

**IDENTIFIKASI ZONA POTENSI SUMBER DAYA BIJIH TIMAH
MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI BUKIT FRED KEC.
TEMPILANG, KAB. BANGKA BARAT, BANGKA BELITUNG**

DISUSUN OLEH :

ANDI MUGHNY ACHSAN

H22113503



DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020

HALAMAN JUDUL

**IDENTIFIKASI ZONA POTENSI SUMBER DAYA BIJIH TIMAH
MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI BUKIT FRED KEC.
TEMPILANG, KAB. BANGKA BARAT, BANGKA BELITUNG**

*Diajukan
Untuk Melengkapi Tugas dan Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin*

OLEH :

ANDI MUGHNY ACHSAN

H22113503

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

IDENTIFIKASI ZONA POTENSI SUMBER DAYA BIJIH TIMAH
MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI BUKIT FRED KEC.
TEMPILANG, KAB. BANGKA BARAT, BANGKA BELITUNG

Oleh:

ANDI MUGHNY ACHSAN

H221 13 503

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Ujian Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Program Pendidikan Sarjana, Departemen Geofisika Ini
Telah Disetujui Oleh Tim Pembimbing Pada Tanggal
Seperti Tertera Di Bawah Ini

Makassar, 18 Desember 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,



Syamsuddin, S.Si, M.T
NIP.19740115 200212 1 001

Pembimbing Pertama,



Muh. Fawzy Ismail M., S.Si, M.T
NIP. 19911109 201903 1 010



Mengetahui,
Ketua Departemen Geofisika
Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk sesuatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya dimanapun, kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan dalam batas tertentu dibantu oleh pihak pembimbing.

Makassar, 30 Oktober 2020

Yang membuat pernyataan,



Andi Mughny Achsan

KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, guyuran Ilmu dan Manfaat-Nya serta segala Pertolongan dan Pengawasan-Nya, sehingga penulis senantiasa berada pada garis kesabaran dan selalu dalam naungan keikhlasan, Insya Allah. Salawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah, Muhammad SAW, manusia dengan akhlaq paling mulia, teladan yang sebenarnya dan pemimpin dengan keadilan yang tiada duanya.

Skripsi dengan judul **“Identifikasi Zona Potensi Sumber Daya Bijih Timah Menggunakan Metode Resistivitas Di Bukit Fred Kec. Tempilang, Kab. Bangka Barat, Bangka Belitung”** dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dan sebagai cerminan sejauh mana penulis dapat mengaplikasikan ilmu yang didapatkan dari bangku kuliah serta kursi organisasi. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari berbagai keterbatasan penulis, tetapi berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, akhirnya dapat di selesaikan dengan baik.

Segala bentuk saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis untuk meningkatkan kualitas pada penulisan karya-karya berikutnya. Seuntai kata terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak adalah satu-satunya ungkapan terindah yang dapat penulis sampaikan. Penghargaan yang setinggi – tingginya penulis

haturkan kepada kedua orang tua tercinta, ibunda **Nurhayati Rasyid** dan ayahanda **Andi Mulyadi** yang senantiasa mendoakan, mendukung dan memberikan dorongan, semangat, cinta dan kasih sayang kepada penulis hingga menjadi seperti sekarang ini. Tak lupa penulis berterima kasih kepada **Andi Hadratul Ainiyu, Andi Muh. Adham, Andi Zuhriya, Andi Adawiatul Khadijah, dan Andi Muh. Galih** saudara adik yang selalu memberikan motivasi dan selalu membuat penulis berusaha menjadi yang terbaik.

Dalam penulisan skripsi ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berperan dan membantu dalam penyelesaian skripsi ini, antara lain kepada:

1. Bapak **Syamsuddin S.Si, MT** selaku pembimbing utama dan bapak **Muh. Fawzy Ismullah M, S.S., MT** selaku pembimbing pertama yang telah memberikan perhatian, bimbingan, nasihat dan masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Muh. Hamzah, S.Si., MT** , dan bapak **Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv** selaku penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** sebagai Ketua Prodi Geofisika, serta seluruh staf dosen pengajar dan pegawai prodi Geofisika FMIPA Unhas yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penulis menjalani studi hingga menyelesaikan skripsi ini.

4. Bapak **Ir. Bambang Hari Mei Soeprapto, M.Si** selaku penasehat akademik yang banyak memberikan nasehat selama penulis menempuh masa studi.
5. Bapak **Dayat**, Bapak **Chindra**, dan Bang **Dendi** yang telah memberikan banyak masukan selama tugas akhir di PT. Timah
6. Adek Nunu yang senantiasa mendoakan, mendukung dan memberikan dorongan, semangat, saat penulisan skripsi ini, keep istiqomah ukhti
7. Teman-teman seperjuangan dari maba Angker'13, **Asnur Azis (Ketua Himpunan)**, **Bahrul Ulum (Ketua Istiqomah)**, **Reskur (Sekum)**, **Sultan (Kord. Pendidikan)**, **Ardy**, **Dedy**, **Iqbal**, **Iqlal**, **Astrid**, **Ika**, **Arfah**, **Asni**, **Opi**, **Ruzaini**, **Sahara**, **Ningsih**, **Wahyu (Kord. Humas)**, **Cholid**, **Irfan(boy)**, **Maher**, **Nisa**, **Desi Aulia**, **Ewi**, **Harista**, **Kasmia**, **Masni**, **Merisa**, **Nelli**, **Uyung**, **Nurwahida**, **Raodah**, **Stiva**, **Yunita**, **Tamlicha (kord. Kerohanian)**, **Zulfitriah**, **Aqra**, **Dera**, **Desi Nirmalsari**, **Yanti**, **Nurlindah**, **Rabia**, **Rasmianti**, **Selvina**, **Zuhaa**, **Anca**, **Fikri**, **Takdir**, **Ade**, **Inna**, **Dwi**, **Nike**, **Fitrah**, **Fitti**, **Marhana**, **Hilda**, **Ajriah**, **Minu**, **Rani**, **Fatma**, **Sidar**, **Yulianti**, **Ilham (Kord. Pengkaderan)**, **Azizul (Ketua Angkatan Mipa)**, **Ribas (Ketua Angkatan Fisika)**, **Jayadi**, **Wahyudin**, **Husna**, **Nurfiah**, **Rahmi**, **Suhana**, **Suarni**, **Jamriani**, **Rati (Bendum)**, **Ulla**, **Baso**, dan **Sudar** terima kasih atas kebersamaannya dan amanah yang diberikan kepada penulis menjadi ketua, memimpin teman-teman semasa menjadi pengurus Himafi periode 2015/2016. Semoga kita dapat saling mendoakan dalam kebaikan.
8. Teman-Teman MIPA 2013,

9. Kanda-kanda, Adik-adik 2014,2015,2016, 2017, 2018, 2019 dan 2020 serta Alumni **Himafi FMIPA Unhas**. Pengalaman yang sangat berarti buat penulis, semoga kita tetap dalam naungan kekeluargaan, **JAYALAH HIMAFI FISIKA NAN JAYA**
10. Teman-teman KKN Gel. 96 Kecamatan Mattirosompe. Terkhusus kepada teman-teman posko mattirotasi.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis telah mengerahkan segala kemampuan dalam menyelesaikan skripsi ini, namun sebagai manusia yang memiliki kekurangan, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan karena sesungguhnya kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dari Anda sangat penulis harapkan. Semoga Allah senantiasa melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya. Amin.

Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
SARI BACAAN.....	xiv
ABSTRACT	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup.....	4
I.3 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Geologi Regional	6
II.2 Timah.....	10
II.2.1 Pementukan Timah	10
II.2.2 Kasiterit (SnO ₂)	13

II.3 Metode Geolistrik	14
II.4 Sifat Kelistrikan Batuan.....	16
II.5 Konduktifitas Listrik Batuan	17
II.6 Konsep Dasar Metode Resistivitas	19
II.7 Potensial di Sekitar Titik Arus.....	21
II.7.1 Potensial di Sekitar Arus di Dalam Bumi	21
II.7.2 Potensial Listrik Arus Tunggal di Permukaan Bumi	22
II.7.3 Potensial Listrik oleh dua Sumber Arus di Permukaan Bumi	23
II.8 Konfigurasi Elektroda	24
II.8.1 Konfigurasi Wenner Schlumberger	25
II.9 Teori Dasar Inversi	27
II.9.1 Permodelan Inversi	33
II.9.2 Permodelan Ke Depan	34
II.9.3 Permodelan Ke Depan Resistivitas 2 dimensi	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
III.1 Lokasi Penelitian	37
III.2 Data	38
III.3 Tahapan Penelitian.....	38
III.4 Bagan Alir Penelitian	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHSAN	40
IV.1 Hasil	40
IV.1.1. Lintasan A	41
IV.1.2. Lintasan B.....	41
IV.1.3. Lintasan C.....	42
IV.1.4. Lintasan D	43
IV.1.5. Lintasan E.....	43
IV.2 Interpretasi.....	44
IV.2.1. Lintasan A	45
IV.2.2. Lintasan B.....	46
IV.2.3. Lintasan C.....	47
IV.2.4. Lintasan D	48
IV.2.5. Lintasan E.....	49
BAB V PENUTUP.....	50
V.1 Kesimpulan.....	50
V.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sabuk Timah Asia Tenggara... ..	6
Gambar 2.2	Jalur Timah Indonesia.... ..	6
Gambar 2.3	Peta Geologi Bangka Barat dan sekitarnya.	7
Gambar 2.4	Ganasa pembentukan mineral.....	10
Gambar 2.5	Potensial di sekitar titik arus di dalam bumi.....	22
Gambar 2.6	Potensial listrik arus tunggal di permukaan bumi	23
Gambar 2.7	Potensial Listrik oleh dua Sumber Arus di dalam Bumi.....	24
Gambar 2.8	Konfigurasi Elektroda dan Faktor Geometri	24
Gambar 2.9	Susunan elektroda konfigurasi Wenner Schlumberger	26
Gambar 3.1	Peta lokasi penelitian	37
Gambar 3.2	Bagan alir penelitian	39
Gambar 4.1	Peta lintasan pengukuran.....	40
Gambar 4.2	Penampang Resistivitas 2D Lintasan A.....	41
Gambar 4.3	Penampang resistivitas 2D Lintasan B.....	42
Gambar 4.4	Penampang resistivitas 2D Lintasan C.....	42
Gambar 4.5	Penampang resistivitas 2D Lintasan D.....	43
Gambar 4.6	Penampang resistivitas 2D Lintasan E.....	44
Gambar 4.7	Penampang resistivitas 2D Lintasan A.....	45
Gambar 4.8	Penampang resistivitas 2D Lintasan B.....	46

Gambar 4.9	Penampang resistivitas 2D Lintasan C.....	47
Gambar 4.10	Penampang resistivitas 2D Lintasan D.....	48
Gambar 4.11	Penampang resistivitas 2D Lintasan E.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Statigrafi Regional Pulau Bangka.....	9
Tabel 2.2 Resistivitas Batuan dan Mineral	18

SARI BACAAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Zona Mineralisasi Timah Primer, yang dilaksanakan di Daerah Tempilang, Kab. Bangka Barat, Bangka Belitung. Adapun metode eksplorasi geofisika yang digunakan pada penelitian ini adalah metode geolistrik resistivitas dengan menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Penelitian ini menggunakan data sekunder dengan 5 lintasan, panjang masing-masing lintasan 840 meter. Hasil pengolahan data dapat diinterpretasikan dengan menganalisis penampang 2D resistivitas. Berdasarkan interpretasi penampang 2-D data resistivitas dapat diindikasikan bahwa pada setiap lintasan memiliki daerah prospek zona mineralisasi timah primer. Hasil analisis nilai resistivitas menunjukkan zona mineralisasi timah primer yang diperkirakan berada pada resistivitas menengah ($1501 \Omega\text{m} - 8000 \Omega\text{m}$) hingga resistivitas tinggi ($> 8000 \Omega\text{m}$). Zona tersebut diduga sebagai granit yang memiliki kandungan kasiterit sebagai unsur pembawa timah. Pada lintasan A terdapat dua bagian yang diindikasikan sebagai zona mineralisasi timah primer yaitu yang pertama berada di antara elektroda 8 – 41 dengan kedalaman 5 hingga 110 meter dari permukaan tanah dan yang kedua berada di antara elektroda 46 – 79 dengan kedalaman 5 hingga 90 meter dari permukaan tanah. Pada Lintasan B terdapat dua bagian yang diindikasikan sebagai zona mineralisasi timah primer yaitu yang pertama berada pada elektroda 8 – 38 dengan kedalaman 10 hingga 80 meter dari permukaan tanah dan yang kedua berada pada elektroda 41 – 52 dengan kedalaman 10 hingga 160 meter dari permukaan tanah. Pada lintasan C terdapat dua bagian yang diindikasikan sebagai zona mineralisasi timah primer yaitu yang pertama berada diantara elektroda 9 – 40 dengan kedalaman 10 hingga 80 meter dari permukaan tanah, dan yang kedua berada diantara elektroda 42 – 82 dengan kedalaman 10 hingga 100 meter dari permukaan tanah. Pada lintasan D terdapat dua bagian yang diindikasikan sebagai zona mineralisasi timah primer yaitu yang pertama berada diantara elektroda 11 – 40 dengan kedalaman 10 hingga 80 meter dari permukaan tanah, dan yang kedua berada diantara elektroda 43 – 78 dengan kedalaman 10 hingga 120 meter dari permukaan tanah, dan pada Lintasan E terdapat dua bagian yang diindikasikan sebagai zona mineralisasi timah primer yaitu yang Pertama berada diantara elektroda 2 – 40 dengan kedalaman 10 hingga 100 meter dari permukaan tanah, dan yang kedua berada diantara elektroda 42 – 78 dengan kedalaman 10 hingga 80 meter dari permukaan tanah. Adapun penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menggunakan metode geofisika lainnya untuk mendukung data atau hasil yang telah didapatkan.

Kata kunci : *Resistivitas, Wenner-Schlumberger, Zona Mineralisasi, Timah Primer.*

ABSTRACT

This study aims to determine the Zone of Primary Tin Mineralization, which is implemented in the Tempilang District, Kab. West Bangka, Bangka Belitung. The geophysical exploration method used in this study is the resistivity geoelectric method using the Wenner-Schlumberger configuration. This study uses secondary data with 5 tracks, each track length of 840 meters. The results of data processing can be interpreted by analyzing the 2D resistivity cross-section. Based on the 2-D cross section interpretation of the resistivity data, it can be indicated that each line has a prospect area for the primary tin mineralization zone. The results of the resistivity value analysis show that the primary tin mineralization zone is estimated to be in the medium resistivity (1501 Ωm - 8000 Ωm) to high resistivity ($> 8000 \Omega\text{m}$). The zone is thought to be granite which contains cassiterite as the underlying element for tin. On track A, there are two parts that are indicated as the primary tin mineralization zone, namely the first is between electrodes 8 - 41 with a depth of 5 to 110 meters from the ground surface and the second is between electrodes 46 - 79 with a depth of 5 to 90 meters from the surface soil. On Line B, there are two parts indicated as a zone of primary tin mineralization, the first is at electrode 8 - 38 with a depth of 10 to 80 meters from the ground surface and the second is at electrode 41 - 52 with a depth of 10 to 160 meters from the ground. On the C line, there are two parts that are indicated as the zone of primary tin mineralization, namely the first is between the electrodes 9 - 40 with a depth of 10 to 80 meters from the ground surface, and the second is between the electrodes 42 - 82 with a depth of 10 to 100 meters from the ground. . On the D line there are two parts that are indicated as the zone of primary tin mineralization, namely the first is between electrodes 11 - 40 with a depth of 10 to 80 meters from the ground surface, and the second is between electrodes 43 - 78 with a depth of 10 to 120 meters from the ground , and on Line E there are two parts that are indicated as primary tin mineralization zones, namely the first is between electrodes 2 - 40 with a depth of 10 to 100 meters from the ground surface, and the second is between electrodes 42 - 78 with a depth of 10 to 80 meters from ground level. As for this research, it can be continued by using other geophysical methods to support the data or results that have been obtained.

Keywords: Resistivity, Wenner-Schlumberger, Mineralization Zone, Primary Tin.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Propinsi Kepulauan Bangka Belitung memiliki potensi timah yang cukup besar tepatnya di Indonesia. Saat ini potensi timah di daratan tinggal sedikit, sebagian besar merupakan sisa penambangan masa lalu. Sementara itu cadangan timah di lepas pantai masih besar, diperkirakan cukup untuk ditambang 50 tahun kedepan dengan kapasitas produksi saat ini (120 ton per tahun) (Yunianto, 2009).

Timah merupakan salah satu mineral potensial di dunia karena memiliki manfaat yang sangat berlimpah, misalnya digunakan di bidang otomotif, elektronik dan sebagainya. Endapan bijih timah dapat ditemukan dalam bentuk timah primer dan letakan (*placer*). Timah primer dihasilkan dari mineralisasi pada intrusi batuan granit (magmatik asam). Sedangkan bijih timah letakan, terbentuk akibat adanya proses pelapukan, erosi dan transportasi yang terjadi pada bijih timah primer. Bijih timah sekunder tersebut dapat dalam bentuk endapan koluvial, sedimen sungai, sedimen pantai serta kipas alluvial. Keberadaan Indonesia yang dilewati oleh Sabuk Timah Asia Tenggara dimana Pulau Bangka dan Belitung merupakan akhir dari jalur timah. Sabuk ini merupakan area penghasil timah terkaya di dunia (Schwartz *et.al.*, 1995).

Salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan timah di bawah permukaan adalah metode geolistrik. Metode geolistrik sendiri didefinisikan sebagai

suatu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Selain itu metode geolistrik juga merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang dapat memberikan gambaran kondisi dan kedalaman batuan dengan mengukur sifat kelistrikan batuan tersebut (Yulianto, 2008).

Adapun penelitian terdahulu yang berkaitan dengan metode geolistrik untuk identifikasi zona mineralisasi berdasarkan nilai *resistivity* dan *chargeability* diantaranya :

1. Identifikasi zona mineralisasi kasiterit menggunakan metode induksi polarisasi dan resistivitas daerah Pemali Bangka Belitung oleh Kara (2018). Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa didapatkan nilai resistivitas tinggi ($> 632,64 \Omega m$) dan chargeabilitas sedang (3 msec – 12 msec) yang menunjukkan keterdapatan zona mineralisasi kasiterit. Sehingga dapat disimpulkan pada daerah penelitian terlihat penyebaran zona mineralisasi kasiterit yang merupakan kontak batuan granit dengan mineral pembawa timah yaitu mineral kasiterit.
2. Identifikasi sebaran mineral bijih galena (PbS) menggunakan metode induksi polarisasi dan resistivitas di Kab. Lombok Tengah, Prov Nusa Tenggara Barat oleh Aziz (2017). Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa hasil interpretasi diperoleh sebaran mineral bijih galena berada pada semua lintasan dengan nilai chargeabilitas 35,0 – 45,7 msec, untuk daerah prospek mineralisasi

yang sangat baik. Sehingga dapat disimpulkan pada daerah penelitian masih terdapat potensi sebaran bijih galena.

3. Identifikasi potensi sumber daya timah primer dengan menggunakan induksi polarisasi dan resistivitas daerah Bukit Puyuh Kec. Tempilang Kab. Bangka Barat, Bangka Belitung oleh Pratama (2016). Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa adanya indikasi timah primer yang ditandai dengan nilai resistivitas 700 – 10.000 ohm.m. Adanya zona lemah di setiap lintasan yang diindikasikan sebagai patahan, rekahan ataupun kekar yang dianggap sebagai jalur timah primer. Sehingga dapat disimpulkan pada daerah penelitian masih terdapat potensi timah primer.
4. Studi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik induksi polarisasi (IP) pada zona mineralisasi timah primer di daerah Tempilang Bangka Belitung oleh Burhamzah (2016). Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa zona mineralisasi timah primer diperkirakan berada pada resistivitas sedang hingga resistivitas tinggi ($1501 \Omega\text{m} - (>8000) \Omega\text{m}$) yang berada pada nilai chargeabilitas sedang hingga chargeabilitas tinggi (13 ms – (>83) ms).

Daerah sekitar penelitian telah dilakukan pengukuran geolistrik dengan metode yang sama maupun berbeda, begitu pula dengan metode geofisika lainnya. Daerah sekitar penelitian juga telah dibuka untuk aktivitas penambangan terhadap mineral timah, baik itu dilakukan oleh masyarakat sekitar maupun oleh PT. Timah Persero Tbk. Meskipun sudah ada penambangan tidak membuat mineral timah yang terdapat pada lokasi penelitian habis melainkan diperkirakan masih terdapat mineral-mineral timah

yang belum ditambang. Keadaan inilah yang melatarbelakangi penelitian ini dilakukan, guna untuk mengetahui zona mineralisasi timah yang masih ada di bawah permukaan.

I.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah mengidentifikasi atau menganalisis bawah permukaan menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan menggunakan konfigurasi *wenner-schlumberger* untuk mengetahui zona mineralisasi timah primer yang ada di bukit Fred, Kec. Tempilang, Kab. Bangka Barat.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Identifikasi sebaran batuan berdasarkan nilai resistivitas di Bukit Fred.
2. Interpretasi penampang 2D resistivitas untuk mengetahui zona mineralisasi timah primer.

BAB II

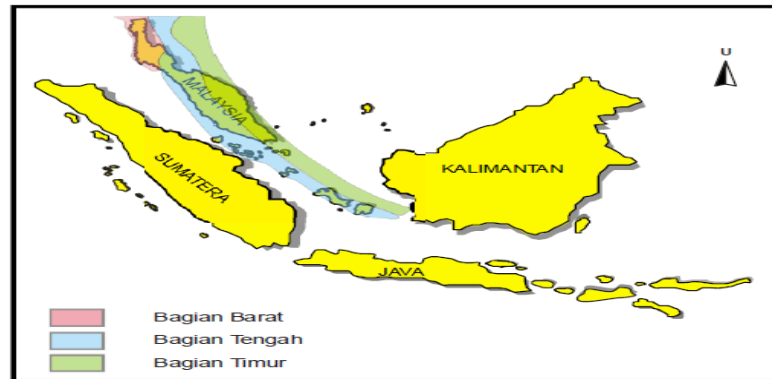
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Struktur geologi Pulau Bangka dibedakan antara Bangka bagian Utara dan Bangka bagian Selatan. Struktur geologi di Pulau Bangka bagian Utara umumnya berupa sesar naik, sesar geser, sesar normal, lipatan dan kekar. Lipatan terdapat pada batuan Perm dan Trias yang terpotong oleh sesar-sesar. Sedangkan di bagian Selatan umumnya berupa kelurusan, lipatan, dan sesar. Kelurusan terutama pada granit dengan arah beragam. Lipatan terdapat pada batuan batu pasir dan batu lempung, arah sumbu lipatan diduga dari Timur Laut – Barat Daya. Terdapat dua jenis sesar yang ada yaitu sesar mendatar dan sesar normal. Sesar mendatar pada Timur Laut – Barat Daya dan sesar normal pada arah Barat Laut – Tenggara (Mangga dan Djamal, 1994).

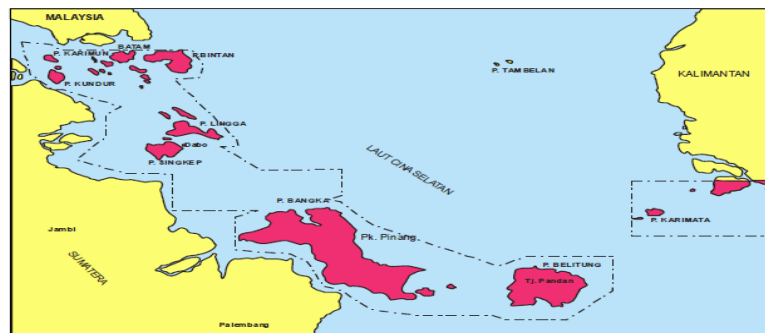
Secara fisiografis, Pulau Bangka merupakan bagian yang terangkat dari Paparan Sunda. Pulau dengan luas 11.534,142 km² ini dikelilingi oleh Pulau Sumatera dan Selat Bangka di sebelah barat daya, Pulau Belitung di sebelah timur, Pulau Kalimantan di sebelah timur laut, Kepulauan Riau di sebelah barat laut, Pulau Anambas dan Laut Cina Selatan di sebelah utara serta Laut Jawa di sebelah tenggara. Penyebaran timah di Pulau Bangka merupakan kelanjutan dari *Tin Mayor South East Asian Tin Belt* bagian tengah, yang membentang mulai dari Birma, Thailand dan

Malaysia hingga berakhir di Indonesia seperti pada Gambar (2.1). Sabuk timah tersebut diperkirakan berumur Trias dan didominasi oleh Granit (Hosking, 1989).

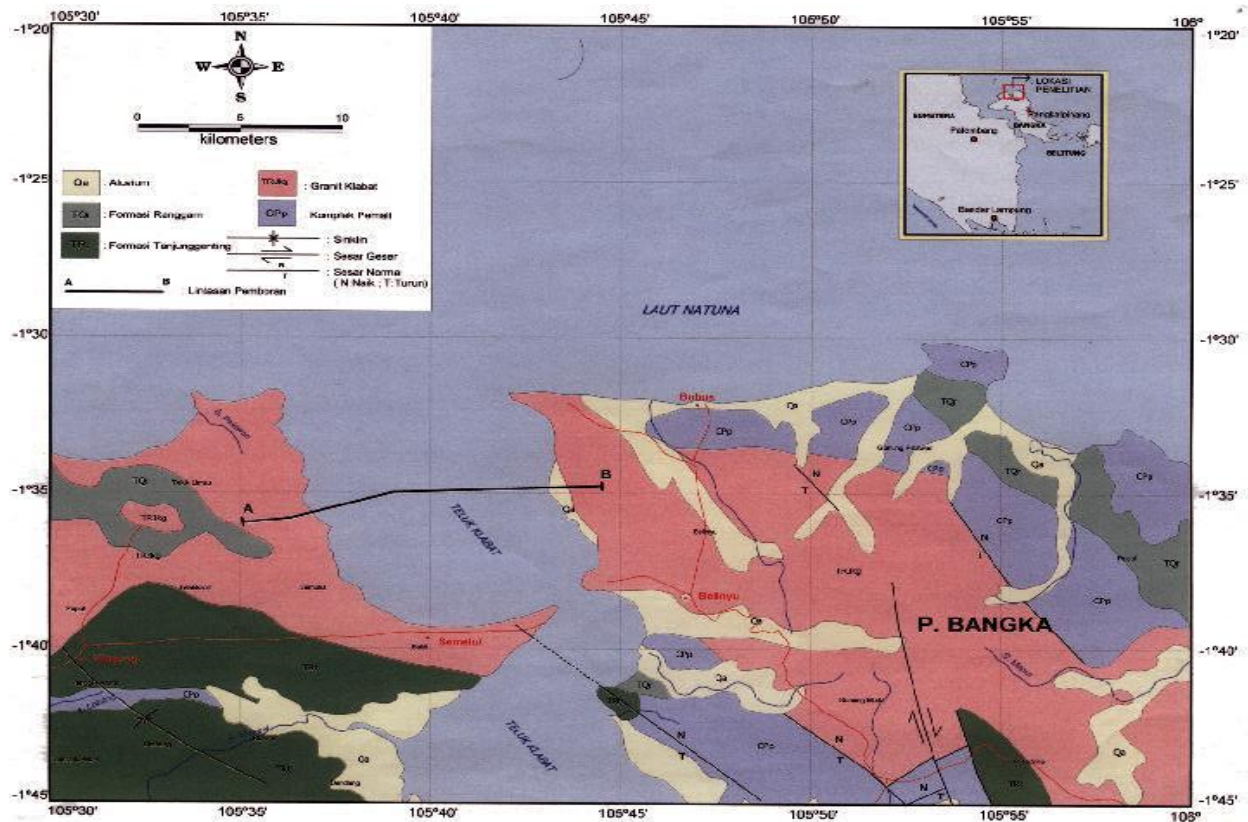


Gambar 2.1 Sabuk timah asia tenggara (Hosking, 1989)

Pada Gambar (2.2) dijelaskan jalur timah Indonesia berupa deretan pulau-pulau yang bertebaran dengan kecenderungan arah barat laut – tenggara, dimulai dari Pulau Karimun, Pulau Kundur, Pulau Singkep, Pulau Bangka, Pulau Belitung dan Pulau Karimata. Pada jalur tersebut sekitar sepertiga bagiannya merupakan daratan (pulau-pulau) yang diperkirakan merupakan bagian yang tersisa selama proses erosi Sunda Shelf, sedangkan sisanya tertutupi oleh lautan.



Gambar 2.2 Jalur Timah Indonesia (Hosking, 1989)



Gambar 2.3 Peta Geologi Bangka Barat dan sekitarnya (Mangga dan Djamal, 1994)

Pulau Bangka sendiri secara geologi tersusun dari beberapa formasi seperti pada gambar (2.3), dari tua ke muda tersusun sebagai berikut (Mangga dan Djamal, 1994) :

1. Kelompok Pemali (CpP)

Terdiri dari skiss, phillit, batulempung, rijang, tuff, gneiss, sisipan kuarsit dan lensa batugamping. Batuan tersebut berstruktur sedimen masif, dengan kandungan fosil berupa Fusulinidae dan Radiolaria. Batuannya terlipat kuat, terkekarkan dan terpatahkan. Kompleks yang berumur Perm ini secara umum diterobos oleh Granit Klabat.

2. Formasi Tanjunggenting (Trt)

Berupa perselingan batupasir termetamorfkan dan batupasir lempungan dengan lensa batugamping. Batuan berumur Trias tersebut berstruktur sedimen silang siur dan mengandung fosil *Montlivaltia moluccana*, *Perodinella sp*, *Entrochus sp*, dan *Encrinus sp*. Formasi ini terlipat, terkekarkan, terpatahkan dan berada tidak selaras di atas Kelompok Pemali serta diterobos pula oleh Granit Klabat.

3. Granit Klabat (TrJkg)

Formasi ini terdiri dari granit, granodiorit, diorite dan diorite kuarsa yang berumur Trias Akhir – Jura Awal, serta menerobos Kelompok Pemali dan Formasi Tanjung Genting di atasnya. Terkadang dijumpai singkapan granit yang telah lapuk. Terdapat pula granit segar yang tersingkap sebagai tonjolan blok-blok (*boulder*) granit yang tersebar di pesisir pantai Pulau Bangka.

4. Formasi Ranggam (TQr)

Formasi Ranggam merupakan perselingan batupasir, batulempung dan batulempung tufa dengan sisipan tipis batu lanau dan bahan organik, berlapis baik, struktur sedimen berupa perairan sejajar dan perlapisan silang-siur, tebal 150 m. Fosil yang dijumpai antara *Moluska*, *Amonia sp*, *Quinque loculina sp* dan *Trilocullina sp* dan menunjukkan umur relatif tidak tua dari Miosen Akhir hingga Pliosen.

5. Alluvium (Qa)

Berupa endapan rawa dan endapan sungai yang terdiri dari material lepas dan tersebar mengikuti aliran sungai di sepanjang lembah maupun pantai. Satuan yang berumur Quarter ini berada tidak selaras di atas Formasi Ranggalam.

Adapun gambaran stratigrafi pulau bangka dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2.1 Statigrafi Regional Pulau Bangka. (Mangga dan Djamal, 1994)

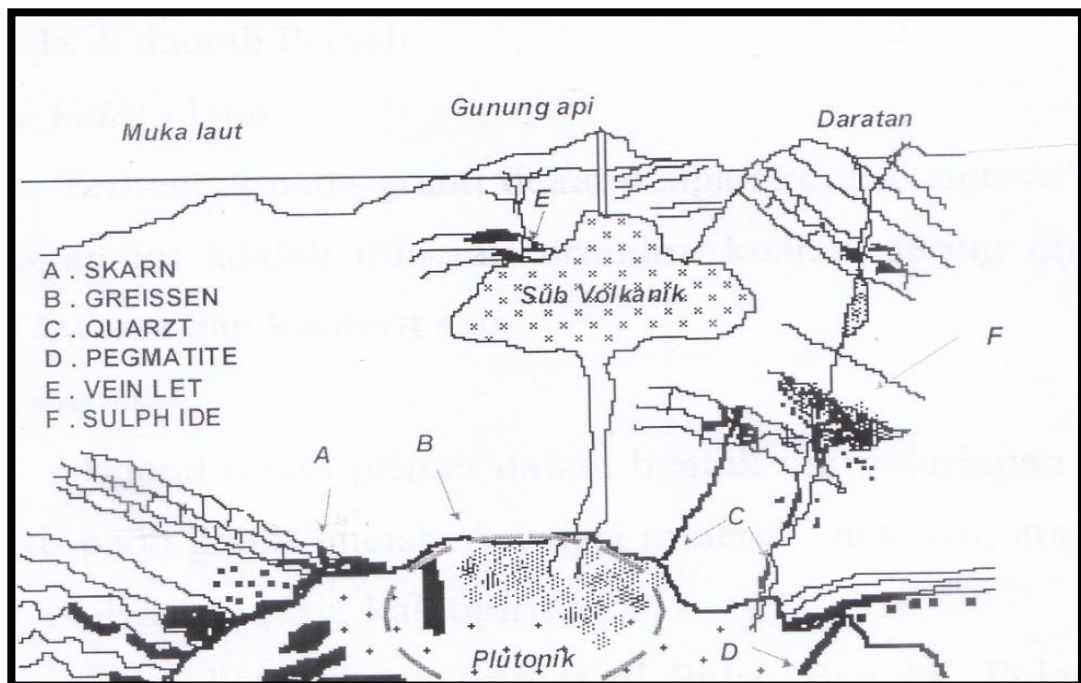
MASA ERA	ZAMAN PERIOD	KALA EPOCH	UMUR JUTA TH AGE MILLION YEAR	Endapan Permukaan Dan Batuan Sedimen <i>Surficial deposits and sedimentary rock</i>	Batuan Malihan <i>Metamorphic rock</i>	Batuan Terobosan <i>Intrusive rock</i>
KENOZOIKUM CENOZOIC	KUARTER QUATERNARY	HOLOSEN HOLOCENE	0.01	Qa, Qak, Qs		
		PLISTOSEN PLISTOCENE	1.6			
	TERSIER TERTIARY	PLIOSEN PLIOCENE	5.3(4.8)	Tqr		
		MIOSEN MIOCENE	23(23.7)			
		OLIGOSEN OLIGOCENE	36.5			
		EOSEN EOCENE	53(57.8)			
		PALEOSEN PALEOCENE	65(64.4)			
MESOZOIKUM MESOZOIC	KAPUR CRETACEOUS		135(140)			
	JURA JURASSIC		205			TrJkg
	TRIAS TRIASSIC		250	Trt		
PALEOZOIKUM PALEOZOIC	PREM PREMIAN		290			Cpp
	KARBON CARBONIFEROUS					

Pada tabel (2.1) stratigrafi regional Pulau Bangka dari tua ke muda tersusun oleh Kompleks Pemali (CpP), Formasi Tanjung Genting (Trt), Granit Klabat (TrJkg), Formasi Ranggalam (TQr) dan Alluvium (Qa).

II.2 Timah

II.2.1. Pembentukan Timah Primer

Proses terbentuknya timah primer adalah batuan granit yang berasosiasi dengan magma asam dan menembus lapisan sedimen (intrusi granit). Pada tahap akhir kegiatan intrusi, terjadi peningkatan konsentrasi elemen di bagian atas, baik dalam bentuk gas maupun cair, yang akan bergerak melalui pori-pori atau retakan. Karena tekanan dan temperatur berubah, maka terjadilah proses kristalisasi yang akan membentuk deposit dan batuan samping. Mineralisasi terdapat pada daerah kontak dan puncak granit berupa, skarn, greissen dan vein. Seperti ditunjukkan pada Gambar (2.4).



Gambar 2.4 Ganesa pembentukan mineral (Sujoko dalam Pratama, 2016)

Berdasarkan konsep diatas, Tim Eksplorasi PT. Timah Eksplomin (2007) menyebutkan kasiterit primer yang ekonomis terdapat dalam 3 fase yaitu fase *Pneumatolitik*, *Pneumatolitik-hydrothermal* tinggi, dan *Hipotermal mesotermal*.

Berikut uraian dari beberapa fase tersebut :

- Fase *pneumatolitik*

Terbentuk greisen muskovit yang mengandung kasiterit. Dalam jumlah jarang terdapat greisen topaz dan turmalin.

- Fase kontak *pneumatolitik-hydrothermal*

Mengandung timah yang menerobos masuk dalam batuan sedimen melalau celah dan mengubah secara metasomatisme kontak.

- Fase *hipotermal-mesotermal*

Mengandung timah dengan komponen utama mengisi perangkap yang telah ada berupa jalur sesar, kekar, retakan, bidang lapisan, dicirikan dengan adanya urat-urat kwarsa yang mengandung kasiterit.

Minerlalisasi dan tipe timah primer Bangka (Tempilang dan Pemali) dibagi menjadi 3 tipe yaitu:

1. Tipe *Greisen*

Merupakan endapan hasil proses *pneumatolitik/metasomatisme* kontak berupa batu lempung, batu pasir, meta sedimen maupun metamorf, berada di Daerah Pemali.

2. Tipe urat (*vein*)

Terbentuk pada granit dekat dengan kontak metasedimen. Asosiasi endapan ini adalah mineral turmalin, kuarasa sering dijumpai sebagai urat kwarsa dan kasiterit saja.

3. *Stockwork*

Mineral timah primer dalam bentuk urat jejaring (*stockwork*) terjadi pada granit *gneiss*, asosiasi mineral: monasit, arsenopirit, oksida besi, wolframit, pirit, kalkopirit.

Berdasarkan genesis pembentukan mineral, endapan primer terdapat pada batuan granit dan pada daerah sentuhan batuan endapan malih yang biasanya berasosiasi dengan turmalin dan urat kuarsa timah. Endapan terdiri dari lensa kuarsa yang mengandung kasiterit dan wolframit dengan jumlah kadar yang dimanfaatkan sebesar 0,4%. Endapan timah di Kelapa Kampit merupakan jenis yang khas. Hal ini disebabkan karena urat pada bidang perlapisan dan terhampar mengikuti bidang jurus perlapisan. Dengan demikian arah penyebarannya dapat diramalkan. Selain itu mempunyai kemiringan yang curam dan umumnya berasosiasi dengan mineral sulfida ataupun bersifat magnet. Di Pulau Bangka endapan yang penting terdapat di daerah Pemali dan Tempilang. Di Daerah Pemali endapan timah didapatkan sebagai jejaring dan greisens dalam granit dan urat turmaline kasiterit yang membujur sejajar dengan sentuhan atau di dekatnya. Ditinjau dari segi kemungkinannya endapan timah primer yang terdapat pada batuan sedimen di Pulau Belitung mempunyai prospek untuk ditambang. Di Pulau Bangka endapan jenis dalam granit harapannya bahkan lebih

baik. Batuan asal (*mother rock*) dari timah adalah batuan beku bersifat asam yakni granit yang mengalami mineralisasi. Namun tidak semua jenis granit menghasilkan timah tergantung dari kandungan magma serta batuan yang diterobos magma. (Burhamzah, 2016).

II.2.2. Kasiterit (SnO₂)

Mineral utama yang terkandung pada bijih timah adalah kasiterit (SnO₂). Batuan pembawa mineral ini adalah batuan granit yang berhubungan dengan magma asam dan menembus lapisan sedimen (intrusi granit). Pada tahap akhir kegiatan intrusi, terjadi peningkatan konsentrasi elemen di bagian atas, baik dalam bentuk gas maupun cair, yang akan bergerak melalui pori-pori atau retakan. Karena tekanan dan temperatur berubah, maka terjadilah proses kristalisasi yang akan membentuk deposit dan batuan sampung.

Pembentukan mineral kasiterit (SnO₂) dan mineral berat lainnya, erat hubungannya dengan batuan granitoid. Secara keseluruhan endapan bijih timah (Sn) yang membentang dari Myanmar Tengah hingga Paparan Sunda merupakan kelurusan sejumlah intrusi batholit.

Proses pembentukan bijih timah (Sn) berasal dari magma cair yang mengandung mineral kasiterit (SnO₂). Pada saat intrusi batuan granit naik ke permukaan bumi, maka akan terjadi fase pneumatolitik, dimana terbentuk mineral-mineral bijih diantaranya bijih timah (Sn). Mineral ini terakumulasi dan terasosiasi pada batuan

granit maupun di dalam batuan yang diterobosnya, yang akhirnya membentuk *vein-vein* (urat). Hasil analisa laboratorium secara umum mineral kasiterit (SnO_2) mempunyai kandungan oksigen (O_2) 21,4% dan Timah (Sn) 78,6% sistem kilap lemak (*admantine*), belahan tidak sempurna, tidak bersifat magnetis, dan dalam satu butir mineral mempunyai warna berbeda, yakni coklat hingga hitam. Timah yang kita kenal terdiri atas dua macam yakni timah putih (Sn) dan timah hitam (Pb). Sifat-sifat timah yang juga disebut sebagai timah putih (Sukandarrumidi, 2007) :

1. Tahan terhadap udara lembab.
2. Kekerasan dan kekuatannya yang sangat rendah, sehingga di masukkan kedalam logam lunak.
3. Daya tahan terhadap korosi cukup tinggi.
4. Tidak beracun.
5. Berat jenis 7,3 dan titik cair rendah 232°C .
6. Tahanan jenis $0,15 \text{ ohm mm}^2/\text{m}$.

II.3 Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Umumnya, metode resistivitas ini baik untuk eksplorasi dangkal, yaitu sekitar 100 meter. Jika kedalaman lapisan lebih dari harga tersebut, informasi yang diperoleh

kurang akurat, hal ini disebabkan Karena melemahnya arus listrik untuk jarak bentang yang semakin besar (Santoso, 2002).

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya adalah mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik dan dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Pada metode ini, arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua buah elektroda arus. Dengan diketahuinya harga arus potensialnya maka bisa ditentukan nilai resistivitasnya. Berdasarkan nilai resistivitas struktur lapisan bawah permukaan bumi, dapat diketahui jenis material pada lapisan tersebut (Telford *et.al.*, 1990).

Berdasarkan teknik pengukuran geolistrik, dikenal dua teknik pengukuran yaitu metode geolistrik resistivitas *mapping* dan *sounding*. Metode geolistrik resistivitas *mapping* merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara horizontal. Oleh Karena itu, pada metode ini digunakan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik *sounding* (titik amat) di permukaan bumi. Metode geolistrik resistivitas *sounding* bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal. Pada metode ini, pengukuran pada suatu titik *sounding* dilakukan dengan cara mengubah-ubah jarak elektroda. Perubahan jarak elektroda dilakukan dari jarak elektroda kecil kemudian membesar secara bertahap. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Semakin besar jarak elektroda maka semakin dalam lapisan batuan yang terdeteksi. Pada pengukuran di lapangan,

pembesaran jarak elektroda dapat dilakukan jika menggunakan alat geolistrik yang memadai. Dalam hal ini alat tersebut harus dapat menghasilkan arus yang besar atau arus yang cukup sensitif dalam mendeteksi beda potensial yang kecil di dalam bumi. Oleh karena itu, alat geolistrik yang baik adalah alat yang dapat menghasilkan arus listrik cukup besar dan mempunyai sensitivitas tinggi (Reynolds, 1997).

II.4 Sifat Kelistrikan Batuan

Batuan merupakan suatu jenis materi sehingga batuan pun memiliki sifat kelistrikan. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialiri arus listrik ke dalamnya. Arus listrik tersebut dapat berasal dari alam sendiri akibat terjadinya ketidak-setimbangan maupun arus listrik yang sengaja disuntikkan kedalam bumi. Terdapat beberapa jenis potensial listrik alam dari batuan dan hambatan jenis batuan.

Potensial listrik alam atau potensial diri disebabkan karena terjadinya kegiatan elektrokimia atau kegiatan mekanik. Faktor pengontrol dari semua ini adalah air tanah. Potensial ini berasosiasi dengan pelapukan mineral pada *body sulfida* perbedaan sifat batuan (kandungan mineral) pada kontak biologi, kegiatan bioelektrik dari material organik, gradian termal dan gradian tekanan. Potensial alam dapat dikelompokkan menjadi empat (Syamsuddin dan Lantu, 2009) :

1. Potensial Elektrokinetik: Potensial ini timbul bila suatu larutan bergeser melalui medium berpori.
2. Potensial Diffusi: Potensial ini disebabkan bila terjadi perbedaan mobilitas ion dalam larutan yang memiliki konsentrasi berbeda.

3. Potensial Nerust: Potensial ini timbul bila suatu elektroda dimasukkan ke dalam larutan homogen.
4. Potensial Mineralisasi: Potensial ini timbul bila dua elektroda logam dimasukkan kedalam larutan homogen. Harga potensial ini paling besar nilainya bila dibanding dengan potensial lainnya. Biasanya potensial timbul pada zona yang mengandung banyak sulfida, graphite dan magnetik.

II.5 Konduktifitas Listrik Batuan

Pada bagian batuan atom-atom terikat secara ionik atau kovalen karena adanya ikatan ini, maka batuan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik. Aliran arus listrik dalam batuan dibagi atas 3 macam (Syamsuddin dan Lantu, 2009):

1. Konduksi Elektronik: Konduksi ini adalah tipe normal dari aliran arus listrik dalam batuan atau mineral. Hal ini terjadi jika batuan tersebut mempunyai banyak elektron bebas. Akibatnya arus listrik mudah mengalir dalam batuan.
2. Konduksi Elektrolitit: Konduksi jenis ini banyak terjadi pada batuan atau mineral yang bersifat porous dan pada porinya berisi larutan elektrolit. Dalam hal ini, arus listrik mengalir karena dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit. Konduksi dengan cara ini lebih lambat dari pada konduksi elektronik.
3. Konduksi dielektrik: Konduksi terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas yang sedikit atau tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik eksternal, maka elektron dalam atom dipaksa berpindah dan berkumpul berpiasah dengan intinya sehingga

terjadi polarisasi. Peristiwa ini sangat tergantung konduktivitas batuan yang bersangkutan. Nilai resistivitas batuan ditunjukkan pada tabel 2.2 :

Tabel 2.2 Resistivitas Batuan dan Mineral (Telford *et,al.*, 1990)

Material	Resistivitas(Ωm)
Udara	~
Pirit (<i>pyrite</i>)	0.01 – 100
Kwarsa (<i>quartz</i>)	500 - 8×10^5
Kalsit (<i>calcite</i>)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Garam Batu (<i>rock salt</i>)	$30 - 1 \times 10^{13}$
Granit (<i>granite</i>)	$200 - 1 \times 10^5$
Andesit (<i>andesite</i>)	$1.7 \times 10^2 - 4.5 \times 10^4$
Basal (<i>basalt</i>)	$10 - 1.3 \times 10^7$
Batu Gamping (<i>limestone</i>)	$500 - 1 \times 10^4$
Batu Pasir (<i>sandstone</i>)	200 – 8000
Batu Tulis (<i>shales</i>)	20 – 2000
Pasir (<i>sand</i>)	1 – 1000
Lempung (<i>clay</i>)	1 – 100
Air Tanah (<i>ground water</i>)	0.5 – 300
Air Laut (<i>sea water</i>)	0.2
Magnetit (<i>magnetic</i>)	0.01 – 1000
Kerikil Kering (<i>dry gravel</i>)	600 – 1000
Aluvium (<i>alluvium</i>)	10 – 800
Kerikil (<i>gravel</i>)	100 – 600

II.6 Konsep Dasar Metode Resistivitas

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas. Resistivitas atau biasa disebut juga hambatan jenis merupakan parameter yang menunjukkan daya hambat suatu medium dalam mengalirkan arus listrik.

Apabila sebuah medium homogen isotropik dialiri arus listrik, dengan δA adalah elemen permukaan dan J adalah rapat arus (A/m^2), maka arus yang terus masuk pada δA adalah $\vec{J} \cdot \vec{\delta A}$. Rapat arus J dan medan listrik E akan berlaku hubungan berdasarkan hukum Ohm (Telford, *et.al.*,1990) :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.1)$$

Dengan E medan listrik dalam volt/meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam siemens per meter (S/m). Medan listrik merupakan gradien dari potensial saklar :

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.2)$$

Sehingga di dapatkan :

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (2.3)$$

Apabila arusnya stasioner maka akan menjadi :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \quad (2.4)$$

Maka,

$$\begin{aligned}\vec{\nabla}(\sigma \cdot \vec{\nabla}V) &= 0 \\ \vec{\nabla}\sigma \cdot \vec{\nabla}V + \sigma \vec{\nabla}^2V &= 0\end{aligned}\tag{2.5}$$

Jika σ adalah koefisien konstan, maka suku pertama pada persamaan (2.5) akan hilang dan memenuhi persamaan Laplace yang disebut potensial harmonik :

$$\vec{\nabla}^2V = 0\tag{2.6}$$

Persamaan Laplace yang berhubungan dengan kondisi ini yaitu dalam koordinat bola, karena simetri bola, potensial hanya sebagai fungsi jarak r dari sumber, selanjutnya persamaan dapat dinyatakan sebagai,

$$\frac{d}{dr}\left(r^2 \frac{dv}{dr}\right) = 0\tag{2.7}$$

Penyelesaian persamaan (2.7) dapat dilakukan dengan mengintegrasikan dan diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}r^2 \frac{dv}{dr} &= A \\ \frac{dv}{dr} &= \frac{A}{r^2}\end{aligned}\tag{2.8}$$

Persamaan (2.8) diintegrasikan sekali lagi maka didapatkan :

$$V = -\frac{A}{r} + B\tag{2.9}$$

Dimana A dan B adalah konstanta integral yang nilainya bergantung pada syarat batas. Oleh karena itu $V = 0$ pada maka diperoleh $B = 0$, jadi potensial listrik mempunyai nilai berbanding terbalik dengan jarak dari titik sumber maka persamaannya menjadi seperti berikut :

$$V = -\frac{A}{r} \quad (2.10)$$

II. 7 Potensial di Sekitar Titik Arus

II.7.1 Potensial di Sekitar Titik Arus di dalam Bumi

Dalam model bumi yang homogen isotropis yang dapat dilihat pada gambar (2.5), sebuah elektroda C di dalam bumi yang terangkai dengan elektroda lain di permukaan dengan jarak cukup jauh. Elektroda C dapat dipandang sebagai titik sumber yang memancarkan arus listrik ke segala arah di dalam bumi dengan hambatan jenis. Equipotensial di setiap titik di dalam bumi membentuk permukaan bola dengan jari-jari r ., sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola A dengan jari-jari r adalah (Telford, *et.al.*,1990) :

$$I = 4\pi r^2 J = -4\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -4\pi \sigma A \quad (2.11)$$

dari persamaan (2.11) dapat di tulis,

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.12)$$

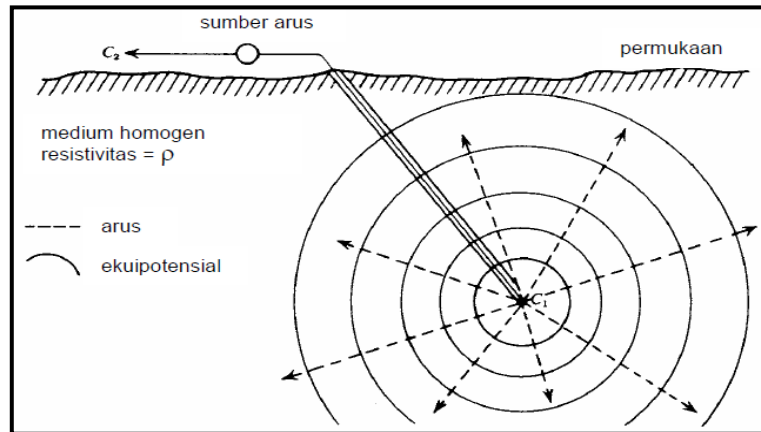
Persamaan (2.12) disubstitusikan ke persamaan (2.10) maka diperoleh :

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{I}{r} \quad (2.13)$$

atau

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (2.14)$$

Dengan ρ adalah tahanan jenis dengan satuan Ohm.meter.



Gambar 2.5 Potensial di sekitar titik arus di dalam bumi (Telford, *et.al.*, 1990)

II.7.2 Potensial Listrik Arus Tunggal di Permukaan Bumi

Pada gambar (2.6) dimisalkan titik elektroda C terletak di permukaan bumi homogen isotropis dan udara di atasnya dianggap memiliki konduktivitas nol. Kembali lagi seperti kasus sebelumnya bahwa elektroda tersebut terangkai dengan elektroda lain yang berada pada titik yang cukup jauh. Dari titik elektroda C diinjeksikan arus I ke dalam bumi, dalam hal ini arus mengalir melalui permukaan setengah bola menjadi (Telford, *et.al.*, 1990) :

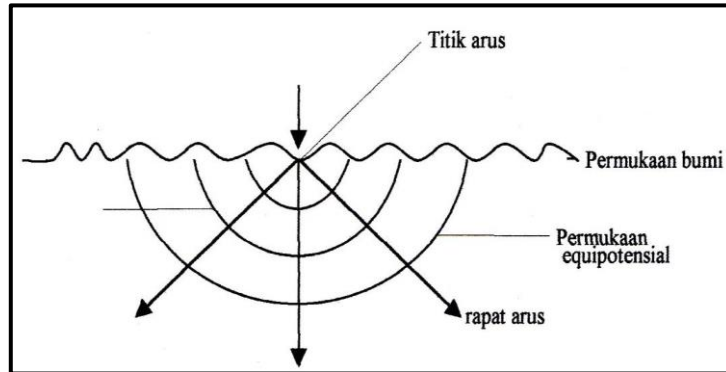
$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\pi \sigma A \quad (2.15)$$

Dengan demikian konstanta integrasi A untuk setengah bola adalah :

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.16)$$

Sehingga diperoleh,

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \text{ atau } \rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.17)$$



Gambar 2.6 Potensial listrik arus tunggal di permukaan bumi (Hendrajaya dan Arif, 1998)

II.7.3 Potensial Listrik oleh dua Sumber Arus di Permukaan Bumi

Ketika jarak antara 2 elektroda arus ditentukan (gambar 2.7), besarnya potensial di titik P₁ akibat sumber arus C₁ dan C₂ (Telford, *et.al.*, 1990) :

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.18)$$

Dengan aturan yang sama, potensial di titik P₂ akibat sumber arus C₁ dan C₂ adalah :

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.19)$$

Sehingga beda potensial antara titik P₁ dan P₂ adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.20)$$

ΔV = beda potensial antara P₁ dan P₂ (Volt),

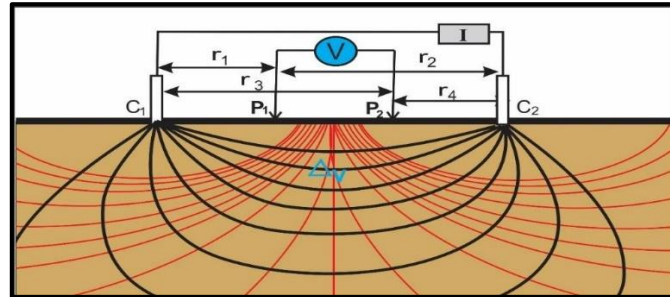
I = kuat arus yang melalui elektroda arus C₁ C₂ (Ampere),

r₁ = jarak antara C₁ dan P₁ (meter),

r₂ = jarak antara C₂ dan P₁ (meter),

r₃ = jarak antara C₁ dan P₂ (meter),

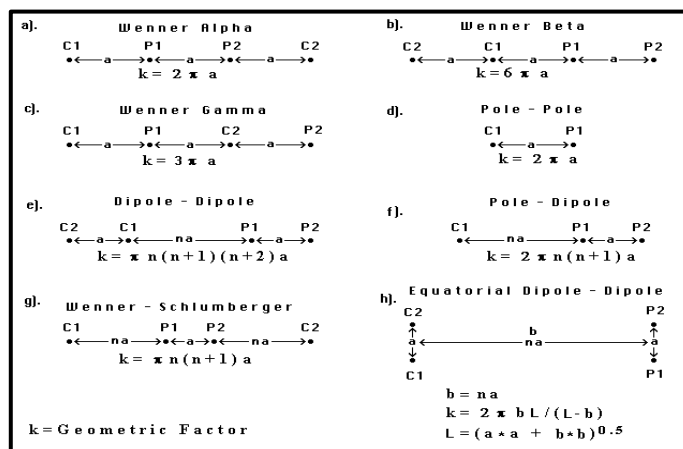
r_4 = jarak antara C_2 dan P_2 (meter).



Gambar 2.7 Potensial Listrik oleh dua Sumber Arus di dalam Bumi (Kearaey, *et.al*, 2002)

II. 8 Konfigurasi Elektroda

Berdasarkan susunan penempatan elektroda pengukuran terdapat berbagai jenis konfigurasi diantaranya konfigurasi *Wenner Alpha*, *Wenner Beta*, *Wenner Gamma*, *Pole-Pole*, *Dipole-Dipole*, *Pole-Dipole*, *Wenner-Schlumberger*, dan *Equatorial Dipole-Dipole*.



Gambar 2.8 Konfigurasi Elektroda dan Faktor Geometri (Loke, 2004)

Gambar (2.8) menunjukkan masing-masing konfigurasi memiliki karakteristik tersendiri, sehingga setiap konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan. Setiap konfigurasi tersebut menghasilkan faktor geometri yang berbeda-beda (Hasrianto, 2008). Dimana faktor geometri merupakan besaran yang berubah terhadap jarak pisah (spasi) elektroda dan bergantung pada susunan elektroda yang dirumuskan (Loke, 2004) :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \quad (2.21)$$

K merupakan faktor geometri yang tergantung susunan dari 4 elektroda. Dengan mensubstitusi faktor geometri dengan persamaan (2.20), dapat disederhanakan menjadi :

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.22)$$

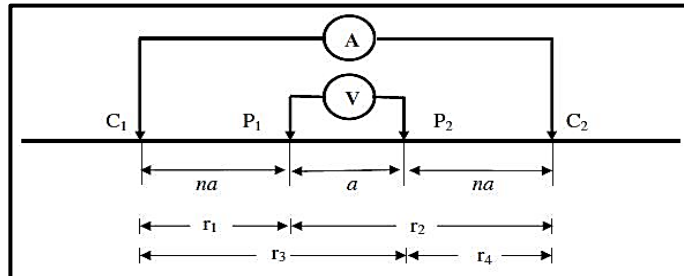
ρ merupakan resistivitas semu dengan satuan Ohm meter.

Suatu permasalahan lebih baik dilakukan dengan satu macam konfigurasi elektroda, tetapi belum tentu permasalahan tersebut dapat dipecahkan jika digunakan macam konfigurasi yang lainnya. Oleh karena itu, sebelum melakukan pengukuran, harus diketahui dengan jelas tujuannya sehingga dapat memilih jenis konfigurasi yang mana untuk digunakan (William, 2003).

II.8.1 Konfigurasi Wenner Schlumberger

Konfigurasi Wenner Schlumberger yang digunakan ketika melakukan pengukuran di lapangan, dengan C_1 dan C_2 adalah elektroda-elektroda arus, P_1 dan P_2 adalah

elektroda-elektroda potensial, a adalah spasi elektroda, n adalah perbandingan jarak antara elektroda C_1 dan P_1 dengan spasi a seperti diilustrasikan pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Susunan elektroda konfigurasi Wenner Schlumberger (Loke, 2004)

Dimana :

- | | | |
|--------------|--------------------------------|--------------|
| $C_1 \& C_2$ | : Elektroda Arus | $r_1 = na$ |
| $P_1 \& P_2$ | : Elektroda Potensial | $r_2 = a+na$ |
| a | : Spasi Elektroda Terkecil (m) | $r_3 = na+a$ |
| | | $r_4 = na$ |

Sehingga untuk konfigurasi Wenner Schlumberger, rumus untuk menghitung faktor geometrinya menjadi (Loke, 2004) :

$$K = \pi n (n + 1) a \quad (2.23)$$

Dengan K merupakan faktor geometri yang nilainya bervariasi bergantung pada jarak dari “ a ”. Kemudian dengan mensubstitusi nilai K dengan persamaan (2.22), maka dapat dihitung nilai resistivitas semu untuk tiap kedalaman, yaitu (Loke, 2004) :

$$\rho = \pi n (n + 1) a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.24)$$

II.9 Teori Dasar Inversi

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis objek di bawah permukaan (Supriyanto, 2007). Pada metode inversi geofisika, model yang dicari berupa representasi matematika bagian dari bumi yang memberi respons yang sesuai dengan hasil pengukuran yang kemudian model tersebut didiskritisasi. Diskritisasi model dapat dilakukan dengan tiga cara, pertama membagi model menjadi blok-blok kecil yang lebarnya sama dengan jarak terkecil antara elektroda. Selanjutnya, membagi model menjadi blok-blok yang pada beberapa lapisan pertamanya dibagi dua secara vertikal maupun horisontal dari cara yang pertama. Dan tahap ketiga, blok-blok yang pada beberapa lapisan pertamanya hanya dibagi dua secara horisontal saja. Hal ini disebabkan resolusi metode resistivitas berkurang dengan bertambahnya kedalaman, maka lebih efektif jika blok yang dibagi dua hanya lapisan pertama dan kedua saja (Loke, 2004).

Setiap titik pada diskritisasi model tersebut kemudian diberikan suatu parameter berupa nilai resistivitas yang nilainya sama dengan yang diinginkan oleh penginversi juga hasil pengukuran. Sedangkan respon model merupakan data sintetik yang dihitung dengan hubungan secara matematika berdasarkan pada model yang dengan parameter yang dimilikinya. Hubungan antara model dan respon model baik untuk model dua dimensi maupun model tiga dimensi dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *finite difference* (Loke, 2004).

Pada metode optimasi, sebuah model awal dimodifikasi dengan metode iterasi hingga beda antara respon model dan hasil pengukuran dapat direduksi (Loke, 2004). Data yang terukur dapat ditulis dalam sebuah vektor kolom y :

$$y = col(y_1, y_2 \dots \dots, y_m) \quad (2.25)$$

Dimana m adalah banyaknya pengukuran. Respon model f dapat ditulis dengan cara yang sama dalam bentuk :

$$f = col(f_1, f_2 \dots \dots, f_m) \quad (2.26)$$

Pada nilai resistivitas, lebih mudah digunakan logaritma dari nilai *true resistivitas* untuk hasil pengukuran respon model dan parameter model. Parameter model dapat direpresentasikan oleh vektor q berikut ini :

$$q = col(q_1, q_2, \dots \dots, q_n) \quad (2.27)$$

Dimana n adalah banyaknya parameter model. Dan beda antara hasil pengukuran dan respon model diberikan oleh persamaan :

$$g = y - f \quad (2.28)$$

Pada metode optimasi *least square*, model awal dimodifikasi hingga jumlah kuadrat kesalahan E dari selisih antara respon model dan hasil pengukuran dapat diperkecil :

$$E = g^T g \quad (2.29)$$

Untuk mengurangi kesalahan pada persamaan (2.28) maka persamaan Gauss-Newton (persamaan 2.29) digunakan untuk menentukan perubahan dalam parameter model yang seharusnya dapat mengurangi jumlah kuadrat kesalahan.

$$J^T J \Delta q_j = J^T g \quad (2.30)$$

Dengan

$$\Delta q = (J^T J)^{-1} J^T g$$

Dimana Δq adalah vector perubahan parameter model dan J adalah turunan parsial pada matriks Jacobian. Elemen matriks jacobian diberikan oleh persamaan:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (II.31)$$

Persamaan (2.31) merepresentasikan perubahan model pada respon model ke- i (i^{th} parameter model) yang disebabkan oleh karena perubahan parameter model ke- j (j^{th} model parameter). Setelah melakukan perhitungan vektor perubahan parameter, maka didapatkan sebuah model baru seperti berikut :

$$q_{j+1} = q_j + \Delta q_j \quad (2.32)$$

Pada aplikasinya, persamaan kuadrat terkecil sederhana (persamaan 2.30) jarang digunakan secara independen pada proses inversi geofisika. Pada beberapa kondisi hasil produk matriks mungkin bernilai tunggal, sehingga persamaan kuadrat terkecil

tidak memiliki penyelesaian untuk Δq . Terdapat masalah umum lainnya bahwa produk matriks $J^T J$ mendekati tunggal (*singular*).

Hal ini dapat disebabkan apabila model awal yang buruk yang sangat berbeda dengan model optimum yang digunakan. Perubahan parameter vektor dihitung dengan menggunakan persamaan (2.30) dapat memiliki komponen yang terlalu besar, sehingga model baru yang dihitung menyebabkan memiliki nilai yang tidak realistis. Salah satu metode untuk menghindari masalah tersebut adalah dengan menggunakan modifikasi MarquardtLevenberg (Loke, 2004) untuk persamaan Gauss-Newton yang dalam bentuk persamaan (2.33) :

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q_j = J^T g \quad (2.33)$$

dengan

$$\Delta q = [J^T J + \lambda I]^{-1} J^T g$$

dimana I adalah matriks identitas. Faktor pengali λ disebut sebagai faktor *Marquard* atau dengan istilah *damping factor* dan metode ini disebut juga sebagai *the ridge regression method* (Loke, 2004). *Damping factor* secara efektif membatasi range nilai sehingga komponen-komponen vector parameter perubahan dan mengikutsertakan Δq dalam perhitungan.

Pada metode Gauss Newton (persamaan 2.30), saat perhitungan berusaha meminimalkan jumlah kuadrat pada perbedaan vektor dan modifikasi metode *Marquardt-Levenberg* juga meminimalkan kombinasi dari besarnya perbedaan vektor dan parameter perubahan vektor. Metode ini telah berhasil digunakan dalam inversi

data resistivitas *sounding* dimana model terdiri dari beberapa lapisan-lapisan. Namun ketika jumlah parameter model sangat besar, seperti model inversi dua dimensi dan tiga dimensi yang terdiri dari banyaknya sel-sel yang berupa kotak-kotak, maka model yang dihasilkan oleh metode *Marquardt-Levenberg* dapat memiliki distribusi resistivitas yang berada pada daerah yang bernilai resistivitas rendah atau resistivitas tinggi yang tidak merepresentasikan kondisi sebenarnya (Loke, 2004).

Permasalahan ini dapat diatasi, persamaan kuadrat terkecil Gauss-Newton dimodifikasi lebih sehingga dapat meminimalkan variasi-variasi spasial pada parameter-parameter model tersebut. Metode kuadrat terkecil *smoothness-constraint* (Loke, 2004) terdapat dalam bentuk persamaan (2.34) :

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q_j = J^T g - \lambda F q_j \quad (2.34)$$

dengan,

$$\Delta q = [J^T J + \lambda F]^{-1} J^T g$$

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z$$

dan C_x , C_y , dan C_z merupakan matriks (*smoothing matrices*) pada arah x, y, z dan α_x , α_y , α_z suatu besaran nilai relatif yang diberikan pada arah x, y, z .

$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z$ dapat digunakan untuk meminimalkan kuadrat perubahan spasial atau *roughness* pada nilai resistivitas model. Metode ini

sebenarnya merupakan metode optimasi smoothness-constrained normalisasi l_2 (*norm smoothness-constrained optimization method*). Metode ini cenderung menyebabkan menghasilkan model dengan variasi nilai resistivitas yang *smooth*.

Metode pendekatan ini dapat diterima jika resistivitas di bawah permukaan yang sebenarnya bervariasi dengan sifat yang halus dan bergradasi pada kondisi bawah permukaan yang sesungguhnya. Pada beberapa kasus, kondisi geologi di bawah permukaan terdiri dari sejumlah daerah yang secara internal hampir homogen tetapi dengan batas-batas yang tajam (*sharp boundaries*) antara wilayah yang berbeda. Untuk kasus seperti tersebut, persamaan inversi (2.34) dapat dimodifikasi untuk meminimalkan perubahan secara absolut pada nilai resistivitas model (Loke, 2004), sehingga terkadang dapat memberikan hasil model bawah permukaan yang signifikan lebih baik. Metode ini secara umum dikenal sebagai metode optimasi normalisasi *smoothness-constrained* (*norm smoothness-constrained optimization method*) atau lebih dikenal juga sebagai metode inversi blok (*blocky inversion method*). Salah satu metode yang sederhana untuk menerapkan normalisasi l_1 adalah dengan menggunakan formulasi kuadrat terkecil yang dikenal sebagai metode kuadrat iterasi reweighted atau *iteratively reweighted least-squares method* (Loke, 2004). Persamaan (2.34) dapat dimodifikasi menjadi persamaaan (2.36) :

$$(J^T J + \lambda F_R) \Delta q_j = J^T R_d g - \lambda F_R q_k \quad (2.35)$$

dengan,

$$\Delta q = [J^T J + \lambda F_R]^{-1} J^T g$$

$$F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z$$

dimana R_d dan R_m adalah *weighting matrices* sehingga elemen-elemen yang berbeda dari data yang tidak sesuai (data misfit) dan vektor-vektor model yang roughness diberikan bobot yang sama dalam proses inversi. Persamaan (2.35) menyediakan suatu cara yang dapat dimodifikasi lebih lanjut jika dibutuhkan yang termasuk informasi mengenai geologi di bawah permukaan. Sebagai contoh, jika diketahui bahwa variasi resistivitas di bawah permukaan kemungkinan terbatas pada wilayah tertentu (*limited zone*), maka nilai faktor peredaman λ (Loke, 2004) dapat diubah sedemikian rupa sehingga perubahan yang lebih signifikan diperbolehkan pada kondisi wilayah tersebut.

II.9.1 Pemodelan Inversi

Pemodelan inversi (*inverse modeling*) adalah parameter model yang diperoleh secara langsung dari data. Teori inversi adalah suatu kesatuan teknik atau metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Sistem fisika yang dimaksud adalah fenomena yang kita tinjau, hasil observasi terhadap sistem adalah data sedangkan informasi yang ingin diperoleh dari data adalah model atau parameter model (Grandis, 2009).

Proses inversi yaitu melakukan analisis terhadap data lapangan dengan cara melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*). Proses inversi terbagi dalam level-level tertentu mulai dari yang paling sederhana seperti fitting garis untuk data seismik refraksi sampai kepada level yang rumit seperti tomografi akustik dan *matching* (pencocokan) kurva resistivitas yang multidimensi.

Kesesuaian antara respons model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian minimum fungsi objektif tersebut berasosiasi dengan proses pencarian model optimum. Jika suatu fungsi mencapai minimum maka turunannya terhadap variabel yang tidak diketahui di titik minimum tersebut berharga nol. Karakteristik minimum suatu fungsi tersebut digunakan untuk pencarian parameter model. Secara umum, model dimodifikasi sedemikian hingga respons model menjadi *fit* dengan data. Proses tersebut jelas bahwa pemodelan inversi hanya dapat dilakukan jika hubungan antara data dan parameter model (fungsi pemodelan ke depan) telah diketahui (Grandis, 2009).

II.9.2 Pemodelan ke Depan

Pemodelan ke depan (*forward modeling*) menyatakan proses perhitungan “data” yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaan tertentu. Perhitungan data teoritis tersebut menggunakan persamaan matematik yang diturunkan dari konsep fisika yang mendasari fenomena

yang ditinjau. Pemodelan data geofisika akan dicari suatu model yang menghasilkan respons yang cocok atau *fit* dengan data pengamatan atau data lapangan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di tempat pengukuran data (Grandis, 2009).

Hubungan antara data dengan parameter model secara umum dapat dinyatakan oleh persamaan berikut (Grandis, 2009) :

$$d = g(m) \quad 2.36$$

dengan g adalah suatu fungsi pemodelan kedepan yang merupakan fungsi non-linear dari parameter model, d merupakan data pengukuran dan m adalah model bawah permukaan.

II.9.3 Pemodelan ke Depan Resistivitas 2 Dimensi

Tahap *processing* data *apparent resistivity* dan *apparent chargeability* terdiri dari proses inversi data dengan menggunakan perangkat lunak Res2DInv yang kemudian menginterpolasi data sehingga didapatkan nilai resistivitas dan chargeabilitas yang sebenarnya, Res2DInv adalah program komputer yang secara otomatis akan menentukan dua-dimensi (2-D) model resistivitas di bawah permukaan dari data yang diperoleh hasil survei geolistrik. (Loke, 2014)

Tahap selanjutnya yaitu menganalisis penampang dua dimensi hasil inversi oleh perangkat lunak berdasarkan nilai resistivitas, chargeabilitas dan zona alterasi. Perangkat lunak Res2DInv menggunakan algoritma *Least Square* saat proses

dilakukan. (Loke, 2004), menyatakan bahwa algoritma *Least Square* dalam perangkat lunak Res2DInv terdiri atas dua macam algoritma, yakni:

- a. *Standard Smoothness-Constrain Least Square Inversion*, digunakan untuk zona dengan batas antar material cenderung gradual atau tidak memiliki kontak yang tajam.
- b. *Robust Constrain Least Square Inversion*, digunakan untuk zona dengan batas kontak antar material yang tajam misalnya zona patahan atau kontak batuan intrusif-lapisan mineral logam.

Res2DInv dikembangkan untuk menginterpolasi dan menampilkan kumpulan data besar (sekitar 200 hingga 100.000 titik data) dengan jumlah elektroda (sekitar 25 hingga 16.000 elektroda). Survei biasanya dilakukan dengan sistem di mana elektroda disusun sepanjang garis dengan jarak konstan antara elektroda yang berdekatan. Model 2-D yang dihasilkan oleh Res2DInv terdiri dari sejumlah besar blok persegi panjang proses interpolasi data set, Sebaran dan ukuran blok secara otomatis dihasilkan oleh software berdasarkan analisis matematik menggunakan distribusi titik data sebagai acuan awal. Kedalaman dari baris bawah blok ditetapkan kira-kira sama dengan kedalaman objek investigasi dari titik data dengan jarak elektroda (Edward, 1977).