

**PENYELIDIKAN JENIS MINERAL DI JORONG KOTO BARU NAGARI
AIE DINGIN KABUPATEN SOLOK DENGAN METODE GEOLISTRIK
*INDUCED POLARIZATION (IP)***

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



HISNI RAHMI

1101420 / 2011

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2015

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Penyelidikan Jenis Mineral di Jorong Koto Baru
Nagari Ale Dingin Kabupaten Solok dengan Metode
Geolistrik *Induced Polarization* (IP)

Nama : Hani Rahmi

NIM / BP : 1101420 / 2011

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 27 Juli 2015

Disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. H. Asrul, M.A

Dr. Akman, M.Si

NIP. 19520423 197603 1 003

NIP. 19630526 198703 1 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Hani Rahmi
NIM / BP : 1101420 / 2011
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan judul

PENYELIDIKAN JENIS MINERAL DI JORONG KOTO BARU NAGARI
AIE DINGIN KABUPATEN SOLOK DENGAN METODE GEOLISTRIK
INDUCED POLARIZATION (IP)

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Padang, 6 Agustus 2015

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Drs. H. Asri, M.A.	
Sekretaris	: Drs. Akimani, M.Si.	
Anggota	: Drs. Mahrizul, M.Si.	
Anggota	: Harman Amir, S.Si, M.Si.	
Anggota	: Syabriani, S.Si, M.Si, Ph.D.	

SURAT PERNYATAAN

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

Padang, 20 Agustus 2015

Yang menyatakan,



Hisni Rahmi
NIM. 1101420

ABSTRAK

HISNI RAHMI : Penyelidikan Jenis Mineral di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok dengan Metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP)

Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi mineral karena ditemukannya batuan yang mengandung mineral. Batuan ini berasal dari batuan Gunung Talang yang mengandung endapan epithermal yang menghasilkan mineral. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui mineral apa saja yang terdapat di daerah Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok berdasarkan nilai *chargeability* dengan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP).

Penelitian ini bersifat survei deskriptif menggunakan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP). Data penelitian diambil pada 4 lintasan menggunakan ARES (*Automatic Resistivitymeter*). Hasil analisis data diinterpretasikan menggunakan inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* dengan bantuan *software Res2dinv*. Hasil interpretasi data berupa nilai *chargeability* sebenarnya. Estimasi mineral yang terdapat di daerah penelitian dilakukan dengan membandingkan nilai *chargeability* sebenarnya dengan tabel *chargeability* mineral dan batuan.

Jenis mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok adalah mineral *Graphite*, *Chalcopyrite*, *Copper*, dan *Galena*. Mineral *Graphite* (senyawa karbon) ditemukan dengan ketebalan 12,75 m, 43,4 m dan 56,15 m. Mineral *Chalcopyrite* (didominasi unsur tembaga) ditemukan dengan ketebalan 43,78 m dan 6,15 m. Mineral *Copper* (unsur tembaga) ditemukan dengan ketebalan 10,5 m, 15,42 m, 6,52 m, dan 40,1 m, sedangkan mineral *Galena* (timbal sulfida) ditemukan dengan ketebalan 2,78 m, 9,73 m, dan 4,35 m.

Kata kunci : *Chargeability*, *Induced Polarization*, Jorong Koto Baru, Mineral.

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Penyelidikan Jenis Mineral di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok dengan Metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP)**.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang (UNP). Penulis banyak menerima bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. H. Asrul, M.A. sebagai penasehat akademik dan pembimbing I.
2. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai pembimbing II dan Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Drs. Mahrizal, M.Si, Bapak Harman Amir, S.Si, M.Si, dan Ibu Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D selaku tim penguji.
4. Ibu Dra. Yurnetti, M.Pd sebagai Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai Ketua Prodi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak dan Ibu staf pengajar serta staf administrasi dan Laboran Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Bapak Camat Lembah Gumanti, Bapak Wali Nagari Aie Dingin, dan Bapak Jorong Koto Baru yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian.

8. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M-DIKTI) yang telah memberikan donasi untuk penelitian ini melalui dana PKM 2015.
9. Rekan tim PKM bidang Penelitian Nurhidayati, Rahmat Arif Syafrindo, dan Sri Mulyani terima kasih atas bantuan dan kerja samanya.
10. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan semangat dan doa.
11. Rekan-rekan Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP khususnya Program Studi Fisika angkatan 2011 serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan yang belum penulis sadari. Kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan dari semua pihak untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca. Amin.

Padang, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Pertanyaan Penelitian	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	5
G. Definisi Istilah	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Mineral	7
B. Batuan.....	11
C. Sifat Kelistrikan Batuan	12
D. Metode Geolistrik <i>Induced Polarization</i> (IP).....	16
E. Metode Inversi <i>Smoothness-Constraint Least Squares</i>	26
F. Penelitian-Penelitian yang Relevan.....	28
G. Deskripsi Geologi Daerah Penelitian	30

H. Kerangka Berfikir.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
A. Jenis Penelitian	34
B. Waktu Penelitian	34
C. Jenis dan Teknik Pengambilan Data.....	34
D. Desain dan Parameter Penelitian	36
E. Instrumentasi / Alat dan Bahan	38
F. Prinsip Kerja ARES <i>Multielectrode</i>	39
G. Prosedur Penelitian	41
H. Teknik Pengolahan dan Interpretasi Data.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
A. Deskripsi Data	44
B. Interpretasi Data	45
C. Pembahasan	58
BAB V PENUTUP.....	63
A. Kesimpulan.....	63
B. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Unsur Penyusun Bumi	8
2. Tingkat Kekerasan Mineral Berdasarkan Skala Mohs.....	10
3. Tabel Tahanan Jenis Batuan.....	14
4. Nilai <i>Chargeability</i> Mineral dan Batuan.....	15
5. <i>Metal Factor</i> Berbagai Macam Batuan dan Mineral.	24
6. Nilai Tahanan Jenis Semu dan <i>Chargeability</i> Semu Maksimum dan Minimum Tiap Lintasan Pengukuran.	44
7. Hasil Interpretasi Penampang Model 2D Tahanan Jenis dan <i>Chargeability</i> Lintasan 1	48
8. Hasil Interpretasi Penampang Model 2D Tahanan Jenis dan <i>Chargeability</i> Lintasan 2.....	51
9. Hasil Interpretasi Penampang Model 2D Tahanan Jenis dan <i>Chargeability</i> Lintasan 3.....	54
10. Hasil Interpretasi Penampang Model 2D Tahanan Jenis dan <i>Chargeability</i> Lintasan 4.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Model Penampang Polarisasi Elektroda dan Pergerakan Ion pada Pori-Pori Batuan ketika Kedua Sisinya Dialirkan Arus.....	17
2. Polarisasi Membran yang Disebabkan oleh Penyempitan Pori-Pori.....	18
3. Polarisasi Membran pada Batuan yang Mengandung Mineral Lempung (Mineral Bermuatan Negatif) yang Mengisi Batuan Berpori.	19
4. (a) Ilustrasi Peluruhan IP Terkait Potensi setelah Gangguan Arus Utama. (b) Pengaruh Waktu Peluruhan IP pada Bentuk Gelombang Potensial untuk Arus Masukan Gelombang Persegi.....	21
5. Peta Geologi Kabupaten Solok	31
6. Peta Geologi Kecamatan Lembah Gumanti.....	31
7. Kerangka Berfikir.....	33
8. Desain Pengukuran di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok.	36
9. ARES <i>Main Unit</i>	39
10. (a) Penampang Model 2D Tahanan Jenis Lintasan 1 (b) Penampang Model 2D <i>Chargeability</i> Lintasan 1	46
11. (a) Penampang Model 2D Tahanan Jenis Lintasan 2 (b) Penampang Model 2D <i>Chargeability</i> Lintasan 2	49
12. (a) Penampang Model 2D Tahanan Jenis Lintasan 3 (b) Penampang Model 2D <i>Chargeability</i> Lintasan 3	52

13. (a) Penampang Model 2D Tahanan Jenis Lintasan 4 (b) Penampang Model 2D <i>Chargeability</i> Lintasan 4	55
14. Peta Bahaya Gempa Bumi Kecamatan Lembah Gumanti	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Peta Kecamatan Lembah Gumanti Berada pada Zona Patahan	64
2. Data Hasil Pengukuran <i>Induced Polarization</i>	65
3. Perhitungan Kedalaman dan Ketebalan Batuan dan Mineral Bawah Permukaan.....	69
4. Dokumentasi	71

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak antara pertemuan tiga lempeng utama, yakni Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Kondisi ini membuat Indonesia kaya sumber daya mineral seperti minyak bumi, batubara, gas alam, dan juga berbagai mineral logam. Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia mengalami tumbukan di sepanjang pantai Barat Sumatera. Tumbukan kedua lempeng ini mengakibatkan terbentuknya cekungan sedimen. Cekungan ini mengakumulasikan sedimen yang selanjutnya menjadi batuan reservoir hidrokarbon yang mengandung banyak mineral.

Pembentukan mineral logam sangat erat kaitannya dengan proses magmatik. Lingkungan pembentukan mineral logam umumnya dijumpai di dalam batuan vulkanik. Hal ini dapat dipahami karena proses magmatik berlangsung simultan dengan kegiatan gunung api. Batuan magmatik dapat muncul ke permukaan akibat erosi yang intensif, sehingga menyisakan sedikit batuan vulkanik. Jika permukaan erosi tepat berada pada zona mineralisasi, maka mineral logam telah tersingkap dan sangat mudah untuk diperoleh.

Salah satu daerah di Sumatera yang memiliki potensi mineral cukup besar yaitu Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Menurut kajian yang telah dilakukan Dinas Pertambangan Kabupaten Solok menunjukkan potensi tambang untuk 4 (empat) komoditas utama: batu bara, bijih besi, emas, dan

tembaga cukup besar dan tersebar di seluruh wilayah Kabupaten Solok. Salah satu daerah di Kabupaten Solok yang diperkirakan memiliki potensi mineral tambang yaitu Nagari Aie Dingin Kecamatan Lembah Gumanti. Nagari Aie Dingin diperkirakan memiliki potensi tambang dikarenakan berada di sekitar kaki Gunung Talang. Gunung Talang merupakan gunung berapi aktif yang terdapat di Kabupaten Solok. Sekitar gunung berapi biasanya terdapat endapan epithermal yang menghasilkan mineral logam. Hal ini memungkinkan Nagari Aie Dingin memiliki potensi mineral cukup besar. Selain itu, Peta Bahaya Gempa Bumi Kecamatan Lembah Gumanti (BAPPEDA, 2012) juga menunjukkan bahwa Nagari Aie Dingin berada pada zona patahan.

Informasi potensi mineral sangat diperlukan guna mengetahui mineral apa saja yang terdapat di daerah tersebut dan dapat dijadikan landasan awal untuk melakukan kegiatan eksplorasi mineral. Salah satu daerah di Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok yang perlu dilakukan kajian potensi mineralnya adalah di Jorong Koto Baru. Jorong Koto Baru memiliki tekstur perbukitan yang mengandung bahan induk terdiri dari batuan gunung api. Hal ini karena Jorong Koto Baru terletak di sekitar Gunung Talang. Kondisi ini memungkinkan terdapatnya kandungan mineral di Jorong Koto Baru.

Salah satu metode yang digunakan dalam mengkaji kandungan mineral dalam bumi adalah metode Geolistrik. Metode Geolistrik merupakan salah satu metode Geofisika yang mempelajari sifat aliran arus di dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya di permukaan bumi. Hal ini meliputi pengukuran potensial, arus, dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah

maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi. Metode Geolistrik dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan parameter yang diukur, antara lain metode *Self-Potensial* (SP), metode *Magneto-Telluric* (MT), metode *Induced Polarization* (IP), metode *Control Source Audio Magneto-Telluric* (CSAMT) dan metode *Resistivity* (tahanan jenis).

Metode Geolistrik yang biasanya digunakan untuk eksplorasi mineral logam adalah metode *Induced Polarization* (IP). Pada prinsipnya metode IP merupakan suatu metode yang mendeteksi terjadinya polarisasi listrik pada permukaan mineral-mineral logam di bawah permukaan bumi. Penyebab terjadi polarisasi karena adanya reaksi antara ion elektrolit dan mineral logam yang disebabkan oleh adanya arus induktif. Metode ini dapat mendeteksi adanya anomali resistivitas meski dalam jumlah yang sangat kecil, yang tidak terdeteksi oleh metode lain. Metode IP ini dapat digunakan mendeteksi jenis dan kedalaman mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin.

Berdasarkan uraian di atas telah dilakukan penelitian dengan judul *Penyelidikan Jenis Mineral di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok dengan Metode Geolistrik Induced Polarization (IP)*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok yang dapat dimanfaatkan masyarakat setempat.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah berguna untuk memfokuskan masalah dalam melaksanakan penelitian. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan,

rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apa saja jenis mineral yang terdapat di daerah Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok bila ditinjau dengan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP)?

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan pada penelitian ini dan keterbatasan penulis, dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Identifikasi jenis mineral berdasarkan nilai *chargeability* di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok.
2. Lintasan yang digunakan dalam penelitian sebanyak 4 lintasan.

D. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian merupakan rumusan teknis dari usaha untuk menjawab masalah yang telah ditetapkan dalam rumusan masalah. Adapun pertanyaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Apa saja jenis mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok jika ditinjau berdasarkan nilai *chargeability* dengan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP) ?
2. Bagaimana distribusi mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok jika ditinjau dengan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP) ?

E. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui jenis mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok berdasarkan nilai *chargeability* dengan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP).
2. Mengetahui distribusi mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok jika ditinjau dengan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP).

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan dicapai setelah penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang jenis dan distribusi mineral berdasarkan nilai *chargeability* yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok.
2. Acuan bagi peneliti selanjutnya yang berkaitan dengan jenis mineral yang terdapat di daerah Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok.
3. Salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Fisika FMIPA UNP.

G. Definisi Istilah

Definisi istilah diperlukan supaya tidak terjadi kesalahan penafsiran.

Berikut ini merupakan definisi istilah yang digunakan dalam penelitian yaitu:

1. Mineral adalah sebagian besar zat-zat hablur (kristal) yang ada dalam kerak bumi dan bersifat homogen, baik fisik maupun kimiawi (Munir, 1995: 185).

2. Metode Geolistrik merupakan salah satu metode Geofisika, dengan prinsip kerjanya mempelajari aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi (Santoso, 2002:111).
3. Metode *Induced Polarization* (IP) merupakan suatu metode yang mendeteksi terjadinya polarisasi listrik pada permukaan mineral-mineral logam di bawah permukaan bumi. Metode ini dapat mendeteksi adanya anomali resistivitas meski dalam jumlah yang sangat kecil, yang tidak terdeteksi oleh metode lain.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Mineral

Mineral merupakan suatu zat yang terbentuk secara alami di alam dengan komposisi dan bentuk kristal tertentu. Menurut Munir (1995), mineral adalah sebagian besar zat-zat hablur (kristal) yang ada dalam kerak bumi dan bersifat homogen, baik fisik maupun kimiawi. Noor (2012: 23) menyatakan "Mineral dapat kita definisikan sebagai bahan padat anorganik yang terdapat secara alamiah, yang terdiri dari unsur-unsur kimiawi dalam perbandingan tertentu, dimana atom-atom di dalamnya tersusun mengikuti suatu pola yang sistimatis". Mineral terdapat dalam batuan, tanah, atau pasir yang diendapkan pada dasar sungai. Beberapa mineral seperti emas dan perak dapat bernilai ekonomis jika ditemukan dalam jumlah yang cukup besar.

Analisis kimia pada batuan menunjukkan bahwa ada delapan unsur yang memainkan peranan penting dalam pembentukan kerak bumi. Unsur-unsur ini bersenyawa membentuk berbagai macam Silikat dan Oksida. Unsur ini sebagian besar membentuk berbagai macam mineral utama yang terdapat dalam batuan. Mineral-mineral demikian disebut mineral pembentuk batuan (Munir.1995: 189-190). Jadi batuan tersusun dari berbagai mineral. Hal ini disebabkan dalam proses pendinginan magma tidak langsung semuanya membeku, tetapi mengalami penurunan temperatur secara perlahan bahkan mungkin cepat. Penurunan temperatur ini disertai mulainya pembentukan dan pengendapan mineral-mineral tertentu yang sesuai dengan temperaturnya.

Tabel 1. Unsur Penyusun Bumi

Elemen – elemen	Batuan Beku	Kerak Bumi
O	46,59 %	46,71 %
Si	27,72 %	27,69 %
Al	8,13 %	8,07 %
Fe	5,01 %	5,05 %
Ca	3,63 %	3,65 %
Na	2,85 %	2,75 %
K	2,60 %	2,58 %
Mg	2,09 %	2,08 %
C	0,032 %	0,094 %

(Sumber: Munir. 1995)

Menurut Ibrahim (2012), mineral dapat dibedakan atas dua yaitu mineral primer dan mineral sekunder. Mineral primer merupakan mineral yang dihasilkan dari hasil pembekuan magma yang berasal dari lapisan Astenosfer bumi. Mineral ini merupakan penyusun utama batuan beku yang terdapat pada Kerak Litosfer. Mineral sekunder merupakan mineral yang terbentuk ketika mineral bijih primer diubah oleh hujan dan air tanah. Mineral ini biasanya berwarna cerah dan bernilai ekonomis. Selain itu mineral sekunder ini juga dapat terbentuk karena adanya perbedaan temperatur antara temperatur pembentukan mineral dengan temperatur bumi. Setiap mineral memiliki karakteristik tertentu. Noor (2012) menyatakan bahwa terdapat dua cara dalam membedakan suatu mineral yaitu berdasarkan sifat fisiknya dan melalui analisa kimiawi atau analisa difraksi sinar X. Berikut ini sifat-sifat fisik mineral yang dapat dipakai untuk mengenali mineral.

a. Bentuk kristal

Apabila suatu mineral mendapat kesempatan untuk berkembang tanpa mendapat hambatan, maka ia akan mempunyai bentuk kristal yang khas. Tetapi apabila dalam perkembangannya ia mendapat hambatan,

maka bentuk kristalnya akan terganggu. Setiap mineral akan mempunyai bentuk kristal khas sebagai akibat dari susunan kristal di dalamnya. Contohnya, kristal mineral intan, dapat dikenali dari bentuknya yang segi-delapan atau Oktahedron dan mineral Grafit dengan segi-enamnya yang pipih, meskipun keduanya mempunyai susunan kimiawi yang sama, yaitu keduanya terdiri dari unsur Karbon (C). Perbedaan bentuk kristal tersebut terjadi karena susunan atom karbonnya yang berbeda.

b. Berat jenis

Setiap mineral memiliki berat jenis tertentu. Besar berat jenis mineral ditentukan oleh unsur-unsur pembentuknya serta kepadatan dari ikatan unsur-unsur tersebut dalam susunan kristalnya. Penentuan berat jenis mineral dapat dilakukan dengan cara menimbanginya dalam udara atau dalam air. Menurut Ibrahim (2012 : 30), “Untuk penentuan berat jenis digunakan standar ≥ 3 untuk mineral logam dan < 3 untuk mineral non logam”. Contohnya mineral Karbonat dengan berat jenis 2,71 dan *Chalcopyrite* dengan berat jenis 4.

c. Bidang belah

Mineral mempunyai kecenderungan untuk pecah melalui bidang dengan arah tertentu. Arah tersebut ditentukan oleh susunan atomnya. Menurut Ibrahim (2012) bidang belah dapat dibagi menjadi 3 bagian. Bidang belah sempurna, bila mineral cenderung untuk pecah pada bidang belah yang rata dan sukar untuk terbelah pada bidang lain. Bidang belah

tidak sempurna, terdapat bidang belah dan juga dapat pecah ke arah lain. Bidang belah tidak jelas, kecenderungan untuk pecah pada semua arah.

d. Warna

Warna-warna yang khas dapat digunakan untuk mengenali adanya unsur tertentu. Sebagai contoh warna gelap pada mineral, mengindikasikan terdapatnya unsur Besi. Mineral dengan warna terang, diindikasikan banyak mengandung Aluminium (Noor. 2012). Warna dapat dijadikan sebagai salah satu indikator awal mengenali suatu mineral tetapi tidak bukan merupakan penciri utama untuk dapat membedakan antara mineral yang satu dengan lainnya.

e. Kekerasan

Kekerasan merupakan daya tahan mineral terhadap tekanan ataupun goresan-goresan dari luar. Skala yang digunakan untuk kekerasan suatu mineral yaitu skala Mohs sebagai standar kekerasan suatu mineral.

Tabel 2. Tingkat Kekerasan Mineral Berdasarkan Skala Mohs

Mineral	Tingkat Kekerasan
<i>Talk</i>	1
<i>Gypsum</i>	2
<i>Calcite</i>	3
<i>Flourite</i>	4
<i>Apatite</i>	5
<i>Feldspar</i>	6
<i>Quartz</i>	7
<i>Topaz</i>	8
<i>Corundum</i>	9
<i>Diamond</i>	10

(Sumber : Ibrahim. 2012)

Tabel 2 menunjukkan tingkat kekerasan suatu mineral. Angka tingkat kekerasan mineral menunjukkan bahwa semakin besar nilai angka

tingkat kekerasannya berarti bahwa mineral tersebut memiliki daya tahan yang kuat terhadap tekanan ataupun goresan-goresan dari luar.

B. Batuan

Batuan merupakan material yang terbentuk dari satu atau beberapa mineral dalam bentuk padatan. Price (2005) mendefinisikan batuan sebagai gabungan dari beberapa zat yang terjadi secara alami, dapat terdiri dari mineral, potongan batu lainnya serta bahan-bahan fosil, seperti kerang atau tanaman. Seluruh batuan yang ada di permukaan bumi berasal dari magma yang meleleh ke arah permukaan. Suhu permukaan bumi yang jauh lebih rendah dari suhu di bawah permukaan bumi mengakibatkan terjadinya pembekuan magma yang membentuk batuan.

Batuan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar menjadi batuan beku, batuan sedimen, dan batuan malihan atau metamorf. Menurut Noor (2012) batuan beku terbentuk sebagai akibat dari pendinginan dan pembekuan magma. Pendinginan magma yang berupa lelehan silikat, akan diikuti oleh proses penghabluran (pengkristalan) yang dapat berlangsung di bawah atau di atas permukaan Bumi melalui erupsi gunung berapi. Batuan beku yang mengalami proses penghabluran di bawah permukaan bumi disebut dengan batuan beku intrusif. Contoh batuan beku intrusif adalah *Granit*, *Diorit*, dan *Sianit*. Batuan beku yang mengalami proses penghabluran di dekat atau di atas permukaan bumi disebut dengan batuan beku ekstrusif. Contoh batuan beku ekstrusif adalah *Basalt*, *Andesite*, dan *Riolit*.

Batuan sedimen merupakan batuan yang terbentuk dari proses pengendapan (sedimentasi) material batuan lain yang meliputi proses pelapukan, erosi, dan transportasi. Proses pelapukan yang terjadi berupa pelapukan fisik maupun kimia. Proses erosi dan transportasi dilakukan oleh media air dan angin. Batuan sedimen terbentuk dari fragmen yang berasal dari batuan lainnya, berbentuk seperti lapisan dimana antara satu lapisan dengan lapisan yang lain terpisah dan berbeda komposisi (Hamblin, 2003). Contoh dari batuan sedimen adalah lempung, *Tufa*, *Limestone*, *Sandstone*, *Clay*.

Batuan metamorf adalah batuan yang telah berubah. Perubahan pada batuan terkadang tidak terlihat atau terjadi perubahan yang begitu besar sehingga sulit untuk menentukan batuan asli sebelum mengalami perubahan (Zim, 1957). Batuan metamorf terbentuk karena perubahan suhu dan tekanan pada batuan beku dan sedimen, sehingga terjadi perubahan fisik dan komposisi mineralnya. Contoh batuan metamorf adalah *Slate*, *Filit*, *Marmar*, dan *Sekis*.

C. Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik dapat berasal dari alam itu sendiri disebabkan oleh adanya atom-atom penyusun kerak bumi yang berinteraksi satu sama lain akibat adanya ketidakseimbangan muatan, atau arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya. Menurut Telford *et al.* (1990), aliran arus listrik dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi elektronik, konduksi elektrolitik, dan konduksi dielektrik.

Konduksi elektronik adalah konduksi yang terjadi jika batuan mempunyai banyak elektron bebas, sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Konduksi elektrolitik adalah konduksi yang terjadi jika batuan/mineral bersifat porus dan pori-pori tersebut terisi oleh cairan elektrolitik sehingga arus dapat mengalir. Konduksi dielektrik adalah konduksi yang terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik yaitu batuan yang tidak mempunyai elektron bebas.

Menurut Telford *et al.* (1990), secara umum berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu (a) konduktor baik ($10^{-8} \Omega\text{m} < \rho < 1 \Omega\text{m}$), (b) konduktor menengah ($1 \Omega\text{m} < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$), dan (c) isolator ($\rho > 10^7 \Omega\text{m}$). Nilai tahanan jenis batuan ditunjukkan pada Tabel 3 dan nilai *chargeability* mineral dan batuan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Tabel Tahanan Jenis Batuan

Batuan Beku dan Batuan Metamorph	
Batuan	Resistivitas (Ωm)
<i>Granite</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
<i>Granite porphyry</i>	$4,5 \times 10^3$ (basah) – $1,3 \times 10^6$ (kering)
<i>Feldspar porphyry</i>	4×10^3 (basah)
<i>Albite</i>	3×10^2 (basah) – $3,3 \times 10^3$ (kering)
<i>Syenite</i>	$10^2 - 10^6$
<i>Diorite</i>	$10^4 - 10^5$
<i>Diorite porphyry</i>	$1,9 \times 10^3$ (basah) – $2,8 \times 10^4$ (kering)
<i>Porphyrite</i>	$10 - 5 \times 10^4$ (basah) – $3,3 \times 10^3$ (kering)
<i>Carbonatized porphyry</i>	$2,5 \times 10^3$ (basah) - 6×10^4 (kering)
<i>Quartz porphyry</i>	$3 \times 10^2 - 3 \times 10^5$
<i>Quartz diorite</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (basah) – $1,8 \times 10^5$ (kering)
<i>Porphyry (various)</i>	60×10^4
<i>Dacite</i>	2×10^4 (basah)
<i>Andesite</i>	$4,5 \times 10^4$ (basah) – $1,7 \times 10^5$ (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>Tuffs</i>	2×10^3 (basah) – 10^5 (kering)
<i>Graphite schists</i>	$10 - 10^2$
<i>Slate (various)</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
<i>Gneiss (various)</i>	$6,8 \times 10^4$ (basah) - 3×10^6 (kering)
<i>Marmar</i>	$10^2 - 2,5 \times 10^8$ (kering)
<i>Skarn</i>	$2,5 \times 10^2$ (basah) – $2,5 \times 10^8$ (kering)
<i>Quartzites (various)</i>	$10 - 2 \times 10^8$
Batuan Sedimen	
<i>Consolidated shales (serpihan gabungan)</i>	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Argillites</i>	$10 - 8 \times 10^2$
<i>Konglomerat</i>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Batu pasir (Sandstone)</i>	$1 - 6,4 \times 10^8$

Batuan	Resistivitas (Ωm)
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 bergabung)	20
<i>Marls</i>	3 – 70
Lempung (<i>Clay</i>)	1 – 100
<i>Alluvium and Sands</i>	10 – 800
<i>Oil sands</i>	4 – 800

(Sumber : Telford et al. 1990:290)

Tabel 4. Nilai *Chargeability* Mineral dan Batuan

Mineral dan Batuan	<i>Chargeability</i> (ms)
<i>Pyrite</i>	13.4
<i>Chalcocite</i>	13.2
<i>Copper</i>	12.3
<i>Graphite</i>	11.2
<i>Chalcophyrite</i>	9.4
<i>Bornite</i>	6.3
<i>Galena</i>	3.7
<i>Magnetite</i>	2.2
<i>Malachite</i>	0.2
<i>Hematite</i>	0.0
<i>Ground water</i>	0
<i>Alluvium</i>	1 – 4
<i>Gravels</i>	3 – 9
<i>Precambrian volcanics</i>	8 – 20
<i>Precambrian gneisses</i>	6 – 30
<i>Schist</i>	5 – 20
<i>Sandstone</i>	3 – 12
<i>Argillites</i>	3 – 10
<i>Quartzites</i>	5 – 12
<i>20% sulfides</i>	2.000 - 3.000
<i>8 - 20% sulfides</i>	1.000 - 2.000
<i>2 - 8% sulfides</i>	500 - 1.000
<i>Volcanics tuff</i>	300 – 800
<i>Sandstone, siltstone</i>	100 – 500
<i>Dense volcanic rocks</i>	100 – 500
<i>Shale</i>	50 – 100
<i>Granite, grandodiorite</i>	10 -50
<i>Limestone, dolomite</i>	10 – 20

(Sumber: Telford et al. 1990: 584)

D. Metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP)

Metode *Induced Polarization* (IP) disebut juga metode polarisasi terimbas. Metode IP merupakan teknik yang relatif baru di Geofisika. Metode ini digunakan untuk eksplorasi logam dasar dan sebagian kecil dalam pencarian air tanah (Telford *et al.* 1990). Menurut Wijatmoko dkk (dalam Fajariyah, E.N. dan Supriyadi, 2014:23),

"Metode IP (Induksi Polarisasi) merupakan salah satu metode Geofisika yang mana merupakan cabang dari metode Geolistrik. Metode ini merupakan pengembangan dari metode Geolistrik Resistivitas. Perbedaan metode Geolistrik Resistivitas dan metode IP terletak pada perlakuan pengukurannya. Pada metode Geolistrik Resistivitas, potensial diukur ketika arus diinjeksikan, sedangkan pada metode IP potensial diukur ketika arus dimatikan."

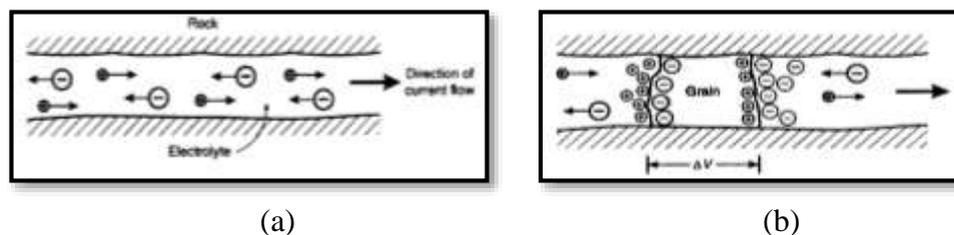
Menurut Telford *et al* (1990), penyebab terjadinya induksi polarisasi yaitu adanya reaksi antara ion elektrolit dan mineral logam yang disebabkan oleh adanya arus induktif. Mineral yang terdapat dalam bumi mempunyai kontras konduktivitas yang besar karena biasanya terbentuk sebagai senyawa-senyawa Sulfida. Gejala induksi polarisasi mungkin terjadi ketika arus diinjeksikan pada Sulfida yang merupakan penghantar elektronik dan larutan dalam pori-pori batuan yang merupakan penghantar ionik. Efek polarisasi tergantung pada jenis konduksi dalam batuan. Jika ada aliran arus listrik, maka dekat permukaan mineral akan terjadi pengakumulasian ion-ion bermuatan negatif dan positif, karena ion negatif dari medan listrik yang melaluinya tertahan oleh ion positif di dekat permukaan mineral. Kekurangan muatan terjadi dekat pengakumulasian ion positif dan negatif yang menyebabkan

terjadinya gradien konsentrasi ion-ion yang menentang arus listrik yang melewatinya dan gejala ini disebut polarisasi.

Penyebab pasti dari induksi polarisasi masih belum jelas, namun dua mekanisme utama yang cukup dipahami adalah polarisasi elektroda dan polarisasi membran, yang keduanya terjadi melalui proses elektrokimia (Reynolds. 1997:524). Berikut ini penjelasan mengenai mekanisme polarisasi elektroda dan polarisasi membran.

a. Polarisasi Elektroda

Polarisasi elektroda terjadi jika terdapat mineral logam dalam batuan. Kehadiran mineral logam dapat menghalangi aliran arus induksi, sehingga muatan akan terpolarisasi pada bidang batas (terjadi hambatan elektrokimia) dan menghasilkan beda potensial untuk memaksa arus menembus hambatan elektrokimia perlu tegangan tambahan (*overpotential*).



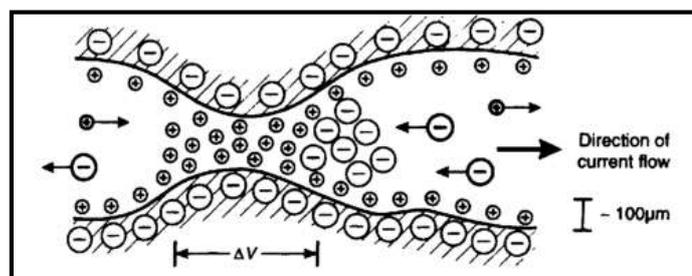
Gambar 1. Model Penampang Polarisasi Elektroda dan Pergerakan Ion pada Pori-Pori Batuan ketika Kedua Sisinya Dialirkan Arus. (Sumber: Reynolds.1997:525)

Gambar 1(a) menggambarkan arus yang mengalir pada seluruh ruang pori-pori yang terisi larutan tanpa adanya sumbatan butiran mineral. Ion-ion positif dan negatif menyebar berdasarkan arus yang melewatinya, dimana elektrolit positif (+) mengalir searah dengan arah arus sedangkan elektrolit negatif (-) mengalir berlawanan dengan arah arus. Pada Gambar 1(b) terlihat

mineral logam yang mempunyai jaring pembatas saling berlawanan. Peristiwa ini dinamakan elektrolisis dimana ketika arus mengalir sebuah elektron berpindah tempat di antara logam dan larutan ion-ion pada bidang batas.

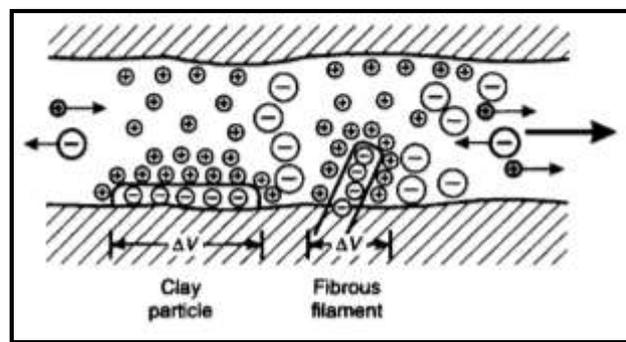
b. Polarisasi Membran

Polarisasi membran disebut juga dengan polarisasi elektrolit atau polarisasi bukan logam. Polarisasi membran terjadi karena adanya perbedaan kemampuan ion dalam melewati batuan yang berpori akibat keberadaan partikel lempung pada pori-pori batuan. Partikel lempung memiliki sifat bermuatan negatif yang sangat besar yang menyebabkan ion-ion positif pada fluida elektrolit akan tertarik ke arah partikel lempung bermuatan negatif. Ion negatif yang berasal dari fluida elektrolit akan menjauh dari partikel lempung, sementara ion positif akan terakumulasi pada sisi pori-pori batuan. Tanpa adanya pemberian beda potensial pada batuan tidak akan terlalu berpengaruh terhadap akumulasi ion positif, namun jika diberikan beda potensial maka muatan elektron yang berasal dari arus listrik yang diinjeksikan ke dalam struktur batuan akan terhambat oleh akumulasi ion positif tersebut. Proses penghambatan inilah yang menjadi konsep dasar polarisasi membran dalam pori-pori batuan.



Gambar 2. Polarisasi Membran yang Disebabkan oleh Penyempitan Pori-Pori.
(Sumber: Reynolds.1997: 527)

Gambar 2 merupakan polarisasi membran yang disebabkan oleh penyempitan pori-pori. Saat arus memasuki pori-pori batuan yang menyempit, terjadi akumulasi ion positif di dekat ion negatif yang terdapat pada dinding membran. Ion negatif lainnya akan terakumulasi di seberang ion positif yang sudah terakumulasi sehingga terjadi pembentukan kutub.



Gambar 3. Polarisasi Membran pada Batuan yang Mengandung Mineral Lempung (Mineral Bermuatan Negatif) yang Mengisi Batuan Berpori. (Sumber: Reynolds.1997:257)

Gambar 3 menunjukkan polarisasi membran karena keberadaan partikel lempung pada pori batuan. Ion-ion positif pada fluida elektrolit akan tertarik ke arah partikel lempung yang memiliki sifat bermuatan negatif yang sangat besar. Ion negatif akan menjauh dari partikel lempung dan ion-ion positif akan terakumulasi pada sisi pori-pori batuan. Jika diberikan beda potensial, maka muatan elektron yang berasal dari arus listrik yang diinjeksikan ke dalam struktur batuan akan terhambat oleh akumulasi ion positif.

Terdapat dua macam fenomena yang menyebabkan timbulnya gejala polarisasi membran dan polarisasi elektroda dalam metode induksi polarisasi. Pertama, fenomena elektrokimia yang terjadi karena adanya reaksi dan perubahan kimia di dalam suatu mineral akibat dialirkannya arus listrik ke

dalam tanah. Beda potensial akan terukur jika mineral berinteraksi dengan larutan yang terdapat pada pori-pori batuan yang menyebabkan terjadinya kesetimbangan kimia. Kedua, fenomena elektrokinetik yang terjadi tanpa adanya suatu reaksi kimia. Fenomena ini muncul akibat adanya perpindahan fasa cairan (fluida pengisi batuan berpori) terhadap fasa padatan. Hal ini dapat dicontohkan pada *Clay* (lempung). Mineral *Clay* dalam batuan memiliki muatan negatif yaitu pada bidang batas antara permukaan batuan dan larutan yang terdapat dalam pori batuan. Ion-ion negatif di permukaan batuan mengalami absorpsi, sehingga terjadi kelebihan ion-ion positif bebas pada larutan. Ada 4 (empat) sistem pengukuran IP yaitu *time domain*, *frequency domain*, *phase domain*, dan *spectral IP* (Reynolds, J.M. 1997:523).

a. *Time Domain*

Pengukuran domain waktu yaitu dengan cara mengalirkan pulsa arus listrik berbentuk persegi panjang ke dalam tanah. Saat arus listrik dimatikan akan terlihat bahwa tegangan tidak segera turun menjadi nol, tetapi meluruh secara perlahan-lahan (*decay*) menjadi nol. Menurut Reynolds (1997: 531) persamaan untuk *chargeability* sebagai berikut :

$$M = \frac{V_s}{V_p} \quad (1)$$

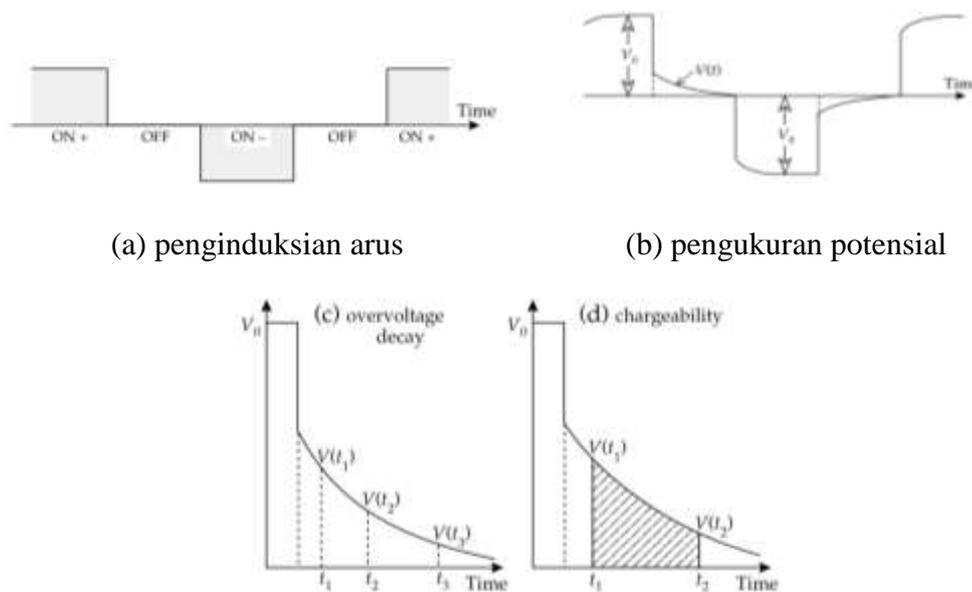
dimana V_s adalah *overvoltage* dan V_p adalah tegangan yang teramati saat arus diberikan. Rumus *chargeability* di atas merupakan perhitungan efek IP pada domain waktu. Nilai *apparent chargeability* bergantung pada jenis bahan dan selang waktu pengaliran arus.

$$M_a = \frac{1}{V_p} \int_{t_1}^{t_2} V_s(t) dt \quad (2)$$

dimana $V_s(t)$ adalah *overvoltage* pada saat t , satuan *apparent chargeability* adalah sekon atau mili sekon.

Apparent chargeability menunjukkan lama tidaknya efek polarisasi untuk menghilang sesaat setelah arus dimatikan, sehingga jika nilai Ma besar, maka waktu peluruhannya lama. Jika waktu peluruhannya lama, maka dapat diasumsikan terdeteksi mineral konduktif.

Ilustrasi fenomena induksi polarisasi dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 4), arus searah (DC) dialirkan melalui rangkaian empat elektroda dan dimatikan secara tiba-tiba. Potensial yang tertangkap pada elektroda potensial tidak turun langsung menjadi nol namun arus turun secara perlahan yang disebut dengan *overvoltage decay*.



Gambar 4. (a) Ilustrasi Peluruhan IP Terkait Potensi setelah Gangguan Arus Utama. (b) Pengaruh Waktu Peluruhan IP pada Bentuk Gelombang Potensial untuk Arus Masukan Gelombang Persegi. (Sumber: Lowrie, William.2007: 265)

Gambar 4 menunjukkan ilustrasi fenomena induksi polarisasi pada domain waktu. Gambar 4(a) memperlihatkan arus masukan yang berbentuk gelombang persegi. Gambar 4(b) menunjukkan pengukuran potensial, dimana terlihat adanya penurunan tegangan secara perlahan (*decay*). Tegangan pada saat arus belum diputus dicatat sebagai tegangan primer (V_0) sedangkan tegangan pada saat arus mulai diputus dicatat sebagai tegangan sekunder ($V(t)$).

Penurunan tegangan terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 4(c) yang menunjukkan semakin bertambahnya waktu semakin menurunnya tegangan yang terukur hingga mendekati nilai nol pada saat arus sudah diputus. Gambar 4(d) memperlihatkan menurunnya potensial yang terukur setelah arus dimatikan yaitu saat t_1 hingga t_2 . $V(t_1)$ merupakan besar potensial yang terukur saat waktunya t_1 dan $V(t_2)$ merupakan besar potensial yang terukur saat waktunya t_2 . Bagian yang diarsir pada Gambar 4(d) merupakan besar nilai *chargeability* yang diperoleh pada pengukuran yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2).

b. *Frequency Domain*

Pengukuran domain frekuensi merupakan pengukuran untuk mencari nilai resistivitas dengan memvariasikan dua buah frekuensi (menggunakan frekuensi tinggi dan frekuensi rendah). Pada batuan yang tidak terdapat mineral konduktif, maka resistivitas akan sama pada setiap frekuensi. Jika pada batuan yang mengandung mineral konduktif, maka resistivitas pada frekuensi tinggi akan lebih rendah dibanding dengan resistivitas pada frekuensi rendah. Ada

beberapa parameter dalam kawasan frekuensi, di antaranya adalah *Frequency Effect* dan *Metal Factor*. Parameter yang dapat dihitung adalah:

1) *Frequency Effect* (FE)

Pada metode IP domain frekuensi, pengukuran resistivitas semu menggunakan dua atau lebih frekuensi. *Frequency effect* merupakan perbandingan antara selisih tegangan pada frekuensi rendah (frekuensi dc) dan frekuensi tinggi (frekuensi ac) dengan tegangan pada frekuensi yang terdeteksi pada dua elektroda potensial.

$$FE = \frac{\Delta V}{V} = \frac{V_l - V_h}{V_h} \quad (3)$$

Frequency effect dapat juga dinyatakan dalam selisih resistivitas. Resistivitas pada frekuensi rendah nilainya lebih besar dari pada resistivitas pada frekuensi tinggi ($\rho_{dc} > \rho_{ac}$). Persamaan *frequency effect* -nya menjadi:

$$FE = \frac{\rho_{dc} - \rho_{ac}}{\rho_{ac}} \quad (4)$$

Sementara itu PFE (*Percent Frequency Effect*) dinyatakan sebagai berikut:

$$PFE = \frac{\rho_{dc} - \rho_{ac}}{\rho_{ac}} \times 100\% \quad (5)$$

dimana:

FE : *Frequency effect*

V_l : tegangan pada frekuensi rendah (0.05-0.5 Hz)

V_h : tegangan pada frekuensi tinggi (1-10Hz)

ρ_{dc} : resistivitas semu pada frekuensi rendah (0.05-0.5 Hz)

ρ_{ac} : resistivitas semu pada frekuensi tinggi (1-10Hz)

2) *Metal Factor* (MF)

Metal factor (MF) didefinisikan sebagai besaran yang menentukan seberapa banyak mineral logam dalam batuan, dirumuskan:

$$MF = A (\rho_{dc} - \rho_{ac}) / (\rho_{dc} - \rho_{ac}) \quad (6)$$

$$MF = A (\sigma_{dc} - \sigma_{ac}) \quad (7)$$

ρ_{dc} : resistivitas semu pada frekuensi rendah

ρ_{ac} : resistivitas semu pada frekuensi tinggi

σ_{dc} : konduktivitas semu pada frekuensi rendah

σ_{ac} : konduktivitas semu pada frekuensi tinggi

A : konstanta dengan nilai sebesar $2\pi \times 10^5$

Bentuk lain persamaan *metal factor* (MF) sebagai berikut

$$MF = A \times \frac{FE}{\rho_{dc}} = A \times FE \times \sigma_{dc} \quad (8)$$

Tabel 5. *Metal Factor* Berbagai Macam Batuan dan Mineral.

Material	<i>Metal factor</i> (mhos/cm)
<i>Massive-sulfides</i>	10.000
<i>Fracture-filling sulfides</i>	1.000-10.000
<i>Massive magnetite</i>	3-3.000
<i>Porphyry copper</i>	30-1.500
<i>Dissem sulfides</i>	100-1.000
<i>Shale-sulfides</i>	3-300
<i>Clays</i>	1-300
<i>Sandstone 1-2% sulfides</i>	2-200
<i>Finely dissem sulfides</i>	10-100
<i>Tuffs</i>	1-100
<i>Graphitic Sandstone and limestone</i>	4-60
<i>Gravels</i>	0-200
<i>Alluvium</i>	0-200
<i>Precambian gneisses</i>	10-100
<i>Granites, monzonites, diorites</i>	0-60

Material	<i>Metal factor</i> (mhos/cm)
<i>Various volcanics</i>	0-80
<i>Schists</i>	10-60
<i>Basic rocks (barren)</i>	1-10
<i>Granites (barren)</i>	1
<i>Groudwater</i>	0

(Sumber: Telford.1990: 584)

c. *Phase Domain*

Metode ini mengukur beda sudut fasa antara sinyal tegangan dengan masukan gelombang arus listrik yang diberikan. Bentuk gelombang keduanya diasumsikan sinusoidal dengan frekuensi yang sama. Sifat dasar mineralisasi di bawah permukaan menjadi dasar beda sudut fasa antara arus yang diberikan dan potensial yang terukur.

d. *Spectral IP*

Spectral IP adalah nama lain dari resistivitas kompleks. *Spectral IP* adalah teknik survei Geofisika dan perluasan dari metode *Induced Polarization* (IP) pada satu frekuensi. Survei *Spectral IP* melibatkan pengukuran magnitudo dan fase relatif tegangan polarisasi yang dihasilkan dari injeksi arus bolak-balik ke dalam tanah. Rentang frekuensi biasa untuk arus bolak-balik (AC) yang diterapkan selama survei *spectral IP* adalah puluhan kHz ke mHz. *Spectral IP* bertujuan untuk membedakan sifat material bawah permukaan, seperti salinitas dan saturasi.

Respon *spectral IP* :

$$|Z(\omega)| = \rho_0 \left[1 - M \left(1 - \frac{1}{1+(i\omega\tau)^c} \right) \right] \quad (9)$$

dimana ρ_o adalah resistivitas DC, M adalah *chargeability* IP, ω adalah frekuensi sudut, τ adalah konstanta waktu dan $i=\sqrt{-1}$.

E. 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. Metode ini 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”. Pada pengoptimalan semua metode, sebuah model awal dimodifikasi secara berulang sehingga perbedaan antara respon model dan nilai data yang teramati dapat direduksi. Data yang diamati dapat ditulis menjadi

$$\mathbf{y} = \mathbf{col} (\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots \mathbf{y}_m) \quad (11)$$

dimana m adalah jumlah pengukuran. Sedangkan untuk respon model f dapat ditulis dalam Persamaan (11).

$$\mathbf{f} = \mathbf{col} (\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots \mathbf{f}_m) \quad (12)$$

Permasalahan resistivitas biasanya diselesaikan menggunakan logaritma dari nilai tahanan jenis semu untuk data yang diamati dan respon model. Logaritma dari nilai model disebut parameter model. Persamaan untuk parameter model yaitu:

$$\mathbf{q} = \mathbf{col} (\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots \mathbf{q}_n) \quad (13)$$

n adalah jumlah parameter model. Perbedaan antara data yang diamati dan respon model dapat dinyatakan sebagai vektor *discrepancy* .

$$\mathbf{g} = \mathbf{y} - \mathbf{f} \quad (14)$$

Pengoptimalisasian metode *Least Squares* dilakukan dengan memodifikasi model awal sedemikian rupa, sehingga *error* jumlah kuadrat E dapat diperkecil. E merupakan perbedaan nilai antara respon model dan data yang diamati.

$$E = \mathbf{g}^T \mathbf{g} = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (14)$$

Nilai error pada Persamaan (14) dapat diperkecil menggunakan persamaan Gauss-Newton. Persamaan Gauss-Newton digunakan untuk menentukan perubahan parameter model.

$$\mathbf{J}^T \mathbf{J} \Delta \mathbf{q}_f = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \quad (15)$$

$\Delta \mathbf{q}_f$ adalah vektor perubahan parameter model dan J adalah matriks Jacobian. Elemen-elemen dari matriks Jacobian dinyatakan sebagai berikut.

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (16)$$

Setelah menghitung vektor perubahan parameter, sehingga diperoleh model baru dalam Persamaan (17).

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{q}_k + \Delta \mathbf{q}_k \quad (17)$$

Persamaan (17) tidak dapat digunakan karena mencoba memperkecil jumlah kuadrat vektor *discrepancy* saja. Loke (2004:13) merumuskan metode inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* sebagai berikut.

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q_k = J^T g - \lambda F q_k \quad (18)$$

Dimana F merupakan matrik *smoothing*, J merupakan matrik Jacobian dari turunan parsial, q_k adalah vektor yang mengandung logaritma dari nilai resistivitas model, λ adalah faktor damping, Δq_k adalah vektor perubahan parameter model, dan g vektor *discrepancy*. Vektor *discrepancy* merupakan perbedaan antara nilai-nilai tahanan jenis yang diukur dan yang dihitung. Besarnya vektor ini sering diberikan sebagai nilai RMS (*root mean-squares*). Vektor perturbasi Δq_k adalah perubahan nilai resistivitas model yang dihitung.

Persamaan (18) dapat menghasilkan model yang lebih baik dan untuk meminimalkan perbedaan antara nilai tahanan jenis dan *chargeability* yang diukur dengan nilai tahanan jenis dan *chargeability* yang dihitung. Hasil inversi merupakan model distribusi tahanan jenis material bawah permukaan bumi yang dapat disebut *resistivity pseudosection* atau *inverse model resistivity section* dan model distribusi *chargeability* material bawah permukaan bumi yang dapat disebut *chargeability pseudosection* atau *inverse model chargeability section*. Model yang diperoleh melalui proses inversi selalu memiliki nilai *residual error* atau *root mean squared error* (RMSE). Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai *error*. Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi matematis yang sama secara berulang untuk memperoleh hasil yang diinginkan.

F. Penelitian-Penelitian yang Relevan

Penelitian menggunakan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP) saat ini sedang berkembang pesat terutama dalam bidang pertambangan yaitu

eksplorasi mineral ekonomis dan geofisika lingkungan. Erlina (2011) melakukan penelitian analisa potensi emas menggunakan metode IP di Nagari Padang Sibusuk Kabupaten Sijunjung. Penelitian ini menyimpulkan bahwa daerah penelitian diduga memiliki potensi emas dengan jenis material pembawa emas yang diperoleh berdasarkan nilai *resistivity* dan *chargeability* adalah *Pyrite* (*resistivity* 0,5 Ω m), Granit (*chargeability* 47,9 msec dan 49,1 msec) dan Kuarsa (*chargeability* 5,33 msec).

Yuwanto (2013) telah melakukan penelitian Eksplorasi Mineral Logam dengan Metode Induksi Polarisasi Daerah Mekar Jaya - Cidolog, Kabupaten Sukabumi Jawa Barat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa berdasarkan data anomali resistivitas daerah telitian tersusun oleh batuan yang telah mengalami alterasi (ubahan), alterasi argilik dan alterasi propilitik dicirikan dengan nilai resistivitas < 100 Ohm.m dan alterasi silisifikasi dicirikan dengan nilai resistivitas > 200 Ohm.m. Berdasarkan data anomali *chargeability* secara horizontal penyebaran alterasi – mineralisasi mengikuti arah dugaan vein sesuai dengan arah sebaran singkapan geologi permukaan yang secara umum berarah Barat Laut (NW) – Tenggara (SE), daerah potensi mineralisasi ditandai dengan nilai *chargeability* > 100 M.sec.

Arjuna (2014) melakukan penelitian Pemetaan Sebaran Endapan Mineral Logam Berdasarkan Interpretasi Data Polarisasi Terimbas di Lapangan “X” PT Newmont Nusa Tenggara (PT NNT). Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa litologi struktur batuan bawah permukaan daerah penyelidikan diduga terdiri atas 5 satuan batuan utama yaitu satuan batu lempung tuffan, satuan

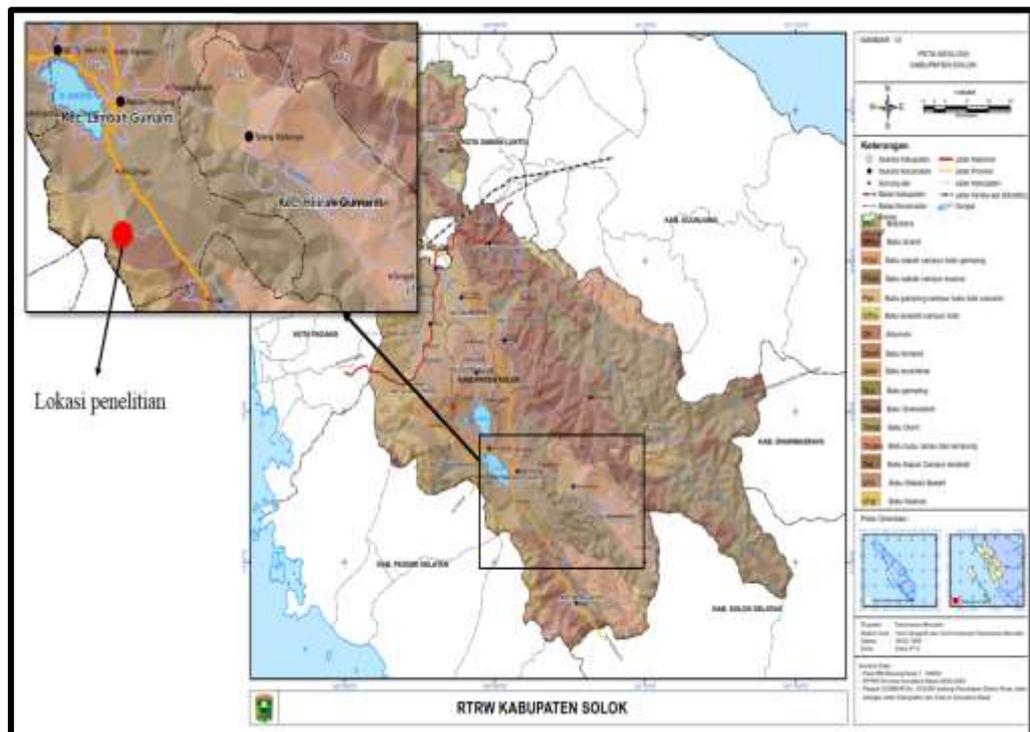
batu pasir tuffan, satuan batu gamping, satuan batuan lava breksi dan satuan batuan lava andesit-basalt. Zona mineralisasi berada pada nilai *high* chargeabilitas pada *range* 69,7-155 msec yang didukung oleh *low* resistivitas pada kisaran 4,21-26,5 Ω m dan kemenerusan anomali tampak berarah Barat-Timur pada kedalaman \pm 50-400 m.

Selanjutnya ada Fajariyah (2014) yang melakukan pendugaan zona mineralisasi emas di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri menggunakan metode IP domain waktu. Hasil interpretasi dari model 2 dimensi dan 3 dimensi menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh lapisan Alluvium dengan nilai chargeabilitas 1 – 4 msec dan beberapa jenis batuan serta mineral lain yaitu Kalkopirit 4 – 9 msec, Tembaga 3 – 12 msec, Vulkanik Prekambrian 8 – 20 msec, batuan Serpih 20 – 50 msec, Vulkanik padat 50 – 100 msec, batu pasir dan batu lanau 100 – 500 msec. Zona mineralisasi emas diindikasikan dengan adanya mineral Kalkopirit dengan nilai chargeabilitas 4 – 9 msec terletak pada Lintasan 1 dan Lintasan 2 pada kedalaman lebih dari 20 meter. Keberadaan zona mineralisasi emas pada Lintasan 2 diduga merupakan kemenerusan dari Lintasan 1.

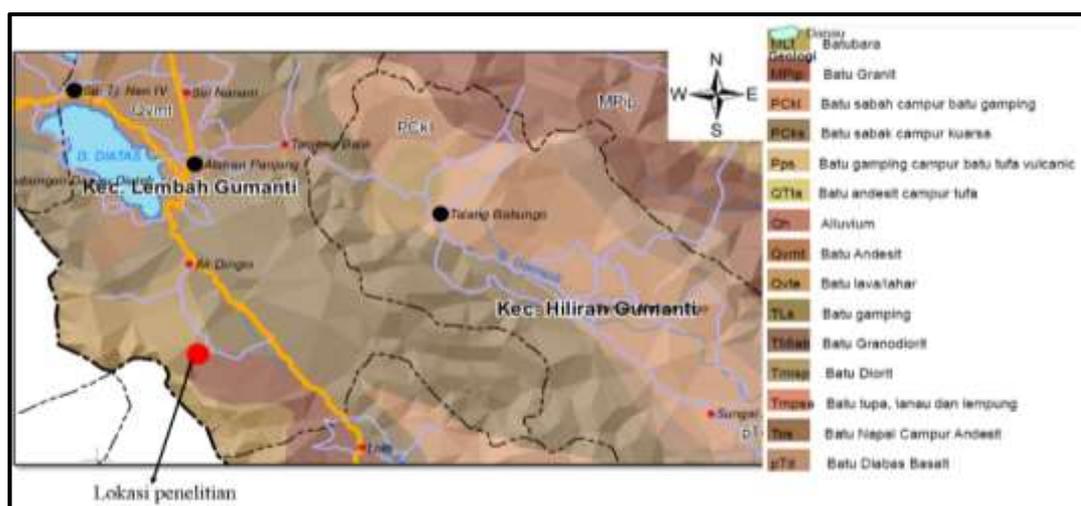
G. Deskripsi Geologi Daerah Penelitian

Secara administratif daerah penelitian terletak di Nagari Aie Dingin termasuk daerah Kecamatan Lembah Gumanti Kabupaten Solok. Secara geografis terletak antara $01^{\circ} 57' 18''$ - $01^{\circ} 13' 32''$ LS dan $100^{\circ} 44' 48''$ – $100^{\circ} 44' 48''$ BT. Secara umum Kanagarian Aie Dingin Kecamatan Lembah Gumanti Kabupaten Solok ini sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Payung

Sekaki, sedangkan di sebelah Timur dengan Kecamatan Hiliran Gumanti di sebelah Selatan Kabupaten Pesisir Selatan dan Kecamatan Pantai Cermin, sebelah Barat dengan Kecamatan Danau Kembar.



Gambar 5. Peta Geologi Kabupaten Solok (Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Solok. 2013)



Gambar 6. Peta Geologi Kecamatan Lembah Gumanti (Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Solok. 2013)

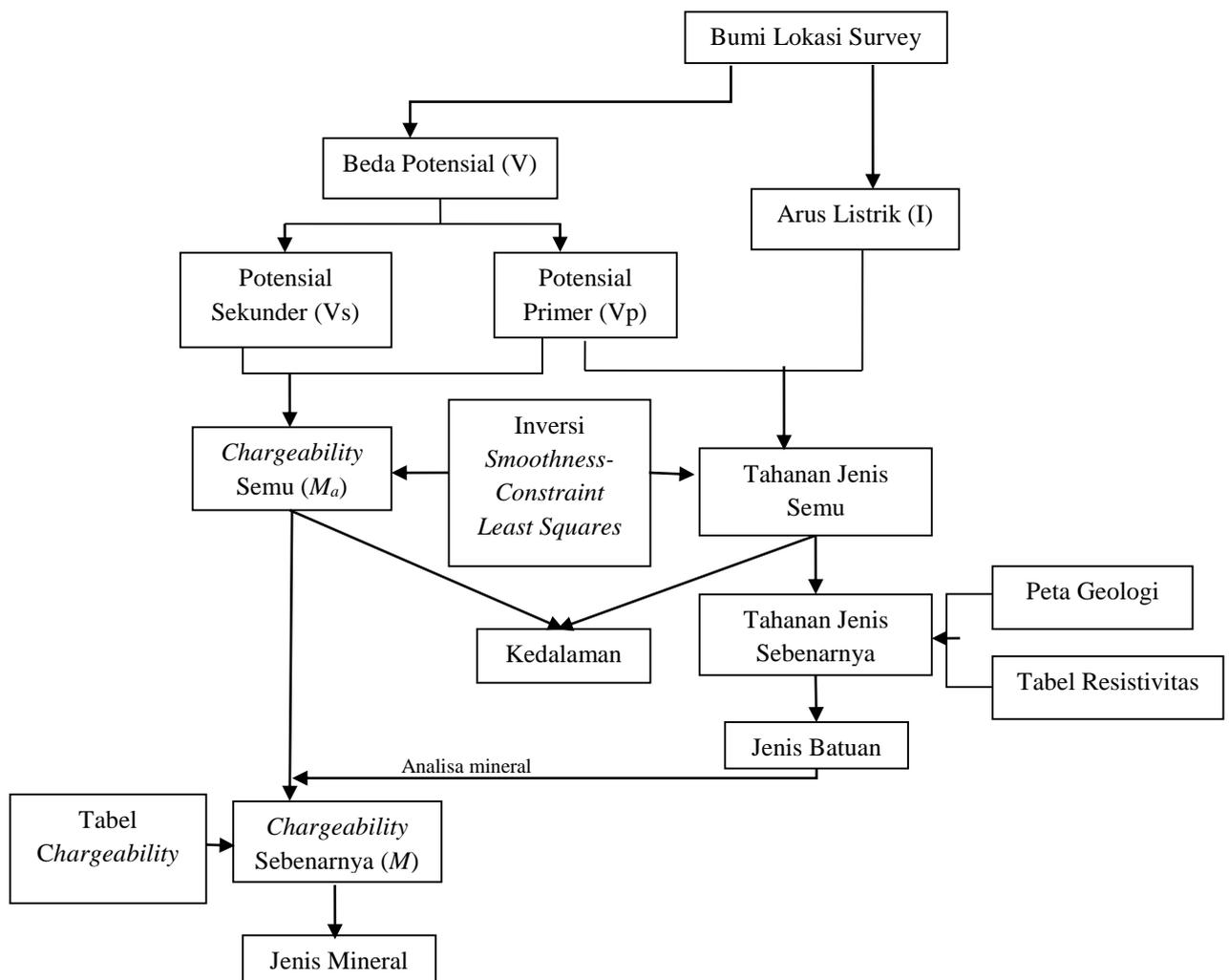
Berdasarkan Gambar 6 diketahui bahwa Alluvium tersebar pada wilayah bagian Selatan Kecamatan Lembah Gumanti, batuan Gamping campur batuan Tufa Vulkanik tersebar di wilayah bagian Barat Kecamatan Lembah Gumanti, batuan Diorit tersebar di wilayah bagian Timur Kecamatan Lembah Gumanti, dan batuan Andesit tersebar di wilayah bagian Utara Kecamatan Lembah Gumanti. Pada lokasi penelitian batuan penyusun daerahnya yaitu Alluvium, batuan Gamping campur batuan Tufa Vulkanik.

H. Kerangka Berfikir

Penelitian ini menggunakan metode Geolistrik *Induced Polarization* (IP). Gambar 7 memperlihatkan bumi sebagai pusat lokasi survei, saat arus listrik dialirkan ke bawah permukaan bumi, beda potensial akan terukur di permukaan bumi. Parameter yang didapat dari hasil pengukuran di lapangan (variabel bebas) adalah kuat arus listrik (I), beda potensial (V), dan jarak/spasi elektroda. Pada metode IP ini beda potensial yang terukur ada 2 macam yaitu potensial primer (V_p) yaitu saat arus dialirkan ke bawah permukaan bumi dan potensial sekunder (V_s) yaitu tegangan yang terukur setelah tidak ada aliran arus. Parameter yang dihitung (variabel terikat) adalah tahanan jenis semu dan *chargeability* semu.

Variabel yang didapat saat pengukuran di lapangan dianalisa menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (1). Analisa data akan menghasilkan nilai tahanan jenis semu dan *chargeability* semu. Nilai tahanan jenis semu dan *chargeability* semu diinterpretasikan menggunakan inversi *Smoothness-Constraint Least Squares* dengan bantuan *software Res2dinv*.

Interpretasi data tahanan jenis semu akan menghasilkan nilai tahanan jenis sebenarnya dan kedalaman lapisan batuan daerah penelitian, selanjutnya nilai tahanan jenis sebenarnya dibandingkan dengan tahanan jenis (Tabel 3) dan geologi daerah penelitian sehingga diperoleh jenis batuan penyusun daerah penelitian. Batuan mengandung satu atau beberapa jenis mineral. Analisa lebih lanjut untuk mengetahui jenis mineral yang terkandung dalam batuan di daerah penelitian dapat dianalisa berdasarkan nilai *chargeability*. Interpretasi data *chargeability* semu menghasilkan nilai *chargeability* sebenarnya dan kedalaman mineral daerah penelitian. Nilai *chargeability* sebenarnya dibandingkan dengan tabel *chargeability* mineral (Tabel 4), sehingga diperoleh jenis dan kedalaman mineral daerah penelitian.



Gambar 7. Kerangka Berfikir

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

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

1. Jenis mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok adalah *Graphite Chalcopyrite, Copper, dan Galena*.
2. Mineral *Graphite* ditemukan dengan ketebalan bervariasi yaitu 12,75 m, 43,4 m dan 56,15 m. Mineral *Chalcopyrite* ditemukan dengan ketebalan 43,78 m dan 6,15 m. Mineral *Copper* ditemukan dengan ketebalan bervariasi yaitu 10,5 m, 15,42 m, 6,52 m, dan 40,1 m, sedangkan mineral *Galena* ditemukan dengan ketebalan bervariasi yaitu 2,78 m, 9,73 m, dan 4,35 m.

B. Saran

1. Hasil penelitian ini dapat direkomendasikan kepada Dinas Pertambangan Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Solok sebagai informasi potensi mineral yang terdapat di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok.
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan metode yang lain dan cakupan daerah penelitian yang lebih luas di Jorong Koto Baru Nagari Aie Dingin Kabupaten Solok untuk dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dicapai.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmam dan Nofi Yendri S. (2013). *Analisis Struktur Batuan dengan Metode Inversi Smoothness-Constrained Least Squares Data Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar*. Jurnal Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, ISBN 978-602-98559-2-0
- Arjuna, Sukri, Adi Susilo, dan Sunaryo. 2014. *Pemetaan Sebaran Endapan Mineral Logam Berdasarkan Interpretasi Data Polarisasi Terimbas di Lapangan "X" PT Newmont Nusa Tenggara (PT NNT)*. Indonesian Journal of Applied Physics (2014) Vol.04 No.1. ISSN:2089 – 0133. Hlm 78-94.
- Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Solok. 2013. *Peta Geologi Kabupaten Solok*. Solok.
- Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Solok. 2012. *Peta Bahaya Gempa Bumi di Kabupaten Solok Sumatera Barat*. Solok
- Erlina. 2011. *Analisa Potensi Emas Menggunakan Metode Induksi Polarisasi Konfigurasi Dipole-Dipole di Nagari Padang Sibusuk Kecamatan Kupitan Kabupaten Sijunjung*. Skripsi tidak diterbitkan. FMIPA UNP.
- Fajariyah, E.N. dan Supriyadi. 2014. *Aplikasi Metode Time Domain Induced Polarization (TDIP) Untuk Pendugaan Zona Mineralisasi Emas di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri*. Unnes Physics Journal 3 (1) (2014) ISSN 2252-6978. Hlm 23-26..
- GF Instrument. 2011. *ARES Automatic Resistivity System*. GF Instrument, s.r.o. Geophysical Equipment and Services.
- Hamblin, W. Kenneth. 2003. *Earth's Dynamic System*. Penerbit: Prentice Hall. ISBN/ASIN: 0131420666. ISBN-13: 9780131420663.
- Ibrahim, Bachrul dan Asmita Ahmad. 2012. *Buku Ajar Agrogeologi dan Mineralogi Tanah*. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Kearey, Philip, Michael Brooks, Ian Hill. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science: USA.
- Loke, M. H. 2004. *Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Di unduh dari www.geotomosoft.com tanggal 17 Oktober 2013.
- Lowrie, William. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press: New York.
- Munir, Moch. 1995. *Geologi dan Mineralogi Tanah*. Pustaka Jaya: Malang.
- Noor, Djauhari. 2012. *Pengantar Geologi*. Pakuan University Press: Bogor.

- Price, Monica & Kevin Walsh. 2005. *Pocket Nature Rocks and Minerals*. London: Dorling Kindersley.
- Rogers, John. W, John. A. S. Adams. 1966. *Fundamentals of Geology*. The Murray Printing Company: United State of America.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: Jhon Geophysicsin Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd.
- Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB.
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Telford, W.M., L.P. Geldart., R.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York. Cambridge.
- Yuwanto, Sapto Heru. 2013. *Eksplorasi materoi Logam Dengan Metode Induksi Polarisasi Daerah Mekar Jaya - Cidolog, Kabupaten Sukabumi Jawa Barat*. Jurnal Ilmiah MTG, Vol. 6, No. 1, Januari 2013.
- Zim, Herbert S., Paul R. Shaffer. 1957. *Rocks and Minerals: A Guide to Familiar Minerals, Gems, Ores and Roclden Press*. USA