 20$ km), tekanan ($P > 7$ kilobars) dan suhu ($T > 700^{\circ}\text{C}$) batuan akan mengalami peleburan menjadi magma”. Semakin dalam ke bawah permukaan bumi semakin cepat proses peleburan batuan kembali menjadi magma.

Batuan metamorf dikelompokkan berdasarkan bentuk tekstur dan ukuran butir partikel penyusunnya. Ukuran butir batuan beku dan nama batuan ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi batuan Metamorf berdasarkan tekstur dan ukuran butir

Nama Batuan	Ukuran Butir (mm)	Tekstur
Phyllite	< 1	Halus
<i>Schist</i>		
Gneiss	1 - 10	Kasar
Hornfels	< 1	Halus
Quartzites	1 - 10	Kasar
Marble		

(Sumber: Carnicelli, 1999)

Bentuk fisik beberapa contoh batuan metamorf dapat dilihat dalam Lampiran 2.

3. Batuan Sedimen

Batuan sedimen merupakan jenis batuan yang mengalami pelapukan dari jenis batuan asalnya. Menurut Hamblin (2003: 116), “Batuan sedimen terbentuk di permukaan bumi akibat sistem hidrologi yang menyebabkan pelapukan pada batuan yang sudah ada sebelumnya”. Sistem hidrologi juga menyebabkan perpindahan materi batuan dari asalnya. Materi yang dipindahkan tersebut diendapkan dalam laut dan di beberapa tempat lainnya yang dapat dijadikan sebagai tempat pemadatan, sehingga terjadi proses sedimentasi.

Batuan sedimen dikelompokkan menjadi tiga kelas, yaitu *Clastic Sediment*, *Chemically Precipitated Sediment*, dan *Organik Sediment* (Strahler et al. 1984: 204).

a. Sedimen Klastik (*Clastic Sediment*)

Batuan sedimen klastik diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir sedimen dan jenis fragmen batuan yang membentuk sedimen. Menurut Crawford (1998), “Semakin jauh jarak yang ditempuh oleh materi batuan yang diendapkan, maka akan semakin kecil dan bulat batuan sedimen yang akan terbentuk”. Hal ini disebabkan karena batuan lebih lama mengalami pengendapan. Ukuran butir batuan sedimen klastik dan nama batumannya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi batuan Sedimen beserta ukuran partikel penyusun

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

(Sumber: Crawford. 1998: 24)

Butiran pasir, lumpur, dan tanah liat akan dibawa air sebelum diendapkan. Proses sedimentasi pada partikel tersebut akan menghasilkan batuan sedimen, seperti konglomerat, pasir dan tanah

liat. Konglomerat merupakan batu yang disusun oleh kumpulan kerikil dengan fragmen yang lebih besar 2 mm. Hamblin (2003: 120) menyatakan bahwa “Kerikil penyusun konglomerat merupakan kerikil yang halus dan bulat”. Hal itu disebabkan karena batuan ini ditemukan jauh dari sumbernya.

Pasir (*sandstone*) merupakan batu yang disusun oleh banyak material. Menurut Hamblin (2003: 120), “Salah satu material penyusun pasir adalah butir pasir (*quartz*)”. Butir pasir bersifat tahan terhadap abrasi atau kerusakan secara kimia sebagai partikel sedimen.

b. Sedimen Kimia (*Chemically Precipitated Sedimentary*)

Batuan sedimen kimia merupakan batuan yang dihasilkan dari proses kimia dan biologi yang umumnya terjadi di bawah air, seperti pengkristalan mineral di dalam laut. Salah satu contoh batuan sedimen kimia adalah *Limestone*. Menurut Hamblin (2003: 122), “*Limestone* berasal dari proses biokimia dan kimia anorganik”. *Limestone* berasal dari pelapukan cangkang beberapa hewan intervertebrata yang mengandung kalsium dan ion karbonat.

c. Sedimen Organik (*Organic Sediment*)

Batuan sedimen organik terbentuk dari akumulasi bahan organik. Bahan organik tersebut dapat berupa daun, akar, dan tanaman lain atau sisa material hewan. Menurut Crawford (1998: 25), “Batuan sedimen kimia terbentuk di daerah rawa gambut yang merupakan tempat pengendapan fosil”. Salah satu contoh batuan

sedimen kimia yang sering dimanfaatkan manusia adalah batu bara.

Batu bara ini kaya akan karbon, sehingga bisa dijadikan bahan bakar.

B. Sifat Kelistrikan Batuan

Kelistrikan batuan merupakan respon yang diberikan oleh batuan apabila arus dialirkan kepadanya. Respon yang diberikan batuan tersebut sebanding dengan harga tahanan jenis yang dimiliki oleh batuan itu. Ada tiga macam aliran arus listrik di dalam batuan, yaitu konduksi elektronik, konduksi elektrolitik dan konduksi dielektrik.

Konduksi elektronik terjadi pada batuan yang mempunyai banyak elektron bebas, sehingga mengakibatkan arus listrik mengalir. Konduksi elektrolitik terjadi pada batuan yang bersifat *porus* dan mempunyai pori-pori. Pori-pori tersebut terisi cairan yang mengandung ion-ion elektrolit yang dapat mengalirkan arus listrik. Konduksi dielektrik terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik atau mempunyai sedikit elektron bebas, bahkan tidak sama sekali. Medan listrik dari luar akan mengakibatkan elektron dalam batuan berpindah dan arus listrik yang mengalir akan terpolarisasi.

Sifat kelistrikan dari batuan tergantung pada nilai tahanan jenis yang dilambangkan dengan (ρ) 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 elektrolitik dalam pori – pori batuan serta sifat konduktif batuan.

Menurut Telford et al., (1976: 450),

“Secara umum berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan atau mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. Konduktor baik : $10^{-8} \Omega\text{m} < \rho < 1 \Omega\text{m}$
2. Konduktor menengah : $1 \Omega\text{m} < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$
3. Isolator : $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$ ”

Sifat kelistrikan batuan dinyatakan berdasarkan Hukum Ohm. Menurut Hukum Ohm, rapat arus J dengan kuat medan listrik E dinyatakan oleh Persamaan 1 :

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

dimana σ adalah daya hantar listrik. Jika besar kuat medan listrik diberikan oleh Persamaan (2) :

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

maka diperoleh :

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

sehingga kuat arus listrik I dapat ditulis menjadi Persamaan (4).

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

Persamaan (4) menunjukkan bahwa saat σ konstan, arus total I sebanding dengan beda potensial V . Perbandingan antara V dengan I pada konduktor disebut hambatan (tahanan jenis).

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

Hubungan hambatan R dengan daya hantar listrik σ pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (4) dan (5), yaitu :

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

Hubungan antara tahanan jenis ρ dengan daya hantar listrik bahan σ dinyatakan pada Persamaan (7).

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

sehingga Persamaan (6) dan (7) menjadi :

$$\frac{V}{I} = \rho \frac{L}{A} \quad (8)$$

Berdasarkan Persamaan (8) dapat dilihat bahwa tahanan jenis dengan kuat arus memiliki hubungan berbanding terbalik. Semakin besar nilai tahanan jenis suatu bahan maka arus listrik akan semakin sulit mengalir. Tahanan jenis juga memiliki hubungan berbanding terbalik dengan daya hantar listrik, seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (7). Jadi, tahanan jenis adalah kemampuan suatu bahan untuk menghambat aliran arus listrik yang diinjeksikan pada bahan tersebut.

C. Metode Geolistrik Tahanan jenis

Geolistrik adalah salah satu metode dalam Geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya. Pendeteksian

meliputi pengukuran medan potensial, arus, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara ilmiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi.

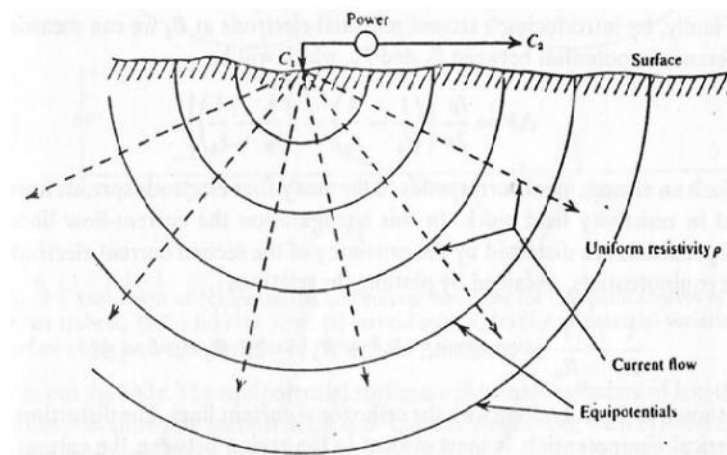
Menurut Singarimbun (2011: 386), “Metode Geolistik Tahanan Jenis merupakan salah satu metode eksplorasi Geofisika dengan menggunakan sifat listrik yang diinjeksikan ke dalam bumi”. Arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan dilakukan pengukuran beda potensial melalui dua buah elektroda potensial. Berdasarkan hasil pengukuran arus dan beda potensial listrik akan dapat dihitung variasi harga resistivitas pada lapisan permukaan bumi di bawah titik ukur (*Sounding point*).

Lapisan batuan bawah permukaan terdiri atas butiran dan pori-pori yang berisi fluida. Menurut Telford et al., (1976: 445), “Meskipun batuan merupakan konduktor yang lemah, namun memiliki nilai resistivitas yang besar disebabkan oleh poros dan poros tersebut berisi fluida”. Fluida tersebut dapat berupa cairan, udara dan gas.

Fluida yang mengisi pori-pori melarutkan sebagian dari mineral-mineral tersebut, sehingga fluida bersifat elektrolit atau mampu menjadi penghantar arus listrik. Kemampuan suatu bahan menghantarkan listrik disebut dengan konduktivitas. Pengukuran resistivitas sangat dipengaruhi oleh variasi lokal dari konduktivitas permukaan yang disebabkan oleh pelapukan dan topografi yang dapat memberikan distorsi terhadap data resistivitas yang terukur (Telford et al., 1976).

Metode geolistrik mengansumsikan bumi sebagai medium homogen isotropis. Ketika arus dialirkan dalam bumi, arus listrik akan mengalir ke

segala arah, sehingga membentuk ruang equipotensial bola. Apabila sumber titik arus terdapat di permukaan bumi, maka ruang equipotensial yang dihasilkan berbentuk setengah bola. Hal ini disebabkan karena udara memiliki tahanan jenis yang sangat besar, sehingga arus listrik tidak dapat mengalir di udara. Aliran arus listrik di dalam bumi ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Titik sumber arus pada permukaan dari medium homogen isotropis (Sumber : Telford et al., 1976:635)

Kerapatan arus J pada Gambar 3 dapat dihitung dengan mensubstitusikan Persamaan (7) ke Persamaan (1) menggunakan Persamaan (4). Hasil dari substitusi tersebut didapatkan hubungan antara kerapatan arus J dengan tahanan jenis ρ , yaitu:

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (9)$$

Menurut Reynolds (1997), medan listrik E merupakan gradien potensial, yaitu perbedaan besarnya gaya persatuan muatan yang dialami oleh muatan jika ditempatkan pada suatu titik tinjau yang memiliki jarak sebesar r dengan

sumber arus. Medan listrik secara matematis dirumuskan dalam Persamaan (10).

$$\mathbf{E} = -\nabla V = -\frac{dV}{dr} \quad (10)$$

Medan listrik pada Persamaan (9) disubstitusikan ke Persamaan (10), sehingga didapatkan hubungan antara gradient potensial dengan tahanan jenis ρ dan kerapatan arus $\mathbf{J}$ yang ditunjukkan oleh Persamaan (11).

$$\frac{dV}{dr} = -\rho \mathbf{J} \quad (11)$$

Jika kerapatan arus $\mathbf{J}$ pada Persamaan (3) disubstitusikan ke Persamaan (11), diperoleh hubungan antara gradien potensial dengan luas permukaan $\mathbf{A}$ dan arus listrik $\mathbf{I}$.

$$\frac{dV}{dr} = -\rho \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{A}} \quad (12)$$

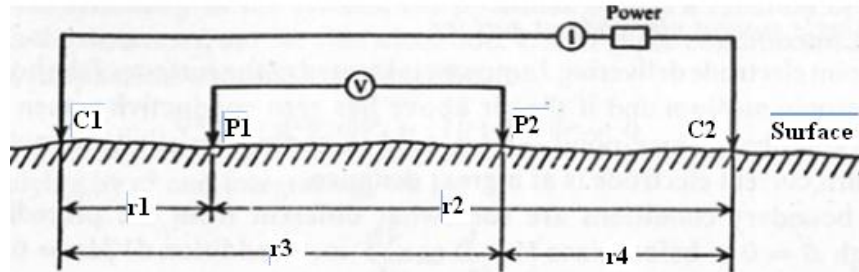
Reynolds (1997) menyatakan bahwa “Luas permukaan $\mathbf{A}$ adalah luas permukaan ruang equipotensial setengah bola $2\pi r^2$ ”, sehingga perbedaan potensial dV terhadap distribusi arus $d\mathbf{r}$, yaitu :

$$dV = -\rho \frac{1}{2\pi r^2} d\mathbf{r} \quad (13)$$

Beda tegangan antara $\mathbf{V}$ dan $\mathbf{V} + dV$ dapat dihitung dengan mengintegral Persamaan (13) terhadap $d\mathbf{r}$, sehingga diperoleh Persamaan (14).

$$\begin{aligned} V(\mathbf{r} + d\mathbf{r}) - V(\mathbf{r}) &= \frac{\rho \mathbf{I}}{2\pi r} \\ \text{atau} \\ V(\mathbf{r}) &= \frac{\rho \mathbf{I}}{2\pi r} \end{aligned} \quad (14)$$

D. Susunan Elektroda Metode Geolistrik



Gambar 4. Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di atas permukaan tanah yang homogen isotropis dengan resistivitas ρ (Sumber : Telford et al., 1976:636)

Gambar 4 menunjukkan susunan pemasangan elektroda pada pengukuran dengan metode geolistrik. Pengukuran dengan metode geolistrik menggunakan empat buah elektroda, yaitu dua elektroda arus dan dua elektroda potensial. Menurut Telford et al, (1976: 635-636), “Ketika jarak diantara dua elektroda arus terbatas, potensial yang dekat pada titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut”. Posisi elektroda akan mempengaruhi hasil pengukuran, seperti kedalaman penetrasi. Menurut Reynold (1997: 427), “Jarak antar elektroda sebaiknya dibuat 3 kali jarak kedalaman yang diinginkan”. Semakin dalam penetrasi yang diinginkan maka semakin panjang jarak elektroda yang dipasang.

Berdasarkan Gambar 6, misalkan 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

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad (15)$$

dimana $A_1 = \frac{I\rho}{2\pi}$

sama halnya potensial yang disebabkan oleh C_2 pada P_1 adalah

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \quad (16)$$

dimana $A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1$

(karena arus pada dua elektroda sama dan berlawanan arah). Kemudian diperoleh:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (17)$$

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:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (18)$$

dapat juga ditulis

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (19)$$

dimana

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (20)$$

dimana $2\pi G = K$ adalah faktor Geometri dari susunan elektroda, yang nilainya berubah sesuai dengan perubahan jarak spasi antara elektroda-elektroda. Artinya, K bergantung pada susunan atau konfigurasi yang digunakan.

E. Tahanan Jenis Semu

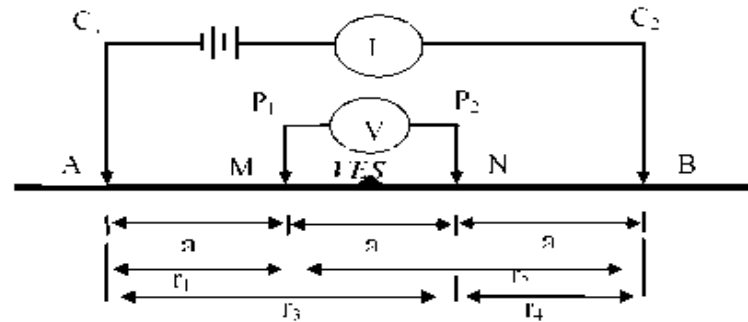
Menurut Akmam (2004: 596), “Secara umum resistivitas bumi tidak homogen, berarti bahwa yang terhitung dengan Persamaan (19) adalah resistivitas semu (*apparent resistivity*, ρ_a)”. Resistivitas semu atau tahanan jenis semu tidak secara langsung menunjukkan nilai tahanan jenis medium, namun mencerminkan distribusi nilai tahanan jenis medium. Hal ini disebabkan karena pada kenyataannya bumi merupakan medium tidak homogen yang terdiri dari banyak lapisan dengan tahanan jenis yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi potensial listrik yang terukur. Jadi, Persamaan (19) dapat ditulis menjadi:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (21)$$

Berdasarkan Persamaan (21) disimpulkan bahwa tahanan jenis semu dihasilkan dari perbedaan potensial akibat penginjeksian arus ke dalam bumi.

F. Konfigurasi Wenner

Metode ini diperkenalkan oleh Wenner (1915). Konfigurasi *Wenner* merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam eksplorasi geolistrik dengan susunan jarak spasi elektroda dibuat sama panjang, yaitu $r_1 = r_4 = a$ dan $r_2 = r_3 = 2a$. Jarak antara elektroda arus (C_1 dan C_2) adalah tiga kali jarak elektroda potensial, jarak potensial dengan titik *sounding*-nya adalah $1/3a$, maka jarak masing-masing elektroda arus dengan titik *sounding*-nya adalah $2/3a$.



Gambar 5. Elektroda arus dan potensial pada konfigurasi *Wenner*

Kemampuan penetrasi arus pada konfigurasi *Wenner* adalah seperenam dari jarak elektroda arus. Konfigurasi *Wenner* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan konfigurasi lainnya. Menurut Reynolds (1997: 433), “Konfigurasi *Wenner* memiliki beberapa keunggulan, yaitu memiliki resolusi tampilan vertikal yang baik dan sensitif terhadap *inhomogenitas* bahan dipermukaan bumi secara lateral”. Tingkat sensitif yang baik dalam mendeteksi *inhomogenitas* bahan secara lateral tersebut menyebabkan konfigurasi ini baik digunakan dalam pemetaan (*mapping*).

Jarak masing-masing elektroda pada Gambar 5 dapat disederhanakan menjadi :

$$r_1 = r_4 = a \quad (22)$$

$$r_2 = r_3 = 2a$$

Harga masing-masing jarak elektroda pada Persamaan (22) disubsitusikan ke Persamaan (18), sehingga diperoleh harga K untuk konfigurasi *Wenner* sebagai berikut (Telford: 1976: 536).

$$K = 2\pi a \quad (23)$$

Harga K yang diperoleh pada Persamaan (23) disubstitusikan pada Persamaan (21), sehingga dapat dihitung harga tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) untuk konfigurasi *Wenner*, yaitu:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (24)$$

dimana:

ρ_a : tahanan jenis semu (Ωm)

L : jarak $AB/2$ atau jarak elektroda arus (m)

l : jarak $NM/2$ atau jarak elektroda potensial (m)

ΔV : beda potensial (mV)

I : kuat arus (mA)

Penetrasi arus yang dimiliki oleh konfigurasi *Wenner* bergantung pada jarak elektroda arus yang digunakan, semakin besar jarak elektroda arus yang digunakan semakin dalam penetrasi arus yang bisa dihitung.

G. Metode Inversi *Robust 2D*

Data lapangan yang diperoleh saat pengukuran memiliki beberapa informasi yang diperlukan dalam membuat suatu hasil penelitian. Informasi tersebut dapat diketahui ketika data yang diperoleh dapat dinyatakan dalam persamaan matematika. Salah satu persamaan matematika yang dapat digunakan untuk mengestimasi sifat fisis batuan adalah metode inversi. Menurut Supriyatno (2007: 1), “Proses inversi merupakan proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik

untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai sifat fisis bawah permukaan bumi.”

Salah satu metode inversi yang digunakan dalam pengolahan data lapangan adalah metode inversi *Robust 2D*. Inversi *Robust 2D* merupakan metode inversi yang digunakan jika *error* dan distribusi data tidak normal serta terdapat titik point data yang tajam. Hal ini sesuai dengan pernyataan Loke (2013: 53), “Inversi *Robust 2D* memberikan hasil yang baik dalam menggambarkan model resistivitas pada daerah yang memiliki batas lapisan yang tajam dibandingkan dengan metode inversi *Least Square*”.

Metode inversi *robust 2-D* memiliki beberapa keunggulan. Menurut Sutarno (2004: 56),

“Metode inversi robust 2-D memiliki keunggulan, diantaranya:

1. Tidak sensitif atau resistant terhadap outlier (data abnormal)
2. Daya proteksi terhadap kontaminasi
3. Memiliki efiesiensi yang tinggi ($\geq 95\%$)
4. Mudah diimplementasikan”

Keunggulan tersebut dapat meningkatkan tingkat keakuratan dalam pengolahan serta interpretasi data lapangan.

Li et al (2009: 5) menyatakan Persamaan inversi *Robust 2D* pada Persamaan (25).

$$\ddot{\mathbf{y}} = \hat{\Phi}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + \Delta_{tnv}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (25)$$

dimana $\mathbf{u} = \hat{\Phi}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\sigma})$ adalah pengontrol inversi dan $\mathbf{x}$ merupakan *vektor state*, yaitu vektor keadaan yang menggambarkan model data dalam n pengukuran dan $\mathbf{y}$ merupakan keluaran yang memiliki dua parameter, yaitu kedalaman dan

tahanan jenis. σ menyatakan input pengontrol pengendali *pseudo* dari sistem inversi. Pengontrol sistem inversi dinyatakan dengan Persamaan (26).

$$\mathbf{u} = \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x})[\ddot{\mathbf{y}}_c - \mathbf{A}_1(\mathbf{x})] \quad (26)$$

$\mathbf{A}(\mathbf{x})$ dan $\mathbf{B}(\mathbf{x})$ adalah fungsi nonlinier dari $\mathbf{x}$. Error inversi dari Δ_{tnv} dapat dinyatakan dengan Persamaan (27).

$$\Delta_{tnv}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \mathbf{\hat{\Phi}}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) - \widehat{\Phi}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (27)$$

Inversi *Robust 2D* dapat membatasi dan meminimalkan perubahan mutlak pada nilai tahanan jenis dan meminimalkan efek *outlier* dalam data pada model inversi. Inversi menghasilkan model antar muka yang tajam diantara daerah yang memiliki nilai tahanan jenis berbeda.

Pengolahan dan analisis data menggunakan metoda inversi *Robust 2D* pada *software Res2dinv* terbagi atas 2, yaitu *Robust Constraint* dan *Standart Constraint*. Menurut Supriyanto (2007:29), “*Constraint* merupakan penambahan informasi awal pada parameter model dalam suatu proses inversi”. Informasi tersebut dapat dijadikan batasan dalam proses inversi. Hal ini sesuai dengan Grandis (2009) yang menyatakan “*Constraint* merupakan batasan yang diberikan sebagai informasi tambahan”. Batasan tersebut dapat berupa interval atau nilai minimum dan maksimum dari data geofisika untuk menentukan model awal hasil inversi.

Persamaan *constraint* suatu inversi dinyatakan oleh Supriyanto (2007: 29) pada Persamaan (28).

$$\mathbf{Dn} = \mathbf{h} \quad (28)$$

dimana D adalah matrik yang beroperasi pada parameter model m yang hasilnya dapat digunakan sebagai informasi awal h . Persamaan (28) didapatkan dari perhitungan Persamaan *linear equality constraint* yang dinyatakan pada Persamaan (29).

$$\square = (\mathbf{d} - \mathbf{G}\mathbf{n})^T (\mathbf{d} - \mathbf{G}\mathbf{n}) + \beta^2 (\mathbf{D}\mathbf{n} - \mathbf{h})^T (\mathbf{D}\mathbf{n} - \mathbf{h}) \quad (29)$$

Untuk mendapatkan *error* minimum, maka Persamaan (29) diturunkan terhadap parameter model m , sehingga didapatkan Persamaan (30).

$$(\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \beta^2 \mathbf{D}^T \mathbf{D})\mathbf{n} = \mathbf{G}^T \mathbf{d} + \beta^2 \mathbf{D}^T \mathbf{h} \quad (30)$$

D merupakan matriks identitas, sehingga solusi persamaan *constraint* didapatkan seperti Persamaan (31).

$$\widehat{\mathbf{m}}_c = (\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \beta^2 \mathbf{I})^{-1} (\mathbf{G}^T \mathbf{d} + \beta^2 \mathbf{h}) \quad (31)$$

Persamaan (31) dapat memberikan solusi pada permasalahan *overdetermined* yang merupakan ketidakpastian akibat dari kesalahan pengukuran (*observational errors*).

Proses *constraint* yang dilakukan pada suatu data juga memiliki beberapa manfaat. Menurut Akmam (2013: 217), “Proses *constraint* pada suatu data dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui pemodelan 2D”. Perbedaan yang lebih kecil antara data lapangan dan model yang dihasilkan akan meningkatkan tingkat

keakuratan hasil pengolahan data. Tingkat keakuratan yang lebih baik akan menghasilkan interpretasi yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya.

Nilai *constraint* yang digunakan pada inversi *Robust 2D* dapat bervariasi. Nilai tersebut dimasukkan secara otomatis pada saat melakukan pengolahan data menggunakan *Res2dinv*. Nilai *constraint* yang digunakan sebaiknya sangat kecil, misalnya 0,001. Hal ini disebabkan karena penggunaan nilai *constraint* yang sangat kecil akan menghasilkan model mendekati nilai inversi *Robust Constraint* yang sebenarnya. Menurut Jaelani (2010), “Penggunaan nilai *constraint* yang mendekati nol pada inversi suatu data juga akan mengurangi efek *outlier* pada pengolahan data”. Pengurangan efek *outlier* akan mempertajam pencitraan data dan memudahkan dalam interpretasi data.

H. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat. Menurut Pemko Padang Panjang (2013), “Kota Padang Panjang terletak pada ketinggian 650-850 m di atas permukaan laut dan dikelilingi oleh tiga gunung, yaitu Gunung Merapi, Gunung Singgalang dan Gunung Tandikat”.

Kondisi geologi kota Padang Panjang ditunjukkan oleh Lampiran 4. Berdasarkan data geologi pada Lampiran 4 diketahui bahwa Desa Kampung Manggis disusun oleh 3 batuan utama, yaitu *Breksi Andesite*, pasir Tufaan dan *Limestone*. *Breksi Andesit* merupakan batuan yang telah mengalami pelapukan, sehingga tidak terlalu keras dan kompak. Batuan berikutnya adalah

pasir Tufaan. Pasir Tufaan mengandung *lapili tuff*. Batuan ini bersifat tidak terlalu padu, sehingga mempunyai kerentanan yang cukup tinggi terhadap bahaya getaran gempabumi.

Alluvium dan *Sands* juga terdapat pada beberapa daerah di Desa Kampung Manggis, khususnya daerah yang memiliki aliran sungai dan dekat dengan kebun dan sawah. Desa Kampung Manggis juga memiliki formasi batuan sedimen berupa *Limestone*, *Kuarsit* dan Batu Sabak. Batuan ini mempunyai sifat fisik yang sangat keras dan kompak.

Desa Kampung Manggis berada di daerah jalur sesar Bukit Jarat. Sesar ini mempunyai panjang 12.5 km melewati pusat kota Padang Panjang. Struktur sesar ini dicirikan oleh tebing yang terjal pada bukit *Limestone*. Aktivitas tektonik sesar Bukit Jarat akan berdampak pada kerentanan bencana gempabumi di Desa Kampung Manggis yang dapat memicu terjadinya pergerakan tanah.

I. Penelitian-Penelitian yang Relevan

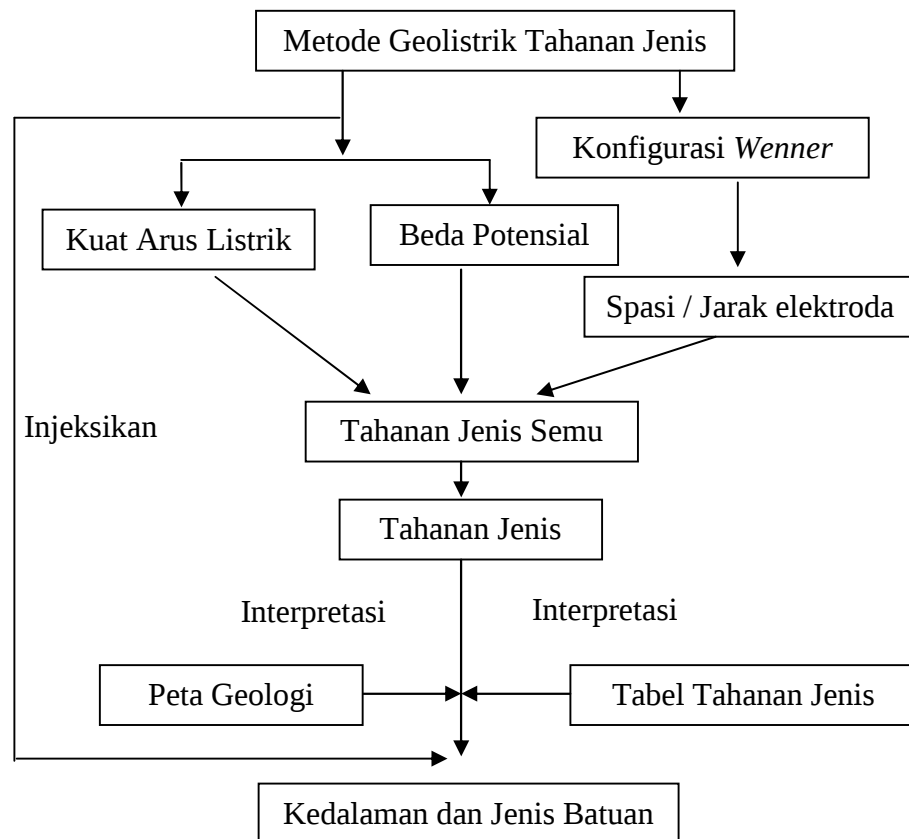
Penelitian yang menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Febrina (2012) melakukan penelitian tentang estimasi kedalaman batuan dasar di daerah Universitas Negeri Padang, Kampus Air Tawar. Penelitian ini menemukan ada tiga batuan dasar yang terdapat di 4 lintasan pengukuran. Ketiga batuan dasar tersebut diduga merupakan jenis batuan *Andesite* dengan lebih dari 30 m. Nilai tahanan jenis batuan dasar yang didapatkan cukup tinggi, yaitu sekitar 513 – 2150 Ω m.

Margaworo (2009) juga telah melakukan penelitian tentang identifikasi batuan dasar di Desa Kroyo, Karang Malang, Kabupaten Sragen. Penelitian ini menemukan batuan dasar pada kedalaman 100.9 m, semakin ke utara lapisan batuan dasar yang ditemukan mulai menipis dan berada pada lapisan atas. Penelitian ini juga merekomendasikan untuk pembangunan struktur ringan dapat dibangun pada lapisan lempung yang berada pada kedalaman hingga 36.7 m. Pembangunan untuk kontruksi berat dapat dibangun pada batuan dasar.

Lismalini (2013) juga telah melakukan penelitian menggunakan Geolistrik Tahanan Jenis, khususnya penyelidikan bidang gelincir daerah jalan raya di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat. Bidang gelincir dideteksi berdasarkan nilai tahanan jenis batuan, sehingga penelitian ini juga mengelompokkan beberapa jenis batuan. Pada daerah penelitian ditemukan beberapa jenis batuan, yaitu *Clay*, *Sandstone*, *Consolidated Shales*, dan *Andesite*. Lapisan *Andesite* terdapat pada kedalaman lebih dari 10 m.

J. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir dalam 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. Susunan elektroda tersebut harus sesuai dengan konfigurasi yang digunakan, untuk penelitian ini menggunakan konfigurasi *Wenner* seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Kerangka Berfikir Penelitian

Saat arus listrik dialirkan ke bawah permukaan bumi, beda potensial akan terukur di permukaan bumi. Jadi variabel yang terukur pada metoda ini adalah kuat arus, beda potensial dan jarak spasi elektroda. Variabel-variabel yang terukur ini kemudian diolah dan dianalisa menggunakan *software Res2dinv*.

Pada Gambar 6 dijelaskan data tahanan jenis diinterpretasikan dengan cara membandingkan dengan tabel tahanan jenis dan geologi daerah penelitian, sehingga diperoleh suatu kesimpulan yaitu jenis dan kedalaman batuan dasar di bawah permukaan bumi.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Batuan dasar pada lintasan pengukuran ditemukan pada Lintasan 1 dan Lintasan 3. Batuan dasar tersebut diinterpretasikan sebagai batu *Andesite*. Nilai tahanan jenis batuan *Andesite* berkisar antara 170 – 790 Ω m.
2. Kedalaman batuan dasar pada setiap lintasan berbeda-beda. Pada Lintasan 1, batuan dasar diduga terdapat pada kedalaman lebih dari 58,20 m. Lintasan 3 terdapat batuan dasar pada kedalaman lebih dari 14,80 m.

B. Saran

1. Hasil penelitian ini dapat direkomendasikan kepada Walikota Padang Panjang sebagai acuan dalam pembangunan infrastruktur di sekitar Desa Kampung Manggis, Kecamatan Padang Panjang Barat untuk mengantisipasi bencana pergerakan tanah, seperti penurunan tanah akibat pembebanan yang berlebihan.
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan metode yang lain di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat sebagai perbandingan tentang batuan dasar

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin dan Utoyo. (2012). "Proses Pelapukan Batuan". Bandung : Pusat Geologi Badan Geologi Bandung Prosiding IAGI 2012-M-20.
- Akmam. (2004). "Existence of Spring in Batulimbak Village Simawang Kecamatan Rambatan Kabupaten Tanahdatar". *Jurnal Prosiding Seminar PPD Forum HEDS 2004 Bidang MIPA*, ISBN 979-95726-7-3. Hlm 593-608.
- Akmam dan Nofi Yendri S. (2013). "Analisis Struktur Batuan dengan Metoda Inversi Smoothness-Constrained Least SquARES Data Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar". *Jurnal Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, ISBN 978-602-98559-2-0
- Astuti, Dwi Umi Midyi. (2011). "Pengukuran Resistivitas Untuk Menentukan Kedalaman Batuan Dasar (Studi Kasus Desa Pacekelan Kecamatan Purworejo Kabupaten Purworejo Jawa Tengah)". Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Carnicelli, Luke. (1999). "Regents Prep: Earth Science: Rocks & Minerals". Oswego City
- Crawford, MS, Mark J. (1998). "Physical Geology". USA: Lincoln, Nebraska. ISBN: 0-8220-5335-7
- Fahmi, H .(2010). "Sistem Panas Bumi Lapangan Tompaso Sulawesi". Jurnal Unpad Vol 1. Semarang: Universitas Padjajaran

- Febrina. (2012). “Estimasi Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-Dipole di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar”. *Pillar of Physics*, Vol 1. April 2013, 16-23
- Gutmanis, Jon. (2012). “Hydrocarbon Production From Fractured Basement Formation”. *Jurnal. Geoscience Limited* Versi 10. Hlm. 1-43.
- Hamblin, W. Kenneth. (2003). “Earth’s Dynamic System”. Penerbit: Prentice Hall. *ISBN/ASIN: 0131420666. ISBN-13: 9780131420663*.
- Loke, M.H.(2013).”Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys”. Di unduh dari www.geotomosoft.com tanggal 4 September 2013.
- Li, Chuanfeng. Wang, Yongji. Deng, Ahixiang, and Wu, Hao. (2009). “Adaptive Dynamic Inversion Robust Control for BTT Missile Based on Wavelet Neural Network”. *Jurnal Proc of SPIE* Vol.7496. Hal: 1-10
- Lismalini. (2013). ”Penyelidikan Bidang Gelincir Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat”. *Skripsi tidak diterbitkan*. FMIPA UNP.
- Margaworo, Ayu. (2009). “ Identifikasi Batuan dasar di Desa Kroyo, Karang Malang Kabupaten Sragen Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole”. *Skripsi diterbitkan*. Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret
- Noor, Djauhari. (2012). “Pengantar Geologi”. Fakultas Teknik: Universitas Pakuan.
- North, F.K. (1990). “Petroleum Geology”. Second Ed. Unwin Hyman, Boston.

- Potter, C. Skinner. Skinner, J. Brian. (1987). "Physical Geology". John Wiley and Sons. Von Hoffmann Press, Inc.
- Reynolds, J.M.(1997). An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics. New York: John Geophysicsin Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd.
- Setyobudi, Tri Prihatin. (2013). "Model Konseptual, Sebaran Batuan dan Kualitas Reservoir Batuan Dasar Granitik Eosen Sub Cekungan Jambi, Cekungan Sumatera Selatan". Buletin FGMI Edisi Ke 2
- Supriyanto. (2007). Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi (Edisi I). Departemen Fisika-FMIPA: Universitas Indonesia
- Sutarno, Dodi (2004). "Pengolahan Data Fisika Bumi". Departemen Fisika: ITB
- Sircar, A. 2004. Hydrocarbon Production from Fractured Basement Formations. *Jurnal. Current Science*. Vol. 87. No.2. Hlm 147-151.
- Strahler, Arthur N. Strahler Alan H. Elements of Physical Geography. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Telford, W.M. Geldart, L.P, Sheriff R.E and Keys, D.A. (1976). "Applied Geophysics". USA: Cambridge University Press