

INVESTIGASI *AQUIFER* DENGAN METODE INVERSI *SMOOTHNESS-CONSTRAINT LEAST SQUARES* DATA GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI BUKIT APIT PUHUN KECAMATAN GUGUK PANJANG KOTA BUKITTINGGI

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



IMRAN RAZAT
(1101452/2011)

PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2015

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Investigasi *Aquifer* Dengan Metode Inversi
Smoothness-Constraint Least Squares Data Geolistrik
Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Bukit
Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota
Bukittinggi

Nama : Imran Razat

NIM/BP : 1101452/2011

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

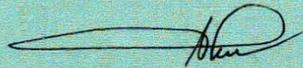
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 23 April 2015

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Drs. Akman, M.Si
Nip: 19630526 198703 1 003



Drs. Mahrizal, M.Si
Nip: 19510512 197603 1 005

PENGESEHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Imran Razat
NIM/BP : 1101452/2011
Prodi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

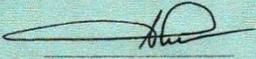
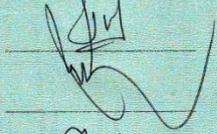
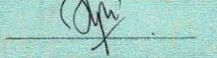
dengan judul

**INVESTIGASI *AQUIFER* DENGAN METODE INVERSI
SMOOTHNESS-CONSTRAINT LEAST SQUARES DATA
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI *SCHLUMBERGER*
DI BUKIT APIT PUHUN KECAMATAN GUGUK PANJANG KOTA
BUKITINGGI**

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

Padang, 27 April 2015

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Drs. Akmam, M.Si	
Sekretaris	: Drs. Mahrizal, M.Si	
Anggota	: Syafriani, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Harman Amir, S.Si, M.Si	
Anggota	: Dra. Hidayati, 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, 7 Juli 2015

Yang menyatakan,



Imran Razat
1101452/2011

ABSTRAK

Imran Razat : Investigasi *Aquifer* Dengan Metode Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* Di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi

Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi merupakan salah satu daerah yang perlu diketahui informasi mengenai kedalaman lapisan *aquifer*. Bukit Apit Puhun terletak di dekat Ngarai Sianok yang merupakan lembah yang dikelilingi bukit yang tersusun oleh lapisan batuan beku. Lapisan batuan di Ngarai Sianok diasumsikan dapat menyimpan cadangan air tanah. Oleh karena itu telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kedalaman lapisan *aquifer* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.

Penelitian ini bersifat deskriptif menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger*. Data Penelitian diambil pada 5 Lintasan menggunakan ARES (*Automatic Resistivitymeter*). Hasil analisis data diinterpretasikan menggunakan inversi *Smoothnes-Constraint Least Square* dengan bantuan *Software Res2dinv*. Hasil interpretasi data berupa nilai tahanan jenis sebenarnya dan kedalaman lapisan material daerah penelitian. Estimasi data dilakukan dengan membandingkan nilai tahanan jenis sebenarnya dengan tabel tahanan jenis dan geologi daerah penelitian, sehingga diperoleh kedalaman lapisan *aquifer*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material yang terdapat di daerah Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi, yaitu *Clay*, *Sandstone*, *Limestone*, dan *Andesite*. Material yang terdapat di daerah penelitian menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah resapan air dengan tidak ditemukannya lapisan *aquifer* di setiap Lintasan. Hasil penelitian ini diperkuat dengan tidak ditemukannya sumur disekitar lokasi Lintasan pengukuran.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Investigasi *Aquifer* dengan Metode Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.**

Adapun penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis mendapatkan bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak selama penyelesaian skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

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

7. Bapak dan Ibu staf Pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. DP2M DIKTI yang telah memberikan bantuan dana penelitian ini melalui PKM 2014.
9. Edi Kurnia, S.Si, Basra Kurniawan, S.Si, Herawati, S.Si, Bavitra, Mia Azhari dan teman-teman tim Geolistrik 2011, terima kasih atas bantuan teknis selama pengambilan data.
10. Kedua orang tua yang selalu memberi semangat dan mendukung penulis.
11. Teman-teman seangkatan dan seperjuangan.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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.

Padang, 7 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Pembatasan Masalah	5
D. Perumusan Masalah	6
E. Pertanyaan Penelitian	6
F. Tujuan Penelitian	6
G. Manfaat Penelitian	7
H. Defenisi Istilah	7
BAB II KAJIAN TEORITIS	
A. Pembentukan Air Tanah	8
B. Konsep Umum <i>Aquifer</i>	10
C. Sifat Kelistrikan Batuan	12
D. Metode Geolistrik Tahanan Jenis	14
E. Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	21

F. Metode Inversi <i>Smoothnes-Constraint Least Square</i>	22
G. Penelitian-penelitian yang Relevan.....	27
H. Deskripsi Geologi Daerah Penelitian	28
I. Kerangka Berpikir	29

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	31
B. Tempat dan Waktu Penelitian	31
C. Parameter Penelitian	31
D. Instrumentasi / Alat dan Bahan	32
E. Prinsip Kerja ARES	32
F. Prosedur Penelitian	36
G. Teknik Analisis dan Interpretasi Data	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data	41
B. Hasil dan Interpretasi Data	42
C. Pembahasan	58

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	64
B. Saran	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Aquifer</i> Tertekan	11
2. <i>Aquifer</i> Bebas	11
3. Skema Titik Sumber Arus Pada Permukaan	15
4. Skema Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial	18
5. Skema Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	21
6. Bagan Kerangka Berpikir Penelitian.....	29
7. Foto Alat ARES <i>Main Unit</i>	33
8. Foto Desain Lintasan Pengukuran	37
9. Penampang Model 2D Lintasan 1	43
10. Penampang Model 2D Lintasan 2	46
11. Penampang Model 2D Lintasan 3	49
12. Penampang Model 2D Lintasan 4.....	52
13. Penampang Model 2D Lintasan 5	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tahanan Jenis Material	13
2. Spesifikasi <i>Aress Main Unit</i>	34
3. Koordinat dan Ketinggian Pada Setiap Lintasan Pengukuran	37
4. Deskripsi Data Tiap Lintasan.....	41
5. Hasil Interpretasi Data Lintasan 1	45
6. Hasil Interpretasi Data Lintasan 2.....	48
7. Hasil Interpretasi Data Lintasan 3.....	51
8. Hasil Interpretasi Data Lintasan 4.....	54
9. Hasil Interpretasi Data Lintasan 5.....	57
10. Nilai Tahanan Jenis Lapisan <i>Sandstone</i> Tiap Lintasan.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Peta Geologi Daerah Penelitian	68
2. Data Lintasan 1	69
3. Data Lintasan 2	70
4. Data Lintasan 3	71
5. Data Lintasan 4	72
6. Data Lintasan 5	73
7. Cara Mencari Kedalaman dan Ketebalan Material Bawah Permukaan	74
8. Dokumentasi	76

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam. Kementerian Pekerjaan Umum (2013) menyatakan bahwa cadangan air yang terdapat di Indonesia menempati urutan ke 5 di dunia. Cadangan air yang banyak di Indonesia tidak diikuti oleh sebaran yang merata sehingga menyebabkan ketersediaan air di tiap-tiap wilayah tidak sama. Salah satu daerah di Indonesia terkena dampak tidak meratanya sebaran air adalah Kota Bukittinggi, Provinsi Sumatera Barat.

Air termasuk kebutuhan primer dalam kehidupan manusia. Kebutuhan air biasa diperoleh dari pemanfaatan sumber air permukaan. Air permukaan yaitu air yang berasal dari air sungai, air danau, curah hujan, dan waduk. Cadangan air permukaan tidak selamanya tersedia dalam jumlah yang banyak disetiap daerah. Berkurangnya cadangan air permukaan salah satunya diakibatkan oleh penambahan jumlah penduduk.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Bukittinggi (2013) menyatakan ketersediaan air bersih di Bukittinggi baru mencapai 180 liter tiap detik. Jumlah ketersediaan tersebut belum cukup untuk memenuhi kebutuhan warga Bukittinggi yang berjumlah sekitar 126.896 jiwa. Ketersediaan tersebut juga dipengaruhi oleh pembangunan sarana air bersih yang tidak seimbang di berbagai daerah. Salah satu daerah yang kekurangan air di Bukittinggi adalah Bukit Apit Puhun, Kecamatan Guguk Panjang.

Pemerintah Kota Bukittinggi (2015) menyatakan bahwa Kecamatan Guguk Panjang memiliki luas 12.185 km² dan mempunyai penduduk sebanyak 32.157 orang. Daerah ini termasuk wilayah yang cukup padat penduduknya termasuk di daerah Bukit Apit Puhun. Penduduk yang padat tentunya membutuhkan air bersih dalam jumlah yang banyak untuk keperluan kehidupan sehari-hari maupun untuk kegiatan pembangunan. Kebutuhan air bersih juga dapat diperoleh dari air tanah. Untuk bisa memanfaatkan kebutuhan air yang bersumber dari air tanah maka perlu diketahui potensi air tanah baik secara kuantitas maupun kualitas.

Warga daerah Bukit Apit Puhun telah berupaya mencari sumber air dengan membuat sumur bor dan mengalirkan air tersebut melalui pipa, namun debitnya masih rendah, akibatnya warga di daerah ini sangat kesulitan untuk memperoleh sumber air bersih. Kekurangan air bersih dapat menyebabkan terganggunya aktifitas masyarakat di daerah tersebut. Masalah ini memerlukan pemecahan berupa pencarian sumber-sumber air tanah untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Air yang terdapat dalam lapisan bebatuan bawah permukaan disebut dengan air tanah. Menurut Todd (1980: 1), “air tanah adalah air yang menempati semua rongga dalam lapisan Geologi”. Air tanah merupakan salah satu sumber air yang keberadaannya cukup terbatas. Sumber utama dari air tanah ini adalah air hujan atau air permukaan yang meresep kedalam tanah. Potensi dari air tanah ini banyak dipengaruhi oleh iklim, curah hujan, dan vegetasi.

Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang merupakan salah satu daerah yang perlu diketahui keberadaan air tanahnya. Daerah ini terletak di atas Ngarai Sianok. Ngarai Sianok merupakan lembah yang dikelilingi bukit yang tersusun oleh kelompok batuan beku. Lapisan batuan di Ngarai Sianok diasumsikan dapat menyimpan cadangan air tanah atau yang disebut dengan lapisan *aquifer*. Curah hujan yang cukup tinggi di daerah Bukittinggi (termasuk Ngarai Sianok) yaitu sekitar 173 mm/bulan juga mendukung terbentuknya lapisan *aquifer* karena air dapat meresap ke dalam lapisan batuan.

Salah satu metode Geofisika yang dapat digunakan untuk memperkirakan struktur Geologi bawah permukaan termasuk pendugaan keberadaan air tanah di bawah permukaan adalah metode Geolistrik Tahanan Jenis. Metode Geolistrik sering digunakan untuk menentukan kedalaman, ketebalan dan batas *aquifer* (Olowofela et al, 2005). Metode Geolistrik Tahanan Jenis dapat digunakan untuk mempelajari sifat di bawah permukaan bumi dengan cara menginjeksikan arus melalui dua elektroda arus dan mengukur beda potensial yang ditimbulkan.

Metode Geolistrik tahanan jenis memiliki beberapa konfigurasi yaitu *Schlumberger*, *Wenner*, *Pole-dipole*, *Pole-pole*, *Dipole-dipole* dan *Square*. Dari beberapa jenis konfigurasi tersebut, konfigurasi yang akan digunakan harus sesuai dengan tujuan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan keberadaan dan kedalaman lapisan *aquifer*. Konfigurasi yang cocok digunakan harus mempunyai penetrasi arus yang dalam dan memiliki

ketelitian vertikal yang baik. Konfigurasi *Schlumberger* memiliki penetresi arus cukup dalam yaitu $1/5$ dari jarak spasi elektroda arus yang digunakan (GF Instrument, 2011: 1). Konfigurasi *Schrumbelger* memiliki beberapa keunggulan dari konfigurasi lain, diantaranya penetresi kedalaman konfigurasi *Schrumbelger* lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Wenner* (Olowofela et al, 2005). Konfigurasi *Schrumbelger* lebih baik untuk mendapatkan ketelitian vertikal dibandingkan konfigurasi *Dipole-dipole* (Reynolds, 1977: 433). Jadi dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *Schrumbelger* cocok digunakan untuk menentukan keberadaan dan kedalaman *aquifer*.

Metode analisis data yang digunakan adalah metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares*. Menurut Supriyanto (2007: 1), “proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan”. Sifat fisis maksudnya adalah fenomena keadaan bawah permukaan bumi.

Metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* merupakan metode inversi yang dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui permodelan 2 Dimensi (2D) dan cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai resistivitas yang *smooth*. Menurut Akmam dan Nofi (2013), “optimasi inversi dilakukan dengan meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur dengan menyesuaikan resistivitas model blok”. Oleh karena itu

metode ini cocok digunakan agar mendapatkan hasil resistivitas yang lebih baik.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut telah dilakukan penelitian yang berjudul “investigasi *aquifer* dengan metode *Smoothness-Constraint Least Squares* data Geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi”. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menemukan keberadaan lapisan *aquifer* yang dapat dimanfaatkan oleh warga setempat.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dibuat identifikasi masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Belum diketahui nilai tahanan jenis batuan penyusun lapisan bawah permukaan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.
2. Belum diketahui kedalaman lapisan *aquifer* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.

C. Pembatasan Masalah

Penulis membatasi masalah pada penelitian ini mengingat adanya keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Pengambilan data dilakukan di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.
2. Lintasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebanyak 5 lintasan.

3. Jenis material bawah permukaan diestimasi berdasarkan nilai tahanan jenis.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, dirumuskan masalah dari penelitian ini yaitu berapakah kedalaman lapisan *aquifer* jika ditinjau dengan metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi ?

E. Pertanyaan Penelitian

Adapun pertanyaan pada penelitian ini adalah berapakah kedalaman *aquifer* yang terdapat di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi jika ditinjau dengan Metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger* ?

F. Tujuan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan dapat menjawab pertanyaan penelitian yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai tahanan jenis batuan di daerah Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi dengan metoda inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*.
2. Mengetahui kedalaman lapisan *aquifer* di daerah Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi dengan metoda inversi

Smoothness-Constraint Least Squares data Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*.

G. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan dicapai setelah penelitian ini adalah :

1. Menemukan keberadaan lapisan *aquifer* di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.
2. Menemukan sumber mata air yang dapat dimanfaatkan warga di daerah Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.
3. Salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana di Jurusan Fisika FMIPA UNP.

H. Definisi Istilah

Berikut merupakan definisi istilah yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

1. Air tanah adalah air yang berada di bawah permukaan bumi.
2. *Aquifer* merupakan lapisan batuan yang mampu menyimpan dan meloloskan air.
3. Tahanan jenis merupakan sifat fisika yang menunjukkan kemampuan bahan dalam menghambat arus listrik.
4. Metode Geolistrik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menggambarkan penampang bawah permukaan bumi.
5. Konfigurasi *Schlumberger* merupakan konfigurasi dalam eksplorasi Geolistrik dimana susunan jarak elektroda potensial lebih kecil dari jarak elektroda arus.

BAB II

KAJIAN TEORITIS

A. Pembentukan Air Tanah

Air tanah adalah semua air yang terdapat di bawah permukaan tanah. Menurut Chay (2010: 244), “air yang berada di wilayah jenuh di bawah permukaan tanah disebut air tanah”. Sedangkan menurut Todd (1980: 1) air tanah adalah air yang menempati semua rongga dalam lapisan Geologi. Lapisan tanah yang terletak di bawah permukaan air tanah dinamakan daerah jenuh (*saturated zone*), sedangkan daerah tidak jenuh terletak di atas daerah jenuh sampai ke permukaan tanah, yang rongga-rongga berisi air dan udara (Soemarto, 1995: 161). Jadi dapat disimpulkan bahwa air tanah adalah air yang berada di bawah permukaan dan berada pada wilayah jenuh.

Air tanah juga terbentuk akibat siklus Hidrologi. Proses-proses yang terjadi dalam siklus Hidrologi meliputi proses evaporasi, evapotranspirasi dan presipitasi. Proses evaporasi adalah proses penguapan air permukaan ke atmosfer, seperti air sungai, danau dan air laut. Evapotranspirasi adalah gabungan dari proses evaporasi dengan proses transpirasi. Proses transpirasi merupakan proses penguapan air yang terkandung dalam tanah, sedangkan proses presipitasi adalah proses turunnya hujan dari atmosfer ke permukaan bumi. Air hujan yang turun ke permukaan bumi akan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan masuk ke sungai akhirnya mengalir sampai ke laut. Air dalam perjalanan tersebut sebagian akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan ada

pula yang menguap kembali (Suripin, 2001). Air hujan tersebut tidak seluruhnya masuk kedalam tanah, karena mengalami penguapan.

Proses pembentukan air tanah sangat dipengaruhi oleh formasi Geologi suatu daerah. Formasi Geologi merupakan formasi lapisan batuan yang mampu meloloskan air. Menurut Chay (2010: 246), “formasi Geologi adalah formasi batuan yang dapat menyimpan air tanah dalam jumlah tertentu”. Linsley dan Franzini (1989: 76) menyatakan bahwa “formasi-formasi yang berisi dan memancarkan air tanah disebut sebagai *aquifer*”. *Aquifer* merupakan lapisan batuan yang mampu menyimpan air dalam jumlah yang cukup.

Menurut (Soemarto: 1987), “air terbagi atas dua bagian yaitu, air permukaan dan air bawah permukaan (air tanah)”. Air permukaan meliputi sungai, danau dan air laut. Menurut (Fetter. 1988), “97,2% dari air yang ada di bumi merupakan air laut, jumlah air permukaan hanya 0,009% dari total air yang ada di bumi, dan jumlah air tanah mencapai kisaran 0,61%”. Jadi jika dibandingkan cadangan air permukaan hanya 1/68 bagian dari jumlah cadangan air tanah, dengan kata lain jumlah air tanah adalah 68 kali jumlah air permukaan.

Kebutuhan akan air meningkat untuk kebutuhan manusia. Kebutuhan yang diperlukan yaitu untuk kehidupan sehari-hari dan pembangunan. Kebutuhan air sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan penduduk. Semakin padat penduduknya maka kebutuhan akan air juga akan meningkat. Banyak daerah resapan air yang digunakan sebagai daerah permukiman, sehingga daerah tersebut tidak dapat memenuhi kebutuhan air untuk penduduk yang

tinggal di daerah tersebut (Fauzi, 2004). Jadi kebutuhan akan air tanah semakin meningkat akibat pertumbuhan penduduk.

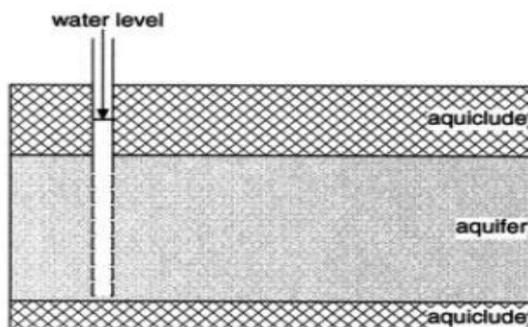
B. Konsep Umum *Aquifer*

Air tanah merupakan air yang berada di bawah permukaan bumi. Air tanah adalah air yang berada dalam tanah (batuan) yang terdapat di dalam ruang-ruang antara pori-pori batuan (Alabi et.al: 2010). Air tanah sering disebut dengan *aquifer*. *Aquifer* adalah lapisan batuan yang mampu menyimpan dan meloloskan air dalam jumlah yang terbatas.

Lapisan batuan bawah permukaan juga berpengaruh terhadap pergerakan air tanah. Pergerakan air tanah di bawah permukaan bumi juga ditentukan oleh jenis lapisan batuan atau tanah (Allan et al, 1982). Lapisan batuan yang mudah meloloskan air disebut dengan lapisan *permeable*, seperti lapisan pasir atau kerikil (*Sandstone*). Lapisan batuan yang tidak mudah mudah meloloskan air disebut dengan lapisan *impermeable*, seperti lempung (*Clay*). Air tanah dideteksi berdasarkan nilai tahanan jenis. Nilai tahanan jenis air tanah adalah 0.5 – 150 Ω m (Telford et al.,(1990). Rentangan nilai tahanan jenis dari 0.5 – 150 Ω m dapat diasumsikan sebagai air tanah.

Aquifer merupakan kantong air yang terdapat di dalam tanah. Menurut Chay (2010: 246) “berdasarkan kemampuan meloloskan air dari bahan pembatasnya, *aquifer* dapat dibedakan menjadi dua yaitu: *aquifer* tertekan (*confined aquifer*) dan *aquifer* bebas (*unconfined aquifer*)”.

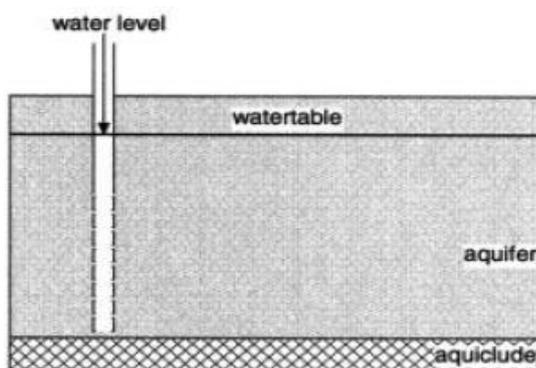
1. *Aquifer* tertekan, yaitu *aquifer* yang dibatasi oleh lapisan atas dan bawahnya merupakan lapisan kedap air (*aquiclude*) (Kodoatie, 2008: 15).



Gambar 1. *Aquifer* Tertekan (Kovalevsky, 2004: 30).

Gambar 1 memperlihatkan gambaran dari *aquifer* tertekan, terlihat bahwa *aquifer* tertekan terletak diantara dua lapisan kedap air (*aquiclude*). Lapisan *aquiclude* merupakan lapisan yang dapat menyimpan air namun tidak bisa meloloskan air, sehingga air yang berada di dalam *aquifer* tersebut terperangkap. Hal ini diakibatkan karena air tanah tidak dapat merembes kelapisan atas ataupun lapisan bawah.

2. *Aquifer* bebas, yaitu *aquifer* yang lapisan atasnya merupakan muka air tanah dan lapisan bawahnya merupakan *aquiclude* (Kodoatie, 2008: 15).



Gambar 2. *Aquifer* Bebas (Kovalevsky, 2004: 30).

Gambar 2 memperlihatkan gambaran *aquifer* bebas, dimana *aquifer* bebas dilapisi oleh dua lapisan. Lapisan atas dibatasi oleh muka air tanah

(*water table*), sedangkan lapisan bawah dibatasi oleh *aquiclude*. Sehingga air tanah yang berada di dalam *aquifer* dapat merembes kebagian atas, hal ini disebabkan oleh lapisan muka air tanah dapat meloloskan air.

C. Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat listrik batuan adalah karakteristik batuan apabila arus dialirkan kepadanya. Arus listrik yang dimaksudkan dapat berasal dari alam maupun arus listrik yang sengaja dialirkan ke dalam bumi. Ada tiga macam aliran arus listrik di dalam batuan, yaitu konduksi elektronik, konduksi elektrolitik dan konduksi dielektrik. Konduksi elektronik terjadi jika batuan mempunyai banyak elektron bebas, sehingga mengakibatkan arus listrik mudah mengalir pada batuan tersebut. Konduksi elektrolitik terjadi pada batuan yang bersifat *porus* dan mempunyai pori-pori yang berisi larutan elektrolit sehingga arus dapat mengalir. Konduksi dielektrik terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik yaitu batuan yang tidak mempunyai elektron bebas. Ketika dipengaruhi oleh medan listrik dari luar, maka elektron dalam batuan akan terpisah dari intinya sehingga terjadi polarisasi.

Sifat kelistrikan dari batuan tergantung pada nilai tahanan jenis (ρ) dengan satuan ohmmeter. Nilai tahanan jenis pada batuan/mineral tersebut dipengaruhi oleh mineraloginya, porositas batuan dan banyaknya air yang terkandung pada pori-pori batuan tersebut serta juga bergantung pada keelektrolitan dari air yang dikandungnya (Reynold, 1997: 418-423). Aliran arus pada perlapisan batuan sangat bergantung kepada cairan elektrolit dalam pori – pori batuan serta sifat konduktif batuan.

Sifat kelistrikan dari batuan dan mineral tergantung pada nilai tahanan jenis. Tahanan jenis merupakan sifat fisika yang menunjukkan kemampuan material dalam menghambat arus listrik. Tahanan jenis pada setiap batuan berbeda-beda. Secara umum berdasarkan nilai tahanan jenis listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: konduktor ($10^{-8} \Omega\text{m} < \rho < 1 \Omega\text{m}$), semikonduktor ($1 \Omega\text{m} < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$), isolator ($\rho > 10^7 \Omega$) (Telford et al. 1976: 450). Nilai beberapa tahanan jenis material bawah permukaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahanan Jenis Material

Material	Tahanan Jenis (Ωm)
<i>Hematite</i>	$3.5 \times 10^{-3} - 10^7$
<i>Limonite</i>	$10^3 - 10^7$
<i>Magnetite</i>	$5 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^3$
<i>Ilmenite</i>	$10^{-3} - 50$
<i>Quartz</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
<i>Rock salt</i>	$30 - 10^{13}$
<i>Anthracite</i>	$10^{-3} - 2 \times 10^5$
<i>Lignite</i>	$9-2 \times 10^2$
<i>Granite</i>	$3 \times 10^2 - 3 \times 10^6$
<i>Granite (weathered)</i>	$3 \times 10^{-5} \times 10^2$
<i>Syenite</i>	$10^2 - 10^6$
<i>Diorite</i>	$10^4 - 10^5$
<i>Gabbro</i>	$10^3 - 10^6$
<i>Basalt</i>	$10 - 1.3 \times 10^7$
<i>Schists (calcareous and mica)</i>	$20 - 10^4$
<i>Schist (graphite)</i>	$10 - 10^2$
<i>Slates</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
<i>Marble</i>	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
<i>Consolidated shales</i>	$20^{-2} \times 10^3$
<i>Conglomerates</i>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Sandstones</i>	$1-7.4 \times 10^8$
<i>Limestones</i>	$50 - 10^7$
<i>Dolomite</i>	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
<i>Marls</i>	$30 - 70$
<i>Clays</i>	$1-100$
<i>Alluvium and sand</i>	$10^{-8} \times 10^2$
<i>Moraine</i>	$10^{-5} \times 10^3$

Reynolds (1997: 422)

D. Metoda Geolistrik Tahanan Jenis

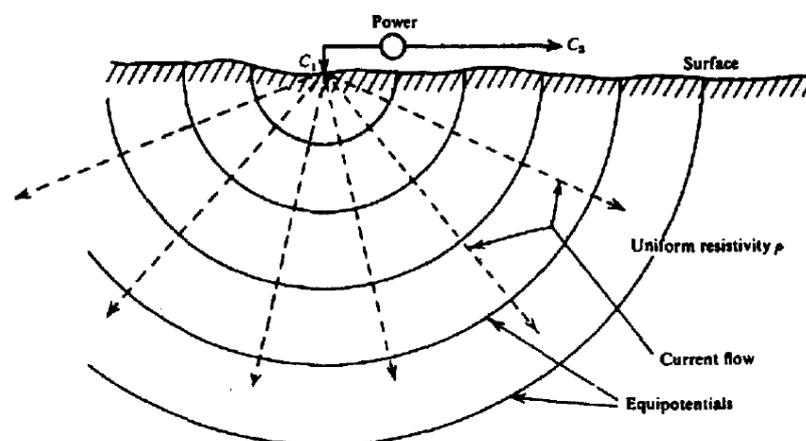
Metode Geolistrik tahanan jenis dapat digunakan untuk menentukan kedalaman *aquifer* (air tanah). Menurut Soinien (1985), penelitian air tanah dapat dilakukan di permukaan atau di bawah permukaan dengan menggunakan metode geolistrik. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Olowofela et al, 2005), “Metode Geolistrik sering digunakan untuk menentukan kedalaman, ketebalan dan batas *aquifer*”. Jadi metode Geolistrik tahanan jenis dapat digunakan untuk menentukan kedalaman *aquifer*.

Geolistrik adalah salah satu metode dalam Geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya. Menurut Singarimbun (2011: 386), “Metode Geolistrik Tahanan Jenis merupakan salah satu metode eksplorasi Geofisika dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi”, sedangkan menurut Ngadimin dan Gunawan (2001), “Metode Geolistrik memanfaatkan variasi tahanan jenis listrik berdasarkan pengukuran beda potensial akibat arus listrik yang diinjeksikan kedalam bumi”. Jadi dapat disimpulkan bahwa metoda Geolistrik Tahanan Jenis dapat digunakan untuk mempelajari sifat di bawah permukaan bumi dengan cara menginjeksikan arus melalui dua elektroda arus dan mengukur beda potensial listrik yang ditimbulkan.

Berdasarkan hasil pengukuran arus dan beda potensial listrik akan dapat dihitung variasi harga tahanan jenis pada lapisan permukaan bumi di bawah titik ukur (*Sounding point*). Menurut Surdaryo dan Rohima (2008), “Metoda ini lebih efektif dan cocok digunakan untuk eksplorasi yang sifatnya

dangkal, memberikan informasi lapisan yang baik pada kedalaman lebih dari 1000 kaki atau 1500 kaki”. Metode ini sudah sering digunakan untuk menentukan sifat fisis bawah permukaan.

Metoda Geolistrik dengan berbagai konfigurasi elektroda banyak digunakan dalam teknik Geofisika, khususnya investigasi air tanah dan struktur dekat permukaan (Abdul-Nafiu, A.K, 2013: 64-72). Metoda Geolistrik mengasumsikan bahwa bumi merupakan medium homogen dan isotropis. Ketika arus listrik dialirkan ke dalam bumi, arus listrik akan mengalir ke segala arah. Udara memiliki nilai tahanan jenis yang tak berhingga, sehingga arus listrik yang dialirkan di permukaan bumi akan membentuk bidang equipotensial setengah bola, seperti pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Skema Titik Sumber Arus Pada Permukaan Dari Medium Homogen Isotropis (Telford *et al.* 1990 : 524)

Pada Gambar 3 terlihat bahwa ketika sumber arus dialirkan ke bumi, maka arus akan menyebar kesegala arah ditandai dengan arah panah yang putus-putus. Hubungan antara rapat arus J dengan kuat medan listrik E menurut Hukum Ohm adalah

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

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:

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

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

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

Hubungan hambatan R dengan daya hantar listrik σ pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (2) dan (3), yaitu:

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

Hubungan antara tahanan jenis ρ dengan daya hantar listrik bahan σ dinyatakan pada Persamaan (5).

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

sehingga Persamaan (4) dan (5) menjadi

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

Persamaan 6 menjelaskan bahwa semakin besar nilai tahanan jenis suatu bahan maka arus listrik semakin sulit mengalir. Sebaliknya, semakin kecil nilai tahanan jenis suatu bahan maka arus listrik semakin mudah

mengalir melalui bahan tersebut. Jika medium homogen isotropis dengan luas A dilalui arus listrik I maka kerapatan arus J dapat dihitung menggunakan Persamaan (2). Jika Persamaan (5) disubstitusikan pada Persamaan (1), maka diperoleh hubungan kerapatan arus J dengan tahanan jenis ρ yaitu:

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

Medan listrik adalah gaya persatuan muatan yang diberikan muatan uji (Griffiths, 1999: 61). Medan listrik E merupakan gradient 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 (Reynolds, 1997). Secara matematis medan listrik dapat dirumuskan dalam Persamaan (8).

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

Persamaan (7) disubstitusikan ke Persamaan (8) akan diperoleh 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 .

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

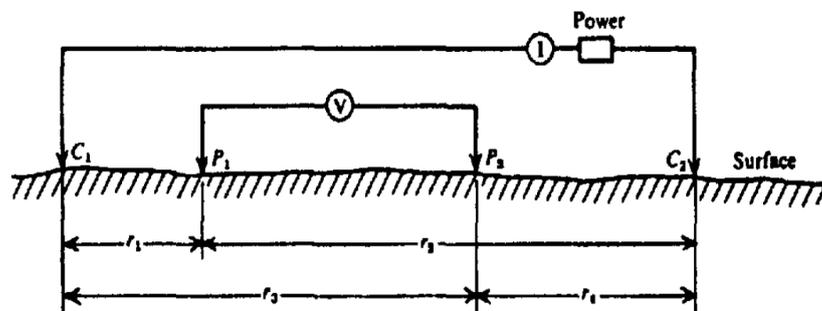
dimana luas permukaan A adalah luas permukaan distribusi arus yaitu setengah bola $2\pi r^2$ sehingga perbedaan potensial dV terhadap distribusi arus dr yaitu:

$$dV = -\rho \frac{1}{2\pi r^2} dr \quad (11)$$

Harga potensial yang berjarak r dari sumber dapat diperoleh dengan mengintegrasikan Persamaan (11), sehingga diperoleh:

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

Pengukuran beda potensial di permukaan sebanding dengan aliran arus di bawah permukaan bumi, agar diperoleh penetrasi yang baik harus digunakan spasi elektroda yang besar (Telford *et al.*, 1990:527). Semakin besar spasi elektroda maka penetrasi pengukuran akan semakin baik.



Gambar 4. Skema Dua Elektroda Arus Dan Dua Elektroda Potensial Di Atas Permukaan Tanah Yang Homogen Isotropis Dengan Tahanan Jenis ρ (Telford *et al.* 1990 : 524)

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

Potensial pada P_1 akibat arus C_1 pada adalah

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

Potensial pada P₁ akibat arus C₂ adalah

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

Potensial P₂ akibat arus C₁ adalah

$$V_3 = \frac{I\rho}{2\pi r_3} \quad (15)$$

Potensial P₂ akibat arus C₂ adalah

$$V_4 = -\frac{I\rho}{2\pi r_4} \quad (16)$$

kemudian, diperoleh nilai potensial pada P₁ (V_{P1}) dan nilai potensial pada P₂ (V_{P2})

$$V_{P1} = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (17)$$

$$V_{P2} = V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (18)$$

maka didapatkan nilai beda potensial antara V_{P1} dan V_{P2} , yaitu:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (19)$$

atau

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi G} = \frac{I\rho}{K} \quad (20)$$

sehingga

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

dengan,

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (22)$$

dimana K adalah faktor geometri dari susunan elektroda, yang nilainya berubah sesuai dengan perubahan jarak spasi antara elektroda-elektroda. Persamaan (22) menunjukkan bahwa K bergantung pada susunan atau konfigurasi yang digunakan.

Menurut Akmam (2004: 596), "Tahanan jenis yang terukur bukanlah tahanan jenis yang sesungguhnya, melainkan tahanan jenis semu". Hal ini disebabkan karena bumi merupakan medium non homogen yang terdiri dari banyak lapisan dengan tahanan jenis yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi potensial listrik yang terukur. Tahanan jenis semu dilambangkan dengan ρ_a sehingga Persamaan (21) dapat ditulis menjadi:

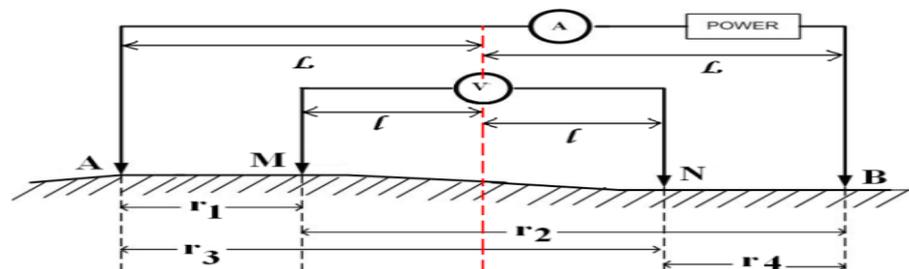
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (23)$$

Berdasarkan Persamaan (23) dapat disimpulkan bahwa jarak spasi elektroda mempengaruhi tahanan jenis semu. Berdasarkan variasi spasi elektroda, metoda geolistrik memiliki beberapa konfigurasi yaitu *Wenner*, *Schlumberger*, *Pole-dipole*, *Pole-pole*, *Dipole-dipole* dan *Square*.

E. Konfigurasi *Schlumberger*

Konfigurasi *Schlumberger* merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam eksplorasi geolistrik. Konfigurasi *Schlumberger* memiliki penetresi arus cukup dalam yaitu $1/5$ dari jarak spasi elektroda arus yang digunakan (GF Instrument, 2011: 1). Konfigurasi *Schlumberger* memiliki beberapa keunggulan dari konfigurasi lain, diantaranya penetresi kedalaman konfigurasi *Schlumberger* lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *Wenner* (Olowofela et al, 2005). Konfigurasi *Schlumberger* lebih baik untuk mendapatkan ketelitian vertikal dibandingkan konfigurasi *Dipole-dipole* (Reynolds, 1977: 433).

Konfigurasi *Schlumberger* menggunakan 4 buah elektroda dengan 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial yang disusun dalam satu garis lurus, seperti yang terlihat pada Gambar 5.



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

Gambar 5 merupakan skema pemasangan elektroda pada konfigurasi *Schlumberger*. Jarak masing-masing elektroda pada Gambar 5 di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$r_1 = (L-l)$$

$$r_2 = (L+l)$$

$$r_3 = (L+l)$$

$$r_4 = (L-l)$$

dengan,

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

Harga masing-masing jarak elektroda yang telah disederhanakan disubsitusikan ke Persamaan (22) sehingga diperoleh harga K konfigurasi *Schlumberger*, sebagai berikut:

$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \quad (24)$$

Berdasarkan harga K yang diperoleh pada Persamaan (24) dapat dihitung harga tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) untuk konfigurasi *Schlumberger* yaitu:

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \frac{\Delta V}{I} \quad (25)$$

dimana, ρ_a adalah tahanan jenis semu, L adalah jarak elektroda arus, l adalah jarak elektroda potensial, ΔV adalah beda potensial, I adalah kuat arus.

F. Metode Inversi *Smoothness-Constraint Least Squares*

Pengukuran data di permukaan bumi dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi bawah permukaan. Data yang diperoleh pada saat pengukuran memiliki beberapa informasi yang diperlukan dalam membuat suatu hasil penelitian. Informasi tersebut dinyatakan dalam persamaan matematika yang belum dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan bumi, untuk itu dibutuhkan suatu metode untuk menterjemahkan persamaan tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode inversi.

Inversi merupakan sebuah teknik untuk mencari permodelan yang memberikan respon yang sama dengan yang sebenarnya. Menurut Supriyanto S (2007: 1), “proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan”. Sifat fisis maksudnya adalah fenomena keadaan bawah permukaan bumi.

Fungsi pemodelan untuk konfigurasi *Schlumberger* pada metoda Geolistrik dirumuskan pada Persamaan (26) (Dobrin. 1988: 769).

$$\rho_a(s) = s^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda) \lambda d\lambda \quad (26)$$

dimana $s = AB/2$ dan $\lambda = 1/s$, 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 $T(\lambda)$ merupakan fungsi transformasi resistivitas yang dinyatakan seperti Persamaan (27).

$$T(\lambda) = \int_0^{\infty} \frac{1}{s} \rho_a(s) J_1(\lambda s) ds \quad (27)$$

dimana $T(\lambda)$ adalah fungsi dari transformasi resistivitas semu, atau singkatnya disebut transformasi resistivitas. (λ) merupakan fungsi yang sama dengan Persamaan (28).

$$V(r, z) = \int_0^{\infty} \{A(\lambda)e^{-\lambda z} + B(\lambda)e^{\lambda z}\} J_0[\lambda r] d\lambda \quad (28)$$

dimana $V(r,z)$ merupakan potensial yang ditimbulkan oleh sebuah titik sumber di permukaan dan dapat dianggap sebagai jumlah dari potensial karena adanya bidang-bidang batas. $J_0(\lambda r)$ merupakan fungsi Bessel orde nol. A dan B yang

ada pada λ merupakan suatu konstanta yang bergantung pada tahanan jenis dan kedalaman.

Metode inversi yang dapat digunakan dalam pengolahan data lapangan adalah metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares*. Metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* merupakan metode inversi yang dapat meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui permodelan 2D dan cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai tahanan jenis yang *smooth*. Menurut Akmam dan Nofi (2013), “optimasi inversi dilakukan dengan meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur dengan menyesuaikan resistivitas model blok”. Kebanyakan proses Geofisika dapat dideskripsikan oleh persamaan integral yang berbentuk:

$$d_i = \int_0^z K_i(z)p(z)dz \quad (29)$$

dimana d_i adalah respon atau data yang terukur, $p(z)$ merupakan parameter model dan K_i disebut data kernel yang dapat juga ditulis dengan G_i . Data kernel menjelaskan hubungan antara data dan parameter model (Supriyanto, 2007: 5). Persamaan (29) dapat juga ditulis dalam bentuk persamaan (30).

$$d_i = \sum G_{ij}m_j \quad (30)$$

Menurut Loke (2004: 12-13) Persamaan inversi untuk data terukur dinyatakan pada persamaan (31).

$$\mathbf{y} = \text{col} (y_1, y_2, \dots y_m) \quad (31)$$

dimana m adalah jumlah pengukuran. Data yang terukur pada metode Geolistrik adalah tahanan jenis adalah kuat arus (I), beda potensial (V) dan

spasi jarak elektroda, Sedangkan respon model yang diberikan dapat ditulis dalam Persamaan (32).

$$\mathbf{f} = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (32)$$

Pada data tahanan jenis lebih praktis digunakan aturan logaritma dari nilai tahanan jenis semu untuk data terukur dan respon model (Loke. 2004: 12). Logaritma sebuah model disebut dengan parameter model. Parameter model adalah nilai tahanan jenis (ρ) dan kedalaman (h). Parameter model dapat ditulis dalam Persamaan (33).

$$\mathbf{q} = \text{col}(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (33)$$

dimana m adalah jumlah parameter model. Perbedaan antara data terukur dengan respon model diberikan oleh vector dispersi (g):

$$\mathbf{g} = \mathbf{y} - \mathbf{f} \quad (34)$$

Pada metode *Least Square* model awal dimodifikasi sehingga jumlah kuadrat dari nilai g disebut nilai *error* sebesar E (Loke. 2004: 12).

$$E = \mathbf{g}^T \mathbf{g} = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (35)$$

Untuk mengurangi nilai *error* pada Persamaan (35), dapat digunakan persamaan Gauss-Newton dengan memperkecil perubahan parameter model yang dinyatakan pada Persamaan (36).

$$\mathbf{J}^T \mathbf{J} \Delta \mathbf{q}_k = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \quad (36)$$

dimana $\Delta \mathbf{q}_k$ adalah vektor perubahan parameter model, dan \mathbf{J} adalah matriks Jacobian. Element matriks Jacobian yaitu,

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (37)$$

yang mana respon model i berubah karena perubahan parameter model j . Setelah menghitung perubahan parameter model, sehingga diperoleh model baru yang dinyatakan pada Persamaan (38).

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{q}_k + \Delta \mathbf{q}_k \quad (38)$$

Persamaan (36) dapat dimodifikasi untuk meminimalkan variasi spasial dalam parameter model (yaitu model nilai tahanan jenis berubah secara halus atau bertahap). Metode yang dapat digunakan adalah metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* (Ellis dan Oldenburg, 1994a). Menurut (Loke, 2004: 13) perumusan metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* dinyatakan pada Persamaan (39).

$$\left(\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \lambda \mathbf{F} \right) \Delta \mathbf{q}_k = \mathbf{J}^T \mathbf{g} - \lambda \mathbf{F} \mathbf{q}_k \quad (39)$$

dengan $\mathbf{F} = \alpha_x \mathbf{C}_x^T \mathbf{C}_x + \alpha_y \mathbf{C}_y^T \mathbf{C}_y + \alpha_z \mathbf{C}_z^T \mathbf{C}_z$ dan \mathbf{C}_x , \mathbf{C}_y dan \mathbf{C}_z adalah matriks *smoothing*, masing-masing pada arah x , y dan z . α_x , α_y dan α_z merupakan penahan relatif yang diberikan pada filter-filter *smoothness*, masing-masing pada arah x , y dan z (Loke, 2004: 13). \mathbf{J} merupakan matrik Jacobian dari turunan parsial, $\mathbf{F} \mathbf{q}_k$ adalah vektor yang mengandung logaritma dari nilai tahanan jenis model, λ adalah faktor damping, $\Delta \mathbf{q}_k$ adalah vektor perubahan parameter model yang dihitung dan \mathbf{g} vektor *discrepancy*. Vektor *discrepancy* \mathbf{g} merupakan perbedaan antara nilai-nilai tahanan jenis yang diukur dan yang dihitung. Besarnya vektor ini sering diberikan sebagai nilai RMS (*root mean-square*).

Persamaan (39) dapat menghasilkan model yang lebih baik dan untuk meminimalkan perbedaan antara nilai-nilai tahanan jenis yang diukur dengan

tahanan jenis yang dihitung. Hasil inversi merupakan model distribusi nilai tahanan jenis material bawah permukaan bumi yang dapat disebut *resistivity pseudosection* atau *inverse model resistivity section*. Model yang diperoleh melalui proses inversi akan selalu memiliki nilai *residual error* atau *root mean squared error* (RMSE). Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai *error* yang ada. Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi matematis yang sama secara berulang-ulang untuk memperoleh hasil yang diinginkan.

G. Penelitian-Penelitian yang Relevan

Penelitian-penelitian relevan yang berhubungan dengan metode Geolistrik berguna untuk memperkuat penelitian yang dilakukan. Penelitian yang menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk mendeteksi keberadaan air tanah telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, Juandi (2008) telah melakukan penelitian Analisis Air Bawah Tanah dengan Metode Geolistrik di Kecamatan Bukit Raya Pekanbaru. Penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk areal yang teridentifikasi ada air bawah tanah mempunyai kisaran harga tahanan jenis berkisar antara 30 sampai 150 Ωm .

Irjan (2012) telah melakukan penelitian di wilayah daerah pengembangan kampus II UIN Maliki Malang di desa Tlekung kecamatan Junrejo wilayah kota Batu Jawa Timur. Hasil penelitian yaitu tahanan jenis antara 0-20 Ωm diduga merupakan lapisan yang bersifat bukan *aquifer* karena kemungkinannya didominasi oleh lempung. Untuk lapisan yang pada interval

tahanan jenis sebesar 20-200 Ω m merupakan lapisan yang diduga adalah lapisan pembawa sifat air-tanah, dan lapisan ini diduga terdiri dari pasir tufan.

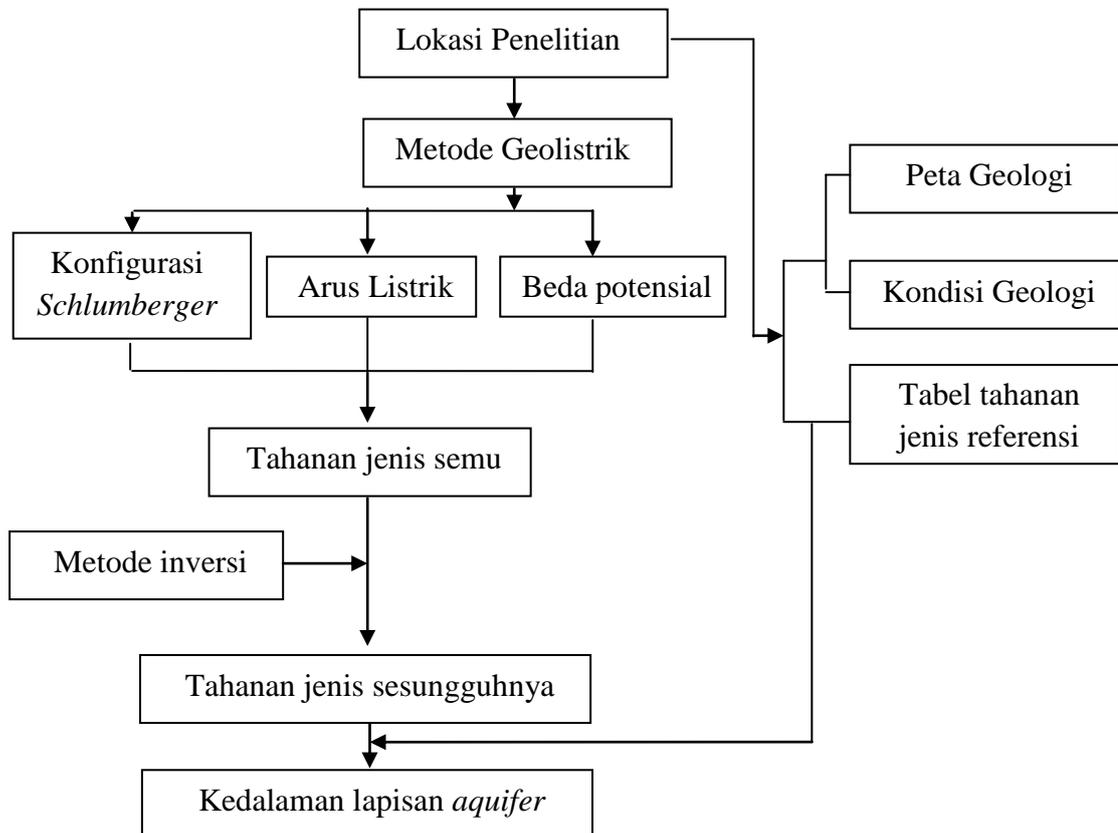
Miftahul Huda (2011) telah melakukan penelitian Pemetaan Air Tanah menggunakan metode resistivitas *Wenner Sounding* di Kampus II Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Penelitian ini dilakukan agar menemukan keberadaan air bersih di sekitar lokasi penelitian. Lintasan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 2 Lintasan. Lokasi penelitian berada pada ketinggian rata-rata 876 mdpl. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa lapisan yang diduga terdapat *aquifer* berada pada Lintasan 2. Lapisan yang terdapat pada Lintasan 2 didominasi oleh lapisan pasir tufaan dengan rentangan nilai tahanan jenis 20-200 Ω m, sehingga diduga kandungan air sangat banyak pada lapisan tersebut.

H. Deskripsi Geologi Daerah Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Bukit Apit Puhun, Kecamatan Guguk Panjang, Kota Bukittinggi (Lampiran 1). Kota Bukittinggi dan sekitarnya didominasi oleh kelompok batuan beku yang berasal dari aktivitas gunung api. Gambar 6 merupakan kawasan Kota Bukittinggi, dimana pada bagian barat di sepanjang Ngarai Sianok terdapat batu pasir breksian dan di bagian utara dan tengah terdapat batu pasir tufaan. Menurut Triyatno (2012), “batu pasir tufaan merupakan jenis batuan yang mudah menyerap air”. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat diasumsikan bahwa daerah Ngarai Sianok memiliki cadangan air tanah di bagian tengah dan utara.

I. Kerangka Berfikir

Kerangka berpikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bagan Kerangka Berfikir Penelitian

Gambar 6 merupakan bagan kerangka berfikir dari penelitian. Penelitian ini diawali dengan survey ke lokasi penelitian. Survey dilakukan untuk menentukan Lintasan yang akan dilakukan untuk pengambilan data. Pengambilan data dilakukan menggunakan metode Geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi *Schlumberger*. Prinsip dari metode ini yaitu dengan menginjeksikan arus listrik ke bawah permukaan bumi melalui dua elektroda arus dan mengukur beda potensial yang ditimbulkan, selanjutnya data tersebut akan dianalisis sehingga menghasilkan nilai tahanan jenis semu.

Nilai tahanan jenis semu yang diperoleh selanjutnya akan diterjemahkan ke nilai tahanan jenis yang sesungguhnya dengan menggunakan metode inversi *Smoothnes-Constraint Least Square*. Nilai tahanan jenis sesungguhnya akan dibandingkan dengan peta Geologi daerah penelitian dan tabel tahanan jenis berdasarkan referensi (Tabel 1), sehingga diperoleh lapisan material bawah permukaan dan juga kedalaman lapisan *aquifer* di daerah penelitian.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan hasil interpretasi pada tiap Lintasan ditemukan nilai tahanan jenis yang bervariasi di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi. Lintasan 1 memiliki nilai tahanan jenis dari 8,55 – 4600 Ω m. Lintasan 2 rentangan nilai tahanan jenis dari 3,45 – 25603 Ω m. Lintasan 3 memiliki nilai tahanan jenis dari 9,6 – 3402 Ω m. Lintasan 4 rentangan nilai tahanan jenis dari 6 – 1815 Ω m. Sedangkan Lintasan 5 memiliki rentangan nilai tahanan jenis 156 – 396,5 Ω m.
2. Daerah Bukit Apit Puhun merupakan daerah resapan air, sehingga kedalaman lapisan *aquifer* tidak ditemukan pada setiap Lintasan. Hal ini diperkuat dengan tidak adanya sumur disekitar Lintasan pengukuran.

B. Saran

1. Hasil penelitian ini dapat direkomendasikan kepada Walikota Bukittinggi sebagai acuan untuk memperoleh air bawah permukaan dari jenis material yang mengandung air tanah di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi.
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan metode yang lain di Bukit Apit Puhun Kecamatan Guguk Panjang Kota Bukittinggi sebagai perbandingan untuk menemukan air bawah permukaan dari jenis material yang mengandung air tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Alabi, R. Bello, A.S Ogungbe, H.O Oyerinde. (2010). *Determination of Ground Water Potential in Lagos State University, Ojo; Using Geoelectric Methods (Vertical electrical sounding and horizontal profiling*. Abeokuta: Nigeria, 2(5): 1, 2010
- Abdul-Nafiu, A.K, Nawawi, M. M. N., Khiruddin, A, Ishola, K. S and Abdulrahman, A, *Effects Of Electrode Spacing And Inversion Techniques On The Efficacy Of 2d Resistivity Imaging To Delineate Subsurface Features*, American Journal of Applied Sciences, 10 (1): 64-72, 2013.
- 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 Sudiar. (2013). *Analisis Struktur Batuan Dengan Metoda Inversi Smoothness-Constrained Least-Squares Data Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar*. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, 2013. Hlm 2
- Allan, L. Nicholas K., Koch. (1982). *Physical Geology*. New York
- Chay, Asdak. (2010). *Hidrologi Dan Pegelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Constable, S.C., Parker, R.L. and Constable, C.G. (1987). *Occam's inversion : A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data*. *Geophysics*, 52, 289-300.
- Dobrin, Milton B, Salvit Carl H. (1988). *Introduction to Geophysical Prospecting* Singapore: McGraw-Hill International editions.
- Ellis, R.G. and Oldenburg, D.W. (1994a), *Applied geophysical inversion*: *Geophysical Journal International*, 116, 5-11.
- Fauzi, U., Handoko, N., Handayani, G., dan Ngadimin. (2004). *Investasi Penyebaran Air Tanah dengan Metode Geolistrik*. *Proceeding Himpunan Ahli Geologi Indonesia*. 6: 142-155.
- Fetter, PG dan WWG. Yeh. (1998). *Management Model for conjunctive Use of coastal Surface Water and Groundwater*. *Journal of Water Resource Planning and management, American Society of Civil Engineers*, 124 (3), 129.

- GF Instrument. (2011). *Short Guide for Resistivity and Induced Polarization Imaging*. GF Instrument, *s.f.o.* Geophysical Equipment and Services.
- Irjan. (2012). *Pemetaan potensi air-tanah (akuifer) Berdasarkan Interpretasi Data Resistivitas Wenner Sounding*. Studi kasus: Pengembangan kampus II Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang di Desa Tlekung Kecamatan Junrejo Kota Batu. *Jurnal Neutrino* Vol.4, No. 2 April 2012
- Juandi. (2008). *The Analysis of Ground Water by Geoelectric Method*. *Journal of Environmental Science*. Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Riau
- Kementerian Pekerjaan Umum:
<http://www1.pu.go.id/uploads/berita/ppw030210sda.html> diunduh pada 04 September 2013.
- Kodoatie. Robert J, Sjarief Roestam. (2008). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Ed II. Yogyakarta: ANDI
- Kovalevsky, V. S. Kruseman, G. P dan Rushton, K. R. (2004). *Groundwater studies*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP.
- Linsley, Ray K. Franzini, Joseph B dan Djoko S (ed). 1989. *Teknik Sumber Daya Air*. Jakarta : Erlangga.
- Loke, M.H. (2004). "Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys". Diunduh dari www.geotomosoft.com tanggal 20 September 2014.
- Masri Singarimbun. (2011). *Metode Penelitian Survei*. Jakarta: LP3ES
- Miftahul Huda A.M. (2011). *Pemetaan Air Tanah Menggunakan Metode Resistivitas Wenner Sounding*. Studi kasus: Kampus II Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. *Jurnal Neutrino* Vol. 3, No 2, April 2011
- Ngadimin dan Gunawan. (2001). *Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Alat Monitoring Rembesan Limbah* (Penelitian Model Fisik di Laboratorium) vol:6, edisi:1, halaman:43-53.
- Olowofela, J.A., V.O. Jolaosho and B.S. Badmus, (2005). *Measuring the electrical resistivity of the earth using a fabricated resistivity meter*. *Eur. J. Phys.*, 26: 501-515.

PDAM Kota Bukittinggi:

<http://padangekspress.co.id/?news=berita&id=46507> diunduh pada 04 September 2013.

Pemerintah Kota Bukittinggi:

http://www.bukittinggikota.go.id/index.php?class=text&file_id=101 diunduh pada 20 januari 2015

Reynolds, J.M. (1997). *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. New York: John Geophysicin Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd.

Soininen, H. (1985). *The Behavior Of The Apparent Resistivity Phase Spectrum In The Case Of Two Polarizable Media*. J. Geophysics 50: 810-819.

Soemarto. (1995). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.

Sosrodarsono, Suyono. (1993). *Hidrologi Untuk Pengairan PT Pramadya Pramita Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.

Supriyanto. (2007). *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi (Edisi I)*. Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia 2007

Triyatno. Erna, Juwita. (2012). *Pemetaan Zonasi Bahaya dan Resiko Longsoran di Daerah Ngarai Sianok Kota Bukittinggi*. Vol : 4, ISSN : 2252-7168. STKIP PGRI : Padang

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

Todd, D.K. (1980). *Groundwater Technology*. Associate Professor of Civil Engineering California University. Jihn Wiley and Son. New York. Diunduh dari: en.bookfi.com.