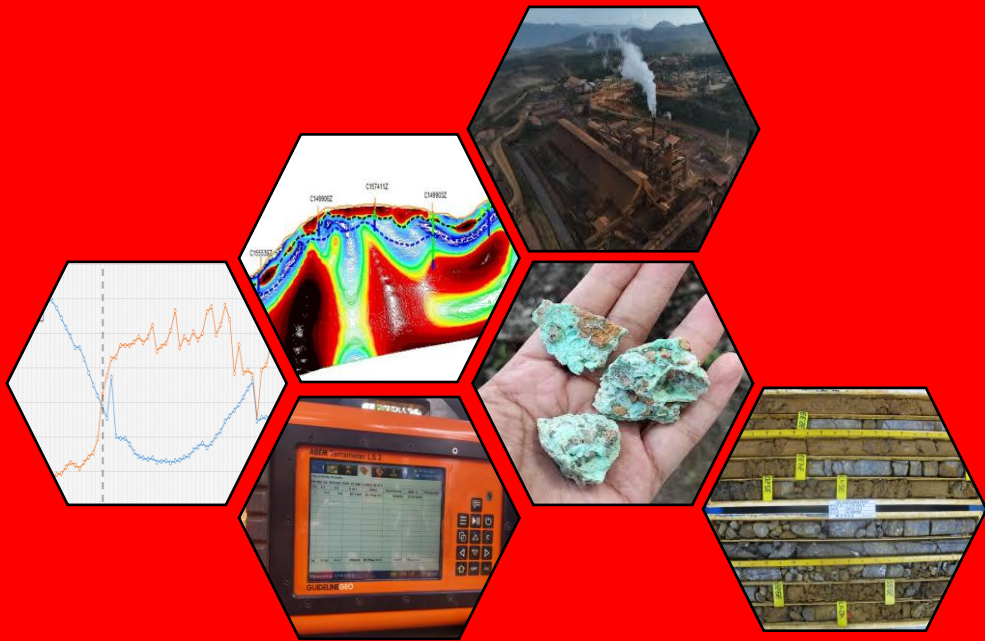


**ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PROFIL NIKEL LATERIT
EAST BLOCK DAN WEST BLOCK BERDASARKAN DATA *ELECTRICAL
RESISTIVITY TOMOGRAPHY (ERT)***



**ASYIFAH
H061 19 1007**



**PROGRAM GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITASA HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PROFIL NIKEL LATERIT
EAST BLOCK DAN WEST BLOCK BERDASARKAN DATA *ELECTRICAL
RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT)**

**ASYIFAH
H061 19 1007**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PROFIL NIKEL LATERIT
EAST BLOCK DAN WEST BLOCK BERDASARKAN DATA *ELECTRICAL
RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT)**

**ASYIFAH
H061 19 1007**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI**ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PROFIL NIKEL LATERIT
EAST BLOCK DAN WEST BLOCK BERDASARKAN DATA *ELECTRICAL
RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT)**

ASYIFAH
H061 19 1007

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Geofisika pada tanggal 09 Agustus
2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Geofisika
Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar
2024

Mengesahkan:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Syamsuddin, S.Si. MT
NIP. 197401152002121001



Sabrianto Aswad, S.Si. MT
NIP. 197805242005011002

Mengetahui:
Ketua Program Studi Geofisika



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Perbandingan Karakteristik Profil Nikel Laterit *East Block* Dan *West Block* Berdasarkan Data *Electrical Resistivity Tomography* (ERT)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Syamsuddin, S.Si. MT sebagai pembimbing Utama dan Sabrianto Aswad, S.Si. MT sebagai pembimbing pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 09 Agustus 2024



Asyifah

H061191007

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*. Tiada kata yang pantas terucap selain kata syukur kepada-Nya atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, yang memberikan penulis kesabaran, kekuatan, dan keikhlasan dalam menyelesaikan skripsi ini. Tidak ada daya dan upaya kecuali atas pertolongan Allah yang Maha Agung, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Perbandingan Karakteristik Profil Nikel Laterit *East Block* Dan *West Block* Berdasarkan Data *Electrical Resistivity Tomography* (ERT)” sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Geofisika.

Skripsi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan dari pembimbing, Bapak **Syamsuddin, S.Si., M.T.**, dan Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si., M.T.**, serta Tim Penguji Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si.**, dan Ibu **Dra. Maria, M.Si.** Penulis mengucapkan terima kasih atas ilmu, koreksi dan saran yang telah diberikan kepada penulis. Penghargaan yang tinggi juga penulis sampaikan kepada Bapak **Adhie Wahyudi** yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian, serta Kak **Hidayat Latuconsina**, Kak **Muammar Hakim**, Kak **Iswar Edis Pratama**, Kak **Akram Ramadhan**, dan Kak **Asnur Azis** yang telah membantu dan berbagi ilmu, serta semua pihak yang terlibat di lokasi penelitian.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada kedua orang tua penulis sebagai motivasi terbesar bagi penulis yaitu Bapak **Zainal Abidin Azis** dan Ibu **Hasniah** serta Adik-adik penulis, **Annisa, Maulana Zainal** dan **Nailah**, yang senantiasa memberikan cinta kasih, doa, dan pengorbanan. Semoga Allah menganugerahi dengan balasan yang terindah. Penulis juga ingin menyampaikan penghormatan dan rasa terima kasih yang tulus serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh keluarga, terutama **Om Yusuf** dan **Tante Ainul**, atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Demikian, penulis yang tidak berhenti bersyukur dan mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang terlibat. Permohonan maaf yang sebesar-besarnya penulis sampaikan atas segala kekeliruan dalam penulisan skripsi ini. Penulis berharap, karya ini dapat memberikan manfaat sebaik-baiknya.

Penulis,

Asyifah
H061191007

ABSTRAK

ASYIFAH. Analisis Perbandingan Karakteristik Profil Nikel Laterit *East Block* Dan *West Block* Berdasarkan Data *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) (dibimbing oleh Syamsuddin dan Sabrianto Aswad).

PT. Vale Indonesia memiliki dua blok penambangan dengan tipe endapan nikel laterit yang berbeda, yaitu *East Block* dan *West Block*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik profil nikel laterit di kedua blok tersebut menggunakan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Pengolahan Data ERT akan menghasilkan penampang resistivitas 2D, yang kemudian digunakan untuk menginterpretasi batas lapisan nikel laterit berdasarkan korelasi dengan data bor. Setelah interpretasi dilakukan, karakteristik profil nikel laterit di kedua blok serta pengaruh faktor geokimia terhadap nilai resistivitas dapat diketahui. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada zona limonit, nilai resistivitas *West Block* berkisar antara 100-500 Ωm dengan kandungan Fe sekitar 23%, sedangkan *East Block* memiliki nilai resistivitas 115-415 Ωm dan kandungan Fe sekitar 35%. Zona saprolit di *West Block* memiliki nilai resistivitas 10-510 Ωm dan kandungan SiO_2 sekitar 20%, sementara *East Block* memiliki nilai resistivitas 30-280 Ωm dan kandungan SiO_2 sekitar 19%. Zona *bedrock West Block* memiliki nilai resistivitas >200 Ωm dan kandungan MgO sekitar 4%, sedangkan *East Block* memiliki nilai resistivitas >100 Ωm dan kandungan MgO sekitar 5%.

Kata Kunci: ERT; Resistivitas; Nikel Laterit; Data Bor; *West Block*; *East Block*.

ABSTRACT

ASYIFAH. Comparative Analysis of Nickel Laterite Profile Characteristics of East Block and West Block Based on Electrical Resistivity Tomography (ERT) Data (supervised by Syamsuddin and Sabrianto Aswad).

PT Vale Indonesia has two mining blocks with different types of nickel laterite deposits, namely East Block and West Block. This research aims to determine the characteristics of nickel laterite profiles in both blocks using the Electrical Resistivity Tomography (ERT) method. ERT data processing will produce a 2D resistivity cross section, which is then used to interpret the nickel laterite layer boundaries based on correlation with drill data. After the interpretation is done, the characteristics of the nickel laterite profiles in both blocks as well as the influence of geochemical factors on resistivity values can be known. The results show that in the limonite zone, the West Block resistivity value ranges from 100-500 Ωm with Fe content around 23%, while the East Block has a resistivity value of 115-415 Ωm and Fe content around 35%. The saprolite zone in West Block has a resistivity value of 10-510 Ωm and a SiO₂ content of about 20%, while East Block has a resistivity value of 30-280 Ωm and a SiO₂ content of about 19%. The West Block bedrock zone has a resistivity value of >200 Ωm and a MgO content of about 4%, while the East Block has a resistivity value of >100 Ωm and a MgO content of about 5%.

Keywords: Electrical Resistivity Tomography; Geoelectric Method; Nickel Laterite Profile; Drill Data.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|------------------------------------------------------------|----------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PERNYATAAN PENGAJUAN | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iv |
| UCAPAN TERIMA KASIH | v |
| ABSTRAK | vi |
| <i>ABSTRACT</i> | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan | 2 |
| 1.3 Manfaat | 2 |
| 1.4 Landasan Teori | 2 |
| 1.4.1 Geologi Regional | 2 |
| 1.4.2 Nikel Laterit | 4 |
| 1.4.3 Metode Geolistrik | 6 |
| 1.4.4 Konfigurasi Gradient Array | 12 |
| 1.4.5 Pemodelan Geofisika | 13 |
| 1.4.6 Hubungan Antara Geologi dan Nilai Resistivitas | 16 |
| BAB II METODE PENELITIAN | 18 |
| 2.1 Lokasi Penelitian | 18 |
| 2.2 Alat dan Bahan | 19 |
| 2.2.1 Alat | 19 |
| 2.2.2 Bahan | 19 |
| 2.3 Prosedur Penelitian | 19 |
| 2.3.1 Tahap Kajian Pustaka | 19 |
| 2.3.2 Tahap Pengolahan Data | 19 |
| 2.3.3 Tahap Interpretasi Data | 20 |
| 2.4 Bagan Alir Penelitian | 22 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| BAB III HASIL PENELITIAN | 22 |
| 3.1 Data Penelitian..... | 22 |
| 3.1.1 Data ERT | 22 |
| 3.1.2 Data Bor..... | 22 |
| 3.2 Hasil Inversi | 23 |
| BAB IV PEMBAHASAN | 26 |
| 4.1 Interpretasi Berdasarkan Korelasi Nilai Resistivitas dan Data Bor | 26 |
| 4.2 Karakteristik profil laterit di <i>East Block</i> dan <i>West Block</i> | 41 |
| 4.3 Pengaruh Kandungan <i>Major Element</i> terhadap Nilai Resistivitas di <i>East Block</i> dan <i>West Block</i> | 43 |
| BAB V KESIMPULAN | 48 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 49 |
| LAMPIRAN | 51 |

DAFTAR TABEL

| Nomor Urut | Halaman |
|------------------------------------------------|---------|
| 1. Nilai Resistivitas Batuan dan Mineral | 16 |

DAFTAR GAMBAR

| Nomor Urut | Halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Peta Geologi Pulau Regional Sulawesi..... | 3 |
| 2. Geologi Daerah Sorowako | 3 |
| 3. Profil Nikel Laterit | 5 |
| 4. Medium homogen isotropis dialiri arus listrik..... | 8 |
| 5. Sumber arus tunggal C1 dalam medium homogen seluruh ruang, sementara sumber arus C2 dianggap terletak di tak hingga..... | 10 |
| 6. Sumber arus tunggal C1 dalam medium homogen setengah ruang, sementara sumber arus C2 dianggap terletak di tak hingga..... | 10 |
| 7. Ilustrasi dua elektroda arus dan potensial di permukaan bumi pada medium homogen isotropis | 11 |
| 8. Konfigurasi Gradient | 12 |
| 9. Nilai resistivitas batuan, tanah dan mineral | 17 |
| 10. Lintasan ERT East Block..... | 18 |
| 11. Lintasan ERT West Block..... | 18 |
| 12. Bagan Alir Penelitian..... | 22 |
| 13. Penampang vertikal data bor/drillhole | 22 |
| 14. Penampang Resistivitas Hasil Inversi Lintasan E02 di East Block..... | 23 |
| 15. Penampang Resistivitas Hasil Inversi Lintasan N02 di East Block | 24 |
| 16. Penampang Resistivitas Hasil Inversi Lintasan E02 di West Block..... | 24 |
| 17. Penampang Resistivitas Hasil Inversi Lintasan N02 di West Block | 25 |
| 18. Lintasan ERT daerah East Block | 26 |
| 19. Interpretasi lintasan E01 | 27 |
| 20. Interpretasi lintasan E02..... | 28 |
| 21. Interpretasi lintasan E03..... | 29 |
| 22. Interpretasi lintasan N01..... | 30 |
| 23. Interpretasi lintasan N02..... | 31 |
| 24. Interpretasi lintasan N03..... | 33 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 25. Lintasan ERT daerah West Block | 34 |
| 26. Interpretasi lintasan E01 | 34 |
| 27. Interpretasi lintasan E02..... | 36 |
| 28. Interpretasi lintasan E03..... | 37 |
| 29. Interpretasi lintasan N01..... | 38 |
| 30. Interpretasi lintasan N02..... | 39 |
| 31. Interpretasi lintasan N03..... | 40 |
| 32. Karakteristik profil laterit East Block dan West Block | 42 |
| 33. Grafik pengaruh kandungan unsur Fe terhadap nilai resistivitas di East Block | 44 |
| 34. Grafik pengaruh kandungan unsur Fe terhadap nilai resistivitas di West Block..... | 44 |
| 35. Grafik pengaruh kandungan senyawa SiO ₂ terhadap nilai resistivitas di East Block..... | 45 |
| 36. Grafik pengaruh kandungan senyawa SiO ₂ terhadap nilai resistivitas di West Block..... | 45 |
| 37. Grafik pengaruh kandungan senyawa MgO terhadap nilai resistivitas di East Block..... | 46 |
| 38. Grafik pengaruh kandungan senyawa MgO terhadap nilai resistivitas di West Block..... | 46 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor Urut | Halaman |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Hasil Inversi Data ERT di <i>East Block</i> | 52 |
| 2. Hasil Inversi Data ERT di <i>West Block</i> | 54 |
| 3. Pemodelan ke Depan (<i>Forward modeling</i>)..... | 56 |
| 4. Faktor Geometri Konfigurasi Gradient..... | 66 |
| 5. Fotocore & Data Assay sebagai data pendukung dalam interpretasi | 67 |
| 6. Pembuktian Rumus Geolistrik | 68 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel laterit memainkan peran penting dalam industri nikel global, sekitar 70% dari semua sumber daya nikel terkandung dalam laterit. Menurut laporan Badan Survei Geologi Amerika (USGS), Indonesia menjadi penghasil nikel terbesar. Total produksinya diperkirakan mencapai 1,6 juta metrik ton atau menyumbang 48,48% dari total produksi nikel global sepanjang tahun 2022. Selain itu, Indonesia tercatat sebagai pemilik cadangan nikel terbesar di dunia pada tahun 2022 yakni mencapai 21 juta metrik ton.

Nikel diperoleh dari endapan yang terbentuk akibat proses oksidasi dan pelapukan pada batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,2 – 0,4 % (Elias, 2001). Potensi endapan nikel laterit umumnya banyak tersebar di Provinsi Sulawesi Selatan, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur. Menurut Ahmad (2005), tipe endapan nikel laterit di daerah Sorowako terbagi menjadi 3 yaitu *West Block*, *East Block* dan *Petea*. Fokus penelitian ini ditujukan pada *West Block* dan *East Block*.

Dalam eksplorasi mineral, diperlukan suatu survei pendahuluan yang dapat menginterpretasikan keadaan material yang berada di bawah permukaan bumi. Salah satu metode eksplorasi yang dapat digunakan adalah survei geofisika. Metode geofisika yang digunakan untuk eksplorasi nikel laterit di PT. Vale Indonesia adalah metode ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). Metode ERT merupakan metode geolistrik yang digunakan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi material di bawah permukaan bumi berdasarkan distribusi nilai resistivitas bawah permukaan (Lowrie, 2007). Metode ERT dilakukan dengan menginjeksikan arus ke dalam bumi, kemudian melihat respon material bawah permukaan. Respon yang didapatkan berupa resistivitas batuan bawah permukaan.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Inrian (2023) berjudul "Identifikasi Profil Nikel Laterit Berdasarkan Respon Metode ERT dan Korelasinya Dengan Data Bor Di Daerah *East Block*", didapatkan informasi tentang sistem perlapisan nikel laterit berdasarkan data ERT dan data bor. Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Pinandhito (2018) dalam penelitiannya yang berjudul "Identifikasi Profil Deposit Nikel Laterit Berdasarkan Analisis ERT Dan Data Bor Di Daerah *East Block*". Selain itu, Surawan (2014) telah melakukan penelitian dengan judul "Optimalisasi penggunaan ERT dalam memaksimalkan eksplorasi nikel laterit daerah *West Block*".

Namun, belum ada penelitian secara khusus membandingkan karakteristik profil nikel laterit antara dua blok sekaligus yaitu *East Block* dan *West Block* menggunakan metode ERT. Oleh karena itu, dilakukan penelitian analisis perbandingan karakteristik profil nikel laterit *East Block* dan *West Block* berdasarkan data ERT. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi yang lebih mendalam tentang karakteristik model geolistrik pada kedua blok tersebut.

1.2 Tujuan

Penelitian dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menentukan profil nikel laterit berdasarkan respon nilai resistivitas.
2. Menentukan karakteristik profil nikel laterit di *East Block* dan *West Block* berdasarkan nilai resistivitas.
3. Mengetahui pengaruh unsur kimia yang dominan (*Major Element*) terhadap nilai resistivitas.

1.3 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang karakteristik profil nikel laterit daerah *East Block* dan *West Block* berdasarkan data *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) yang dikorelasikan dengan data bor, yang dapat membantu penelitian selanjutnya dalam melakukan interpretasi.

1.4 Landasan Teori

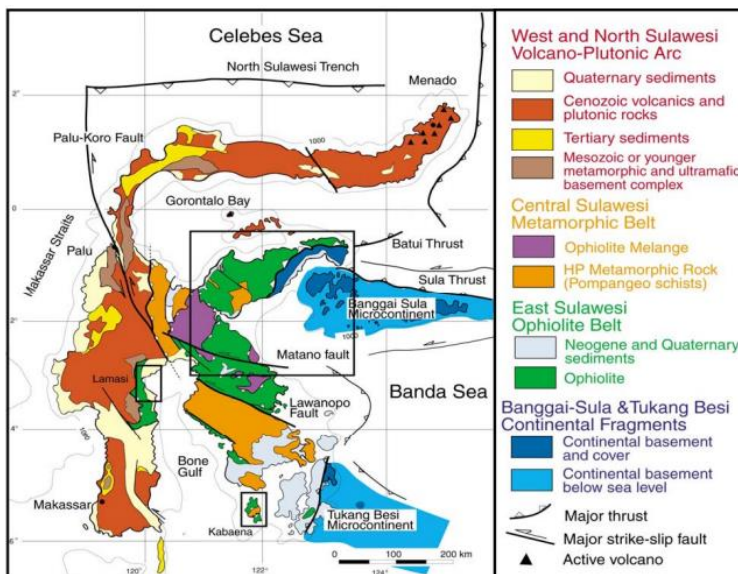
1.4.1 Geologi Regional

Tektonik Sulawesi terbagi menjadi empat proses tektonik, yaitu tektonik bagian lengan utara (*North Arm*), lengan timur (*East Arm*), lengan tenggara (*South East Arm*), dan lengan selatan (*South Arm*). Pembagian empat tektonik menggambarkan kompleksitas tektonik. Penyebab terjadinya kompleksitas tektonik karena letak Sulawesi pada pertemuan lebih dari dua lempeng, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik Dan Beberapa Mikrokontinen.

Sukanto (1975) melakukan penelitian mengenai proses tektonik dan geologi Pulau Sulawesi dan sekitarnya. Kemudian dibagi menjadi 3 Mandala Geologi dalam Gambar 1 yaitu:

1. Mandala Geologi Sulawesi Barat, dicirikan oleh adanya jalur gunung api paleogen, intrusi neogen dan sedimen mesozoikum.
2. Mandala Geologi Sulawesi Timur, dicirikan oleh batuan ofiolit yang berupa batuan ultramafik peridotit, dunit, piroksenit dan serpentin yang diperkirakan berumur kapur.
3. Mandala Geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf berumur Permokarbon, batuan plutonik yang bersifat granitis berumur triasik, dan batuan sedimen berumur mesozoikum.

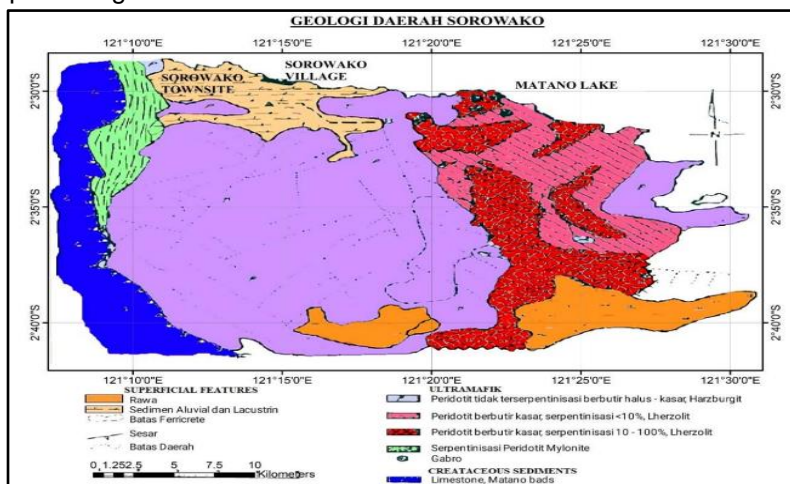
Sebaran batuan di daerah Sorowako tidak lepas dari struktur geologi yang hadir di daerah tersebut. Kompleksitas tektonik pada daerah ini berpengaruh pada pembentukan nikel laterit yang bernilai ekonomis (Golightly, 1979). Batuan ofiolit terletak di sekitar Danau Matano. Danau ini diperkirakan adalah sebuah graben hasil dilatasi sesar Matano. Sesar ini berorientasi barat laut-tenggara. Danau ini berfungsi sebagai bendungan alami. Bendungan alami ini berfungsi mempertahankan deposit nikel laterit dari erosi.



Gambar 1. Peta Geologi Pulau Regional Sulawesi (Ahmad, 2005)

Geologi daerah Sorowako dibagi menjadi tiga bagian, seperti yang terlihat dalam Gambar 2 yaitu:

1. Satuan batuan sedimen yang berumur kapur; terdiri dari batugamping laut dalam dan rijang. Terdapat di bagian barat Sorowako dan dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah barat.
2. Satuan batuan ultrabasa yang berumur awal tersier; umumnya terdiri dari jenis peridotit, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat di bagian timur. Pada satuan ini juga terdapat intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat gabroik dan terdapat di bagian utara.
3. Endapan aluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) yang berumur kuartar, umumnya terdapat di bagian utara dekat desa Sorowako.



Gambar 2. Geologi Daerah Sorowako (Golightly, 1979)

1.4.2 Nikel Laterit

Nikel laterit adalah jenis bijih nikel yang terbentuk dari proses pelapukan kimiawi pada batuan ultramafik. Menurut Ahmad (2006) batuan ultramafik merupakan batuan beku plutonik yang ditemukan di kerak maupun sebagai batuan metamorf yang berasal dari mantel. Batuan ultramafik memiliki kandungan SiO₂ yang rendah. Adapun jenis batuan ultramafik diantaranya yaitu peridotit, dunit dan serpentinit (Ahmad, 2006).

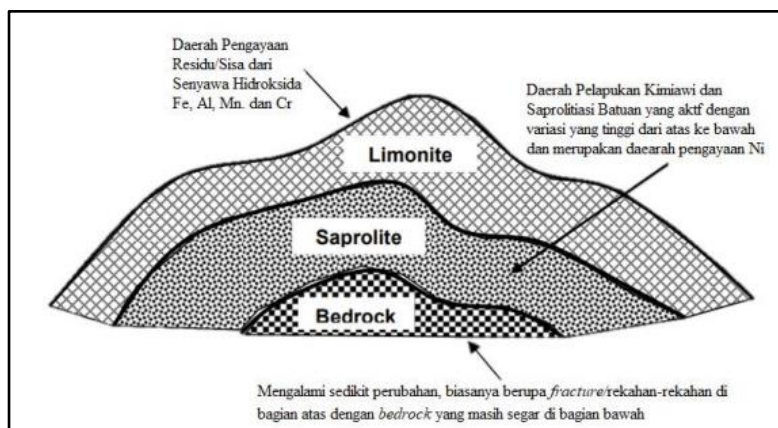
A. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan nikel laterit, yaitu (Ahmad, 2009):

- 1) Batuan asal
Batuan asal merupakan syarat utama terbentuknya endapan nikel laterit. Dalam hal ini batuan asalnya yaitu batuan ultramafik yang dimana batuan ultramafik memiliki elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya.
- 2) Iklim
Ketika terjadinya pergantian musim pasti menimbulkan perbedaan temperatur yang cukup berbeda sehingga membantu terjadinya pelapukan mekanis. Suhu atau temperatur yang tinggi sangat penting dalam mempercepat proses pelapukan kimia yang merupakan kondisi yang sangat ideal dalam pengembangan laterit.
- 3) Struktur
Yang sangat dominan adalah struktur kekar (*joint*) dibandingkan dengan struktur sesarnya. Dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan memudahkan masuknya air sehingga proses pelapukan akan lebih intensif.
- 4) Topografi
Daerah yang mempunyai topografi landai, air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Daerah yang curam, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga proses pelapukan kurang intensif. Jadi topografi mempengaruhi ketebalan pelapukan.
- 5) Waktu
Waktu dengan rentang yang lama akan membuat proses pelapukan cukup intensif karena akumulasi unsur Ni cukup tinggi. Waktu lateritisasi tiap ketebalan 1 mm membutuhkan waktu sekitar 100 tahun.
- 6) Reagen-reagen kimia dan vegetasi
Air tanah yang mengandung CO₂ sangat penting dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus akan menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam humus erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Vegetasi akan mengakibatkan air dapat menembus lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur dari akar pohon. Dan vegetasi juga berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

B. Profil Nikel Laterit

Proses pelapukan kimia akan menghasilkan pembentukan profil nikel laterit yang bertingkat dengan laterit termuda di bagian bawah dan laterit tertua berada di bagian atas. Banyak zona dalam profil nikel laterit yang ditandai karena keberadaan air, baik karena gerakan bawah serta melalui tingkat fluktuasi. Dapat dipastikan bahwa tanpa kehadiran dan ketersediaan air maka laterit tidak akan mampu membentuk zona-zonanya (Ahmad, 2009).



Gambar 3. Profil Nikel Laterit (Ahmad, 2009)

Gambar 3 merupakan profil laterit dijelaskan dalam urutan kronologis zona yang berbeda berkembang dari bawah ke atas.

1. Zona *Bedrock*

Zona ini berasal dari batuan dasar yang tidak terpengaruh oleh pelapukan. Zona ini adalah zona di mana pelapukan baru mulai di sepanjang rekahan dan kekar pada batuan. Karakteristik dan densitas asal masih terlihat, kecuali "*weathering front*" yang lebih dalam di daerah sesar, kekar, dan pada permukaan kekar dan rekahan. Perbedaan antara *bedrock* dan lapisan saprolit di bagian atas tidak terlalu mencolok. Selain itu, batas lapisannya tidak pernah horizontal tetapi mengikuti kontur yang menembus lebih dalam pada sesar, kekar dan rekahan.

2. Zona Saprolit

Zona ini merupakan zona perubahan/alterasi batuan dasar dimana proses pelapukan kimia berlangsung secara intensif. Pelapukan dan reaksi kimia berlangsung di sepanjang rekahan. Tekstur dan struktur batuan asal masih terlihat. Tingkat porositas pada umumnya meningkat pada bagian atas zona saprolit dan mencapai nilai maksimum pada zona pertengahan.

3. Zona Limonit

Zona ini merupakan zona dimana unsur yang tidak dapat terlarut mencapai nilai maksimum. Semua unsur yang terlarut seperti (Ca, Na, K, Si) dari zona pelapukan meninggalkan Fe, Al, dan Mn yang teroksidasi di permukaan (tidak terlarut). Bagian atas dari zona yang kaya akan unsur Fe merupakan "*goethite*" sedangkan bagian bawahnya yang terbentuk dari hidrasi oksida besi

merupakan limonit. *Goethite* dapat termobilisasi ulang di dekat permukaan yang kemudian mengkristal kembali sehingga disebut *ferricrete (iron cap)*. Struktur asli dan tekstur batuan asal sudah tidak terlihat lagi pada zona ini. Beberapa struktur kekar dan silika *boxwork* dapat ditemui dari lapisan saprolit ke limonit.

C. Tipe Endapan Nikel Laterit Sorowako

Menurut Ahmad (2005) tipe endapan nikel laterit di daerah Sorowako pada dasarnya terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Tipe Blok Barat (*West Block type*)

Di bagian barat daerah Sorowako (*West Block*), batuan dasarnya di dominasi oleh harzburgit yang mengandung olivin (rata-rata 80-90%) dan ortho piroksen (rata-rata 10-20%). *West Block* tidak terserpentinisasi. Batuan yang belum terserpentinisasi sangat keras karena terdiri dari olivin (kekerasan: 6,5-7,0) dan piroksen (kekerasan: 5,0-6,0). Bijih *West Block* memiliki kandungan Ni yang lebih tinggi, nilai Fe dan memiliki rasio silika magnesia (S/M) yang relatif lebih tinggi (2,2 – 2,6). Sifat batuan tipe barat sangat keras. Daerah *West Block* memiliki topografi yang terjal membentuk pegunungan.

2. Tipe Blok Timur (*East Block type*)

Di bagian timur daerah Sorowako (*East Block*), batuan dasarnya di dominasi oleh lherzolit yang mengandung olivin (rata-rata 60-65%), dan mengandung ortho piroksen (rata-rata 25-30%) maupun klino piroksen (rata-rata 10%). *East Block* memiliki tingkat serpentinisasi yang bervariasi. Bagian timur dari *East Block* mengalami serpentinisasi lemah sampai sedang yang mirip dengan *West Block*, sementara bagian barat dari *East Block* mengalami serpentinisasi kuat. *East Block* dominan serpentin yang merupakan mineral yang relatif lunak (kekerasan: 2,5-4,0). Peningkatan derajat serpentinisasi di daerah ini didukung juga oleh peningkatan kandungan magnetik dalam material batuan. Bijih *East Block* memiliki rasio silika magnesia (S/M) yang lebih rendah (1,4 – 2) dan memiliki kandungan Fe yang rendah. Daerah *East Block* memiliki topografi yang landai sedikit berbukit.

Ketebalan dari profil nikel laterit tidak merata, tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dengan relief yang landai. Sedangkan relief yang terjal endapan semakin menipis, di samping adanya kecenderungan akumulasi mineral yang berkadar tinggi dijumpai pada zona-zona retakan dan zona sesar pada batuan (Osborne & Waraspati, 1986).

1.4.3 Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang menjelaskan tentang aliran listrik di bawah permukaan bumi. Metode geolistrik dilakukan dengan injeksi arus ke dalam permukaan bumi kemudian terukur potensial listrik. Sifat yang menjadi fokus utama dalam penerapan metode geolistrik yaitu kemampuan batuan untuk

menghantarkan arus listrik dan polarisasi yang terjadi ketika arus listrik melewatinya (IP) (Al-Amri, 2018).

Berdasarkan parameter fisis yang diukur, metode geolistrik terdiri atas metode geolistrik resistivitas, metode geolistrik potensial diri, dan metode geolistrik induksi polarisasi. Pada penelitian ini menggunakan metode geolistrik resistivitas. Prinsip dalam metode ini yaitu arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, sedangkan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial listrik dapat diperoleh variasi harga resistivitas listrik pada lapisan dibawah titik ukur. Dalam pendugaan resistivitas, digunakan asumsi-asumsi diantaranya bawah permukaan bumi terdiri dari lapisan dengan ketebalan tertentu, pada lapisan terbawah dapat dianggap mempunyai ketebalan yang tidak berhingga. Kemudian bidang batas antara lapisan adalah horizontal dan setiap lapisan dianggap homogen isotropis, dimana nilai resistivitas dianggap tidak bergantung pada sumbu koordinat (Alqadri, 2021).

A. Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Teori yang mendasari metode geolistrik yaitu Hukum Ohm yang ditemukan oleh Georg Simon Ohm pada tahun 1827 (Lowrie, 2007). Hukum Ohm menyatakan arus listrik (I) pada kawat penghantar sebanding dengan beda potensial (V) pada kawat tersebut. Secara matematis hubungan linier arus dan beda potensial sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Keterangan:

I = Arus (Ampere)

V = Beda potensial (Volt)

R = Resistansi (Ω)

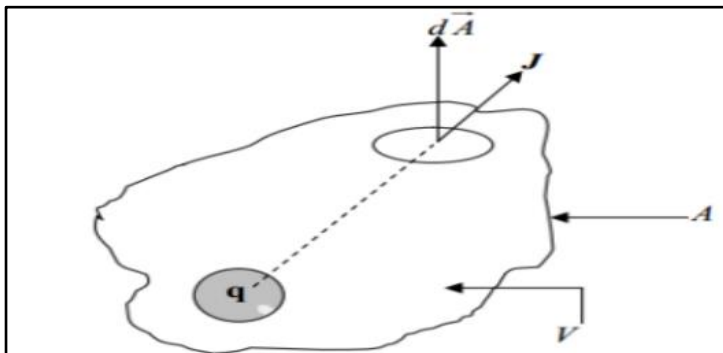
dengan R merupakan resistansi atau hambatan kawat tersebut. Jika ditinjau suatu kawat berbeda dengan bahan yang sama menunjukkan bahwa kawat yang panjang mempunyai hambatan lebih besar dibandingkan dengan kawat pendek, dan kawat tipis mempunyai hambatan yang lebih besar dibandingkan dengan kawat tebal. Besar dari resistansi bergantung dari jenis material serta geometri dari kawat tersebut yang diekspresikan pada persamaan berikut:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

Prinsip pelaksanaan survei resistivitas adalah mengalirkan arus listrik secara searah ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus yang ditancap pada dua titik permukaan tanah dan mengukur beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain dimana dua elektroda potensial ditempatkan dengan konfigurasi tertentu (Syamsuddin, 2007).

B. Potensial Pada Bumi Homogen Isotropis

Bumi diasumsikan sebagai medium homogen isotropis, maka penjalaran arus yang kontinu pada medium bumi dapat digambarkan seperti pada Gambar 4 sebagai berikut (Fajar, 2022):



Gambar 4. Medium homogen isotropis dialiri arus listrik (Fajar, 2022)

Jika suatu medium homogen isotropis dialiri arus listrik searah I (diberi medan listrik E) maka elemen arus dI yang melalui elemen luas $d\vec{A}$ dengan kerapatan arus \vec{J} maka besarnya arus listrik (I) adalah (Telford dkk, 1990):

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (3)$$

dimana: dI = Perubahan arus medium homogen (Ampere)

\vec{J} = Rapat arus (Ampere/ m^2)

$d\vec{A}$ = Elemen permukaan (m^2)

Rapat arus (\vec{J}) diketahui sebanding dengan medan listrik \vec{E} . Hubungan antara rapat arus dengan medan listrik \vec{E} jika dihubungkan dengan hukum ohm, diperoleh:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (4)$$

Dimana \vec{E} dalam volt/meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam satuan siemens/meter yang merupakan kebalikan dari resistivitas. Medan listrik merupakan gradien dari potensial ($\vec{E} = -\vec{\nabla}V$) sehingga persamaan (4) menjadi persamaan (5):

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (5)$$

Dimana V adalah potensial listrik. Gradien merupakan laju variasi terhadap koordinat. Jika arus yang mengalir stasioner sehingga tidak ada arus yang keluar masuk, maka $\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0$ sehingga diperoleh:

$$\vec{\nabla} \cdot (-\sigma \vec{\nabla}V) = 0 \text{ atau } \sigma \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla}V) = 0 \quad (6)$$

Jika medium homogen isotropis maka σ adalah konstan, maka suku pertama menjadi nol sehingga diperoleh persamaan dituliskan sebagai

$$\nabla^2 V = 0 \quad (7)$$

Persamaan (7) merupakan persamaan dasar teori geolistrik tahanan jenis.

C. Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di dalam Bumi

Pada model homogen isotropis, elektroda arus ditancapkan di dalam bumi yang berfungsi sebagai sumber injeksi arus listrik ke segala arah dalam bumi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5. Pada setiap titik equipotensial dalam bumi yang membentuk permukaan bola yang mempunyai jari-jari r . sehingga arus yang keluar melalui luas permukaan bola dengan jari-jari r yaitu (Telford dkk., 1990):

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (8)$$

Dengan melakukan integrasi sebanyak dua kali terhadap persamaan (9), maka diperoleh:

$$\int \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) dr = \int 0 dr \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = A \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (9)$$

$$\int dV = \int \frac{A}{r^2} dr \rightarrow V = -\frac{A}{r} + B \quad (10)$$

dengan A dan B merupakan suatu konstanta. Apabila jarak suatu titik jauh tak terhingga ($r = \infty$) maka potensial di titik tersebut sama dengan nol ($V = 0$) dan konstanta $B = 0$. Sehingga persamaan (10) menjadi:

$$V = -\frac{A}{r} \quad (11)$$

Dalam kasus sumber arus di dalam bumi homogen isotropis, maka medan-medan ekipotensialnya berbentuk bola. Sehingga jumlah arus yang menembus permukaan ekipotensial tersebut adalah:

$$I = A \cdot \vec{J} \quad (12)$$

$A = 4\pi r^2$ disubstitusikan ke persamaan (12) maka didapatkan:

$$I = 4\pi r^2 \vec{J} = 4\pi r^2 (-\sigma \vec{\nabla} V) \quad (13)$$

Karena V dalam fungsi $r \rightarrow \vec{\nabla} V = \frac{dV}{dr}$ kemudian persamaan (9) disubstitusikan ke persamaan (13) maka,

$$I = -4\pi r^2 \sigma \frac{A}{r^2} = -4\pi \sigma A \quad (14)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$, maka persamaan (14) dapat ditulis:

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} A \rightarrow A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (15)$$

Persamaan (15) disubstitusikan pada persamaan (11) maka didapatkan:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (16)$$

Keterangan:

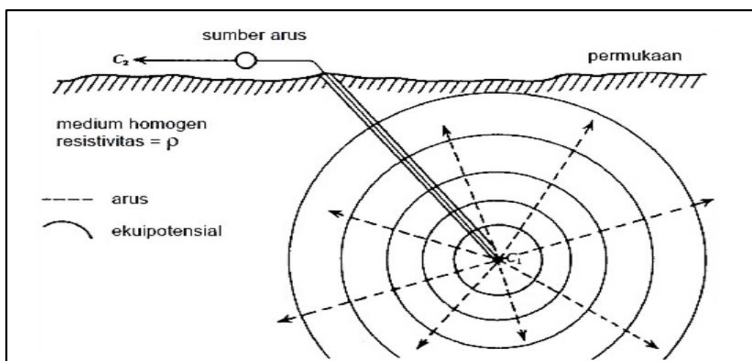
V = Potensial Listrik (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

ρ = Resistivitas (Ωm)

\vec{J} = Rapat Arus (A/m^2)

σ = Konduktivitas (S/m)



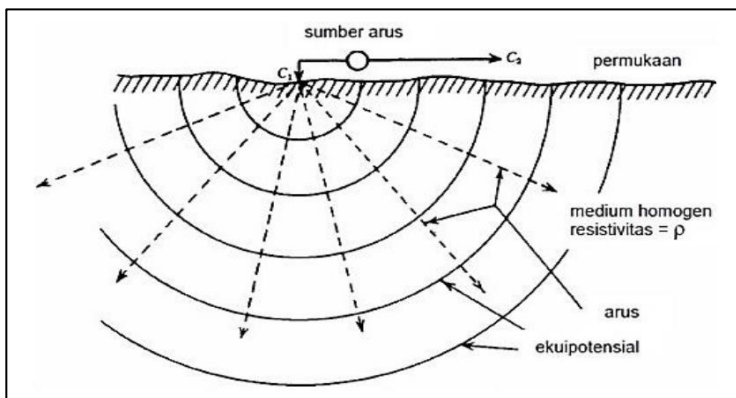
Gambar 5. Sumber arus tunggal C-1 dalam medium homogen seluruh ruang, sementara sumber arus C2 dianggap terletak di tak hingga (Telford dkk, 1990)

D. Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Permukaan Bumi

Jika sumber arus terletak di permukaan medium homogen yang membentuk medium setengah ruang/setengah bola (*half-space*) dengan setengah ruang lainnya adalah di udara (σ udara = 0) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6, maka luas permukaan ekipotensial menjadi $2\pi r^2$ dan potensial pada persamaan (16) berubah menjadi (Telford dkk, 1990):

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \tag{17}$$

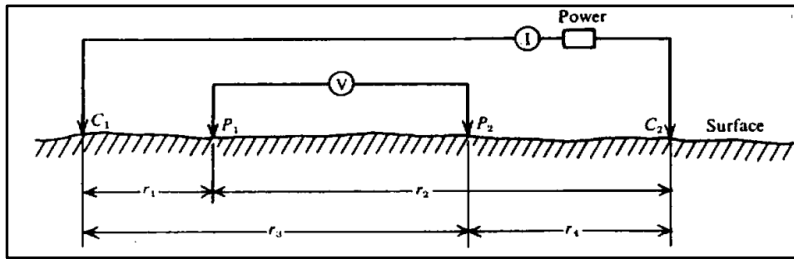
Dimana $A = 4\pi r^2 \rightarrow 2\pi r^2$



Gambar 6. Sumber arus tunggal C-1 dalam medium homogen setengah ruang, sementara sumber arus C2 dianggap terletak di tak hingga (Telford dkk, 1990)

E. Potensial Oleh Dua Sumber Arus di Permukaan Bumi

Potensial listrik oleh dua sumber arus di dalam bumi ketika jarak antara dua elektroda arus telah ditentukan terlihat seperti pada Gambar 7. Model tersebut menampilkan P_1 dan P_2 merupakan elektroda potensial dan C_1 dan C_2 merupakan elektroda arus. Untuk r_1 , r_2 , r_3 dan r_4 merupakan jarak antara elektroda yang terpasang.



Gambar 7. Ilustrasi dua elektroda arus dan potensial di permukaan bumi pada medium homogen isotropis (Telford, dkk., 1990)

Ketika jarak antara dua elektroda arus dibatasi di permukaan, maka besarnya nilai potensial di permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut. Potensial total di titik P_1 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 adalah (Telford dkk., 1990):

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (18)$$

Dan potensial total di titik P_2 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 adalah:

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (19)$$

Beda potensial antara P_1 dan P_2 dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta V = V_1 - V_2 \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (20)$$

Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (21)$$

Dimana $\frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]}$ dapat dituliskan sebagai K yang disebut sebagai faktor geometri sehingga diperoleh persamaan:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (22)$$

Keterangan:

ΔV = beda potensial antara P_1 dan P_2 (Volt)

I = kuat arus yang melalui elektroda arus C_1 C_2 (Ampere)

r_1 = jarak antara C_1 dan P_1 (meter)

r_2 = jarak antara C_2 dan P_1 (m)

r_3 = jarak antara C_1 dan P_2 (m)

r_4 = jarak antara C_2 dan P_2 (m)

F. Prinsip Dasar Electrical Resistivity Tomography

Electrical Resistivity Tomography (ERT) merupakan metode geolistrik multi elektroda yang dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi material di bawah permukaan bumi berdasarkan pola distribusi dari nilai resistivitas material di bawah permukaan bumi (Lowrie, 2007). *Tomography* merupakan teknik pencitraan yang menggunakan prinsip (*slice*) untuk menampilkan gambaran. Data yang diperoleh dari

metode ERT lebih banyak sehingga keakuratan data lebih baik. Kelebihan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) sering digunakan untuk melakukan penelitian dengan skala detail.

Prinsip *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) didasarkan pada penggunaan sistem multi-elektroda yang memungkinkan koneksi dengan satu set elektroda yang tertanam dan terhubung ke resistivitas meter. Arus listrik searah (DC) diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus yang jaraknya tetap dan mengukur beda potensialnya melalui dua elektroda potensial yang jaraknya berubah-ubah.

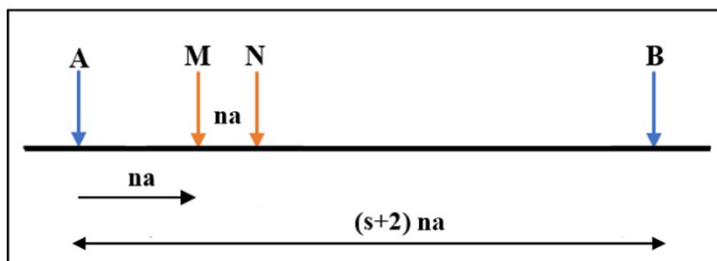
G. Sifat Kelistrikan Batuan

Setiap batuan memiliki sifat kelistrikan yang menunjukkan karakteristik dari batuan apabila dialiri oleh arus listrik baik yang berasal dari alam maupun yang sengaja diinjeksikan ke bawah permukaan bumi. Sifat-sifat kelistrikan batuan tersebut beberapa diantaranya adalah potensial listrik dan konduktivitas listrik (Telford dkk, 1990). Berdasarkan nilai resistivitasnya, batuan atau mineral digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu:

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

1.4.4 Konfigurasi Gradient Array

Konfigurasi gradient adalah salah satu konfigurasi non-konvensional yang diusulkan oleh Dahlin dan Zou (2006), dalam konfigurasi ini elektroda arus berada di ujung-ujung garis survei sementara elektroda potensial berada diantara elektroda arus. Konfigurasi *gradient* mampu merekam banyak titik data secara simultan untuk setiap injeksi arus, namun konfigurasi ini perlu menggunakan sistem *multichannel* agar dapat mengefisienkan waktu. Konfigurasi gradien mampu mendapatkan hasil resolusi yang paling baik di bawah permukaan, namun konfigurasi *gradient* lebih sensitif terhadap *noise* jika dibandingkan dengan konfigurasi Wenner (Dahlin dan Zhou, 2006).



Gambar 8. Konfigurasi Gradient

Konfigurasi gradien merupakan survei gradien multi-elektroda yang dilakukan dengan menginjeksi elektroda arus dengan pemisah $(s + 2)na$ seperti

pada Gambar 8, dimana jarak antar elektroda adalah (na). Terdapat faktor pemisah/separasi (s) yang memberikan definisi terhadap jarak elektroda AB . Sedangkan faktor (n) didefinisikan sebagai banyaknya elektroda.

Jika diketahui bahwa jarak $r_1 = na$, $r_2 = (s + 1)na$, $r_3 = 2na$ dan $r_4 = sna$ maka faktor geometri konfigurasi gradien dirumuskan sebagai berikut:

$$K = 2\pi \left[\frac{s^2 + s - 2}{2(s + 1)sna} \right]^{-1} \quad (23)$$

1.4.5 Pemodelan Geofisika

Pengukuran dengan menerapkan metode geofisika yang dilakukan di permukaan bumi bertujuan untuk mengetahui perkiraan kondisi di bawah permukaan bumi. Pemodelan dalam geofisika dapat dibedakan atas pemodelan ke depan (*forward modeling*) dan pemodelan inversi (*inverse modeling*). *Forward Modeling* merupakan proses perhitungan data jika diketahui nilai parameter model bawah permukaan tertentu. Sedangkan *Inverse Modeling* merupakan proses untuk memperoleh parameter model berdasarkan data pengamatan (Grandis, 2009).

A. Pemodelan Kedepan (*Forward Modelling*)

Pemodelan kedepan (*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. Dalam pemodelan data geofisika, dicari suatu model yang cocok (*fit*) dengan data pengamatan atau data lapangan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di tempat pengukuran data. Untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis (respon model) dengan data lapangan dapat dilakukan proses coba-coba (*trial and error*) dengan mengubah-ubah harga parameter model (Grandis, 2009).

Dalam survei geofisika, distribusi arus yang diperoleh pada bawah permukaan dapat berubah-ubah. Solusi yang bisa digunakan adalah menggunakan metode *finite element*, dimana nilai resistivitas yang berbeda-beda akan di diskritisasi menjadi mesh berdasarkan nilai resistivitasnya dan dapat menunjukkan potensial listrik pada model (Sasaki, 1989). Kelebihan metode *finite element* adalah banyaknya variasi bentuk diskritisasi elemennya, yaitu bentuk segi empat, segitiga dan segi yang lain. Sedangkan jika dengan metode *finite difference*, bentuk diskritisasi elemennya hanya berbentuk segi empat saja, sehingga jika bentuk domainnya tidak teratur, maka penyelesaian dengan metode *finite element* dapat memperkecil tingkat galat (*error*) karena dapat mendiskritisasi domainnya menjadi bentuk segi tiga atau gabungan segitiga dan segi empat. Untuk geometri yang kompleks seperti topografi, lebih mudah direpresentasikan dalam mesh *finite element*.

Langkah pertama dalam diskritisasi *finite element* adalah *meshing*. Desain mesh yang digunakan untuk komputasi sangat penting. Jumlah node menentukan resolusi spasial, karena itu jumlah node memiliki dampak yang signifikan terhadap

akurasi. Domain dibagi menjadi beberapa elemen, dimana setiap elemen memiliki 4 node yang berada di sudut elemen. Setiap node akan memiliki fungsi bentuk (*shape function*) yang berbeda-beda. Persamaan linear ($KV = P$) diselesaikan untuk memperoleh potensial listrik (V) dari setiap elemen dalam domain.

$$KV = P \quad (24)$$

Dengan K adalah matriks orde $n \times n$ yang merupakan jumlah node atau hasil perpotongan antar *mesh*, U adalah vektor kolom yang merupakan potensial listrik dari dan P adalah vektor kolom intensitas sumber arus di setiap node. Untuk posisi elektroda arus tertentu resistivitas semu dapat dihitung dengan persamaan (Cai dkk., 2007).

$$\rho_a = G \frac{u(M) - u(N)}{I} \quad (25)$$

Dengan ρ_a adalah resistivitas semu, G adalah faktor konfigurasi, $u(M)$ dan $u(N)$ adalah potensial listrik pada node yang diukur oleh elektroda M dan N. Perhitungan Finite Element secara detail dapat dilihat pada Lampiran 3.

B. Pemodelan Inversi (*Inverse Modelling*)

Proses inversi dalam bidang geofisika bertujuan mencari model yang memberikan respon yang mirip dengan nilai pengukuran di lapangan sehingga didapatkan jenis model yang merupakan representasi matematis ideal dari suatu bagian bumi. Semua metode inversi geofisika pada dasarnya berusaha untuk menentukan model bawah permukaan yang memiliki respon sesuai dengan data terukur dalam atasan-batasan tertentu (Loke, 2004). Pemodelan inversi biasa disebut data *fitting* karena dalam prosesnya dicari parameter model yang menghasilkan respons yang fit dengan data pengamatan (Grandis, 2009). Dalam proses ini, pemodelan inversi hanya bisa dilakukan apabila hubungan antara data dan parameter model (fungsi *forward modeling*) telah diketahui. Kumpulan data yang diamati dapat ditulis sebagai vektor kolom y berikut.

$$y = \text{col}(y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (26)$$

Dengan m adalah jumlah data pengukuran. Respon model f dapat ditulis

$$f = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (27)$$

Adapun parameter model diwakili oleh vektor berikut.

$$q = \text{col}(q_1, q_2, \dots, q_m) \quad (28)$$

dengan n adalah jumlah parameter model. Perbedaan antara data yang diamati dan respon model diberikan oleh vektor perbedaan g yang didefinisikan oleh :

$$g = y - f \quad (29)$$

Dalam metode optimasi *least-square*, model awal dimodifikasi sedemikian rupa sehingga jumlah kuadrat kesalahan E dari perbedaan antara respon model dan data pengamatan diminimalkan.

$$E = g^T g = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (30)$$

Untuk mengurangi mengurangi eror data diatas, digunakan persamaan Gauss-Newton untuk menentukan perubahan partameter model yang dapat mengurangi kuadrat eror.

$$J^T J \Delta q_i = J^T g \quad (31)$$

Dimana Δq adalah vektor perubahan parameter model dan J adalah matriks Jakobian (ukuran $m \times n$) dari turunan parsial

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (32)$$

yaitu perubahan respon model ke- i akibat perubahan parameter model ke- j . Setelah menghitung vektor perubahan parameter, model baru diperoleh dengan persamaan

$$q_{k+1} = q_k + \Delta q_k \quad (33)$$

Vektor perubahan parameter yang dihitung menggunakan persamaan 31 dapat memiliki komponen yang terlalu besar sehingga model baru yang dihitung dengan persamaan 33 memiliki nilai yang tidak realistis. Untuk menghindari kesalahan tersebut, dilakukan modifikasi *Marquardt-Levenberg* terhadap persamaan *Gauss-Newton* berikut :

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q = J^T g \quad (34)$$

dengan I adalah matriks identitas dan λ adalah faktor redaman. Metode ini berhasil digunakan dalam inversi data resistivitas *sounding* dimana model terdiri dari sejumlah kecil lapisan. Namun ketika jumlah parameter model besar seperti pada model inversi 2D dan 3D, model yang dihasilkan pada metode ini dapat memiliki distribusi resistivitas yang tidak menentu dengan zona resistivitas tinggi atau rendah yang tidak akurat. Untuk mengatasi permasalahan ini persamaan *least-square Gauss Newton* dimodifikasi lebih lanjut uantuk mendapatkan perubahan resistivitas model secara halus atau bertahap, dengan persamaan sebagai berikut :

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q = J^T g \quad (35)$$

Pada persamaan ini Δq menjadi halus tapi tidak menjamin nilai resistivitas berubah dengan cara yang halus. Opsi pertama “sertakan penghalusan resistivitas model” menggunakan persamaan yang akan menerapkan batasan kehalusan secara langsung pada nilai resistivitas model. Persamaan ini diberikan oleh persamaan berikut :

$$(J^T J + \lambda W^T W) \Delta q = J^T g - \lambda W^T W q \quad (36)$$

Sehingga nilai resistivitas q berubah dengan cara yang halus. Opsi berikutnya dengan memodifikasi persamaan 36 sehingga elemen-elemen yang berbeda dari perubahan parameter model dan vektor *error* data memiliki besaran yang sama, yang diberikan oleh :

$$(J^T R_d J + \lambda W^T R_m W) \Delta q_k = J^T R_d g - \lambda W^T R_m W q_k \quad (37)$$

dengan R_d dan R_m matriks pembobotan. Metode ini dikenal dengan metode inversi $l_1 - norm$ atau *robust* atau *blocky*, sedangkan persamaan 36 adalah metode inversi $l_2 - norm$. Metode inversi $l_2 - norm$ memberikan hasil yang optimal ketika geologi bawah permukaan menunjukkan variasi yang halus. Namun dalam kasus dimana bawah permukaan terdiri dari benda-benda yang homogen secara internal dengan batas-batas yang tajam, metode *robust* lebih baik digunakan.

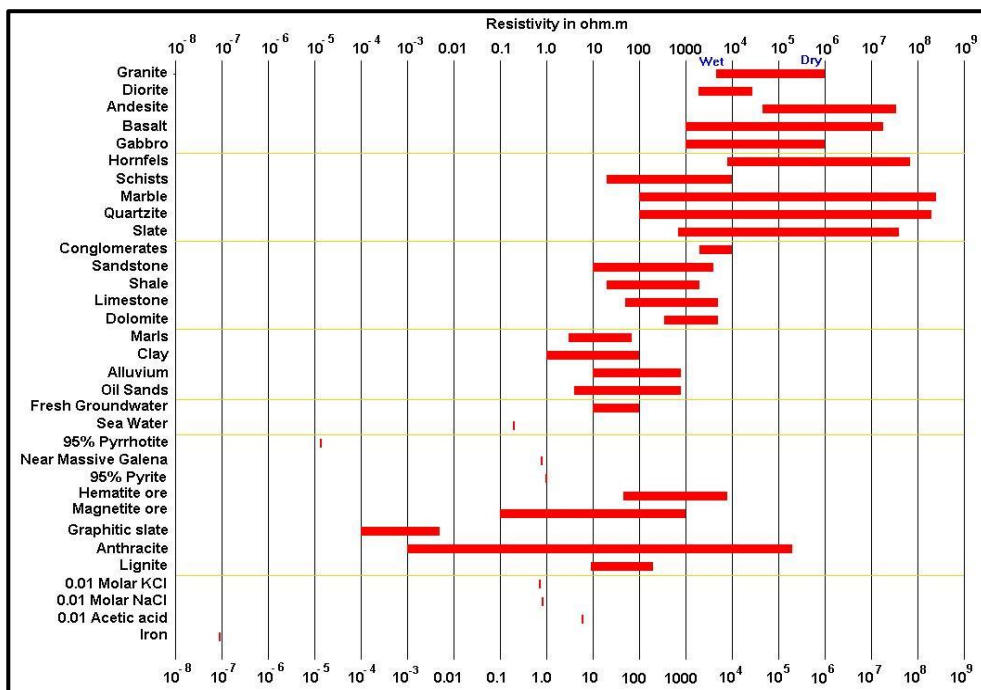
1.4.6 Hubungan Antara Geologi dan Nilai Resistivitas

Survei resistivitas memberikan gambaran distribusi resistivitas bawah permukaan. Untuk mengkonversi gambaran resistivitas bawah permukaan menjadi sebuah gambaran geologi maka pengetahuan untuk membedakan tipe dari material bawah permukaan dan kenampakan geologinya berdasarkan nilai resistivitas sangat dibutuhkan.

Pada setiap jenis batuan memiliki tingkat resistivitas yang berbeda-beda seperti pada Gambar 11 dan Tabel 2.1 Untuk jenis batuan yang terbentuk dari magma yang telah mengalami pendinginan akan memiliki resistivitas yang tinggi, sedangkan untuk batuan sedimen memiliki resistivitas yang rendah. Resistivitas batuan tergantung dari derajat kekompakan dan besarnya persentase kandungan fluida yang mengisi batuan. Nilai dari beberapa jenis batuan biasanya *overlap*. Hal ini disebabkan karena resistivitas dari batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, porositas batuan, derajat saturasi dan konsentrasi garam yang terlarut (Telford, dkk, 1990).

Tabel 1. Nilai Resistivitas Batuan dan Mineral (Telford, dkk, 1990)

| Material | Resistivitas (Ωm) |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Air Tanah (<i>ground water</i>) | 0.5 – 10 |
| <i>Laterite</i> | 800 – 1500 |
| <i>Laterite Soil</i> | 120 – 750 |
| Lempung (<i>Clay</i>) | 1 – 100 |
| <i>Limonite</i> | $10^3 - 10^7$ |
| <i>Peridotite</i> | 3×10^3 (<i>wet</i>) – 6.5×10^3 (<i>dry</i>) |
| <i>Hematite</i> | $3.5 \times 10^{-3} - 10^7$ |
| <i>Magnetite</i> | $5 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^3$ |
| <i>Serpentine</i> | $2 \times 10^2 - 3 \times 10^3$ |

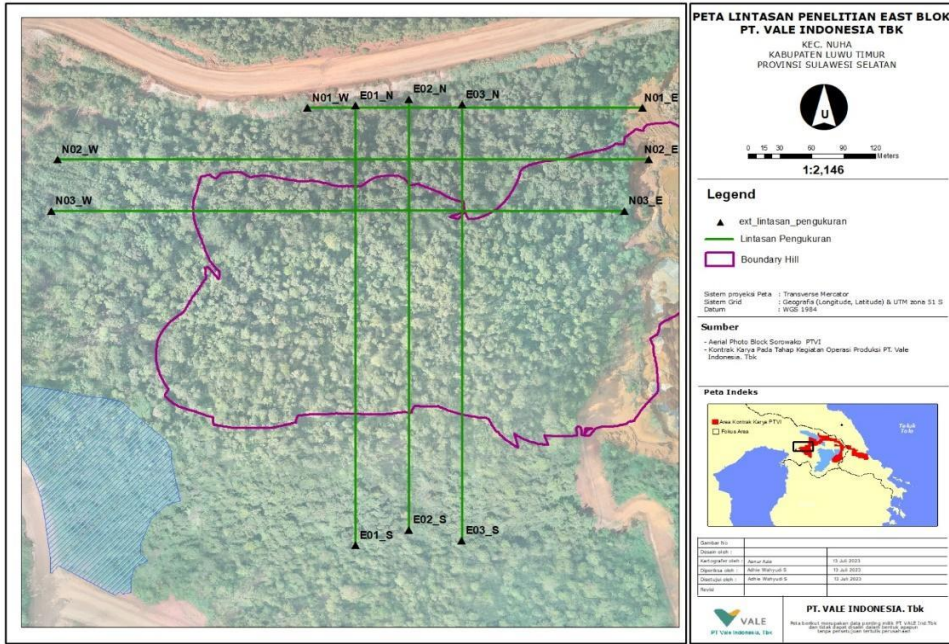


Gambar 9. Nilai resistivitas batuan, tanah dan mineral (Looke, 2004)

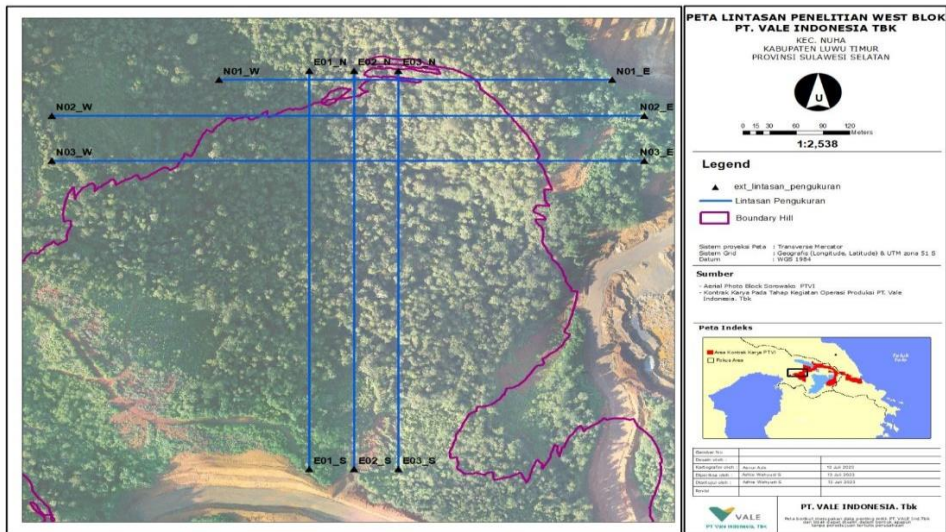
BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada wilayah kuasa pertambangan PT. Vale Indonesia, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan di daerah *East Block* dan *West Block*.



Gambar 10. Lintasan ERT East Block



Gambar 11. Lintasan ERT West Block

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan pada saat pengolahan data yaitu *Software Res2DInv* 4.8.10, *Software Datamine Studio RM* dan *Software Microsoft Office*.

2.2.2 Bahan

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yang terdiri dari:

1. Data ERT

Data hasil pengukuran ERT konfigurasi *Gradient* yang digunakan sebanyak 12 lintasan, yang terdiri dari 6 lintasan *East Block* dan 6 lintasan *West Block*. Panjang lintasan terdiri dari 315 m, 441 m, 553 m, dan 665 m. Adapun data yang diolah terdiri dari nilai resistivitas dan topografi setiap lintasan.

2. Data Bor

Data bor meliputi data *Assay* dengan *hole* yang mengenai 12 lintasan ERT sebanyak 106 *hole*.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahap Kajian Pustaka

Tahapan ini meliputi pengumpulan berbagai macam literatur yang berhubungan dengan kajian geologi regional daerah penelitian, pembentukan nikel laterit, karakteristik geologi dari lokasi penelitian, kaitan nilai resistivitas dengan kondisi geologi lokasi penelitian, dan informasi lainnya yang memudahkan dalam proses interpretasi batas profil nikel laterit.

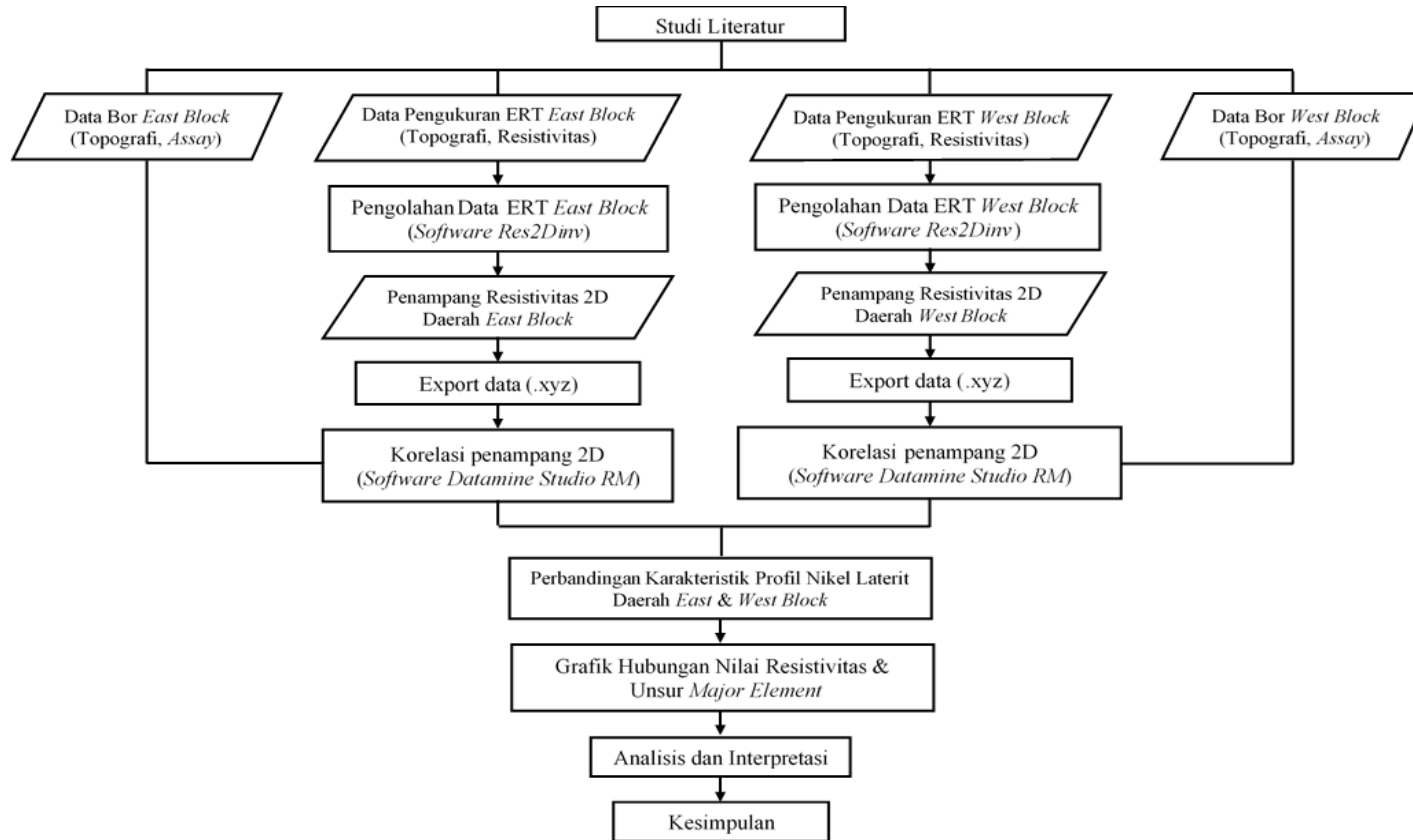
2.3.2 Tahap Pengolahan Data

Data lapangan yang diperoleh berupa data pengukuran ERT. Data yang didapatkan merupakan nilai resistivitas semu, sehingga dilakukan proses inversi untuk mendapat nilai resistivitas sebenarnya pada setiap lintasan ERT menggunakan *software Res2DInv*. Sebelum memulai inversi data, dilakukan pengaturan format data dalam bentuk (.dat) yang terdiri dari data pengukuran, topografi dan global koordinat sesuai dengan format yang bisa dibaca oleh *Res2DInv*. Pada *software Res2DInv*, perlu untuk mengatur beberapa parameter inversi yang sesuai dengan data yang dimiliki, dalam hal ini parameter yang akan digunakan ditentukan oleh perusahaan. Setelah memasukkan parameter inversi, maka dilakukan proses inversi. Kemudian dilakukan *quality control* data dengan melihat *RMS Error Data*. Data yang memiliki *error* yang cukup tinggi (>100%) dianalisis apakah termasuk data anomali atau data yang *error*, apabila terdapat data yang dianggap *error* maka perlu dilakukan penghapusan data. Dalam penghapusan data perlu diperhatikan agar tidak menghilangkan informasi penting, hal tersebut dapat dilakukan dengan validasi atau pengecekan data yang dianggap anomaly dengan melihat populasi disekitarnya. Setelah data dianggap bagus maka dilakukan inversi kembali untuk mendapatkan model penampang 2D pada semua lintasan. Selanjutnya, *export data* X, Y, Z dan nilai resistivitas yang akan dimasukkan pada *software Datamine* untuk interpretasi profil nikel laterit (*limonite bottom* dan *saprolite bottom*).

2.3.3 Tahap Interpretasi Data

Pada penelitian ini dilakukan interpretasi profil nikel laterit dengan menarik batas tiap lapisan yaitu batas bawah lapisan limonit (*limonite bottom*) dan batas bawah lapisan saprolite (*saprolite bottom*) menggunakan *software Datamine*. Interpretasi yang dilakukan berdasarkan pola kontur dari nilai resistivitas setiap penampang yang dikorelasikan dengan data bor. Sebelum melakukan interpretasi, perlu untuk mengetahui kondisi geologi daerah penelitian seperti tingkat serpentinisasi, keberadaan struktur, jenis batuan dasar, tingkat porositas dan permeabilitas suatu bahan dan informasi penting lainnya. Hasil interpretasi dari profil nikel laterit akan menunjukkan sistem perlapisan nikel laterit yaitu *limonite*, *saprolite* dan *bedrock*. Dimana akan didapatkan rentang nilai resistivitas tiap lapisan, nilai rata-rata ketebalan dari setiap lapisan, dan pengaruh kandungan Ni, Fe, dan MgO terhadap nilai resistivitas.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 12. Bagan Alir Penelitian