

**ANALISIS KETEBALAN DAN ESTIMASI VOLUME ZONA LATERIT
BERDASARKAN PEMODELAN 2D DAN 3D GEOLISTRIK
RESISTIVITAS DENGAN KORELASI DATA BOR DI AREA LALINDU
KABUPATEN KONAWE UTARA**

(Skripsi)

Oleh

Fariz Al Hamdi

1915051015



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

**ANALISIS KETEBALAN DAN ESTIMASI VOLUME ZONA LATERIT
BERDASARKAN PEMODELAN 2D DAN 3D GEOLISTRIK
RESISTIVITAS DENGAN KORELASI DATA BOR DI AREA LALINDU
KABUPATEN KONAWE UTARA**

Oleh

FARIZ AL HAMDI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

ANALISIS KETEBALAN DAN ESTIMASI VOLUME ZONA LATERIT BERDASARKAN PEMODELAN 2D DAN 3D GEOLISTRIK RESISTIVITAS DENGAN KORELASI DATA BOR DI AREA LALINDU KABUPATEN KONAWE UTARA

Oleh

Fariz Al Hamdi

Nikel adalah jenis logam yang sering dipakai dalam industri dan sebagian besar dimanfaatkan untuk produksi *stainless steel*. Kebutuhan akan nikel diperkirakan akan semakin tinggi sebagai akibat dari semakin bertumbuhnya industri kendaraan listrik yang membutuhkan nikel sebagai bahan baku pembuatan baterai. Indonesia adalah negara yang memiliki cadangan nikel terbesar di dunia. Kebanyakan dari cadangan nikel ini terdapat di wilayah Indonesia timur, salah satunya di Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui area dengan prospek nikel laterit melalui analisis ketebalan dan estimasi volume zona laterit. Data yang digunakan adalah data hasil akuisisi geolistrik resistivitas konfigurasi *Dipole-Dipole* sebanyak delapan lintasan yang tersebar di empat area berbeda. Data ini kemudian diolah dengan melakukan pemodelan inversi 2D dan rekonstruksi 3D. Selain data geolistrik, dalam penelitian ini juga digunakan data lubang bor sebanyak lima data lubang bor. Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi, diketahui bahwa zona laterit di daerah penelitian terdiri dari zona saprolit dengan nilai resistivitas 1 – 50 Ωm dan zona *bedrock* memiliki nilai resistivitas 51 - 16.140 Ωm . Ketebalan zona saprolit pada lintasan kalibrasi rata-rata 7 - 13 meter. Lintasan 1 memiliki ketebalan rata-rata 5 - 10 meter. Lintasan 2 memiliki ketebalan rata-rata 3 - 15 meter. Lintasan 3 memiliki ketebalan rata-rata 5 - 10 meter. Lintasan 4 memiliki ketebalan rata-rata 10 - 15 meter. Lintasan 5 memiliki ketebalan rata-rata 3 - 10 meter. Lintasan 6 memiliki ketebalan rata-rata sekitar 5 - 9 meter. Lintasan 7 memiliki ketebalan rata-rata 7 - 30 meter. Total estimasi volume zona laterit yang terukur dalam penelitian ini adalah 272.704 m³, dimana volume area 1 sebesar 45.064 m³, volume area 2 sebesar 171.728 m³, dan volume area 3 sebesar 55.912 m³.

Kata kunci : Nikel Laterit, Geolistrik, Resistivitas, Sulawesi Tenggara, *Dipole-Dipole*

ABSTRACT

THICKNESS ANALYSIS AND VOLUME ESTIMATION OF LATERITE ZONE BASED ON 2D AND 3D GEOELECTRIC RESISTIVITY MODELING WITH DRILL DATA CORRELATION IN LALINDU AREA, NORTH KONawe REGENCY

By

Fariz Al Hamdi

Nickel is a type of metal commonly used in the industry, primarily utilized in the production of stainless steel. The demand for nickel is expected to rise significantly due to the growing electric vehicle industry, where nickel is a crucial raw material for battery manufacturing. Indonesia is a country with the largest nickel reserves in the world. Most of these nickel reserves are located in the eastern regions of Indonesia, including the Southeast Sulawesi Province. This research aims to identify areas with lateritic nickel prospects through the analysis of thickness and volume estimation of the lateritic zone. The data used in this study include the results of geoelectric resistivity measurement with Dipole-Dipole configuration along eight lines spread across four different areas. This data is then processed by conducting 2D inversion modeling and 3D reconstruction. In addition to the geoelectric data, the study also incorporates data from five drillholes. Based on the analysis and interpretation, it is revealed that the lateritic zone in the research area consists of saprolite zones with resistivity values ranging from 1 to 50 Ωm , while the bedrock zone has resistivity values ranging from 51 to 16,141 Ωm . The saprolite zone thickness on calibration line averages 7 - 13 meters. Line 1 has an average thickness of 5 - 10 meters. Line 2 has an average thickness of 3 - 15 meters. Line 3 has an average thickness of 5 - 10 meters. Line 4 has an average thickness of 10 - 15 meters. Line 5 has an average thickness of 3 - 10 meters. Line 6 has an average thickness of 5 - 9 meters. Line 7 has an average thickness of 7 - 30 meters. The total estimated volume of the measured lateritic zone in this study is 272,704 m^3 , with the volume of area 1 being 45,064 m^3 , the volume of area 2 being 171,728 m^3 , and the volume of area 3 being 55,912 m^3 .

Keywords: Nickel Laterite, Geoelectric, Resistivity, Southeast Sulawesi, Dipole-Dipole

Judul Skripsi : **ANALISIS KETEBALAN DAN ESTIMASI VOLUME ZONA LATERIT BERDASARKAN PEMODELAN 2D DAN 3D GEOLISTRIK RESISTIVITAS DENGAN KORELASI DATA BOR DI AREA LALINDU KABUPATEN KONAWA UTARA**

Nama : **Fariz Al Hamdi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915051015

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

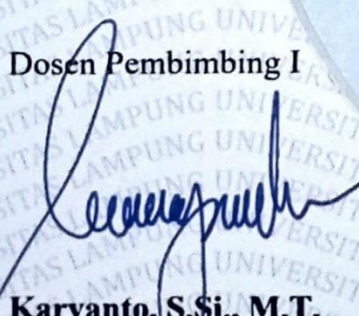


MENYETUJUI

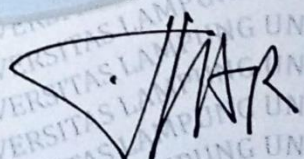
1. **Komisi Pembimbing**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

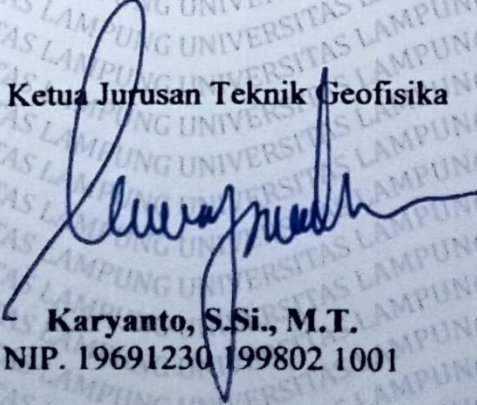

Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001


**Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D.,
IPU., ASEAN Eng.**

NIP. 19620717 198703 1002

2. **Ketua Jurusan Teknik Geofisika**


Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

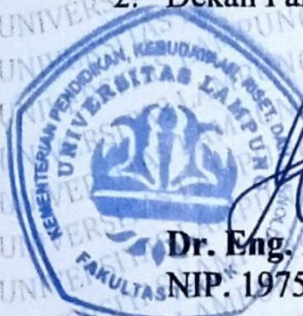
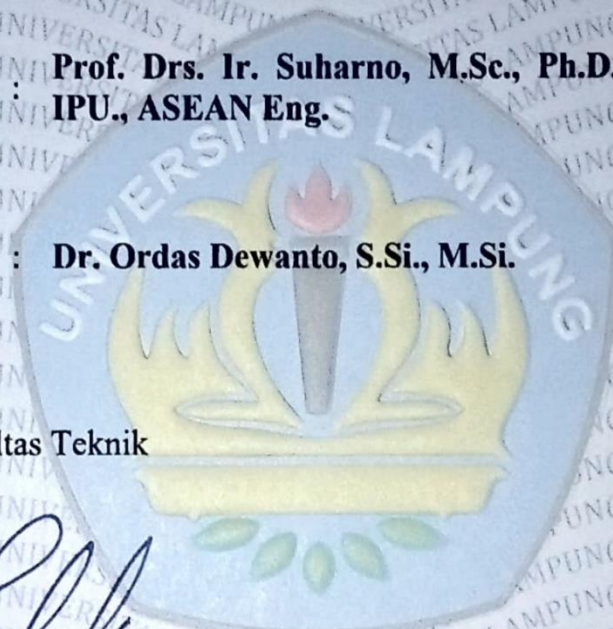
Ketua : **Karyanto, S.Si., M.T.**

Sekretaris : **Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D.,
IPU., ASEAN Eng.**

Anggota : **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ↓
NIP. 19750928 2001 12 1002



(Handwritten signatures of Karyanto, Prof. Drs. Ir. Suharno, and Dr. Ordas Dewanto)

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 8 Desember 2023

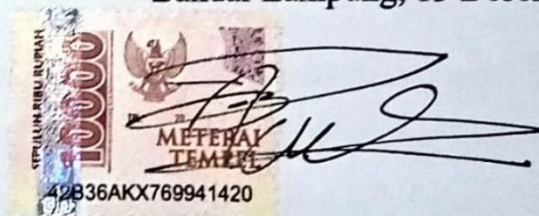
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Skripsi dengan judul “Analisis Ketebalan dan Estimasi Volume Zona Laterit Berdasarkan Pemodelan 2D dan 3D Geolistrik Resistivitas dengan Korelasi Data Bor di Area Lalindu Kabupaten Konawe Utara” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang telah berlaku.

Bandar Lampung, 13 Desember 2023



Fariz Al Hamdi
NPM. 1915051015

RIWAYAT HIDUP



Fariz Al Hamdi lahir di Desa Karang Dapo, Kabupaten Musi Rawas Utara pada tanggal 15 Juli 2001, sebagai anak pertama dari empat bersaudara dari Bapak Zakir dan Ibu Rika Ariansih. Riwayat pendidikan penulis dimulai ketika menempuh pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Aisyiyah Bustanul Athfal Karang Dapo pada tahun 2006 hingga 2007. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 2 Karang Dapo hingga tahun 2013. Lalu, menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri Karang Dapo hingga tahun 2016 dan dilanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) di MA Negeri 1 Model Kota Lubuklinggau hingga tahun 2019. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Lampung dengan mengambil Jurusan Teknik Geofisika melalui jalur SNMPTN 2019.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi di beberapa lembaga kemahasiswaan. Diantaranya adalah sebagai Anggota Departemen Kaderisasi Forum Silaturahmi dan Studi Islam Fakultas Teknik (FOSSI-FT) pada tahun 2019, Anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” (Hima TG “Bhuwana”) pada tahun 2022, Wakil Presiden Seksi Mahasiswa Ikatan Ahli Geologi Indonesia (SM-IAGI) pada tahun 2023, Ketua Divisi Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia Wilayah 1 (HMGI Wilayah 1) tahun 2022, Anggota Divisi Edukasi *Society of Exploration Geophysicist Student Chapter* (SEG-SC) Unila tahun 2022, Anggota Teknis Himpunan Ahli Geofisika

Indonesia *Student Chapter* (HAGI-SC) unila tahun 2023. Selain itu, pada tahun 2021 bersama tim berisi tiga orang, penulis juga menerima pendanaan usaha melalui Program Mahasiswa Wirausaha (PMW). Pada November – Desember 2022, penulis melakukan kegiatan Kerja Praktik di PT. Antam Tbk., Jakarta Selatan yang kemudian dilanjutkan dengan melaksanakan Tugas Akhir pada Maret – April 2023 di area tambang milik PT. Antam Tbk., di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Selanjutnya, pada Januari – Februari 2023, penulis melakukan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Padang Manis, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus selama \pm 40 hari. Pada Juni 2023, penulis melakukan kegiatan magang di PT. Medco E&P Indonesia di divisi *surface engineering offshore* sebagai *subsea control engineer* selama 1 bulan. Penulis berhasil menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung pada tahun 2023 dan memperoleh gelar “Sarjana Teknik”.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji beserta syukur atas nikmat dan karunia yang telah diberikan Allah S.W.T. sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini. Skripsi ini saya persembahkan kepada :

Ayah dan Ibu tercinta,

Zakir dan Rika Ariansih

Yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan moral, spiritual, dan material sejak penulis dilahirkan hingga saat ini. Terima kasih atas kasih dan sayang tanpa tepi serta doa yang terus dikirimkan kepada penulis. Semoga senantiasa diberikan kesehatan dan umur yang panjang hingga kelak dapat menyaksikan dan menikmati kesuksesan penulis.

Adik-adik tersayang,

*Karina Warda Aprilia, Dhani Sultan Al Fatur, dan
Muhammad Rizki Akbar*

Yang selalu menjadi sumber semangat dan alasan penulis berjuang melanjutkan pendidikan setinggi-tingginya agar dapat menjadi panutan untuk mereka. Semoga kelak penulis diberikan kesempatan dan rezeki untuk meringankan beban orang tua dan membantu menyekolahkan mereka setinggi-tingginya.

Teman-teman angkatan teristimewa,

7919 Mak Kou Tanding

Terima kasih karena telah membuat penulis merasa mempunyai “keluarga” kedua di tanah rantau yang jauh dari rumah ini. Terima kasih karena tidak pernah lelah dan bosan memberikan dukungan dan semangat pada penulis dan menciptakan lingkungan yang nyaman untuk kita dapat berproses bersama. Kalian akan selalu mempunyai tempat istimewa dalam cerita hidup penulis.

MOTTO

“Masa depan adalah milik mereka yang percaya pada
keindahan impian mereka”

- **Shoyo Hinata**

*“Control what you can control, is yourself,
perform better and perform well. This is what you have to do.
Work up, decide to do well”*

- **Pep Guardiola**

“Ilmu itu lebih baik dibanding harta. Ilmu menjagamu, dan
kamu menjaga harta. Ilmu itu hakim, sedangkan harta terhukum.
Harta akan berkurang jika dibelanjakan tetapi ilmu akan
bertambah jika diamalkan”

- **Ali bin Abi Thalib**

"...Dan sebaik-baik manusia adalah orang yang paling bermanfaat
bagi manusia lain"

- **HR. Thabrani dan Daruquthni**

“Salah satu pengkerdilan terkejam adalah membiarkan
pikiran yang cemerlang menjadi budak bagi tubuh yang malas,
yang mendahulukan istirahat sebelum lelah”

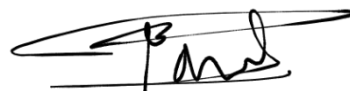
- **Buya Hamka**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah S.W.T. atas limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Ketebalan dan Estimasi Volume Zona Laterit Berdasarkan Pemodelan 2D dan 3D Geolistrik Resistivitas dengan Korelasi Data Bor di Area Lalindu Kabupaten Konawe Utara”. Shalawat beriring salam selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad S.A.W. yang syafaatnya selalu penulis nantikan hingga akhir zaman. Skripsi ini merupakan bagian dari Tugas Akhir mahasiswa Teknik Geofisika Universitas Lampung dan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan meraih gelar Sarjana Teknik. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan kepada penulis selama penyusunan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan. Selamat membaca dan semoga bermanfaat.

Bandar Lampung, 13 Desember 2023
Penulis,



Fariz Al Hamdi
NPM. 1915051015

SAN WACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah S.W.T. atas limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Ketebalan dan Estimasi Volume Zona Laterit Berdasarkan Pemodelan 2D dan 3D Geolistrik Resistivitas dengan Korelasi Data Bor di Area Lalindu Kabupaten Konawe Utara”. Shalawat beriring salam selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad S.A.W. yang syafaatnya selalu penulis nantikan hingga akhir zaman.

Dalam pelaksanaan tugas akhir hingga penyusunan Skripsi ini, banyak pihak yang terlibat baik langsung maupun tidak langsung dengan cara memberikan bimbingan dan dukungan kepada penulis, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

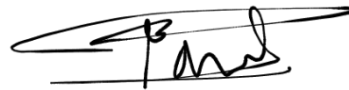
1. Allah S.W.T., yang selalu memberikan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini.
2. Kedua orang tua, ayah dan ibu tercinta, bapak Zakir dan ibu Rika Ariansih yang selalu memberikan dukungan berupa materi dan doa yang tidak henti-hentinya untuk penulis hingga saat ini.
3. Adik-adik, Karina Warda Aprilia, Dhani Sultan Al Fatur, dan Muhammad Rizki Akbar, yang selalu memberikan dukungan semangat untuk penulis.
4. PT. Antam Tbk, sebagai perusahaan yang telah memfasilitasi penulis untuk dapat melaksanakan kegiatan penelitian.
5. Mas Muhammad Arief Wicaksono, S.T., M.Energy., selaku pembimbing instansi yang telah memberikan bimbingan dan saran kepada penulis selama pelaksanaan kegiatan penelitian.
6. Ibu Akroma Hidayatika, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing akademik

penulis, yang telah banyak membantu penulis selama ±4 tahun melaksanakan studi di Universitas Lampung.

7. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku ketua jurusan Teknik Geofisika sekaligus dosen pembimbing I Skripsi penulis yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran pada penulis selama penyusunan Skripsi ini.
8. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing II Skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran pada penulis selama penyusunan Skripsi ini.
9. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji Skripsi yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun untuk Skripsi ini.
10. Seluruh dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
11. Mas Ardi, mas Fahri, dan mas Fikri sebagai mentor sekaligus teman berdiskusi, teman bercerita penulis ketika pelaksanaan penelitian ini, yang selalu memberikan arahan, menegur dan mengajari penulis selama kegiatan penelitian.
12. Pak Dan, Pak Darwin, Iqbal, Alan, Alju, Sam, Eka, dan Marlan selaku kru tim geofisika yang sudah sangat membantu selama proses akuisisi data geolistrik di lapangan.
13. Saudara Yusmansyah Siregar sebagai rekan penulis ketika melakukan kegiatan penelitian di lapangan yang menjadi teman untuk berdiskusi dan bertukar informasi terkait geologi daerah penelitian.
14. Keluarga besar Teknik Geofisika Universitas Lampung angkatan 2019 yang selalu memberi dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis.
15. Saudara Bilal Anargya Putra, Airlangga Sani Cahya Margaliu, dan Syatiya Mirwanda selaku pimpinan angkatan Teknik Geofisika 2019 yang telah banyak membantu penulis, baik dalam kegiatan akademik dan non akademik.
16. Fachri Aldi Pramudya, Luscacini Maria, M. Daffa Hafizh Alfasa, dan Nicko Ferly Pradana sebagai rekan yang melakukan Kerja Praktik di PT. Antam Tbk., yang juga telah membantu ketika penulis berada dalam kesulitan. Baik selama kegiatan penelitian, ataupun dalam penyusunan Skripsi ini.

17. Penghuni kontrakan 19 (Dany Raihan Susetyo, Syatiya Mirwanda, Haidar Prida Mazzaluna, M. Rasyid Al-Azmi, dan Jefri Martin Simamora) beserta ibu rumah tangganya (Alda Meilinda, Andwina Rahma Sagita dan Adelia Safitri) yang telah menjadi tempat bercerita dan menemani penulis selama perkuliahan dan penyusunan Skripsi ini.
18. Semua pihak lain yang ikut terlibat, yang tentunya tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 13 Desember 2023
Penulis,



Fariz Al Hamdi
NPM. 1915051015

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN.....	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
SAN WACANA	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lokasi penelitian	4
2.2 Tektonik	6
2.3 Geologi Regional	7
2.4 Stratigrafi	10
2.5 Penelitian Terdahulu	11

III.	TEORI DASAR.....	13
	3.1 Sifat Kelistrikan Batuan dan Mineral.....	13
	3.2 Metode Geolistrik Resistivitas	14
	3.3 Konfigurasi Elektroda Dipole-Dipole	17
	3.4 Pemboran (Drilling)	21
	3.5 Batuan Ultrabasa	21
	3.6 Nikel Laterit	22
	3.7 Pemodelan Inversi	26
	3.8 Aplikasi Metode Geolistrik untuk Eksplorasi Nikel Laterit	28
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	29
	4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
	4.2 Alat dan Bahan	29
	4.3 Prosedur Penelitian	31
	4.3.1 Akuisisi Data	31
	4.3.2 Persiapan Data	31
	4.3.3 Pengolahan Data	34
	4.4 Diagram Alir	39
V.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	40
	5.1 Hasil Penelitian	40
	5.2 Interpretasi Penampang Resistivitas 2D.....	40
	5.2.1 Lintasan Kalibrasi	40
	5.2.2 Lintasan 1.....	44
	5.2.3 Lintasan 2.....	45
	5.2.4 Lintasan 3.....	46
	5.2.5 Lintasan 4.....	47
	5.2.6 Lintasan 5.....	48
	5.2.7 Lintasan 6.....	49
	5.2.8 Lintasan 7.....	50
	5.3 Interpretasi Model Resistivitas 3D.....	52
	5.3.1 Area 1.....	52
	5.3.2 Area 2.....	53
	5.3.3 Area 3.....	54

VI. KESIMPULAN DAN SARAN	56
6.1 Kesimpulan	56
6.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi penelitian.....	5
2. Tatanan tektonik Kepulauan Indonesia.....	7
3. Ringkasan geologi Pulau Sulawesi.....	8
4. Peta geologi Kabupaten Konawe Utara.....	9
5. Satuan stratigrafi daerah penelitian.....	11
6. Kandungan garam elektrolit dalam batuan.....	14
7. Prinsip kerja metode geolistrik.....	15
8. Nilai resistivitas dan konduktivitas batuan.....	16
9. Konfigurasi elektroda <i>Dipole-Dipole</i>	17
10. Penambahan faktor “n” pada konfigurasi <i>Dipole-Dipole</i>	18
11. Sensitivitas konfigurasi elektroda <i>Dipole-Dipole</i>	21
12. Pembentukan endapan nikel laterit.....	24
13. Skema profil laterit yang berkembang di batuan ultramafik.....	26
14. Alur pemodelan inversi.....	28
15. Desain survei akuisisi.....	33
16. Diagram alir.....	39
17. Korelasi data geolistrik dan data lubang bor.....	43
18. Penampang resistivitas lintasan 1.....	45
19. Penampang resistivitas lintasan 2.....	46
20. Penampang resistivitas lintasan 3.....	47
21. Penampang resistivitas lintasan 4.....	48
22. Penampang resistivitas lintasan 5.....	49
23. Penampang resistivitas lintasan 6.....	50
24. Penampang resistivitas lintasan 7.....	51

25. Model resistivitas 3D area 1.....	53
26. Model resistivitas 3D area 2.....	54
27. Model resistivitas 3D area 3.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rencana jadwal kegiatan penelitian	29
2. Alat dan bahan serta kegunaannya	30
3. Litologi berdasarkan data resistivitas dan data lubang bor	42
4. Ketebalan zona laterit pada setiap lintasan.....	52
5. Estimasi volume zona laterit pada setiap area.....	55

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bijih nikel merupakan bahan alam yang banyak digunakan dalam industri. Bijih nikel, jika digabungkan dengan logam seperti kromium dan besi, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan besi tahan karat (*stainless steel*). *Stainless steel* menyumbang hingga 70% dari penggunaan nikel, sementara sisanya dimanfaatkan sebagai bahan paduan, pelapis, pengecoran, dan baterai (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020). *Stainless steel* tidak hanya tahan karat tetapi juga tahan lama, sehingga banyak digunakan pada berbagai jenis peralatan, seperti peralatan dapur, elektronik, aksesoris rumah tangga, dan komponen industri lainnya.

Kebutuhan akan nikel saat ini juga semakin meningkat seiring dengan semakin berkembangnya industri kendaraan listrik, terutama untuk pembuatan baterai. Baterai ini sangat berperan penting sebagai media untuk menyimpan dan menghasilkan energi. Umumnya, jenis baterai yang sering digunakan adalah baterai lithium-ion atau tepatnya baterai ion litium-nikel-mangan-kobalt atau yang sering disebut NCM. Menurut data dari Wood Mackenzie (2020), penggunaan nikel dari sektor baterai ini akan terus meningkat signifikan selama dua dekade, hingga pada tahun 2040 akan mencapai 1,22 Juta ton Ni atau sekitar 30% dari permintaan nikel global di tahun tersebut.

Menurut data *U.S. Geological Survey*, Indonesia memiliki cadangan nikel yang sangat besar, cadangan nikel Indonesia mencapai 72 juta ton (termasuk limonit) atau setara dengan 52% cadangan dunia. Indonesia juga menempati urutan pertama dalam produksi nikel sebesar 800.000 ton, diatas Filipina (420.000 ton) dan Rusia (270.000 ton). Selain itu, kebijakan hilirisasi nikel untuk

melarang ekspor komoditas mentah juga tengah digalakkan oleh Pemerintah Republik Indonesia. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa prospek pertumbuhan industri nikel di Indonesia sangat menjanjikan. Ini merupakan peluang bagi Indonesia untuk mengeksplorasi dan mengeksploitasi nikel. Banyak perusahaan tambang swasta dan BUMN yang melakukan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi komoditas nikel laterit. Salah satu BUMN pertambangan yang beroperasi di sektor eksplorasi dan eksploitasi bijih seperti bijih nikel laterit adalah PT. Antam Tbk. Salah satu pendekatan yang dilakukan dalam eksplorasi nikel laterit adalah menggunakan berbagai metode eksplorasi geofisika seperti metode geolistrik resistivitas.

Metode geolistrik resistivitas dapat menggambarkan perlapisan bawah permukaan berdasarkan kontras resistivitas batuan. Metode geolistrik resistivitas serta data bor digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui pola perlapisan zona laterit di daerah penelitian. Prinsip kerja metode geolistrik ini yaitu dengan mengalirkan arus listrik dari sumber arus melalui dua elektroda arus ke bumi, mengukur beda potensial yang dihasilkan antara dua elektroda potensial, kemudian menghitung nilai resistivitasnya. Dalam eksplorasi nikel laterit, ketebalan zona laterit dan *bedrock* dapat diperkirakan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas karena zona laterit memiliki nilai resistivitas yang kontras dengan *bedrock* (Reynolds, 2011). Sementara data bor digunakan karena dapat secara langsung dan akurat memberikan informasi terkait sifat fisik dan geologi daerah penelitian. Sehingga penggunaan data bor dapat mengurangi ambiguitas dalam interpretasi.

1.2 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari kegiatan penelitian ini :

1. Menentukan area yang prospek untuk diadakan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi nikel laterit.
2. Menentukan pola perlapisan nikel laterit pada daerah penelitian berdasarkan variasi nilai resistivitas dan informasi data bor.
3. Memperoleh nilai ketebalan dan kedalaman zona laterit di daerah penelitian.
4. Mendapatkan estimasi volume zona laterit pada setiap area.

1.3 Batasan Masalah

Berikut merupakan batasan masalah dari kegiatan penelitian ini :

1. Metode eksplorasi geofisika yang digunakan adalah metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Dipole-Dipole*.
2. Data resistivitas semu 2D diperoleh dari hasil akuisisi di area Lalindu, Kabupaten Konawe Utara pada Maret-April 2023.
3. Data Geolistrik berjumlah delapan lintasan, yang berada di empat area berbeda.
4. Data bor yang digunakan berjumlah lima lubang bor pada lintasan kalibrasi.
5. Pengolahan data dilakukan sampai dengan pemodelan geolistrik 3D dengan menggunakan *software* Rockworks v21.12.15 untuk kemudian dilakukan analisis dan interpretasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dari kegiatan penelitian ini :

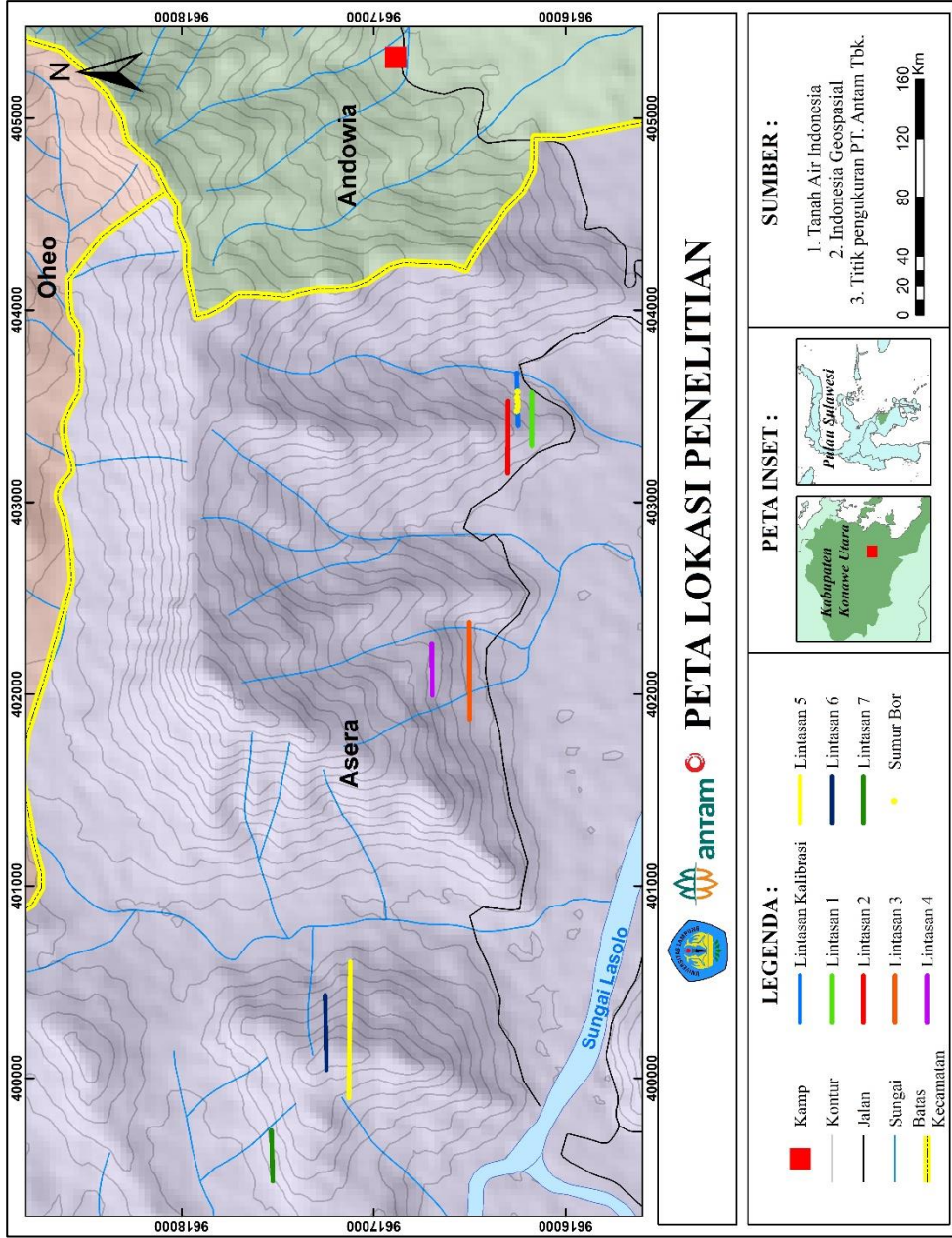
1. Mengoptimalkan proses eksplorasi sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi kegiatan eksplorasi nikel laterit.
2. Dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan proses eksplorasi ataupun eksploitasi kedepannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Penelitian

Adapun untuk lokasi dari kegiatan penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**. Data resistivitas semu yang digunakan merupakan hasil pengukuran yang dilakukan di area Lalindu, yang merupakan bagian dari IUP. PT. Antam Tbk Blok Mandiodo – Lasolo – Lalindu. Area ini secara administratif merupakan bagian dari wilayah Desa Wawolimbue, Kecamatan Asera, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara dan secara Geografis, berada pada $3^{\circ} 27' 35,624''$ - $3^{\circ} 28' 19,715''$ Lintang Selatan dan $122^{\circ} 5' 41,666''$ - $122^{\circ} 7' 58,027''$ Bujur Timur. Area penelitian ini berada di sebelah timur Sungai Lalindu dan di sebelah utara Sungai Lasolo. Total luas dari area penelitian adalah seluas $\pm 5.682.150$ meter² atau 5,68 kilometer². Wilayah Kecamatan Asera berbatasan dengan Kecamatan Andowia di sebelah selatan, Kecamatan Oheo dan Kecamatan Wiwirano disebelah timur. Selain itu, bagian utara dan barat Kecamatan Asera berbatasan langsung dengan wilayah Kabupaten Konawe.

Data hasil akuisisi dalam penelitian ini berjumlah delapan lintasan yang terdapat di empat area yang berbeda (area 1, area 2, area 3 dan area 4). Dari delapan lintasan ini, terdapat lintasan kalibrasi pada area 1, yang pada lintasan ini terdapat lima titik lubang bor. Untuk lintasan kalibrasi, panjang lintasannya ± 280 meter. Lintasan 1 memiliki panjang ± 280 meter, lintasan 2 memiliki panjang ± 375 meter, lintasan 3 memiliki panjang ± 505 meter, lintasan 4 memiliki panjang ± 265 meter, lintasan 5 yang merupakan lintasan terpanjang memiliki total panjang ± 720 meter, lintasan 6 memiliki panjang ± 405 meter, dan terakhir lintasan 7 memiliki panjang ± 265 meter. Total panjang dari delapan lintasan ini adalah ± 3.095 meter.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Tektonik

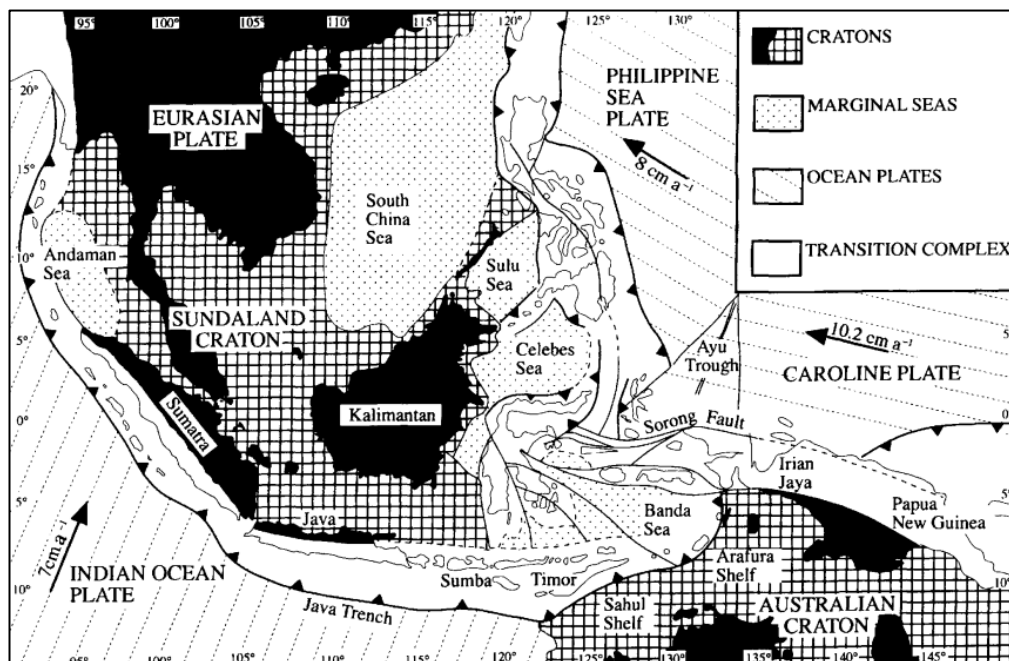
Sejarah tektonik Pulau Sulawesi, dimulai pada zaman Mesozoikum. Pada bagian tenggara Pulau Sulawesi, setelah terjadinya *thermal doming* pada Perm-Trias, terjadi pemekaran pada tepian Benua Australia yang membentuk mikrokontinen – mikrokontinen di daerah laut Banda (Pigram dan Panggabean, 1984), termasuk mandala Banggai -Sula, mandala Tukangbesi – Buton, dan mandala Mekonga (Simandjuntak, 1986).

Selanjutnya pada Kapur awal, mandala Sulawesi Timur bergerak ke barat mengikuti gerakan dari tunjaman landai di sebelah timur mandala Sulawesi bagian barat. Bukti dari adanya tunjaman ini adalah adanya bancuh Bantimala di Pankajene, Sulawesi Selatan dan batu malihan sekis Pompangeo di dekat Danau Poso yang merupakan batuan malihan bertekanan tinggi yang mencerminkan proses pemalihan yang terjadi karena adanya tunjaman (Parkinson, 1991).

Disisi lain, gerakan dari mikrokontinen – mikrokontinen ke barat laut bertumbukan dengan kompleks tunjaman di Sulawesi Timur, hal ini membuat peristiwa penunjaman kedua di Sulawesi terjadi. Peristiwa ini ditandai dengan kembali aktifnya zona tunjaman Kapur selama Oligosen Tengah. Batuan gunung api berumur Paleogen di busur magmatik Sulawesi Barat dan sabuk ofiolit Sulawesi Timur, diduga terbentuk bersamaan dengan terjadinya proses penunjaman. Di bawah tutupan ofiolit yang terletak secara mendatar, ditemukan sedimen laut yang diperkirakan berumur Trias akhir – Kapur. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa proses obdaksi ofiolit pada sabuk ofiolit Sulawesi Timur terjadi pada Eosen – Oligosen awal. Diduga, Sulawesi Timur, Buton, Buru, dan Seram merupakan bagian dari suatu mikrokontinen besar yang telah terpisah dari Benua Australia pada Jura dan menumbuk tepian Benua Eurasia membentuk orogen Sulawesi pada Oligosen (Milsom dkk., 2000).

Selanjutnya, muncul zona tunjaman ketiga di Pulau Sulawesi. Zona tunjaman ini miring ke arah selatan dan menghasilkan pembentukan batuan magmatik kalk-alkali berumur Miosen awal di lengan utara Sulawesi. Tunjaman ini

kemudian diikuti dengan terjadinya tumbukan kepingan benua Banggai – Sula dan Buton – Tukangbesi. Tumbukan ini menyebabkan perputaran lengan utara searah jarum jam, pensesar naikan (*back thrusting*) dan mulai terjadinya proses tunjaman disepanjang parit Sulawesi Utara (Kavalieris dkk., 1992). Tunjaman ini terus aktif, dan pada zaman Kuartar Kembali terjadi tunjaman di tenggara lengan utara Pulau Sulawesi. Tunjaman ini menghasilkan busur gunung api Minahasa – Sangihe. Kemudian di bagian timur lengan utara Sulawesi, terjadi tunjaman ganda dengan arah yang berlawanan, yaitu di barat laut sampai utara dan di sebelah selatan sampai tenggara lengan utara. Setelah berbagai aktivitas tektonik tersebut, hingga kini aktivitas tektonik Pulau Sulawesi masih aktif. Hal ini ditandai dengan adanya lajur sesar naik dan lipatan aktif di lengan selatan seperti lajur lipatan Majene dan lajur lipatan Kalosi (Coffield dkk., 1993; Bachri dan Baharuddin, 2001).

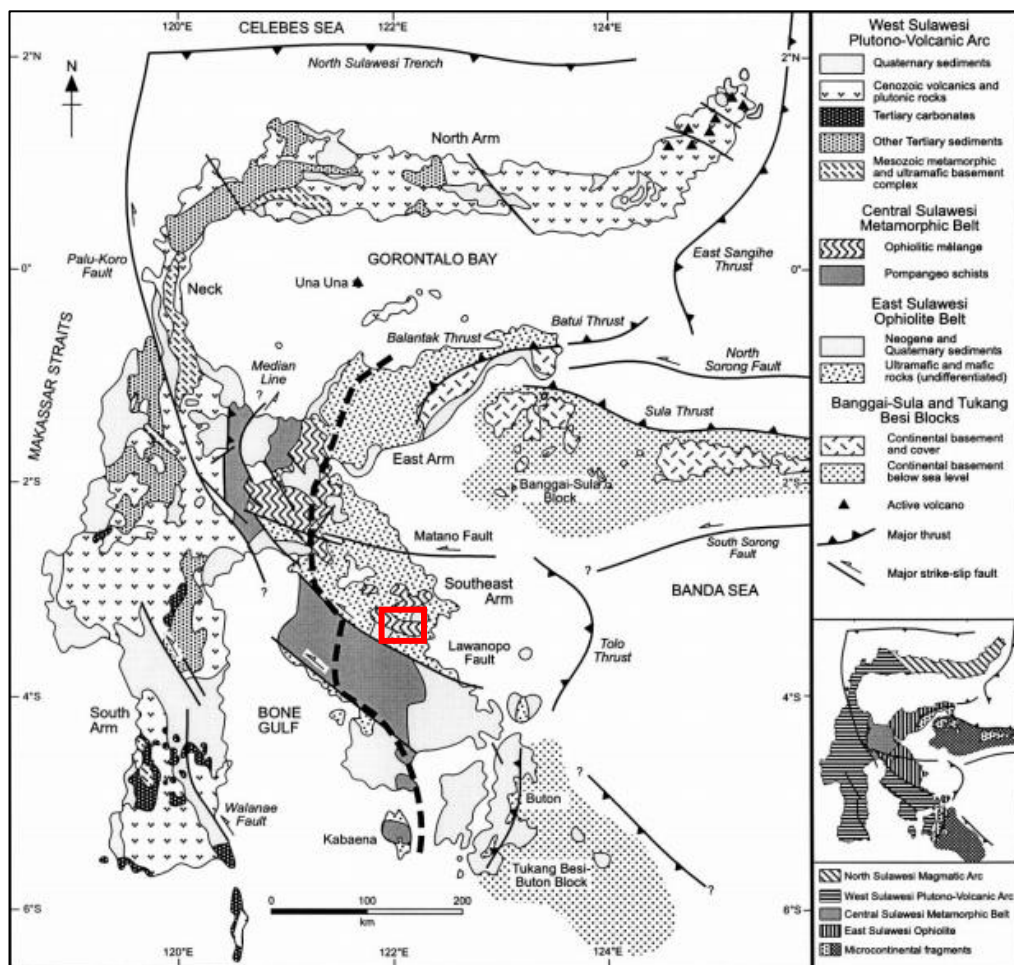


Gambar 2. Tatanan tektonik Kepulauan Indonesia (Simandjuntak dan Barber, 1996)

2.3 Geologi Regional

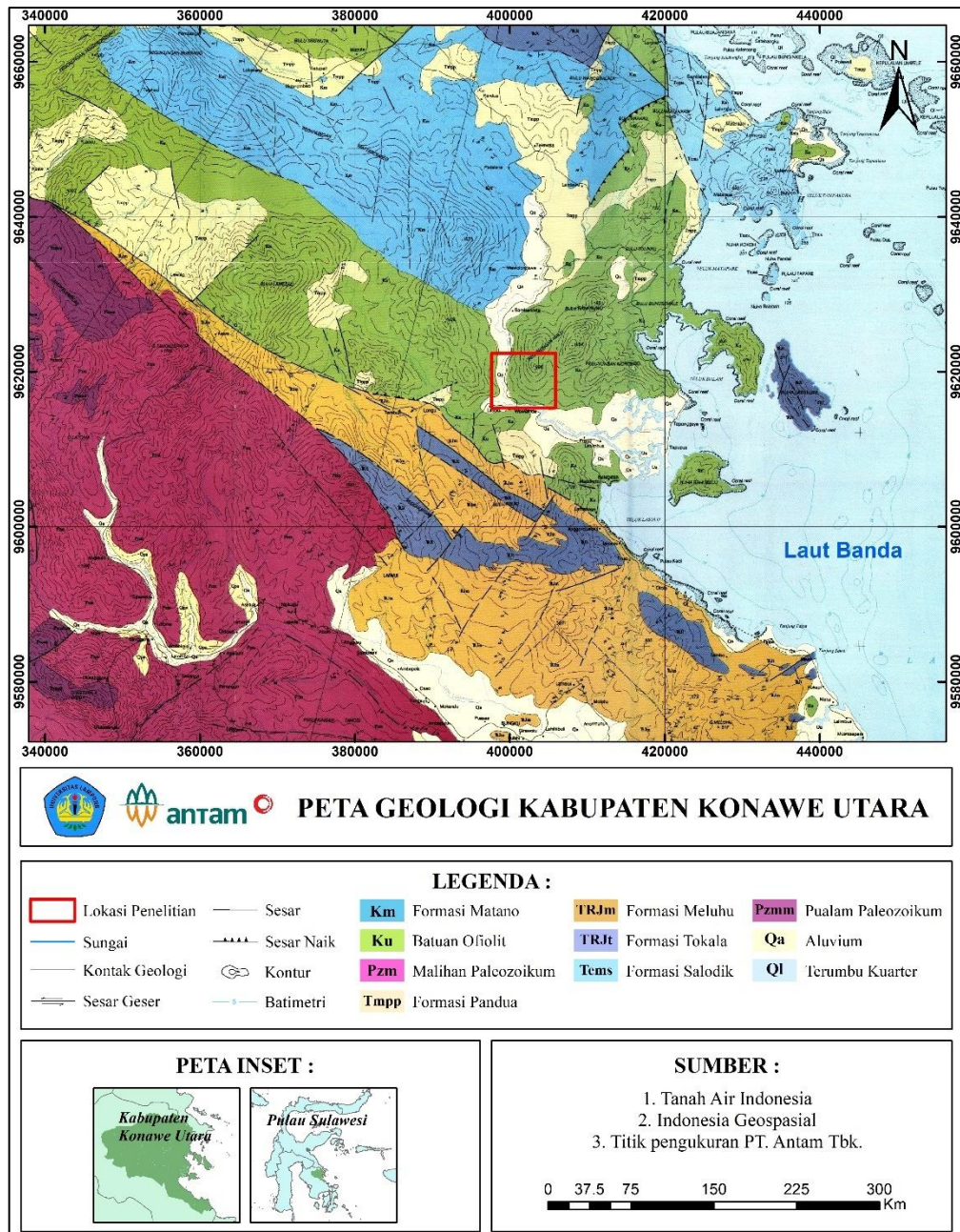
Berdasarkan **Gambar 3**, geologi regional Pulau Sulawesi dan sekitarnya dibagi menjadi beberapa mandala geologi, yaitu busur vulkanik Sulawesi Barat, sabuk metamorf Sulawesi Tengah, sabuk ofiolit Sulawesi Timur, dan kepingan benua

Banggai-Sula dan Tukang Besi-Buton. Mandala geologi Sulawesi Timur ini terdiri dari lengan tenggara Sulawesi, Sulawesi Tengah bagian timur dan lengan timur Sulawesi. Di Sulawesi bagian timur ini, tersebar luas batuan ofiolit (sehingga disebut juga Sabuk ofiolit Sulawesi Timur). Batuan ofiolit ini merupakan batuan yang terdiri atas batuan mafik dan ultramafik yang tertutup oleh sedimen laut dalam. Sabuk ofiolit Sulawesi Timur ini didominasi oleh batuan peridotit yang terdiri atas dunit, harzburgit, lersolit dan piroksenit, serta di beberapa tempat juga ditemukan mikrogabro dan basal (Surono dan Sukarna, 1995). Sabuk ofiolit Sulawesi Timur ini pada awalnya berada di Samudera Pasifik yang bergerak kearah barat dan didorong oleh mikrokontinen Banggai-Sula dan kemudian menumbuk mikrokontinen Sulawesi hingga pada akhirnya muncul hingga ke permukaan pada Kala Miosen (Kadarusman dkk., 2004).



Gambar 3. Ringkasan geologi Pulau Sulawesi (Hall dan Wilson, 2000)

Lokasi penelitian ini berada pada lembar Lasusua-Kendari yang termasuk ke dalam mandala Sulawesi bagian timur yang dikategorikan ke dalam sabuk ofiolit Sulawesi Timur. Berikut di bawah ini pada **Gambar 4** merupakan peta geologi regional Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara yang dimodifikasi dari peta geologi lembar Lasusua-Kendari nomor 2112-2212 oleh Rusmana dkk., 1993.

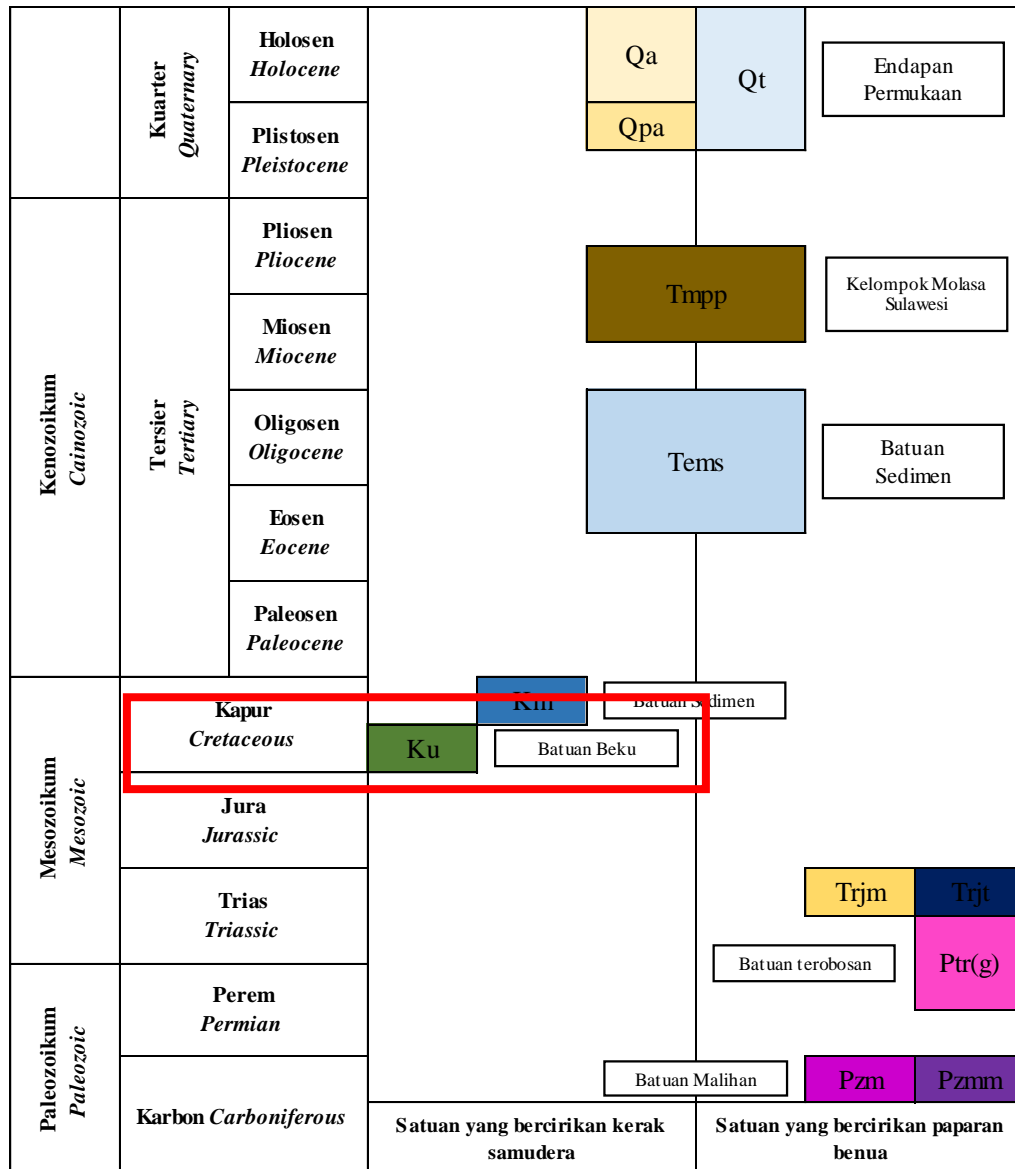


Gambar 4. Peta geologi Kabupaten Konawe Utara (Modifikasi peta geologi lembar Lasusua-Kendari oleh Rusmana dkk., 1993)

2.4 Stratigrafi

Berdasarkan peta geologi pada **Gambar 4** dan satuan stratigrafi daerah penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 5**, Kabupaten Konawe Utara dibagi kedalam beberapa formasi batuan (yang diurutkan dari yang tertua sampai termuda), yaitu sebagai berikut :

1. Pualam Paleozoikum (Pzmm). Diperkirakan berumur Karbon. Terdiri dari batuan pualam dan batugamping yang terdaunkan.
2. Malihan Paleozoikum (Pzm). Diperkirakan berumur Karbon. Terdiri dari batuan sekis, *gneiss*, filit, kuarsit, batu sabak, dan sedikit pualam.
3. Formasi Tokala (TRJt). Diperkirakan berumur Trias, yang terdiri dari batuan kalsilutit, batu gamping, batu pasir, serpih, napal dan batu sabak.
4. Formasi Meluhu (TRJm). Terdiri dari batu pasir, kuarsit, serpih hitam, serpih merah, filit, batu sabak, batu gamping, dan batu lanau. Formasi ini diperkirakan berumur Trias.
5. Batuan Ofiolit (Ku). Diperkirakan berumur Kapur, yang terdiri dari batuan peridotit, harzburgit, dunit, gabro dan sepentinit.
6. Formasi Matano (Km). Diperkirakan berumur Kapur akhir, yang terdiri dari batuan kalsilutit yang bersisipan dengan serpih dan rijang.
7. Formasi Salodik (Tems). Formasi ini diperkirakan berumur Eosen akhir – Miosen awal yang terdiri dari batuan kalsilutit dan batu gamping oolit.
8. Formasi Pandua (Tmpp). Terdiri dari batuan konglomerat, batu pasir, dan batu lempung. Formasi ini diperkirakan berumur Miosen – Pliosen.
9. Terumbu Karang Quarter (Q1). Merupakan endapan permukaan yang terdiri dari batu gamping terumbu dan diperkirakan berumur Plistosen-Holosen.
10. Endapan Aluvium (Qa) Merupakan endapan permukaan yang terdiri dari kerikil, kerakal, pasir dan lempung. Diperkirakan berumur Holosen.



Gambar 5. Satuan stratigrafi daerah penelitian (Rusmana dkk., 1993)

2.5 Penelitian Terdahulu

Fitrianto dkk. pada tahun 2017 melakukan sebuah penelitian dengan menggunakan metode yang sama untuk mengetahui persebaran batuan andesit. Penelitian ini menggunakan data geolistrik resistivitas 2D konfigurasi Schlumberger sebanyak dua lintasan yang kemudian dilakukan pengolahan data 2D dengan menggunakan *software* Res2DInv. Berdasarkan hasil pengolahan data, pada lintasan 1 memiliki rentang resistivitas 32 - 81 Ωm , dimana diinterpretasikan bahwa nilai resistivitas 32 - 47 Ωm merupakan zona tanah penutup dan nilai resistivitas 59 - 81 Ωm merupakan batuan andesit. sedangkan untuk lintasan 2 memiliki rentang resistivitas 10 - 82 Ωm , dimana

diinterpretasikan bahwa nilai resistivitas 10 - 47 Ωm merupakan lapisan tanah penutup dan nilai resistivitas 59 - 82 Ωm merupakan batuan andesit.

Batuan andesit di daerah penelitian merupakan jenis batuan lava andesit. Batuan lava andesit ini dibedakan menjadi dua jenis, yaitu batuan lava andesit lapuk dan batuan lava andesit masif. Selanjutnya, data hasil pemodelan inversi dari *software* Res2DInv dikonversi dan diolah lebih lanjut dengan menggunakan *software* Rockworks untuk mendapatkan citra 3D. *Output* dari pengolahan dengan menggunakan *software* Rockworks ini berupa *solid model* yang menggambarkan sebaran batuan di bawah permukaan bumi. Selain itu, melalui pemodelan 3D dengan menggunakan *software* Rockworks ini juga dapat diketahui estimasi volume dari zona target. Berdasarkan hasil pengolahan 3D, terlihat bahwa zona target yang berupa batuan andesit tersebar merata di wilayah timur yang berada pada kedalaman 10 meter dengan total estimasi volume sebesar 213.500 m³.

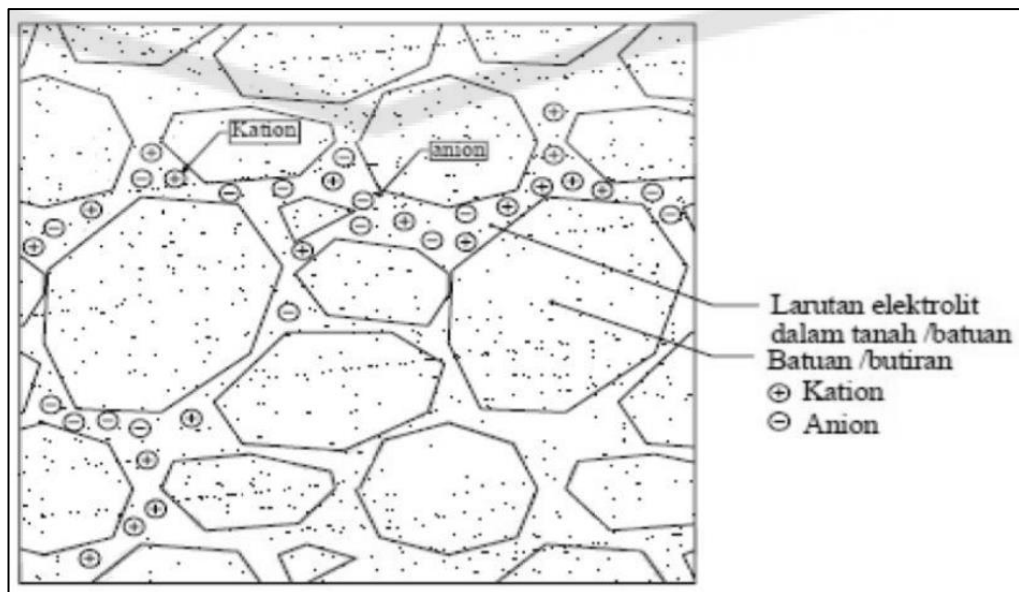
III. TEORI DASAR

3.1 Sifat Kelistrikan Batuan dan Mineral

Batuan adalah bahan yang memiliki jenis daya transmisi listrik dan nilai tahanan jenis tertentu. Resistivitas batuan merupakan kemampuan batuan untuk menghambat aliran listrik. Batuan yang sama tidak selalu memiliki tahanan jenis yang sama. Sebaliknya, harga tahanan jenis yang sama dapat dimiliki oleh batu yang berbeda, ini karena nilai tahanan jenis batuan memiliki berbagai nilai yang saling tumpang tindih satu sama lain (Simanjorang, 2020).

Konduktivitas batuan merupakan suatu karakteristik batuan untuk dapat menghantarkan arus listrik. Aliran arus listrik dalam batuan ini, dapat dibedakan menjadi konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik. Konduksi secara elektronik terjadi saat batuan atau mineral memiliki banyak elektron bebas sehingga elektron-elektron bebas tersebut akan mengalirkan arus listrik di dalam batuan, aliran listrik ini akan dipengaruhi oleh sifat ataupun karakteristik dari batuan. Konduksi secara elektrolitik terjadi karena pada umumnya setiap batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Namun, batuan-batuan tersebut memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, yang biasanya merupakan air. Hal-hal ini dapat menyebabkan batuan menjadi konduktor elektrolitik, dimana arus listrik akan dibawa oleh ion-ion elektrolitik yang terkandung di dalam air. Konduktivitas dielektrik dapat terjadi jika batuan atau mineral mempunyai sifat dielektrik terhadap arus listrik. Hal ini membuat batuan memiliki elektron bebas yang sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali. Elektron ini kemudian akan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh dari medan listrik eksternal dan kemudian terpolarisasi (Lowrie dan Fichtner, 2020).

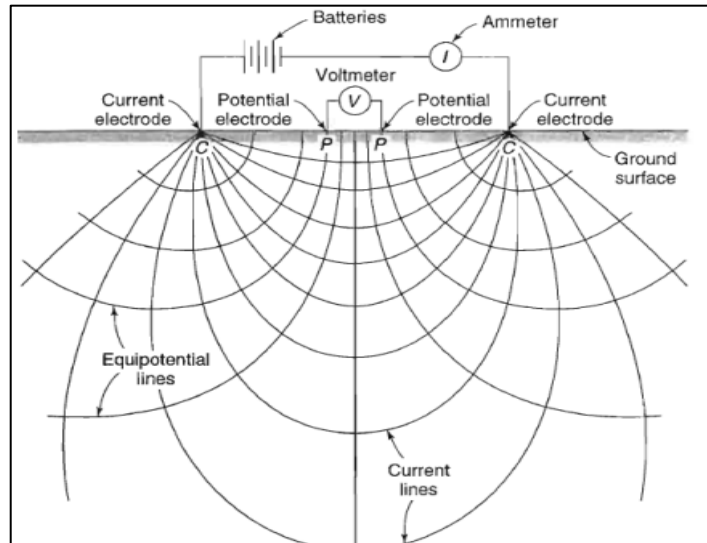
Jumlah air, kadar garam atau salinitas air serta bagaimana distribusi air didalam tanah dan batuan sangat mempengaruhi sifat konduktivitas listriknya. Konduktivitas listrik dari tanah dan batuan yang mengandung air ini sangat ditentukan oleh sifat air itu sendiri, khususnya elektrolit. Larutan garam yang terdapat di dalam air terdiri dari anion dan kation yang dapat dengan bebas bergerak di dalam air. Saat dialiri medan listrik eksternal, kation dalam larutan elektrolit ini akan dipercepat untuk menuju ke kutub negatif, sedangkan untuk anion menuju kutub positif. Batuan atau tanah yang berpori dan juga terisi oleh air ini akan memiliki nilai resistivitas listrik (ρ) yang berkurang seiring dengan bertambahnya kandungannya. Sebaliknya, nilai resistivitas suatu tanah atau batuan akan bertambah semakin berkurangnya kandungan air (Telford dkk., 1990).



Gambar 6. Kandungan garam elektrolit dalam batuan (Telford dkk., 1990)

3.2 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik adalah metode geofisika yang prinsip kerjanya menginjeksikan arus ke dalam bumi melalui dua elektroda arus kemudian melalui dua elektroda potensial, dapat diukur beda potensial yang dimiliki. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial pada jarak tertentu antar elektroda, dapat ditentukan perubahan nilai resistivitas tiap lapisan di bawah titik pengukuran.



Gambar 7. Prinsip kerja metode geolistrik (Todd dan Mays, 2004)

Gambar 7 merupakan prinsip kerja metode geolistrik yang bekerja berdasarkan hukum Ohm, dimana sebuah konduktor antara kedua terminal diperlukan untuk mengeluarkan energi yang tersimpan didalam baterai. Selanjutnya ketika ditambahkan resistor, akan terjadi perubahan potensial pada ujung hambatan tersebut. Sehingga dapat dinyatakan juga bahwa besarnya arus listrik yang mengalir pada sebuah medium akan sebanding dengan besarnya nilai tegangan dan berbanding terbalik dengan nilai resistansi. Dalam hukum Ohm, hubungan antara resistansi, arus dan beda potensial dapat dinyatakan dalam Persamaan (1) berikut :

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Dengan :

I = Arus (Ampere)

V = Beda Potensial (Volt)

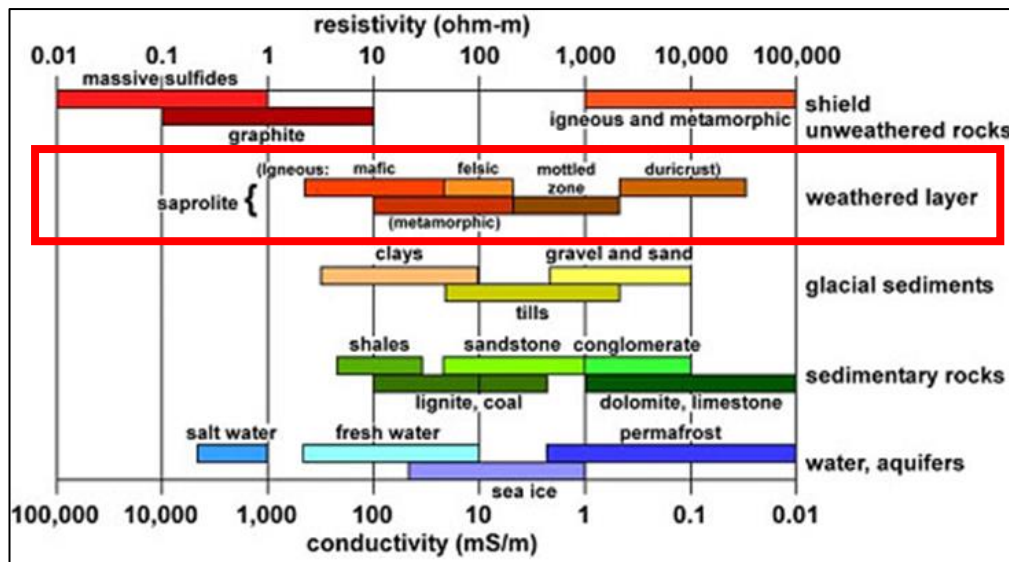
R = Hambatan (Ω)

Pengukuran geolistrik dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik (I) melalui dua elektroda arus yang berbeda muatan, $C1$ dan $C2$, yang kemudian dapat diukur beda potensial (V) melalui dua elektroda potensial, $P1$ dan $P2$. Dari data arus listrik (I) dan nilai beda potensial (V) yang terukur, dapat dihitung nilai resistivitas (ρ_a) melalui Persamaan (2) berikut :

$$\rho a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Dimana K merupakan faktor geometri yang tergantung pada jenis konfigurasi elektroda yang digunakan (Sudiyanto, 2010).

Dalam metode geolistrik, bumi dianggap sebagai suatu medium yang bersifat homogen isotropis, suatu anggapan dimana bumi hanya terdiri dari satu lapisan dengan nilai resistivitas yang sama. Nilai resistivitas yang terukur oleh *resistivitymeter* bukan merupakan nilai resistivitas yang sebenarnya, melainkan hanyalah resistivitas semu (ρa) (Loke, 1999). Menurut Telford dkk., (1990) meskipun nilai resistivitas semu bukan merupakan nilai resistivitas medium yang sebenarnya, nilai resistivitas semu mengandung informasi distribusi nilai resistivitas medium dibawah permukaan bumi, sehingga nilai resistivitas yang sebenarnya (*true resistivity*) dapat ditentukan dengan melakukan pemodelan inversi terhadap nilai resistivitas semu yang terukur (Loke, 1999). Setiap jenis batuan di alam, mempunyai nilai resistivitas yang khas dan berbeda dengan jenis batuan yang lain. Berikut pada **Gambar 8** merupakan nilai resistivitas dari berbagai jenis batuan di alam.



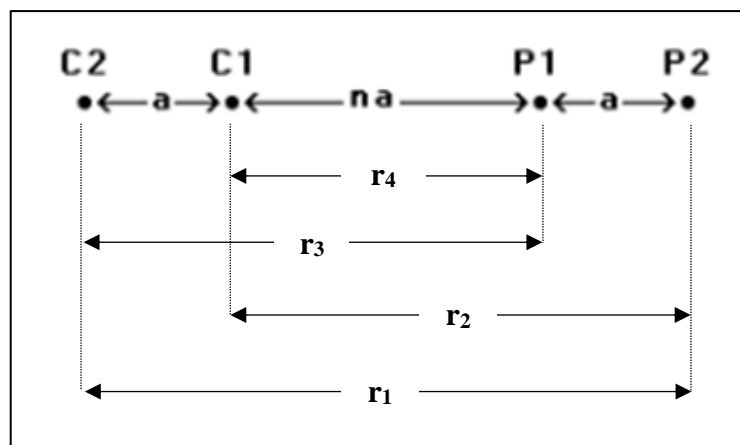
Gambar 8. Nilai resistivitas dan konduktivitas batuan (Palacky, 1988)

Berdasarkan **Gambar 8**, nilai resistivitas dari zona laterit dapat kita lihat pada bagian *weathered layer* (lapisan lapuk). Lapisan saprolit, yang merupakan

lapisan paling konduktif dari lapisan lapuk (*weathered layer*) yang berkembang di antara *water table* dan juga batuan dasar (*fresh rock*), memiliki nilai resistivitas yang berkisar antara 2 – 200 Ωm . Karena rentang resistivitasnya yang cukup besar, nilai konduktivitas lapisan saprolit dapat mendekati nilai konduktivitas *massive sulfides*. Komponen lain dari lapisan lapuk (semakin ke atas) adalah *mottled zone* yang kurang konduktif dengan nilai resistivitas antara 200 - 2.000 Ωm , dan *duricrust* yang resistif dengan nilai resistivitas antara 2.000 - 30.000 Ωm . Semua nilai yang ada pada gambar bukanlah nilai yang mutlak dan nilai resistivitas di luar rentang ini dapat ditemukan di banyak lokasi (Palacky, 1988).

3.3 Konfigurasi Elektroda *Dipole-Dipole*

Dalam pengukuran metode geolistrik, terdapat beberapa jenis konfigurasi elektroda yang dapat digunakan. Salah satunya adalah konfigurasi elektroda *Dipole-Dipole*. Konfigurasi elektroda *Dipole-Dipole* telah banyak digunakan untuk survei Induksi Polarisasi (IP) dalam eksplorasi mineral di Rusia, dan juga digunakan untuk survei air tanah di Amerika Serikat (Zohdy, 1974). Konfigurasi ini digunakan secara luas dalam survei geolistrik resistivitas ataupun Induksi Polarisasi (IP). Susunan elektroda konfigurasi ini dapat dilihat pada **Gambar 9** dimana jarak antara elektroda arus (C2-C1) dituliskan sebagai "a" yang sama dengan jarak antara elektroda potensial (P1-P2). Konfigurasi ini memiliki faktor lain yang ditulis sebagai "n". Ini adalah rasio jarak antara elektroda C1 dan P1 dengan pemisahan *dipole* C2-C1 (atau P1-P2) "a".

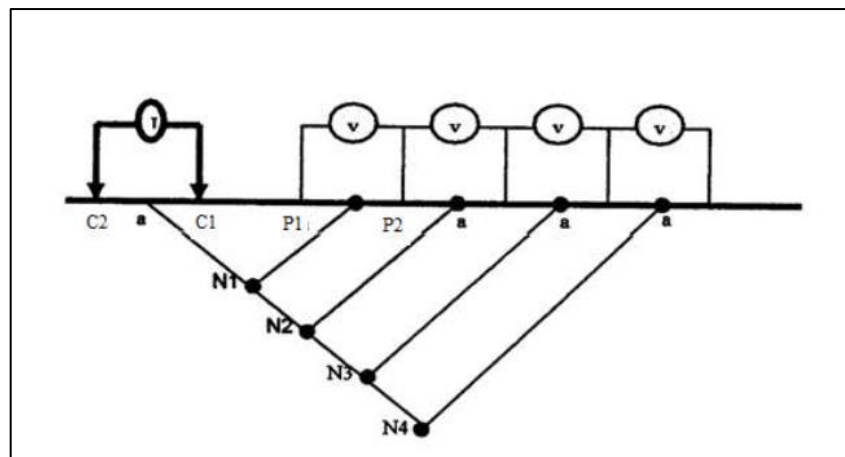


Gambar 9. Konfigurasi elektroda *Dipole-Dipole* (modifikasi dari Loke, 1999)

Sehingga, berdasarkan **Gambar 9** dapat diketahui nilai r_1 , r_2 , r_3 , dan r_4 sebagai berikut :

- $r_1 = na + 2a = a(n + 2)$
- $r_2 = na + a = a(n + 1)$
- $r_3 = na + a = a(n + 1)$
- $r_4 = na$

Untuk survei dengan konfigurasi *Dipole-Dipole* ini, spasi “a” pada awalnya tetap dan faktor “n” dinaikkan dari 1, 2, 3 hingga sekitar 6 dengan memindahkan lokasi elektroda potensial (P1 dan P2) untuk meningkatkan kedalaman. Elektroda potensial ini dipindahkan secara bertahap. Kemudian, elektroda arus dipindahkan setelah diperoleh kedalaman yang diinginkan.



Gambar 10. Penambahan faktor “n” pada survei dengan konfigurasi *Dipole-Dipole* (Winarti dan Ansori 2009)

Menurut Vebrianto (2016), setiap konfigurasi elektroda dalam survei geolistrik memenuhi persamaan faktor koreksi geometri yang sama. Nilai dari faktor koreksi geometri ini akan mengikuti pola persebaran dari elektroda. Berdasarkan cara pengambilan data dan penataan elektroda serta hubungannya dengan kondisi bawah permukaan bumi, besarnya faktor koreksi geometri dapat dilihat pada Persamaan (3) berikut.

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

Dengan :

K = Faktor geometri

2π = Konstanta

r_1 = Jarak elektroda arus C2 dengan elektroda potensial P2

r_2 = Jarak elektroda arus C1 dengan elektroda potensial P2

r_3 = Jarak elektroda arus C2 dengan elektroda potensial P1

r_4 = Jarak elektroda arus C1 dengan elektroda potensial P2

Sehingga dapat diketahui penurunan rumus faktor geometri konfigurasi elektroda *Dipole-Dipole* pada Persamaan (4) berikut :

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

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \quad (4)$$

Lalu substitusikan nilai r_1 , r_2 , r_3 dan r_4 dari **Gambar 9** ke Persamaan (4).

Sehingga diperoleh persamaan faktor geometri pada Persamaan (5).

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a(n+2)} - \frac{1}{a(n+1)} - \frac{1}{a(n+1)} - \frac{1}{na} \right)}$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{na} + \frac{1}{a(n+2)} - \frac{2}{a(n+1)} \right)}$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{(n+2)} - \frac{2}{(n+1)} \right) \left(\frac{1}{a} \right)}$$

$$K = \frac{2\pi a}{\left(\frac{1(n)(n+1) - 2(n)(n+2) + (n+1)(n+2)}{(n)(n+1)(n+2)} \right)}$$

$$K = \frac{2\pi a}{\left(\frac{n^2 + n - 2n^2 - 4n + n^2 + 2n + n + 2}{(n)(n+1)(n+2)} \right)}$$

$$K = \frac{2\pi a}{\left(\frac{2}{(n)(n+1)(n+2)}\right)}$$

$$K = \frac{2\pi a(n)(n+1)(n+2)}{2}$$

$$K = \pi n(n+1)(n+2)a \quad (5)$$

Sehingga, dengan mensubstitusikan Persamaan (5) ke dalam Persamaan (2), nilai resistivitas semu konfigurasi *Dipole-Dipole* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (6) berikut :

$$\rho a = \pi n(n+1)(n+2)a \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

Dengan :

K = Faktor geometri (m)

ρa = Resistivitas semu (Ωm)

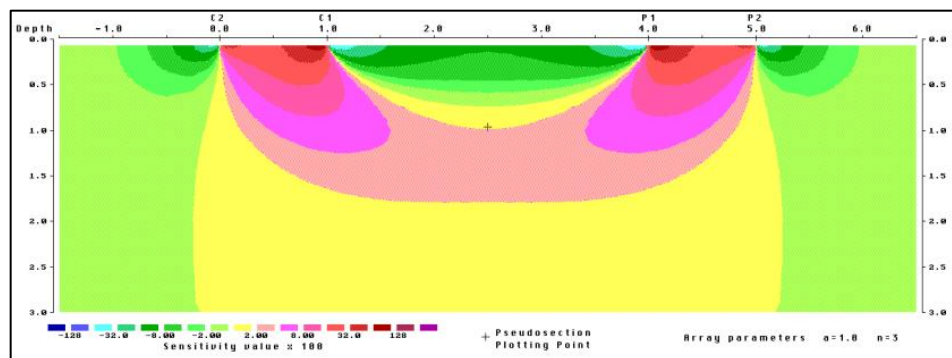
ΔV = Beda potensial (V)

I = Kuat arus (I)

n = Jarak elektoda arus C1 dan elektroda potensial P1

a = Pemisah *Dipole* antara elektroda arus atau elektroda potensial

Berdasarkan **Gambar 11**, nilai sensitivitas terbesar dalam konfigurasi *Dipole-Dipole* terletak diantara pasangan *dipole* C2-C1 dan P2-P1. Ini berarti bahwa konfigurasi ini paling sensitif terhadap perubahan resistivitas antara elektroda di setiap pasangan *dipole*. Dapat diamati bahwa pola kontur sensitivitas hampir vertikal. Dengan demikian konfigurasi elektroda *Dipole-Dipole* sangat sensitif terhadap perubahan resistivitas horizontal, tetapi kurang sensitif terhadap perubahan resistivitas vertikal. Kedalaman pengukuran rata-rata dari konfigurasi ini bergantung pada faktor "n", serta faktor "a". Dimana semakin besar "n" maka semakin dalam pula data pengukuran yang didapatkan. Secara umum, konfigurasi ini memiliki kedalaman yang lebih dangkal dibandingkan dengan konfigurasi Wenner. Namun, untuk survei 2-D, konfigurasi ini memiliki cakupan data horizontal yang lebih baik daripada Wenner (Loke, 1999).



Gambar 11. Sensitivitas konfigurasi elektroda *Dipole-Dipole* (Loke, 1999)

3.4 Pemboran (*Drilling*)

Menurut Ariadi (2017), pemboran (*drilling*) merupakan proses yang dilakukan dengan tujuan untuk mencari data *subsurface* dan kemudian mengetahui model penyebaran endapan nikel laterit di bawah permukaan bumi. Pemboran dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pemboran eksplorasi (*exploration drilling*) dan Pemboran Development (*development drilling*).

1. Pemboran Eksplorasi (*exploration drilling*)

Proses pemboran awal dengan jarak 400m x 400m, 200m x 200m dan 100m x 100m pada titik bor yang telah direncanakan oleh tim survei. Tim survei ini memberikan informasi berupa koordinat *Eastthing*, *Northing* dan Elevasi dari titik bor.

2. Pemboran Development (*development drilling*)

Proses pengeboran detail yang dilakukan pada area tambang dengan jarak 50m x 50m dan 25m x 25m.

3.5 Batuan Ultrabasa

Menurut Waheed (2002), batuan ultrabasa dibedakan menjadi:

1. Dunit

Batuan Dunit merupakan jenis batuan ultrabasa dengan komposisi hampir monomineralik olivin (yang umumnya megnesia olivin). Dunit memiliki kandungan olivin hingga lebih dari 90% dan mineral penyerta seperti kromit, magnetit, ilmenit dan spinel.

2. Peridotit

Batuan peridotit merupakan jenis batuan ultrabasa dengan kandungan mineral utama olivin. Selain olivin, batuan peridotit juga

mengandung mineral-mineral mafik lainnya dalam jumlah yang cukup signifikan. Berdasarkan hal inilah, batuan peridotit diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu piroksen peridotit, hornblend peridotit, dan mika peridotit. Untuk jenis batuan piroksen peridotit, kembali diklasifikasikan menjadi harzburgit yang tersusun oleh olivin dan orthopiroksen, wherlit yang tersusun oleh piroksen dan klinopiroksen, dan Lherzolit yang tersusun oleh olivin, orthopiroksen dan klinopiroksen.

3. Piroksenit

Batuan piroksenit merupakan jenis batuan ultrabasa dengan komposisi yang monomineralik piroksen. Batuan piroksenit dibedakan menjadi orthopiroksenit (orthorombik) dengan kandungan bronzitit, dan klinopiroksenit (monoklin) dengan kandungan diopsidit, dan diallagit.

4. Hornblendit

Batuan hornblendit merupakan jenis batuan ultrabasa dengan kandungan mineral monomineralik hornblend.

5. Serpentinit

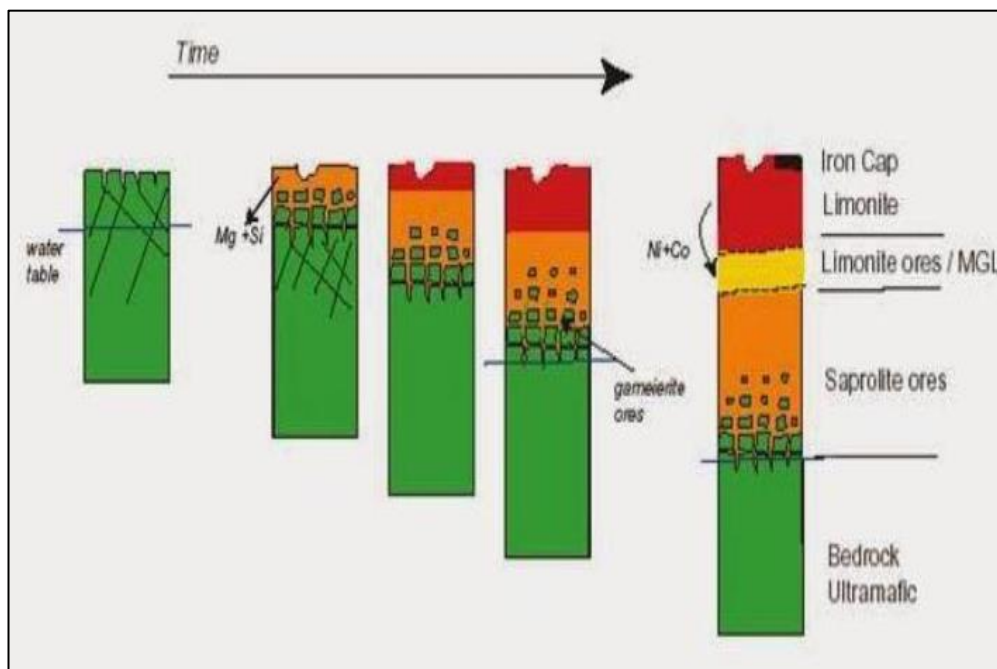
Batuan serpentinit merupakan jenis batuan ultrabasa monomineralik yang seluruhnya mengandung mineral serpentin yang kaya akan mineral mafik. Batuan serpentinit merupakan batuan yang terbentuk dari hasil alterasi hidrothermal dari batuan ultramafik. Proses alterasi hidrothermal ini mengubah mineral mineral olivin dan piroksen menjadi mineral serpentin. Batuan serpentinit dapat terbentuk dari batuan dunit yang terserpentinisasi dari batuan hornblendit ataupun peridotit.

3.6 Nikel Laterit

Nikel (Ni) merupakan mineral logam yang keras dan tahan korosi. Secara kenampakan, nikel memiliki warna putih keperakan. Nikel merupakan jenis logam yang cukup reaktif terhadap asam namun tidak terhadap udara di suhu dan tekanan normal. Saat ini nikel banyak digunakan sebagai koin dan juga bahan paduan karena sifatnya yang cukup stabil dan tidak bereaksi terhadap oksida. Nikel juga merupakan jenis mineral yang sangat penting dalam dunia industri karena dapat diaplikasikan dalam banyak hal. Total 62% dari logam nikel dimanfaatkan untuk pembuatan *stainless steel* (Astuti dkk., 2012).

Di alam, deposit nikel dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (Oksida dan Silikat). Sebanyak 72% dari keseluruhan cadangan nikel dunia adalah nikel laterit, dan baru 42% dari cadangan tersebut yang telah diproduksi (Dalvi dkk., 2004). Meski demikian, bijih sulfida masih mendominasi produksi nikel dunia dengan persentase 60%. Umumnya, nikel laterit ditemukan di daerah beriklim tropis ataupun subtropis yang tersusun dari pelapukan batuan ultramafik dengan kandungan zat besi dan magnesium yang tinggi. Deposit bijih sulfida biasanya lebih kecil dari bijih laterit. Deposit laterit memiliki kadar Ni antara 1,0 – 1,5% dengan rata-rata kadar nikel 0,6 – 1,5% dengan tonase yang jauh lebih besar (Yildirim dkk., 2012).

Nikel laterit adalah jenis mineral logam yang terbentuk dari pelapukan kimia batuan ultramafik yang kemudian mengakibatkan terjadinya pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara primer dan sekunder. Nikel laterit dicirikan dengan adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan yang mengandung Ni dan Fe (Cahit dkk., 2017). Salah satu faktor yang menyebabkan pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal, dan pelapukan (Kurniadi dkk., 2018). Pembentukan nikel laterit diawali dengan proses yang disebut sebagai “lateritisasi”, proses ini pada dasarnya adalah pelapukan kimiawi yang terjadi di iklim lembab musiman dalam jangka waktu yang lama dan dalam kondisi tektonik yang relatif stabil, sehingga memungkinkan pembentukan regolit tebal dengan karakteristik yang khas (Butt dan Zeegers, 2015). Proses lateritisasi melibatkan penguraian mineral primer dan pelepasan beberapa komponen kimianya ke dalam air tanah, pencucian komponen bergerak, konsentrasi residu komponen tidak bergerak, dan pembentukan mineral baru yang stabil di lingkungan pelapukan. Efek dari transformasi mineral dan mobilitas diferensial elemen yang terlibat menghasilkan lapisan mineral lapuk yang menutupi batuan asalnya, yang disebut sebagai "profil laterit". Proses pembentukan endapan nikel laterit ditunjukkan pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Pembentukan endapan nikel laterit (Waheed, 2002)

Pembentukan endapan nikel laterit dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu :

1. Batuan asal

Komposisi dan struktur batuan asal akan mempengaruhi kandungan yang akan terendapkan serta tingkat pelapukan yang terjadi pada batuan. Batuan ultramafik merupakan batuan asal dari endapan laterit memiliki kadar Ni cukup banyak, mineralnya mudah lapuk, dan komponen yang mudah larut

2. Iklim dan curah hujan

Iklim yang baik untuk pengendapan laterit adalah iklim tropis dan subtropis. Sementara curah hujan akan mempengaruhi intensitas pelarutan dan mobilisasi komponen yang dapat dilarutkan.

3. Reagen-reagen kimia dan vegetasi

Unsur-unsur dan senyawa-senyawa memegang peran penting dalam proses pelapukan kimia. Hal ini dapat mempercepat proses pelapukan CO_2 yang terlarut bersama dengan air. Asam-asam humus yang erat kaitannya dengan vegetasi dapat menyebabkan dekomposisi batuan dan merubah pH larutan. Vegetasi akan mempermudah penetrasi air kedalam tanah dengan mengikuti akar-akar pepohonan. Hal ini mengakibatkan akumulasi air hujan menjadi lebih banyak dan humus juga semakin tebal. Keadaan ini dapat dijadikan

sebagai petunjuk keterdapatannya endapan bijih nikel laterit yang lebih tebal dan berkadar lebih tinggi di hutan yang lebat.

4. Struktur geologi

Struktur geologi berupa rekahan akan mempermudah penetrasi air pada batuan ultramafik yang memiliki permeabilitas dan porositas yang kecil.

5. Topografi

Akumulasi endapan laterit umumnya terdapat pada daerah landai sampai kemiringan sedang. Hal ini terjadi karena pada daerah landai, air akan bergerak perlahan dan mengakibatkan penetrasi yang lebih dalam melalui rekahan atau pori batuan. Hal ini menyebabkan ketebalan pelapukan akan mengikuti bentuk topografi.

6. Waktu

Proses pelapukan yang berlangsung dalam waktu yang lama umumnya akan menghasilkan endapan yang relatif tebal.

Menurut Sianturi (2008), secara umum profil endapan laterit dari atas ke bawah adalah sebagai berikut :

1. Zona tanah penutup (*top soil*)

Zona ini berukuran pasir-lempung dan memiliki warna merah kecoklatan sebagai akibat kandungan Fe yang sangat tinggi. Pada zona ini sering ditemukan konkresi besi dan lempung oksida. Umumnya didominasi oleh humus yang bersifat gembur serta kadang-kadang ditemukan adanya lempeng silika. Kadar nikel di zona ini relatif rendah.

2. Zona limonit

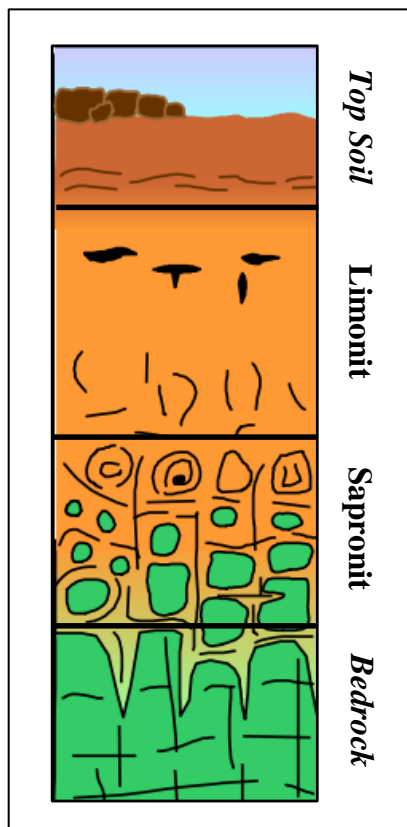
Pada zona limonit, sebagian besar unsur yang tidak mudah larut akan hilang terlindi. Kadar Fe_2O_3 dan Al_2O_3 akan naik, sedangkan SiO_2 dan MgO akan turun. Zona ini memiliki ukuran lempung dan didominasi oleh mineral geotit, hematit, magnetit dan kuarsa sekunder.

3. Zona saprolit

Pada zona ini, batuan ultramafik akan berubah menjadi saprolit akibat pengaruh air tanah. Mineral utama penyusunnya terdiri dari serpentin, kuarsa sekunder, dan garnierit. Pada zona ini, penggantian magnesium oleh nikel mengakibatkan kadar nikel dalam serpentin akan bertambah.

4. Batuan dasar (*bedrock*)

Batuan dasar ini umumnya terdiri dari batuan ultramafik seperti peridotit, piroksenit, dan serpentinit yang masih segar dan belum mengalami pelapukan.



Gambar 13. Skema profil laterit yang berkembang pada batuan ultramafik di daerah beriklim tropis (Elias, 2002)

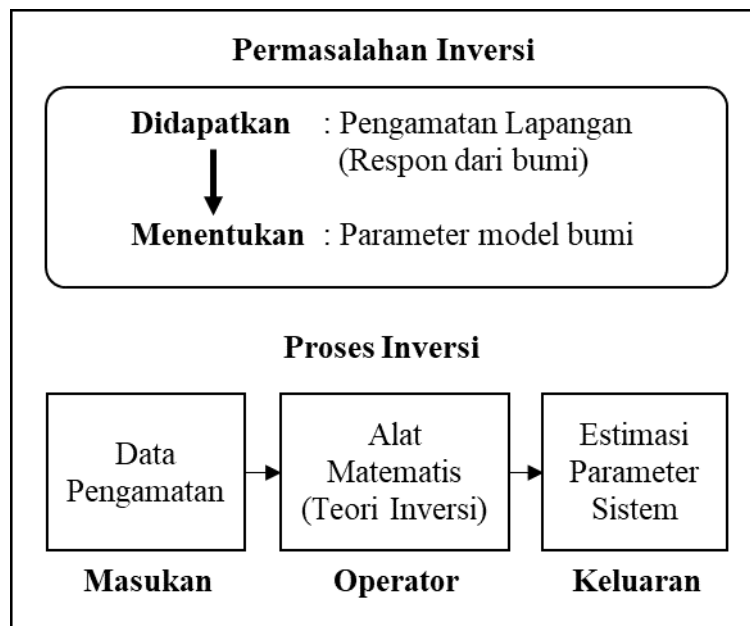
3.7 Pemodelan Inversi (*Inverse Modelling*)

Inversi adalah unit teknik atau metode matematika atau statistik untuk memperoleh informasi yang berguna tentang sistem fisik berdasarkan pengamatan terhadap sistem. Sistem yang dimaksud disini adalah sistem yang diperiksa, hasil dari pengamatan terhadap sistem adalah data, sedangkan informasi yang akan diperoleh dari data adalah model atau parameter model. Persoalan geofisika pada dasarnya adalah persoalan inversi karena kita diperlukan untuk dapat memperkirakan model atau parameter model berdasarkan data observasi. Inversi adalah fokus dari hampir semua bidang geofisika. Meskipun pemodelan inversi adalah umum, masalah yang dapat

diselesaikan menggunakan metode pemodelan inversi adalah masalah yang bisa disajikan secara kuantitatif dengan pendekatan fisik atau matematika (Grandis, 2006).

Pemodelan inversi (*inverse modelling*) merupakan kebalikan dari pemodelan kedepan (*forward modelling*). Hal ini dikarenakan dalam pemodelan inversi, parameter modelnya diperoleh langsung dari data observasi. Pemodelan inversi adalah proses pengolahan data hasil observasi di lapangan, yang dalam prosesnya dilakukan teknik penyelesaian matematika dan statistik yang berguna untuk mengetahui distribusi suatu sifat fisis dibawah permukaan. Proses pemodelan inversi dilakukan dengan pencocokan kurva (*curve fitting*) antara model matematika dengan data hasil observasi. Tujuan dari proses pemodelan inversi ini adalah agar dapat mengetahui perkiraan parameter fisis batuan di bawah permukaan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*). Beberapa contoh dari proses inversi diantaranya adalah *fitting* garis untuk data seismik refraksi dan tomografi akustik dan *matching* kurva resistivitas yang multidimensi (Supriyanto, 2007).

Data lapangan atau data pengamatan diharapkan dapat menghasilkan informasi yang baik, tidak hanya tentang sifat fisik batuan, tetapi juga tentang kondisi geometri batuan di bawah permukaan ataupun posisi kedalamannya. Informasi dapat diperoleh dengan mengetahui hubungan antara sifat fisik batuan dan data pengamatan. Hubungan antara kedua aspek ini hampir selalu adalah persamaan matematika atau model matematika. Oleh karena itu, kita dapat mengekstrak parameter fisis batuan dari data pengamatan. Proses ini disebut pemodelan inversi atau *inverse modelling*. Alur pemodelan inversi ditunjukkan pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Alur pemodelan inversi (Supriyanto, 2007)

3.8 Aplikasi Metode Geolistrik Dalam Eksplorasi Nikel Laterit

Metode geolistrik sering digunakan dan telah terbukti efektif digunakan untuk kegiatan eksplorasi dangkal seperti kegiatan survei air tanah dan juga eksplorasi mineral logam. Metode geolistrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geolistrik resistivitas, untuk kemudian diperoleh pola perlapisan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas yang dimiliki. Lapisan laterit mempunyai kontras resistivitas dengan *bedrock*, sehingga dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas, ketebalan lapisan laterit dan *bedrock* dapat diketahui dengan baik (Reynolds, 2011).

Dalam kegiatan eksplorasi nikel laterit, nilai resistivitas profil laterit di suatu area memiliki perbedaan dengan area yang lain. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk dapat mengetahui rentang nilai resistivitas batuan yang dimiliki. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan korelasi antara data resistivitas dan data lubang bor, hingga diperoleh skala resistivitas batuan di area penelitian. Skala resistivitas ini nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk proses interpretasi. Proses analisis dan interpretasi data dilakukan dengan mencocokkan harga resistivitas sebenarnya yang diperoleh dari hasil pemodelan inversi dengan tabel variasi resistivitas material di bumi yang ada dalam referensi (Sudiar dan Akman, 2013).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun kegiatan penelitian ini dilakukan di :

Tempat : PT. Antam Tbk. dan Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika (PPDG), Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Tanggal : September 2023 – Desember 2023

Adapun jadwal pelaksanaan dari penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rencana jadwal penelitian

Kegiatan	Waktu (Minggu ke-)													
	September				Oktober				November				Desember	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan Penelitian	■													
Penyusunan Proposal Penelitian	■													
Seminar Usul		■												
Pengolahan Data	■	■												
Analisis dan Interpretasi Data		■	■											
Penyusunan Laporan		■	■											
Seminar Hasil				■										
Revisi dan Persiapan Sidang Skripsi					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sidang Skripsi														■

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Alat dan bahan serta kegunaannya

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
1	Satu set <i>Resistivitymeter</i> IRIS Syscal Jr.	<i>Main unit</i> atau alat pengukur resistivitas batuan
2	<i>Accu</i> Eksternal	Sumber daya cadangan
3	<i>Handy Talky</i>	Alat komunikasi selama kegiatan akuisisi
4	GPS	Untuk mencatat koordinat dan elevasi
5	Palu	Untuk membantu pemasangan elektroda
6	Air Garam	Untuk menurunkan kontak resistansi
7	Tabel Data	Untuk mencatat data hasil akuisisi
8	Laptop	Perangkat keras untuk mengolah data
9	<i>Software</i> ArcGis v10.8	Untuk membuat peta yang diperlukan
10	<i>Software</i> Prosys II	Untuk menampilkan dan mengubah format data
11	<i>Software</i> Notepad v.11.2302.26.0	Untuk mengedit format data
12	<i>Software</i> Microsoft Excel 2019	Untuk mengedit format data
13	<i>Software</i> Res2DInv v4.8.10	Untuk melakukan pemodelan inversi 2D
14	<i>Software</i> Surfer v.18.1.186	Untuk melakukan <i>layouting</i> data hasil pemodelan inversi
15	<i>Software</i> Geosoft Oasis Montaj v8.3.3	Untuk menampilkan data lubang bor pada penampang resistivitas
16	<i>Software</i> Rockworks v21.12.15	Untuk melakukan pemodelan inversi 3D
17	Data Geolistrik Resistivitas	Data hasil akuisisi yang akan diolah
18	Data Lubang Bor	Data litologi berdasarkan analisis bor
19	Peta Geologi Lembar Lasusua Kendari	Untuk mendapatkan informasi geologi daerah penelitian
20	Data SHP daerah penelitian	Untuk membuat peta yang diperlukan

4.3 Prosedur Penelitian

Pelaksanaan kegiatan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu sebagai berikut :

4.3.1 Akuisisi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer hasil akuisisi yang dilakukan bersama unit Geomin PT. Antam Tbk pada bulan Maret – April 2023 di Area Lalindu, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi akuisisi ini merupakan salah satu lapangan tambang milik PT. Antam Tbk. Akuisisi data dilakukan pada tujuh lintasan pengukuran dengan menggunakan konfigurasi elektroda *Dipole-Dipole*. Selain itu, kegiatan akuisisi data geolistrik juga dilakukan pada lintasan kalibrasi. Pada lintasan kalibrasi ini telah terdapat lima titik lubang bor yang akan dikorelasikan dengan data geolistrik resistivitas untuk mendapatkan skala resistivitas yang akurat. *Main unit* yang digunakan dalam akuisisi ini adalah *Resistivitymeter IRIS Syscal Jr*. Melalui *main unit* inilah akan dialirkan arus listrik sehingga dapat direkam variasi beda potensialnya. Dari data arus dan beda potensial ini dapat dihitung nilai resistivitas batuan dibawah permukaan. Sebelum dilakukan kegiatan akuisisi data, diperlukan desain survei akuisisi yang digunakan sebagai pedoman dalam proses akuisisi data. Desain survei akuisisi penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 15**.

4.3.2 Persiapan Data

Data hasil akuisisi kemudian *download* dari *main unit* sehingga diperoleh data resistivitas mentah dalam format (.bin). Proses *download* data dapat dilakukan dengan menghubungkan *main unit* dan laptop dengan menggunakan kabel konektor. Data ini kemudian dibuka dengan menggunakan *software* Prosys II untuk di cek kembali apabila terdapat duplikasi data. Kemudian, melalui *software* ini juga dilakukan konversi format data menjadi format yang bisa dibaca oleh *software* Res2DInv. Hasil data yang telah dikonversi ini akan memiliki format dalam bentuk (.dat). Setelah itu, pada *file* data resistivitas ditambahkan data koordinat dan

elevasi yang berguna untuk mendapatkan penampang resistivitas 2D yang dilengkapi dengan topografi sesuai dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Banyaknya data elevasi yang *diinput* sesuai dengan jumlah titik *offset* atau jumlah elektroda yang digunakan. Selain itu, agar data topografi yang *diinput* menjadi akurat sesuai dengan lokasi dari elektroda, ditambahkan juga koordinat *easting* dan juga *northing* dari masing-masing elektroda.



Gambar 15. Desain Survei Akuisisi

4.3.3 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

- **Pemodelan Inversi 2D**

Pemodelan inversi 2D dilakukan dengan menggunakan *software* Res2DInv. Data dalam format (.dat) yang diperoleh sebelumnya kemudian diinput kedalam *software* Res2DInv dengan menggunakan menu *file > read data file*. Kemudian kita perlu mengatur ukuran *mesh* pada menu *forward modelling method setting*, dengan memilih *choose 4 nodes* pada bagian *horizontal mesh size* dan *finest mesh* pada bagian *vertical mesh size*. Kemudian karena data yang akan diolah juga dilengkapi data topografi, pada bagian *type of forward modelling method* pilih *finite-element method*. Untuk bagian *automatically adjust grid size* dibiarkan pada pengaturan *disable automatic grid size*. Hal ini perlu dilakukan agar hasil *forward modelling* berupa *calculated apparent resistivity* menjadi lebih akurat.

Perlu dilakukan beberapa pengaturan pada menu *inversion*, yaitu pertama pada bagian *select robust inversion*, pilih *no-use standard data constraint* dan *no-use standard model constraint* untuk meminimalkan perbedaan antara *observed* dan *calculated apparent resistivity*, bagian lainnya dibiarkan pada pengaturan *default*. Kemudian, pada bagian *use extended model*, pilih *no* agar data yang ditampilkan sesuai dengan distribusi titik data pada *pseudosection* dan memiliki bentuk trapesium tanpa adanya ekstrapolasi data. Proses pemodelan inversi bisa dimulai dengan memilih menu *carry out inversion*. Terlebih dahulu kita perlu memilih lokasi *output* dari hasil inversi ke folder yang diinginkan. Selanjutnya, setelah proses inversi selesai dilakukan, akan diperoleh tiga model, yaitu *measured apparent resistivity pseudosection*, *calculated apparent resistivity pseudosection*, dan *inverse model resistivity section*. Selanjutnya, untuk menampilkan *inverse model resistivity section* yang dilengkapi dengan topografi, buka *window display* dan pada menu *display section > model display* pilih *include topography in model display*.

- ***Layouting Penampang Resistivitas 2D***

Pengolahan data selanjutnya dilanjutkan dalam *software* Surfer dengan terlebih dahulu melakukan *export* data ke dalam format xyz. Pengolahan data di Surfer dilakukan untuk mempermudah mengatur skala warna yang ada pada penampang resistivitas, hal ini akan mempermudah proses interpretasi. Surfer juga digunakan untuk membuat *layout* peta penampang resistivitas menjadi lebih informatif. Selanjutnya dilakukan proses *gridding* data. Data yang digunakan adalah titik offset (X), Elevasi (Y) dan data *true resistivity* (Z). Selanjutnya atur spasi X dan Y menjadi 0,5 agar data yang ditampilkan menjadi semakin rapat. Kemudian pada bagian *grid Z limits* sesuai dengan nilai resistivitas minimal dan maksimal pada data.

Hasil *gridding* masih akan menampilkan ekstrapolasi data, sehingga terdapat tampilan data diluar sebaran titik data. Untuk menghilangkan ekstrapolasi ini perlu dilakukan proses *assign no data*. Diatas model resistivitas yang telah di *grid* sebelumnya tampilkan sebaran titik data dengan menggunakan menu *add post data*. Berdasarkan sebaran titik data tersebut, lakukan proses digitasi dengan serapat mungkin agar *output* hasil digitasi menjadi semakin rapih. Hasil proses digitasi ini kemudian disimpan dalam *file* berformat (.bin). Untuk melakukan proses *assign no data*, pilih menu *grid > assign no data* hingga muncul *window assign no data to grid*. Pada bagian *input grid*, pilih *grid* penampang yang akan di *assign no data*, sedangkan untuk bagian *no data polygon boundary* pilih *file* hasil digitasi yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk bagian *layer type*, pilih *contour*, dan kemudian atur lokasi dan nama *file output* dari proses *assign no data*. Hal ini dilakukan hingga diperoleh model resistivitas yang telah dilengkapi dengan topografi.

Setelah berhasil menampilkan model resistivitas dengan topografi, atur *layout* menjadi sedemikian rupa. Selanjutnya, tampilkan skala warna yang mewakili setiap nilai resistivitas pada data. Skala warna yang

digunakan harus sama pada setiap lintasannya, agar mempermudah proses interpretasi. Setelah itu, beri garis tebal pada perkiraan batas antar litologi yang ada pada model resistivitas (dalam hal ini, batas antara lapisan laterit dan *bedrock*). Tambahkan juga beberapa informasi seperti Judul lintasan, arah mata angin, logo instansi, serta informasi dari lintasan pengukuran, seperti nomor lintasan, konfigurasi elektroda, spasi, serta jenis *main unit* yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk memperkaya informasi yang bisa didapatkan pada penampang resistivitas. Kemudian jika dirasa cukup, *export layout* kedalam bentuk gambar.

- **Korelasi Penampang Resistivitas dan Data Lubang Bor**

Dilakukan korelasi antara penampang resistivitas 2D dengan data lubang bor untuk mempertegas hasil interpretasi 2D. Data lubang bor (berupa data *collar* dan juga data *assay*), dimana Data *collar* merupakan data yang berisi informasi lokasi geografis dari lubang bor. Data ini terdiri dari koordinat geografis, elevasi permukaan, kemiringan, azimuth dan lain-lain. Sedangkan data *assay* merupakan data yang berisi hasil analisis laboratorium untuk menentukan kandungan mineral dari sampel batuan yang diambil dari tiap-tiap interval kedalaman lubang bor. Data ini kemudian ditampilkan berdampingan dengan model resistivitas dengan menggunakan *software* Geosoft Oasis Montaj. Untuk menampilkan data lubang bor pada penampang resistivitas lintasan kalibrasi, digunakan menu *drillhole* yang dapat ditampilkan pada menu *GX > load menu*. Kemudian pilih menu *DH Plot > Section* hingga diperoleh penampang resistivitas yang dilengkapi data dari 5 lubang bor.

- **Rekonstruksi 3D**

Proses rekonstruksi 3D dilakukan dengan menggunakan *software* RockWorks v21.12.15. Proses rekonstruksi 3D ini bertujuan untuk mendapatkan rekonstruksi volume zona target berupa zona laterit. Rekonstruksi 3D dilakukan di tiga area (mengikuti sebaran lintasan).

Area satu terdiri dari lintasan 1, lintasan 2, dan lintasan kalibrasi. Area dua terdiri dari lintasan 3 dan lintasan 4, serta area tiga terdiri dari lintasan 5 dan lintasan 6. Untuk area empat tidak dapat dilakukan rekonstruksi 3D dikarenakan hanya terdapat satu lintasan pada area ini, yaitu lintasan 7.

Data yang digunakan dalam rekonstruksi 3D ini terdiri dari sumbu X (lokasi koordinat *Eastthing*), sumbu Y (lokasi koordinat *Norththing*), sumbu Z (berupa kedalaman ataupun elevasi) serta nilai *true resistivity* untuk setiap titik data yang diperoleh dari hasil pemodelan inversi 2D dari *software* Res2DInv. Data-data ini kemudian dikumpulkan kedalam satu *file* Microsoft Excel untuk masing-masing area. Data dalam satu *file* Microsoft Excel ini dibagi lagi menjadi tiga *worksheet*, *worksheet* pertama berisi keseluruhan data dari setiap lintasan, *worksheet* kedua berisi batas atas dari model yang akan dibuat (mengikuti bentuk topografi), dan *worksheet* ketiga berisi batas bawah dari model 3D yang akan dibuat.

Data dalam format Microsoft Excel ini kemudian diimport kedalam *datasheet* yang ada pada *software* Rockworks. Kemudian, dilakukan proses *gridding* pada data batas atas dan juga batas bawah, yang kemudian hasil *gridding* ini digunakan untuk memotong data menjadi sesuai dengan topografi dan sebaran titik data. Selanjutnya, dilakukan pembuatan model 3D dengan menggunakan menu *solid > create > XYZG solid*. Input data X, Y, Z berupa elevasi dan data G yang dalam hal ini adalah data resistivitas. Kemudian pilih algoritma atau metode interpolasi yang akan digunakan.

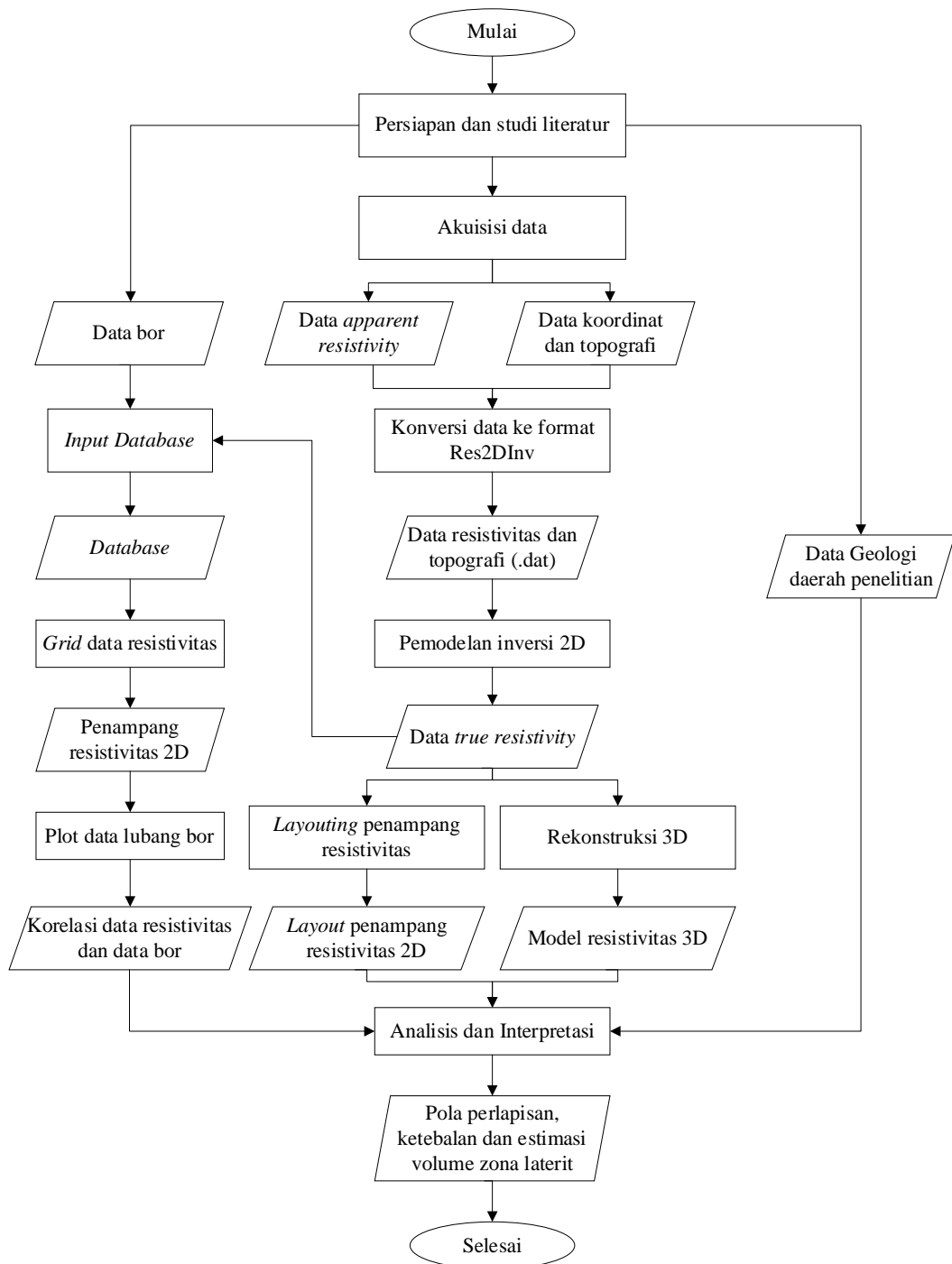
Algoritma atau metode interpolasi yang digunakan dalam pemodelan 3D ini adalah *IDW-Anisotropic (Inverse Distance Anisotropic)*. Metode interpolasi *IDW-Anisotropic* merupakan salah satu jenis dari metode *Inverse Distance Weighting* yang merupakan metode interpolasi yang bekerja dengan mencari nilai rata-rata dari titik data terdekat. Dengan

masing-masing nilai pada titik data tersebut, dibobotkan (*weighting*) berdasarkan kebalikan dari jaraknya terhadap titik yang akan dilakukan proses interpolasi atau dicari besaran nilainya. Pada metode *IDW-Anisotropic*, titik data yang digunakan adalah titik data terdekat pada setiap sektor 90° di sekitar titik yang akan dilakukan proses interpolasi atau dicari besaran nilainya.

Untuk bagian *special options* terdapat beberapa parameter yang akan digunakan, yaitu *decluster* untuk menghilangkan duplikasi data, *polyclip* untuk memotong tampilan data sesuai dengan koordinat di permukaan bumi, *smoothing* untuk memperhalus hasil pemodelan 3D, *superface* untuk memotong data sesuai topografi dan *subface* untuk memotong data sesuai dengan batas bawah dari sebaran titik data. Kemudian, proses rekonstruksi 3D bisa dimulai dengan klik tombol *continue* hingga diperoleh model 3D data geolistrik resistivitas. Model 3D hasil rekonstruksi 3D ini, kemudian diatur warnanya menjadi sesuai dengan skala warna yang digunakan pada penampang resistivitas 2D. Ini dilakukan untuk menyeragamkan tampilan data dan mempermudah proses analisis dan interpretasi data. Setelah itu, dari model 3D ini dapat diketahui sebaran lateral zona target (nikel laterit) serta estimasi volume dari masing-masing area.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini, dapat dilihat pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Area yang prospek untuk diadakan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi nikel laterit merupakan area 2, yang memiliki ketebalan zona saprolit 5 - 15m dan total volume zona saprolit mencapai 172.000 m³.
2. Pola perlapisan nikel laterit di daerah penelitian terdiri dari zona saprolit dengan nilai resistivitas 1 – 50 Ω m dan zona *bedrock* dengan nilai resistivitas 51 - 16.140 Ω m.
3. Zona saprolit pada daerah penelitian terlihat di permukaan dan terdeteksi dibawah *bedrock* yang memiliki ketebalan antara 3 – 15 m. Keterdapatan zona saprolit paling tebal terdapat hingga pada kedalaman 67 m.
4. Total estimasi volume zona saprolit pada daerah penelitian adalah 273.000 m³, dimana volume area 1 sebesar 45.000 m³, volume area 2 sebesar 172.000 m³, dan volume area 3 sebesar 56.000 m³.

B. Saran

Adapun saran dari kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan akuisisi data geolistrik dengan arah lintasan utara-selatan agar dapat diketahui luasan area endapan nikel laterit.
2. Pada area 4, perlu dilakukan akuisisi data geolistrik kembali dengan menambah jumlah lintasan agar dapat dilakukan proses pemodelan 3D.
3. Agar pemodelan 3D menjadi lebih akurat, lintasan geolistrik sebaiknya diperbanyak, minimal 3 lintasan untuk 1 model 3D.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariadi, A. (2017). Studi Perbandingan Data Drilling Hole dengan Aktual Penambangan di Daerah Blok “X” pada Area Konsesi PT. Vale Indonesia Tbk. Provinsi Sulawesi Selatan. *Skripsi*. Universitas Halu Oleo.
- Astuti, W., Zulhan, Z., Shofi, A., Isnugroho, K., Nurjaman, F., dan Prasetyo, E. (2012). Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace. *Prosiding InSINas*, 66-71.
- Bachri, S., dan Baharuddin, B. (2001). *Peta Geologi Lembar Malunda-Majene, Sulawesi, Skala 1:100,000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Butt, C. R., dan Zeegers, H. (Eds.). (2015). *Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains*. Elsevier.
- Cahit, H., Selahattin, K., Necip, G., Tolga, Q., Ibrahim, G., Hasan, S., dan Osman, P. (2017). Mineralogy and Genesis of the Lateritic Regolith Related Ni-Co Deposit of the Çaldağ Area (Manisa, Western Anatolia), Turkey. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 55(3), 252–271
- Coffield, D. Q., Bergman, S. C., Garrard, R. A., Guritno, N., Robinson, N. M., dan Talbot, J. (1993). Tectonic and Stratigraphic Evolution of the Kalosi PSC Area and Associated Development of a Tertiary Petroleum System, South Sulawesi, Indonesia. *Proceedings of the 22nd Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association*, 679-706.

- Dalvi, A. D., Bacon, W. G., dan Osborne, R. C. (2004). The Past and the Future of Nickel Laterites. *PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange Proceedings*, 1-27.
- Elias, M. (2002). Nickel Laterite Deposits-Geological Overview, Resources and Exploitation. Giant Ore deposits: Characteristics, Genesis and Exploration. *CODES Special Publication*, 4, 205-220.
- Fitrianto, T. N., Supriyadi, S., Mukromin, T. M., dan Taufiq, U. A. (2017). Pencitraan 3D Data Geolistrik Resistivitas dengan Rockworks Berdasarkan Hasil Inversi Res2DInv untuk Mengetahui Persebaran Batuan Andesit di Desa Bapangsari Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo. *Jurnal Fisika*, 7(2), 69-73.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Hall, R., dan Wilson, M. E. J. (2000). Neogene Sutures in Eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 781-808.
- Kadarusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C. D., dan Ishikawa, A. (2004). Petrology, Geochemistry and Paleogeographic Reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. *Tectonophysics*, 392(1-4), 55-83.
- Kavalieris, I., Van Leeuwen, T. M., dan Wilson, M. (1992). Geological Setting and Styles of Mineralization, North Arm of Sulawesi, Indonesia. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 7(2-3), 113-129.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration Vol. 4*. John Wiley & Sons.
- Kurniadi, A., Rosana, M. F., dan Yuningsih, E. T. (2018). Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit di Daerah Madang dan Serakaman Tengah. *Geoscience Journal*, 2(3), 221-234.

- Loke, M.H. (1999). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*. Geotomo Software.
- Lowrie, W., dan Fichtner, A. (2020). *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge university press.
- Milsom, J., Thurow, J., dan Roques, D. (2000). Sulawesi Dispersal and the Evolution of the Northern Banda Arc. *Proceedings of the 27th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association*, 495-505.
- Palacky, G. J. (1988). Resistivity characteristics of geologic targets, dalam *Investigations in Geophysics vol. 3: Electromagnetic methods in applied geophysics-theory*. Society of Exploration Geophysicists, 53–129.
- Parkinson, C. D. (1991). The Petrology, Structure and Geologic History of the Metamorphic Rocks of Central Sulawesi, Indonesia. *Tesis*. University of London.
- Pigram, C. J., dan Panggabean, H. (1984). Rifting of the Northern Margin of the Australian Continent and the Origin of Some Microcontinents in Eastern Indonesia. *Tectonophysics*, 107(3-4), 331-353.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons.
- Rusmana, E., Sukido, S., Sukarna, D., Haryono, E., dan Simandjuntak, T.O. (1993). *Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sianturi, K.H. (2008). Deteksi Keberadaan Endapan Nikel Laterit dengan Pemanfaatan Gelombang Radar. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Simandjuntak, T. O. (1986). *Sedimentology and Tectonics of the Collision Complex in the East Arm of Sulawesi Indonesia*. University of London.

- Simandjuntak, T. O., dan Barber, A. J. (1996). Contrasting Tectonic Styles in the Neogene Orogenic Belts of Indonesia. *Geological Society, Special Publications*, 106(1), 185-201.
- Simanjourang, D. L. P. (2020). Korelasi Data Resistivitas dengan Hasil Analisis Unsur Data Bor dalam Estimasi Jumlah Cadangan Nikel Laterit di Pulau Gag. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Sudiar, N.Y., dan Akmam, A. (2013). Pemodelan Inversi Data Geolistrik 1-d Untuk Menentukan Jenis Dan Kedalaman Batuan Dasar. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(1), 6-16.
- Sudiyanto, Y. (2010). Pemodelan 3 Dimensi Endapan Bijih Besi Menggunakan Metoda Resistivity dan Induced Polarization (IP). *Tesis*. Universitas Indonesia.
- Supriyanto, S. (2007). *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Universitas Indonesia.
- Surono, S., dan Sukarna, D. (1995). The Eastern Sulawesi Ophiolite belt, Eastern Indonesia, a Review of its Origin with Special Reference to the Kendari Area. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 5, 8-16.
- Suryawan, E. H. (2019). Penentuan Volume Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Data Geolistrik Sounding Studi Kasus Lapangan “DIB” Blok Selatan Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics 2nd Edition*. Cambridge university press.
- Todd, D. K., dan Mays, L. W. (2004). *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons.
- Vebrianto, S. (2016). *Eksplorasi Metode Geolistrik: Resistivitas, Polarisasi Terinduksi, dan Potensial Diri*. Universitas Brawijaya Press.

- Waheed, A. (2002). *Mine Geology at PT. INCO*. Sorowako : PT. INCO.
- Winarti, D., dan Ansori, C. (2009). Studi Induced Polarization (IP) Untuk Eksplorasi Mineral Mangan Di Daerah Strati, Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Ke-4 RETI*, 181-187.
- Yıldırım, H., Turan, A., dan Yücel, O. (2012). Nickel pig iron (NPI) production from domestic lateritic nickel ores using induction furnace. *International Iron & Steel Symposium*, 337-344.
- Zohdy, A.A.R. (1974). *Use of Dar-Zarrouk Curves in the Interpretation of Vertical Electrical Sounding Data*. United States Geological Survey Bulletin.