

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Vale Indonesia merupakan salah satu perusahaan tambang terbesar di Indonesia yang memproses nikel laterit dengan hasil akhir nikel *matte* siap edar. Endapan nikel laterit di PT Vale Sorowako secara garis besar dibagi menjadi 2 blok, yaitu Blok Barat dan Blok Timur. Pembagian tersebut berdasarkan adanya perbedaan sifat fisik dan kimia dari batuan. Perbedaan ini menyebabkan perbedaan kenampakan profil dari laterit dan perbedaan terhadap perlakuan bijih pada saat ditambang. Pada daerah Blok Barat ukuran batuan lebih besar dan lebih sulit untuk ditambang dibandingkan dengan ukuran batuan di Blok Timur (Ahmad, 2005).

PT Vale Indonesia melakukan eksplorasi nikel laterit menggunakan dua pendekatan/metode, yaitu metode pengeboran dan metode ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). Metode pengeboran digunakan untuk mengidentifikasi batas profil nikel laterit kemudian menganalisis karakteristik batuan serta kandungan mineral dari sampel langsung. Sebaliknya, metode ERT memanfaatkan distribusi resistivitas yang diukur di permukaan untuk menentukan profil nikel laterit.

Nikel laterit terbentuk melalui proses pelapukan intensif batuan ultramafik, menghasilkan profil nikel laterit yang terdiri atas beberapa lapisan, termasuk lapisan saprolit, limonit, dan zona *boulder*. Keberadaan zona *boulder* seringkali ditemukan pada zona saprolit atau zona transisi, yang merupakan bagian penting dalam eksplorasi nikel. Permasalahan penambangan sekarang dalam pertambangan nikel laterit di Sorowako adalah munculnya bongkah-bongkah besar *unserpentinized peridotite* bukan hanya pada zona *bedrock* saja tapi pada zona *saprolite* pun juga sudah ditemukan. Peningkatan ukuran bongkah batuan yang besar pada lokasi tambang akan mengurangi perolehan produksi dan membuat operasi pertambangan menjadi lebih mahal (Sabang, 2015).

Untuk melihat persebaran atau distribusi zona *boulder* dalam profil nikel laterit, dapat digunakan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Metode *Electrical Resistivity Tomography* merupakan salah satu metode pengukuran geofisika yang menitikberatkan pada potensial listrik dari berbagai tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi. Metode ini berguna untuk mengetahui persebaran resistivitas bawah permukaan yang akan diinterpretasi untuk mengetahui informasi geologi dibawah permukaan (Kurniawan, 2020). Maka dengan menggunakan metode ERT ini, dapat diperoleh gambaran dua dimensi penampang lengkap dengan variasi distribusi resistivitasnya. Hasil tersebut dapat digunakan untuk melakukan analisis lebih lanjut dalam mengidentifikasi zona *boulder*.

Dalam penelitian ini, untuk memperoleh hasil identifikasi zona *boulder* yang lebih akurat, data *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) diintegrasikan dengan data bor. n untuk memahami dengan jelas lokasi dan distribusi bongkah-ar atau *boulder* yang terdapat di bawah permukaan atau dalam sehingga informasi yang diperoleh dapat menjadi strategi lebih efektif. Dengan strategi yang dirancang berdasarkan data yang ang disebabkan karena bongkah-bongkah batuan besar atau batunya proses penambangan, dapat diminimalkan. Sehingga,



penelitian ini hadir untuk mendukung efisiensi penambangan dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan.

1.2 Tujuan Dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

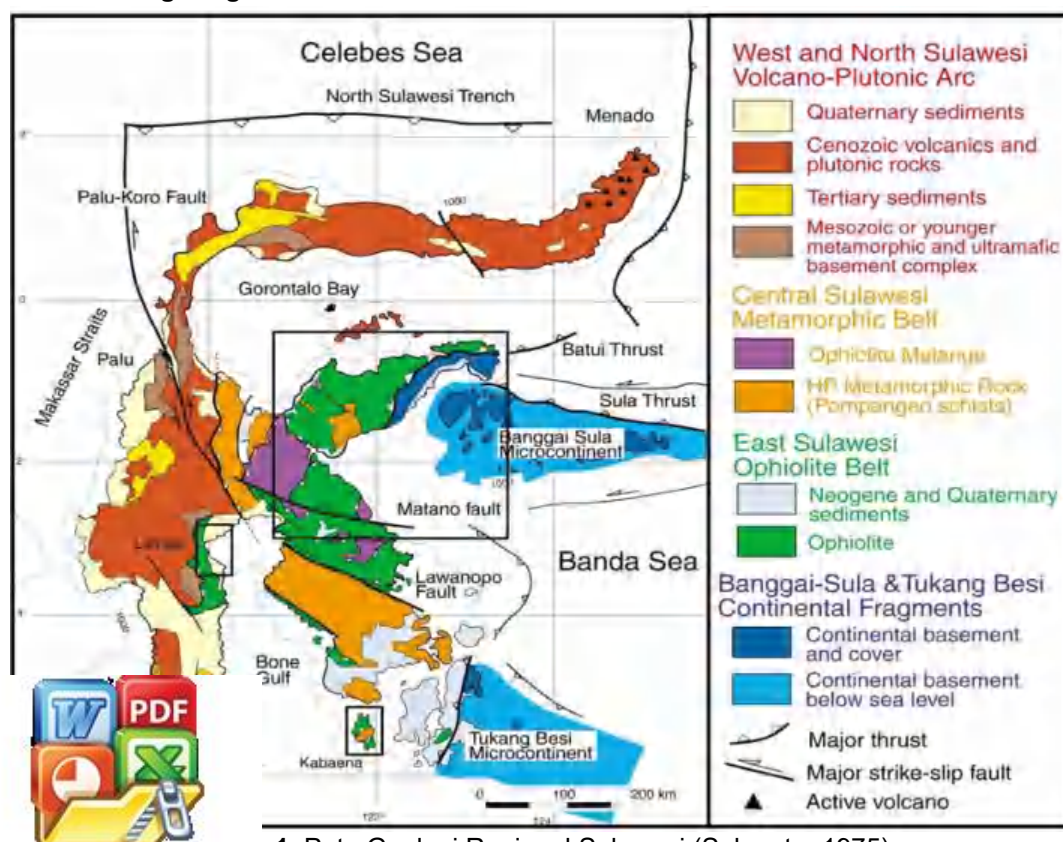
1. Menentukan *range resistivity* pada daerah penelitian
2. Menentukan batas *limonite bottom* dan *saprolite bottom* dengan data resistivitas dan data bor
3. Menganalisis distribusi potensial zona *boulder*

1.2.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi penambangan nikel laterit dengan menyediakan informasi akurat tentang distribusi zona *boulder* melalui integrasi data ERT dan data bor. Hal ini memperkuat perencanaan penambangan yang lebih efektif, mengurangi gangguan akibat *boulder*, serta meningkatkan produktivitas.

1.3 Landasan Teori

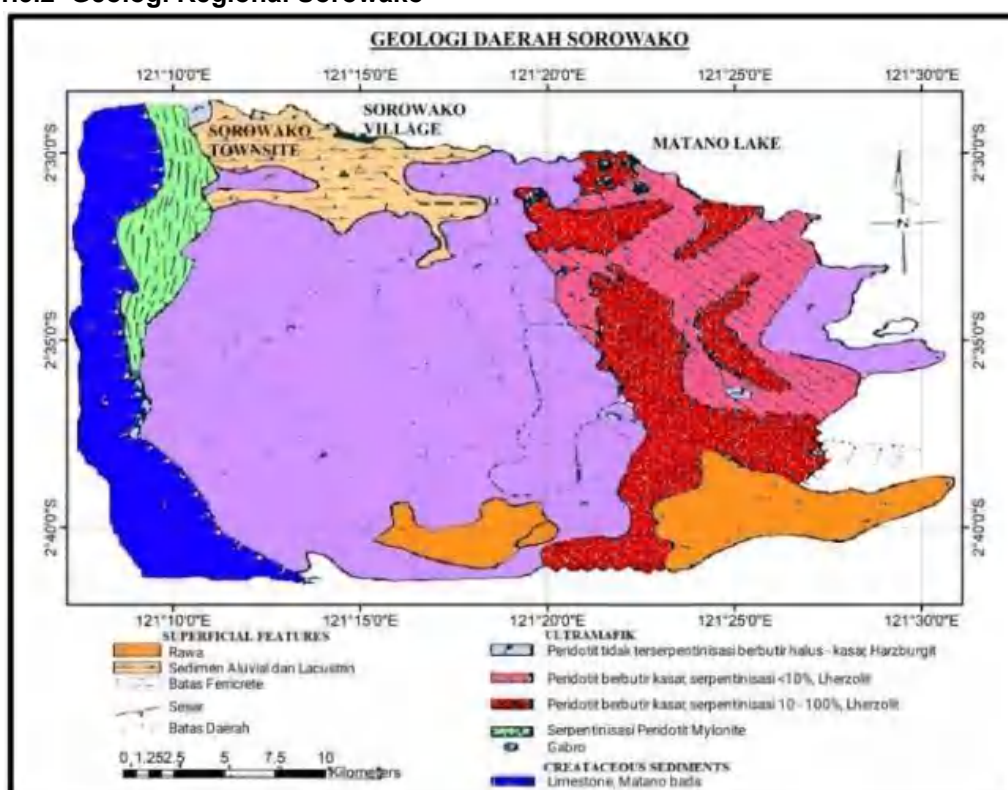
1.3.1 Geologi Regional Sulawesi



r 1. Peta Geologi Regional Sulawesi (Sukanto, 1975)

Simandjuntak (1991) menjelaskan pulau Sulawesi dan sekitarnya dapat dibagi menjadi beberapa mandala geologi yakni salah satunya adalah mandala geologi Sulawesi Timur. Mandala ini meliputi Lengan Tenggara Sulawesi, bagian timur Sulawesi Tengah dan Lengan Timur Sulawesi. Bagian timur Sulawesi ini memanjang melalui ujung timur Lengan Timur sisi timur bagian tengah, dan Lengan Tenggara Sulawesi. Lengan Timur dan Lengan Tenggara Sulawesi tersusun atas batuan malihan, batuan sedimen penutupnya dan ofiolit yang terjadi dari hasil proses pengangkatan (*obduction*) selama Miosen. Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil itu lempeng Filipina.

1.3.2 Geologi Regional Sorowako



Gambar 2. Peta Geologi Regional Sorowako (Golightly, 1979)

Golightly (1979) membagi geologi daerah Sorowako menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Satuan batuan sedimen yang berumur kapur; terdiri dari batu gamping laut dalam n barat Sorowako dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke



iltrabasa yang berumur awal tersier umumnya terdiri dari jenis in mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan at di bagian timur. Satuan ini memiliki intrusi-intrusi pegmatit yang an terdapat di bagian utara.

3. Satuan aluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) yang berumur kuartar, umumnya terdapat di bagian utara dekat Desa Sorowako.

1.3.3 Endapan Nikel Laterit

Nikel laterit adalah mineral logam hasil dari proses pelapukan dan pengayaan mineral pada batuan ultramafik (Lintjewis dkk, 2019). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Cahit et al., 2017). Endapan nikel laterit terbentuk dari hasil proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti dunit (olivin), peridotit (olivin+piroksin), dan serpentinit. Proses pelapukan pada batuan asal tersebut (laterisasi) menyebabkan nikel berubah menjadi larutan dan diserap oleh mineral-mineral oksida besi yang membentuk garnierit pada lapisan saprolit (Golightly, 1981).

Laterit deposit atau endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah *humid*, *warm* maupun *tropic* dan kaya akan mineral lempung yang bersifat kaolinitic serta Fe- dan Al- oxide/hydroxide. Endapan laterit pada umumnya menampilkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2017). Proses pelapukan ini berlangsung dalam waktu yang lama dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti faktor iklim dan juga kondisi topografi yang menghasilkan endapan dengan komposisi mineral yang khas, serta mempengaruhi distribusi dan kedalaman lapisan lateral pada suatu wilayah.

1.3.3.1 Genesa Pembentukan Nikel Laterit

Proses pembentukan nikel laterit diawali dari proses pelapukan batuan ultrabasa. Batuan ini banyak mengandung olivin, piroksen, magnesium silikat dan besi, mineral-mineral tersebut tidak stabil dan mudah mengalami proses pelapukan. Faktor kedua sebagai media transportasi Ni yang terpenting adalah air. Terdapat faktor dari infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar.

Ada empat proses utama dimana batuan mengubah sifat fisik atau kimia dalam batuan :

1. *Melting* (terjadi pada suhu yang sangat tinggi)
2. Metamorfosis (suhu tinggi/tekanan/penambahan bahan kimia)
3. Perubahan hidrotermal (melalui cairan pada suhu tinggi)
4. Pelapukan (pada suhu dan tekanan biasa)

Pembentukan nikel laterit proses *melting*, metamorfosis, perubahan hidrotermal bisa diabaikan. Mereka semua masuk kategori perubahan *prelaterisation*. Meskipun perubahan hidrotermal batuan ultramafik yang mengarah ke serpentinisasi olivin dan pyroxenes mungkin memiliki pengaruh signifikan terhadap formasi laterit, namun masih



g cukup tinggi (Ahmad, 2008).

yang mengandung CO₂ dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh anik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai (*leaching zone*), tempat terjadinya fluktuasi air tanah berlangsung. air tanah yang kaya CO₂ akan mengalami kontak dengan zona mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang olivin/serpentin dan piroksin. Unsur Mg, Si dan Ni akan larut dan

terbawa sesuai dengan aliran air tanah dan akan membentuk mineral-mineral baru pada proses pengendapan kembali. Endapan besi yang bersenyawa dengan oksida akan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel, dan silika akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dan pelindihan/*leaching*. Pada proses pelapukan lebih lanjut magnesium (Mg), silika (Si), dan Nikel (Ni) akan tertinggal di dalam larutan selama air masih bersifat asam. Tetapi jika dinetralisasi karena adanya reaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut akan cenderung mengendap sebagai mineral hidrosilikat (Ni-magnesium hidrosilicate) yang disebut mineral garnierit $[(\text{Ni}, \text{Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ pembawa Ni.

Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air, dalam hal ini berupa kekar atau rekahan pada batuan, maka Ni yang terbawa oleh air akan turun ke bawah, lambat laun akan terkumpul di zona ketika air sudah tidak dapat turun lagi dan tidak dapat menembus batuan dasar (*bedrock*). Ikatan dari Ni yang berasosiasi dengan Mg, SiO, dan H akan membentuk mineral garnierit. Apabila proses ini berlangsung terus-menerus maka yang akan terjadi adalah proses pengayaan supergen/*supergen enrichment*. Zona pengayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit (*saprolite zone*). Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengayaan yang lebih dari satu. Hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah, terutama bergantung dari perubahan musim (Maulana, 2017).

1.3.3.2 Profil Laterit

Lapisan-lapisan pada profil laterit dari endapan nikel laterit dibedakan menjadi beberapa zona menurut Ahmad (2002) :

a. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan ini terletak di bagian atas permukaan, lunak dan berwarna cokelat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar nikel sangat rendah dan di permukaan atas dijumpai lapisan *iron capping* yang mempunyai ketebalan berkisar antara 1-12 meter, merupakan kumpulan massa *goethite* dan *limonite*. *Iron capping* mempunyai kadar besi yang tinggi namun mempunyai kadar nikel yang rendah. Terkadang terdapat mineral-mineral hematite, *chromiferus*.

b. Lapisan Limonit berkadar menengah (*Medium Grade Limonit*)

Lapisan ini terletak di bawah lapisan tanah penutup, berbutir halus, berwarna merah-cokelat atau kuning, agak lunak, berkadar air antara 30%-40%, mengandung kadar Ni 1.5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂ %, lapisan kaya besi dari tanah limonit menyelimuti seluruh area dengan ketebalan rata-rata 3 meter. Lapisan ini tipis pada lereng yang terjal, dan setempat hilang karena erosi. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam mineral *manganese oxide*, *lithiophorite*. Terkadang terdapat mineral *tal*, *perous*, *quartz*, *gibbsite*, *maghemite*. Lapisan limonit yang dijumpai di *ack* (*unserpentinized*) Sorowako umumnya mempunyai nikel lebih an dengan limonit di daerah *east block* (*serpentinized*). Limonit di 2, yaitu : 1) *red limonite* yang biasa disebut hematit 2) *yellow* sebut *goethite*. Biasanya pada mineral *goethite* nikel berasosiasi



dengan Fe dan mengganti unsur Fe sehingga pada zona limonit terjadi pengayaan unsur Ni.

c. Lapisan Bijih (*Saprolite*)

Lapisan ini merupakan hasil pelapukan batuan dasar (*bedrock*), berwarna kuning kecokelatan agak kemerahan, terletak di bagian bawah dari lapisan limonit berkadar menengah, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Lapisan ini terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh dan sebagian saprolit. Mempunyai komposisi umum yaitu Ni 1.85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

d. Lapisan Batuan Dasar (*Bed Rock*)

Lapisan batuan dasar merupakan bagian terbawah dari suatu profil nikel laterit. Lapisan ini merupakan batuan ultrabasa yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Blok batuan *bed rock* (batuan dasar) secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Zona ini biasanya memperlihatkan rekahan-rekahan (frakturisasi) yang kuat, kadang membuka dan terisi oleh mineral garnierit dan silika akibat proses pelindihan. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya suatu gejala yang sering disebut dengan *root zone* yaitu zona *high grade* Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3		10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 3. Generalisasi Profil Laterit (Elias, 2002)



or Yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit

mempengaruhi pembentukan nikel laterit adalah (Isjudarto, 2013) :

asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel batuan asalnya adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan terdapat elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya,

mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil seperti olivin dan piroksin, mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

2. Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3. Reagen-reagen Kimia dan Vegetasi

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO_2 memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akan pohon-pohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, dan humus akan lebih tebal. Keadaan ini merupakan suatu petunjuk, dimana hutannya lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi. Selain itu, vegetasi dapat berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

4. Struktur

Struktur yang sangat dominan yang terdapat di daerah penelitian yang dilakukan Isjudarto adalah struktur kekar (*joint*) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

5. Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.



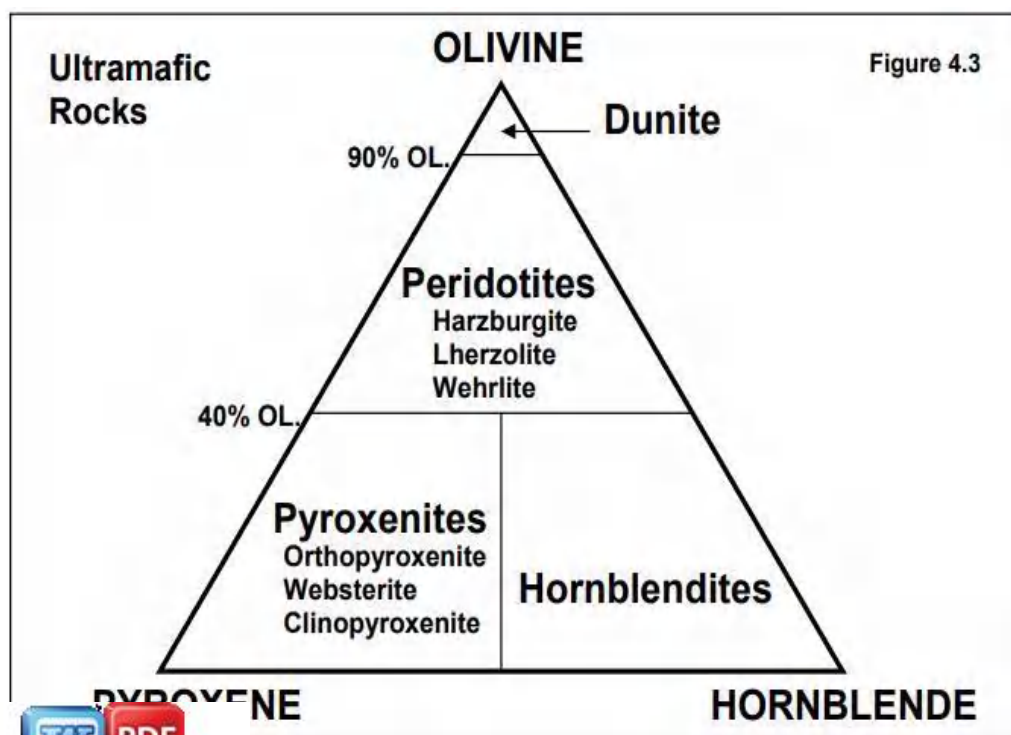
p lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena nikel yang cukup tinggi.

mafik

rupakan batuan yang terdiri dari mineral-mineral yang bersifat mafik seperti olivin, piroksin, hornblend, dan mika. Semua batuan ultramafik

memiliki indeks warna >70%. Perlu diperhatikan bahwa istilah "ultrabasa" dan "ultramafik" tidak identik. Sebagian besar batuan ultramafik juga ultrabasa, sementara tidak semua batuan ultrabasa yang ultramafik. Dengan demikian batuan kaya akan feldspatoid merupakan ultrabasa namun bukan batuan ultramafik, karena tidak mengandung mineral ferromagnesian (Ahmad, 2002).

Kebanyakan batuan ultramafik adalah batuan ultrabasa dan sebagian besar batuan ultrabasa juga ultramafik. Oleh karena itu, kedua istilah ini memiliki kegunaan spesifik dan harus dipertahankan. Sebagian besar batuan ultramafik awalnya peridotit, terbentuk di mantel atas, dan kemudian berubah menjadi serpentinit, secara sempurna ataupun sebagian, oleh fluida kerak selama perjalanannya ke posisi tektoniknya saat ini. Batuan ultramafik di bagian kerak bumi yang tampak khas terdapat dalam tubuh relatif kecil di jalur sempit orogen sedang hingga kuat. Singkapan batuan ultramafik dapat menempati ratusan kilometer persegi atau kira-kira sekecil sampel setangan yang tergabung ke dalam zona sesar. Batuan ultramafik (terutama peridotit dan serpentinit) terdistribusi di seluruh dunia (Goff & Lackner, 1998), yang paling sangat besar dan tersebar luas adalah peridotites Alpine yang membentuk alas sikuen ofiolit, yaitu lempeng kerak samudera terangkat dan tererosi sepanjang zona subduksi sekarang dan masa lalu, dan batas lempeng (Coleman, 1977).



bar 4. Klasifikasi Batuan Ultramafik (Ahmad, 2009)

aterit Sorowako

5), tipe endapan nikel laterit di daerah Sorowako pada dasarnya terbagi menjadi dua blok barat (*west block*) dan blok timur (*east block*). Pembagian



tipe endapan tersebut berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu tipe batuan ultramafik, derajat serpentinisasi, kandungan kimia bijih, fraksi batuan dan kandungan olivin.

1. Tipe Blok Barat (*West Type*)

Tipe ini didominasi oleh Harzburgit dengan beberapa batuan dunit yang kaya olivin. Kandungan olivine tinggi dan piroksen yang hadir umumnya orthopiroksen. Batuan di daerah ini umumnya tidak terserpentinisasi atau sedikit terserpentinisasi serta menunjukkan rasio silika magnesia yang relatif lebih tinggi (2,2 – 2,6) dibanding *east type*.

2. Tipe Blok Timur (*East Type*)

Tipe ini didominasi oleh Lherzolit dengan kandungan olivin yang rendah dan mengandung orthopiroksen maupun klinopiroksen. Tingkat serpentinisasi di daerah ini cukup tinggi sehingga memiliki batuan dasar yang *high fracture*. Sifat batuan relatif lebih lunak dan menunjukkan rasio silika magnesia yang lebih rendah (1,4 – 2) dibandingkan *west type*.

1.3.4 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropik

Apabila suatu arus kontinu dialirkan ke dalam medium yang homogen isotropik. Jika dA adalah elemen luas permukaan dan J adalah rapat arus listrik (A/m^2), maka besarnya elemen arus yang melalui elemen permukaan tersebut adalah (Telford dkk, 1990) :

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

Sedangkan rapat arus J dan medan listrik E yang ditimbulkan dihubungkan dengan hukum Ohm

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2)$$

Dengan E medan listrik dalam volt/meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam (Ω/m), karena medan listrik merupakan medan konservatif, maka medan listrik tidak lain adalah gradien potensial sehingga :

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (3)$$

Dengan V adalah potensial listrik. Substitusi persamaan 3 ke persamaan 2, sehingga :

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

Untuk arus tetap, maka berlaku persamaan :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \quad (5)$$

Maka,

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

Persamaan 6 diselesaikan menggunakan teorema vektor, sehingga menghasilkan :

$$\vec{\nabla}\sigma \cdot \vec{\nabla}V + \sigma \vec{\nabla}^2V = 0 \quad (7)$$

Jika σ adalah koefisienn konstan, maka suku pertama pada persamaan (7) akan berubah menjadi nol dan memenuhi persamaan Laplace yang disebut potensial harmonik :

$$\nabla^2V = 0 \quad (8)$$



dalam koordinat bola :

$$\left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} \right) = 0 \quad (9)$$

1.3.4.1 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Dalam Bumi

Pada model homogen isotropis yang mana elektroda arus ditancapkan di dalam bumi yang berfungsi sebagai sumber injeksi arus listrik ke segala arah dalam bumi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5. Pada setiap bidang equipotensial dalam bumi yang membentuk permukaan bola mempunyai jari-jari r . Dalam koordinat bola terlihat dari titik pusat terdapat simetri bola ke arah θ dan ϕ pada persamaan 9 adalah nol, sehingga persamaan Laplace menjadi (Telford dkk, 1990) :

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (10)$$

Integrasi sebanyak dua kali terhadap persamaan (10) menghasilkan :

$$\int \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = \int 0 \, dr \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = A \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (11)$$

$$V = \int \frac{A}{r^2} dr = -\frac{A}{r} + B \quad (12)$$

Dengan A dan B adalah konstanta. Karena $V = 0$ pada saat jarak mendekati tak hingga ($r = \infty$), maka diperoleh $B = 0$, sehingga persamaan (12) menjadi :

$$V = -\frac{A}{r} \quad (13)$$

Dalam kasus sumber arus di dalam bumi homogen isotropik, maka medan-medan equipotensialnya berbentuk bola. Sehingga jumlah arus yang menembus permukaan medan equipotensial berbentuk bola tersebut adalah :

$$I = \vec{A} \cdot \vec{j} \quad (14)$$

Pada persamaan (14) luas permukaan equipotensial berbentuk bola adalah $A = 4\pi r^2$, maka didapatkan :

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) \quad (15)$$

Karena V dalam fungsi $r \rightarrow \nabla V = \frac{dv}{dr}$, kemudian persamaan (11) disubstitusikan ke persamaan (15) maka,

$$I = -4\pi r^2 \sigma \frac{A}{r^2} = -4\pi \sigma A \quad (16)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$, maka persamaan (16) dapat ditulis :

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} A \rightarrow A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (17)$$

Persamaan (17) disubstitusikan pada persamaan (13) maka dihasilkan :

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (18)$$

Dengan,

V = Potensial Listrik (Volt)

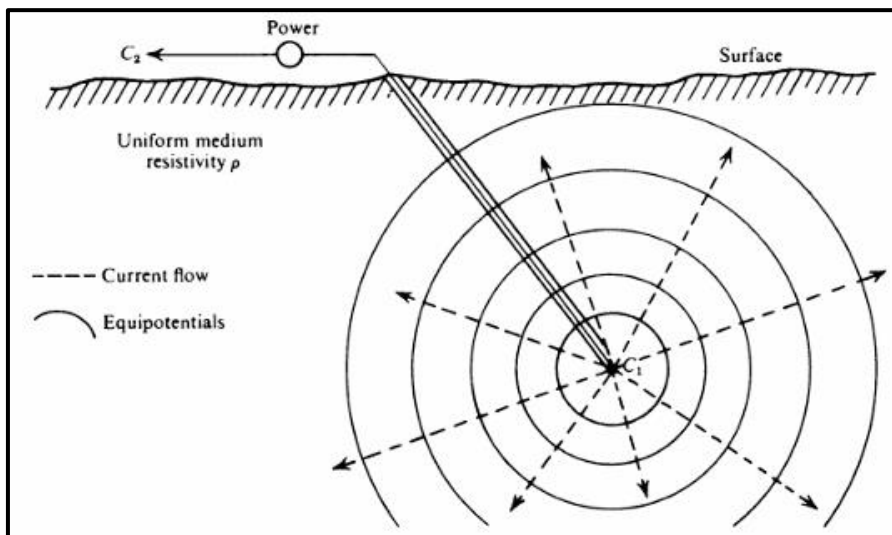
I = Kuat Arus Listrik (Ampere)



l.m)

)

n)

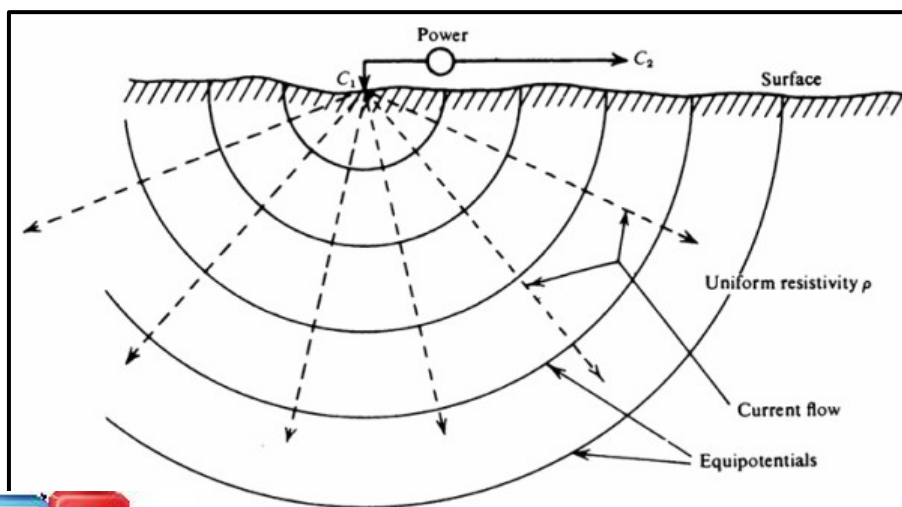


Gambar 5. Sumber Arus Di Dalam Bumi (Telford dkk, 1990)

1.3.4.2 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Permukaan Bumi

Apabila elektroda arus berada di permukaan pada medium homogen isotropik seperti yang diilustrasikan pada gambar 6 dan nilai konduktivitas udara sama dengan nol, maka bidang equipotensial yang tinggal membentuk setengah bola sehingga persamaan 18 menjadi (Telford dkk, 1990) :

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (19)$$



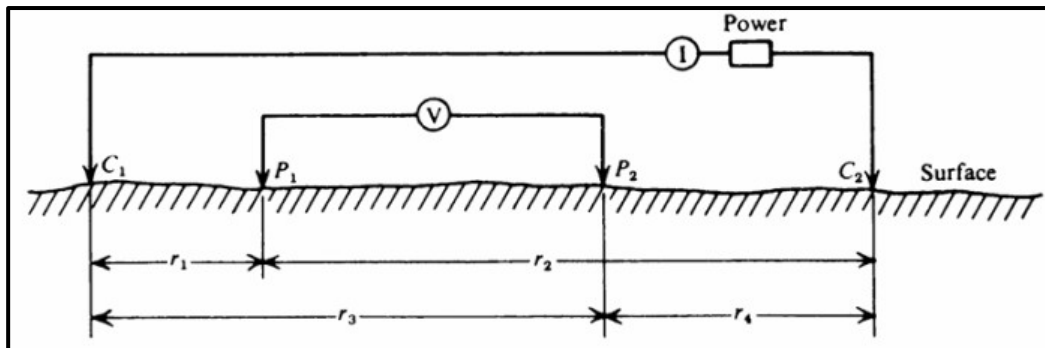
Gambar 6. Sumber Arus Di Permukaan Bumi

eh Sumber Arus Ganda Di Permukaan Bumi

ofisika resistivitas umumnya menggunakan dua buah elektroda arus da potensial seperti yang diilustrasikan pada gambar 7. 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 7. Dua Elektroda Arus dan Potensial di Permukaan (Telford dkk, 1990)

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

$$V_{P1} = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (20)$$

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

$$V_{P2} = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (21)$$

Beda potensial antara P_1 dan P_2 sebagai berikut :

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (22)$$

Atau dapat dituliskan :

$$\Delta V = \frac{I\rho}{K} \quad (23)$$

Dimana,

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (24)$$

ΔV adalah beda potensial antara P_1 dan P_2 , I adalah kuat arus (A), ρ adalah resistivitas semu (Ωm), r_1 adalah jarak C_1 ke P_1 (m), r_2 adalah jarak C_2 ke P_1 (m), r_3 adalah jarak C_1 ke P_2 (m), r_4 adalah jarak C_2 ke P_2 (m), dan K adalah faktor geometri.

1.3.5 Konsep Resistivitas Semu

Metode resistivitas adalah salah satu metode geolistrik yang digunakan untuk menyelidiki struktur bawah permukaan berdasarkan perbedaan resistivitas batu. Dasar dari metode resistivitas adalah Hukum Ohm yaitu dengan cara mengalirkan arus ke dalam bumi



arus dan mengukur potensialnya di permukaan bumi dengan beda potensial.

Resistivitas Batuan (Telford dkk, 1990)

Material	Resistivitas (Ωm)
~	0.01-100

Kwarsa (<i>Quartz</i>)	500-800000
Kalsit (<i>Calcite</i>)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Garam Batu (<i>Rock Salt</i>)	$30 - 1 \times 10^{13}$
Granit (<i>Granite</i>)	200-10000
Andesit (<i>Andesite</i>)	$1.7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal (<i>Basalt</i>)	200-100000
Gamping (<i>Limestone</i>)	500-10000
Batu pasir (<i>Sandstone</i>)	200-8000
Batu tulis (<i>Shales</i>)	20-2000
Pasir (<i>Sand</i>)	1-1000
Lempung (<i>Clay</i>)	1-100
Air tanah (<i>Ground water</i>)	0.5-300
Air asin (<i>Sea water</i>)	0.2
Magnetit (<i>Magnetite</i>)	0.01-1000
Kerikil kering (<i>Dry gravel</i>)	600-10000
Aluvium (<i>Alluvium</i>)	10-800
Kerikil (<i>Gravel</i>)	100-600

Dari persamaan 23 maka resistivitas dapat dituliskan sebagai berikut :

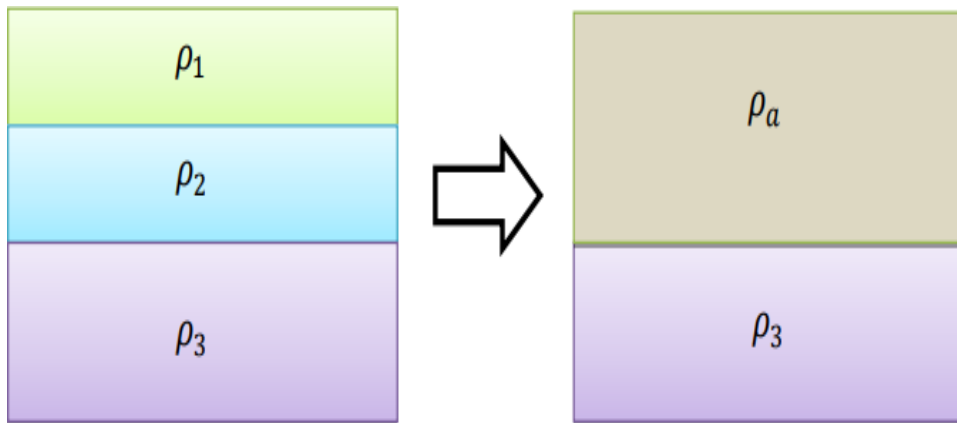
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (25)$$

Asumsi paling sederhana yang digunakan dalam geolistrik resistivitas adalah dimana bumi dianggap bersifat homogen isotropis. Homogen isotropis merupakan anggapan bahwa bumi memiliki satu lapisan batuan dengan nilai resistivitas yang sama (Fitrianto dkk., 2017). Ketika arus diinjeksikan ke dalam bumi, pengaruh dalam bentuk beda potensial yang diamati secara tidak langsung adalah hambatan jenis suatu lapisan bumi tertentu. Namun nilai ini bukanlah nilai hambatan jenis yang sesungguhnya. Hambatan jenis ini merupakan besaran yang nilainya tergantung pada spasi elektroda. Padahal kenyataannya bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan nilai resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang diukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Hambatan jenis ini disebut hambatan jenis (resistivitas) semu. Karena yang diukur di lapangan adalah resistivitas semu, maka persamaan 25 dapat dituliskan seperti:

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

Dimana ρ_a merupakan resistivitas semu (Ωm). Konsep resistivitas semu dilihat pada gambar 8 yang diumpamakan bahwa medium yang ditinjau terdiri dua lapisan dengan nilai resistivitas yang berbeda (ρ_1 dan ρ_2). Namun pada pengukuran medium ini dianggap ang memiliki nilai resistivitas semu (ρ_a) (Halawa dkk., 2022)





Gambar 8. Konsep Resistivitas Semu (Hendrajaya dan Arif, 1990)

1.3.6 Metode ERT (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). Parameter utama yang dikaji adalah resistivitas dan hasil *Electrical Resistivity Tomography* merupakan profil nilai resistivitas material bawah permukaan bumi. Metode ERT dapat digunakan untuk menentukan karakteristik material bawah permukaan sehingga kondisi material penyusun dapat diketahui. 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 dkk., 1990).

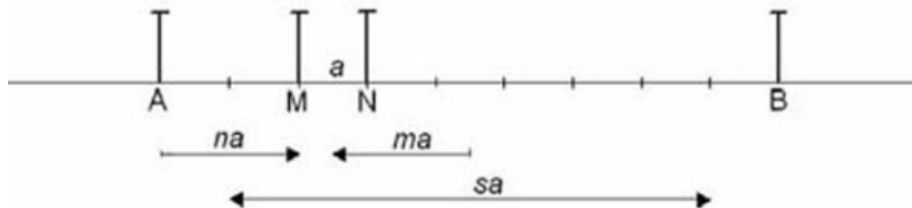
Survei permukaan resistivitas (geolistrik) didasarkan pada prinsip bahwa distribusi potensial listrik di dalam tanah sekitar elektroda pembawa arus tergantung pada resistivitas listrik dan distribusi tanah dan batuan sekitarnya. Pengukuran kondisi di lapangan yang biasa di lapangan adalah untuk menerapkan arus listrik langsung atau searah atau disebut *Direct Current* (DC) antara dua elektroda ditanamkan di dalam tanah dan untuk mengukur perbedaan potensial antara dua elektroda tambahan yang tidak membawa arus. Elektroda potensial sejalan antara elektroda, tetapi pada prinsipnya elektroda tersebut bisa berada dimana saja. Arus yang digunakan adalah nilai arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) frekuensi rendah ($\pm 20\text{Hz}$). Arus bolak-balik (*AC/Alternating Current*) adalah arus listrik dimana besar dan arahnya arus berubah-ubah (Lowrie, 2007).



radien

ofisika, tata letak elektroda mempunyai pengaruh yang signifikan target pengukuran. Penempatan elektroda ini dikenal sebagai . Metode umum yang digunakan untuk penempatan elektroda sumberberger, dan Dipole-Dipole. Selain itu, terdapat 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, 2006). Dalam metode konfigurasi Gradien ini, elektroda arus AB (C1 dan C2) ditempatkan di luar jalur pengukuran, sementara elektroda potensial MN (P1 dan P2) ditempatkan lebih dalam.



Gambar 9. Sketsa Konfigurasi Gradien (Dahlin & Zhou, 2006)

Survei gradien multi-elektroda dilakukan dengan menginjeksikan arus dengan faktor pemisahan $(s + 2)a$ (gambar 9) dan secara simultan atau berurutan mengambil semua perbedaan potensial antara elektroda potensial dengan jarak a . Disini faktor pemisahan s , sebuah bilangan bulat yang merupakan jumlah maksimum pembacaan potensial untuk injeksi arus.

Faktor geometri konfigurasi Gradien :

$$K = \frac{4\pi(s+1)sna}{s^2+s-2} \quad (27)$$

Keterangan :

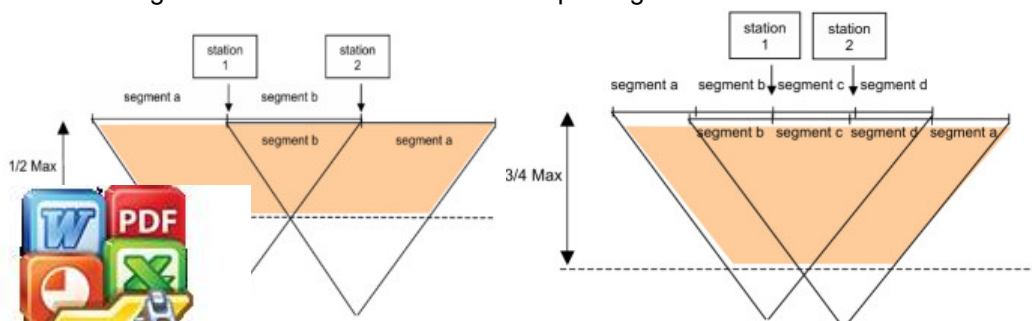
na = jarak spasi elektroda

n = faktor rasio jarak antara elektroda arus dengan potensial

s = faktor separasi (pemisah)/perpindahan elektroda

1.3.8 Metode Roll-Along

Metode *roll-along* merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan wilayah pengukuran yang tidak terjangkau oleh bentangan kabel pengukuran yang terbatas. Dalam kasus (Bernard, 2003) dari prosedur gulungan sepanjang dengan dengan dua dan empat segmen, urutan pembacaan pertama diambil dengan peralatan yang terletak di stasiun 1, di tengah segmen. Kemudian diambil urutan kedua dengan peralatan dipindahkan ke stasiun 2, di tengah segmen. Kedalaman maksimum yang diadipakai yang memastikan kontinuitas bagian bawah gambar adalah $\frac{1}{2}$ maks untuk kabel dua segmen dan maks $\frac{3}{4}$ untuk kabel empat segmen.



Metode Roll-Along 2 Segmen dan 4 Segmen (Bernard, 2003)

1.3.9 Boulder

West Block meliputi 36 bukit dengan luas sekitar 46,5 km persegi, secara umum merupakan batuan peridotit yang tidak terserpentinisasi dengan bentuk morfologi yang relatif lebih terjal dibandingkan *East Block* (karena pengaruh struktur yang kuat), banyak dijumpai bongkah-bongkah segar peridotit (*boulder*) sisa proses pelapukan sehingga *recovery* menjadi kecil. Umumnya *boulder* dilapisi oleh zona pelapukan tipis dibagian luarnya. Daerah *West* banyak mengandung urat-urat kuarsa yang sulit dikontrol pola penyebarannya (Primanda dkk., 2013).

Boulder merupakan salah satu komponen penting yang dapat ditemukan dalam profil nikel laterit. Batu-batu ini sering kali memiliki karakteristik yang berbeda dari material disekitarnya dan dapat mempengaruhi proses eksploitasi dan pengolahan nikel laterit (Falah dkk, 2022).

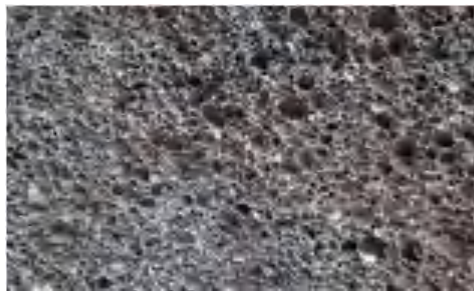
Pada daerah *west block*, tipe *boulder* dibagi menjadi tiga (3) tipe, yaitu *West Type 1*, *West Type 2*, dan *West Type 3*. Pengklasifikasian tipe tersebut berdasarkan *boulder size*, *Rock Quality Designation* (RQD) dan *Fracture Density* (FRD). Klasifikasi berdasarkan *boulder size* merupakan jumlah persentase dari Panjang *boulder* >1 meter yang dibagi dengan total panjang *boulder* dalam 1 *hole* di zona saprolit yang diperoleh dari data logging dan foto *core* (Sabang S.H., dkk, 2015).

Klasifikasi berdasarkan *boulder density*, yaitu (Sabang S.H., dkk, 2015) :

1. 0-25 % = *Fractured area* (Type 3)
2. 25-50 % = *Medium fractured area* (Type 2)
3. 50-75 % = *Unfractured Area* (Type 1)

Berdasarkan teksturnya, *boulder* dibedakan menjadi 3 bagian (Falah.F., dkk, 2022):

1. Batu Bertekstur Kasar



Gambar 11. Batu Bertekstur Kasar

2. Batu Bertekstur Halus



Gambar 12. Batu Bertekstur Halus



3. Batu Bertekstur Burik



Gambar 13. Batu Bertekstur Burik

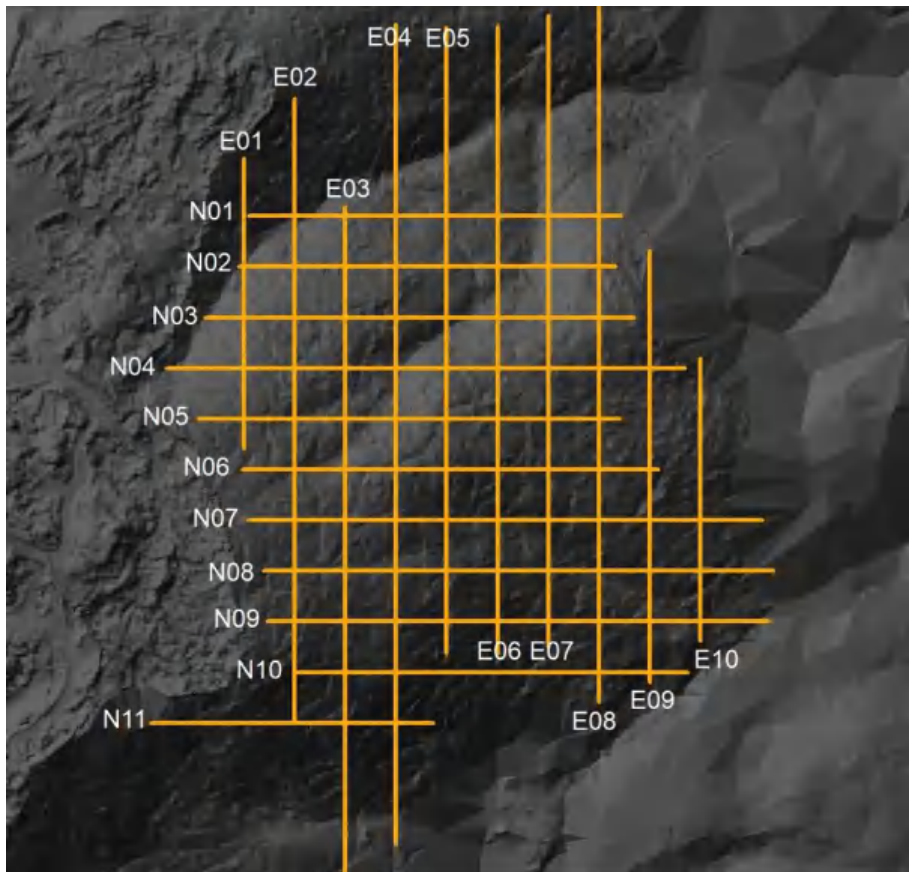


Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada daerah “RH” yang merupakan wilayah kuasa pertambangan PT. Vale Indonesia Tbk area blok *West block*, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Terdiri dari 21 lintasan dengan 11 lintasan berorientasi arah barat-timur dan 10 lintasan berorientasi arah utara-selatan.



Gambar 14. Lintasan ERT

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam pengolahan data yaitu :

1. Perangkat keras terdiri dari



terdiri dari :

S2DINV 4.8.10
amine Studio RM
rosoft Office

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.2.2 Bahan

1. Data ERT

Data pengukuran ERT konfigurasi *gradien* sebanyak 21 lintasan yang terdiri dari 11 lintasan barat-timur dan 10 lintasan utara-selatan. Data yang diolah terdiri dari nilai resistivitas dan topografi dari setiap lintasan.

2. Data Bor

Data bor sebanyak 190 data yang *overlay* dengan lintasan ERT. Data bor yang digunakan terdiri dari data *assay* dan data *collar*.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahap Kajian Pustaka

Tahap ini meliputi pengumpulan berbagai macam literatur mengenai kondisi geologi daerah penelitian seperti genesis pembentukan nikel laterit, karakteristik nikel laterit, metode geolistrik dan *boulder*.

2.3.2 Tahap Pengolahan Data

Adapun tahap pengolahan data sebagai berikut :

1. Memperoleh data lapangan dari PT Vale Indonesia Tbk berupa data sekunder yang terdiri dari 21 lintasan pengukuran ERT. Data yang diperoleh merupakan nilai resistivitas semu, sehingga perlu melakukan proses inversi untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya.
2. Menyusun data lapangan dalam format *.dat* yang mencakup data pengukuran, topografi, dan koordinat global, sesuai dengan format yang dapat dibaca oleh Res2DInv. Setelah itu membuka *software* Res2DInv, melakukan pembacaan parameter yang telah ditentukan perusahaan, dan memasukkan data.
3. Selanjutnya melakukan inversi untuk mendapatkan penampang *pseudosection*. Dari penampang tersebut, dapat ditampilkan penampang dengan topografi.
4. Kemudian melakukan *quality control* data dengan memeriksa nilai *absolute error*. Data dengan nilai *error* tinggi (>10%) perlu dianalisis kembali untuk mengidentifikasi apakah terdapat anomali atau kesalahan data. Data yang dinyatakan *error* tersebut dihapus.
5. Setelah data dianggap valid, melakukan inversi kembali untuk mendapatkan model penampang 2D.
6. Mengekspor data X, Y, Z dan mengubah format tersebut menjadi CSV agar dapat dibaca oleh *software* *Datamine*. Selanjutnya melakukan pengolahan data pada *software* *Datamine* untuk mendapatkan penampang 2D dalam bentuk kontur. Sebelum melakukan interpretasi, terlebih dahulu menentukan *range resistivity* lapisan profil laterit untuk memudahkan penarikan batas lapisan *limonite bottom* dan *saprolite bottom*.

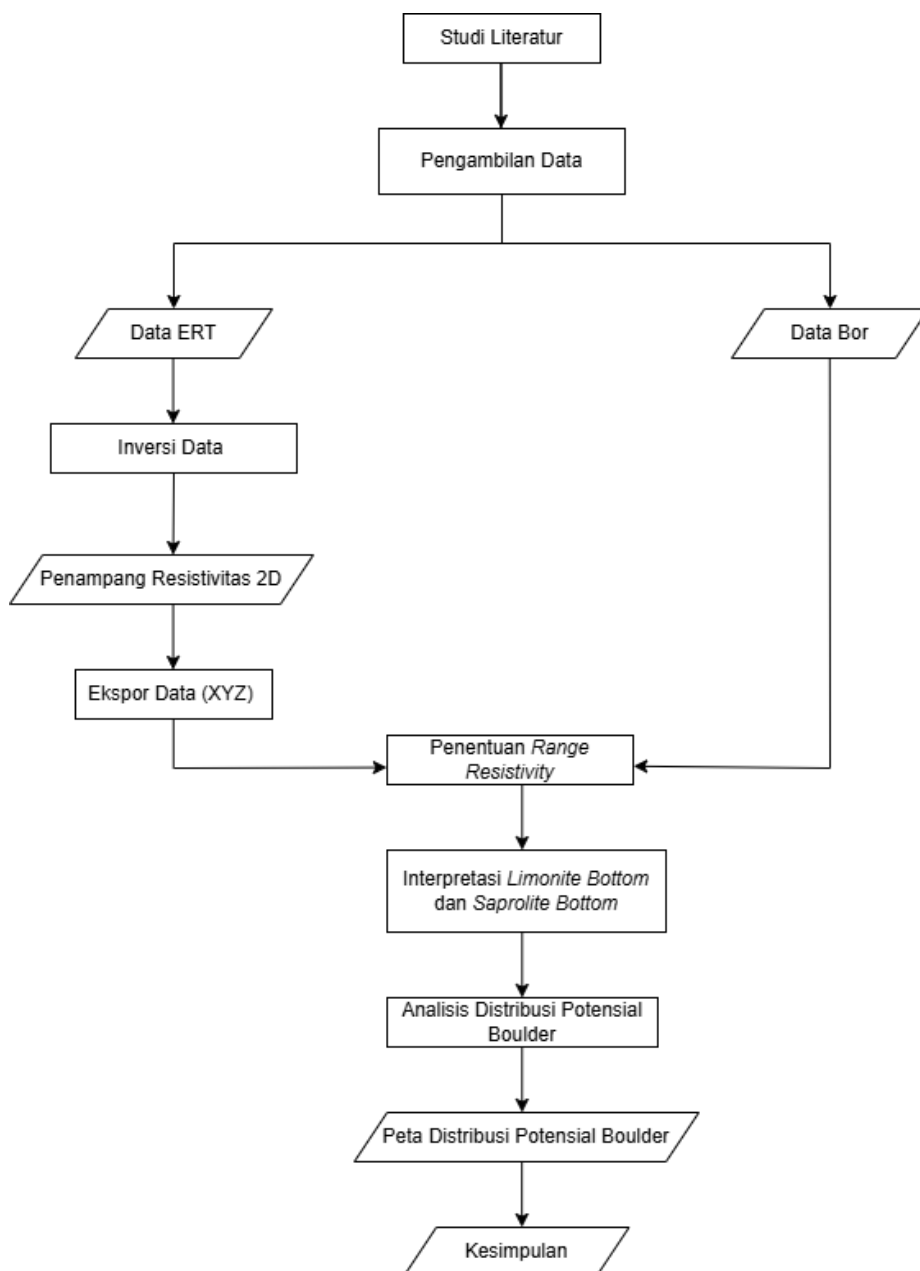


menentukan *range resistivity*, menarik batas *limonite bottom* dan *saprolite bottom* dan mengintegrasikannya dengan data bor.

Melakukan interpretasi untuk 21 lintasan, melakukan analisis distribusi *boulder*.

Menganalisis distribusi zona *boulder*.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 15. Bagan Alir Penelitian

