

Skripsi Geofisika

**ANALISIS PROFIL NIKEL LATERIT SECARA LATERAL
MENGUNAKAN METODE VES (*VERTICAL ELECTRICAL
SOUNDING*) BLOK TANJUNG, KONAWE UTARA,
SULAWESI TENGGARA**

ILLA

H061 17 1012



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

2023

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS PROFIL NIKEL LATERIT SECARA LATERAL
MENGUNAKAN METODE VES (*VERTICAL ELECTRICAL
SOUNDING*) BLOK TANJUNG, KONAWA UTARA,
SULAWESI TENGGARA**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

ILLA

H061171012

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PROFIL NIKEL LATERIT SECARA LATERAL
MENGUNAKAN METODE VES (*VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING*)
BLOK TANJUNG, KONAWE UTARA, SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh:

ILLA

H061171012

Telah di pertahakankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 24 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Syarifuddin, S.Si, M.T
NIP. 197401152002121001



Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T
NIP. 199111092019031010

Ketua Departemen



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Illa
Nim : H061171012
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Analisis Profil Nikel Laterit Secara Lateral Menggunakan Metode VES (*Vertical Electrical Sounding*) Blok Tanjung, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara adalah karya ilmiah saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 24 Februari 2023

Yang Menyatakan,



Illa

ABSTRAK

Pentingnya nikel dalam kehidupan modern dan merupakan komoditas bahan tambang utama, mengakibatkan meningkatnya kegiatan eksplorasi nikel untuk memenuhi kebutuhan industri nikel. Daerah penelitian berada pada daerah Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan salah satu daerah dengan komoditas bahan tambang nikel yang melimpah. Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui profil nikel laterit di bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas tiap lapisan. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi *Schlumberger*. Data hasil pengukuran resistivitas terdiri atas 22 titik sounding dengan panjang bentangan masing – masing 200 m. Nilai resistivitas bawah permukaan daerah penelitian diperoleh dengan melakukan inversi dari nilai resistivitas semu. Berdasarkan nilai resistivitas bawah permukaan dibuatkan profil 1D dan penampang 2D melalui interpolasi. Penampang 2D ditampilkan dengan menggunakan *software* Surfer.13. Nilai resistivitas yang diperoleh dari penelitian ini berkisar antara 37,4 – 1170 Ohm.m. Rentang nilai resistivitas tersebut dikelompokkan menjadi 4 bagian yang diinterpretasi sebagai profil nikel laterit. Bagian pertama diinterpretasi sebagai lapisan tanah penutup dengan nilai resistivitas antara 104 – 1170 Ohm.m. Bagian kedua diinterpretasi sebagai lapisan limonit dengan nilai resistivitas antara 37,4 – 198 Ohm.m. Bagian ketiga diinterpretasi sebagai lapisan saprolit dengan nilai resistivitas antara 214 – 561 Ohm.m. Bagian keempat diinterpretasi sebagai lapisan *bedrock* dengan nilai resistivitas > 700 Ohm.m.

Kata Kunci: VES, *Schlumberger*, nikel lateri, resistivitas

ABSTRACT

The significance of nickel in current times and as a major mining commodity has increased nickel exploration activities to meet the needs of the nickel industry. The research area is in the North Konawe area, Southeast Sulawesi Province, which is one of the areas with abundant nickel mining commodities. Therefore, a study was carried out which aimed to determine the profile of nickel laterite below the surface based on the resistivity value of each layer. This research was conducted using the Vertical Electrical Sounding (VES) method with the Schlumberger configuration. The resistivity measurement results consist of 22 sounding points with a span length of 200 m each. The subsurface resistivity value of the study area is obtained by inverting the apparent resistivity value. Based on the subsurface resistivity values, 1D profiles and 2D cross-sections are made using interpolation. The 2D cross section is displayed using Surfer software.¹³ The resistivity values obtained from this study ranged from 37.4 – 1140 Ohm.m. The range of resistivity values is grouped into 4 parts which are interpreted as laterite nickel profiles. The first part is interpreted as overburden with a resistivity value between 104 – 1170 Ohm.m. The second part is interpreted as a limonite layer with a resistivity value between 37.4 – 198 Ohm.m. The third part is interpreted as a saprolite layer with a resistivity value between 214 – 561 Ohm.m. The fourth section is interpreted as a bedrock layer with a resistivity value of > 700 Ohm.m.

Keywords: *VES, Schlumberger, laterite nickel, resistivity*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Alhamdulillahirobbil'alamiin. Tidak ada kata yang paling layak penulis ucapkan kecuali kalimat syukur ini kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Tuhan semesta alam dengan segala Rahman dan Rahim-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Analisis Profil Nikel Laterit Secara Lateral Menggunakan Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) Blok Tanjung, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara**". Shalawat dan salam tidak lupa selalu tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW, keluarga beliau, para sahabat beliau dan pengikutnya yang senantiasa mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi dan mendapat gelar sarjana sains pada Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari izin Allah SWT dan bantuan dari berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis, ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada orang tua tersayang yang sangat amat penulis cintai. Kepada mama tersayang, **Ibu Irma** yang menjadi sumber kebahagiaan penulis, yang telah banyak mendoakan serta memberi dukungan dorongan semangat yang tak pernah padam, bantuan moril dan semua pengorbanan

yang telah diberikan, dan kepada papa tersayang yang selalu mendoakan penulis, **Bapak Aris**. Terimakasih atas dukungan dan cinta kasihnya yang tidak pernah berhenti mengalir selama masa hidupnya papa tersayang yang lebih dulu bertemu dengan sang Pencipta, **Bapak Alm. Kana**. Berkat ketiga orang tua saya ini, penulis bias tumbuh, berkembang, berhasil dan bias mengenal arti kasih sayang yang sangat luar biasa yang tidak bias digantikan dengan apapun. Semoga penulis bias mewujudkan harapan mereka untuk menjadi seseorang yang bias dibanggakan dunia dan akhirat. Buat kakakku tersayang yang selalu pakkereng-kereng **Ingka**, tapi tetap penulis sayang yang selalu memberikan motivasi, teguran ketika salah langkah, serta ilmu yng bermanfaat bagi penulis. Keponakanku tersayang **Asraf** dan **Athaya** yang selalu menghibur dan memberikan energi baru untuk penulis agar semangat di kala *down*. Untuk **kakek Ambe'ku** tersayang yang semasa hidupnya telah banyak meninggalkan kesan yang begitu berharga dan berguna untuk penulis, semoga ditempatkan ditempat terbaik disisi-Nya. Selain itu, untuk keluarga besarku yang selalu mendoakan yang terbaik, memberikan semangat dan memberi bantuan dalam bentuk apapun kepada penulis. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan motivasi dalam menyelesaikan studi. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan penghormatan dan rasa terimakasih kepada yang terhormat:

1. **Bapak Syamssuddin, S.Si. MT** selaku pembimbing utama dan **Bapak Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T.** selaku pembimbing pertama yang selalu meluangkan waktunya dan memberi perhatian, bimbingan, nasihat,

motivasi serta masukan-masukan yang memberi semangat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

2. **PT Antam Tbk Unit Geomin dan Technology Development**, yang telah membantu dan memberikan izin dalam pengambilan data tugas akhir penulis. Penulis ucapkan terima kasih sebesar -besarnya atas segala bantuan dan bimbingan yang diberikan.
3. **Bapak Muhammad Arief Wicaksono** selaku pembimbing tugas akhir selama melaksanakan penelitian di PT Antam Tbk. yang telah bersedia membimbing, meluangkan waktunya, serta berbagi motivasi dan ilmu kepada penulis.
4. **Ibu Makhрани, S.Si., M.Si** dan **Bapak Ir. Bambang Harimei, M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan saran, kritik, koreksi dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. **Bapak Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si** selaku Penasehat Akademik yang telah banyak memberikan nasehat , bimbingan dan masukan kepada penulis.
6. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin** selaku Dekan FMIPA Unhas yang telah memberikan bimbingan dalam masalah akademik dan organisasi.
7. **Bapak Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh **Dosen Pengajar Departemen Geofisika** yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan bimbingan selama menempuh Pendidikan.
9. Seluruh **Staf Departemen Geofisika** yaitu Pak Anto, Pak Putra dan Pak Fadli yang telah memberikan bantuan dan arahan kepada penulis dalam pengurusan administrasi perkuliahan selama menempuh pendidikan.

10. I wanna thank for myself. Terimakasih karena sudah mampu dan mau bertahan serta berjuang hingga titik ini. Ini bukanlah akhir, namun ini merupakan awal untuk masa depan menuju gerbang kesuksesan. Mixed feeling sekali rasanya, good job Illa. Walaupun tidak mudah, but it will pass. Thank you Illa! And yo'll reach your dream soon. Aamiin yaaAllah.
11. Special thanks untuk pemilik **NIM 1701086** terimakasih telah kebersamai penulis pada hari-hari yang tidak mudah selama proses pengerjaan Tugas Akhir. Terimakasih telah berkontribusi banyak dalam penulisan Tugas Akhir ini, meluangkan waktu, tenaga, pikiran, materi maupun moril kepada penulis dan senantiasa sabar menghadapi. Thanks a lot for Rein HEHEHEHE.
12. Kawan seperjuangan **GEOFISIKA 2017 (Rapang, Ale, Tsaqif, Indra, Adhe, Aldo, Titien, Karmila, Hikmah, Melsi, Riri, Esi, Mirna, Epi, Daya, Unia, Eki, Faishal, Rina, Dentii, Syakirah, Dandung, Khalis, Illa, Ainun, Desha, Wide, Miftah, Gupa, Yusrin, Jepri, Aya, Aul, Sindi, Ajeng, Nea, Riyadi, Ucha, Gabe, Farid, Angga, Reza, Albar, Zahari, Faqih, Firman, Ano, Bintang, Andika)** terimakasih atas segala kebersamaan yang pernah kita lewati bersama dari TNR hingga ke Baruga dengan berbagai kisah suka dan duka.
13. **SPE Unhas SC** terimakasih atas setiap kesempatan dan pengalaman luar biasa berharga yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi di Universitas Hasanuddin.
14. **Keluarga Himpunan Mahasiswa Geofisika (HMGF) FMIPA Unhas dan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Unhas**, terimakasih atas

kesempatan berorganisasi yang telah diberikan serta atas kebersamaan dan pengalamannya. **USE YOUR MIND BE THE BEST!**

15. Terimakasih kepada **Tim Eksplorasi Dedi Mustari** yang telah membantu dan memberikan izin dalam pengambilan dan menggunakan data bor sebagai data pendukung untuk Tugas Akhir penulis. Penulis ucapkan terimakasih sebesar-besarnya atas segala bantuan dan bimbingannya.
16. For my best friends: **Nurul** (*terimakasih ya beb atas bantuan dan dukungannya selama ini*), **Airin** (*terimakasih atas doa, supportnya, dan bantuannya beb*), **Kak Eca** (*terimakasih atas segala bantuan dan supportnya selama saya tinggal di Makassar yah Kak. Luv yuuu kak Ecaa yang bisa diandalkan sebagai orang tua, kakak dan sahabat HEHEHE*), **Patra** dan **Wanda** (*wuih terimakasih nih sobat per-Damaian HEHEHE makasih banyak sudah banyak membantu dan mensupport penulis selama perkuliahan*).
17. Terimakasih kepada **Perpustakaan MIPA Unhas (Ibu dan Bapak)** yang merupakan tempat penulis mengerjakan draft TA selama ini.
18. Teman-teman terbaik penulis penghuni setia Perpustakaan MIPA Unhas: **Upi, MJ, Nova** dan **Satri**. Terimakasih atas tiap waktu yang dicurahkan untuk saling menguatkan di setiap situasi satu sama lain, tetap semangat teman-teman Luv U Sist.

Serta kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama menempuh masa studi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah berusaha untuk menyusun dan memberikan yang terbaik. Jika terdapat suatu kesalahan dan kekurangan dalam Tugas Akhir ini yang tidak

penulis sadari, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya. Saran maupun kritik dari pembaca akan sangat membantu untuk kemajuan dimasa mendatang. Akhir kata, semoga Allah SWT memberikan segala kebaikan kepad seluruh pihak yang telah memberikan bantuannya, baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis. Penulispun berharap semoga Skripsi ini dapat mencapai tujuan yang dimaksudkan dan bermanfaat bagi penulis dan pihak-pihak terkait.

Wassalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Makassar, 24 Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Geologi Regional	5
II.2 Sifat Kelistrikan Batuan	9
II.3 Metode Geolistrik	12
II.3.1 Konsep Dasar Metode Resistivitas	13
II.3.2 Potensial Listrik dalam Bumi Homogen Isotropis.....	15
II.3.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di dalam Bumi	17
II.3.4 Potensial Arus Listrik Akibat Arus Tunggal pada Permukaan Bumi	19
II.4 Konfigurasi Schlumberger	22
II.5 Pemodelan Data Geolistrik	23
II.5.1 Pemodelan ke Depan	24
II.5.2 Pemodelan Inversi.....	24
II.6 Interpolasi Kriging	26
II.7 Nikel Laterit	27
II.7.1 Ganesa Endapan Nikel Laterit	28

II.7.2 Faktor-Faktor Pembentukan Nikel Laterit.....	30
II.7.3 Profil Endapan Nikel Laterit.....	32
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	37
III. 1 Lokasi Penelitian.....	37
III. 2 Alat dan Bahan.....	37
III. 3 Metode Penelitian	38
III. 4 Bagan Alir Penelitian.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
IV.1 Hasil	41
IV.1.1 Hasil Inversi 1D	41
IV.1.2 Penampang Resistivitas Dua Dimensi	64
IV.1.3 Model Resistivitas 1D dan Data Bor	67
IV.2 Pembahasan.....	69
IV.2.1 Analisis Pemodelan 2D.....	69
BAB V. PENUTUP.....	78
V.1 Kesimpulan.....	78
V.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	
DAFTAR LAMPIRAN	
Lampiran 1. Data Bor.....	83
Lampiran 2. Penampang Resistivitas Dua Dimensi	89
Lampiran 3. Penampang Geologi Dua Dimensi	90
Lampiran 4. Titik Koordinat	91
Lampiran 5. Kondisi Lapangan (Singkapan Batuan Dasar)	92
Lampiran 6. Data Pengukuran Titik Sounding	94
Lampiran 7. Penelitian Sebelumnya	107
Lampiran 8. Produksi Nikel di Indonesia 2020 - 2021	109
DAFTAR GAMBAR	
Gambar II.1 Geologi Regional Kabupaten Konawe Utara.....	6
Gambar II.2 Resistor.	14
Gambar II.3 Sumber Arus Tunggal di Permukaan Bumi	19

Gambar II.4 Dua elektroda arus dan potensial di permukaan bumi yang homogen isotropis.....	20
Gambar II.5 Distorsi garis ekuipotensial dan garis aliran arus pada dua titik sumber arus (a) Denah ; (b) Penampang vertikal dipermukaan tanah	20
Gambar II.6 Konfigurasi Schlumberger Simetris.....	22
Gambar II.7 Ganesa Endapan Nikel Laterit	28
Gambar II.8 Hubungan antara topografi dengan proses laterisasi	32
Gambar II.9 Profil Endapan Nikel Laterit.....	35
Gambar III. 1 Peta Lokasi Penelitian	37
Gambar III.2 Bagan Alir Penelitian	40
Gambar IV.1 Daerah Titik Pengukuran Resistivitas 1D	41
Gambar IV.2 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 1	42
Gambar IV.3 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 2.....	43
Gambar IV.4 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 3.....	44
Gambar IV.5 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 4.....	45
Gambar IV.6 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 5.....	46
Gambar IV.7 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 6.....	47
Gambar IV.8 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 7	48
Gambar IV.9 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 8.....	49
Gambar IV.10 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 9.....	50
Gambar IV.11 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 10.....	51
Gambar IV.12 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 11.....	52
Gambar IV.13 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 12.....	53
Gambar IV.14 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 13.....	54
Gambar IV.15 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 14.....	55
Gambar IV.16 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 15.....	56
Gambar IV.17 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 16.....	57
Gambar IV.18 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 17.....	58
Gambar IV.19 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 18.....	59
Gambar IV.20 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 19.....	60
Gambar IV.21 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 20.....	61
Gambar IV.22 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 21.....	62
Gambar IV.23 Hasil Inversi Titik <i>Sounding</i> 22.....	63
Gambar IV.24 Penampang Resistivitas Dua Dimensi Titik <i>Sounding</i> 1-12.....	64
Gambar IV.24 Penampang Resistivitas Dua Dimensi Titik <i>Sounding</i> 13-22...65	65
Gambar IV.27 Model Geologi 2D Gabungan Titik <i>Sounding</i> 1 - 12.	69
Gambar IV.27 Model Geologi 2D Gabungan Titik <i>Sounding</i> 13 - 22.	73

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Nilai resistivitas jenis batuan.....	11
Tabel IV.1 Hasil Inversi ID Titik <i>Sounding</i> 1 sampai 22.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang berada di zona khatulistiwa yang memiliki iklim tropis yang sangat mendukung proses pelapukan yang sangat intensif. Oleh karena itu Indonesia dikenal sebagai salah satu negara penghasil bahan galian tambang di dunia termasuk nikel. Nikel merupakan salah satu jenis mineral yang bernilai ekonomis yang tinggi. Dewasa ini, meningkatnya rekayasa dari logam nikel di berbagai sektor industri di seluruh dunia berdampak pada perkembangan nikel di Indonesia. Bagi Indonesia, nikel merupakan komoditas tambang utama kesejahteraan rakyat. Nikel merupakan logam yang sangat penting dalam kehidupan modern. Nikel banyak digunakan sebagai elemen paduan yang sangat penting dan tetap menjadi sumber devisa utama negara (ESDM, 2020) .

Berdasarkan data USGS pada tahun 2020 dan 2021, produksi nikel Indonesia mencapai 771.000 ton dan 1.000.000 ton dengan cadangan kurang lebih 21.000.000 ton. Oleh karena itu, kekayaan akan bahan tambang nikel bangsa harus dimanfaatkan secara optimal mengingat nikel memiliki peran penting dalam industri berat, pembuatan baja tahan karat, baja khusus (*tool steel, armour steel, etc*), kendaraan bermotor, baterai, bahan industri peralatan rumah tangga, peralatan laboratorium dan lain-lain. Sehubungan dengan hal tersebut maka penelitian ini sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan industri.

Nikel laterit yang terbentuk dari proses pelapukan lanjut pada batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,2 % – 0,4 %. Nikel laterit yang umumnya berada pada daerah dengan iklim tropis dapat mengakibatkan proses pelapukan yang lebih intensif (Elias, 2002).

Kabupaten Konawe Utara merupakan salah satu daerah di Indonesia dengan komoditas bahan tambang nikel yang melimpah, khususnya daerah Tapunopaka. Kelimpahan nikel di daerah ini disebabkan oleh faktor geologi stratigrafi dan topografinya. Geologi pada daerah ini didominasi oleh Batuan Ofiolit/Ultramafik yang tersusun oleh jenis batuan peridotit, dunit, gabro, serpentinit dan harzburgite. Peridotit dan harzburgite merupakan batuan ultramafik yang dapat membawa logam nikel (Asfar et al., 2019).

Penggunaan metode geofisika khususnya metode geolistrik resistivitas banyak dipergunakan untuk survei bawah permukaan (*subsurface*) dengan memanfaatkan sifat kelistrikan dari suatu lapisan bumi untuk mengetahui kandungan mineral dalam tanah tersebut. Injeksi arus listrik ini menggunakan dua buah elektroda arus yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak kedua elektroda akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam, sedangkan untuk kedua buah elektroda potensial digunakan untuk mengukur respon beda potensialnya. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda, kemudian dapat diturunkan variasi harga resistivitas masing – masing lapisan di bawah titik ukur (*sounding point*) (Hartanto, 2017).

Metode Teknik Sounding atau *Vertical Electrical Sounding* (VES) merupakan metode geolistrik resistivitas 1-D yang efektif untuk melihat nilai resistivitas dan kedalaman tiap lapisan secara vertikal. Dari metode ini akan diketahui tebal masing-masing lapisan batuan yang tersurvei yang ada di bawah permukaan. Keunggulan dari metode geolistrik VES ini yaitu memiliki resolusi vertikal yang baik sehingga sangat cocok digunakan untuk eksplorasi nikel. Metode ini sangat umum digunakan karena hasilnya lebih akurat, biaya operasional yang murah, akuisisi data yang cepat dan praktis dilakukan di lapangan dengan medan yang sulit dan memiliki jangkauan kedalaman yang besar. Selain itu, metode geofisika yang terbukti berhasil untuk kegiatan eksplorasi nikel laterit adalah metode geolistrik sounding (VES) (Suryawan, 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya yang mengkaji mengenai nikel laterit menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) seperti yang dilakukan oleh Suryawan (2019) tentang Pemodelan 3D Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Data Geolistrik Metode Sounding Studi Kasus Lapangan D.I.B. Adapun dalam penelitian ini menggunakan data sekunder pengukuran geolistrik resistivitas satu dimensi sehingga diperoleh gambaran profil nikel laterit di daerah penelitian. Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat melokalisir keberadaan nikel laterit di daerah penelitian dan sebagai pertimbangan di lingkup perusahaan PT. Antam, Tbk. Hal ini menjadi dasar penelitian dengan judul **“Analisis Profil Nikel Laterit Secara Lateral Menggunakan Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) Blok Tanjung, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara”**

I. 2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana gambaran penampang resistivitas dua dimensi dari gabungan titik – titik sounding?
2. Bagaimana profil nikel laterit berdasarkan data resistivitas batuan?

I. 3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah menganalisis profil nikel laterit secara lateral dengan menggabungkan data sounding dari data geolistrik resistivitas satu dimensi membentuk profil dua dimensi (2D). Hasil survei geolistrik resistivitas satu dimensi digambarkan dalam penampang satu dimensi dan dua dimensi menggunakan *software IP2Win* dan *software Surfer 13*.

I. 4 Tujuan Penelitian

1. Menggambarkan penampang resistivitas dua dimensi dari gabungan titik sounding
2. Menentukan profil nikel laterit berdasarkan data resistivitas batuan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

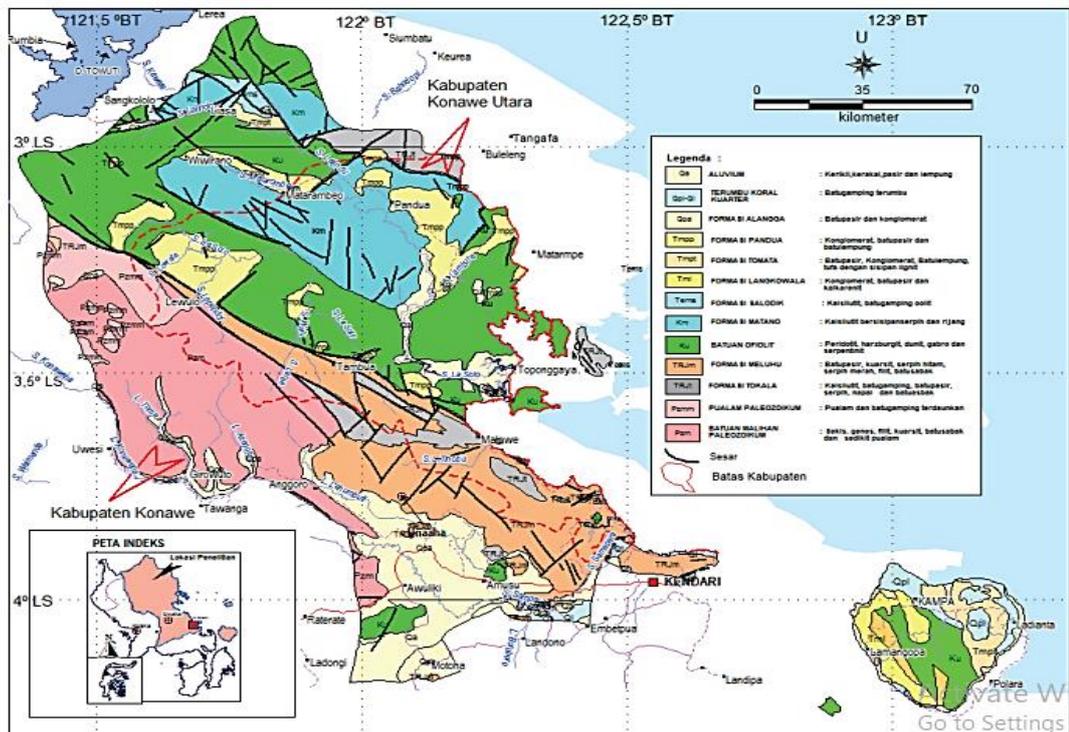
II.1 Geologi Regional

Berdasarkan sifat geologi regionalnya Pulau Sulawesi dan sekitarnya dapat dibagi menjadi beberapa mandala salah satunya yaitu mandala geologi Sulawesi Timur. Mandala ini meliputi Lengan Tenggara Sulawesi, bagian Timur Sulawesi Tengah dan Lengan Timur Sulawesi. Lengan Timur dan Lengan Tenggara Sulawesi tersusun atas batuan malihan, batuan sedimen penutupnya dan ofiolit yang terdiri dari hasil proses pengangkatan (*obduction*) selama Miosen (Sompotan, 2012).

Van Bemmelen membagi Lengan Tenggara Sulawesi menjadi tiga bagian: ujung utara, bagian tengah dan ujung selatan. Kabupaten Konawe Utara memanjang dari Utara Barat dengan topografi yang sangat kontras antara bagian barat dengan bagian Timur. Berdasarkan bentuk bentang alamnya (morfologinya) Kabupaten Konawe Utara memiliki topografi permukaan yang pada umumnya bergunung, bergelombang dan berbukit yang mengelilingi dataran rendah. Adapun geologi regional Kabupaten Konawe Utara di ilustrasikan seperti pada **Gambar II.1**

Geologi regional Kabupaten Konawe Utara berdasarkan himpunan batuan dan pencirinya, geologi lembar Lasusua-Kendari dapat dibedakan dalam dua lajur, yaitu Lajur Tinondo dan Lajur Hialu. Lajur Tinondo dicirikan oleh batuan endapan paparan benua yang menempati bagian barat daya dan Lajur Hialu oleh endapan kerak Samudera/Ofiolit yang menempati bagian timur. Batuan yang terdapat di

Lajur Tinondo merupakan batuan malihan paleozoikum yang diduga berumur karbon (Asfar et al., 1985).



Gambar II.1 Geologi Regional Kabupaten Konawe Utara (Nursahan et al., 2013)

Berdasarkan peta geologi lembar Lasusua-Kendari Sulawesi dengan skala 1:250.000 yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), maka secara umum stratigrafi Kabupaten Konawe Utara, dapat dibagi dalam beberapa formasi batuan sebagai berikut (penjelasan dari batuan yang tertua ke batuan yang termuda) (Asfar et al., 2019):

- Batuan Terobosan (PTR(g)) terdiri atas apilit kuarsa, andesit, dan latit kuarsa. Satuan ini menerobos satuan batuan malihan paleozoikum dan diperkirakan berumur Perm.
- Batuan Malihan Paleozoikum (Pzm). Tersusun oleh jenis batuan sekis, gneis, filit, kuarsit, batu sabak, dan sedikit pualam. Berumur Karbon sampai Perm.

- c. Pualam Paleozoikum (Pzmm). Pualam Paleozoikum tersusun oleh jenis batuan gamping dan pualam. Diperkirakan berumur Karbon sampai Perm.
- d. Formasi Tokala (TRJt). Tersusun oleh jenis batu gamping, serpih, kalsilit, napal, batu sabak dan batu pasir. Formasi ini diperkirakan berumur Trias-Jura Awal dengan lingkungan pengendapan pada laut dangkal (neritik) dengan tebal formasi diperkirakan lebih dari 1000 m.
- e. Formasi Meluhu (TRJm). Jenis batuan penyusun formasi Meluhu adalah terdiri dari batu pasir, kuarsit, serpih hitam, serpih merah, filit, batu sabak, batu gamping, dan lanau.
- f. Batuan Ofiolit (Ku). Batuan ofiolit merupakan batuan beku yang tersusun oleh jenis batuan peridotit, jenis batuan peridotit, harzburgit, dunit, gabro, dan serpentinit. Satuan batuan ini batuan ini diperkirakan berumur Kapur.
- g. Formasi Matano (Km). Tersusun atas kalsilit yang bersisipan oleh jenis serpih dan rijang. Formasi Matano diduga berumur kapur akhir dengan lingkungan pengendapan pada laut dalam dengan tebal sekitar 550 m.
- h. Formasi Salodik (Tems). Tersusun atas kalsilit dan batugamping oolit. Formasi Salodik diduga berumur Eosen Akhir-Miosen Awal dengan lingkungan pengendapan pada laut dangkal dan terbuka.
- i. Formasi Pandua (Tmpp) terdiri atas konglomerat, batupasir dan batulempung dengan sisipan lanau. Umur dari formasi ini adalah Miosen Akhir sampai Pliosen.
- j. Formasi Alangga (Qpa) tersusun oleh jenis batu pasir, batu lempung dan konglomerat. Umur dari formasi ini adalah Pleistosen dan menindih menindih

tak selaras formasi yang lebih tua yang masuk kealam kelompok molasa Sulawesi.

- k. Terumbu Koral Kuarter (Ql). Merupakan batugamping terumbu dengan kandungan fosil berupa ganggang dan cangkang moluska. Umur dari satuan ini adalah Pleistosen – Holosen dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal.
- l. Endapan Aluvium (Qa). Endapan Aluvium merupakan endapan sekunder hasil rombakan batuan di permukaan yang telah terbentuk sebelumnya. Endapan terdiri dari material lepas batuan kerikil, kerakal, pasir lempung dan lumpur, dimana umurnya diperkirakan Holosen.

Pada Lengan Tenggara Sulawesi, struktur utama yang terbentuk setelah tumbukan adalah sesar geser mengiri, termasuk sesar Matarombeo, sistem sesar Lawanopo, sistem sesar Konawehea, Sesar Kolaka dan banyak sesar lainnya serta liniasi. Sesar dan liniasi menunjukkan sepasang arah utama Tenggara - Baratlaut (332°) dan Timur laut - Barat daya (42°). Arah Tenggara – Barat laut merupakan arah umum dari sesar geser mengiri di Lengan Tenggara Sulawesi termasuk searah dengan sesar geser jurus mengiri sesar Lasolo yang meliputi daerah Kecamatan Asera, Kecamatan Molawe, Kecamatan Lasolo, Kecamatan Lembo, sampai Kecamatan Sawa dan memanjang sampai ke Teluk Lasolo. Sesar Lasolo bahkan masih aktif hingga saat ini. Sesar tersebut diduga ada kaitannya dengan Sesar Sorong yang aktif kembali pada Kala Oligosen. Sesar naik ditemukan di daerah Wawo sebelah Barat Tampakura dan di Tanjung Labuandala di Selatan Lasolo, yaitu beranjaknya Batuan Ofiolit ke atas Batuan Malihan Mekonga, Formasi Meluhu dan Formasi Matano.

Sistem Sesar Lawanopo termasuk sesar-sesar berarah utama Baratlaut - Tenggara yang memanjang sekitar 260 Km dari Utara Malili sampai Tanjung Toronipa.

Ujung Barat laut sesar ini menyambung dengan sesar Matano di lembar Malili, sementara ujung Tenggara nya bersambung dengan sesar Hamilton yang memotong sesar naik Tolo. Sistem sesar ini diberi nama sesar Lawanopo berdasarkan dataran Lawanopo yang ditorehnya. Kekar dijumpai hampir pada semua batuan, terutama batuan beku (kompleks batuan ultramafik dan mafik), batuan sedimen malihan Mesozoikum, dan batuan malihan (kompleks pompangeo) (Asfar et al., 2019).

Geomorfologi daerah penelitian ditinjau dari aspek bentuk dan kemiringan lereng terdiri dari satuan geomorfologi perbukitan curam-terjal ($16-55^{\circ}$). Satuan ini didominasi oleh batuan dengan jenis hazburgit. Topografi pada daerah penelitian dibagi menjadi empat berdasarkan klasifikasi (Nurshafara, 2022) yaitu *flat slope* (berasosiasi dengan lembah dan memiliki sudut lereng $<10^{\circ}$), *slight slope* (daerah dengan sudut lereng $10-15^{\circ}$), *intermediet slope* (daerah dengan sudut lereng $>15^{\circ}$) dan *ridge* (daerah puncak/pengunungan dengan kemiringan $<45^{\circ}$).

II.2 Sifat Kelistrikan Batuan

Batuan merupakan suatu jenis materi sehingga batuan memiliki sifat kelistrikan. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialiri arus dalamnya. Arus listrik tersebut dapat berasal dari alam sendiri akibat terjadinya ketidaksetimbangan maupun arus listrik yang sengaja diinjeksikan ke dalam bumi terlebih dahulu. Terdapat beberapa jenis potensial listrik alam dari batuan dan hambatan jenis batuan (Syamsuddin, 2007).

Dalam batuan, atom-atom terikat secara kovalen, sehingga batuan mempunyai sifat menghantar arus listrik. Aliran arus listrik didalam batuan/mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi

secara elektrolitik dan konduksi secara dielektrik. Konduksi secara elektronik terjadi jika batuan/mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan ke dalam batuan/mineral tersebut oleh elektron-elektron bebas itu. Konduksi elektrolitik terjadi jika batuan/mineral bersifat porus dan pori-pori tersebut terisi oleh cairan-cairan elektrolitik. Pada kondisi ini arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolit. Sedang konduksi dielektrik terjadi apabila batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik yaitu ketika terjadi polarisasi saat bahan dialiri arus listrik (Arnata et al., 2012).

Berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan/mineral digolongkan menjadi tiga yaitu (Arnata et al., 2012) :

- a. Konduktor Baik : $10^{-8} < \rho < 1 \Omega\text{m}$
- b. Semikonduktor : $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$
- c. Isolator : $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Resistivitas batuan berubah-ubah dari sekitar $10^{-6} \Omega\text{m}$ untuk mineral seperti grafit hingga lebih dari $10^{-6} \Omega\text{m}$ untuk batu kuarsa kering. Adapun resistivitas logam berubah-ubah di antara dua orde, seperti Bi yang memiliki resistivitas $1,2 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$ dan Ag yang memiliki resistivitas $1,6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$, terkecuali untuk resistivitas Tellurium yaitu $10^{-3} \Omega\text{m}$. berbagai jenis air memiliki resistivitas yang lebih kecil dari mineral padat (Telford et al., 1990).

Pada setiap jenis batuan memiliki tingkat resistivitas yang berbeda-beda. Untuk jenis batuan yang terbentuk dari magma yang telah mengalami pendinginan akan memiliki resistivitas yang tinggi, sedangkan untuk batuan sedimen memiliki resistivitas terendah. Beberapa hal yang mempengaruhi resistivitas jenis batuan

diantaranya adalah usia dan litologi batuan tersebut. Hal ini sangat berpengaruh terhadap porositas batu dan salinitas air yang dikandungnya. Porositas dan salinitas air yang berlebih akan menyebabkan berkurangnya resistivitas. Adapun nilai resistivitas suatu material di dalam bumi dapat dilihat pada **Tabel II.1** berikut (Telford et al., 1990).

Tabel II.1 Nilai resistivitas jenis batuan (Telford et al.,1990)

Material	Resistivity (Ωm)
Air Tanah (<i>Ground water</i>)	0.5 – 150
Topsoil	500 – 1000
Wheathered Bedrock	100 – 1000
Gabbro	100 – 500000
Granit (<i>Granite</i>)	200 – 100000
Batu Pasir (<i>Sandstone</i>)	200 – 8000
Gamping (<i>Limestone</i>)	50 – 10000000
Dolomite	350 – 5000
Basal (<i>Basalt</i>)	1000 – 1000000
Kwarsa (<i>Quartz</i>)	500 – 800000
Peridotite	3000 (wet) – 650000 (dry)
Batu Serpilh (<i>Shale</i>)	20 – 2000
Konglomerat	6000 – 20000
Kerikil (<i>Gravel</i>)	100 – 600
Lempung (<i>Clay</i>)	1 – 100
Olivine norite	1000 – 60000 (wet)
Magnetite	0.01 – 1000
Quartzite	500 – 800000
Hematite	3500 – 10000000
Pyrrhotite	0.001 – 0.01
Chromite	1 – 1000000

Niccolite	0,0000001 – 0.002
Cobaltite	0.00035 – 0.1
Serpentine	200 – 3000
Irn Oxide	20000 – 800000
Alluvium	10 – 800
Laterite	800 - 1500

II.3 Metode Geolistrik

Penggunaan geolistrik pertama kali dilakukan oleh Conrad Schlumberger pada tahun 1912. Geolistrik merupakan salah satu metoda geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*‘Direct Current’*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan ‘Elektroda Arus’ yang ditancapkan ke dalam tanah pada jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda arus, akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam. Dengan adanya aliran arus listrik tersebut maka akan menimbulkan tegangan listrik di dalam tanah. Tegangan listrik yang terjadi di permukaan tanah diukur dengan menggunakan multimeter yang terhubung melalui elektroda tegangan yang jaraknya lebih pendek dari pada jarak elektroda arus. Apabila posisi jarak elektroda arus diubah menjadi lebih besar maka tegangan listrik yang terjadi pada elektroda potensial ikut berubah sesuai dengan informasi jenis batuan yang ikut terinjeksi arus listrik pada kedalaman yang lebih besar (Zuhdi et al., 2021).

Geolistrik adalah metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik dalam bumi dan bagaimana mendetektinya dipermukaan bumi. Dengan demikian, dalam hal ini

meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi. Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi dan dapat pula mengetahui kedalaman lapisan batuan (Hendrajaya, 1990).

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu dari metode geolistrik yang mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di dalam bumi. Pada metode ini arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan dilakukan pengukuran beda potensial melalui dua buah elektroda potensial, hasilnya berupa beda potensial yang terukur pada elektroda di permukaan. Dari beda potensial yang diukur dapat ditentukan variasi resistivitas masing-masing lapisan di bawah titik pengukuran (Reynolds, 1997).

II.3.1 Konsep Dasar Metode Resistivitas

Setiap material pada umumnya memiliki sifat menghambat aliran listrik yang melalui material tersebut. Hukum Ohm yang pertama kali dicetuskan oleh George Simon Ohm. Dalam pernyataannya bahwa beda potensial (dalam satuan volt) yang timbul diujung-ujung suatu medium berbanding lurus dengan arus listrik (dalam satuan ampere) yang mengalir pada medium tersebut. Selain itu George Simon Ohm juga menyatakan bahwa tahanan listrik berbanding lurus dengan panjang medium dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya (Sadiku, 2012).

Formulasi dari kedua pernyataan Ohm tersebut, dapat dituliskan sebagai berikut (Sadiku, 2012) :

$$V \propto I \text{ atau } V = IR \quad (2.1)$$

$$R \propto \frac{L}{A} \text{ atau } R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

keterangan:

R = Resisitansi (Ohm)

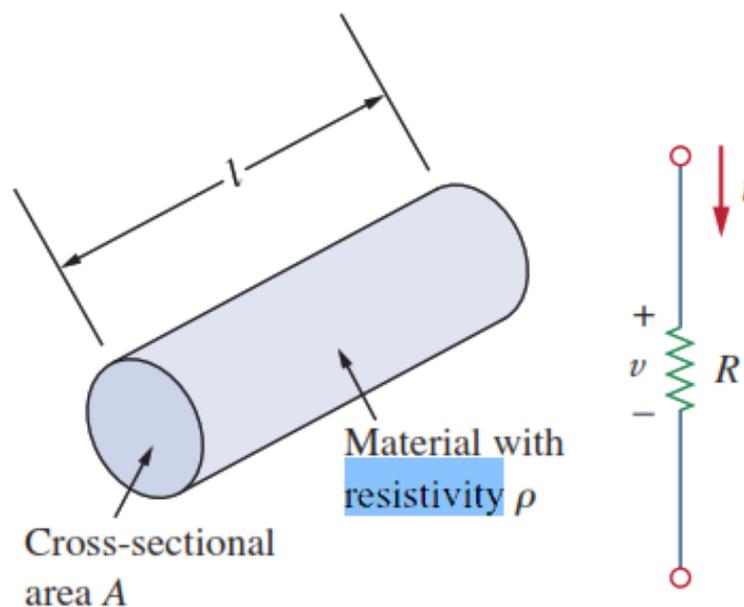
ρ = Resistivitas (Ohm·m)

L = Perubahan panjang penampang (m)

A = Luas permukaan penampang (m²)

V = Besar tegangan (volt)

I = Kuat arus (ampere)



Gambar II.2 Resistor (Sadiku, 2012)

Prinsip pelaksanaan survei resistivitas adalah mengalirkan arus listrik searah kedalam bumi melalui dua elektroda arus yang ditancapkan pada dua titik permukaan tanah dan kemudian mengukur respon beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain dipermukaan bumi dimana dua elektroda potensial ditempatkan dalam suatu susunan tertentu (Malik et al., 2014).

Dari data pengukuran yang didapat yakni beda potensial dan kuat arus, akan diperoleh harga resistivitas semu untuk setiap spasi elektroda yang dibentang. Harga tersebut digambarkan pada kertas grafik log untuk mendapatkan kurva lapangan. Kurva lapangan ini kemudian diinterpretasikan untuk mendapatkan harga-harga ketebalan dan resistivitas lapisan bawah permukaan bumi.

Oleh sebab itu, dalam pendugaan resistivitas, digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut (Syamsuddin, 2007):

- Pada bawah permukaan bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan ketebalan tertentu, kecuali pada lapisan terbawah yang mempunyai ketebalan tidak berhingga
- Bidang batas antara lapisan adalah horizontal.
- Setiap lapisan dianggap homogen isotropis, menjelaskan bahwa dalam penentuan harga resistivitas tiap lapisan bumi, nilai dari (ρ) dianggap tidak bergantung pada sumbu koordinat.

II.3.2 Potensial Listrik dalam Bumi Homogen Isotropis

Apabila suatu arus yang bersifat kontinu kemudian dialirkan kedalam suatu medium yang bersifat homogen isotropis , dengan $d\vec{A}$ merupakan elemen luas permukaan dan \vec{J} merupakan rapat arus listrik (A/m^2), maka besarnya elemen arus yang melewati melalui elemen permukaan tersebut (Telford et al., 1990):

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (2.3)$$

Dengan demikian rapat arus \vec{J} pada elemen luasan akibat medan listrik \vec{E} yang ditimbulkan, akan memenuhi hubungan sebagai berikut:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.4)$$

dengan:

σ = konduktivitas ($\text{Ohm}\cdot\text{m}$)⁻¹

\vec{j} = rapat arus ($\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$)

E = medan listrik ($\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$)

Konduktivitas (σ) adalah besaran skalar yang merepresentasikan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik sedangkan resistivitas (ρ) adalah kebalikan dari konduktivitas, karena medan listrik merupakan gradien potensial scalar (V) maka diperoleh hubungan:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.5)$$

V merupakan potensial listrik, sehingga diperoleh persamaan :

$$\vec{j} = -\sigma\vec{\nabla}V \quad (2.6)$$

Lapisan bumi yang bersifat homogen isotropis adalah pendekatan sederhana dalam penentuan resistivitas lapisan-lapisan batuan bumi, sehingga resistivitas ρ dianggap tidak bergantung pada sumbu koordinat. Arus tunggal I menyebabkan timbulnya distribusi potensial. Aliran arus yang mengalir dalam bumi homogen isotropis didasarkan pada Hukum Kekekalan Muatan yang secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = \frac{\partial q}{\partial t} \quad (2.7)$$

dengan:

\vec{j} = rapat arus (A/m^2)

q = rapat muatan (C/m^3)

Maka apabila arus stasioner tetap berlaku persamaan sebagai :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (2.8)$$

sehingga:

$$\vec{\nabla} \cdot (\sigma \vec{\nabla} V) = 0 \quad (2.9)$$

$$\vec{\nabla} \sigma \cdot \vec{\nabla} V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (2.10)$$

Apabila arus stasioner dengan koefisien konduktivitasnya konstan, maka akan diperoleh Persamaan Laplace dengan potensial harmonis :

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.11)$$

Persamaan diatas termasuk persamaan dasar dalam metode geolistrik resistivitas. Dengan demikian distribusi potensial listrik untuk arus listrik searah dalam medium homogen isotropis memenuhi persamaan Laplace (Syamsuddin, 2007).

II.3.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Dalam Bumi

Potensial (V) akibat suatu sumber arus tunggal (I) pada medium homogen dengan (ρ) konstan pada seluruh ruang lebih sesuai jika dibahas dalam sistem koordinat bola. Karena sifat simetri dari sistem yang ditinjau dalam hal ini tidak berotasi dan berevolusi maka potensial hanya menerapkan fungsi dari jarak r atau $V(r)$ sehingga persamaan (2.11) dituliskan (Telford et al., 1990):

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dv}{dr} \right) = 0 \quad (2.12)$$

Dengan mengintegalkan persamaan (2.12), maka diperoleh:

$$\int r^2 \frac{dv}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dv}{dr} = P \rightarrow \frac{dv}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (2.13)$$

Kemudian mengintegalkan Kembali persamaan (2.13). maka menghasilkan:

$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (2.14)$$

Dimana P dan Q merupakan konstanta. Dengan menerapkan batas bawah potensial pada jarak tidak berhingga memiliki harga sama dengan nol ($V = 0, r = \infty$), maka $Q = 0$, sehingga Persamaan (2.14) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (2.15)$$

Apabila sumber arus di bawah permukaan bumi, maka bidang equipotensial membentuk bola. Sehingga persamaan (2.3) dapat ditulis menjadi:

$$I = 4\pi r^2 J \quad (2.16)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.5) ke persamaan (2.16), maka diperoleh:

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) \quad (2.17)$$

Dimana persamaan (2.13) digabungkan dengan persamaan (2.17), sehingga diperoleh:

$$I = -4\pi \sigma P \quad (2.18)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$ maka Persamaan (2.18) ditulis:

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} P \rightarrow P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.19)$$

Persamaan (2.19) disubstitusikan pada persamaan (2.15) sehingga diperoleh potensial seperti berikut:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.20)$$

dengan:

V = potensial listrik (V)

ρ = resistivitas (Ohm·m)

I = kuat arus listrik (A)

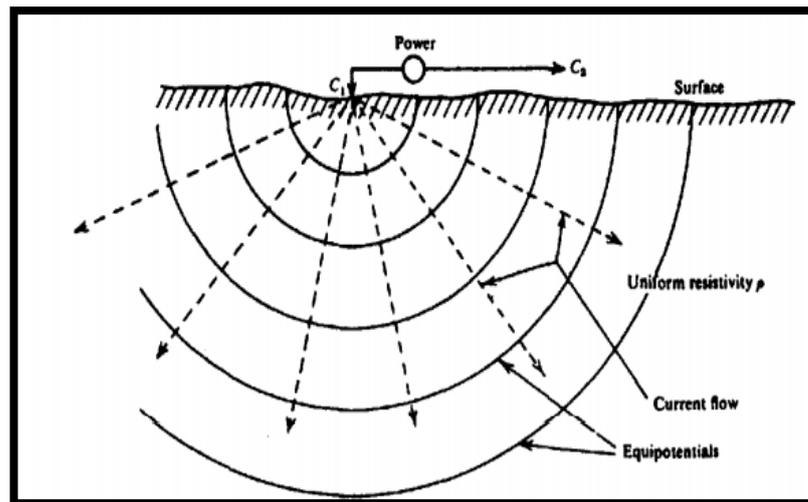
P = konstanta

\vec{J} = rapat arus (A/m²)

σ = konduktivitas (S/m)

II.3.4 Potensial Arus Listrik Akibat Arus Tunggal pada Permukaan Bumi

Pada model bumi yang terbentuk setengah bola homogen isotropis memiliki konduktivitas udara sama dengan nol. Berdasarkan **Gambar II.3** arus I yang dialirkan melalui sebuah elektroda pada titik C_1 di permukaan, akan tersebar ke semua arah dengan besar yang sama.



Gambar II.3 Sumber Arus Tunggal di Permukaan Bumi (Telford, 1990)

Potensial pada suatu jarak r dari titik C_1 , hanya merupakan fungsi r saja. Sehingga persamaan (2.16) menjadi:

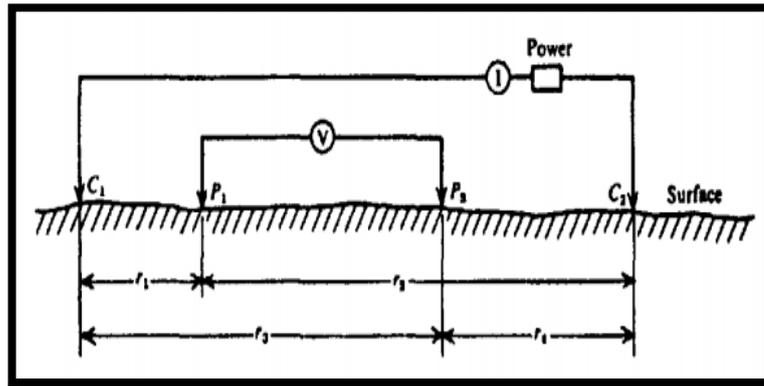
$$I = 2\pi r^2 \vec{j} \quad (2.21)$$

Dengan demikian persamaan (2.20), menjadi:

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.22)$$

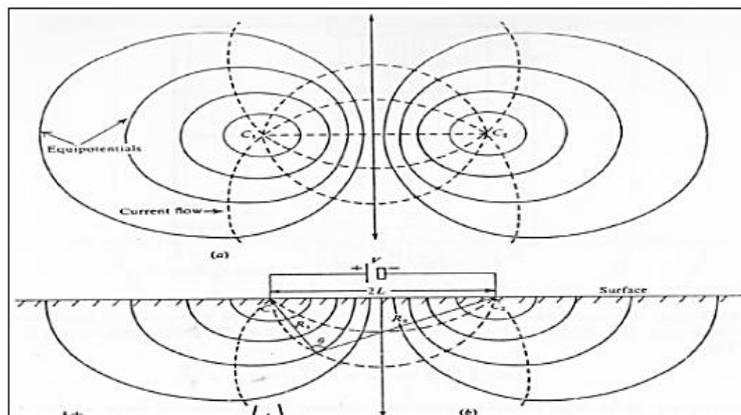
II.3.5 Potensial Oleh Dua Sumber Arus di Permukaan Bumi

Dalam eksplorasi dengan menggunakan metode geolistrik, umumnya digunakan dua pasang elektroda yakni satu pasang elektroda arus dan satu pasang elektroda potensial **Gambar II.4**



Gambar II.4 Dua elektroda arus dan potensial di permukaan bumi yang homogen isotropis (Telford et al., 1990)

Apabila dua elektroda memiliki jarak tertentu, potensial di setiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut. Perubahan potensial sangat drastis pada daerah yang dekat dengan sumber arus, dimana pada daerah potensial yang berada di luar C_1 dan C_2 yang menjauh dari linier memiliki gradien potensial yang besar. Namun sebaliknya pada daerah antara C_1 dan C_2 gradien potensial kecil dan mendekati linier. Untuk menentukan perbedaan potensial antara dua titik yang ditimbulkan oleh sumber arus listrik C_1 dan C_2 , maka dua elektroda potensial misalnya P_1 dan P_2 ditempatkan di dekat sumber seperti pada **Gambar II.5** (Telford et al., 1990).



Gambar II.5 Distorsi garis ekuipotensial dan garis aliran arus pada dua titik sumber arus (a) Denah ; (b) Penampang vertikal dipermukaan tanah (Telford et al., 1990)

Ketika jarak antara 2 elektroda arus ditentukan, maka besarnya potensial di titik P₁ yang ditimbulkan oleh arus C₁ dan C₂ adalah (Telford et al., 1990):

$$V_{P1} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (2.23)$$

Selanjutnya potensial di titik P₂ yang timbul akibat arus C₁ dan C₂ adalah:

$$V_{P2} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) \quad (2.24)$$

Sehingga beda potensial antara titik P₁ dan P₂ yang ditimbulkan oleh arus C₁ dan C₂ adalah sebagai berikut:

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) \right\} \quad (2.25)$$

Dimana,

ΔV = Beda potensial antara P₁ dan P₂

I = Kuat arus yang melalui elektroda arus C₁ dan C₂ (Ampere)

r_1 = jarak antara C₁ dan P₂

r_2 = Jarak antara C₂ dan P₁

r_3 = Jarak antara C₁ dan P₂

r_4 = Jarak antara C₂ dan P₂

Berdasarkan dari persamaan (2.25) maka diperoleh hubungan antara beda potensial dengan tahanan jenis sebagai berikut:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.26)$$

atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.27)$$

dengan,

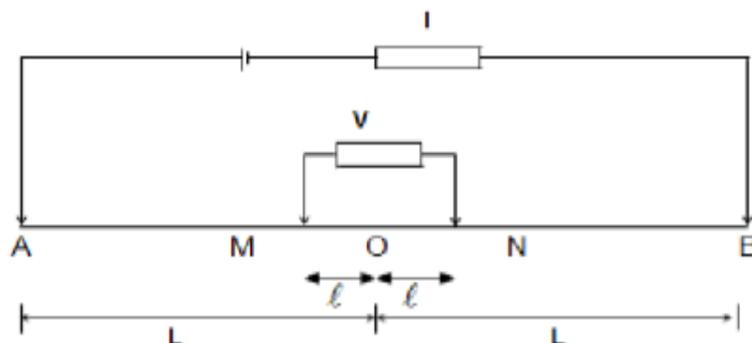
$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \quad (2.28)$$

Kemudian untuk besaran ρ adalah nilai resistivitas (Ohm·m) sedangkan k adalah faktor geometri yang dimana nilainya tergantung dari jenis konfigurasi yang digunakan.

II.4 Konfigurasi Schlumberger

Variasi nilai resistivitas semu yang diperoleh pada pengukuran geolistrik di lapangan, tergantung dari geometri konfigurasi elektroda yang digunakan. Penggunaan jenis konfigurasi elektroda tergantung pada target, kondisi medan, dan sensitivitas dari alat *resistivity meter* (Hartanto, 2017).

Konfigurasi *Schlumberger* adalah salah satu jenis konfigurasi yang efektif digunakan pada proses pengukuran secara *Vertical Electrical Sounding*, yang memiliki tujuan untuk mengetahui alokasi resistivitas pada titik *sounding*. Pada jenis konfigurasi ini elektroda arus diberi variasi jarak yang berbeda-beda sedangkan jarak elektroda potensial dibuat tetap. Untuk memperluas cakupan struktur lapisan bawah permukaan tanah, maka perlu dibuat semakin jarak yang besar antara elektroda arus. Susunan konfigurasi *schlumberger* diperlihatkan pada **Gambar II.6**



Gambar II.6 Konfigurasi Schlumberger Simetris (Prameswari et al., 2012)

Berdasarkan **Gambar II.6** dapat dituliskan faktor geometri konfigurasi

Schlumberger sebagai berikut (Prameswari et al., 2012):

$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \quad (2.29)$$

Berdasarkan hasil dari factor geometri (K) yang diperoleh maka dapat dihitung resistivitas semu untuk konfigurasi *Schlumberger* adalah sebagai berikut:

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \frac{\nabla V}{I} \quad (2.30)$$

Dimana:

ρ_a = tahanan jenis semu

L = jarak elektroda arus ke titik tengah

l = jarak elektroda potensial ke titik tengah

∇V = beda potensial

I = kuat arus

II.5 Pemodelan Data Geolistrik

Dalam pemodelan geofisika, model dan parameter model digunakan untuk mengkarakterisasi suatu kondisi geologi bawah permukaan. Pemodelan merupakan proses estimasi model dan parameter model berdasarkan data yang diamati di permukaan bumi. Saat ini, untuk memperoleh distribusi sifat fisis bawah permukaan secara lebih kuantitatif umumnya dilakukan melalui pemodelan. Dalam hal ini, model adalah representasi keadaan geologi bawah-permukaan dengan besaran fisis dan geometri tertentu. Tujuan representasi menggunakan model adalah agar permasalahan dapat disederhanakan dan respons model dapat diperkirakan atau dihitung secara teoritis dengan memanfaatkan teori-teori fisika. Secara lebih

umum, model menyatakan suatu besaran atau parameter fisis yang bervariasi terhadap posisi (variasi spasial). Dengan demikian model dapat dinyatakan oleh parameter model yang terdiri dari parameter fisis dan geometri yang menggambarkan distribusi spasial parameter fisis tersebut (Grandis, 2009).

II.5.1 Pemodelan ke Depan

Pemodelan ke depan (*forward modeling*) proses perhitungan “data” yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaan tertentu. Perhitungan data teoritis tersebut menggunakan persamaan matematik yang diturunkan dari konsep fisika yang mendasari fenomena yang ditinjau. Pemodelan data geofisika akan dicari suatu model yang menghasilkan respons yang cocok atau *fit* dengan data pengamatan atau data lapangan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di tempat pengukuran data (Grandis, 2009).

Hubungan antara data dengan parameter model secara umum dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Grandis, 2009):

$$d = g(m) \tag{2.31}$$

Dimana, g adalah suatu fungsi pemodelan kedepan yang merupakan fungsi non-linear dari parameter model, d merupakan data pengukuran dan m adalah model bawah permukaan.

II.5.2 Pemodelan Inversi

Pemodelan inversi (*inverse modeling*) sering dikatakan sebagai “kebalikan” dari pemodelan ke depan karena dalam pemodelan inversi parameter model diperoleh

secara langsung dari data. Menke (1984) mendefinisikan teori inversi sebagai kesatuan teknik atau metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Sistem fisika yang dimaksud adalah fenomena yang kita tinjau, hasil observasi terhadap sistem adalah data sedangkan informasi yang ingin diperoleh dari data adalah model atau parameter model (Grandis, 2009).

Proses inversi yaitu melakukan analisis terhadap data lapangan dengan cara melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown* parameter). Proses inversi terbagi dalam level-level tertentu mulai dari yang paling sederhana seperti fitting garis untuk data seismik refraksi sampai kepada level yang rumit seperti tomografi akustik dan matching (pencocokan) kurva resistivitas yang multidimensi.

Kesesuaian antara respons model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian minimum fungsi objektif berasosiasi dengan proses pencarian model optimum. Jika suatu fungsi mencapai minimum maka turunannya terhadap variabel yang tidak diketahui dititik minimum tersebut berharga nol. Karakteristik minimum suatu fungsi tersebut digunakan untuk pencarian parameter model. Secara umum, model dimodifikasi sedemikian mungkin hingga respons model menjadi *fit* dengan data. Proses tersebut jelas bahwa pemodelan inversi hanya dapat dilakukan jika hubungan antara data dan parameter model (fungsi pemodelan ke depan) telah diketahui (Grandis, 2009).

II.6 Interpolasi Kriging

Interpolasi adalah proses menemukan dan mengevaluasi sebuah fungsi grafiknya melalui beberapa titik yang sudah diberikan. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak diukur, sehingga nilai-nilai yang tidak diukur dapat diperkirakan sehingga dapat dibuat sebaran nilai pada seluruh wilayah (Pranomo, 2008).

Pada metode geolistrik 2D perlu digunakan metode interpolasi untuk memperkirakan pola nilai di antara titik-titik datum yang tidak terukur. Dari pola nilai tersebut akan dijadikan penampang resistivitas. Penampang yang dihasilkan berupa penampang warna-warni yang setiap warnanya mewakili nilai-nilai dari yang terkecil sampai yang terbesar. Untuk membuat penampang resistivitas dengan beberapa titik datum yang diketahui, maka digunakan metode interpolasi Kriging.

Istilah kriging diambil dari nama seorang ahli yaitu D.G. Krige, yang pertama kali menggunakan korelasi spasial dan penduga tak bias. Kriging adalah suatu metode untuk memperkirakan nilai suatu variabel pada suatu titik atau blok yang tidak memiliki nilai sampel dengan menggunakan kombinasi linear dari variabel yang diketahui (Octova et al., 2020).

Persamaan untuk menghitung nilai estimasi pada titik tertentu adalah sebagai berikut (Isaaks et al., 1989).

$$Z_A = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (2.32)$$

dengan,

- Z_A = nilai estimasi pada titik A
- n = jumlah data yang akan digunakan
- W_i = nilai pembobotan pada lokasi i
- Z_i = nilai yang terukur pada lokasi i

II.7 Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan produk residu yang berasal dari pelapukan kimia batuan dipermukaan bumi, dimana aneka macam mineral orisinal atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air, kemudian larut atau pecah dan menghasilkan mineral baru yang lebih stabil (Kurniadi et al., 2017).

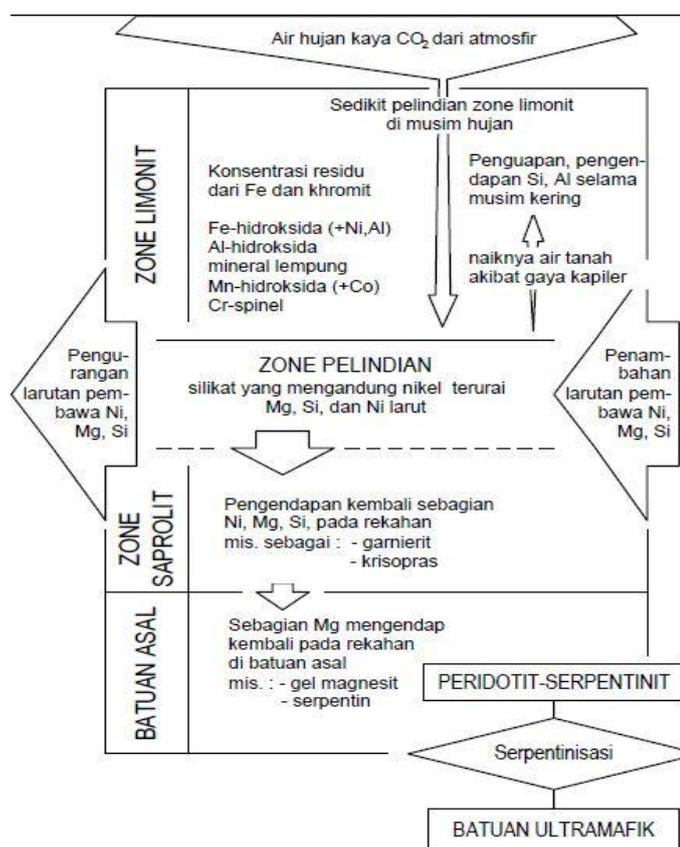
Nikel logam yang relatif keras putih mengkilat terdapat didalam kerak bumi sebesar kurang lebih 0,02% - 0,4% . Nikel terdapat pada batuan ultrabasa seperti dunit dan peridotit yang mengalami serpentinisasi dan lapuk yang membentuk mineral sekunder bijih nikel garnierit. Seperti yang ditemukan pada endapan nikel di New Calidonia dan di Sulawesi (Soroako dan Pomalaa), tanah residual yang sudah berkembang pada batuan Ultramafik melalui proses pelapukan kimiawi dan terjadi pengkayaan (Sukandarrumidi, 2016).

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu later, yang artinya bata (membentuk bongkah-bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata). Hal ini dikarenakan tanah laterit tersusun oleh fragmen–fragmen batuan yang mengambang diantara matriks, seperti bata diantara semen, namun ada juga yang mengartikan nikel laterit sebagai endapan lapukan yang mengandung nikel dan secara ekonomis dapat di tambang. 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 (Primanda, 2008).

II.7.1 Ganesa Endapan Nikel Laterit

Pembentukan nikel laterit secara kimia terkait dengan proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan *peridotite* akibat pengaruh larutan *hydrothermal* yang akan merubah batuan *peridotite* menjadi batuan *serpentinite* atau batuan *serpentinite peridotite*. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu (berkelanjutan), menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk (Primanda, 2008).



Gambar II.7 Ganesa Endapan Nikel Laterit (Primanda, 2008)

Pada pelapukan kimia khususnya, air tanah kaya akan CO₂ yang berasal dari udara dan pembusukan tumbuh-tumbuhan akan menguraikan mineral-mineral yang tidak stabil (*olivine* dan *piroksen*) pada batuan ultrabasa, kemudian menghasilkan Mg, Fe, Ni yang larut dan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel-partikel silika sangat halus. Di dalam larutan, Fe teroksidasi dan mengendap sebagai *ferrihidroksida*, akhirnya membentuk mineral-mineral seperti *goethite*, *limonite*, dan *hematite* dekat permukaan. Bersama mineral-mineral ini selalu ikut serta unsur *cobalt* dalam jumlah kecil (Primanda, 2008).

Air merupakan faktor penting yang berperan sebagai media transportasi. Air tanah yang kaya akan CO₂ berasal dari udara luar dan tumbuhan, akan mengurai mineral-mineral yang terkandung dalam batuan *harzburgit*. Kandungan *olivin*, *piroksen*, magnesium silikat, besi, nikel dan silikat akan terurai dan membentuk suatu larutan, di dalam larutan yang telah terbentuk tersebut, besi akan bersenyawa dengan oksida dan mengendap sebagai *ferri hidroksida*. Endapan *ferri hidroksida* ini akan menjadi reaktif terhadap air, sehingga kandungan air pada endapan tersebut akan mengubah *ferri hidroksida* menjadi mineral-mineral seperti *goethite* (FeO(OH)), *hematit* (Fe₂O₃) dan *cobalt* (Waheed et al., 2005).

Larutan yang mengandung Mg, Ni, dan Si terus menerus mengalir ke bawah tanah selama larutannya bersifat asam, hingga pada suatu kondisi dimana suasana cukup netral akibat adanya kontak dengan tanah dan batuan, maka ada kecenderungan untuk membentuk endapan hidrosilikat. Nikel yang terkandung dalam rantai silikat atau hidrosilikat dengan komposisi bervariasi tersebut akan mengendap pada celah-

celah atau rekahan-rekahan yang dikenal dengan urat-urat *garnierite* dan *krisopras*. Sedangkan larutan residunya akan membentuk suatu senyawa yang disebut saprolit yang berwarna coklat kuning kemerahan. Unsu - unsur lainnya seperti Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat akan terbawa ke bawah sampai batas pelapukan dan akan diendapkan sebagai *dolomite*, *magnesite* yang biasa mengisi celah - celah atau rekahan - rekahan pada batuan induk, seperti pada **Gambar II.7**. Di lapangan urat - urat ini dikenal sebagai batas petunjuk antara zona pelapukan dengan zona batuan segar yang disebut dengan akar pelapukan (Primanda, 2008).

II.7.2 Faktor-faktor Pembentukan Nikel Laterit

Proses dan kondisi yang mengendalikan laterisasi dari batuan ultramafik begitu banyak dan beragam, akibatnya kondisi alamiah dari tiap profil berbeda secara detail dari satu tempat ke tempat lainnya dalam hal ketebalan, kimiawi, komposisi mineralogi dan perkembangan relatif dari zona profil secara individu. Faktor – faktor utama yang mempengaruhi efisiensi dan kinerja dari pelapukan kimia, berdampak pada model alamiah profil, adalah sebagai berikut (Primanda, 2008):

- **Batuan Induk**

Adanya batuan induk merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, macam batuan induknya adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan ultrabasa tersebut:

- a) Terdapat elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya
- b) Mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil seperti olivine dan piroksine
- c) Memiliki komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel

- 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.

- Reagen-reagen kimia dan vegetasi

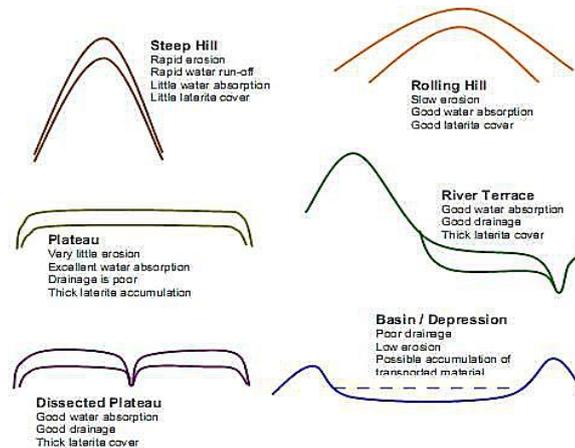
Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan, seperti CO₂ yang terkandung dalam air tanah akan mempercepat proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah pH larutan. Keadaan ini merupakan suatu petunjuk, 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.

- Struktur

Struktur yang sangat dominan adalah 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 menjadi lebih intensif.

- Topografi

Keadaan topografi setempat 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 lihat **Gambar II.8**.



Gambar II.8 Hubungan antara topografi dengan proses laterisasi (Primanda, 2008)

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, sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

- Waktu

Waktu yang cukup lama mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena memiliki akumulasi unsur nikel dalam jumlah yang besar.

II.7.3 Profil Endapan Nikel Laterit

Hasil proses lateritisasi berupa formasi gradasi pelapisan yang membentuk profil laterit. Profil laterit nikel keseluruhan terdiri dari 4 zona gradasi sebagai berikut dan seperti terlihat pada **Gambar II.9** (Kurniadi et al., 2017):

- *Iron Capping/Overburden*

Tanah Penutup atau Top soil (biasanya disebut “*Iron Capping*”) Tanah residu berwarna merah tua yang merupakan hasil oksidasi yang terdiri dari masa hematit, goethit serta limonit. Kadar besi yang terkandung sangat tinggi dengan kelimpahan unsur Ni yang sangat rendah.

- Zona Limonit

Zona Limonit Berwarna merah coklat atau kuning, berukuran butir halus hingga lempungan, lapisan kaya besi dari limonit soil yang menyelimuti seluruh area. Zona didominasi oleh mineral goethite, disamping juga terdapat magnetit, hematit, kromit, serta kuarsa sekunder. Pada goethite terikat nikel, krom, kobalt, vanadium, serta aluminium. Secara umum, material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau) dan sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit. Nilai resistivitas pada zona ini berkisar antara 10 Ohm·m – 200 Ohm·m (Setyaningrum et al., 2019)

- Zona lapisan antara atau “*Silica Boxwork*” Zona ini jarang terdapat pada batuan dasar (*bedrock*) yang serpentinisasi. Berwarna putih – orange chert, *quartz*, mengisi sepanjang rekahan dan sebagian menggantikan zona terluar dari unserpetine fragmen peridotit, sebagian mengawetkan struktur dan tekstur dari batuan asal. Terkadang terdapat mineral opal, magnesit. Akumulasi dari garnierit-pimelit di dalam *boxwork* mungkin berasal dari nikel ore yang kaya akan silika. Pada zona ini nilai resistivas berkisar 246 Ohm·m – 929 Ohm·m (Haryati et al., 2021). Penelitian serupa dilakukan oleh Budy 13 Santoso et al., (2018) untuk melakukan pemodelan nikel laterit berdasarkan data resistivitas dimana zona limonit memiliki nilai resistivitas 40 – 201 Ohm.m.

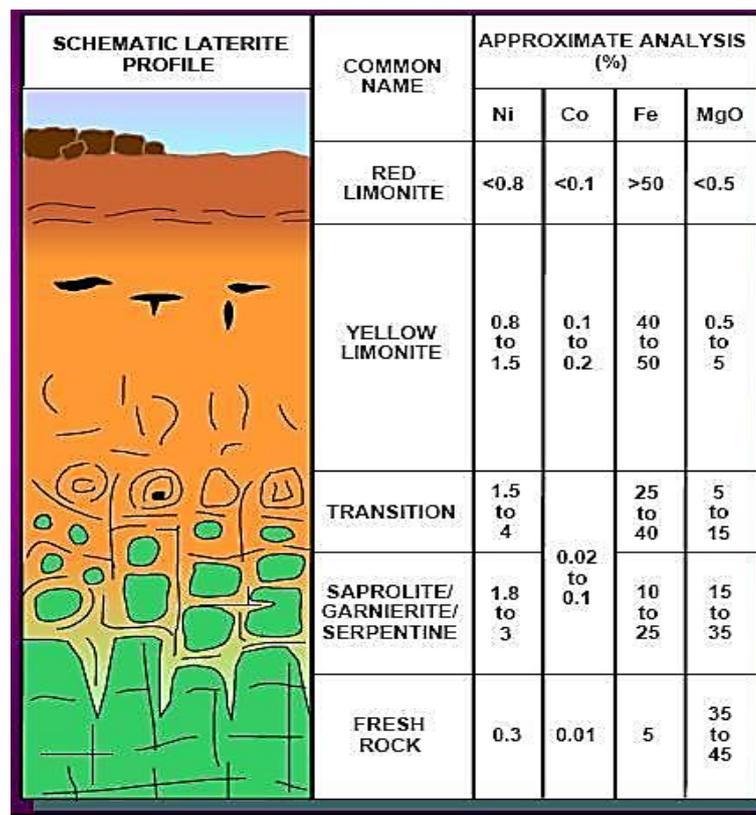
- Zona Saprolit

Zona Saprolit merupakan campuran dari sisa – sisa batuan, bersifat pasiran, *saprolitic rims*, *vein* dari *garnierite*, *nickeliferous quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat silika *boxwork*, bentukan dari suatu zona transisi dari limonit ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral quartz yang mengisi rekahan, mineral primer yang terlapukan, chlorit. *Garnierite* di lapangan biasanya diidentifikasi sebagai “*colloidal talk*” dengan lebih atau kurang *nickeliferous serpentine*. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Pada zona saprolit mempunyai nilai resistivitas berkisar 150 Ohm-m – 444 Ohm-m (Setyaningrum., 2019). Penelitian serupa dilakukan oleh Budy 13 Santoso et al., (2018) untuk melakukan pemodelan nikel laterit berdasarkan data resistivitas dimana zona limonit memiliki nilai resistivitas 201- 444 Ohm.m

Zona saprolit merupakan lapisan setelah zona limonit pada profil laterit, dimana pada lapisan ini terjadi proses pengayaan unsur Ni yang lebih besar dibandingkan zona lapisan lainnya. Hal ini terjadi karena pada saat pada saat proses lateritisasi yang terjadi dimana air yang berfungsi sebagai penyuplai mineral-mineral pembawa unsur Ni akan mengalir masuk melalui kekar atau celah batuan dan akan membawa nikel turun ke bawah dan lambat laun akan terkumpul di zona permeabel yang tidak dapat menembus *bedrock*, apabila proses ini berlangsung terus maka pada zona saprolit ini akan terjadi pengayaan supergen. Lapisan saprolit juga dicirikan oleh adanya tekstur sisa dari *bedrock* berupa boulder yang kayak akan kadar nikel (Ahmad, 2005).

- *Zona Bedrock*

Batuan *Bedrock* dasar tersusun atas bongkahan atau blok dari batuan induk yang secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis (kadarnya sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). *Bedrock* ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses-proses pelapukan sangat kecil. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang - kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab muncul atau adanya *root zone of weathering* (zona akar - akar pelapukan), yaitu *high grade* Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi. *Bedrock* umumnya berupa peridotit, dunit dan serpentininit (Ahmad, 2005).



Gambar II.9 Profil Endapan Nikel Laterit (Kurniadi, 2017)

Zona *bedrock* merupakan batuan dasar, lapisan paling bawah yang terdiri dari piroksen serpentin dan garnierit sehingga memiliki nilai resistivitas yang cukup tinggi berkisar >700 Ohm·m (Setyaningrum., 2019). Selain itu, penelitian ini juga pernah dilakukan oleh Budy 13 Santoso et al., (2018) untuk melakukan pemodelan nikel laterit berdasarkan data resistivitas dimana zona saprolit memiliki nilai resistivitas 645 - 3300 Ohm.m.