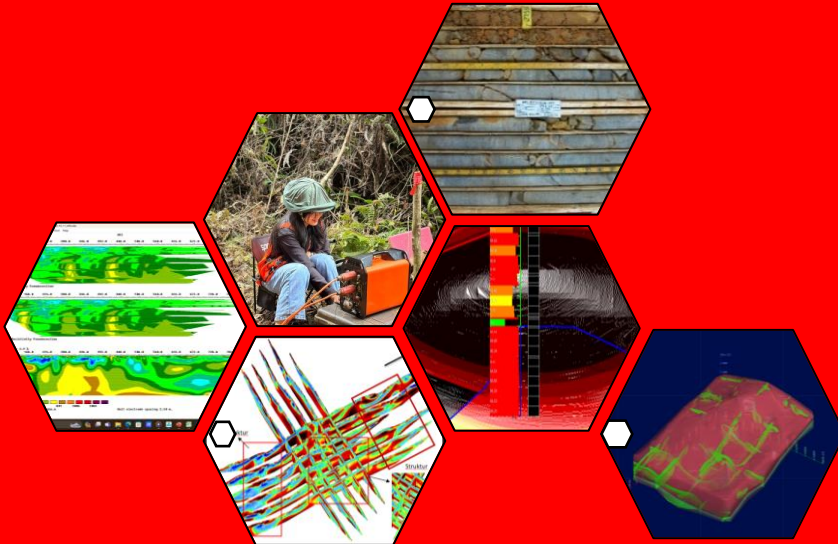


**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA SILIKA PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(ERT) DAN KORELASI DATA BOR**



**ASI SRI NINGSIH
H061 20 1043**



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

**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA SILIKA PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(*ERT*) DAN KORELASI DATA BOR**

**ASI SRI NINGSIH
H061201043**



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

**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA SILIKA PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(*ERT*) DAN KORELASI DATA BOR**

**ASI SRI NINGSIH
H061201043**

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 DISTRIBUSI ZONA SILIKA PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(ERT) DAN KORELASI DATA BOR****ASI SRI NINGSIH****H061201043**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Geofisika pada tanggal 23
Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

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

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,



Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si.
NIP. 196709032001121001

Mengetahui:
Ketua Program Studi,




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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Distribusi Zona Silika Pada Profil Nikel Laterit Menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dan Korelasi Data Bor" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Drs, Erfan, M.Si. 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, 23 Agustus-2024



Asi Sri Ningsih
NIM H061201043

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan pertolongan-Nya yang senantiasa menyertai dan menuntun penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Distribusi Zona Silika Pada Profil Nikel Laterit Menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* dan Korelasi Data Bor" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua terkasih Ernita Bunga Massang dan Elisabeth Banne, S.Th. yang selalu mendoakan, mendukung, dan memberikan cinta kasihnya dengan tulus ikhlas. Begitu pula kepada kakak Rahman Saputra dan Yulianti Patabang dan adik-adik penulis, Arlan Saputra, Derik Saputra dan Efraim Sabar yang selalu memberikan keceriaan dan semangat dalam proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran mereka memberikan warna tersendiri dan menjadi sumber inspirasi bagi penulis untuk terus berjuang dan menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih juga untuk seluruh keluarga besar di mana pun berada untuk cinta dan dukungan yang selalu diberikan bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya bantuan, dukungan, dorongan, bimbingan, motivasi serta nasehat dari berbagai pihak. Oleh sebab itu dengan penuh kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Drs. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng., selaku Ketua Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Drs. Erfan, M.Si., selaku pembimbing tugas akhir yang dengan penuh kesabaran telah membimbing penulis selama perkuliahan serta bersedia meluangkan waktu dan pemikiran untuk mendampingi penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Syamsyuddin, S.Si, MT. dan bapak Andi Muhammad Pramatiadi, ST, M.Eng, Ph.D. selaku penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dalam penyempurnaan penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Sakka, M.Si selaku pembimbing akademik yang selama perkuliahan membantu dan mengarahkan penulis.
7. Bapak/Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan bantuan selama masa perkuliahan.
8. Staff Departemen Geofisika Pak Anto dan Pak Putra yang telah memberikan bantuan.
9. Bapak Zeth Datu Barri, Pak Erwin, Kak Ammar, Kak Dayat, Kak Asnur, Kak Iswar, Kak Akram, Kak Hasnan, Kak Habib dan Kak Hamdan, yang selalu membantu penulis selama melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
10. Teman - teman Geofisika 2020 atas segala dukungan, kerja sama, dan kebersamaannya selama ini.
11. Teman-teman Maluku 6: Alya, Sisil, Diva, Indri, yang telah membantu dalam penelitian serta teman-teman KP: Daffa, Diana, Zahra, Bagas, Daffa UPN, Salsa, Rival, Nick.

12. David Sitampan, Kak Muli, Kak Ismi dan Nikom yang selalu jadi tempat penulis bertanya selama penyusunan skripsi
 13. Teman-Teman “Orang Baik” : Aeron, Angel, Chatrine, Chealsea, Gio, Nital, Jummi, Merlia, Peby, Ryval, Sepri, Yefan, Yudi, dan Yonas yang sudah mau menjadi teman penulis selama perkuliahan yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
 14. Teman-teman atau keluarga NHP Squad: Kak Yorsan, Kak Paul, Kak Mita, Esta, Ice, Egen dan Ryan yang sudah kebersamaan selama perkuliahan.
- Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga saran dan kritik yang membangun diharapkan oleh penulis untuk perbaikan dan pengembangan penelitian lebih lanjut. Akhir kata, semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademisi, praktisi, dan semua pihak.

“Karena Masa Depan Sungguh Ada, Dan Harapanmu Tidak Akan Hilang”
- Amsal 23:18

God Bless You

ABSTRAK

ASI SRI NINGSIH. **Analisis Distribusi Zona Silika Pada Profil Nikel Laterit Menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* Dan Korelasi Data Bor** (dibimbing oleh Drs. Erfan Syamsuddin, M.Si).

Eksplorasi nikel laterit seringkali dihadapkan berbagai masalah, terutama terkait variabilitas geologi yang berdampak pada efisiensi ekstraksi nikel dan operasional penambangan. Salah satu faktor yang mempengaruhi ekstraksi dan penambangan adalah distribusi zona silika dalam profil laterit, di mana kandungan silika tinggi dapat mengurangi efisiensi produksi yang menyebabkan tonase nikel berkurang dan meningkatkan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi zona silika dalam profil nikel laterit menggunakan metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* dan mengkorelasikan hasilnya dengan data bor yang tersedia. Dengan mengintegrasikan data bor dan hasil ERT, dilakukan analisis dan interpretasi untuk menentukan batas lapisan limonit dan saprolit, volume lapisan, serta distribusi zona silika. Berdasarkan interpretasi profil nikel laterit, diperoleh nilai resistivitas untuk zona limonit (155-640 Ωm), saprolit (75-350 Ωm), dan bedrock (>185 Ωm). Volume lapisan limonit dan saprolit masing-masing sebesar 1.211.200 m^3 dan 729.470 m^3 . Nilai resistivitas terbanyak pada zona silika berkisar antara 182-342 Ωm di lapisan limonit dan 105-285 Ωm di lapisan saprolit. Distribusi silika dalam penampang resistivitas tersebar secara merata arah utara-selatan, sementara arah timur-barat didominasi oleh area timur dengan resistivitas terbanyak berada pada rentang 89-533 Ωm .

Kata Kunci: Distribusi Zona Silika, Nikel Laterit, Metode ERT, Data Bor

ABSTRACT

ASI SRI NINGSIH. Analysis of Silica Zone Distribution in Laterite Nickel Profile Using Electrical Resistivity Tomography Method (ERT) and Drill Data Correlation. (Supervise Drs. Erfan Syamsuddin, M.Si)

Nickel laterite exploration is often faced with a variety of problems, mainly related to geological variability that impacts nickel extraction efficiency and mining operations. One of the factors affecting extraction and mining is the distribution of silica zones in the laterite profile, where high silica content can reduce production efficiency resulting in reduced nickel tonnage and increased operational costs. This study aims to analyse the distribution of silica zones in nickel laterite profiles using the Electrical Resistivity Tomography (ERT) method and correlate the results with available drill data. By integrating the drill data and ERT results, analyses and interpretations were conducted to determine the limonite and saprolite layer boundaries, layer volumes, and silica zone distribution. Based on the interpretation of the nickel laterite profiles, resistivity values were obtained for the limonite (155-640 Ωm), saprolite (75-350 Ωm) and bedrock (>185 Ωm) zones. The limonite and saprolite layer volumes are 1.211.200 m^3 and 729,470 m^3 , respectively. Most resistivity values in the silica zone range from 182-342 Ωm in the limonite layer and 105-285 Ωm in the saprolite layer. The distribution of silica in the resistivity cross section is evenly spread in the north-south direction, while the east-west direction is dominated by the eastern area with the most resistivity in the range of 89-533 Ωm .

Keywords: Silica Zone Distribution, Laterite Nickel, ERT, Drill data

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Landasan Teori	2
1.4.1 Geologi Regional.....	2
1.4.2 Nikel Laterit	4
1.4.3 Metode Geolistrik Resistivitas	9
1.4.4 Sifat Kelistrikan Batuan.....	15
1.4.5 Metode <i>Roll-Along</i>	16
BAB II METODOLOGI PENELITIAN	19
2.1 Lokasi Penelitian	19
2.2 Alat dan Bahan.....	20
2.2.1 Alat.....	20
2.2.2 Bahan.....	20
2.3 Prosedur Penelitian	20
2.3.1 Tahapan Kajian Pustaka.....	20
2.3.2 Tahapan Survei Electrical Resistivity Tomography	21
2.3.3 Tahap Pengolahan dan Analisis Data	23
2.3.4 Interpretasi Data	24
2.3.5 Perhitungan Volume	24
2.4 Bagan Alir Penelitian	26

BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
3.1 Batas Zona Limonit dan Saprolit Berdasarkan Nilai Resistivitas dan Data Bor	27
3.1.1 Hasil Interpretasi Lintasan Arah N-S dan Arah E-W	27
3.1.2 Histogram Nilai Resistivitas, Batas Limonit, Saprolit dan <i>Bedrock</i>	35
3.2 Volume Limonit dan Saprolit	37
3.3 Distribusi Silika	39
3.3.1 Nilai Resistivitas Silika (SiO_2) pada Profil Nikel Laterit	39
3.3.2 Distribusi Silika pada Profil Nikel Laterit	43
BAB IV KESIMPULAN	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Tipe Endapan Nikel Laterit di Sorowako (Ahmad, 2006)	8
2. <i>Range</i> nilai resisitivitas lapisan limonit, saprolit dan bedrock	36
3. Nilai resistivitas dan nilai silika pada hole C155728Z	41
4. Nilai resistivitas dan nilai silika pada hole C154745Z	42

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Geologi Regional Daerah Pulau Sulawesi (Sukanto, 1975).....	3
2. Profil Endapan Nikel Laterit (Osborne & Waraspati,1986)	6
3. Ilustrasi Sumber Arus dan <i>Equipotensial</i> (Telford, 1990).....	10
4. Sumber Arus tunggal C1 dalam medium homogen seluruh ruang, pasangan sumber arus C2 dianggap terletak di tak hingga (Telford, et.al., 1990)	12
5. Gambaran sederhana garis-garis arus listrik dan permukaan ekuipotensial yang timbul dari (a) . Satu buah elektroda sumber (current source) (b) . Satu set elektroda (current source and sink). (Moller, et.al).....	13
6. Konfigurasi Gradient (Dahlin and Zhou, 2004).....	14
7. Contoh Penggunaan Metode Roll-Along 2 segmen, (Bernard,2003).....	17
8. Contoh Penggunaan Metode Roll-Along 2 segmen, (Bernard, 2003).....	17
9. Contoh Penggunaan Metode Roll-Along 4 segmen, (Bernard, 2003).....	18
10. Peta Lokasi Penelitian	19
11. Bagan Alir Penelitian	26
12. Lintasan E01 dan Informasi <i>Drillhole</i>	28
13. Lintasan E02 dan Informasi <i>Drillhole</i>	28
14. Lintasan E03 dan Informasi <i>Drillhole</i>	29
15. Lintasan E04 dan Informasi <i>Drillhole</i>	30
16. Lintasan E05 dan Informasi <i>Drillhole</i>	30
17. Lintasan E06 dan Informasi <i>Drillhole</i>	31
18. Lintasan N01 dan Informasi <i>Drillhole</i>	32
19. Lintasan N02 dan Informasi <i>Drillhole</i>	32
20. Lintasan N03 dan Informasi <i>Drillhole</i>	33
21. Lintasan N04 dan Informasi <i>Drillhole</i>	34
22. Lintasan N05 dan Informasi <i>Drillhole</i>	34
23. Histogram Nilai Resistivitas Zona Limonit	35
24. Histogram Nilai Resistivitas Zona Saprolit	35
25. Pengaruh Struktur pada Penampang 3D	36
26. <i>Cross Section</i> dan Area Perhitungan Volume	37
27. <i>Wireframe</i> Interpretasi Berdasarkan Resistivitas dan <i>Drillhole</i>	38
28. Volume Lapisan Limonit dan Saprolit.....	38
29. Histogram Resistivitas Silika pada Zona Limonit	39
30. Histogram Resistivitas Silika pada Zona Saprolit.....	40
31. Histogram Resistivitas Silika pada Zona Limonit dan Saprolit	40
32. a) Resistivitas pada <i>Hole</i> C155728Z, b) Foto <i>Core Hole</i> C155728Z	41
33. a) Resistivitas pada <i>Hole</i> C354745Z. b) Foto <i>Core Hole</i> C354745Z	43
34. Distribusi Silika di Lintasan E01	44
35. <i>Cross Section</i> Distribusi Silika.....	45
36. Distribusi Zona Silika pada Lapisan Limonit.....	46
37. Distribusi Zona Silika pada Lapisan Saprolit	47
38. Distribusi Zona Silika pada Lapisan Limonit dan Saprolit	47

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Rumus Konfigurasi Gradient	52
2. Hasil Inversi	53
3. Resistivitas dan Nilai Silika Pada Lintasan E01	57
4. Distribusi Silika Setiap Penampang	61
5. Distribusi Silika dan Foto Core	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel laterit adalah sumber daya mineral penting untuk industri pertambangan. Namun demikian, eksplorasi nikel laterit seringkali dihadapkan berbagai masalah, terutama yang berkaitan dengan variabilitas geologi. Distribusi zona silika dalam profil laterit adalah faktor penting yang mempengaruhi ekstraksi nikel dan penambangan. Zona-zona dengan kandungan silika yang tinggi dapat menyebabkan masalah dalam proses ekstraksi nikel, penambangan, dan juga dilusi terhadap *ore* yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi produksi dan peningkatan biaya operasional (König, 2021).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) dapat menjadi alat yang efektif dalam karakterisasi geologi bawah permukaan termasuk dalam memetakan distribusi zona silika dalam nikel laterit. ERT memanfaatkan perbedaan resistivitas listrik dari berbagai jenis formasi geologi untuk menghasilkan gambaran yang rinci tentang struktur bawah tanah (Savin et al., 2003).

Interpretasi ERT dalam karakterisasi deposit nikel laterit penting untuk mengkorelasikan hasil ERT dengan data bor yang tersedia. Data bor memberikan informasi langsung tentang komposisi geologi dari sampel-sampel yang diambil dari kedalaman tertentu. Dengan mengintegrasikan data bor dengan hasil ERT, dapat dilakukan analisis yang lebih komprehensif tentang distribusi zona silika dalam profil nikel laterit (Dentith and Mudge, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis distribusi zona silika dalam profil nikel laterit dengan menggunakan metode ERT, serta mengkorelasikan hasil analisis dengan data bor yang tersedia. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik geologi dari nikel laterit dan potensi pengaruhnya terhadap proses ekstraksi nikel yang dapat mempengaruhi penurunan tonase nikel dan kesulitan dalam proses penambangan.

Penelitian ini dilaksanakan di PT Vale Indonesia Tbk yang merupakan salah satu produsen nikel terkemuka di Indonesia, memiliki operasi tambang yang signifikan di Sorowako, Sulawesi Selatan. Sejak didirikan pada tahun 1968, perusahaan telah menjadi kontributor utama dalam industri pertambangan nikel nasional. Dengan fokus pada eksplorasi, penambangan, dan pengolahan nikel serta logam terkait, PT Vale Indonesia Tbk telah memainkan peran penting dalam memperkuat ekonomi Indonesia dan meningkatkan kapasitas produksi mineral di negara ini (PT. Vale, 2023).

Perusahaan ini tidak hanya berkomitmen pada keberhasilan bisnisnya, tetapi juga pada praktik pertambangan yang berkelanjutan dan tanggung jawab sosial perusahaan. Melalui program-program lingkungan dan pengembangan masyarakat yang terintegrasi, PT Vale Indonesia Tbk berupaya untuk

meminimalkan dampak lingkungan dari operasinya sambil memberikan manfaat positif bagi komunitas lokal di sekitar lokasi tambangnya (PT. Vale 2023)

PT. Vale Indonesia Tbk menghasilkan nikel dengan kualitas tinggi yang memiliki kemurnian sangat baik. Nikel yang dihasilkan oleh PT Vale memiliki kadar kemurnian yang mencapai sekitar 78% dalam bentuk *nickel matte*. Sepanjang tahun 2023, total produksi nikel dalam *matte* mencapai 70.728 ton, lebih tinggi 18% dari tahun sebelumnya sebesar 60.090 ton. Nikel yang di produksi di ekspor ke berbagai negara industri yang maju mulai dari negara Jepang, Cina dan Korea Selatan (Vale Indonesia., 2023).

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari adanya penelitian ini adalah:

1. Menentukan batas lapisan profil nikel laterit berdasarkan interpretasi metode *Electrical Resistivity Tomography* dan data bor
2. Menentukan volume lapisan limonit dan saprolit berdasarkan interpretasi metode *Electrical Resistivity Tomography* dan data bor
3. Menentukan *range* resistivitas terbanyak pada distribusi silika dan menganalisis distribusi silika pada profil nikel laterit berdasarkan data *Electrical Resistivity Tomography* dan data bor.

1.3 Manfaat Penelitian

Dari sisi akademis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan metodologi baru dalam penggunaan ERT untuk mengidentifikasi dan memetakan distribusi zona silika, serta memberikan pengalaman praktis bagi peneliti dan mahasiswa dalam penggunaan teknologi geofisika dan analisis data bor.

Sektor industri, penelitian ini membantu perusahaan tambang dalam mengidentifikasi area dengan kandungan nikel dan silika yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi eksplorasi dan eksploitasi, serta menyediakan data yang lebih akurat untuk perencanaan tambang yang lebih efektif.

Manfaat ekonomi juga signifikan, dengan pengurangan biaya eksplorasi melalui penggunaan metode geofisika yang lebih efisien, serta peningkatan produksi dan pendapatan melalui identifikasi zona-zona dengan kandungan mineral yang lebih tinggi.

1.4 Landasan Teori

1.4.1 Geologi Regional

Secara garis besar, geologi Sulawesi seperti pada gambar 1, dapat dibedakan menjadi empat mandala geologi (Ahmad, 2008), yaitu:

1. Zona Bagian Barat (Sulawesi bagian Selatan dan utara) terdiri dari *basement* kompleks akibat *subduction* pada zaman *cretaceous*, endapan tersier, dan kompleks vulkanik tersier dengan beberapa *intrusi granitic*.
2. Zona Bagian Timur (Sulawesi bagian Timur dan Tenggara) terdiri dari fragmen ofiolit dan kompleks *subduction* ke arah barat pada masa *neogen*.

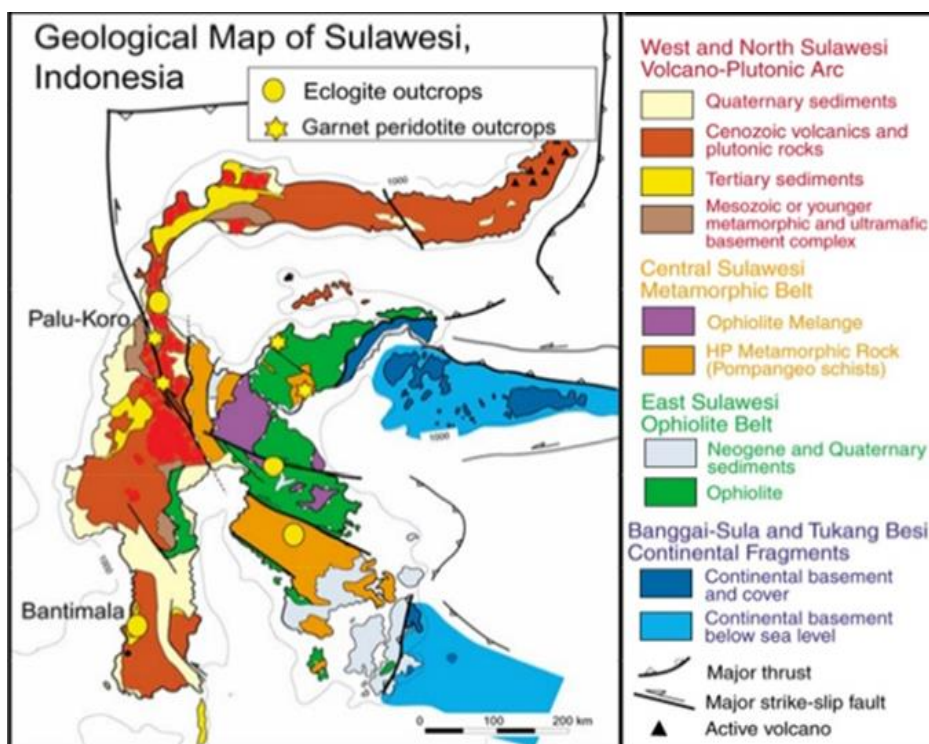
3. Zona Bagian Tengah, terdiri atas jalur batuan metamorf dan ofiolit kompleks.
4. Fragmen batuan *continental* meliputi Banggai Sula dan Tukang Besi.

Sedangkan pada penelitian lain, (Sukamto, 1975) membagi Pulau dan Sulawesi menjadi 3 Mandala geologi, 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 *ultramafic* peridotit, harzburgite, dunit, piroksenit, dan serpentinit.
3. Mandala Geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf Permo-Karbon, batuan-batuan plutonik yang bersifat granitik.

Pulau Sulawesi terletak di Indonesia bagian tengah yang berada pada pertemuan tiga lempeng, yaitu lempeng indo-australia, lempeng pasifik, dan lempeng eurasia (Van Leeuwen, 1994). Pulau Sulawesi terletak di bagian tengah Kepulauan Indonesia, dimana terdiri dari empat sabuk litotektonik, yaitu (Maulana et. al., 2013):

1. Busur pluto-vulkanik dari selatan hingga utara lengan Pulau Sulawesi,
2. Sabuk metamorfik di bagian tengah, memanjang dari tengah ke tenggara,
3. Sabuk ofiolit di bagian timur-tenggara, dan
4. Banggai-Sula dan Tukang Besi microcontinent.



Gambar 1. Geologi Regional Daerah Pulau Sulawesi (Sukamto, 1975)

Daerah Sorowako dan sekitarnya menurut (Sukamto, 1982 dan Simanjuntak, 1986) termasuk dalam Mandala Indonesia bagian Timur yang

dicirikan oleh batuan ofiolit dan malihan. Geologi daerah Sorowako dan sekitarnya telah dideskripsikan sebelumnya dan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu (Golightly, 1979):

- a. Satuan batuan sedimen yang berumur kapur; terdiri dari batu gamping laut dalam dan rijang. Bagian Barat Sorowako dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah barat.
- b. Satuan batuan ultrabasa yang berumur awal tersier umumnya terdiri dari jenis Peridotit yang juga batuan ultramafik, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat di bagian timur. Satuan ini memiliki intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat Gabroik dan terdapat di bagian utara.
- c. Satuan aluvial dan sedimen danau (lacustrine) yang berumur Kuartar, umumnya terdapat di bagian utara dekat Desa Sorowako.

1.4.2 Nikel Laterit

Indonesia memiliki potensi sumber daya mineral yang sangat besar. Salah satu diantaranya adalah Nikel laterit. Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap dipermukaan bumi. Nikel laterit juga diartikan sebagai suatu endapan bijih nikel yang terbentuk dari proses laterisasi pada batuan *ultramafic* (peridotit, dunit, dan serpentinit) yang mengandung Ni dengan kadar yang tinggi, yang pada umumnya terbentuk pada daerah tropis dan sub tropis (Fitrian, 2021).

1.4.2.1 Genesa Endapan Nikel Laterit

Laterit adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air, kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai batuan induk untuk endapan bijih ekonomi. Proses terbentuknya nikel laterit dimulai adanya pelapukan yang intensif pada batuan peridotit/batuan induk. Batuan induk akan terjadi perubahan menjadi serpentinit akibat adanya larutan hidrothermal pada waktu pembekuan magma/proses serpentinisasi. Kemudian terjadi pelapukan (kimia dan fisika) menyebabkan terjadi dekomposisi pada batuan induk.

Menurut Golightly (1981) sebagian unsur Ca, Mg, dan Si akan mengalami dekomposisi dan beberapa terkayakan secara supergen (Ni, Mn, Co, Zn). Atau terkayakan secara relative (Fe, Cr, Al, Ti, S, dan Cu). Air resapan yang mengandung CO₂ yang berasal dari udara meresap sampai ke permukaan tanah melindi mineral primer seperti olivine, serpentin, dan piroksen. Air meresap secara perlahan sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit, kemudian mengalir secara lateral, kemudian lebih banyak didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal. Untuk bahan-bahan yang sukar atau tidak mudah larut akan tinggal pada tempatnya dan sebagian turun ke bawah bersama larutan sebagai larutan

koloid. Elemen-elemen seperti Fe, Ni, Dan Co akan membentuk konsentrasi residual dan konsentrasi celah pada zona yang disebut dengan zona saprolit, berwarna coklat kuning kemerahan (Kurniadi, et. al., 2017).

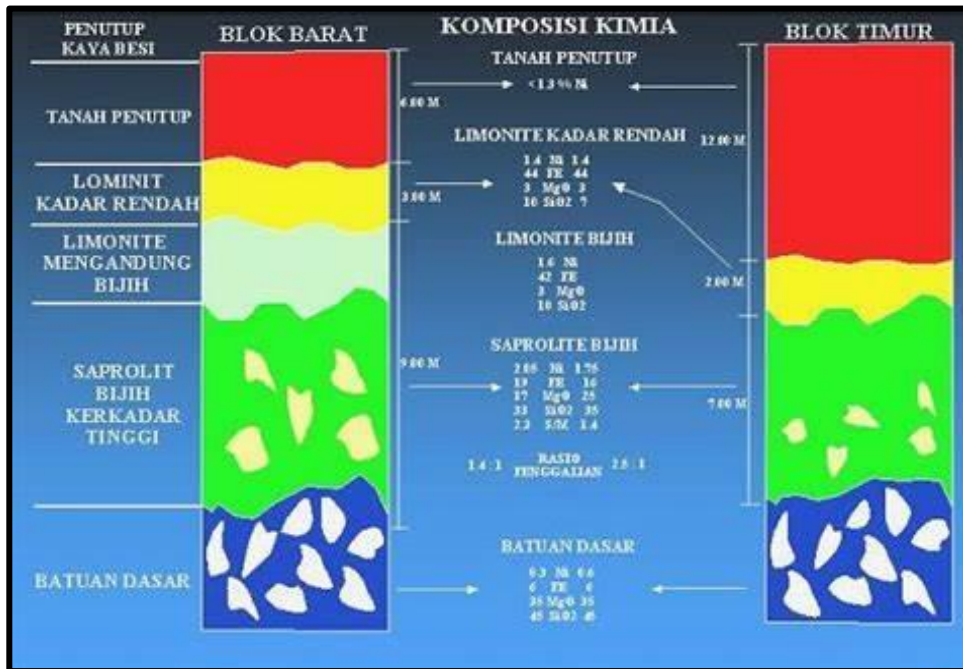
1.4.2.2 Faktor-Faktor Pembentukan Nikel Laterit

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih laterit nikel ini adalah sebagai berikut (Ahmad, 2006):

1. Batuan asal, batuan asal untuk terbentuknya endapan nikel laterit adalah batuan ultra basa. Batuan ultrabasa merupakan batuan yang memiliki unsur Ni yang paling banyak diantara batuan yang lain, memiliki mineral-mineral yang mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivine dan piroksen, serta memiliki komponen yang mudah larut serta menjadi lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel
2. Struktur geologi baik secara regional maupun lokal sangat mempengaruhi pembentukan mineral nikel, besarnya intensitas terjadinya pembentukan struktur geologi (patahan, kekar) terutama secara lokal tentunya akan sangat membantu dalam proses pelapukan secara kimiawi. Rekahan yang terjadi terhadap batuan akan memudahkan penetrasi air tanah dan reagen-reagen kimia untuk masuk dan mempercepat proses pelapukan
3. Iklim, pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.
4. Proses pelarutan kimia dan vegetasi, adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan batuan menjadi *soil*. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting didalam proses pelapukan kimia.
5. Topografi, yang landai, akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan.
6. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Waktu lateritisasi tiap ketebalan 1 mm membutuhkan waktu sekitar 100 tahun.

1.4.2.3 Profil Endapan Nikel Laterit

Profil Nikel laterit pada umumnya terdiri dari zona gradasi seperti pada gambar di bawah;



Gambar 2 Profil Endapan Nikel Laterit (Osborne & Waraspati,1986)

Pada gambar 2 menurut (Ahmad, 2006) proses pelapukan kimia akan menghasilkan pembentukan profil laterit berlapis dengan laterit termuda di bagian bawah sedangkan laterit paling tua di bagian atas. Profil laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona.

1. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*). Lapisan ini terletak di bagian paling atas, memiliki sifat lunak, dan warna coklat hingga gelap. Kandungan air berkisar antara 25%-35%, dan kadar nikel maksimal 1,3%. Terdapat iron capping di permukaan dengan ketebalan 1-12 meter, terdiri dari massa goethite dan limonit. Iron cap memiliki kadar besi tinggi tetapi rendah nikel.
2. *Medium Grade* Limonit. Lapisan ini menunjukkan variasi warna antara merah, coklat, atau kuning, memiliki kandungan air sekitar 30-40%, dan mengandung nikel (Ni) sekitar 1,5% serta besi (Fe) sekitar 44%. Lapisan besi yang terbentuk dari tanah limonit melapisi seluruh wilayah dengan rata-rata ketebalan 3 meter. Limonit di wilayah blok barat cenderung memiliki konsentrasi nikel yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah blok timur.
3. Saprolit. Lapisan ini terletak di bawah lapisan limonit, berwarna kuning hingga coklat dengan ketebalan rata-rata sekitar 7 meter. Terbentuk dari pelapukan batuan peridotit. Komposisi umum meliputi Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO2 35%. Mengandung mineral garnierit yang terbentuk dari proses pelarutan, serta mineral-mineral lain seperti kuarsa dan klorit.

4. *Bedrock* merupakan bagian terbawah dari profil nikel laterit terdiri dari lapisan ini. Ini merupakan formasi batuan ultrabasa yang belum mengalami pelapukan atau belum terpengaruh oleh proses pelapukan. Batuan dasar umumnya tidak lagi mengandung mineral-mineral ekonomis (konsentrasi logam mendekati atau setara dengan batuan dasar). Lapisan ini memiliki warna yang berkisar antara kuning pucat dan abu-abu kehijauan. Zona ini sering menunjukkan retakan-retakan yang signifikan (frakturisasi) yang kadang-kadang terbuka dan dapat diisi oleh mineral *garnierit* dan silika yang terbentuk melalui proses pelarutan. Frakturisasi ini diduga berkontribusi pada fenomena yang dikenal sebagai "*root zone*" atau zona akar, yang mengacu pada area dengan kandungan Ni berkualitas tinggi atau tingginya kandungan unsur Ni, meskipun posisinya tersembunyi.

1.4.2.4 Tipe Endapan Nikel Laterit Sorowako

Menurut Ahmad (2005), tipe endapan nikel laterit di Sorowako terbagi menjadi dua, yaitu Sorowako *West Block* dan Sorowako *East Block*. Pembagian tipe endapan nikel didasarkan pada tipe batuan *ultramafic*, derajat serpentinisasi, kandungan kimia bijih, fraksi batuan, serta kandungan olivine. Beberapa sifat bijih dapat ditelusuri kembali ke jenis batuan dasar ultramafik yang mendasarinya. Di Blok Sorowako Barat, batuan dasar didominasi oleh harzburgit dengan kemunculan sesekali batuan dasar dunit olivin tinggi. Dalam kedua kasus, kandungan olivin cukup tinggi dan piroksen pada dasarnya adalah ortopiroksen. Di Blok Sorowako Timur, batuan dasar didominasi oleh lherzolit dengan kandungan olivin yang agak lebih rendah dan mengandung ortopiroksen dan klinopiroksen. Di Petea, batuan dasar umumnya harzburgit di area penambangan awal Blok A dan B. Dunit dan peridotit olivin tinggi memiliki konsentrasi nikel awal yang lebih tinggi di batuan dasar yang dapat memengaruhi kadar nikel akhir dalam profil laterit.

Secara umum, peridotit Blok Barat tidak mengalami serpentinisasi, peridotit Blok Timur mengalami serpentinisasi dalam berbagai tingkatan dan peridotit Petea mengalami serpentinisasi yang sangat tinggi. Meskipun secara umum tidak mengalami serpentinisasi, peridotit Blok Barat menunjukkan sedikit peningkatan tingkat serpentinisasi dari Tipe 1 ke Tipe 2 dan 3. Tingkat serpentinisasi secara keseluruhan di Blok Barat Sorowako tetap rendah dan tidak mendukung pengayaan nikel dalam fraksi batuan berukuran besar.

Rasio silika terhadap magnesia merupakan dasar utama untuk klasifikasi bijih menjadi tipe Barat dan tipe Timur. Bijih tipe Barat yang tidak mengandung material berbatu umumnya memiliki rasio silika terhadap magnesia yang tinggi dibandingkan dengan bijih tipe Timur yang memiliki komponen fraksi berbatu yang signifikan. Dalam bijih tipe Timur, ukuran saringan yang lebih besar (seperti -18") umumnya menghasilkan rasio S/M yang lebih rendah dibandingkan dengan ukuran saringan yang lebih kecil (seperti bijih -1" -6"). (-18") berarti fraksi batuan yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 18 inchi, tanda petik 2 (") menandakan satuan inchi. Meskipun kandungan besi tidak digunakan sebagai parameter klasifikasi independen, kandungan besi umumnya tinggi dalam bijih tipe Barat

dibandingkan dengan bijih tipe Timur. Pembagian secara terperinci antara tipe endapan bijih *West Block* dan *East Block* dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Tipe Endapan Nikel Laterit di Sorowako (Ahmad, 2006)

Parameter	Tipe West Block			Tipe East Block			
Tipe endapan bijih	-1'' Tipe-1	-1'' Tipe-2	-1'' Tipe-3	-1'' High-Olivin	-1'' Low-Olivin	-6''	-18''
Batuan dasar	Dominasi Harzburgit serta Dunit			Dominasi Lherzolit			
Derajat serpentinisasi	sangat rendah <5%	rendah 5-10%	Rendah 10-15%	Rendah 10-15%	menengah 15-25%	tinggi 30-60%	sangat tinggi 60-100%
Sifat kemagnetan	Sangat rendah			Rendah		Sangat tinggi	
Rasio SiO ₂ /MgO	2,2 - 2,6			1,8 - 2,0	1,6 - 1,8	1,4 - 1,6	
Kandungan Fe	Tinggi: 20-24%			Tinggi: 20-24%		Rendah: 15-18%	
Ukuran alat pemisah	-1''			-1''	-1''	-6''	-18''
Kekerasan bongkah	Sangat-sangat keras	Sangat keras		Menengah	Menengah	Lemah	Lemah
Intensitas rekahan	Sangat rendah	Menengah	Menengah	Menengah	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi
Tingkat kesulitan penambangan	Tinggi	Menengah (+)	Menengah (-)	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
Ketebalan saprolit oleh <i>auger</i>	<1,5 m	1,5-4,5 m	>4,5 m	Tidak digunakan			
Kandungan olivin pada zona pengayaan <i>ore</i>	Menengah	Menengah	Menengah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
Kandungan olivin pada fraksi kasar	Tinggi			Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
Ketebalan tanah penutup (<i>overburden</i>)	Menengah			Tebal			
Ketebalan <i>Ore</i>	Tebal			Menengah			

1.4.2.5 (Silika SiO₂)

Silika (SiO₂) adalah salah satu komponen utama dalam profil nikel laterit dan memainkan peran penting dalam karakteristik dan proses pembentukan endapan ini.

1. Keberadaan Silika dalam Profil Nikel Laterit:

Silika umumnya terkandung dalam mineral-mineral seperti kuarsa dan sebagai penyusun utama dalam materi tanah. Dalam profil nikel laterit, silika sering kali ditemukan dalam bentuk mineral kuarsa, serta dalam mineral lempung seperti kaolinit. Endapan nikel laterit cenderung mengandung beragam mineral, termasuk mineral-mineral yang mengandung silika. Silika ini dapat terakumulasi dalam lapisan laterit yang kaya akan nikel.

2. Silika Boxwork: putih – *orange chert*, *quartz*, mengisi sepanjang *fractured* dan sebagian menggantikan zona terluar dari unserpentine fragmen peridotite, sebagian mengawetkan struktur dan tekstur dari batuan asal. Terkadang terdapat mineral opal, magnesite. Akumulasi dari garnierite-pimelite di dalam boxwork mungkin berasal dari nikel ore yang kaya silika. Zona boxwork jarang terdapat pada bedrock yang serpentinized (Golightly, 1981).

3. Pengaruh Silika terhadap Penambangan Nikel Laterit:

Kandungan silika dalam endapan nikel laterit dapat mempengaruhi proses penambangan dan pengolahan nikel. Silika dapat mengurangi kualitas nikel yang diekstraksi dan meningkatkan biaya proses ekstraksi.

Silika dapat menyebabkan masalah operasional dalam proses pemrosesan nikel, terutama dalam proses peleburan dan pemurnian. Tingginya kandungan silika dapat meningkatkan viskositas cairan slag dan mempercepat keausan pada peralatan pabrik. Selain itu, keberadaan silika dalam endapan nikel laterit juga dapat mempengaruhi perencanaan tambang dan strategi penambangan. Lokasi dan distribusi zona dengan kandungan silika yang tinggi harus dipertimbangkan dalam desain tambang dan penjadwalan produksi.

1.4.3 Metode Geolistrik Resistivitas

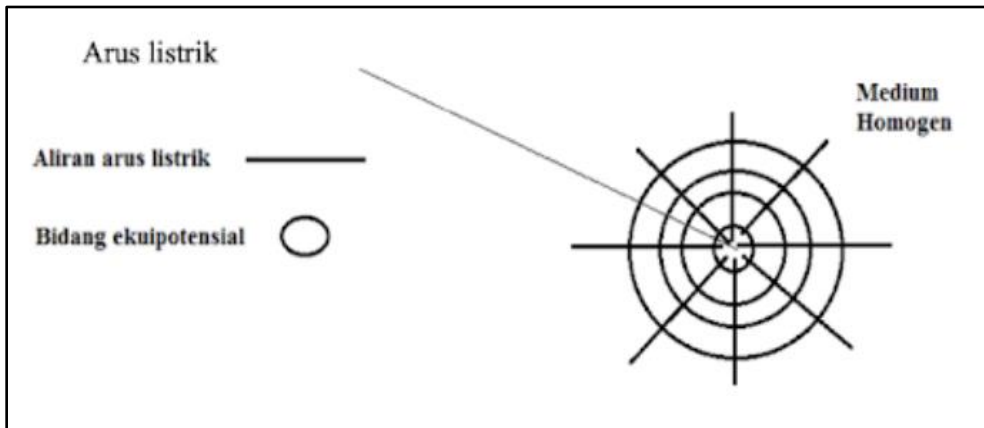
Metode geolistrik resistivitas (hambatan jenis) merupakan suatu metode pendugaan kondisi bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan injeksi arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur dengan menggunakan dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk jarak elektroda tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur. Metode geolistrik resistivitas ini efektif untuk penyelidikan kondisi bawah permukaan yang sifatnya dangkal (max 200 m), meskipun secara teoritis dapat digunakan untuk target yang lebih dalam. Dalam bidang geologi metode ini sering digunakan untuk penentuan sifat geoteknis batuan untuk perencanaan pondasi, pencarian aquifer air tanah, eksplorasi mineral logam, dan eksplorasi panas bumi (Dentith and Mudge 2014).

1.4.3.1 Metode Electrical Resistivity Tomography

ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) merupakan metode 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).

Prinsip mendasar dari ERT adalah Prinsip Hukum Ohm, dimana arus dialirkan melalui bumi melalui elektroda pengirim arus dan kemudian potensial diukur di permukaan tanah menggunakan elektroda penerima potensial. Metode ini termasuk dalam kategori metode geolistrik yang bersifat aktif, di mana energi yang diperlukan dihasilkan melalui penyuntikan arus ke dalam bumi terlebih dahulu. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengenali komposisi material seperti endapan mineral, sumber panas bumi (geothermal), batubara, dan juga untuk menemukan lapisan akuifer air tanah. (Telford, 1990).

a. Potensial Pada Bumi Homogen Isotropis



Gambar 3. Ilustrasi Sumber Arus dan *Equipotensial* (Telford, 1990)

Berdasarkan gambar 3 bumi dianggap sebagai bola homogen dimana distribusi arus dan permukaan *equipotensial* dapat dengan mudah dimodelkan sebagai aliran radial dari setiap elektroda arus, dengan *equipotensial* adalah tempat di mana potensial listrik memiliki nilai yang sama. Dalam model bola homogen, garis *equipotensial* berbentuk lingkaran konsentris atau bola di sekitar sumber arus.

Hukum ohm menyatakan arus listrik I pada sebuah kawat konduktif sebanding dengan beda potensial V pada kawat tersebut. Dengan R merupakan resistansi atau hambatan kawat. Besar dari resistansi bergantung pada jenis material dan geometri dari kawat tersebut. Hubungan linier arus dan beda potensial serta resistansi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

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

Persamaan Laplace untuk potensial homogen, rumus ohm yang asli menyatakan hubungan antara rapat arus (j) dan medan listrik (E)

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (3)$$

Karena medan listrik merupakan medan yang konservatif, maka dapat ditulis dalam bentuk gradient potensial skalar $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$, minus gradient potensial skalar.

Hubungan densitas arus dengan gradien potensial listrik $\vec{\nabla}V$, dengan σ sebagai konduktivitas listrik material dapat dituliskan seperti pada persamaan 3. Dalam persamaan ini, j adalah vektor yang menunjukkan arah dan besarnya arus listrik yang mengalir melalui suatu material. Konduktivitas (σ) merupakan parameter yang mengukur kemampuan material dalam menghantarkan listrik. Gradien potensial listrik $\vec{\nabla}V$ mengukur seberapa cepat dan dalam arah mana potensial listrik berubah di ruang. Tanda negatif menunjukkan bahwa arus listrik mengalir berlawanan arah dengan gradien potensial, sesuai dengan hukum Ohm dalam bentuk diferensial, di mana arus mengalir dari daerah dengan potensial tinggi ke daerah dengan potensial rendah. Secara keseluruhan, persamaan ini menunjukkan bahwa laju aliran arus listrik dalam suatu material berbanding lurus dengan gradien potensial listrik dan sebanding terbalik dengan konduktivitas material tersebut.

$$\vec{j} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (4)$$

Arus listrik yang stasioner dan muatan yang konstan, prinsip bahwa tidak ada arus yang keluar atau masuk dalam suatu volume tertutup dapat dijelaskan dengan menggunakan Teorema Gauss dan persamaan kontinuitas seperti pada persamaan 5. Persamaan 5 menyatakan hubungan antara distribusi arus listrik, konduktivitas, dan gradien potensial listrik dalam suatu konduktor.

Menurut Teorema Gauss, integral volume dari divergensi arus listrik ($\nabla \cdot \vec{j}$) melalui permukaan tertutup sama dengan jumlah total muatan dalam volume tersebut. Dalam kasus arus stasioner, divergensi arus listrik harus sama dengan nol ($\nabla \cdot \vec{j} = 0$), yang berarti tidak ada akumulasi atau defisit muatan dalam volume tersebut.

$$\vec{\nabla} \cdot (\sigma \vec{\nabla}V) + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (5)$$

Jika medium homogen isotropis maka σ bersifat konstan koefisien atau nilai konduktivitasnya tetap dari titik ke titik lain dalam medium, sehingga tidak mempengaruhi arus yang mengalir. Maka persamaan Laplace dengan potensial yang bersifat harmonik:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (6)$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \left(\frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \right) \quad (7)$$

Setiap permukaan *equipotensial* dalam bumi, permukaan ini membentuk bola-bola konsentris yang berpusat pada sumbu arus. Dari titik pusat ini, arus listrik mengalir secara homogen ke segala arah, membentuk lintasan yang tegak lurus terhadap permukaan ekuipotensial. Bentuk bola dari permukaan ekuipotensial ini disebabkan oleh simetri sistem yang diamati. Dalam kondisi ini, sistem tidak mengalami rotasi atau evolusi, sehingga potensial hanya bergantung pada jarak r dari pusat. Akibatnya, arus listrik yang keluar hanya melalui permukaan bola dengan jari-jari r (Telford, dkk., 1990):

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

Persamaan laplace tersebut dilakukan integrasi r^2 terhadap potensial pada persamaan (8) menghasilkan:

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

$$\frac{dv}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (10)$$

Untuk mencari potensial maka dilakukan integral terhadap r pada persamaan (10) menghasilkan:

$$\int dv = \int \frac{A}{r^2} dr = -\frac{A}{r} + C \quad (11)$$

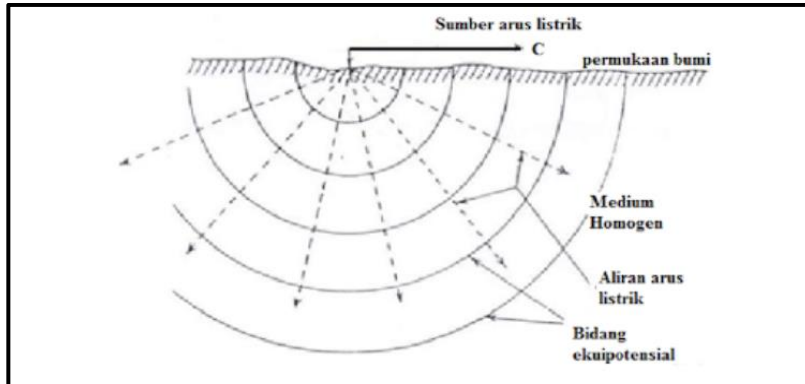
Dengan A merupakan konstanta integral pertama dan C merupakan konstanta integral kedua. Apabila jarak elektroda jauh tak berhingga ($r = \infty$) maka nilai potensialnya akan sama dengan nol ($V = 0$). Dengan demikian $C = 0$, sehingga persamaan (11) menjadi:

$$V = -\frac{A}{r} \quad (12)$$

b. Potensial di Sekitar Titik Arus di Bawah Permukaan Bumi

Sumber arus di bawah permukaan bumi yang diasumsikan bersifat homogen isotropis menyebabkan arus menyebar ke segala arah. Sehingga menimbulkan bidang ekuipotensial berbentuk bola ($A = 4\pi r^2$) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4. (Telford, dkk., 1990).

$$I = \vec{J} A \quad (13)$$



Gambar 4. Sumber Arus tunggal C1 dalam medium homogen seluruh ruang, pasangan sumber arus C2 dianggap terletak di tak hingga (Telford, et.al., 1990)

Mensubstitusi persamaan (3) ke dalam persamaan (13), kemudian memasukkan persamaan (10). Diketahui $\vec{\nabla}V = \frac{dv}{dr}$ maka arus total yang melalui permukaan bola dengan jarak r dapat ditulis:

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

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$ maka persamaan (15) dapat ditulis:

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

Jika persamaan (15) dimasukkan kedalam persamaan (12), maka potensialnya dapat dinyatakan sebagai:

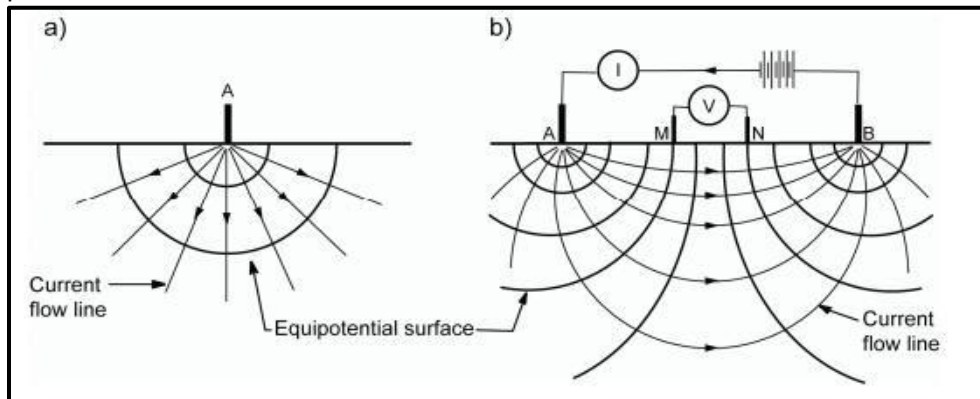
$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (16)$$

Pada sumber arus tinggal di permukaan bidang ekuipotensial hanya membentuk setengah bola karena arus tidak mengalir di udara sehingga nilai konduktivitas udara akan bernilai nol. Dengan demikian persamaan (16) berubah menjadi (Telford, dkk., 1990):

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

c. Potensial oleh Sumber Arus Ganda di Permukaan Bumi

Potensial listrik ($P_1=M$ dan $P_2=N$) oleh dua sumber arus di dalam bumi ketika jarak antara dua elektroda arus ($C_1=A$ dan $C_2=B$) yang dapat dilihat pada gambar 5. Perubahan potensial sangat besar terjadi pada daerah dekat sumber arus, dimana gradien potensial yang berada di luar $C_1=A$ dan $C_2=B$ yang menjauh dari linier memiliki gradien potensial yang besar, sedangkan pada daerah antara C_1 dan C_2 gradien potensial kecil dan mendekati linier. Dari alasan ini, pengukuran potensial paling baik dilakukan pada daerah diantara C_1 dan C_2 yang mempunyai gradien potensial linier.



Gambar 5. Gambaran sederhana garis-garis arus listrik dan permukaan ekuipotensial yang timbul dari **(a)**. Satu buah elektroda sumber (current source) **(b)**. Satu set elektroda (current source and sink). (Moller, et.al)

Ketika jarak antara elektroda arus dibatasi di permukaan, maka besar nilai potensial di permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut. Mengacu pada persamaan (17), potensial total masing-masing di titik P_1 dan P_2 akibat sumber arus C_1 dan C_2 yaitu:

Potensial total di titik P_1 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 adalah:

$$V_{P1} = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (18)$$

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

$$V_{P2} = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (19)$$

Beda potensial antara P1 dan P2 sebagai berikut :

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \rightarrow \Delta V = \frac{\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (20)$$

Berdasarkan persamaan (20) diperoleh persamaan resistivitas pada sumber arus ganda yaitu:

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

Atau dapat dituliskan :

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

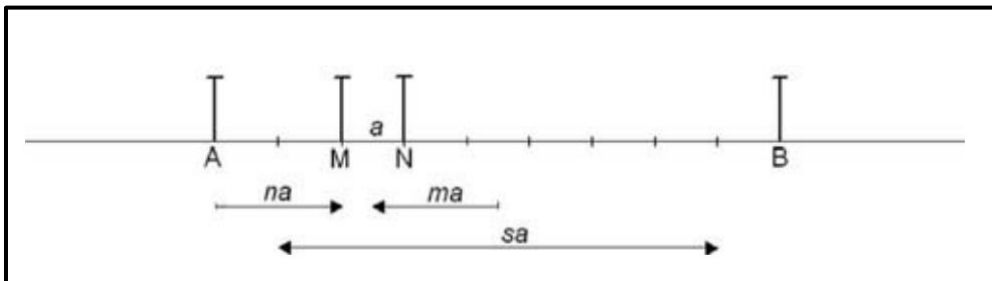
Dengan :

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (23)$$

Ketika mengeksplorasi bawah permukaan dimana tidak diketahui secara pasti jenis material di bawahnya untuk tanah homogen. Hasil resistivitas yang didapatkan disebut resistivitas semu (*apparent resistivity*) (Siregar, 2006). Oleh karena itu, nilai resistivitas yang diukur seolah-olah merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja yang dapat didefinisikan sebagai fungsi dari jarak elektroda sehingga disini sangat berperan faktor geometri atau K.

1.4.3.2 Konfigurasi Gradient

Tata letak elektroda memiliki dampak yang signifikan dalam menentukan sensitivitas pengukuran target dalam eksplorasi. Penempatan elektroda dikenal sebagai konfigurasi elektroda. Metode umum untuk penempatan elektroda meliputi Wenner, Schlumberger, dan Dipole-Dipole. Walaupun demikian, ada variasi lain dalam penempatan elektroda yang menggabungkan berbagai elemen, seperti konfigurasi Gradien. Konfigurasi Gradien ini memiliki karakteristik yang menggabungkan aspek dari konfigurasi Schlumberger, Wenner, dan Dipole-Dipole (Dahlin & Zhou, 2004). Dalam metode konfigurasi Gradien ini, elektroda arus A-B (C1 dan C2) ditempatkan di luar jalur pengukuran, sementara elektroda potensial M-N (P1 dan P2) ditempatkan lebih dalam. (Dahlin and Zhou 2004)



Gambar 6. Konfigurasi Gradient (Dahlin and Zhou, 2004)

Dalam ilustrasi konfigurasi gradient pada gambar 6 tampak bahwa jarak total yang diukur, yaitu $(s+2)a$, diperoleh dari elektroda arus A-B (C1 dan C2), dengan spasi jarak a di antara elektroda potensial. Dalam hal ini, variabel s merupakan

bilangan bulat yang menunjukkan jumlah maksimum pembacaan potensial. Faktor n dalam situasi ini dapat didefinisikan sebagai jarak antara elektroda potensial dan elektroda arus terdekat. Selain itu, dalam konfigurasi gradient, terdapat faktor m yang juga dikenal. Faktor m ini, yang dikenal sebagai midpoint faktor, mengacu pada penentuan titik tengah elektroda arus terhadap titik tengah elektroda potensial. Ekspresi untuk *midpoint factor* dapat dirumuskan sebagai berikut (Dahlin and Zhou, 2006).

$$m = \frac{\frac{X_M + X_N}{2} - \frac{X_A + X_B}{2}}{(X_N - X_M)} = \frac{X_{MN} - X_{AB}}{a}, \quad (24)$$

X_A , X_B , X_M , dan X_N sebagai posisi elektroda dari elektroda arus dan potensial dengan ($X_B > X_A$, $X_N > X_M$), X_{AB} dan X_{MN} adalah titik tengah dari elektroda arus A-B dan elektroda potensial M-N. Oleh karena itu faktor m bernilai negatif yang menunjukkan bahwa elektroda sebelah kiri M-N dan faktor m bernilai positif ketika elektroda potensial berada di sebelah kanan elektroda arus. Faktor m dapat ditentukan dari faktor n dengan persamaan sebagai berikut:

$$m = n - \frac{s + 1}{2}, \quad \text{Untuk } X_{MN} \leq X_{AB} (m \leq 0) \quad (25)$$

Dan

$$m = n + \frac{s + 1}{2}, \quad \text{Untuk } X_{MN} > X_{AB} (m > 0) \quad (26)$$

Mengacu pada persamaan 23. Bila diketahui bahwa jarak $r_1 = na$, $r_2 = (s + 2 - n)a$, $r_3 = (n + 1)a$ dan $r_4 = (s + 1 - n)a$ maka faktor geometri konfigurasi gradien dapat dilihat pada lampiran 1 yang dirumuskan sebagai berikut,:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(s+2-n)a} \right) - \left(\frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{(s+1-n)a} \right) \right]} \quad (28)$$

1.4.4 Sifat Kelistrikan Batuan

Resistivitas adalah sifat *inherent* batuan yang mencerminkan kapasitasnya dalam mengizinkan aliran arus listrik. Arus listrik yang melewati batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yakni konduksi elektronik, konduksi elektrolitik, dan konduksi dielektrik (Hurun 2016).

Karakteristik konduktivitas listrik dari tanah dan batuan di permukaan bumi sangat tergantung pada sejumlah faktor seperti jumlah air, salinitas air, serta distribusi air di dalam tanah dan batuan tersebut. Konduktivitas listrik dari batuan yang mengandung air sangat dipengaruhi oleh sifat elektrolit air, yaitu larutan garam yang terlarut dalam air dan terdiri dari anion dan kation yang dapat bergerak bebas di dalam air. Ketika medan listrik eksternal hadir, kation dalam larutan elektrolit akan ditarik menuju kutub negatif, sementara anion menuju kutub positif. Dalam konteks ini, batuan yang memiliki pori-pori atau tanah yang jenuh air akan memiliki nilai resistivitas listrik yang lebih rendah seiring dengan meningkatnya

kandungan air. Sebaliknya, nilai resistivitas listrik akan meningkat ketika kandungan air berkurang (Telford, 1990).

1. Konduktivitas Melalui Jalur Elektronik

Proses konduksi ini terjadi ketika terdapat banyak elektron bebas dalam batuan atau mineral, sehingga arus listrik mengalir melalui mereka. Arus listrik ini juga terpengaruh oleh karakteristik unik dari masing-masing batuan yang dilalui. Salah satu karakteristik ini adalah resistivitas (tingkat resistansi) yang menggambarkan kapabilitas bahan dalam menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan, semakin rendah kemampuannya dalam mengalirkan arus listrik, dan sebaliknya. Penting untuk memahami bahwa resistivitas memiliki makna yang berbeda dengan resistansi (tingkat hambatan), karena resistansi tidak hanya dipengaruhi oleh bahan tetapi juga oleh geometri atau bentuk bahan. Di sisi lain, resistivitas tidak bergantung pada geometri (Lowrie, 2007).

2. Konduksi Melalui Elektrolit

Sebagian besar batuan sebenarnya memiliki konduktivitas rendah dan resistivitas yang sangat tinggi. Namun, dalam praktiknya, banyak batuan memiliki pori-pori yang terisi oleh cairan, khususnya air. Ini menyebabkan batuan berperan sebagai konduktor elektrolit, di mana arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolit dalam air. Tingkat konduktivitas dan resistivitas batuan berpori dipengaruhi oleh volume dan tata letak pori-porinya. Konduktivitas akan semakin tinggi ketika kandungan air dalam batuan bertambah, dan sebaliknya, resistivitas akan meningkat ketika kandungan air dalam batuan berkurang (Lowrie, 2007).

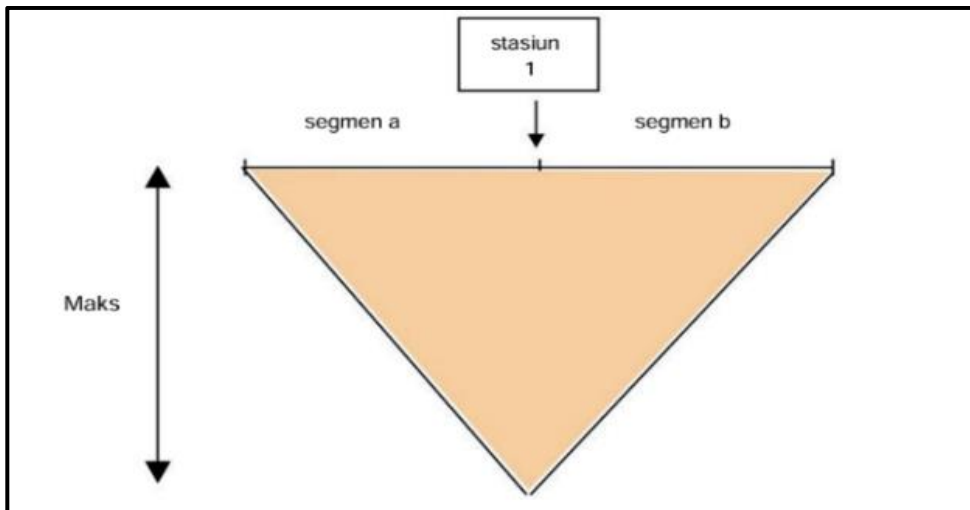
3. Konduksi Melalui Material Dielektrik

Jenis konduksi ini terjadi ketika batuan atau mineral menunjukkan sifat dielektrik terhadap arus listrik, yang berarti terdapat sedikit atau bahkan tidak ada elektron bebas dalamnya. Elektron dalam batuan bergeser dan terpisah satu sama lain di bawah pengaruh medan listrik eksternal, mengakibatkan polarisasi (Lowrie, 2007).

1.4.5 Metode *Roll-Along*

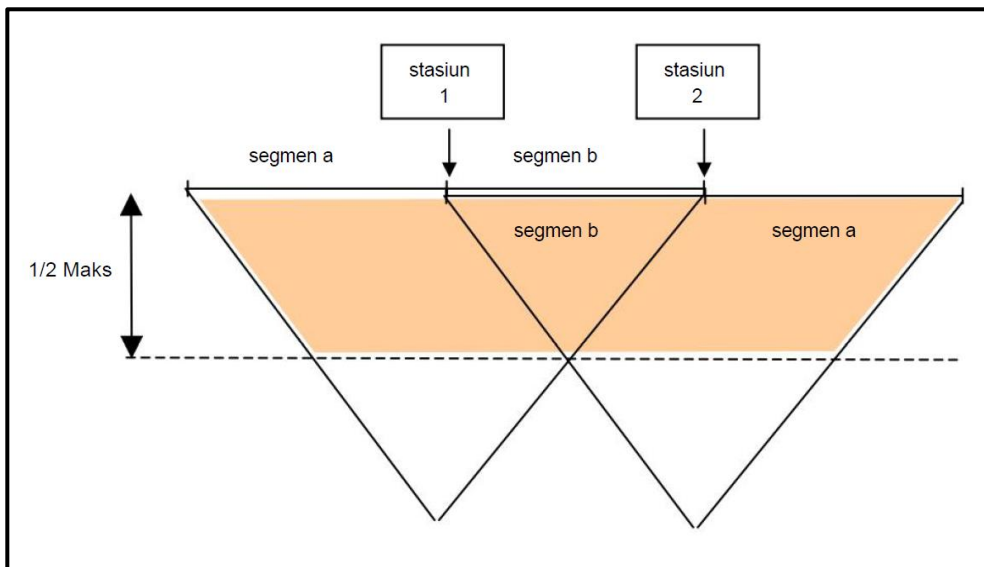
Metode *Roll-Along* merupakan metode untuk mendapatkan lokasi dengan kedalaman yang tidak terjangkau oleh kedalaman dari bentangan kabel yang digunakan dan terbatas. Semakin panjang lintasan, semakin dalam kedalaman yang. Metode ini dilakukan dengan cara menyambung lintasan dengan menggunakan beberapa segmen pengukuran. Metode *Roll-Along* dilakukan untuk mendapatkan satu data yang terintegrasi dengan panjang lintasan dan kedalaman yang diinginkan dengan cara menyambung dan menumpuk data point.

Metode *roll along* 2 segmen melibatkan dua segmen elektroda yang digunakan untuk memperluas cakupan area pengukuran geolistrik.



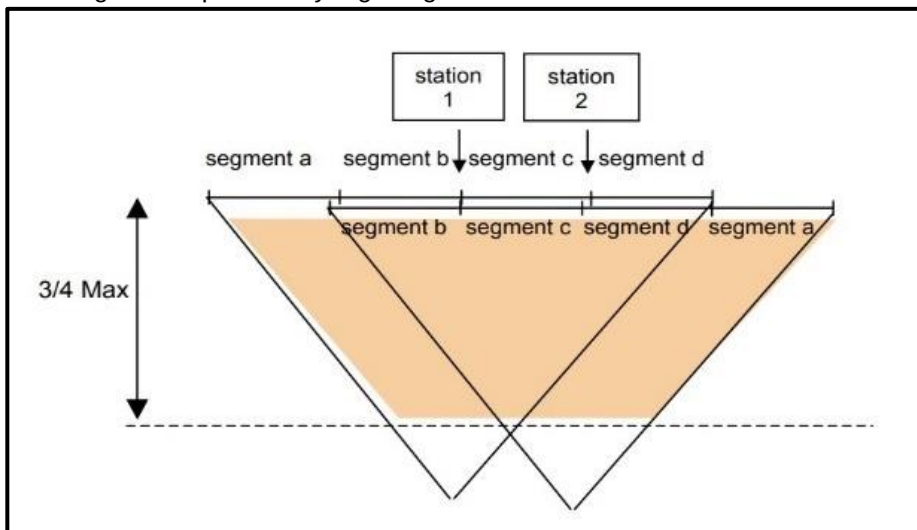
Gambar 7 Contoh Penggunaan Metode Roll-Along 2 segmen, (Bernard,2003)

Setelah satu segmen pengukuran dilakukan, salah satu segmen elektroda dipindahkan ke posisi berikutnya, sementara segmen elektroda yang lain tetap di tempatnya untuk pengukuran berikutnya. Misalnya, segmen A dan segmen B ditempatkan pada posisi awal (gambar 7), kemudian dilakukan pengukuran. Selanjutnya, segmen A dipindahkan ke posisi baru, sementara segmen B tetap di tempatnya untuk pengukuran kedua (gambar 8). Proses ini diulang sepanjang profil pengukuran untuk memperluas cakupan area tanpa mengubah jarak antar elektroda.



Gambar 8 Contoh Penggunaan Metode Roll-Along 2 segmen, (Bernard, 2003)

Metode *roll along* 4 segmen melibatkan empat segmen elektroda yang bergerak secara berurutan untuk memperluas cakupan area pengukuran geolistrik (gambar 9). Segmen elektroda A, B, C, dan D ditempatkan pada posisi awal dan pengukuran dilakukan. Setelah pengukuran pertama, segmen A dipindahkan ke posisi berikutnya sementara segmen B, C, dan D tetap di tempatnya. Pengukuran kedua dilakukan seperti pada gambar 9. Proses ini dilanjutkan dengan memindahkan segmen B ke posisi berikutnya, sementara segmen A, C, dan D tetap di tempatnya. Dengan menggunakan empat set elektroda, metode ini memungkinkan cakupan area yang lebih luas dan lebih kontinu, serta menghasilkan data yang lebih detail dan resolusi yang lebih tinggi, ideal untuk survei dengan cakupan area yang sangat luas.



Gambar 9 Contoh Penggunaan Metode Roll-Along 4 segmen, (Bernard, 2003)

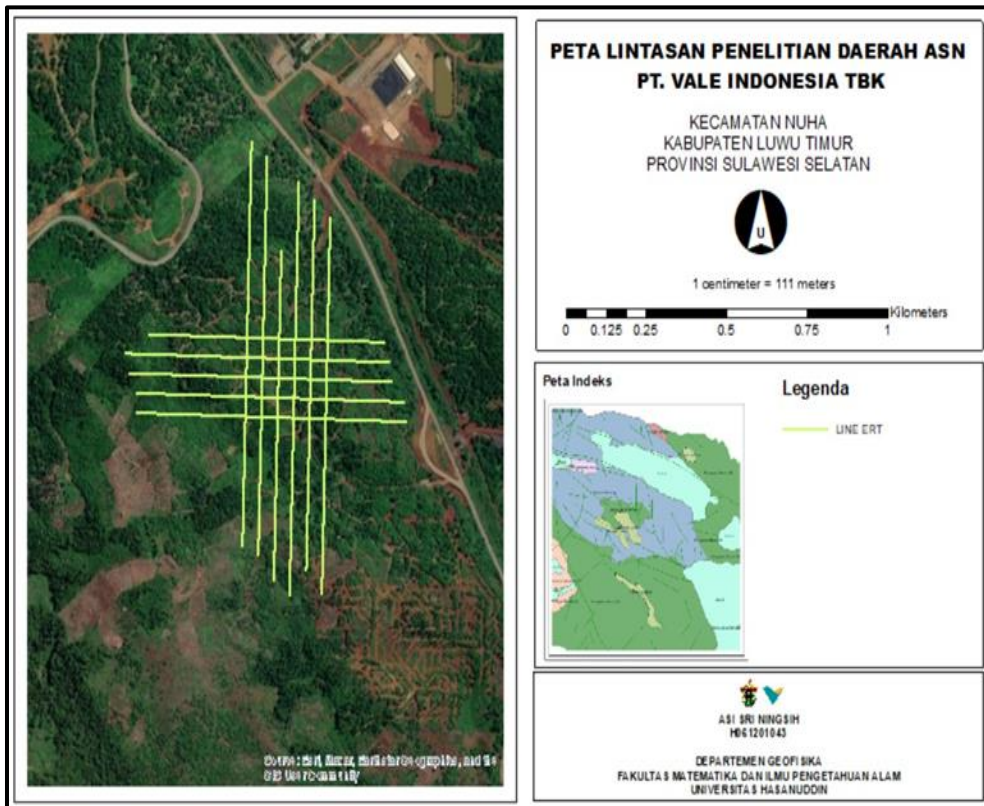
Penggunaan metode *roll along* menjelaskan bahwa metode ini menghasilkan data point yang ditumpuk, yang digambarkan dalam bentuk segmen-segmen pengukuran. Semakin banyak segmen yang digunakan semakin dalam kedalaman yang didapatkan.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, akan diuraikan metodologi penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini. Pada metodologi penelitian tugas akhir ini, akan dibahas mengenai lokasi penelitian, jenis dan sumber data, teknik analisis data, dan alur kerja penelitian.

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada wilayah daerah kuasa pertambangan PT. Vale Indonesia, yang secara administratif terletak pada daerah Kabupaten Luwu Timur. Penelitian ini dilakukan di daerah *West Block*.



Gambar 10 Peta Lokasi Penelitian

Pada daerah *West Block* terdapat 11 lintasan (Gambar 10) dengan 6 lintasan berorientasi arah utara-selatan dan 5 lintasan yang berorientasi arah barat-timur. Terdapat 290 titik bor yang terdapat di atas lintasan dengan spasi titik bor 25 meter.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan pada saat akuisisi data menggunakan metode ERT yaitu:

1. Terrameter LS 8 *channel* produksi ABEM.
2. Kabel *multi-channel* (4)
3. Konektor (4)
4. Elektroda (64) + jumper (64)
5. Aki/battery
6. Palu
7. Laptop

Perangkat lunak terdiri dari:

1. *Software RES2DINV*
2. *Software Datamine Studio RM*
3. *Software Microsoft Office*
4. *Software Leapfrog*

2.2.2 Bahan

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data-data sekunder PT. Vale yang terdiri dari:

1) Data *ERT*

Data pengukuran ERT sebanyak 11 lintasan menggunakan konfigurasi gradient, 6 lintasan arah utara-selatan dan 5 lintasan arah timur-barat. Panjang setiap lintasan yaitu untuk *line* E01 sepanjang 1113 m, *line* E02 sepanjang 1113 m, *line* E03 sepanjang 889 m, *line* E04 sepanjang 1113 m, *line* E05 sepanjang 1001 m, *line* E06 sepanjang 1001 m, *line* N01 sepanjang 777 m, *line* N02 sepanjang 889 m, *line* N03 sepanjang 889 m, *line* N04 sepanjang 889 m dan *line* N05 sepanjang 889 m. Data yang diolah terdiri dari nilai resistivitas dan topografi.

2) Data *Hole*

Data bor sebanyak 290 *hole* yang mengenai 11 lintasan *ERT*, dengan rincian 28 *Hole* data pada *line* E01, 28 *hole* data pada *line* E02, 23 *hole* data pada *line* E03, 33 *hole* data pada *line* E04, 35 *hole* data pada *line* E05, 33 *hole* data pada *line* E06, 24 *hole* data pada *line* N01, 25 *hole* data pada *line* N02, 24 *hole* data pada *line* N03, 24 *hole* data pada *line* N04, 22 *hole* data pada *line* N05. Terdiri dari data *Assay* dan data *Collar*.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahapan Kajian Pustaka

Tahapan ini meliputi pengumpulan berbagai literatur yang berkaitan dengan penelitian mengenai kondisi geologi seperti genesa pembentukan nikel laterit, profil

nikel laterit, karakteristik nikel laterit yang berkaitan dengan distribusi silika daerah penelitian sehingga dapat memudahkan dalam menginterpretasi setiap zona lapisan nikel laterit dan pengumpulan literatur mengenai ERT dan metode-metode yang di pakai serta kondisi geologi daerah penelitian sehingga memudahkan dalam pengolahan data.

2.3.2 Tahapan Survei *Electrical Resistivity Tomography*

1) *Line Planning*

Proses *line planning* merupakan penentuan lintasan ERT dengan menggunakan koordinat ujung lintasan dan membuat 1D lintasan. Pembuatan *line planning* dilakukan berdasarkan pada *boundary hill* yang ada dan mengacu pada titik hole, struktur, batas hutan, batas izin, permukiman, dan pabrik. Pembuatan peta *line planning* ini menggunakan software *ArcGis*.

2) *Surveying*

Kegiatan survei dilakukan untuk membuat lintasan lurus dilapangan berdasarkan *line planning* yang telah dibuat, survei ini menggunakan *Total Station* dengan mengacu pada koordinat pada *base map* dan memberi tanda berupa patok pita merah disepanjang lintasan dengan jarak ± 5 meter antar patok tergantung kondisi di lapangan untuk memastikan lintasan yang dibuat sudah lurus. Adapun langkah-langkah survei saat memasuki *hill* atau lokasi baru yaitu:

1. Pembukaan jalan dan pembuatan lintasan
2. Menentukan dan mengambil titik *benchmark* pada area terbuka sebagai acuan koordinat pada daerah survei
3. Menyiapkan alat-alat yang digunakan seperti *total station*, *statif*, patok, pita merah dll.
4. Memasang *Total Station* di atas patok poligon kemudian melakukan *centering*
5. Melakukan *centering* alat *total station*
6. Pemasangan patok poligon dan memberi ID poligon. Tanda N pada pita menandakan bahwa daerah pengukuran dari Timur-Barat sedangkan EC dari arah Selatan-Utara.
7. Melakukan *traverse* yakni penentuan garis lurus dengan pola poligon dengan penembakan keujung lintasan yang akan di survey kemudian menginput koordinat patok. Saat pengambilan titik koordinat patok poligon dilakukan *backsight* dan *foresight* sebanyak dua kali lalu melakukan *traverse* kedalam lintasan dan lintasan berikutnya. Letak poligon tidak harus berada dalam lintasan. Pembuatan jalur lintasan dilakukan dengan metode poligon tertutup dimana *close* poligon dilakukan titik awal penembakan atau di dekat patok poligon pertama.
8. Melakukan pembacaan titik koordinat yang dilakukan sebanyak dua kali yaitu pembacaan biasa dan pembacaan luar biasa. Pembacaan luar biasa digunakan sebagai pembandingan dari pembacaan sebelumnya. Apabila pada *offset* bernilai negatif (-) maka alat perlu digeser kekanan sedangkan jika terjadi

sebaliknya offset bernilai positif (+) maka perlu digeser ke kiri. *Offset* merupakan titik referensi lainnya, ketika nilainya >0.05 meter bernilai positif atau mines, maka perlu dilakukan pergeseran.

3) *Line Clearing*

Line clearing merupakan pembersihan jalur lintasan lurus yang ditandai dengan pita merah sekitar satu meter dari ranting-ranting atau batang pohon yang menghalangi lintasan agar tidak terjadi *distorsi* pada kabel sehingga mempermudah tim *measurement* saat akuisisi data. Dan dilakukan pembuatan *handrails* dan tangga pada daerah ketinggian sekitar 1-2 meter.

4) *ERT Measurement*

ERT Measurement merupakan proses akuisisi data ERT dengan menggunakan alat *terrameter LS 12 Channel*. Akuisisi data ERT didasarkan pada penggunaan *system multi elektroda* dan *multi-channel* dengan menggunakan konfigurasi *gradient Array* dan metode *Roll-Along*. Langkah-langkah *measurement* yaitu:

1. Melakukan pembentangan kabel dan pemasangan elektroda. Kabel yang digunakan sebanyak 4 buah dengan panjang setiap kabel 112m dan 16 elektroda dengan total elektroda pada 4 kabel sebanyak 64 elektroda, spasi elektroda yang digunakan adalah spasi 7. Elektroda pertama setiap kabel akan diberi penanda berupa patok dengan pita biru. Pada proses ini dilakukan penyiraman air garam pada setiap elektroda agar penyaluran arus lebih maksimal dan penyiraman larutan bentonite pada elektroda yang berguna untuk memadatkan tanah yang berongga.
2. Pemasangan elektroda dan pemasangan alat *terrameter LS 12 Channel* yang di pasang di tengah-tengah bentangan di dekat elektroda pertama kabel 3. Kemudian memasang konektor 1 untuk kabel 1 dan 2, konektor 2 untuk kabel 3 dan 4.
3. Melakukan *setting* alat seperti menentukan konfigurasi, spasi elektroda, banyak elektroda, panjang lintasan, parameter *test* elektroda dan mode yang digunakan (resistivitas)
4. Melakukan pengecekan elektroda dan tes kabel, jika terdapat *no contact* maka perlu dilakukan perbaikan dalam menancapkan elektroda ataupun dalam pemasangan kabel. Jika elektroda masih *no contact* maka perlu disiram air garam atau bentonite, jika beberapa kali diperbaiki dan sudah dilakukan penyiraman namun tetap *no contact* maka pilihan terakhir adalah menghapus elektroda dengan cara *exclude* pada alat. Hal ini bisa disebabkan karena kabel ataupun elektroda yang bermasalah. Elektroda dianggap tidak bagus jika pembacaannya $>2000 \Omega m$, jika terdapat nilai di atas itu maka dapat dilakukan hal yang sama seperti yang terjadi pada elektroda yang *no contact*.
5. Setelah semua elektroda dianggap bagus maka pengukuran dapat dimulai. Jumlah data yang terukur dipengaruhi oleh banyaknya elektroda, semakin banyak yang di hapus (*exclude*) maka semakin banyak juga data yang hilang

6. Memperoleh harga besar arus (I) dan beda potensial (V) disetiap titik pengukuran
7. Setelah pengukuran selesai alat dimatikan (*power off*), kemudian pindah di pengukuran selanjutnya.

5) *Re-Survey*

Kegiatan *Re-Survey* merupakan pengambilan koordinat, X, Y, Z (*elevasi*) pada setiap lintasan yang mengacu pada patok pita biru yang merupakan ujung dari setiap kabel atau lebih tepatnya merupakan elektroda pertama dari setiap kabel. Sebelum mengambil koordinat maka dilakukan centering alat lalu membuat *project list* (ketika baru mau melakukan pengambilan titik koordinat) atau *task list* (ketika hendak melanjutkan data). Kegiatan *Re-Survey* ini bertujuan untuk memvalidasi data. Setelah *workflow ERT* maka akan dilakukan pelaporan produksi masing-masing dimana semua data pengukuran yang telah dilakukan tersimpan dan disebut DSC lalu kemudian dilaporkan ke data *technician* untuk kemudian disimpan dalam database dan kemudian melakukan pembuatan *report*.

2.3.3 Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Data lapangan diperoleh dari PT. Vale Indonesia Tbk. Data lapangan ini berupa data drillhole yang memuat data assay dan data keluar serta data sekunder 11 lintasan dari pengukuran yang merupakan data akuisisi metode geolistrik konfigurasi gradient. Data yang di dapatkan di lapangan merupakan nilai resistivitas semu, sehingga dilakukan proses inversi dengan cara *forward modelling* data pada software *RES2DINV* untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya pada penampang 2D.

1. Mendapatkan harga resistivitas semu yang dihitung dari faktor konfigurasi pengukuran dan perbandingan harga beda potensial (V) dan kuat arus (I) pengukuran
2. Melakukan pengaturan data dalam bentuk dat yang terdiri dari data pengukuran, topografi dan global koordinat sesuai dengan format yang dapat terdeteksi pada software *Res2dinv*
3. Membuka Software *Res2Dinv*
4. Melakukan *read parameter* yang sudah ditentukan perusahaan, kemudian input data.
5. Beberapa parameter yang digunakan adalah model topo S-C *transformation with distorted finite-element grid* dan pada *inversion method* menggunakan *apparent resistivity*
6. Melakukan inversi data menggunakan iterasi 5 dan akan mendapatkan penampang *pseudosection*, dari penampang ini akan menampilkan penampang dengan topografi.
7. Melakukan *quality control* data dengan melihat *Abs Error* data. Data yang nilai *error*-nya tinggi ($>10\%$) kemudian dianalisis kembali, apakah terdapat data yang *anomaly* atau *error*. Data yang *anomaly* dan data yang *error* akan terlihat

ketika data tersebut jauh dari garis *scatter plot* semakin dekat data pada garis maka semakin baik datanya. Kemudian melakukan penghapusan data yang diidentifikasi *error*. Dalam penghapusan data perlu berhati-hati agar data yang berisi informasi penting pada bawah permukaan tidak ikut terhapus.

8. Setelah dianggap bagus kemudian melakukan inversi kembali untuk mendapatkan penampang 2D.
9. Setelah data melalui proses pengolahan di *Software Res2Dinv*, hasilnya akan berupa file dengan format (xyz). Langkah pertama adalah membuka file ini menggunakan *Microsoft Excel*. Dalam file tersebut, nilai koordinat x, koordinat y, elevasi, dan resistivitas perlu diambil dan disusun dalam satu tabel dengan *header* yang jelas, seperti XPT, YPT, ZPT, dan RES.
10. Data yang telah diolah kemudian diimpor ke *Software Datamine*.

2.3.4 Interpretasi Data

Interpretasi hasil pengukuran ERT dilakukan berdasarkan pengetahuan akan kondisi geologi daerah penelitian seperti batuan dasar, tingkat serpentinisasi, topografi, tektonik yang dapat mempengaruhi struktur, porositas, permeabilitas daerah penelitian yang dapat mempengaruhi nilai resistivitas rendah dan tinggi.

Penelitian ini dilakukan interpretasi batas lapisan limonit, saprolit berdasarkan korelasi nilai resistivitas dan data hole. Lapisan limonit merupakan lapisan atas yang secara *layer resistivity* memiliki resistivitas yang tinggi dengan resistivitas berada pada nilai 300 Ωm hingga 800 Ωm , resistivitas diatas 800 Ωm mengindikasikan keterdapatan silika. Untuk lapisan saprolit merupakan lapisan yang berada pada *layer* kedua, lapisan ini memiliki nilai resistivitas dengan nilai 50 Ωm hingga 200 Ωm . Resistivitas yang berada pada rentang 200 Ωm hingga 300 Ωm pada lapisan saprolit mengindikasikan keterdapatan zona silika, hal ini dikarenakan silika merupakan suatu senyawa yang bersifat resistan. Pada lapisan *bedrock* memiliki rentang nilai resistivitas berada pada nilai >300 Ωm atau bisa dikatakan *very resistivity* (Kumarawarman Budhi, Wanni, 2015).

Langkah selanjutnya mencatat nilai resistivitas, kedalaman dan persentasi silika pada setiap data bor yang terdapat silika. Setelah itu membuat histogram dari distribusi zona silika pada lapisan limonit dan saprolit kemudian menganalisis distribusi zona silika pada lapisan limonit dan saprolit berdasarkan korelasi nilai resistivitas dan data bor yang telah di catat. Interpretasi dilakukan dengan filtering kontur kemudian melihat kontur yang tumpang tindih dengan driilhole yang mengandung silika. Setelah itu gabung hasil analisis silika dari setiap *line* dengan cara *combine* kemudian *cut* dengan *boundary* yang sudah dibuat lalu simpan dalam format csv.

2.3.5 Perhitungan Volume

Penelitian ini dilakukan perhitungan volume limonit dan saprolit berdasarkan korelasi data resistivitas dan data drillholes. Metode perhitungan volume yang digunakan adalah *cut and fill*. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat

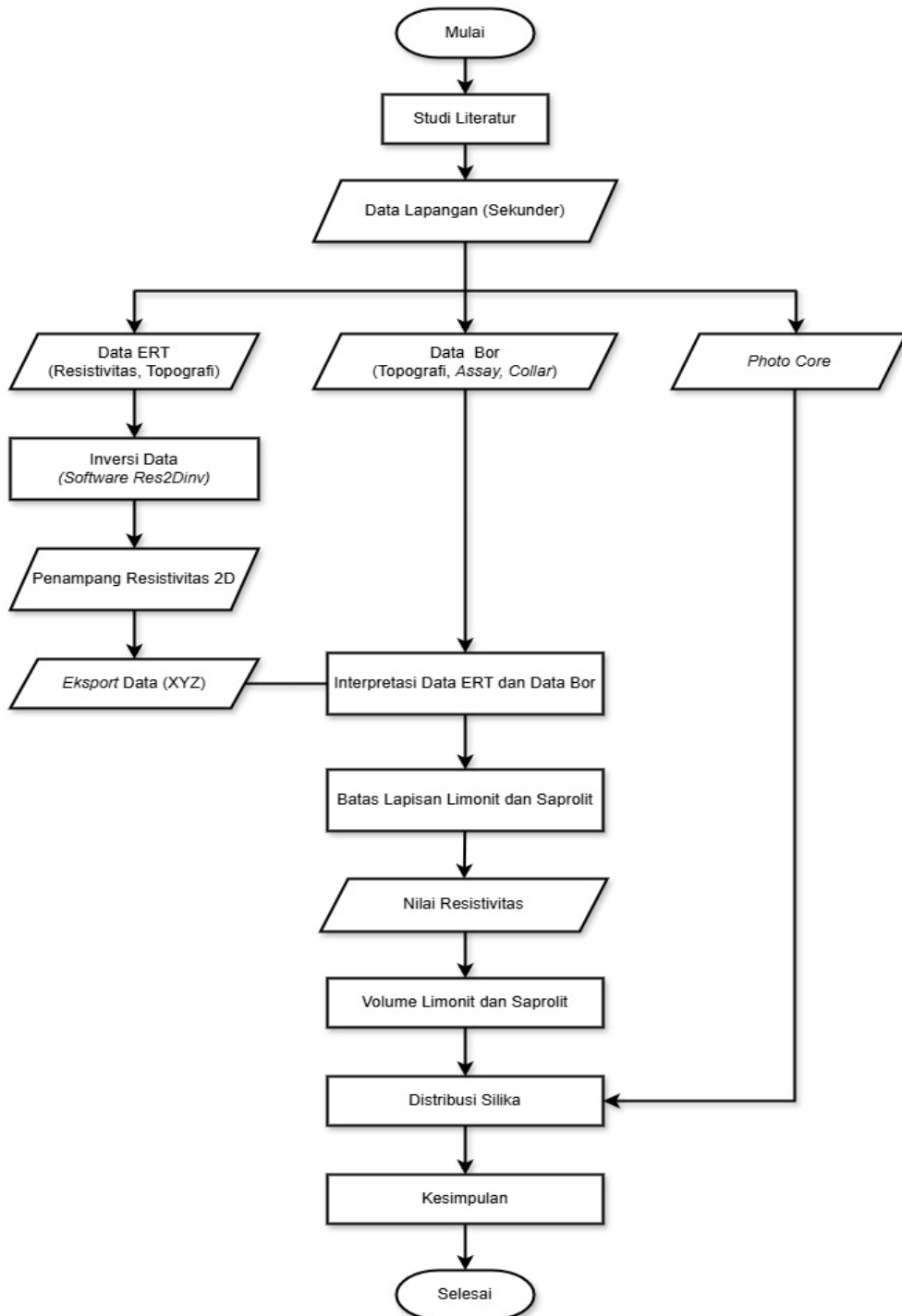
cross section penampang keseluruhan dalam bentuk 3D, kemudian membuat *boundary area* yang akan dihitung volumenya. Selanjutnya topografi, *limonit bottom*, *saprolit bottom* dipotong sesuai dengan *boundary* yang sudah dibuat. Setelah itu membuat *wireframe* masing-masing lapisan.

Tahap berikutnya yaitu *cut and fill* dengan menghitung ketebalan lapisan limonit dengan menggabungkan batas topografi dan batas limonit kemudian dilakukan *cut and fill* di *software datamine* untuk mendapatkan volume limonit, dengan cara yang sama dilakukan dengan memasukkan batas limonit dan saprolit untuk mendapatkan volume saprolit. Metode *cut and fill* dalam perangkat lunak Datamine digunakan untuk menghitung dan memodelkan volume material yang harus dipotong (*cut*) dan diisi (*fill*) selama operasi penambangan.

Ketika volume limonit dan saprolit telah di dapatkan selanjutnya membuat pemodelan 3D lapisan limonit dan saprolit pada *software Leapfrog* dengan langkah-langkah sebagai berikut,

1. Buka *software leapfrog*.
2. *Import Mesh*, memasukkan data berupa volume limonit dan saprolit dengan yang berupa *wireframe triangulasi*, kemudian *ceklis consistently orient faces*, *remove non-vertex points*, *remove degenerate faces*, dan *orient concentric parts* lalu klik ok.
3. Tarik data limonit dan saprolit pada *scene view* maka akan terlihat volume dari lapisan limonit dan saprolit, atur warna limonit menjadi merah dan saprolit menjadi hijau.
4. *Import polyline* lalu pilih hasil *combine silica* pada lapisan limonit dan saprolit.
5. Tarik *polyline* ke dalam *scene view* maka akan muncul tampilan distribusi silika pada lapisan limonit dan saprolit.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 11. Bagan Alir Penelitian