

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi sumber daya mineral yang sangat besar, salah satunya adalah Nikel laterit. Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Dimana proses pelapukan 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 ultramafik (peridotit, dunit dan serpentinit) yang mengandung Ni dengan kadar tinggi, yang pada umumnya terbentuk pada daerah tropis dan sub tropis.

Menurut Sukandarrumidi (2007), nikel sebagai salah satu sumber daya mineral ekonomis di bumi yang perlu ditemukan keberadaannya untuk dapat memenuhi kebutuhan dibidang perindustrian. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni nikel bersifat lunak, tetapi jika dipadukan (*alloy*) dengan besi, krom, dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan nikel, krom dan besi menghasilkan baja tahan karat (*stainless steel*) yang banyak diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok, dan peralatan memasak), ornamen-ornamen rumah dan Gedung, serta komponen industri (Fitrian, 2021).

Pembentukan endapan nikel laterit ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu struktur bawah permukaan. Struktur bawah permukaan (struktur geologi) adalah kondisi geologi yang ada di suatu daerah sebagai akibat dari terjadinya perubahan-perubahan pada batuan oleh proses tektonik (Elias, 2001)..

Tektonik kompleks pada daerah ini berpengaruh pada pembentukan nikel laterit yang bernilai ekonomis. Berdasarkan kondisi geologi sorowako, lokasi penelitian yang terletak di daerah "NS" ini di kontrol oleh adanya sesar geser berarah Northwest-Southeast dimana garis sesar bergerak dari barat laut (NW) ke tenggara (SE) dengan orientasi diagonal, yang searah dengan sesar geser Matano jika dilihat dari atas. Sesar besar disekitar daerah Sorowako menyebabkan relief topografi sampai 600 mdpl dan sampai sekarang masih aktif tererosi. Danau Matano yang mempunyai kedalaman sekitar 466 m diperkirakan adalah graben yang terbentuk akibat efek zona dilatasi dari sesar tersebut.

Salah satu penelitian terkait struktur bawah permukaan menggunakan metode geolistrik yaitu, "Detailed imaging of tectonic structures by multiscale Earth resistivity tomographies: The Colfiorito normal faults (central Italy)" oleh Diaferia, I., dkk (2006). Metode ERT (Electrical Resistivity Tomography) adalah teknik geofisika yang efektif untuk mengidentifikasi variasi resistivitas bawah permukaan, yang dapat mencerminkan perbedaan material geologis seperti batuan keras dan tanah terlapukkan (Loke, 1999).

Oleh sebab itu, diperlukan eksplorasi sebelum melakukan penambangan nikel. Salah satu contoh tahapan eksplorasi untuk menentukan endapan nikel yaitu survei geofisika dengan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan struktur (sesar, lipatan, kekar, dan intrusi) di daerah penelitian menggunakan data 2D *Electrical Resistivity Tomography* (ERT).

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

1. Menentukan batas profil nikel laterit berdasarkan nilai resistivitas dan data bor
2. Menentukan zona struktur bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas dan data bor
3. Mengetahui karakteristik zona terpengaruh dan tidak terpengaruh struktur pada daerah Petea

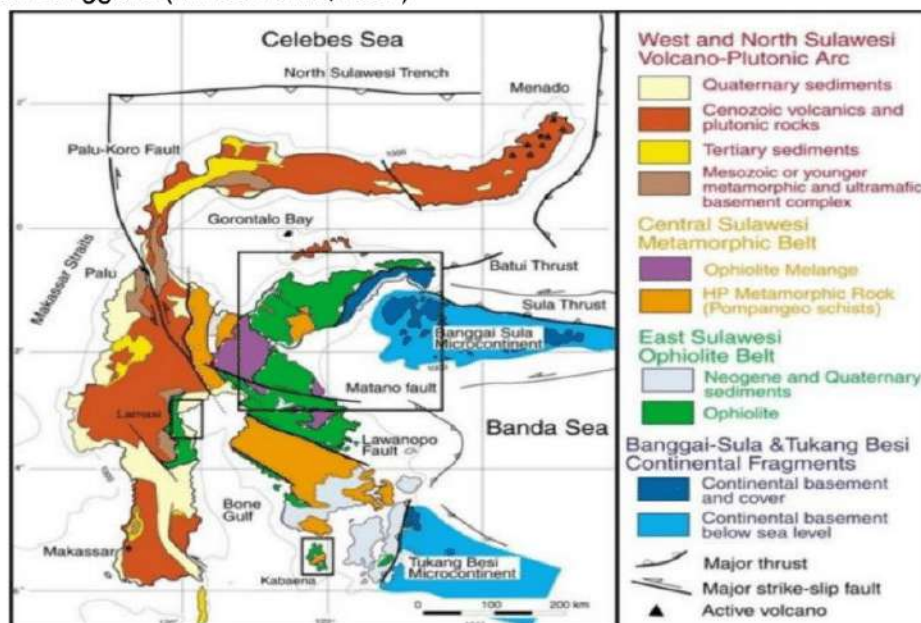
1.2.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui informasi tentang keberadaan struktur bawah permukaan dan penyebaran zona struktur pada profil nikel laterit daerah penelitian, yang penting untuk pemetaan dan eksplorasi sumber daya mineral, selain itu juga dapat mengintegrasikan data geofisika dengan data bor untuk memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai keadaan bawah permukaan sehingga eksplorasi nikel laterit yang dilakukan lebih efisien dengan melihat identifikasi zona-zona yang memiliki kandungan mineral yang lebih tinggi.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Geologi Regional

Geologi pulau Sulawesi dan sekitarnya termasuk kompleks karena adanya proses divergensi oleh tiga lempeng yaitu Lempeng Australia yang bergerak ke utara, Lempeng Pasifik yang bergerak ke barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke Selatan-tenggara (Whitten dkk., 1987).



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

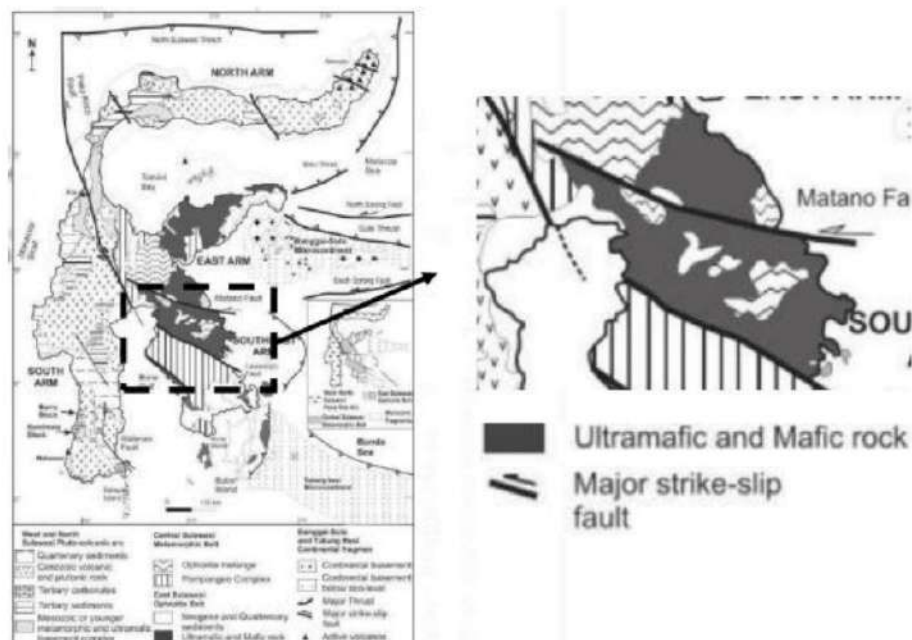
Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sukanto (1975) mengenai proses tektonik dan geologi Pulau Sulawesi dan sekitarnya. Kemudian dibagi menjadi 3 Mandala Geologi dalam Gambar 1, yaitu:

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

Pulau Sulawesi terletak di bagian tengah Kepulauan Indonesia, dimana terdiri dari empat sabuk litotektonik, yaitu (Maulana dkk., 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

Pada Gambar 2 pulau Sulawesi dibagi menjadi 4 bagian berdasarkan proses tektonik yang terjadi pada batas lempeng aktif, yaitu bagian lengan utara (*North Arm*), lengan timur (*East Arm*), lengan Tenggara (*South East Arm*), dan lengan selatan (*South Arm*). Lengan utara dan lengan Selatan membentuk satu unit geologi yang dikenal dengan zona Sulawesi bagian barat, sedangkan lengan timur dan lengan Tenggara membentuk unit geologi lain yang dikenal dengan zona Sulawesi Timur. Kedua busur tersebut bertemu pada daerah Sulawesi Tengah. Dimana pada bagian Selatan dipisahkan oleh Teluk Bone dan bagian utara oleh Teluk Tomini (Hamilton, 1979).



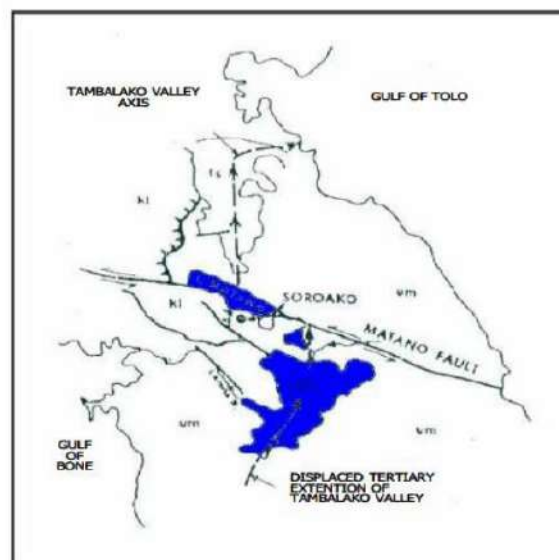
Gambar 2. Peta Geologi Umum Pulau Sulawesi dan Tektonik Sulawesi (Area Sorowako), (Hamilton, 1979)

Bagian Timur Sulawesi tersusun dari 3 zona melange subduksi yang terangkat pada pre dan post Miocene. Melange yang paling tua tersusun dari sekis yang berorientasi ke arah Tenggara disertai beberapa tubuh batuan ultrabasa yang penyebarannya sempit dengan stadia geomorfik tua. Sementara yang berumur post Miocene telah mengalami pelapukan yang cukup luas sehingga cukup untuk membentuk endapan nikel laterit yang ekonomis, seperti yang ada di daerah Pomala (Golightly, 1979).

1.3.2 Geologi Struktur

Geologi struktur adalah bagian dari ilmu geologi yang mempelajari tentang bentuk (arsitektur) batuan sebagai hasil dari proses deformasi. Proses deformasi adalah perubahan bentuk dan ukuran pada batuan akibat dari gaya (*force*) yang terjadi di dalam bumi. Gaya tersebut pada dasarnya merupakan proses tektonik yang terjadi di dalam bumi. Di dalam pengertian umum, geologi struktur adalah ilmu yang mempelajari tentang bentuk batuan sebagai bagian dari kerak bumi serta menjelaskan proses pembentukannya. Dalam geologi struktur terdapat beberapa unsur-unsur geologi struktur, misalnya lipatan (*fold*), patahan (*fault*), kekar (*joint*), dan sebagainya. Didasarkan pada proses pembentukannya, struktur batuan dapat dibedakan menjadi:

- Struktur primer, yaitu struktur yang terjadi pada saat proses pembentukan batuan tersebut, misalnya, pada batuan sedimen: bidang perlapisan bersilang (*cross bedding*), gelembur gelombang (*ripple mark*), perlapisan bersusun (*flow structure*), kekar akibat pendinginan (*cooling joints*), dan sebagainya.
- Struktur sekunder, yaitu struktur yang terjadi kemudian, setelah batuan terbentuk, yaitu akibat proses deformasi atau tektonik. Jenis struktur yang termasuk di dalam struktur sekunder diantaranya adalah lipatan, patahan (sesar), kekar dan sebagainya.



Gambar 3. Geologi Struktur Danau Matano-Sorowako dan sekitarnya (Golightly, 1979)

Gambar 3 menunjukkan danau Towuti pada sisi Selatan dari sesar diperkirakan merupakan pergeseran dari Tambalako akibat pergerakan sesar Matano. Pergerakan sesar ini memblok aliran air ke arah Utara sepanjang lembah dan membentuk Danau Towuti dan aliran airnya beralih ke barat menuju sungai Larona. Danau-danau yang terbentuk akibat dari “*damming effect*” dari sesar ini merupakan bendungan alami yang menahan laju erosi dan membantu mempertahankan deposit nikel laterit yang terbentuk di daerah Sorowako.

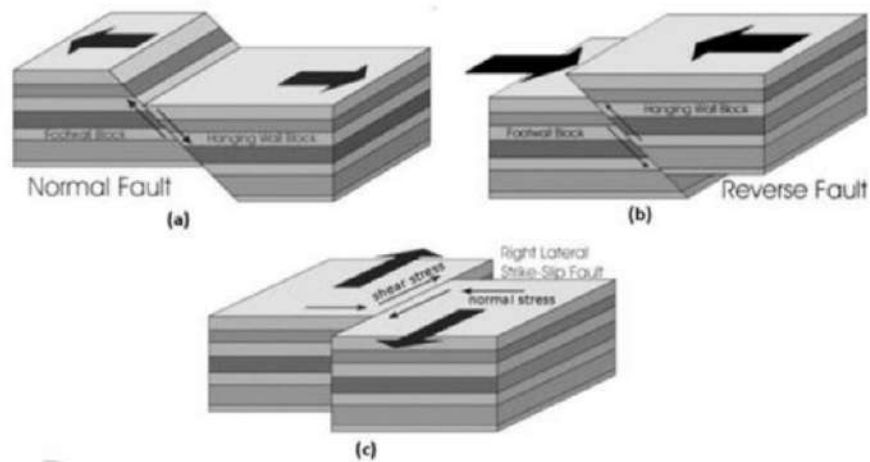
Sesar besar di sekitar daerah menyebabkan relief topografi sampai 600 mdpl dan sampai sekarang aktif tererosi. Sejarah tektonik dan geomorfik kompleks ini sangat penting untuk pembentukan nikel laterit yang bernilai ekonomis. Matano fault yang membuat topografi *liniament* yang cukup kuat adalah sesar aktif dan menggeser Matano *limestone* dan batuan lainnya sejauh 18 km ke arah barat pada sisi Utara. Danau Matano yang mempunyai kedalaman sekitar 600 m diperkirakan adalah graben yang terbentuk akibat efek zona dilatasi dari sesar tersebut.

Menurut Ragan, patahan adalah rekahan atau zona rekahan pada batuan yang memperlihatkan pergeseran. Pergeseran pada patahan dapat terjadi sepanjang garis lurus (translasi) atau terputar (rotasi). Patahan dapat terbentuk sebagai rekahan tunggal maupun berupa jalur yang terdiri dari beberapa patahan minor. Jalur patahan atau jalur penggerusan tersebut mempunyai dimensi panjang dan lebar yang beragam, mulai dari skala minor hingga puluhan kilometer.

Sesar(*fault*) adalah suatu rekahan pada batuan yang mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian yang berhadapan dengan arah yang sejajar dengan bidang patahan (Asikin, 1979). Sesar terdiri dari dua bidang blok yang terpisah yaitu patahan blok bagian atas disebut hanging wall dan patahan blok bagian bawah disebut foot wall (Sammuel dkk., 2020).

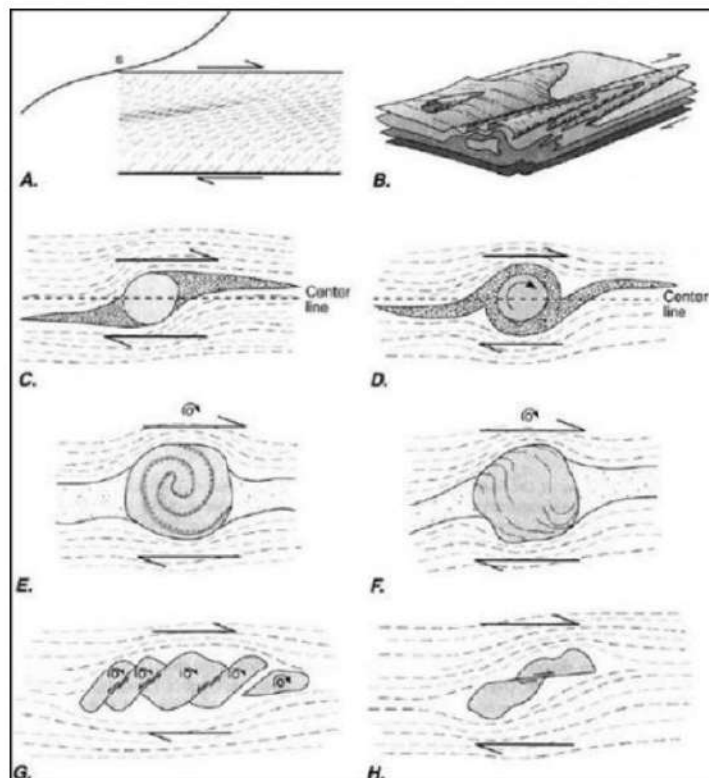
Berdasarkan arah pergerakannya sesar dapat dibagi menjadi tiga seperti pada gambar 4 (Tamril dkk., 2020) yaitu:

- a. Normal *Fault* merupakan kondisi patahan dimana blok bagian atas cenderung lebih turun terhadap blok bagian bawah. Sesar normal terbentuk karena adanya gaya tekan maksimum sehingga hanging wall bergerak menuju kebawah.
- b. Reverse *Fault*, yaitu kondisi ketika hanging wall relatif naik terhadap foot wall. Sesar ini terbentuk karena adanya gaya yang saling tekan sehingga salah satu blok yaitu blok bagian atas (hanging wall) mengalami pergerakan dan relatif bergerak ke atas.
- c. Strike-slip *Fault*, yaitu kondisi dimana pergerakan antara hanging wall dan foot wall bergerak secara horizontal.



Gambar 4. (a) Sesar Normal, (b) Sesar Naik (Reverse), (c) Sesar Geser (strike-slip) (Mubarak, 2017) (Mubarak, 2017)

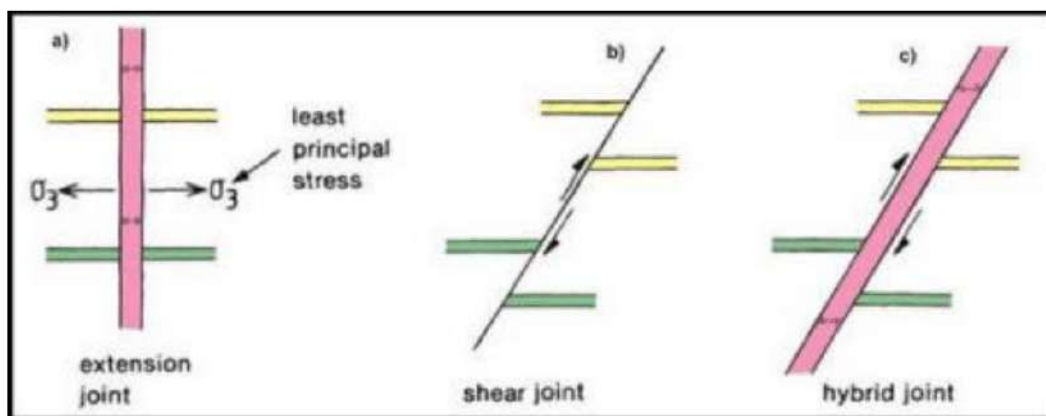
Pada lapisan batuan yang bersifat *ductile* suatu pergerakan blok patahan akan menghasilkan unsur-unsur yang berbeda dengan batuan yang bersifat *brittle*. Unsur-unsur pada lapisan *ductile* umumnya dipengaruhi oleh pensejajaran mineral pipih, pembentukan tail, rotasi butiran mineral, dan pergeseran butiran mineral seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Unsur-unsur yang dihasilkan oleh lapisan batuan yang bersifat Ductile (Twiss dan Morres, 1992)

Selain unsur-unsur yang terdapat pada bidang patahan, suatu patahan juga ditandai dengan hadirnya rekahan-rekahan atau kekar-kekar yang dihasilkan oleh pergeseran blok patahan tersebut. Kekar-kekar tersebut terletak pada zona patahan. Berdasarkan genesanya, umumnya kekar terdiri dari dua jenis, yaitu *shear joint* dan *extension joint*. Kekar-kekar tersebut memiliki karakteristik sudut permukaan yang berbeda satu dengan lainnya terhadap arah tegasan utama.

Shear joint merupakan rekahan yang bidang-bidangnya terbentuk akibat adanya kecenderungan untuk saling bergeser. Sedangkan *extension joint* merupakan rekahan yang bidang-bidangnya terbentuk akibat adanya kecenderungan untuk saling menarik/merenggang (*release*). *Extension joint* dapat dibagi menjadi dua yaitu *tension joint* atau *gash fracture* yang bidang rekahannya searah dengan arah tegasan utama dan *release joint* yang bidang rekahnya tegak lurus terhadap arah tegasan utamanya, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Kenampakan dari jenis joint secara genetic (McClay, 1987)

Secara sederhana suatu lipatan terdiri dari *hinge point*, *crest*, *fold axis*, *axial plane*, *fold limb*, *bedding surface*, dan *inflexion point*. *Hinge line* adalah puncak tertinggi dari suatu lipatan. *Crest* adalah garis terketat dalam suatu lipatan yang merupakan garis retakan terbesar. *Fold axis* atau merupakan *hinge line* adalah garis memanjang yang menunjukkan arah dari suatu lipatan. *Axial plane* adalah bidang khayal yang kedudukannya menunjukkan besarnya arah sumbu lipatan dan kemiringan sumbu lipatan. *Fold limb* adalah sisi atau sayap dari suatu lipatan. *Bedding surface* merupakan permukaan dari perlapisan batuan yang menyusun suatu lipatan. Serta *inflexion point* adalah titik dengan *slope* maksimum (McClay, 1987).

Menurut Ragan, lipatan adalah hasil perubahan bentuk atau volume dari suatu bahan yang ditunjukkan sebagai lengkungan atau kumpulan lengkungan pada unsur garis atau bidang dari bahan tersebut. Lipatan dapat merupakan pelengkungan lemah yang luas, bias lebih dari ratusan kilometer sampai yang sangat kecil yang berskala mikroskopis. Lipatan sangat mudah dilihat pada batuan yang berlapis dan merupakan hasil deformasi *ductile* akibat kompresi dan *shear stress*.

Lipatan juga dapat berasosiasi dengan kekar, sehingga data-data kekar tersebut dapat membantu merekonstruksi suatu lipatan yang unsur-unsur umumnya telah tergerus atau tererosi. Pada suatu lipatan umumnya kekar yang berkembang adalah *shear joint* dan *tension joint*. Hal ini dikarenakan pada fase perlipatan umumnya tegasan yang bekerja adalah tegasan kompresional, meskipun terdapat pula lipatan yang terbentuk akibat tegasan ekstensional. *Shear joint* umumnya membentuk sudut sekitar 30° terhadap arah tegasan utama sedangkan *tension joint* atau *gash fracture* memiliki arah yang relatif sama dengan arah tegasan utama (Twiss dan Morres, 1992).

Secara umum suatu lipatan terbentuk terlebih dahulu dari suatu patahan, namun suatu patahan dapat membentuk suatu lipatan. Lipatan tersebut dikenal dengan *drag fold*. *Drag fold* dapat terbentuk oleh berbagai macam patahan, baik patahan naik, normal, maupun patahan *oblique*. *Drag fold* ditandai dengan adanya *strike* dan *dip* yang acak pada suatu daerah.

1.3.3 Endapan Nikel Laterit

Nikel merupakan logam yang berwarna kelabu perak yang memiliki sifat-sifat fisik kekerasan dan kekuatan nikel menyerupai kekuatan besi serta mempunyai sifat daya tahan terhadap korosi. Endapan nikel laterite terbentuk dari hasil pelapukan yang dalam dari kekar jenis ultramafik. Umumnya terbentuk pada iklim tropis sampai sub-tropis. Saat ini kebanyakan nikel laterite memang terbentuk di daerah ekuator. Negara penghasil nikel laterite di dunia diantaranya New Caledonia, Kuba, Philippines, Indonesia, Columbia dan Australia.

Istilah laterit berasal dari kata Latin "*later*" yang berarti bata. Buchanan Hamilton pertama kali memperkenalkan istilah ini pada tahun 1807 untuk kerak besi bumi yang dipotong menjadi batu bata untuk tujuan bangunan oleh masyarakat Malabar, di India bagian selatan-tengah. Menurut Buchanan, bahan segar itu cukup lunak untuk dipotong menjadi batu bata namun dikeraskan dengan konsistensi seperti batu bata saat terpapar/eksposur. Proses pengerasan tidak bisa dibalikkan. Orang-orang setempat di Malabar menyebut bahan tersebut sebagai "batu bata/brickstone" (Ahmad, 2008).

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder. Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Lintjewas dkk., 2019).

Laterit nikel adalah tanah sisa yang umumnya berkembang di atas batuan dasar ultrabasa. Umumnya merupakan endapan permukaan meskipun beberapa batuan laterit yang terkubur memang ada di dunia. Mereka biasanya terbatas pada daerah tropis dunia saat ini meskipun beberapa endapan fosil laterit terdapat jauh dari daerah tropis saat ini. Ketebalannya umumnya rendah sehingga hanya memerlukan pengeboran dangkal.

Batuan induk dari endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa dengan kandungan mineral ferromagnesian (olivine, piroksin, dan amphibole) dalam jumlah besar yang berasosiasi dengan struktur geologi yang terbentuk pada masa Precambrian hingga Tersier (Ahmad.,2009).

Endapan nikel laterit daerah Sorowako terbagi atas tiga wilayah yang biasa disebut blok (*Block*) yaitu:

- Tipe *West Block*

Endapan nikel laterit daerah blok barat (*West Block*) memiliki topografi yang terjal membentuk pegunungan. Pada daerah blok barat (*West Block*) batuan dasarnya didominasi oleh harzburgit yang mengandung olivine (rata-rata 80-90%) dan ortopiroksen (rata-rata 10-20%). Beberapa kemunculan dunit dengan olivin >90%. Batuan di daerah ini umumnya tidak mengalami serpentinisasi atau sedikit terserpentinisasi. Sifat material yang relatif keras menyebabkan kesulitan dalam penambangan. Batuan di daerah ini menunjukkan rasio silika magnesia (S/M) yang relatif lebih tinggi (2,2 – 2,6).

- Tipe *East Block*

Endapan nikel laterit daerah blok timur (*East Block*) memiliki topografi yang landai sedikit berbukit. Daerah blok timur (*East Block*) di dominasi oleh lherzolite yang mengandung olivin (rata-rata 60-65%), dan mengandung orthopiroksen (rata-rata 25-30%) maupun klinopiroksen (rata-rata 10%). Beberapa bagian juga terdapat harzburgit dan dunit. Dua dari tiga dunit memiliki serpentinisasi yang tinggi dan mineralogi aslinya ditafsirkan sebagai 99% olivin. Batuan di *East Block* memiliki serpentinisasi yang bervariasi. Sampel dari bagian timur Blok Timur terserpentinisasi lemah hingga sedang, sedangkan sampel dari bagian barat Blok Timur hingga Blok Barat terserpentinisasi kuat. Peningkatan derajat serpentinisasi di struktur daerah ini didukung juga oleh peningkatan kandungan magnetik dalam material batuan. Sifat batuan relatif lebih lunak dan menunjukkan rasio silika magnesia (S/M) yang lebih rendah (1,4 – 2).

- Tipe *Petea Block*

Petea memiliki topografi yang landai. Batuan di blok ini umumnya adalah serpentinite. Batuan di daerah ini memiliki tingkat serpentinisasi yang tinggi, dengan kekerasan batuan yang rendah. Berdasarkan kondisi geologi yang ada, daerah ini di kontrol oleh adanya sesar geser yang searah dengan sesar geser Matano. Berada pada zona yang kaya akan batuan ultramafik yang bertindak sebagai batuan dasar terbentuknya laterisasi nikel.

Litologi penyusun area ini terdiri dari harzburgite, lherzolite, dan serpentin. Berdasarkan (Ahmaad, 2009) kadar olivin yang terkandung dalam batuan area ini berkisar antara medium hingga tinggi (>20 %).

- *Highly serpentinized* peridotite/harzburgite secara umum berwarna hitam kehijauan, coklat kemerahan dengan struktur yang *massive*. Komposisi mineral berupa olivin, mineral opak dan massa dasar.

- *Medium serpentized* peridotite umumnya berada pada sisi selatan sesar Matano dengan ditemukannya beberapa *intrusive*.
- *Shear zones* (zona sesar Matano) yang terdiri dari batuan yang *relative* hancur dan terbreksikan.

1.3.4 Genesa Pembentukan Nikel Laterit

Secara umum nikel dapat terbentuk secara primer maupun sekunder atau yang sering disebut sebagai nikel laterit. Endapan nikel yang terdapat di Indonesia hanya dijumpai dalam bentuk nikel laterit. Batuan induk endapan Nikel laterit adalah batuan ultrabasa umumnya dari jenis harzburgit (peridotit yang kaya unsur ortopiroksen), dunite dan jenis peridotite yang lain. Oleh karena adanya proses pelapukan menyebabkan terjadi proses pengkayaan sekunder yang meningkatkan kadar Ni dalam batuan (Isjudarto, 2013).

Endapan laterit terbentuk dari pelapukan batuan ultramafik seperti peridotit yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur Ni, Co, dan Fe. Air hujan yang mengandung CO₂ dari udara meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah sambil melindih mineral primer yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksen. Air tanah meresap secara perlahan dari atas ke bawah sampai batas antara zona *limonite* dan zona *saprolite* kemudian mengalir secara lateral dan selanjutnya didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal. Unsur-unsur yang terbawa bersama larutan seperti magnesium dan silika akan mengalami pengendapan yang memungkinkan terbentuknya mineral baru. Larutan yang mengandung nikel hasil dari pengendapan unsur-unsur yang mudah larut akan masuk ke zona *saprolite*.

Pada zona ini batuan ultramafik akan berakumulasi dengan unsur-unsur yang mengandung nikel dan akan mengendap kembali pada rekahan melalui transportasi air tanah yang memasuki rekahan-rekahan tersebut sehingga zona *saprolite* ini akan menjadi jenuh dengan unsur nikel. Unsur-unsur yang tertinggal di zona *limonite* seperti Fe, Mg, Co dan Ni akan mengalami pelapukan lebih lambat yang disebabkan oleh kurangnya konsentrasi air tanah pada zona ini sehingga kandungan nikel pada zona *limonite* akan lebih sedikit dibandingkan kandungan nikel pada zona *saprolite* (Santoso, 2018).

1.3.5 Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit

Menurut Ahmad (2006) ada beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih nikel laterit diantaranya:

1. Batuan Asal

Adanya batuan induk berupa batuan ultrabasa merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit. Dalam hal ini pada batuan ultrabasa tersebut 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 dapat menimbulkan perbedaan temperatur cukup besar yang dapat membantu terjadinya pelapukan mekanis dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan. Proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.

3. Reagen-Reagen Kimia dan Vegetasi

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ 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 akar pohon-pohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, 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.

4. Struktur

Struktur yang sangat dominan yang terdapat di daerah penelitian 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.

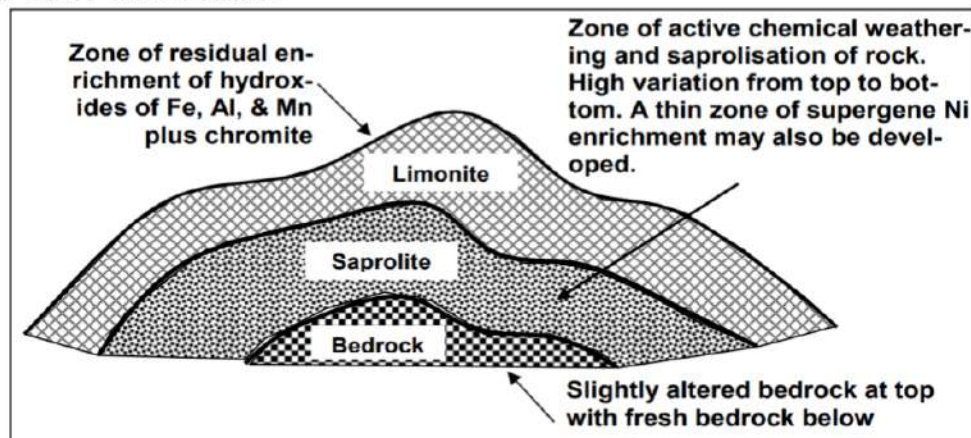
5. Topografi

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.

6. Waktu

Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

1.3.6 Profil Nikel Laterit



Gambar 7. Profil Nikel Laterit (Ahmad, 2009)

Pelapukan kimiawi batuan ultramafik disertai pelepasan unsur-unsur yang larut dalam air dan tidak larut dalam air. Unsur-unsur yang larut dalam air pada akhirnya akan larut pada saat proses pelapukan sedangkan unsur-unsur yang tidak larut dalam air akan tinggal pada saat proses pengayaan. Proses pelapukan kimia akan menghasilkan pembentukan profil laterit yang bertingkat dengan laterit termuda di bagian bawah dan laterit tertua berada di bagian atas. Banyak zona dalam profil pelapukan laterit yang ditandai karena keberadaan air, baik karena gerakan bawah serta melalui tingkat fluktuasi. Dapat dipastikan bahwa tanpa kehadiran dan ketersediaan air maka laterit tidak akan mampu membentuk zona-zonanya (Ahmad, 2009).

Profil laterit dijelaskan dalam urutan kronologis zona yang berbeda berkembang dari bawah ke atas seperti yang terlihat pada gambar 7 (Ahmad, 2009):

- **Zona Bedrock**

Zona ini berasal dari batuan dasar yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Zona ini adalah zona di mana pelapukan baru mulai di sepanjang rekahan-rekahan (fracture) pada batuan. Karakteristik dan densitas asal masih terlihat, kecuali "*weathering front*" yang lebih dalam di daerah sesar, kekar, dan pada permukaan rekahan. Zona ini biasanya memperlihatkan rekahan – rekahan (frakturisasi) yang kuat, kadang membuka dan terisi oleh mineral garnierite dan silika akibat proses leaching. Perbedaan antara *bedrock* dan lapisan *saprolite* di bagian atas tidak terlalu mencolok. Selain itu, batas lapisannya tidak pernah horizontal tetapi mengikuti kontur yang menembus lebih dalam pada sesar, kekar dan rekahan.

- **Zona Saprolite**

Zona ini merupakan zona perubahan/alterasi batuan dasar dimana proses pelapukan kimia berlangsung secara intensif. Zona *saprolite* umumnya terletak dibawah permukaan air, pada daerah saturasi yang umumnya lembab/basah. Pelapukan dan reaksi kimia berlangsung di sepanjang kekar dan rekahan. Proses saprolisasi di sepanjang permukaan rekahan mengarah pada pembentukan "Boulder" di zona *saprolite*. Boulder dapat membentuk *saprolite crust* yang mengandung kadar nikel tinggi. Tekstur dan struktur batuan asal masih terlihat.

Pada batuan asal yang diakibatkan karena sulitnya air menembus batuan dasar. Tingkat porositas pada umumnya meningkat pada bagian atas zona *saprolite* dan mencapai nilai maksimum pada zona pertengahan.

- **Zona *Limonite***

Zona ini merupakan zona dimana unsur yang tidak dapat terlarut mencapai nilai maksimum. Semua unsur yang terlarut seperti (Ca, Na, K, Si) dari zona pelapukan meninggalkan Fe, Al, dan Mn yang teroksidasi di permukaan (tidak terlarut). Bagian atas dari zona yang kaya akan unsur Fe merupakan "goethite" sedangkan bagian bawahnya yang terbentuk dari hidrasi oksida besi merupakan "*limonite*". Goethite dapat termobilisasi ulang di dekat permukaan yang kemudian mengkristal kembali sehingga disebut *ferricrete* tinggi dibandingkan zona transisi. Struktur asli dan tekstur batuan asal sudah tidak terlihat lagi pada zona ini. Beberapa struktur kekar dan silika *boxwork* dapat ditemui dari lapisan *saprolite* ke *limonite*. *Bulk density* pada zona *limonite* lebih tinggi dibandingkan zona transisi. Struktur asli dan tekstur batuan asal sudah tidak terlihat lagi pada zona ini. Beberapa struktur kekar dan silika *boxwork* dapat ditemui dari lapisan *saprolite* ke *limonite*.

1.3.7 Sifat Kelistrikan Batuan

Setiap batuan memiliki sifat kelistrikan yang menunjukkan karakteristik dari batuan apabila dialiri oleh arus listrik baik yang berasal dari alam maupun yang sengaja diinjeksikan ke bawah permukaan bumi. Batuan merupakan material yang mempunyai daya hantar listrik (konduktivitas) dan tahanan jenis (resistivitas) tertentu. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Sifat-sifat kelistrikan batuan tersebut beberapa diantaranya adalah potensial listrik dan konduktivitas listrik yang diuraikan sebagai berikut (Telford, dkk., 1990).

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):

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

Dimana 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 tidak lain adalah gradien potensial skalar:

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

Sehingga persamaan (2) menjadi:

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

Untuk arus tetap, maka berlaku persamaan:

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

Maka,

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

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

Jika σ adalah koefisien konstan, maka suku pertama pada persamaan (7) akan hilang dan memenuhi persamaan Laplace yang disebut potensial harmonik:

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

Pada setiap bidang equipotensial dalam bumi yang membentuk permukaan bola yang mempunyai jari-jari r , sehingga arus yang keluar melalui luas permukaan bola dengan jari-jari r yaitu (Telford dkk, 1990):

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

Bila pers (9) diintegalkan maka akan menghasilkan pers (10):

$$\int r^2 \frac{dv}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dv}{dr} = P \rightarrow \frac{dv}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (10)$$

Kemudian pers (10) diintegalkan lagi, maka diperoleh pers (11):

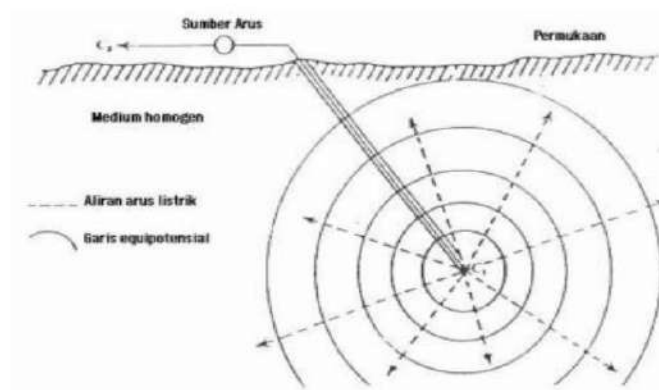
$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (11)$$

Dengan P dan Q adalah konstanta. Karena $V = 0$ pada saat jarak jauh ($r = \infty$), maka diperoleh $Q = 0$, sehingga persamaan (11) menjadi:

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

Dalam kasus ini sumber arus di dalam bumi diasumsikan homogen isotropik yang menyebabkan arus menyebar ke segala arah seperti pada Gambar 10 (Telford, dkk., 1990).

$$I = A J \quad (13)$$



Gambar 8. Sumber arus tunggal dalam bumi (Telford dkk., 1990)

Pada gambar 8, luas permukaan equipotensial berbentuk bola adalah $A = 4\pi r^2$ disubstitusi persamaan (3) bersama pers (4), maka diperoleh:

$$I = 4\pi r^2 \vec{j} = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) \quad (14)$$

Karena V dalam fungsi $r \rightarrow \nabla V = \frac{dv}{dr}$, kemudian persamaan (10) disubstitusikan ke persamaan (14) maka:

$$I = 4\pi r^2 \sigma \frac{P}{r^2} = -4\pi \sigma P \quad (15)$$

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

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} P \rightarrow P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (16)$$

Persamaan (16) disubstitusikan pada persamaan (12) maka dihasilkan:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (17)$$

Dengan,

V = Potensial Listrik (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

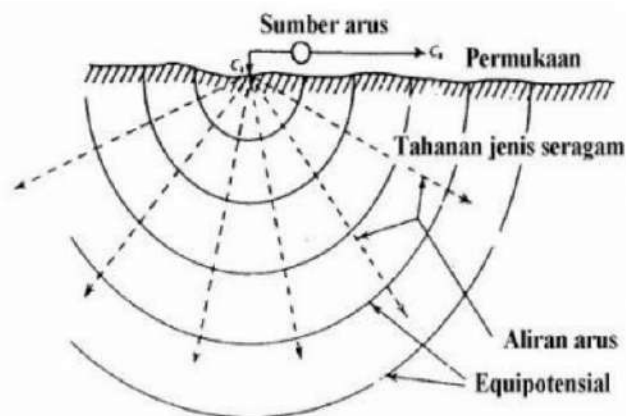
P = Konstanta

$\vec{j}$ = Rapat Arus (A/m²)

σ = Konduktivitas (S/m)

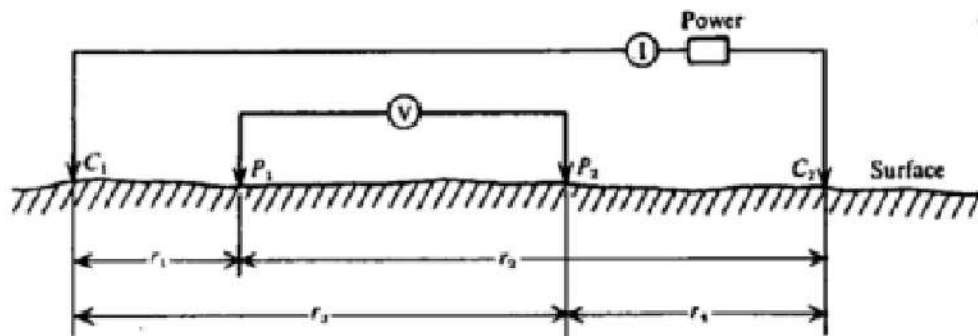
Gambar 9 arus listrik diinjeksikan melalui elektroda yang ditanam di permukaan tanah yang homogen isotropik dan udara di atasnya dianggap mempunyai konduktivitas nol. Arus yang mengalir di dalam medium bumi akan membentuk permukaan ekuipotensial dalam ruang setengah bola sehingga persamaan (17) diperoleh menjadi (Telford dkk, 1990):

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (18)$$



Gambar 9. Sumber arus tunggal pada permukaan bumi (Telford dkk, 1990)

Potensial listrik oleh dua sumber arus di permukaan bumi ketika jarak antara dua elektroda arus telah ditentukan terlihat seperti pada gambar 10. Model tersebut menampilkan P1 dan P2 merupakan elektroda potensial dan C1 dan C2 merupakan elektroda arus. Untuk r_1 , r_2 , r_3 dan r_4 merupakan jarak antara elektroda yang terpasang.



Gambar 10. Ilustrasi dua elektroda arus dan potensial 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):

$$V_{P1} = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (19)$$

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

$$V_{P2} = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (20)$$

Beda potensial antara P1 dan P2 sebagai berikut:

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (21)$$

Sehingga didapatkan persamaan:

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

Atau dapat dituliskan:

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

Dengan:

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

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.

1.3.8 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geolistrik untuk mempelajari sifat resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan bumi. Metode resistivitas ini merupakan dasar dari semua metode geolistrik karena darinya akan dikembangkan beberapa metode aktif yang kemudian akan digunakan sesuai kebutuhan. Metode geolistrik resistivitas menangkap perubahan resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan bumi yang diselidiki di bawah titik pengukuran. Metode geolistrik resistivitas mengasumsikan bahwa bumi adalah resistivitas besar. Metode resistivitas ini memiliki konfigurasi yang berbeda-beda termasuk konfigurasi Schlumberger sehingga menggunakan metode resistivitas geospasial ini memerlukan konfigurasi elektroda untuk mendapatkan nilai resistivitas batuan yang tepat untuk keperluan survei batuan (Kurniawan, 2021).

Metode geolistrik resistivitas merupakan metode geofisika yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat kelistrikan lapisan batuan di bawah permukaan bumi dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus, kemudian mengukur respon beda potensial listrik melalui sepasang elektroda potensial. Kelebihan dari metode ini adalah efisiensi pada akuisisi data dan tanpa pengeboran yang cenderung akan merusak sifat asli tanah (Syamsuddin dkk, 2019).

Prinsip dasar metode resistivitas adalah hukum Ohm, yang menghubungkan antara arus listrik yang mengalir pada sebuah material konduktif dengan tegangan listrik yang di hasilkan. Hubungan secara matematis dari hukum tersebut dapat ditulis:

$$\Delta V = I \cdot R \quad (25)$$

Dengan:

ΔV = Beda Potensial (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

Resistivitas listrik tidak hanya dipengaruhi oleh jenis material, akan tetapi juga dipengaruhi oleh bentuk geometri bahan yang dilewati arus listrik. Dengan demikian, bentuk geometri dan tahanan listrik suatu bahan merupakan parameter penting di dalam menentukan nilai resistivitas suatu material, dengan hubungan matematis seperti berikut:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (26)$$

Dengan:

R = Resistansi (Ohm)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

L = Perubahan panjang penampang (m)

A = Luas penampang (m²)

Substitusi persamaan (9) ke persamaan (10) menghasilkan hubungan matematis seperti:

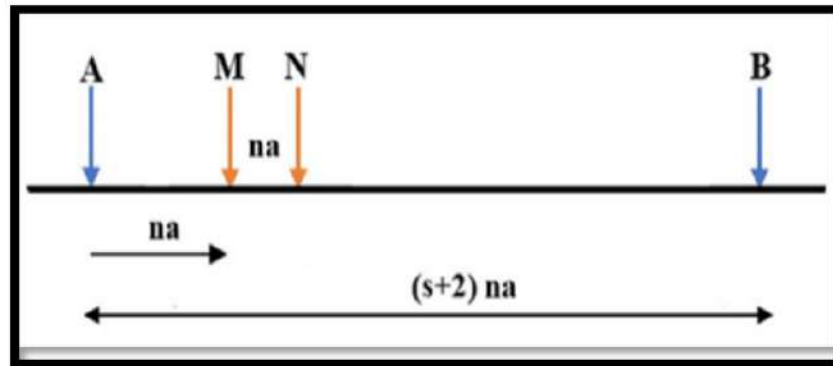
$$\rho = \frac{A}{L} \frac{\Delta V}{I} \quad (27)$$

Resistivitas (ρ) yang sesungguhnya dari suatu material dapat di peroleh dengan memanfaatkan persamaan 11 Akan tetapi istilah resistivitas semu (apparent resistivity) (ρ_a) muncul kemudian setelah didapatkan bahwa pada kenyataannya bumi atau lapisan dibawah permukaan merupakan material yang tidak homogen. Nilai resistivitas yang terbaca dalam pengukuran geolistrik tahanan jenis adalah fiktif homogen yang setara dengan tinjauan bahwa struktur di bawah permukaan bumi adalah berlapis (Erfan dkk, 2019).

1.3.9 Konfigurasi *Gradient*

Konfigurasi *gradient* adalah salah satu konfigurasi yang jarang digunakan. Konfigurasi *gradient* mampu mendapatkan data set yang besar, namun konfigurasi ini perlu menggunakan sistem multichannel agar dapat mengefisienkan waktu. Konfigurasi *gradient* berfokus pada eksplorasi mineral. Konfigurasi *gradient* mampu memberikan hasil resolusi yang paling baik di bawah permukaan dibanding dengan konfigurasi lain. Konfigurasi lain memiliki daerah investigasi yang dangkal, dan juga mampu mendapatkan resolusi yang baik dari struktur vertikal. Tetapi konfigurasi

gradient lebih sensitif terhadap noise jika dibandingkan dengan konfigurasi Wenner (Dahlin dan Zhou, 2004).



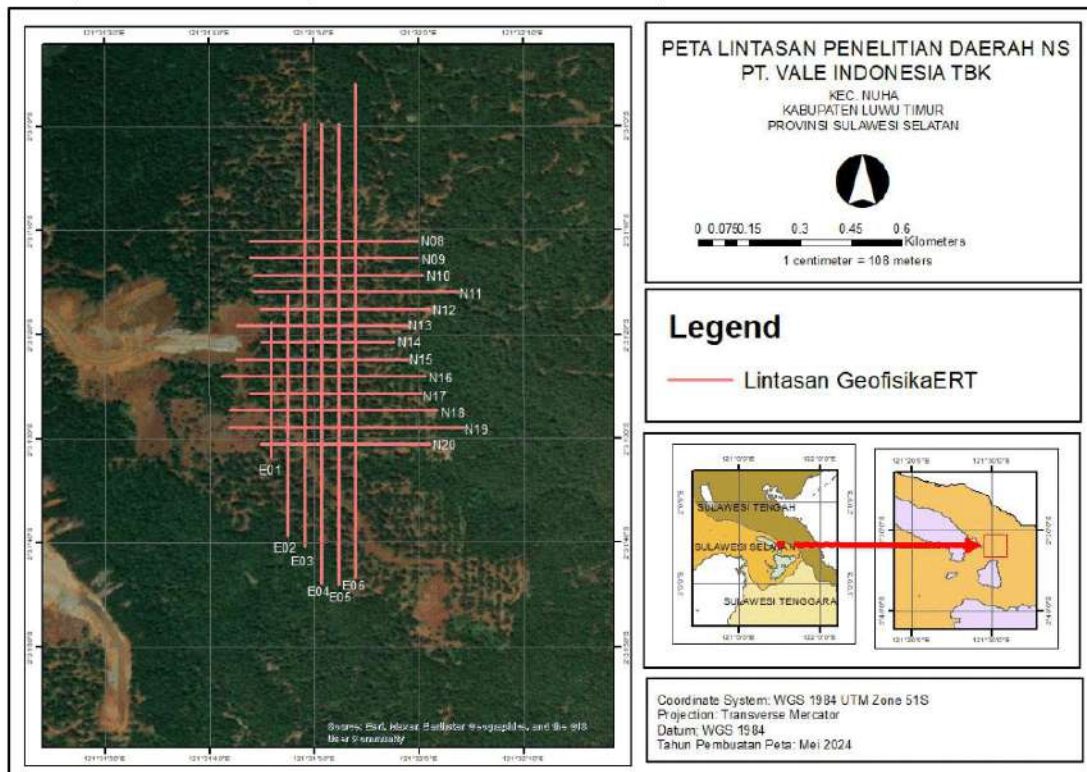
Gambar 11. Sketsa Susunan Konfigurasi Gradient (Dahlin dan Zhou, 2004)

Konfigurasi *gradient* dilakukan dengan menginjeksikan elektroda arus dengan jarak pemisah $(s+2)na$ seperti yang diilustrasikan pada gambar 11 selanjutnya elektroda potensial berada ditengah elektroda arus dengan jarak a . Dimana s adalah bilangan bulat yang merupakan nilai maksimum antara elektroda arus. Sedangkan faktor n dapat didefinisikan sebagai jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial terdekat.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada daerah “NS” yang merupakan bagian dari wilayah kontrak pertambangan PT. Vale Indonesia yang secara administratif terletak di Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia.



Gambar 12. Peta lintasan ERT Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan pada wilayah operasi PT. Vale Indonesia seperti terlihat pada gambar 14 yang terdiri atas 19 lintasan dengan enam lintasan yang berorientasi utara-selatan (N-S) dan tiga belas lintasan yang berorientasi arah timur-barat (E-W) dengan total 445 *drill hole* yang masuk dalam lintasan.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada saat pengolahan data yaitu:

1. *Software Res2DInv*
2. *Software Datamine Studio RM*
3. *Software Microsoft Word*
4. *Software Microsoft Excel*

- d. Pemasangan patok polygon dan memberi ID polygon
- e. Melakukan *traverse* yakni penentuan garis lurus (*center line*) yang ditandai dengan ajer-ajer (pita merah) dengan jarak 25–30 meter atau selama masih bisa terlihat jelas dari titik pita merah sebelumnya.

3. *Line Clearing*

Line clearing merupakan pembersihan area sekitar lintasan lurus (pita merah) sekitar 1 meter di area kanan kiri lintasan. Membersihkan vegetasi di sepanjang lintasan yang akan diukur dengan menggunakan parang dan *chainsaw* dan membuat handrail dan tangga di daerah terjal yang menghalangi lintasan agar tidak terjadi distorsi panjang kabel.

4. Pengukuran ERT

Proses akuisisi data ERT menggunakan alat Terrameter LS 12 *Channel*. Adapun langkah-langkah pengukuran yaitu:

- a. Pembentangan kabel dan pemasangan elektroda. Kabel yang digunakan sebanyak 4 buah dengan panjang setiap kabel 112 m sehingga jumlah panjang lintasan yang didapatkan adalah 441 meter. Adapun jumlah elektroda yang digunakan sebanyak 64 elektroda dengan spasi antar elektroda 7 meter. Setiap elektroda disiram dengan air garam agar penyaluran arus lebih maksimal dan larutan bentonite yang berguna untuk memadatkan tanah yang berongga. Elektroda pertama setiap kabel akan diberi penanda berupa patok dengan pita biru.
- b. Pemasangan alat Terrameter LS 2 yang dipasang di tengah-tengah lintasan atau bentangan kabel di dekat elektroda pertama kabel 3. Kemudian pemasangan konektor 1 pada kabel 1 dan 2, serta konektor 2 pada kabel 3 dan 4.
- c. Melakukan setting alat seperti menentukan konfigurasi yang digunakan, spasi elektroda, banyak elektroda, panjang lintasan, dan parameter test elektroda.
- d. Melakukan tes elektroda apakah sudah terpasang dengan baik atau ada yang *no contact*. Elektroda dianggap bagus jika pembacaannya $< 2000 \text{ Ohm}$, sedangkan elektroda yang *no contact* akan diperbaiki posisinya atau disiram larutan air garam atau bentonite.
- e. Setelah semua elektroda dianggap bagus maka pengukuran dapat dimulai, proses pengukuran dengan menggunakan metode *roll along* dan konfigurasi gradient.
- f. Setelah pengukuran selesai alat dimatikan (*power off*), kemudian berpindah untuk pengukuran selanjutnya.

5. *Re-Survey*

Merupakan proses pengambilan koordinat X,Y,Z (elevasi) setiap pita biru (elektroda pertama tiap kabel) untuk memastikan titik koordinat dan elevasi pada lintasan setiap 112 m yang mengacu pada patok pita biru yang merupakan ujung dari setiap kabel. Sebelum mengambil titik koordinat maka dilakukan centering alat kemudian membuat project list (ketika akan melakukan pengambilan titik koordinat) atau task list (ketika hendak melanjutkan data). Kegiatan *Re-Survey*

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada saat pengolahan data penelitian tugas akhir ini berupa data-data sekunder Perusahaan PT. Vale Indonesia dengan metode ERT meliputi:

1. *Data ERT*
Data pengukuran ERT *konfigurasi gradient* sebanyak 19 lintasan yang terdiri dari 6 lintasan arah Utara-Selatan dan 13 lintasan arah Timur-Barat. Data hasil pengukuran ERT berupa koordinat, elevasi dan nilai resistivitas yang dari setiap lintasan. Pengukuran ini menggunakan alat *Terrameter LS 12 Channel* Produksi ABEM.
2. *Drill Hole*
Drill Hole sebanyak 445 data yang *overlap* dengan lintasan ERT. Data bor yang digunakan terdiri dari data *Assay* dan data *Collar*.
3. *Photo Core*
Photo Core digunakan untuk memastikan interpretasi struktur bawah permukaan pada Lokasi penelitian.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahapan Kajian Pustaka

Tahapan ini meliputi pengumpulan berbagai macam literatur yang berhubungan dengan metode ERT, kondisi geologi daerah penelitian setempat yang berhubungan dengan genesa pembentukan nikel laterit, karakteristik nikel daerah penelitian, geologi struktur serta penelitian terkait mengenai metode ERT yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk memudahkan dalam menginterpretasi setiap zona lapisan nikel laterit.

2.3.2 Tahapan Survei Lapangan

Tahapan survei lapangan ini merupakan tahapan ideal yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengukuran menggunakan metode ERT.

1. *Line Planning*
Proses *line planning* merupakan penentuan lintasan ERT dengan menggunakan koordinat ujung lintasan dan membuat ID lintasan. Pembuatan *line planning* berdasarkan *boundary hill* yang ada dan mengacu pada titik *hole*, struktur, batas hutan, batas izin, pemukiman dan pabrik. Pembuatan peta *line planning* ini menggunakan *software* ArcGis.
2. *Surveying*
Survey dilakukan untuk membuat lintasan lurus dilapangan berdasarkan *line planning* yang telah dibuat dengan mengacu pada titik koordinat yang ada map. Adapun langkah-langkah survei saat memasuki *hill* atau lokasi yang baru yaitu:
 - a. Menentukan titik *benchmark* (BM) sebagai acuan pengukuran koordinat pada saat *survey*.
 - b. Menyiapkan alat-alat yang akan digunakan seperti *total station*, statif, patok, pita merah, dll.
 - c. Melakukan *centering* alat *total station*

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 Tahapan Pengolahan Data ERT

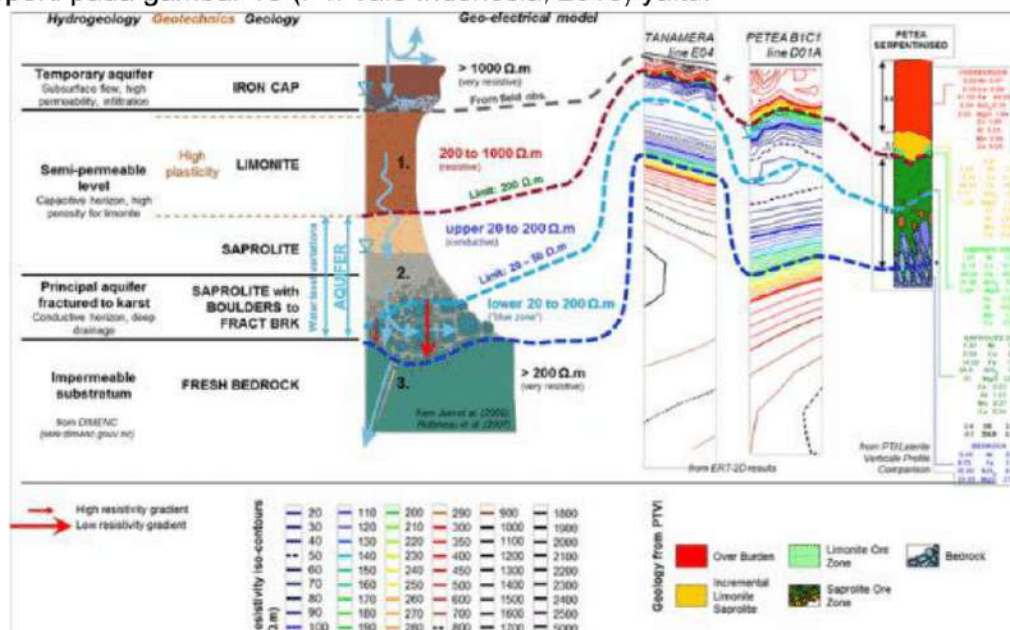
Data lapangan yang diperoleh dari PT. Vale Indonesia merupakan data akuisisi metode geolistrik konfigurasi gradien. Terdapat 19 lintasan pengukuran dimana data yang didapatkan merupakan nilai resistivitas semu sehingga dilakukan proses inversi untuk mendapat nilai resistivitas sebenarnya pada satu penampang 2D yang kemudian dikorelasikan dengan data bor untuk selanjutnya dilakukan interpretasi.

1. Memperoleh nilai resistivitas semu yang dihitung dari faktor konfigurasi pengukuran dan perbandingan nilai beda potensial (V) dan kuat arus (I) pengukuran.
2. Data yang diperoleh dimasukkan dalam *Software Res2DInv* dalam bentuk dat yang terdiri dari data pengukuran, topografi dan global koordinat sesuai dengan format yang dapat terdeteksi pada software *Res2DInv* untuk memperoleh penampang 2D.
3. Pada *Software Res2DInv* dilakukan read parameter yang sudah ditentukan perusahaan, kemudian input data.
4. Pada inversi data menggunakan iterasi 5 sehingga program akan menganalisa ulang data hasil pengukuran di lapangan sebanyak lima kali, hal tersebut dapat mengurangi tingkat RMS pada penampang 2D hasil inversi.
5. 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.
6. Setelah dianggap bagus kemudian melakukan inversi kembali untuk mendapatkan penampang 2D. Tingkatan nilai resistivitas hasil inversi pada setiap lapisan memiliki warna yang sama, hasil inversi di setiap lintasan dapat dilihat pada **lampiran 1**.
7. Selanjutnya mengekspor penampang 2D dari *Software RES2DINV* ke *Software Datamine Studio RM* dengan cara menyimpan data dengan format "XYZ".
8. 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 menggunakan Microsoft Excel.
9. Data XYZ diubah menjadi format CSV lalu di import pada *software Datamine Studio RM* untuk membuat penampang 2D dalam bentuk kontur sesuai nilai resistivitasnya agar mempermudah dalam tahap analisis atau interpretasi.
10. Kemudian pada *Software Datamine Studio RM* juga dimasukkan data lubang bor

11. Penampang 2D dalam bentuk kontur yang telah dibuat pada Software Datamine Studio RM dan data lubang bor yang sudah dimasukkan kemudian dilakukan interpretasi batas bawah zona limonit, batas bawah zona saprolit dan identifikasi terhadap zona-zona lemah kemudian masuk ketahap analisis.

2.3.4 Analisis Data dan Interpretasi

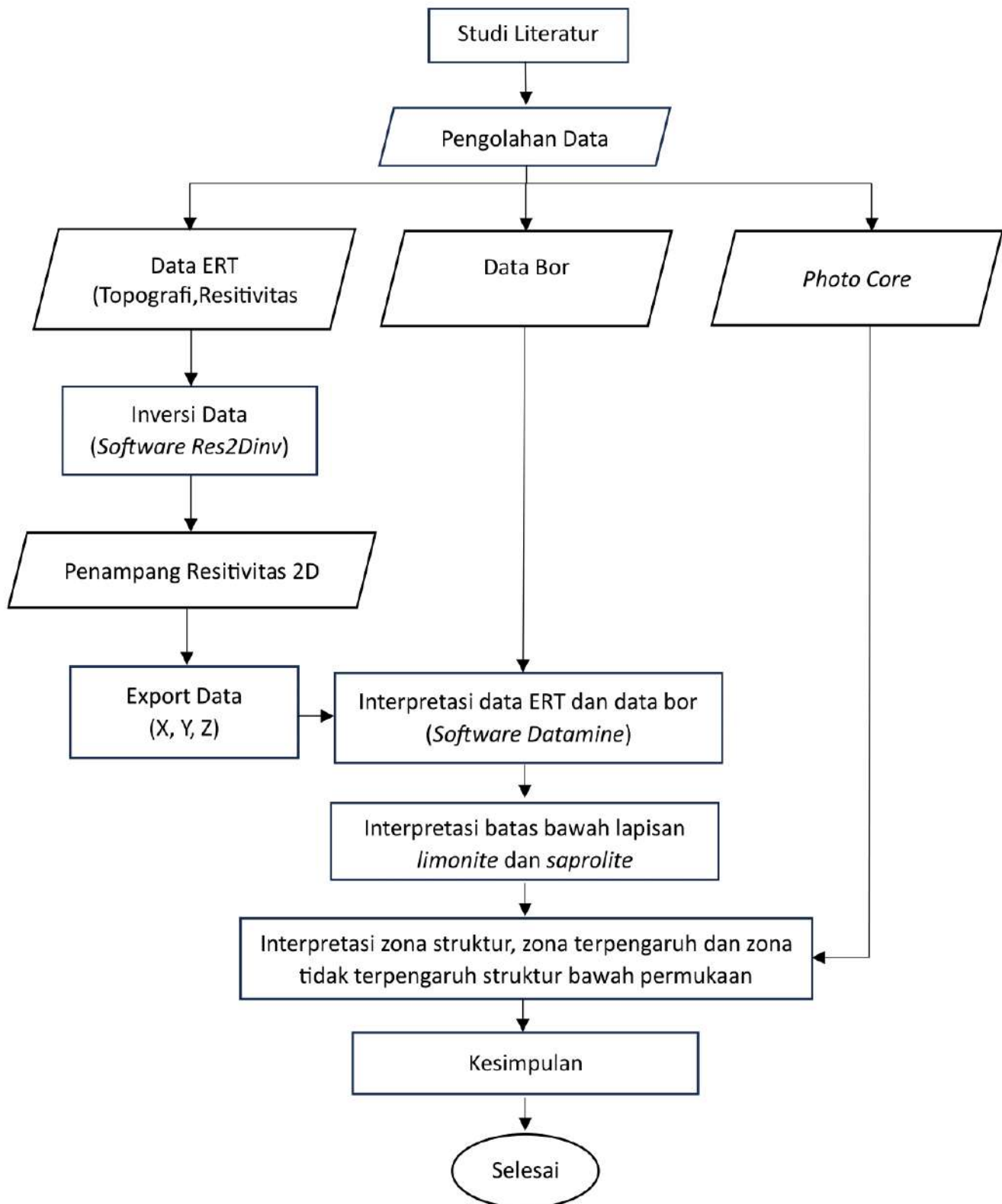
Hasil interpretasi dari profil nikel laterit akan menunjukkan sistem pelapisan nikel laterit yaitu limonite, saprolite, dan bedrock. Dimana akan didapatkan nilai ketebalan dan kedalaman dari zona setiap lapisan yang di overlay terhadap data drillhole untuk menggambarkan sistem pelapisan karakteristik West Block pada daerah penelitian seperti pada gambar 13 (PT. Vale Indonesia, 2016) yaitu.



Gambar 13. Referensi Nilai Resistivitas Tiap Lapisan Berdasarkan Global Geo-Electrical Characterization Area Petea (Internal Report PTVI, 2012)

Interpretasi hasil inversi data ERT dalam bentuk penampang dilakukan dengan memperhatikan berbagai macam faktor yang dapat mempengaruhi nilai resistivitas seperti kandungan air, porositas dan permeabilitas serta serta sejarah tektonik yang pernah terjadi di daerah penelitian. Faktor ini dapat memperbesar atau memperkecil nilai resistivitas batuan. Identifikasi terhadap zona-zona lemah yang diinterpretasi sebagai struktur dibawah permukaan kemudian membandingkan daerah yang terpengaruh struktur dipermukaan dengan daerah yang tidak terpengaruh oleh struktur.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 14. Bagan Alir Penelitian