

**PENENTUAN KEDALAMAN BATUAN DASAR MENGGUNAKAN
INVERSI *MARQUARDT* DATA GEOLISTRIK TAHANAN JENIS
KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI DESA KAMPUNG MANGGIS
KECAMATAN PADANG PANJANG BARAT**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**HERAWATI
18422/2010**

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : **Penentuan Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Inversi
Marquardt Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi
Schlumberger Di Desa Kampung Manggis Kecamatan
Padang Panjang Barat**

Nama : Herawati

NIM/BP : 18422/2010

Program Studi : Fisika

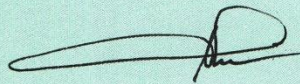
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 28 Maret 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 : Herawati
NIM/BP : 18422/2010
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

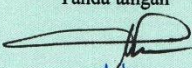
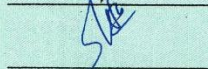
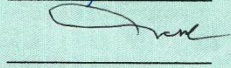
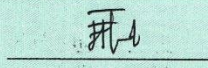
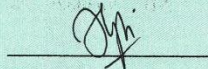
dengan judul

**PENENTUAN KEDALAMAN BATUAN DASAR
MENGUNAKAN INVERSI *MARQUARDT* DATA GEOLISTRIK
TAHANAN JENIS KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI DESA
KAMPUNG MANGGIS KECAMATAN PADANG PANJANG BARAT**

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

Padang, 16 April 2014

Tim Penguji

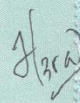
	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Drs. Akmam, M.Si	
Sekretaris	: Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si	
Anggota	: Drs. Mahrizal, M.Si	
Anggota	: Fatni Mufit, S.Pd, M.Si	
Anggota	: Dra. Hidayati, M.Si	

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 dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 30 Mei 2014

Yang menyatakan,


METERAI
TEMPEL
C80F0ABF565619628
ENAM RIBU RUPAH
6000 DJP

Herawati

NIM. 18422/2010

ABSTRAK

HERAWATI : Penentuan Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Inversi *Marquardt* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat

NIM/BP : 18422/2010

Kota Padang Panjang secara topografi merupakan kawasan yang berada pada dataran tinggi bergelombang, dimana sekitar 79,83 % dari keseluruhan wilayahnya merupakan kawasan miring, curam dan perbukitan dengan kemiringan di atas 15° . Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat merupakan salah satu daerah yang berpenduduk padat. Pemukiman penduduk terletak di tepi lereng dengan tingkat kemiringan yang relatif curam.

Penelitian ini merupakan penelitian dasar yang bertujuan untuk menentukan nilai tahanan jenis, kedalaman dan jenis batuan dasar menggunakan metoda Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger* di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat. Pengukuran terdiri dari 4 lintasan dengan ARES (*Automatic Resistivitymeter*) sebagai instrumen utama. Data yang diperoleh diolah menggunakan *software Res2dinv v3.59* dengan inversi *Marquardt* untuk memperoleh penampang model 2D di bawah permukaan bumi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa batuan dasar di Desa Kampung Manggis Padang Panjang Barat merupakan batuan *Andesite*. Batuan tersebut merupakan kelompok batuan beku. Nilai tahanan jenis batuan *Andesite* tersebut adalah 170,10-1658 Ω m. Kedalaman batuan tersebut bervariasi pada setiap lintasan. Batuan dasar pada lintasan 1 terletak pada kedalaman lebih dari 35 m, pada lintasan 3 dan lintasan 4 terletak di kedalaman lebih dari 8 m.

Nilai *error* yang dihasilkan pada pengolahan data lebih kecil dibandingkan dengan pengolahan data menggunakan metoda inversi lainnya, yaitu pada Lintasan 1 sekitar 2%, Lintasan 2 sekitar 1,8%, Lintasan 3 sekitar 2% dan Lintasan 4 sekitar 1,9%.

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 **Penentuan Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Inversi *Marquardt* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat.**

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 Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Nofi Yendri Sudiar, S.Si, M.Si sebagai pembimbing II.
3. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai penguji dan Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si dan Ibu Fatni Mufit, S.Pd, M.Si, sebagai Tim Penguji.
5. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si sebagai Penasehat Akademik.
6. Ibu Dra.Yurnetti, M.Pd sebagai Sekretaris 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 melalui dana PKM 2013.
9. Tim PKM-P 2013 dengan anggota Lismalini S.Si, Nofri Hardisal S.Si, Basra Kurniawan S.Si, Yosi Permata Sari, dan Bavitra.
10. Kedua Orang Tua penulis yang selalu memberikan semangat dan doa untuk penulis dengan tidak henti-hentinya.
11. Rekan-rekan Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP khususnya Program Studi Fisika angkatan 2010.
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. 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, Aamin.

Padang, Mei 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. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Pertanyaan Penelitian	5
F. Tujuan Penelitian	5
G. Manfaat Penelitian	5
BAB II KERANGKA TEORITIS	
A. Batuan Dasar	7
B. Tahanan Jenis Batuan.....	16
C. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis (<i>Resistivity</i>).....	19
D. Susunan Elektroda pada Metoda Geolistrik	24
E. Konsep Bumi Sebagai Medium Berlapis Non-Homogen.....	26
F. Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	28
G. Metoda Inversi <i>Marquardt</i>	29

H. Damping Faktor (λ).....	33
I. Kondisi Geologi Daerah Padang Panjang	36
J. Penelitian-Penelitian yang Relevan.....	36
K. Kerangka Berfikir	37
BAB III METODA PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian.....	39
B. Tempat dan Waktu Penelitian	39
C. Parameter Penelitian.....	39
D. Alat dan Bahan.....	40
E. Desain Lintasan Pengukuran	40
F. Prinsip Kerja <i>Automatic Resistivitymeter (ARES)</i>	41
G. Prosedur Penelitian	43
H. Teknik Analisis dan Interpretasi Data.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Deskripsi Data.....	45
B. Analisa dan Interpretasi Data	46
C. Pembahasan.....	58
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	63
B. Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Konsentrasi Unsur-Unsur Utama pada Kerak Bumi (Litosfer)	7
2. Batuan Sedimen Klastik Beserta Nama Partikel dan Kisaran Ukurannya.....	14
3. Nilai Tahanan Jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorf.....	18
4. Nilai Tahanan Jenis Batuan Sedimen	19
5. Nilai Tahanan Jenis Semu Minimum dan Maksimum Tiap Lintasan	45
6. Data Kedalaman Maksimum dan Panjang Lintasan pada Setiap Lintasan Pengukuran	46
7. Hasil Interpretasi Data Lintasan 1	49
8. Hasil Interpretasi Data Lintasan 2	51
9. Hasil Interpretasi Data Lintasan 3	53
10. Hasil Interpretasi Data Lintasan 4.....	55
11. Jenis dan Kedalaman Batuan Dasar	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Karakteristik Batuan Dasar	9
2. Siklus Batuan	11
3. Titik Sumber Arus pada Permukaan Bumi dari Medium Homogen.....	20
4. Dua Eklektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas	24
5. Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	28
6. Skema Kerangka Berfikir.....	37
7. Desain Lintasan Pengukuran.....	40
8. Ares Main Unit.....	41
9. Penampang Model 2D Lintasan 1	47
10. Penampang Model 2D Lintasan 2	50
11. Penampang Model 2D Lintasan 3	52
12. Penampang Model 2D Lintasan 4	54
13. Penampang 2D Lintasan 1 Sejajar Lintasan 2.....	56
14. Penampang 2D Lintasan 3 Sejajar Lintasan 4.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Peta Geologi Padang Panjang	67
Data Lintasan 1	68
Data Lintasan 2	69
Data Lintasan 3	70
Data Lintasan 4	71

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kota Padang Panjang secara topografi dikelilingi oleh tiga gunung yaitu Gunung Marapi, Gunung Singgalang dan Gunung Tandikek. Daerah ini juga dilalui oleh sesar Bukit Jarat sepanjang 12,5 km dan merupakan kawasan yang berada pada dataran tinggi bergelombang, dimana sekitar 79,83 % dari keseluruhan wilayahnya merupakan kawasan miring, curam dan perbukitan dengan kemiringan di atas 15^0 , sedangkan selebihnya merupakan kawasan yang relatif landai (Bappeda Kota Padang Panjang, 2005). Kondisi ini dapat memicu terjadinya getaran dan gerakan tanah di Kota Padang Panjang.

Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat merupakan salah satu daerah yang berpenduduk padat. Pada daerah tersebut juga terdapat bangunan penting seperti mesjid, sekolah dan perkantoran. Pemukiman penduduk dan jalan raya yang menghubungkan desa ini dengan daerah lainnya terletak di tepi lereng. Perbukitan tersebut memiliki tingkat kemiringan yang relatif curam. Pembebanan yang berlebihan di atas perbukitan dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah.

Perencanaan pembangunan yang cukup matang diperlukan untuk mencegah timbulnya kerusakan akibat terjadinya gerakan tanah. Oleh karena itu diperlukan informasi mengenai kedalaman dan jenis batuan dasar untuk perencanaan kedalaman pondasi bangunan. Pondasi bangunan yang dibuat pada batuan dasar (*basement rock*) mempunyai kekuatan menahan beban

yang lebih baik sehingga dapat mengurangi resiko kerusakan akibat getaran maupun gerakan tanah.

Batuan dasar merupakan landasan dari berbagai jenis batuan. Batuan dasar merupakan jenis batuan Metamorf atau batuan Beku yang ditutupi oleh batuan Sedimen (Landes et al, 1960). Hal ini mengindikasikan batuan dasar lebih dulu terbentuk dibandingkan jenis batuan Sedimen. Batuan dasar mempunyai kemampuan menahan beban karena memiliki karakteristik yaitu tekstur yang keras. Tekstur yang keras pada batuan dasar disebabkan oleh kemampuan batuan dasar dalam menyerap air (permeabilitas) yang sangat kecil dan memiliki sedikit pori-pori (Sircar, 2004:148). Berdasarkan karakteristik ini, batuan dasar dapat dijadikan landasan dari pondasi bangunan yang akan didirikan.

Salah satu metoda Geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui sifat kelistrikan batuan dasar adalah metoda Geolistrik Tahanan Jenis. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *Schlumberger*. Konfigurasi ini mempunyai keunggulan dalam tingkat penetrasi kedalaman yang lebih baik dari konfigurasi lainnya. Berdasarkan keunggulan tersebut, konfigurasi ini dapat mendeteksi hingga kedalaman lapisan batuan dasar.

Desa Kampung Manggis pernah diteliti oleh Lismalini pada tahun 2013. Penelitian ini lebih diarahkan pada penyelidikan bidang gelincir di daerah tersebut. Lismalini juga mengelompokkan beberapa jenis batuan, khususnya batuan yang berperan sebagai bidang gelincir di Desa Kampung Manggis. Penelitian tersebut menggunakan metoda inversi *Least Square 2-D*.

Namun, pada lintasan 3 hasil penelitian tersebut memiliki nilai *error* sekitar 3,5%. Nilai *error* tersebut dapat diminimumkan dengan cara memilih nilai *damping factor* yang tepat dalam pengolahan data, sehingga hasil pengolahan data lebih mendekati data yang sebenarnya.

Nilai *error* pada hasil analisis data dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor penyebabnya adalah vektor perubahan parameter model yang dihitung terkadang mempunyai nilai yang sangat besar. Nilai vektor perubahan model yang sangat besar akan menyebabkan hasil pengukuran yang kurang realistik (Loke, 2013:12). Hasil pengukuran yang kurang realistik tersebut dapat mempengaruhi keakuratan interpretasi data.

Salah satu metoda inversi yang dapat mengurangi vektor perubahan parameter model yang sangat besar adalah metoda inversi *Marquardt*. Metoda inversi *Marquardt* dapat membatasi *range* vektor perubahan parameter model (Loke, 2013:13), sehingga nilai vektor perubahan model yang dihasilkan tidak begitu besar. Nilai tersebut akan mereduksi tingkat kesalahan hasil analisis data.

Berdasarkan hal tersebut penulis telah melakukan penelitian yang berjudul *Penentuan Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Inversi Marquardt Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang kedalaman dan jenis batuan dasar yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan serta dimanfaatkan untuk penelitian selanjutnya.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Kondisi topografi Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat yang dilalui oleh sesar aktif yang dikenal sebagai Sesar Bukit Jarat dan wilayahnya memiliki perbukitan curam. Kondisi ini diduga dapat menyebabkan getaran dan gerakan tanah.
2. Belum diketahui kedalaman dan jenis batuan dasar penyusun bawah permukaan bumi ditinjau dari nilai tahanan jenis menggunakan metoda inversi *Marquardt* di Desa Kampung Manggis, Padang Panjang Barat.

C. Batasan Masalah

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

1. Jumlah lintasan pengukuran pada penelitian ini adalah 4 lintasan.
2. Lokasi lintasan yang dipilih adalah lokasi yang dapat merentangkan kabel elektroda tanpa gangguan.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu berapakah kedalaman batuan dasar di desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat ditinjau dari nilai tahanan jenis menggunakan inversi *Marquardt* data Geolistrik Tahanan Jenis?

E. Pertanyaan Penelitian

Adapun pertanyaan dalam penelitian ini adalah:

1. Berapakah nilai tahanan jenis batuan dasar penyusun bawah permukaan menggunakan inversi *Marquardt* di Desa Kampung Manggis, Padang Panjang Barat?
2. Berapakah kedalaman dan jenis batuan dasar ditinjau dari nilai tahanan jenis menggunakan inversi *Marquardt* di Desa Kampung Manggis, Padang Panjang Barat?

F. Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui nilai tahanan jenis batuan dasar penyusun bawah permukaan menggunakan inversi *Marquardt* di Desa Kampung Manggis, Padang Panjang Barat.
2. Mengestimasi kedalaman dan jenis batuan dasar ditinjau dari nilai tahanan jenis menggunakan inversi *Marquardt* di Desa Kampung Manggis, Padang Panjang Barat.

G. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yaitu :

1. Informasi tentang kedalaman dan jenis batuan dasar penyusun bawah permukaan ditinjau dari nilai tahanan jenis menggunakan inversi *Marquardt* di Desa Kampung Manggis, Padang Panjang Barat.

2. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di Desa Kampung Manggis, Padang Panjang Barat.
3. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya baik di bidang Geologi maupun di bidang Geofisika lainnya yang berkaitan dengan kedalaman batuan dasar.
4. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Jurusan Fisika FMIPA UNP.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Batuan Dasar

Batuan merupakan bagian terluar dari litosfer yang disebut kerak bumi. Batuan tersusun atas berbagai jenis mineral. Mineral merupakan bahan padat anorganik yang terdiri dari unsur-unsur kimia dalam perbandingan tertentu (Djauhari, 2012:53). Unsur-unsur kimia penyusun litosfer ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Unsur-Unsur Utama pada Kerak Bumi (Litosfer)

No	Unsur	Rumus Kimia	Berat (%)
1	Oksigen	O	46,60
2	Silikon	Si	27,72
3	Alumunium	Al	8,13
4	Besi	Fe	5,00
5	Kalsium	Ca	3,63
6	Sodium	Na	2,83
7	Potassium	K	2,59
8	Magnesium	Mg	2,09
9	Titanium	Ti	0,44
10	Hydrogen	H	0,14
11	Posfor	P	0,12
12	Mangan	Mn	0,10
13	Sulfur	S	0,05
14	Carbon	C	0,03

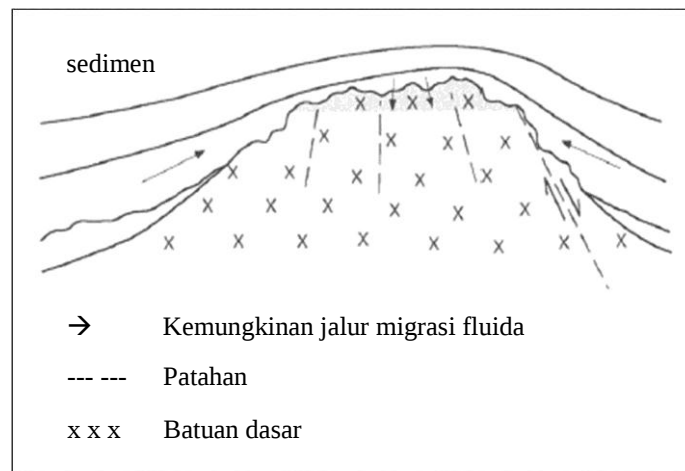
(Sumber: Hamblin, 2003:83)

Tabel 1 memperlihatkan bahwa unsur-unsur kimia yang dominan menyusun litosfer adalah Oksigen (O₂) dan Silikon (Si). Gabungan Oksigen dengan Silikon disebut kuarsa (*Quatz*). Kuarsa merupakan jenis mineral Silikat. Silikat merupakan material utama penyusun batuan di kerak bumi.

Silikat merupakan hasil dari pembekuan magma. Hamblin (2003:83) mengatakan bahwa berdasarkan komposisi silikatnya magma terbagi menjadi 2 jenis yaitu magma mafik dan magma silikat. Magma mafik mengandung sekitar 50% SiO_2 dengan suhu sekitar 1000°C sampai 1200°C . Sedangkan magma silikat mengandung lebih banyak mineral silikat yaitu berkisar dari 65% sampai 77%, dan umumnya memiliki suhu lebih rendah dari 850°C . Komposisi Silikat pada magma menyebabkan berbagai jenis batuan pada kerak bumi juga mengandung mineral Silikat.

Proses pembekuan magma membentuk batuan Beku disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor tersebut adalah proses pendinginan yang diakibatkan oleh udara. Magma yang bergerak menuju permukaan bumi akan bersentuhan dengan udara, sehingga membeku dan membentuk batuan dasar. Batuan dasar merupakan batuan Metamorf ataupun batuan Beku yang ditutupi oleh batuan Sedimen (Landes et al, 1960). Batuan Beku dan Metamorf tersebut mengalami proses sedimentasi membentuk jenis batuan baru, yaitu batuan Sedimen. Hal ini mengindikasikan batuan dasar lebih dahulu terbentuk dibandingkan batuan Sedimen.

Batuan dasar memiliki beberapa karakteristik yang menjadi pembeda dengan batuan lainnya. Batuan dasar ditutupi oleh lapisan sedimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik Batuan Dasar (Luthi, 2005: 96)

Berdasarkan Gambar 1, lapisan sedimen yang menutupi batuan dasar memberikan peluang adanya sedikit fluida pada batuan dasar. Keberadaan fluida tersebut mengindikasikan bahwa batuan dasar bersifat porositas dan permeabilitas. Porositas merupakan perbandingan antara volume batuan yang kosong terhadap volume batuan secara keseluruhan. Sedangkan permeabilitas batuan merupakan kemampuan batuan dalam menyerap fluida. Pori-pori pada batuan dasar terbentuk akibat adanya celah tektonik dan patahan. Celah tektonik dan patahan memungkinkan fluida mengalir dari lapisan sedimen sampai batuan dasar. Hal tersebut menjadi salah satu penyebab semakin ke atas tingkat pelapukan batuan dasar semakin meningkat.

Batuan dasar mempunyai nilai porositas dan permeabilitas yang sangat kecil (Sircar, 2004:148). Namun biasanya porositas yang berkembang pada batuan dasar adalah porositas sekunder. Menurut Sircar (2004:148),

“Porositas sekunder dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan asalnya, yaitu:

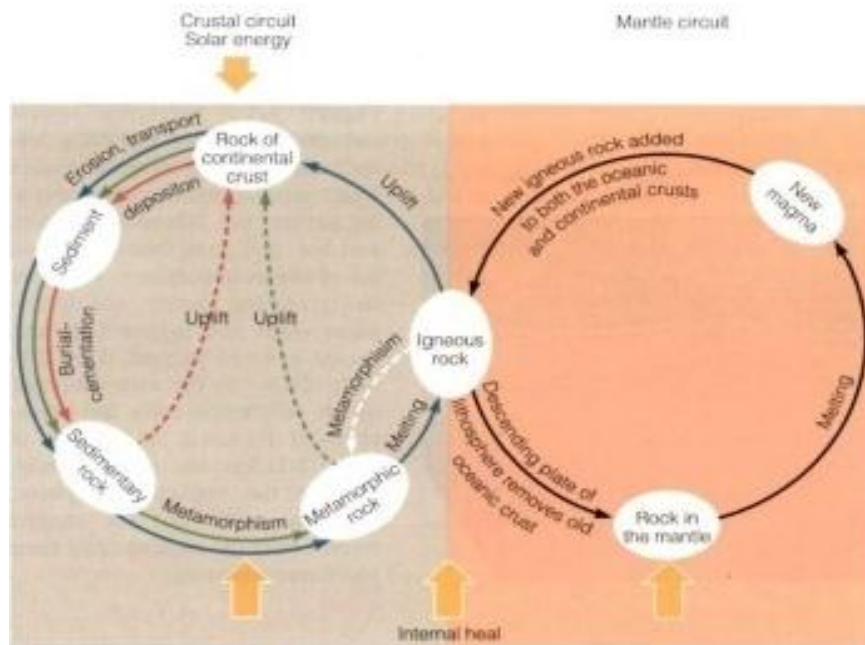
1. *Tectonic Porosity* yaitu berupa patahan, sesar, rekahan, dan sebagainya.

2. *Dissolution Porosity* yaitu efek dari adanya pelarutan pada zona pelapukan, ataupun juga dapat terjadi pada zona sesar yang berasosiasi dengan sirkulasi hidrotermal.”

Menurut Gutmanis (2012:3), nilai porositas batuan dasar adalah 0,1–1% dan nilai permeabilitas kecil dari 0,5%, kecuali pada zona lapuk yaitu berkisar antara 5-10%. Nilai porositas dan permeabilitas yang kecil juga menyebabkan batuan dasar memiliki sedikit kandungan fluida, seperti gas maupun cairan. Hal ini menjadi salah satu penyebab batuan dasar bertekstur keras dan arus listrik sulit mengalir melalui batuan ini.

Kedalaman batuan dasar dapat dijadikan sebagai salah satu acuan dalam menentukan kedalaman pondasi bangunan. Hal tersebut sesuai dengan Verhoef (1994) mengatakan, “Penentuan kedalaman batuan dasar merupakan hal yang penting dalam perencanaan pondasi bangunan”. Hal itu disebabkan karena setiap bangunan akan menimbulkan beban terhadap lapisan di bawahnya. Sebaiknya pondasi bangunan didirikan di atas lapisan batuan dasar yang memiliki tekstur yang keras, sehingga mampu menjadi landasan untuk menahan beban bangunan di atasnya.

Batuan dasar pada suatu daerah tergantung pada sejarah geologi daerah tersebut. Menurut Djauhari (2012:65), “Pada awalnya bagian luar bumi terdiri dari batuan beku”. Batuan tersebut mengalami perubahan akibat pengaruh lingkungan. Proses perubahan dari satu kelompok batuan ke kelompok batuan lainnya disebut siklus batuan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Siklus Batuan (Skinner and Porter, 1987:31)

Gambar 2 memperlihatkan siklus batuan dimana proses perubahan batuan dimulai dari terbentuknya batuan beku akibat proses pendinginan magma. Hal ini sesuai dengan Skinner and Porter (1987:29-30) yang menyatakan bahwa siklus batuan pada kerak benua (*continental crust*) dimulai dengan pembekuan magma yang menyebabkan terbentuknya batuan beku. Batuan beku akan mengalami pelapukan. Pelapukan batuan beku dapat menyebabkan terbentuknya jenis batuan baru. Menurut Abidin (2012), “Proses pelapukan suatu batuan tidak hanya mengubah batuan asal secara fisik dan kimiawi menjadi *soil*, tetapi dalam proses tersebut juga akan terjadi akumulasi unsur-unsur tertentu”. Batuan baru yang terbentuk merupakan batuan Sedimen.

Peningkatan temperatur dan tekanan pada batuan Sedimen menyebabkan terjadinya perubahan susunan kimia sehingga membentuk batuan Metamorf. Temperatur dan tekanan yang tinggi disebabkan oleh tumbukan dua lempeng yang bergerak dan saling berinteraksi. Tumbukan tersebut menyebabkan batuan-batuan pada kedalaman tertentu kembali mencair dan menjadi magma (Skinner and Porter, 1987:29-30). Batuan dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Batuan Beku

Proses pembekuan magma akan menghasilkan batuan beku. Batuan beku terbentuk akibat pendinginan magma. Tekstur dan ukuran butir dari batuan beku tergantung kepada proses dan tempat pembekuan magma (Skinner and Porter, 1987:96). Tempat pembekuan magma merupakan salah satu dasar dalam pengklasifikasian jenis batuan beku.

Batuan beku sering disebut sebagai batuan induk (*source rock*), karena merupakan fase awal terbentuknya batuan-batuan lain. Menurut Endarto (2005:23), “Karakteristik batuan beku memiliki bentuk yang kristalin, yaitu kenampakan suatu massa dari unit-unit kristal yang saling mengunci (*interlocking*)”. Struktur kristal tersebut cenderung berbutir halus akibat pendinginan yang cepat.

Batuan beku dikelompokkan menjadi dua, yaitu batuan beku ekstrusif dan batuan beku intrusif. Batuan beku ekstrusif terbentuk akibat pembekuan lava di permukaan bumi (Hamblin, 2003:94). Magma yang mencapai permukaan tanpa mengalami pembekuan akan mengalir keluar

sebagai lava dan membentuk batuan beku ekstrusif. Contoh batuan ini adalah batuan *Basalt*, *Andesite*, dan *Obsidian*. Batuan beku intrusif adalah batuan yang terbentuk akibat magma membeku di bawah permukaan bumi (Hamblin, 2003:102). Contoh batuan ini adalah batuan *Granit*, dan *Pegmatite*.

2. Batuan Sedimen

Batuan sedimen merupakan batuan yang mengalami proses pengangkutan oleh medium air, udara dan angin, sehingga terjadi perubahan secara fisik dan kimiawi. Batuan sedimen adalah batuan paling sering ditemukan di permukaan bumi yang terbentuk dari hasil pengendapan (sedimentasi), hasil erosi atau batuan yang terjadi akibat akumulasi mineral dari hasil perombakan batuan yang sudah ada sebelumnya (Skinner and Porter, 1987:100). Batuan sedimen merupakan hasil rombakan dari batuan beku, batuan metamorf dan batuan sedimen lainnya.

Batuan sedimen memiliki beberapa sifat utama. Menurut Endarto (2005:96),

“Sifat-sifat utama batuan sedimen yaitu:

- a. Adanya bidang perlapisan yaitu struktur sedimen yang menandakan adanya proses sedimentasi.
- b. Sifat klastik atau fragmen yang menandakan bahwa butir-butir pernah lepas.
- c. Sifat jejak atau adanya bekas-bekas tanda kehidupan (fosil).
- d. Memiliki struktur sedimen”.

Sifat-sifat utama batuan sedimen tersebut dapat dijadikan sebagai dasar pengklasifikasian jenis-jenis batuan.

Batuan sedimen terbagi atas 3, yaitu sedimen klastik (*clastic sediment*), sedimen kimia (*chemically precipitated sediment*) dan sedimen organik (*organic sediment*).

a. *Clastic Sediment*

Batuan sedimen klastik terbentuk akibat akumulasi partikel yang berasal dari pecahan batuan dan fosil (Skinner and Porter, 1987:101-102). Contoh batuan sedimen klastik beserta kisaran ukuran partikelnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Batuan Sedimen Klastik Beserta Nama Partikel dan Kisaran Ukurannya

Nama Partikel	Kisaran Ukuran Diameter (mm)	Nama Endapan yang Lepas	Nama Batuan Gabungan
Bongkahan	> 256	Kerikil	Konglomerat
Kerikil Kasar	64-256	Kerikil	Sedimen
Kerikil Halus	2-64	Kerikil	Breksi
Pasir	1/16-2	Pasir	Pasir
Debu	1/256-1/16	Debu	Pasir
Liat	< 1/256	Liat	Tanah liat, lempung dan <i>shale</i>

(Sumber: Skinner and Porter, 1987:102)

Tabel 2 menunjukkan bahwa batuan sedimen klastik terdiri dari mineral-mineral yang diperoleh dari pemecahan batuan beku atau batuan metamorf, dan batuan sedimen yang berukuran lebih besar dari 256 mm pecah menjadi bagian yang sangat kecil seperti pasir, debu dan liat.

b. *Chemically Precipitated Sediment*

Batuan sedimen kimia adalah batuan yang terbentuk akibat proses kimia seperti pelarutan, penguapan, pengendapan dan sebagainya. Contoh hasil pengendapan secara kimia adalah batu Gamping. Batu Gamping yang larut akibat air hujan akan menjadi larutan air kapur. Tetesan air kapur tersebut dapat membentuk stalaktit di atap gua dan stalagmit di dasar gua. Hasil sedimen kapur tersebut merupakan batuan sedimen kimia.

c. *Organic Sediment*

Batuan sedimen organik terbentuk akibat akumulasi sisa-sisa organisme seperti daun, ranting, dan makhluk hidup yang telah mati. Sisa-sisa organisme tersebut tertimbun dan mengalami pengendapan. Salah satu contoh sedimen organik yang sering dimanfaatkan sebagai bahan bakar adalah batu Bara (*Coal*).

3. Batuan Metamorf

Batuan metamorf terbentuk akibat perubahan suhu dan tekanan. Batuan yang mengalami perubahan suhu dan tekanan akan menghasilkan tekstur dan kumpulan mineral baru (Skinner and Porter, 1987:138). Perubahan yang dialami batuan ini menghasilkan karakteristik mineral baru yang jarang ditemui pada batuan beku dan batuan sedimen.

Batuan metamorf mengalami perubahan untuk mencapai keseimbangan pada kondisi tekanan dan suhu yang baru. Menurut Djauhari (2012:102),

“Ada 3 faktor yang mempengaruhi perubahan pada batuan, yaitu:

- a. Kandungan fluida (terutama air) yang terdapat dalam batuan. Air yang ada dalam batuan berfungsi sebagai katalisator dalam mentransformasi mineral yang terdapat dalam batuan.
- b. Suhu, reaksi kimia akan terjadi lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi.
- c. Waktu, munculnya kelompok mineral metamorfik yang baru pada suatu batuan sangat dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur yang bekerja terhadap batuan tersebut, umumnya batuan tersebut harus mendapat tekanan dan temperatur yang cukup lama (ribuan hingga jutaan tahun)”.

Faktor-faktor tersebut akan menyebabkan perubahan mineral menjadi mineral yang lebih stabil pada kondisi tertentu. Beberapa contoh batuan metamorf, yaitu : *Slate, Filit, Gneiss, Sekis dan Marmer*.

B. Tahanan Jenis Batuan

Sifat materi dalam menghantarkan (konduktansi) dan menghambat (resistansi) arus listrik dapat ditentukan oleh gerakan elektron bebas. Tahanan jenis merupakan sifat fisika yang menunjukkan kemampuan material dalam menghambat aliran arus listrik (Marescot, 2009:13). Interaksi antara satu atom dengan atom lainnya dalam suatu materi dapat menyebabkan beberapa elektron lepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Elektron bebas ini akan menentukan sifat materi tersebut dalam menghantarkan arus listrik.

Material dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan kemampuannya dalam mengalirkan arus yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor. 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. Telford et al (1976:450) menyatakan bahwa secara umum berdasarkan nilai tahanan jenisnya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi :

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 : $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$.

Aliran arus listrik di dalam batuan/mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam (Loke, 2013:5), yaitu :

1. Konduksi elektronik, terjadi jika batuan/mineral mempunyai banyak elektron bebas, sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan/mineral tersebut oleh elektron-elektron bebas itu.
2. Konduksi elektrolitik, terjadi jika batuan/mineral bersifat porus dan pori-pori tersebut terisi oleh cairan elektrolitik. Pada kondisi ini arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolit.
3. Konduksi dielektrik, terjadi jika batuan/mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, yaitu terjadi polarisasi saat bahan dialiri listrik.

Aliran arus di bawah permukaan bumi akan menentukan sifat kelistrikan batuan. Sifat kelistrikan batuan dapat dilihat dari nilai tahanan jenis. Hal ini sesuai dengan Reynolds (1997:418) menyatakan bahwa sifat kelistrikan dari batuan tergantung pada nilai tahanan jenis. Tahanan jenis dilambangkan dengan (ρ) dengan satuan ohmmeter (Ωm). Nilai tahanan jenis batuan Beku dan Metamorf dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Tahanan Jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorf

Batuan	Tahanan Jenis (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>Tufts</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>Marmer</i>	$10^2 - 2,5 \times 10^8$ (kering)
<i>Skarn</i>	$2,5 \times 10^2$ (basah) – $2,5 \times 10^8$ (kering)
<i>Quartzites (various)</i>	$10 - 2 \times 10^8$

(Sumber: Telford et al,1976:455)

Nilai tahanan jenis batuan sedimen dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Tahanan Jenis Batuan Sedimen

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

(Sumber: Telford et al, 1976:454)

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 diketahui bahwa batuan Beku memiliki nilai tahanan jenis yang paling tinggi. Sedangkan batuan Sedimen memiliki nilai tahanan jenis paling rendah.

C. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis (*Resistivity*)

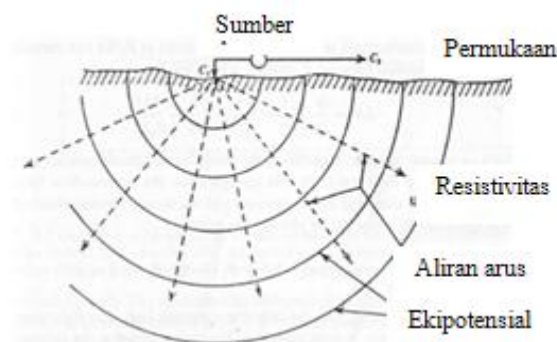
Metoda Geolistrik merupakan salah satu metoda yang digunakan dalam eksplorasi Geofisika. Metoda Geolistrik mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi. Menurut Lilik (1990), “Pengukuran Geolistrik meliputi pengukuran potensial dan pengukuran arus, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi”. Kutipan di atas menunjukkan bahwa metoda Geolistrik memiliki beberapa jenis pengukuran, salah satunya metoda Geolistrik Tahanan Jenis.

Arus listrik diinjeksikan menggunakan 2 buah elektroda arus yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Sudaryo (2008:120)

mengatakan bahwa, “Semakin panjang jarak elektroda arus akan menyebabkan aliran arus listrik menembus batuan lebih dalam”. Aliran arus listrik tersebut dihasilkan dari perbedaan potensial yang dapat diukur melalui 2 buah elektroda potensial.

Tahanan jenis batuan dapat dihitung berdasarkan nilai arus yang diinjeksikan dan nilai beda potensial yang diukur. Hasil penginjeksian arus listrik dan pengukuran beda potensial untuk setiap jarak elektroda tertentu, dapat ditentukan variasi harga tahanan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur (Ardi, Nanang, Iriyanti, 2009:80). Variasi tahanan jenis batuan dapat diamati dengan mengubah spasi elektroda sesuai dengan konfigurasi yang digunakan saat pengukuran.

Aliran arus listrik di permukaan bumi dinyatakan dengan mengasumsikan bahwa bumi sebagai medium homogen isotropis. Arus yang dialirkan akan mengalir ke segala arah, namun udara mempunyai tahanan jenis yang sangat besar, sehingga arus tidak dapat mengalir ke udara. Hal ini menyebabkan sebaran aliran arus hanya ke bawah permukaan dengan ekipotensial berbentuk setengah bola seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Titik Sumber Arus Pada Permukaan Bumi dari Medium Homogen (Telford et al, 1976:635)

Aliran arus pada medium dapat dinyatakan menggunakan hukum Ohm, dimana hubungan antara rapat arus J dengan kuat medan listrik E dapat ditulis dalam bentuk Persamaan (1).

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

dimana σ adalah daya hantar listrik. Jika besar kuat medan listrik, $E = \frac{V}{L}$ maka diperoleh $J = \sigma \frac{V}{L}$, sehingga kuat arus I dapat ditulis menjadi Persamaan (2).

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

dimana A merupakan luas penampang kawat penghantar dan L merupakan panjang kawat penghantar. Persamaan (2) menunjukkan bahwa saat σ konstan, arus total I sebanding dengan beda potensial V .

Hambatan merupakan kemampuan bahan penghantar dalam menghambat aliran arus. Satuan hambatan adalah ohm (Ω). Secara matematis hambatan dinyatakan dengan:

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

Hubungan hambatan R dengan konduktivitas σ pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan Persamaan (4).

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

Tahanan jenis ρ merupakan kemampuan medium dalam menghambat aliran arus listrik akibat jumlah elektron dan kerapatan atom pada medium

tersebut. Satuan dari tahanan jenis adalah ohmmeter (Ωm). Hubungan antara tahanan jenis ρ dengan konduktivitas σ adalah seperti Persamaan (5).

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

Persamaan (4) disubstitusi ke Persamaan (5), sehingga didapatkan Persamaan (6).

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

Berdasarkan Persamaan (6) dapat dilihat bahwa tahanan jenis dengan kuat arus memiliki hubungan berbanding terbalik. Semakin besar nilai tahanan jenis suatu bahan/material maka arus listrik akan semakin sulit mengalir.

Jika medium homogen isotropis dengan luas A dialiri arus listrik I , maka kerapatan arus J dapat dihitung menggunakan persamaan (2). Persamaan (5) disubstitusikan ke Persamaan (1), sehingga diperoleh hubungan antara kerapatan arus J (dalam Ampere/meter²) dengan tahanan jenis ρ yaitu:

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (7)$$

Medan listrik E merupakan gradien potensial, yaitu perbedaan potensial antara kedua titik yang diinjeksikan arus listrik dan dinyatakan oleh Persamaan (8).

$$E = -\nabla V = -\frac{dV}{dr} \quad (8)$$

dimana tanda (-) menunjukkan bahwa potensial semakin berkurang terhadap jarak arus dari sumber (Reynolds, 1997:424). Medan listrik E pada

Persamaan (7) disubstitusikan ke Persamaan (8) akan menunjukkan hubungan antara gradien potensial dengan tahanan jenis ρ dan kerapatan arus J pada Persamaan (9).

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

Jika kerapatan arus J pada Persamaan (2) disubstitusikan ke Persamaan (9) akan menghasilkan hubungan antara gradien potensial dengan luas permukaan A dan arus listrik I seperti Persamaan (10).

$$\frac{dV}{dr} = -\rho \frac{I}{A} \quad (10)$$

A adalah luas permukaan ruang ekipotensial setengah bola (Reynolds, 1997:419). Khusus untuk aliran arus dalam bumi, luas permukaan distribusi arus membentuk permukaan setengah bola dengan luas permukaan adalah $2\pi r^2$. Jadi, beda potensial dV yang terjadi pada elemen jarak dr oleh sumber arus I adalah:

$$dV = -\rho \frac{I}{2\pi r^2} dr \quad (11)$$

Beda potensial V dan $V+dV$ dihitung dengan mengintegrasikan Persamaan (11), sehingga diperoleh Persamaan (12),

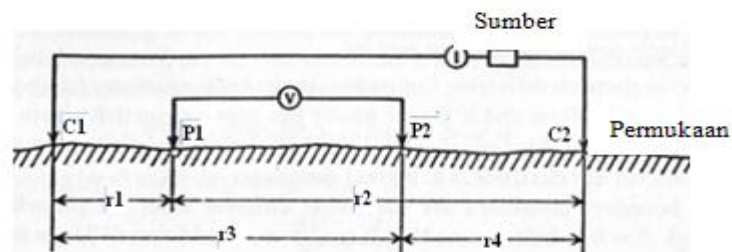
$$V(r+dr) - V(r) = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

atau

$$V(r) = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (12)$$

D. Susunan Elektroda pada Metoda Geolistrik

Pengukuran pada metoda Geolistrik menggunakan 2 elektroda potensial dan 2 elektroda arus. Ketika jarak diantara dua elektroda arus terbatas, potensial pada titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut (Telford et al, 1976:636). Susunan elektroda pada pengukuran Geolistrik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di Atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas (Sumber: Telford et al. 1976 : 636)

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa,

r_1 = jarak antara P_1 dengan C_1 ,

r_2 = jarak antara P_1 dengan C_2 ,

r_3 = jarak antara P_2 dengan C_1 ,

r_4 = jarak antara P_2 dengan C_2 .

Potensial yang disebabkan oleh C_1 pada P_1 adalah

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} = \frac{I\rho}{2\pi r_1} \quad (13)$$

dimana A merupakan luas seluruh aliran arus pada ruang yang berbentuk setengah bola (Telford,1976:635).

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

Sama halnya potensial yang disebabkan oleh C_2 pada P_1 adalah

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

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

kemudian diperoleh:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (15)$$

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

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (16)$$

dapat juga ditulis

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi G} = \frac{I\rho}{K} \quad (17)$$

dimana $K = 2\pi G$, sehingga

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

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 spasi antara elektroda-elektroda. Artinya, K bergantung pada konfigurasi yang digunakan.

E. Konsep Bumi Sebagai Medium Berlapis Non-Homogen

Bumi merupakan medium berlapis non-homogen dengan tahanan jenis yang bervariasi, sehingga nilai tahanan jenis yang terukur pada metoda Geolistrik bukanlah tahanan jenis yang sesungguhnya, melainkan tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) (Akman, 2004:596). Konsep tahanan jenis semu menganggap medium dua lapis dengan resistivitas berbeda (ρ_1 dan ρ_2) sebagai medium satu lapis homogen yang memiliki satu nilai resistivitas yaitu resistivitas semu ρ_a , sehingga Persamaan (18) menjadi:

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

dimana ρ_a adalah tahanan jenis semu yang nilainya bergantung pada jarak elektroda. Tahanan jenis semu tidak secara langsung menunjukkan nilai tahanan jenis batuan, namun mencerminkan distribusi nilai tahanan jenis batuan di bawah permukaan. Hal ini disebabkan karena bumi merupakan medium non-homogen, sehingga diperlukan sebuah pendekatan sederhana yang mengansumsikan bumi sebagai medium isotropis dalam penentuan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan bumi.

Bumi diasumsikan sebagai medium homogen isotropis dan tidak memiliki sumber arus. Jika di dalam suatu medium isotropis tidak terdapat arus, maka integral kerapatan arus dalam elemen luas permukaan medium bernilai nol, seperti yang dinyatakan Persamaan (21).

$$\int J \cdot dA = 0 \quad (21)$$

Menurut Hukum Gauss $\oint J \cdot dA = \int \nabla \cdot J \cdot dV = 0$, sehingga didapatkan Persamaan Hukum Kekekalan Muatan seperti pada Persamaan (22).

$$\nabla \cdot J = -\nabla \cdot \nabla(\sigma V) = 0 \quad (22)$$

Pada medium homogen isotropis nilai $\nabla \sigma = 0$, sehingga diperoleh persamaan Laplace sebagai berikut.

$$\nabla^2 V = 0 \quad (23)$$

Bumi mempunyai sifat simetri silinder, sehingga digunakan sistem koordinat silinder, maka potensial V merupakan fungsi dari r dan z saja. Persamaan Laplace dipecahkan dengan melakukan separasi variabel, yaitu dengan memisalkan:

$$V(r, z) = R(r)Z(z) \quad (24)$$

Sehingga solusi umum Persamaan Laplace dapat dituliskan dalam bentuk:

$$\frac{1}{R(r)} \frac{d^2}{dr^2} R(r) + \frac{1}{R(r)} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} R(r) + \frac{1}{Z(z)} \frac{d^2}{dz^2} Z(z) = 0 \quad (25)$$

Bila bumi diasumsikan sebagai medium homogen isotropis, maka potensial listrik yang ditimbulkan oleh sebuah titik sumber di permukaan adalah:

$$V_0 \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{R} = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{(r^2 + z^2)^{1/2}} \quad (26)$$

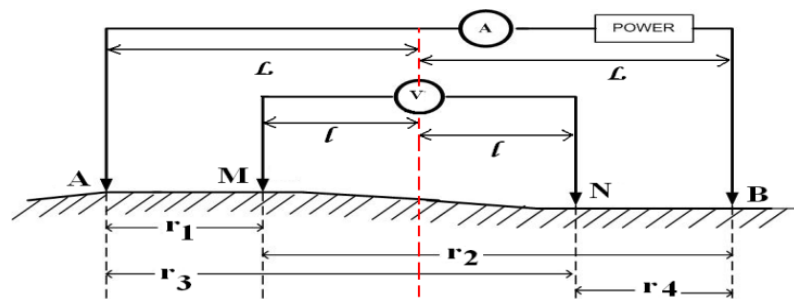
Potensial yang ditimbulkan oleh sebuah titik sumber di permukaan dapat dianggap sebagai jumlah dari potensial karena adanya bidang-bidang batas yang dinyatakan pada Persamaan (27).

$$V(r, z) = \int_0^\infty \{A(\lambda)e^{-\lambda z} + B(\lambda)e^{\lambda z}\} J_0[\lambda r] d\lambda \quad (27)$$

dimana $\lambda = x/r$ merupakan konstanta orde fungsi Bessel, $J_0(\lambda r)$ merupakan fungsi Bessel orde nol. A dan B yang ada pada λ merupakan suatu konstanta yang bergantung pada tahanan jenis dan kedalaman.

F. Konfigurasi Schlumberger

Konfigurasi *Schlumberger* merupakan konfigurasi pada metoda Geolistrik Tahanan Jenis yang menggunakan empat buah elektroda, yaitu dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang disusun dalam satu garis lurus, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi *Schlumberger* (Reynolds, 1997)

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

$$r_1 = (L-l) \quad r_2 = (L+l)$$

$$r_3 = (L+l) \quad r_4 = (L-l)$$

dengan:

$$L = AB/2 \text{ dan } l = MN/2$$

Jarak masing-masing elektroda disubsitusikan ke persamaan (16) sehingga diperoleh harga K untuk konfigurasi *Schlumberger*, sebagai berikut (Telford: 1976: 536).

$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \quad (28)$$

Berdasarkan harga K yang diperoleh pada persamaan (28), maka dapat dirumuskan harga tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) untuk konfigurasi *Schlumberger* yaitu:

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \frac{\Delta V}{I} \quad (29)$$

dimana L adalah jarak $AB/2$ atau jarak elektroda arus (m), l adalah jarak $NM/2$ atau jarak elektroda potensial (m), ΔV adalah beda potensial (mV), dan I adalah kuat arus (mA).

Konfigurasi *Schlumberger* banyak digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan batuan dasar di bawah permukaan. Konfigurasi ini mempunyai keunggulan dalam kemampuan penetrasi arus yang lebih dalam yaitu 1/5 dari panjang lintasan dan kemampuan untuk mendeteksi adanya *non homogenitas* lapisan batuan dibawah permukaan.

G. Metoda Inversi Marquardt

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran diolah menggunakan bantuan persamaan matematika dengan metoda tertentu. Salah satu persamaan matematika yang digunakan untuk menginterpretasikan data hasil pengukuran adalah metoda inversi. Menurut Supriyanto S (2007:1), “Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistika untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan”. Hal ini sesuai dengan Loke (1999), inversi dalam dunia Geofisika merupakan teknik untuk

mencari sebuah model yang memberikan respon yang sama dengan nilai yang sebenarnya terukur. Metoda inversi dapat menerjemahkan parameter Geofisika sesuai dengan keadaan yang sebenarnya, seperti bentuk penampang bawah permukaan bumi.

Analisa data lapangan dalam proses inversi dilakukan dengan cara *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan (Supriyanto S, 2007:1). Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*). Parameter fisis yang akan diestimasi adalah tahanan jenis dan kedalaman batuan.

Menurut Hendra G (2009:143), dalam pemodelan inversi Geolistrik, data dinyatakan sebagai $\mathbf{d} = [\rho_a^i]$ yaitu resistivitas semu dengan $i = 1, 2, \dots, N$ dan N adalah jumlah data. Model resistivitas bawah permukaan adalah $\mathbf{m} = [\rho_k, h_k]$. Jumlah parameter model adalah $M=2n-1$ karena model terdiri dari n lapisan terdapat n harga resistivitas dan $n-1$ harga kedalaman lapisan (asumsi lapisan terakhir memiliki kedalaman tak hingga).

Menurut Raghel Y (2007), fungsi pemodelan untuk konfigurasi *Schlumberger* pada metoda geolistrik dirumuskan sebagai persamaan,

$$\rho_a = s^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda s) \lambda d\lambda \quad (30)$$

dimana ρ_a adalah tahanan jenis semu (Ωm) sebagai fungsi dari resistivitas dan kedalaman (ρ_k, h_k) tiap lapisan $k=1, \dots, n$, dan n merupakan jumlah lapisan.

S adalah jarak elektroda arus $AB/2$, J_1 adalah fungsi Bessel orde 1 dan $T(\lambda)$ adalah fungsi transformasi resistivitas dinyatakan seperti Persamaan (31).

$$T(\lambda) = \int_0^{\infty} \rho_a(S) J_1(\lambda S) \frac{ds}{S} \quad (31)$$

$T(\lambda)$ disebut transformasi dari fungsi resistivitas semu, atau singkatnya disebut transformasi resistivitas. $T(\lambda)$ merupakan fungsi yang sama dengan fungsi $A(\lambda)$ pada Persamaan (27). Kedua fungsi tersebut bergantung pada parameter-parameter lapisan yaitu resistivitas dan ketebalan.

Salah satu metoda inversi yang digunakan dalam pengolahan data Geofisika, khususnya data Geolistrik Tahanan Jenis adalah metoda inversi *Marquardt*. Metoda inversi *Marquardt* efektif digunakan untuk membatasi *range* nilai komponen vektor perubahan parameter model (Δq) yang bisa diambil (Loke, 2013:12). Metoda *Marquardt* meminimalkan perbedaan antara nilai data terukur dan respon model (g) dan vektor perubahan model (Δq), sehingga dapat mengurangi nilai *error* dalam pengolahan data.

Persamaan inversi untuk data terukur diberikan Loke (2013: 12-13) dalam persamaan (32).

$$y = \text{col}(y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (32)$$

dimana m adalah jumlah pengukuran. Data terukur pada metoda Geolistrik adalah tahanan jenis semu (ρ_a). Sedangkan respon model yang diberikan oleh data terukur dinyatakan oleh persamaan (33).

$$f = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (33)$$

Respon dari sebuah model merupakan data sintetik yang didapat dari persamaan matematis yang mendefinisikan model tersebut untuk parameter-parameter yang diberikan (Loke, 1999).

Pada data Tahanan Jenis lebih praktis digunakan aturan logaritma dari nilai tahanan jenis semu untuk data terukur dan respon model (Loke, 2013:12). Logaritma sebuah model disebut dengan parameter model. Parameter model adalah nilai tahanan jenis (ρ) dan kedalaman (h). Parameter model dinyatakan oleh:

$$\mathbf{q} = \text{col}(\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots, \mathbf{q}_n) \quad (34)$$

dimana n adalah jumlah parameter model. Perbedaan antara data terukur dan respon model diberikan oleh vektor dispersi ($\mathbf{g}$):

$$\mathbf{g} = \mathbf{y} - \mathbf{f} \quad (35)$$

Pada metoda *Least Square*, model awal dimodifikasi sehingga jumlah kuadrat dari nilai $\mathbf{g}$ disebut nilai *error* sebesar E (Loke, 2013:12).

$$E = \mathbf{g}^T \mathbf{g} = \sum_{i=1}^n \mathbf{g}_i^2 \quad (36)$$

Nilai *error* dapat dikurangi dengan memperkecil perubahan parameter model menggunakan persamaan Gauss-Newton.

$$\mathbf{J}^T \mathbf{J} \Delta \mathbf{q}_i = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \quad (37)$$

dimana ($\Delta \mathbf{q}$) adalah vektor perubahan parameter model dan $\mathbf{J}$ adalah matriks Jacobian. Elemen dari matriks Jacobian yaitu,

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (38)$$

Artinya perubahan respon model ke- i akibat perubahan parameter model ke- j . Setelah menghitung perubahan parameter model, didapatkan model baru yaitu:

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{q}_k + \Delta \mathbf{q}_k \quad (39)$$

Vektor perubahan parameter model yang dihasilkan terkadang mempunyai nilai yang sangat besar, sehingga nilai yang dihasilkan kurang realistis. Untuk mengatasi hal tersebut, Marquardt melakukan modifikasi terhadap persamaan Gauss-Newton, sehingga dihasilkan persamaan Marquardt seperti diperlihatkan oleh persamaan (40).

$$(\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \lambda \mathbf{I}) \Delta \mathbf{q}_i = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \quad (40)$$

dimana $\mathbf{I}$ adalah matriks identitas dan λ adalah *damping factor* atau *Marquardt*. Persamaan ini biasa dikenal sebagai inversi *Marquardt* (Supriyanto, 2007:35) atau metoda *Damped Least-Squares* (Loke, 2013:12). Metoda ini meminimalkan perbedaan antara nilai data terukur dan respon model ($\mathbf{g}$) serta vektor perubahan model ($\Delta \mathbf{q}$) (Loke, 2013:12-13).

H. *Damping Factor* (λ)

Permasalahan inversi Geofisika umumnya merupakan kondisi *underdetermined* dan *overdetermined*. Salah satu strategi untuk menyelesaikan permasalahan inversi adalah dengan menggabungkan kriteria untuk mencari solusi optimum atau model terbaik. Pada kasus *overdetermined*, kriteria yang digunakan untuk menghasilkan solusi adalah dengan meminimumkan kesalahan prediksi data (*misfit*). Pada kasus

underdetermined, model atau solusi yang diharapkan adalah yang memiliki panjang vektor minimum (*norm*). Proses pencarian model dengan menggabungkan *misfit* dan *norm* model seperti Persamaan (41).

$$\Phi(\mathbf{m}) = E + \varepsilon^2 L = \mathbf{e}^T \mathbf{e} + \varepsilon^2 \mathbf{m}^T \mathbf{m} \quad (41)$$

dimana L adalah pengali Lagrange untuk memperkecil panjang vektor atau *norm* model ($L = \mathbf{m}^T \mathbf{m}$), E adalah kesalahan prediksi data (*misfit*), ε^2 adalah bilangan positif sebagai bobot relatif antara kedua faktor yang diminimumkan. Hendra G (2009:54) mengatakan bahwa nilai ε^2 dipilih berdasarkan ketentuan berikut:

1. Jika ε^2 dipilih sangat besar maka kesalahan solusi akan lebih dominan, sementara model belum tentu menghasilkan kesalahan prediksi data yang baik.
2. Jika $\varepsilon^2 = 0$ maka kesalahan prediksi data akan diminimumkan namun tidak ada informasi tambahan “*a priori*” yang digunakan untuk mencari nilai parameter model.

Faktor redaman harus dipilih sedemikian rupa, sehingga menyatakan hubungan antara masing-masing faktor yang diminimumkan. Umumnya ε^2 ditentukan secara *trial and error*, kemudian melalui mekanisme tertentu dipilih diantara harga ε^2 dengan menerapkan salah satu dari kriteria berikut:

1. *Norm* model minimum dengan kesalahan prediksi data yang berada di bawah harga standar deviasi.
2. Kesalahan prediksi data minimum dengan *norm* model L sama dengan nilai *damping factor*.

Harga L menurun sebagai fungsi ε^2 , sementara E meningkat sesuai peningkatan ε^2 .

Kesalahan prediksi data E diminimumkan terhadap Persamaan (41). Menurut Hendra G (2009:54), “Harga minimum dari $\Phi(m)$ diperoleh dengan mencari turunan $\Phi(m)$ terhadap parameter model m , sehingga diperoleh solusi inversi linier teredam (*Damped linier Inversion*)” yaitu:

$$m = [G^T G + \varepsilon^2 I]^{-1} G^T d \quad (42)$$

Istilah redaman atau *damping* untuk estimasi parameter model sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (42) berhubungan dengan proses meredam ketidakstabilan yang mungkin timbul akibat keterbatasan data pada inversi yang termasuk *underdetermined* (Hendra G, 2009:54). Konsep minimisasi kesalahan pada inversi linier biasa diperluas menjadi minimisasi kesalahan prediksi data dan kesalahan solusi.

Secara matematis, penambahan ε^2 pada setiap elemen matriks $[G^T G]$ seperti Persamaan (42) dapat menstabilkan proses inversi matriks tersebut. Jika ε^2 sangat kecil atau mendekati nol maka solusi akan menghasilkan bilangan yang sangat besar (Hendra G, 2009:54). Artinya, parameter *damping factor* berfungsi meredam ketidakstabilan proses inversi matriks tersebut.

I. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Kota Padang Panjang merupakan daerah yang secara topografi berada pada dataran tinggi dengan ketinggian 650 m sampai 850 m dpl, sekitar 79,83 % dari keseluruhan wilayahnya merupakan kawasan miring, curam dan perbukitan dengan kemiringan di atas 15^0 , sedangkan selebihnya merupakan kawasan yang relatif landai. Kondisi ini diduga dapat memicu terjadinya gerakan tanah atau longsor akibat struktur tanah yang labil dan curah hujan yang cukup tinggi.

Kondisi geologi daerah penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1. Berdasarkan data geologi pada Lampiran 1 dapat dilihat bahwa Desa Kampung Manggis disusun oleh 2 batuan utama, yaitu batuan gunung api *Breksi Andesite* dan batuan *Pasir Tufaan*.

J. Penelitian-Penelitian yang Relevan

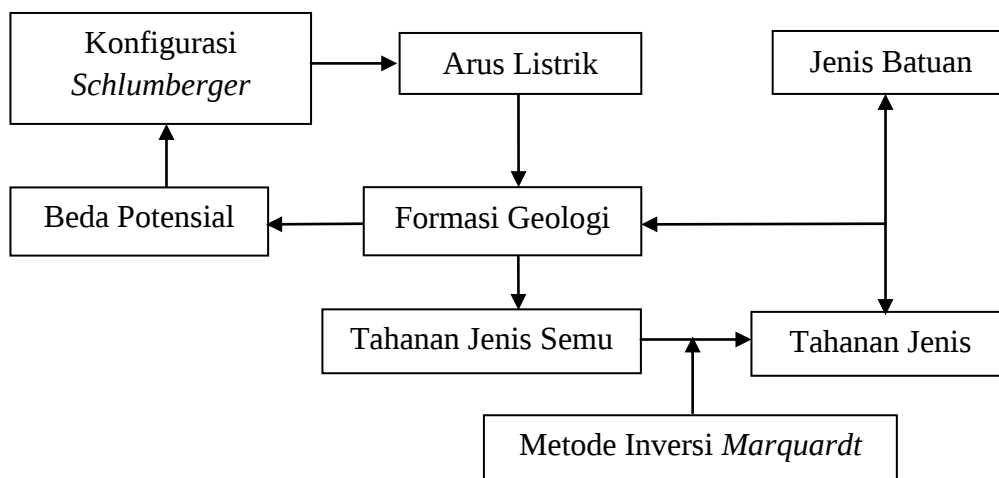
Penelitian menggunakan metoda Geolistrik Tahanan Jenis untuk mengidentifikasi batuan dasar di bawah permukaan telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Rizalmi (2012) telah melakukan penelitian di Universitas Negeri Padang kampus Air Tawar. Penelitian ini dibagi menjadi beberapa lintasan dan menyimpulkan bahwa batuan dasar terdapat pada lintasan 2 (Gerbang UNP-FT) pada kedalaman $> 23,85$ m dengan nilai tahanan jenis $21,9\text{--}97,7 \Omega\text{m}$. Pada lintasan 3 (FIK-Lab Biologi) terdapat batuan dasar pada kedalaman 43,4 m dengan nilai tahanan jenis $88,6\text{--}179,8 \Omega\text{m}$. Jenis batuan dasar yang terdapat di daerah ini diduga merupakan batuan

dasar jenis *Andesite* yang menjadi dasar batuan bagi lapisan batuan di atasnya yaitu *Clays*, *Sandstones*, *Alluvium* dan *Sands*.

Lismalini (2013) melakukan penyelidikan bidang gelincir di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat menggunakan inversi *Least-Square*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa bidang gelincir berupa bidang lurus dan sejajar dengan muka tanah (*Translational Slip*) dengan batuan penyusun bidang gelincir terbentuk dari batuan Gamping (*Limestone*). Nilai tahanan jenis bidang gelincir 1 berkisar 142,00 - 273,00 Ωm di kedalaman 10,30 m dan nilai tahanan jenis bidang gelincir 2 berkisar 121,00–225,00 Ωm di kedalaman 10,80 m.

K. Kerangka Berfikir

Penelitian ini menggunakan metoda Geolistrik Tahanan Jenis. Metoda ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik ke bawah permukaan bumi melalui elektroda arus dan mengukur beda potensial melalui elektroda potensial seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Kerangka Berfikir

Berdasarkan Gambar 6, penelitian ini menggunakan konfigurasi *Schlumberger*. Variasi beda potensial dan kuat arus disebabkan oleh variasi nilai tahanan jenis bawah permukaan. Bumi merupakan medium non homogen, sehingga nilai tahanan jenis terukur bukanlah nilai tahanan jenis sesungguhnya atau tahanan jenis semu. Tahanan jenis semu diolah dengan *software* Res2dinv menggunakan metode inversi *Marquardt*, sehingga didapatkan nilai tahanan jenis sesungguhnya. Nilai tahanan jenis diinterpretasikan berdasarkan formasi geologi daerah penelitian dan tabel nilai tahanan jenis, sehingga didapatkan jenis dan kedalaman batuan pengusun bawah permukaan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

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

1. Batuan dasar dengan rentangan nilai tahanan jenis 170,10-1658 Ωm dapat ditemukan pada lintasan 1, lintasan 3 dan lintasan 4. Batuan tersebut diinterpretasikan sebagai batuan *Andesite*.
2. Batuan dasar jenis *Andesite* pada lintasan 1 dapat ditemukan pada kedalaman lebih dari 35 m. Pada lintasan 3 dan lintasan 4 batuan dasar dapat ditemukan pada kedalaman lebih dari 8 m.
3. Nilai *error* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan pengolahan data menggunakan metoda inversi lainnya, yaitu pada lintasan 1 sekitar 2%, lintasan 2 sekitar 1.8%, lintasan 3 sekitar 2% dan lintasan 4 sekitar 1.9%.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka disarankan:

1. Pembangunan pondasi infrastruktur di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat sebaiknya mencapai kedalaman batuan dasar. Hal tersebut untuk mengurangi kerusakan infrastruktur akibat terjadinya peristiwa getaran dan pergerakan tanah.

2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan metoda yang berbeda sebagai perbandingan tentang sifat fisis dari batuan dasar seperti porositas, permeabilitas dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin HZ 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.
- Ardi, Nanang Dwi, Iriyanti Mimin. (2009). "Profil Resistivitas 2D pada Gua Bawah Tanah Dengan Metoda Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger di Bandung". *Jurnal Pengajaran MIPA, Vol 14 no 2*. Hal 79-86.
- Arman Y. 2012. "Identifikasi Struktur Bawah Tanah di Kelurahan Pangmilang Kecamatan Singkawang Selatan Menggunakan Metoda Geolistrik Resistivitas dan Inversi Lavenberg-Marquardt". *Jurnal. Positron, Vol. II No 1 (2012)* Hal. 06-11.
- Djauhari, Noor. 2012. "Pengantar Geologi". Fakultas Teknik: Universitas Pakuan. Hlmn 65.
- Endarto, Danang. 2005. "Pengantar Geologi". Surakarta: UNS Press.
- 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.
- Hariyadi. 2006. "Penentuan Kedalaman Aquifer Air Asin di Daerah Ngaglik Sambi Boyolali Menggunakan Metoda Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Hendra Grandis .2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Landes, K.K. et al. 1960. "Petroleum Resources In Basement Rocks". *AAPG Bull.* 1960, 44, 1682-1691.
- Loke, M.H. 1999. "Electrical Imaging Surveys For Enviromental And Engineering Studies, A practical Guide to 2-D and 3-D surveys". Diunduh dari: www.geometrics.com

- Loke, M.H. 2013. "Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys". Diunduh dari: www.geometrics.com
- Lilik, Hendrajaya. Idam Arif. 1990. "Geolistrik Tahanan Jenis". Bandung: Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA ITB
- Luthi S M. 2005 . "Fractured Reservoir Analysis Using Modern Geophysical Well Techniques : Aplication to Basement Reservoirs in Vietnam". *Jurnal. Geological Society*. Hal 95-106.
- Marescot, Laurent. (2009). *Electrical Surveying*. Swiss: University of Fribourg.
- Pusat survei Geologi dan BAPPEDA kota Padang panjang. (2005). "Kajian Penilaian Resiko Bencana Gempabumi dan Bahaya Gunung berapi dikota Padang Panjang".
- Raghel Yunginger. 2007. *Medan Listrik Dari Elektroda Arus Pada Bumi Berlapis*. Hal 1-6. Gorontalo: UNG
- Reynolds, J M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysich*. New York: John Wiley and Sons.
- Sircar, A. 2004. Hydrocarbon Production from Fractured Basement Formations. *Jurnal. Current Science*. Vol. 87. No.2. Hlm 147-148
- Skinner and Porter. 1987. "Physical Geology". New York: Universitas of Washington.
- Sudaryo B, Afifah R H. 2008. "Pengolahan Data Geolistrik Dengan Metoda Schlumberger". Fakultas Teknik : Universitas Diponegoro, *Jurnal ISSN 0852-1697, Vol. 29 No.2 Tahun 2008*.
- Supriyanto S, 2007. "Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi". Depok: Universitas Indonesia.
- Telford, W.M. *et al* (1976). "Applied Geophysics". USA: Cambridge University Press.
- Verhoef ,P.N.W. 1994. *Geologi Untuk Tehnik Sipil*. Terjemahan. E.Diraatmaja. cetakan ketiga, Jakarta : Erlangga