

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Ahmad (2009), nikel laterit adalah tanah residu yang terbentuk di atas batuan ultramafik melalui proses pelapukan kimia dan pengayaan supergen. Dan nikel laterit juga diartikan sebagai endapan bijih nikel yang mengandung Ni dengan kadar tinggi dan terbentuk di daerah tropis dan subtropis. Laterit memiliki tiga lapisan yaitu limonit, saprolit, dan *bedrock* (batuan dasar). Kandungan Ni di *bedrock* (batuan dasar) berkisar 0,28% dan dapat mengalami kenaikan hingga 1% sebagai konsentrasi sisa (*residual concentration*) pada lapisan limonit.

PT. Vale Indonesia merupakan perusahaan penghasil nikel terbesar di Indonesia. PT. Vale Indonesia sendiri memiliki beberapa cabang di beberapa wilayah, salah satu lokasi penambangan nikel milik PT. Vale Indonesia yaitu site Pomalaa di Sulawesi Tenggara. Dalam kegiatan eksplorasi nikel laterit di PT. Vale Indonesia menggunakan salah satu metode geofisika yaitu metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) berfungsi untuk memperoleh informasi mengenai kondisi material bawah permukaan berdasarkan persebaran nilai resistivitas. Proses metode ini dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah, kemudian mencatat respon nilai resistivitas batuan di bawah permukaan.

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan di area Pomalaa oleh Kamaruddin dkk (2018) yang berjudul “Profil Endapan Laterit Nikel di Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara”, pada penelitian tersebut didapatkan informasi terkait kondisi geologi dan karakteristik profil nikel laterit di area Pomalaa. Dan salah satu penelitian terkait penggunaan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) dalam eksplorasi nikel laterit yaitu penelitian yang dilakukan oleh Asyifah (2024) yang berjudul “Analisis Perbandingan Karakteristik Profil Nikel Laterit *East Block* dan *West Block* Berdasarkan Data *Electrical Resistivity Tomography* (ERT)”.

PT. Vale Indonesia IGP Pomalaa diresmikan pada tanggal 27 November 2022, ini menjadi hal yang baru untuk area eksplorasi IGP Pomalaa. Olehnya itu, karakterisasi nilai resistivitas di wilayah eksplorasi PT. Vale Indonesia IGP Pomalaa menjadi kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi dalam menentukan area prospek tambang. Dalam tahap eksplorasi, untuk menentukan estimasi cadangan nikel digunakan korelasi antara metode *drilling* (pengeboran) dan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini hadir dengan judul “Aplikasi *sistivity Tomography* (ERT) Dalam Karakterisasi Profil Nikel Laterit Pomalaa”.



1.2 Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

- Menentukan batas lapisan profil nikel laterit berdasarkan interpretasi metode resistivitas yang dikorelasikan dengan data *drillholes*.
- Karakteristik profil nikel laterit area Pomalaa berdasarkan geokimia terhadap nilai resistivitas.

1.3 Manfaat

Setelah dilakukannya penelitian ini, maka didapatkan informasi mengenai batas lapisan profil nikel laterit berdasarkan interpretasi metode resistivitas yang dikorelasikan dengan data *drillholes* serta karakteristik profil nikel laterit area Pomalaa berdasarkan geokimia terhadap nilai resistivitas.

1.4 Landasan Teori

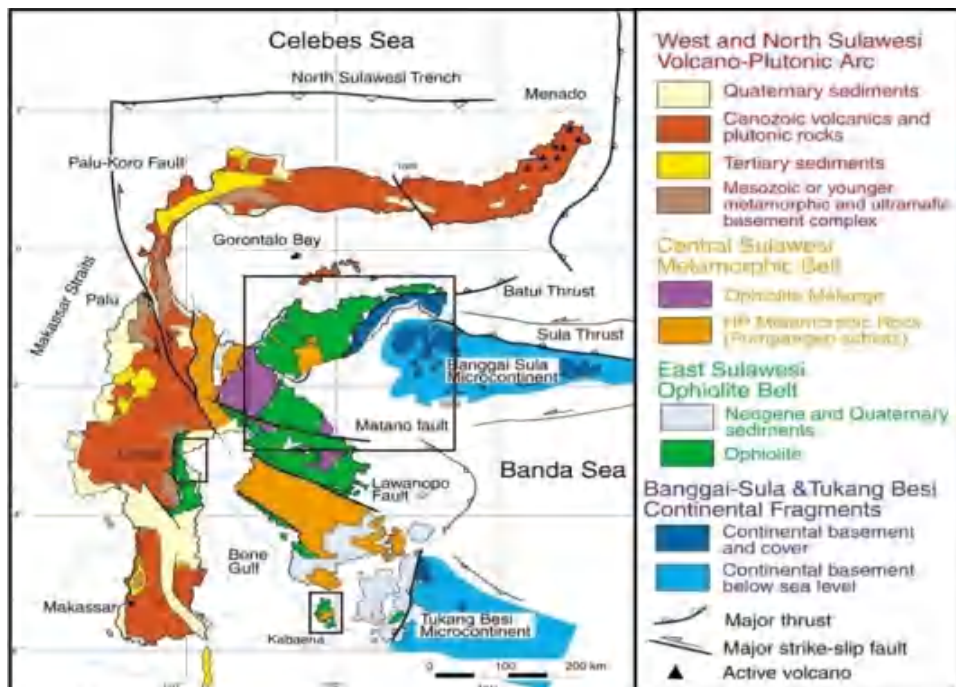
1.4.1 Geologi Regional

Pertemuan antara tiga lempeng Indo-Australia, Pasifik dan Asia menghasilkan Kumpulan kompleks kepulauan, cekungan marginal, fragmen benua dan ofiolit yang tercampur oleh pengaturan batas lempeng di Indonesia bagian timur. Konvergensi lempeng Indo-Australia dari baratdaya sebagian besar telah diserap sepanjang system parit Busur Sunda, sedangkan konvergensi Lempeng Pasifik dari timur telah berkembang oleh pergerakan sekuensial di sepanjang deretan lapisan subduksi dan pusat penyebaran yang berumur pendek membentuk kompleks pertemuan antar lempeng di wilayah tersebut (Kamaruddin dkk., 2018).

Menurut Sukanto (1975) melakukan penelitian mengenai proses tektonik dan geologi, Pulau Sulawesi dan sekitarnya dan membaginya menjadi 3 Mandala Geologi dalam **Gambar 1**, yaitu:

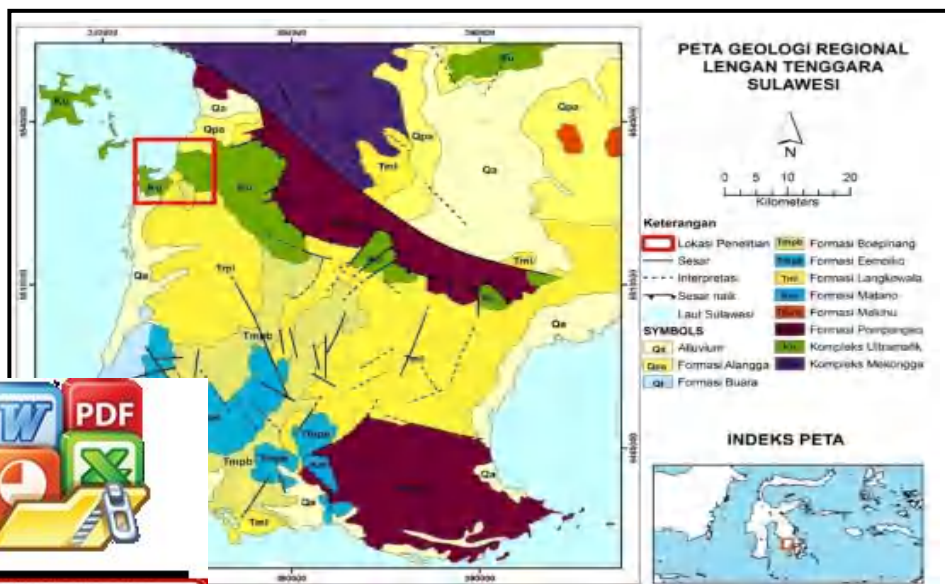
- Mandala Geologi Sulawesi Barat, dicirikan oleh adanya jalur gunungapi paelogen, intrusi Neogen dan sedimen mesozoikum.
- Mandala Geologi Sulawesi Timur, dicirikan oleh batuan ofiolit yang berupa batuan ultramafik peridotit, dunit, piroksenit dan serpentinit yang diperkirakan berupa kapur.
- Mandala Geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf permo-karbon, batuan plutonik, yang bersifat granitis berumur trias dan batuan sedimen mesozoikum.





Gambar 1 Peta Geologi Regional Pulau Sulawesi (Sukanto, 1975)

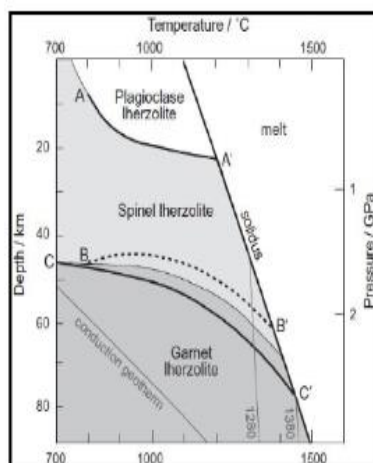
Secara geologi, batuan ultramafik di daerah Pomalaa didominasi oleh peridotit yang umumnya berupa harzburgit dan dunit yang sebagian telah mengalami serpentinisasi. Komposisi mineral penyusun batuan peridotit didominasi oleh olivin, klinopiroksen dan orthopiroksen. Kandungan olivin pada harzburgit yang terserpentinisasi merupakan sumber yang baik untuk terbentuknya endapan nikel laterit (Kamaruddin dkk., 2018). Peta Geologi regional Pomalaa dapat dilihat pada **Gambar 2**.



1.4.2 Nikel Laterit

Nikel laterit secara etimologi berasal dari bahasa latin yaitu “*Later*” yang berarti bata. Nikel laterit sendiri merupakan produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik dan ubahannya (serpentinit). Proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi. Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah batuan induk (batuan ultrabasa). Nikel mempunyai nilai ekonomis yang tinggi karena banyak digunakan dalam industri berat, kendaraan bermotor, sebagai bahan pembuatan baja tahan karat (*stainless steel*), peralatan laboratorium, dan lain-lain. Nikel diperoleh dari endapan yang terbentuk akibat proses oksidasi dan pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,2 - 0,4 % (Santoso & Subagio, 2018).

Endapan laterit dapat didefinisikan sebagai produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, dimana terdapat berbagai mineral asli atau primer yang mengalami ketidakstabilan karena adanya air, kemudian larut dan membentuk mineral baru yang lebih stabil (Kurniadi., 2018). Batuan ultrabasa hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak Samudra (Kadurusman, 2009). Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO₂ dari komposisinya. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe dan Mg (Ahmad, 2006).



Gambar 3 Stabilitas Plagioklas, Spinel, dan Garnet Lherzolit pada diagram suhu dan tekanan (Gill., 2010)



Batuan ultrabasa yang berasal dari manapun cenderung akan mengalami alterasi an ortopiroksen akan bereaksi dengan larutan fluida panas yang < mineral serpentin. Batuan ultrabasa yang didominasi oleh mineral menjadi serpentin yang disebut dengan serpentinit.

1.4.2.1 Jenis – Jenis Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik merupakan batuan yang mengandung batuan olivine magnesian (Mg_2SiO_4) yang tinggi dan rendah SiO_2 (kurang dari 45%) (Hutabarat, 2015). Batuan ultramafik tersusun atas mineral primer olivine, piroksen dan hornblende yang jika dalam keadaan segar memiliki warna gelap. Ketika mineral-mineral primer tersebut terurai akan menyebabkan unsur-unsur yang terbawa dalam larutan kemudian akan mengendap pada suatu tempat tertentu. Dalam proses ini berjalan secara lambat dan dinamis, sehingga terbentuk profil laterit yang merupakan pengembangan dari tahapan lateralisasi (Hasria dkk, 2020). Menurut (Puspita dkk, 2022) jenis – jenis batuan ultramafik terdiri dari:

1. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, yang umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari harzburgit, lherzolit, werlit, dan dunit. Peridotit tersusun dari mineral-mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anhedral. Komposisi dari batuan ini terdiri dari olivin dan piroksin.

2. Piroksinit

Piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah piroksin.

3. Serpentin

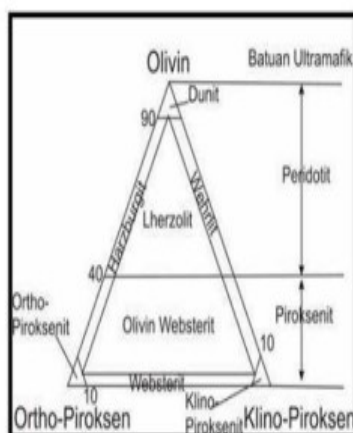
Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral – mineral olivin dan piroksin jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit. Serpentinisasi pada mineral olivine yaitu suatu pola mineral dengan komposisi $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$, terbentuk melalui alterasi hidrotermal dari mineral feromagnesia seperti olivine, piroksen dan amfibol. Serpentinisasi pada olivine memerlukan penambahan air, pelepasan magnesita atau penambahan silika, pelepasan besi (Mg, Fe) pada olivine, konversi pelepasan besi dari bentuk ferrous (Fe^{2+}) ke ferri (Fe^{3+}) ke bentuk magnetit (Ahmad, 2002).

4. Dunit

Dunit menurut (William dkk., 1954) merupakan batuan yang hampir murni olivin (90-100%). Sedangkan menurut (Ahmad, 2002) dunit merupakan mineral yang komposisinya itu hampir sepenuhnya monomineralik olivine (umumnya magnesit olivine), adapun mineral lainnya yaitu kromit, magnetit, ilmenite, dan spinel. Dunit terbentuk pada saat temperatur tinggi dalam kondisi padat atau hampir padat di laturan magma, dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan sudah siap Bersatu membentuk massa olivine anhedral yang saling mengikat (William dkk,



asifikasi penamaan batuan beku ultramafik menurut Streckeisen bahwa batuan intrusi dan ekstrusi dipisahkan. Klasifikasi ini didasarkan kandungan mineraloginya, yang terbagi dalam tiga jenis rthopiroksen, dan klinopiroksen (**Gambar 3**).



Gambar 4 Klasifikasi batuan ultramafik (Streckeisen, 1975)

1.4.2.2 Faktor- Faktor Pembentukan Nikel Laterit

Faktor – faktor yang mempengaruhi pembentukan laterit nikel, yaitu sebagai berikut (Ahmad, 2009):

1. Batuan asal
Batuan asal yaitu 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. Struktur
Struktur yang sangat dominan yaitu struktur kekar (*joint*) dibandingkan terhadap struktur sesarnya. Dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.
3. Iklim
Ketika terjadinya pergantian musim akan menimbulkan perbedaan temperatur yang cukup berbeda sehingga dapat membantu terjadinya pelapukan mekanis. Suhu atau temperatur yang tinggi akan sangat mempengaruhi dan mempercepat proses pelapukan kimia yang merupakan kondisi yang sangat ideal dalam pengembangan laterit.
4. Topografi
Daerah dengan topografi yang 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



erit nikel adalah proses yang sangat lama, membutuhkan waktu an tahun. Waktu yang lama ini diperlukan untuk pengayaan nikel t melalui proses pelapukan dan pengendapan kembali.

kimia dan vegetasi

mengandung CO₂ sangat penting dalam proses pelapukan kimia.

us 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. Vegetasi juga berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

TROPICAL LATERITE PROFILE						
SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	Approximate analysis, %				
		Al	Ca	Fe	SiO ₂	Hyd
	Limonite	<0.8	<0.1	>70	>1	<0.1
	"Limonite"	0.8	0.1	40	2	0.1
		10	10	10	10	10
		1.5	0.2	30	3	3
	Saprolite	1.5	0.02	25	1	3
		10	10	10	10	10
		1.8	0.1	40	2	15
	Bedrock	1.8	0.1	15	15	15
		10	10	10	10	10
	Bedrock	0.05	0.02	5	0.2	35

Gambar 5 Profil endapan nikel laterit (Ahmad, 2008)

1.4.2.3 Profil Nikel Laterit

Secara umum, profil nikel laterit terbagi menjadi 3 lapisan, namun untuk kepentingan eksplorasi lapisan ini dibuat lebih rinci.

1. Lapisan Limonit

Lapisan limonit ditandai oleh warna coklat dengan gradasi kuning hingga hitam. Teksturnya bervariasi dari halus sampai kasar, dengan kekerasan mulai dari lunak sampai sedang. Di dalam lapisan ini terjadi proses mineralisasi. Lapisan limonit memiliki elastisitas lebih tinggi dibandingkan lapisan lainnya. Di lapisan ini, sering dijumpai fragmen batuan asal. Mineral utama yang ditemukan di lapisan limonit meliputi gutit, mineral lempung magnetit, kromit, dan hematit. Saat mendekati lapisan saprolit, warna lapisan limonit berubah secara bertahap dari coklat kekuningan menjadi coklat kehijauan, hingga akhirnya menjadi hijau. (Lintjewas dkk., 2019). Lapisan limonit terbagi menjadi dua yaitu:

- Red Limonit** : kaya dengan mineral Hematite (Besi Oksida) yang berwarna merah kecoklatan hingga merah kehitaman.
- Yellow Limonit** : Kaya akan mineral Gheotite dan kelompok mineral besi hidroksida lainnya yang berwarna kuning hingga orange.

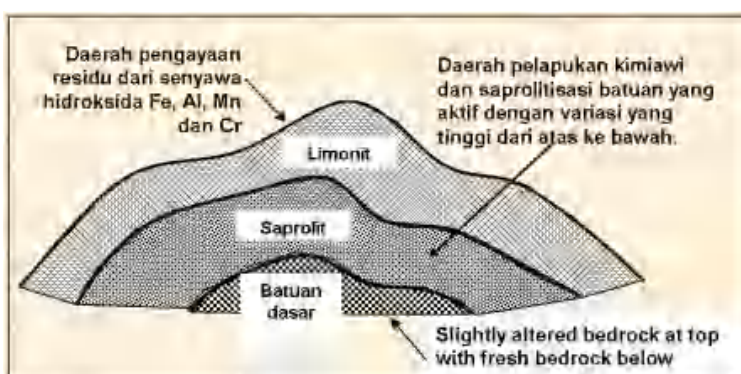
2. Lapisan Saprolit



Lapisan saprolit memiliki warna coklat kehitaman hingga coklat kehijauan, dengan dari halus hingga kasar. Kekerasannya berkisar dari lunak hingga ini masih terlihat relik mineral batuan asal atau fragmen kuarsa. wah, ukuran butir menjadi lebih kasar dengan adanya selingan ang ditemukan semakin intensif ke arah bawah, dengan adanya l olivin. Mineral yang terdapat di lapisan ini meliputi lisardit, enstatit, n urat yang terdiri dari mineral kuarsa. (Lintjewas dkk., 2019). gi menjadi tiga yaitu:

- a. *Earthly Saprolit* : mengalami pelapukan lanjutan, boulder <10%, kaya akan mineral Ni – Mg Hydrosilicate
 - b. *Rocky Saprolit* : mengalami pelapukan tingkat menengah dengan boulder 10 – 50%
 - c. *Saprolit rock* : mengalami pelapukan tingkat awal, biasanya terdapat urat-urat garnierite/silica, boulder >50%.
3. Lapisan Batuan Dasar (*Bedrock*)

Bedrock adalah lapisan terbawah pada lapisan laterit, yang merupakan batuan asal dari endapan nikel laterit berupa batuan peridotit yang bersifat masif. *Bedrock* yang ditemukan di daerah Palangga berwarna abu-abu kehijauan, dengan banyak rekahan yang biasanya telah terisi oleh mineral kuarsa yang penyebarannya tidak merata. Mineral-mineral yang terkandung meliputi lisardit, enstatit, antigorit, augit, atau olivin. (Lintjewas dkk., 2019).



Gambar 6 Profil Nikel Laterit (Ahmad, 2006)

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 (Al-Amri, 2018). Metode geolistrik terdiri dari beberapa metode seperti metode geolistrik resistivitas, IP (*Induced Polarization*), SP (*Self Potential*), dan lainnya. Dalam metode ini menerapkan prinsip bahwa lapisan batuan memiliki nilai tahanan jenis (resistivitas) yang berbeda. Metode geolistrik juga digunakan untuk mengetahui secara optimal kondisi bawah permukaan dalam melakukan reklamasi diperlukan salah satu metode yang efektif untuk dapat memetakan struktur bawah permukaan bumi terkait persebaran nilai resistivitas di suatu daerah (Syamsuddin dkk., 2021).

Survei permukaan resistivitas (geolistrik) didasarkan pada prinsip bahwa distribusi potensial listrik di dalam tanah sekitar elektroda pembawa arus tergantung pada distribusi tanah dan batuan sekitarnya. Pengukuran kondisi ini adalah untuk menerapkan arus listrik langsung atau searah atau bolak-balik (DC) antara dua elektroda ditanamkan di dalam tanah dan untuk mengukur potensial antara dua elektroda tambahan yang tidak membawa arus potensial sejalan antara elektroda, tetapi pada prinsipnya elektroda tambahan dimana saja. Arus yang digunakan adalah nilai arus bolak balik atau



Alternating Current (AC) frekuensi rendah ($\pm 20 \text{ Hz}$). Arus bolak – balik adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik (William, 2007).

Metode resistivitas memiliki beberapa batasan yang mempengaruhi kedalaman estimasi material serta tingkat akurasi. Nilai pengukuran yang diperoleh di setiap lokasi merupakan rata-rata tertimbang dari efek yang ditimbulkan oleh volume material yang lebih besar, di mana bagian terdekat memberikan kontribusi paling signifikan. Data geolistrik biasanya disajikan dan diinterpretasikan dalam bentuk nilai resistivitas semu (ρ_a). Tahanan jenis semu didefinisikan sebagai resistivitas, yaitu nilai elektrik yang homogen dan isotropik, yang menghasilkan hubungan antara perbedaan potensial untuk pengaturan tertentu dan jarak elektroda.

1.4.3.1 Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Teori yang mendasari metode resistivitas adalah hukum Ohm yang dicetuskan oleh George Simon Ohm (1787 – 1854) yang merumuskan hubungan antara kuat arus listrik (I), hambatan (R), dan beda potensial (V) (Yasu & Hadi, 2021). Hukum Ohm menyatakan bahwa beda potensial yang timbul di ujung-ujung suatu medium berbanding lurus dengan arus listrik yang mengalir pada medium tersebut. Selain itu, tahanan listrik berbanding lurus dengan panjang medium dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Secara matematis kedua pernyataan hukum Ohm dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V \sim I \text{ atau } V = I \times R \quad (1)$$

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

Prinsip kerja dari survei resistivitas adalah mengalirkan arus listrik searah (DC) ke dalam bumi melalui dua elektroda arus yang ditancapkan pada dua titik permukaan tanah lalu mengukur respon beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain di permukaan bumi dimana dua elektroda potensial ditempatkan dalam suatu susunan tertentu (Syamsuddin, 2007).

1.4.3.2 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropis

Menurut Telford dkk (1990) apabila suatu arus kontinu dialirkan ke dalam medium yang homogen isotropis, maka ukuran elemen arus (dI) yang mengalir melalui suatu elemen luasan ($d\vec{A}$) dengan rapat arus $\vec{J}$, dapat dinyatakan dalam persamaan:

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

terdapat hubungan antara kerapatan arus $\vec{J}$ dengan medan listrik E yang dijelaskan oleh hukum Ohm:

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

dengan $\vec{E}$ merupakan medan listrik dalam (volt/meter) dan σ adalah konduktivitas medium dalam (S/m), karena medan listrik tidak lain adalah gradien potensial skalar (V)



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

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla} V \quad (6)$$

dalam medium homogen isotropis, aliran arus listrik mengikuti prinsip hukum kekekalan muatan yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (7)$$

dengan $\vec{J}$ merupakan kerapatan arus listrik (A/m^2), dan ρ adalah kerapatan muatan (C/m^3). Menurut Teorema Gauss, integral volume dari divergensi arus listrik ($\vec{\nabla} \cdot \vec{J}$) melalui permukaan tertutup sama dengan jumlah total muatan dalam volume tersebut sehingga tidak ada sumber arus. Maka dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \quad (8)$$

maka diperoleh,

$$\vec{\nabla} \cdot (-\sigma \vec{\nabla} V) = 0 \quad (9)$$

$$\vec{\nabla} \sigma \cdot \vec{\nabla} V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (10)$$

jika medium homogen isotropis maka konduktivitas (σ) dianggap konstan, maka suku pertama pada persamaan (10) akan menjadi nol sehingga suku kedua memenuhi persamaan Laplace yang disebut potensial harmonik:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (11)$$

persamaan ini menunjukkan bahwa potensial listrik dalam medium homogen isotropis dan merupakan persamaan dasar teori geolistrik tahanan jenis (resistivitas).

1.4.3.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Dalam Bumi

Dalam model homogen isotropis yang mana elektroda arus ditancapkan di dalam bumi yang berfungsi sebagai sumber injeksi arus listrik ke segala arah dalam bumi. Pada setiap titik equipotensial dalam bumi yang membentuk permukaan bola yang memenuhi persamaan Laplace koordinat bola (r, θ, ϕ) sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (12)$$

pada setiap titik equipotensial dalam bumi membentuk permukaan bola yang mempunyai jari-jari r , sehingga arus yang keluar melalui luas permukaan bola dengan jari-jari r , maka arah θ dan ϕ diabaikan sehingga persamaan Laplace koordinat bola disederhanakan menjadi:

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (13)$$

persamaan (13) kemudian diintegrasikan sebanyak dua kali sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\int \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = \int 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = P \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (14)$$

$$\int dV = \int \frac{P}{r^2} dr \rightarrow V = -\frac{P}{r} + Q \quad (15)$$

dengan P dan Q adalah konstanta. Sehingga menerapkan batas bawah potensial pada jarak tak berhingga ($r = \infty$) memiliki harga sama dengan nol $V = 0$ dan konstanta Q (15) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (16)$$

Arus di dalam bumi homogen isotropis, maka medan-medannya membentuk bola. Sehingga jumlah arus yang menembus permukaan bola. Dengan $A = 4\pi r^2$ dan disubstitusi persamaan (6) maka didapatkan:

$$I = A\vec{J} = 4\pi r^2 (-\sigma \vec{\nabla} V) \quad (17)$$



karena V dalam fungsi r maka $\vec{\nabla}V = \frac{dV}{dr}$, kemudian persamaan (16) disubstitusikan kedalam persamaan (17) sehingga diperoleh:

$$I = -4\pi r^2 \sigma \frac{P}{r^2} = -4\pi \sigma P \quad (18)$$

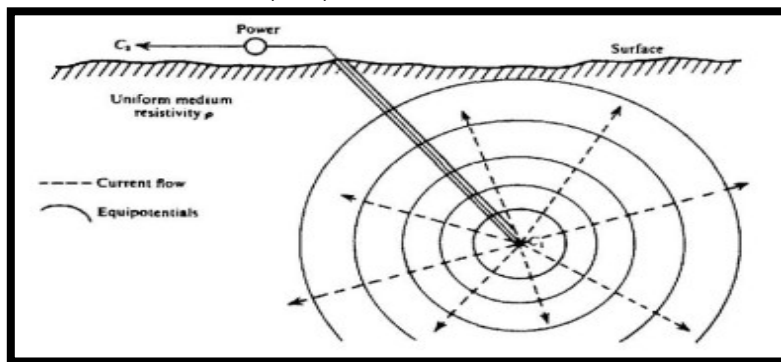
karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$ maka persamaan (18) menjadi:

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} P \rightarrow P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (19)$$

substitusikan persamaan (19) pada persamaan (16) sehingga diperoleh:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (20)$$

dengan V adalah potensial listrik (V), ρ adalah resistivitas (Ωm), I adalah kuat arus listrik (A), dan σ adalah konduktivitas (S/m).

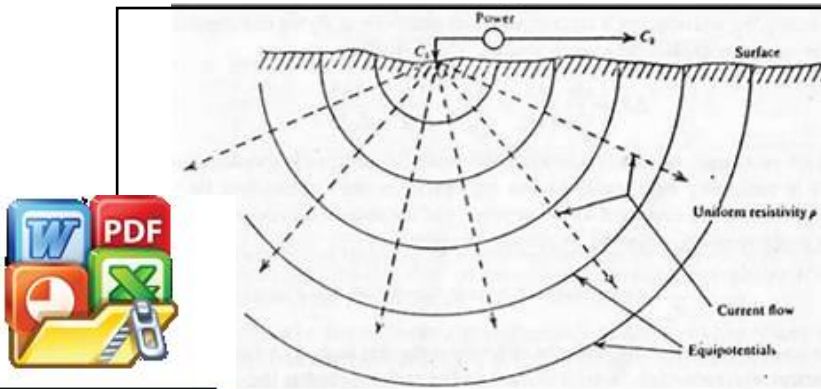


Gambar 7 Sumber arus di dalam bumi (Telford dkk., 1990)

1.4.3.4 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Permukaan Bumi

Arus tunggal yang diinjeksikan ke permukaan bumi homogen isotropik dan nilai konduktivitas udara sama dengan nol, maka akan membentuk bidang ekuipotensial berbentuk setengah bola seperti yang ditampilkan pada **Gambar 8**, dengan luas menjadi $2\pi r^2$ sehingga persamaan (20) menjadi (Telford dkk., 1990).

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (21)$$



8 Sumber arus di permukaan bumi (Telord dkk., 1990)

Adapun nilai resistivitas suatu material di dalam bumi dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut (Telford dkk., 1990):

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

Material	Resistivitas (Ωm)
Air Tanah (<i>ground water</i>)	05 – 10
Topsoil	170 – 250
Gabro	100 – 500000
Batu Pasir (<i>Sandstone</i>)	200 – 8000
Gamping (<i>Limestone</i>)	50 – 10000000
Basal (<i>Basalt</i>)	1000 – 10000000
Kwarsa (<i>Quartz</i>)	500 – 800000
Peridotit	3000 (wet) – 650000 (dry)
Batu Serpih (<i>Shale</i>)	20 – 2000
Konglomerat	6000 – 20000
Kerikil (<i>Gravel</i>)	100 – 600
Lempung (<i>Clay</i>)	1 – 100
Limonite	10000 – 10000000
Laterite	800 – 1500
Laterite Soil	120 – 750

Adapun untuk nilai resistivitas pada profil nikel laterit di area PTVI tbk Sorowako, Luwu Timur dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2 *Geological & Geoelectrical Characterization* PTVI (Latuconsina, 2023)

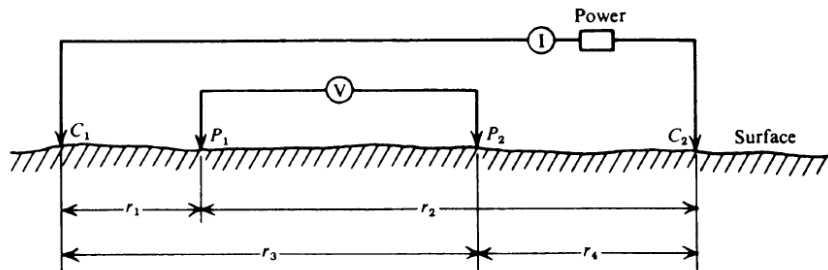
Layer	Resistivitas (Ωm)
Limonit	100 - 800 Ωm
Saprolit	20 - 300 Ωm
Bedrock	> 200 Ωm



Arus Ganda di Permukaan Bumi

olistrik resistivitas ini menggunakan dua buah elektroda arus dan potensial seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 9**. Namun ada k yang menggunakan kurang dari dua pasang elektroda, baik itu

hanya elektroda arus atau hanya sepasang elektroda (satu elektroda arus dan satu elektroda potensial) (Telford dkk., 1990).



Gambar 9 Potensial Sumber Arus Ganda di Permukaan Bumi (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 P₁ yang ditimbulkan arus C₁ dan C₂ adalah (Telford dkk., 1990).

$$V_{P_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (22)$$

dan potensial total di titik P₂ yang ditimbulkan arus C₁ dan C₂ adalah:

$$V_{P_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (23)$$

beda potensial antara P₁ dan P₂ ($V_{P_1} - V_{P_2}$) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2} \rightarrow \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (24)$$

dengan,

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \quad (25)$$

sehingga diperoleh,

$$\Delta V = \frac{I\rho}{K} \quad (26)$$

dengan:

ΔV = beda potensial antara P₁ dan P₂ (Volt)

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



an P₁ (m)

in P₁ (m)

in P₂ (m)

in P₂ (m)

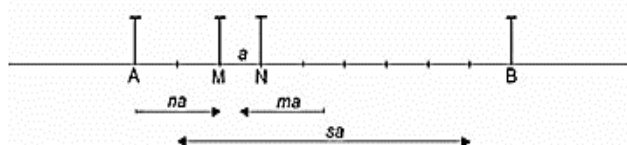
1.4.4 Electrical Resistivity Tomography (ERT)

Salah satu metode geolistrik yang dapat diterapkan adalah *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) (Ungureanu dkk., 2017). *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan jenis dan susunan material di permukaan bumi berdasarkan distribusi spasial nilai resistivitasnya (William, 2007). Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) digunakan untuk mendapatkan data yang lebih detail daripada menggunakan metode VES (*Vertical Electrical Sounding*).

Prinsip *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) yaitu teknik pengukuran resistivitas listrik bawah permukaan. Pada tahap ini, elektroda ditempatkan di sepanjang jalur yang telah dibersihkan, dan arus listrik dialirkan untuk mengukur resistivitas material tanah atau batuan di bawah permukaan. 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.

1.4.5 Konfigurasi Gradient

Konfigurasi gradient merupakan konfigurasi *non-konvensional* yang dapat digunakan untuk survei resistivitas 2D atau 3D dengan cepat dan hemat biaya tanpa perlu dilakukan kepadatan data (Aizebeokhai dkk., 2014). Hal ini dikarenakan konfigurasi ini sangat sesuai digunakan dalam sistem *multichannel* yang dapat merekam banyak titik data secara simultan untuk setiap injeksi arus (Dahlin & Zhou, 2004). Selain baik digunakan dalam sistem *multichannel*, konfigurasi gradient juga merupakan alternatif yang baik untuk akuisisi data *single channel* (Dahlin & Zhou, 2006).



Gambar 10 Susunan Konfigurasi Gradient (Dahlin & Zhou, 2006).

Survei gradient multi-elektroda dilakukan dengan menginjeksi elektroda arus dengan pemisah $(s + 2)na$ seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 10**, dimana jarak antar elektroda adalah (na) . selanjutnya elektroda potensial berada ditengah elektroda arus dengan jarak a . Terdapat faktor pemisah s , yang didefinisikan terhadap jarak antar elektroda AB . Sedangkan faktor (n) didefinisikan sebagai banyaknya elektroda. Jika diketahui bahwa jarak $r_1 = na$, $r_2 = (n+1)a$, $r_3 = (s+2-n)a$ dan $r_4 = (s+1-n)a$, substitusi jarak tersebut ke persamaan (26), maka faktor geometri konfigurasi gradien dirumuskan sebagai berikut:



$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{na} - \frac{1}{(s+2-n)a} - \frac{1}{(n+1)a} + \frac{1}{(s+1-n)a}} \quad (27)$$

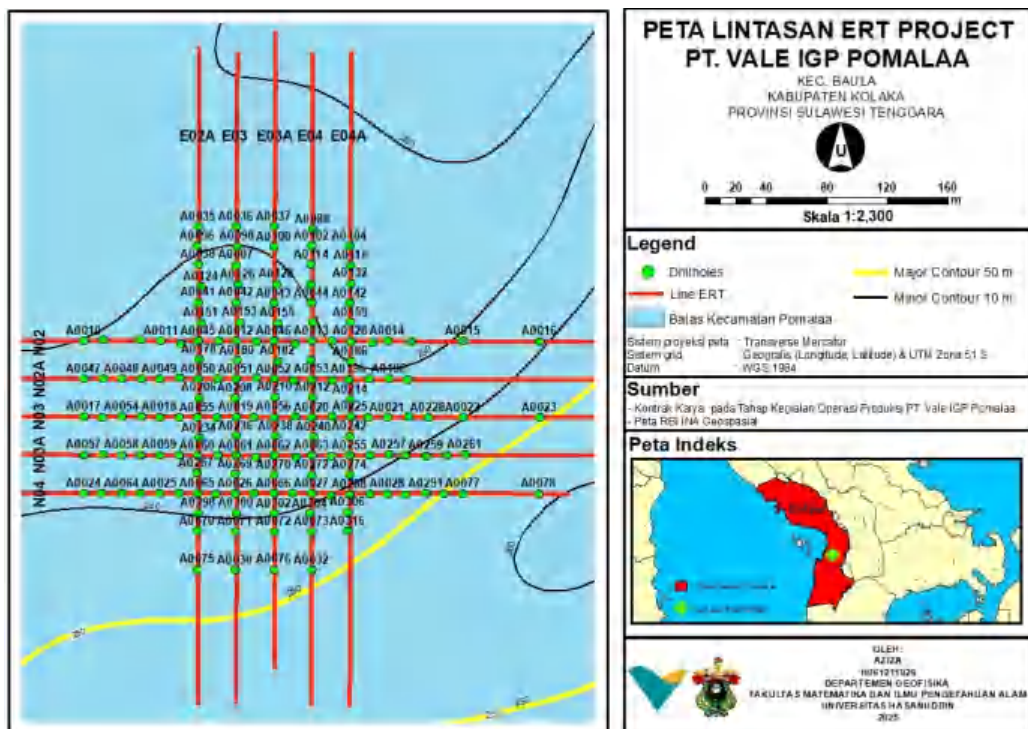
as semu (ρ_a) ini nantinya akan diproses lebih lanjut melalui proses oleh model resistivitas di bawah permukaan (Dahlin & Zhou, 2006).

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada wilayah kuasa pertambangan PT. Vale Indonesia, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini dilakukan di daerah blok "AZ".



Gambar 11 Lokasi Penelitian

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 Excel*.

2.2.2 Bahan

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

1. Data ERT



ukuran ERT konfigurasi *Gradient* yang digunakan sebanyak 10 terdiri dari 5 lintasan *East West* dan 5 lintasan *North South*. Panjang 1 meter dengan spasi antar elektroda yaitu 7 meter. Adapun data ri dari nilai resistivitas dan topografi setiap lintasan.

2. Data Bor

Data bor yang digunakan sebanyak 162 *holes* yang *overlap* dengan 10 lintasan ERT meliputi data *assay* dengan *collar*. Adapun *historical* data bor yang *overlap* dengan data ERT yaitu:

- a. Data bor spasi 50 m pada tahun 2006 sebanyak 22 Bor.
- b. Data bor *project* CRA spasi 25 m pada tahun 2007 sebanyak 38 Bor.
- c. *Infil Drilling* spasi 12,5 pada tahun 2022 sebanyak 102 Bor.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahap Kajian Pustaka

Tahapan ini meliputi pengumpulan berbagai literatur terkait kondisi geologi daerah penelitian seperti genesa pembentukan nikel laterit serta karakteristik nikel laterit daerah penelitian yang dapat memudahkan dalam menginterpretasi setiap lapisan lapisan nikel laterit.

2.3.2 Tahap Pengumpulan Data

Tahapan ini meliputi pengumpulan data yang akan digunakan pada penelitian ini. Data yang digunakan merupakan data sekunder milik PT Vale Indonesia yang terdiri dari data utama berupa data ERT, dan data pendukung yang terdiri dari data bor, dan data topografi.

2.3.3 Tahapan Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari pengukuran ERT merupakan data resistivitas semu, maka dilakukan inversi data untuk mendapatkan nilai resistivitas bawah permukaan pada setiap lintasan ERT. Proses inversi dilakukan dengan menggunakan *software Res2Dinv*.

Sebelum memulai inversi data, dilakukan pengaturan format data dalam bentuk dat yang terdiri dari data pengukuran, topografi, dan koordinat yang sesuai dengan format yang bisa dibaca oleh *Res2Dinv*. Setelah itu, perangkat lunak *Res2Dinv* dibuka, dilanjutkan dengan membaca parameter yang telah ditetapkan oleh perusahaan, kemudian melakukan pemasukan data. Selanjutnya, dilakukan proses inversi untuk memperoleh penampang *pseudosection*. Dari penampang tersebut, dapat ditampilkan penampang yang telah disesuaikan dengan topografi. Berikutnya, dilakukan *quality control* data dengan melihat *Abs Error* data. Data yang memiliki *error* tinggi ($\geq 10\%$) dianalisis ulang untuk menentukan apakah terdapat data anomali atau data yang bermasalah, kemudian data yang bermasalah dihapus. Setelah data dinyatakan memenuhi syarat, proses inversi dilakukan kembali untuk menghasilkan model penampang 2D. Selanjutnya, data koordinat X, Y, Z, serta nilai resistivitas diekspor untuk digunakan dalam *software datamine* dalam interpretasi batas lapisan nikel laterit.



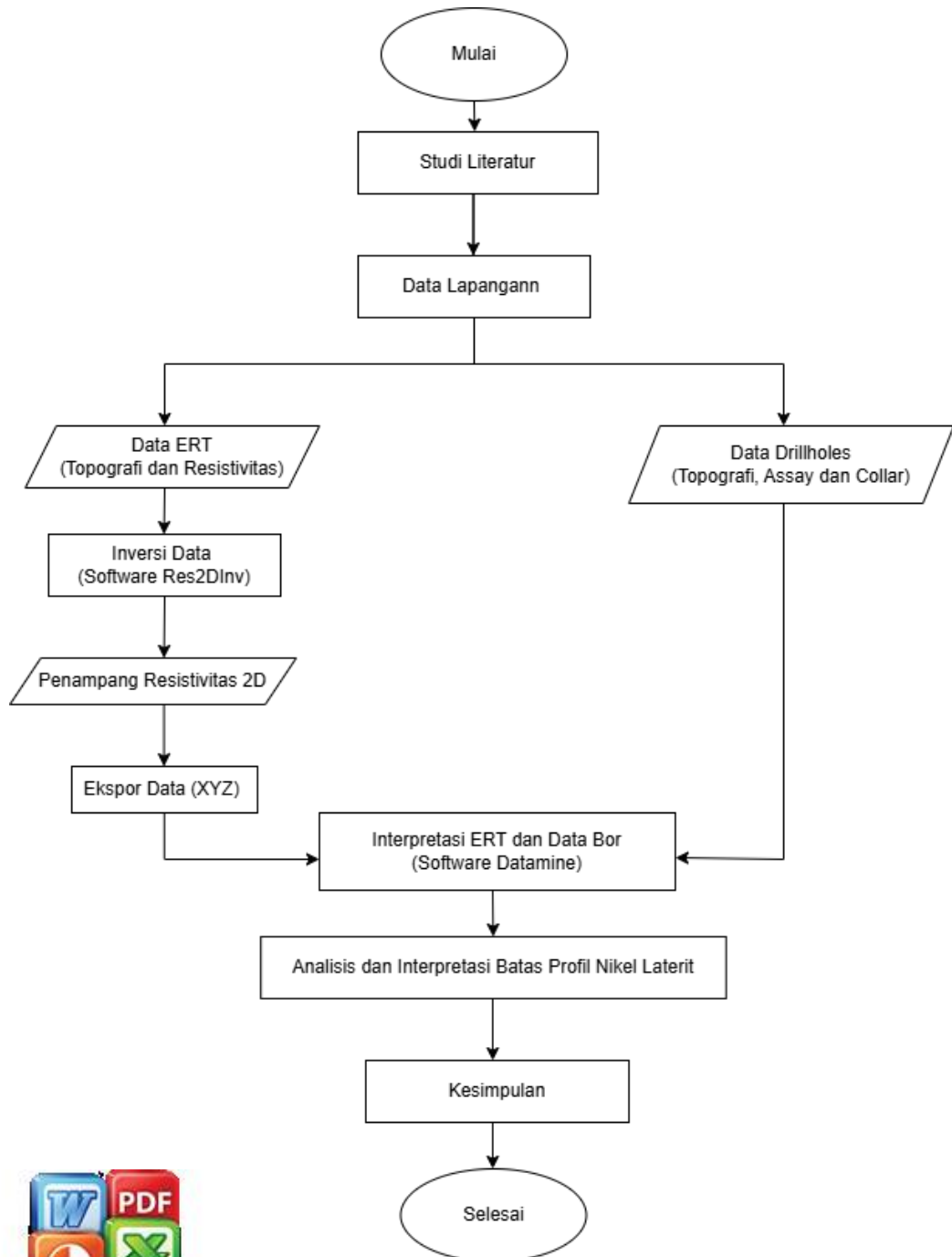
ta

interpretasi batas lapisan limonit, saprolit dan *bedrock* dilakukan a *drillholes*. Kemudian dari hasil interpretasi ini dilakukan penarikan an yaitu batas bawah lapisan limonit (*limonite bottom*) dan batas olit (*saprolit bottom*) menggunakan *software datamine*. Dalam asistivitas digunakan salah satu metode statistik yaitu boxplot. salah satu jenis visualisasi grafik statistik yang digunakan untuk

menampilkan distribusi persebaran data, yang mencakup informasi tentang nilai minimum, kuartil pertama (Q_1), median (Q_2), kuartil ketiga (Q_3), dan nilai maksimum. Selain itu, boxplot juga dapat menampilkan nilai *outlier* dan nilai ekstrim dari distribusi data. Nilai minimum merupakan nilai terkecil pada distribusi data, kuartil pertama (Q_1) atau kuartil terendah pada garis *whisker* menangkap data 25% ke bawah, kuartil kedua atau median (Q_2) merupakan *interquartile range* yang membentang $Q_1 - Q_3$ dengan menunjukkan 50% data tengah, kuartil ketiga (Q_3) merupakan 75% data tertinggi, dengan garis *whisker* ke atas menangkap data sebesar 25% ke atas. Dan nilai maksimum merupakan nilai terbesar pada distribusi data.



2. 4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 12 Bagan Alir

