

**PEMODELAN 3D DAN ESTIMASI CADANGAN NIKEL LATERIT  
MENGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* (IDW)  
BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK DI BLOK SANGAJI SELATAN,  
DAERAH KOTA MABA, KABUPATEN HALMAHERA TIMUR,  
MALUKU UTARA**

**(SKRIPSI)**

Oleh

**Nicko Ferly Pradana**

**1915051006**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**PEMODELAN 3D DAN ESTIMASI CADANGAN NIKEL LATERIT  
MENGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING*  
(IDW) BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK DI BLOK SANGAJI  
SELATAN, DAERAH KOTA MABA, KABUPATEN HALMAHERA  
TIMUR, MALUKU UTARA**

Oleh

**Nicko Ferly Pradana**

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pemodelan lapisan bawah permukaan nikel laterit berdasarkan data geolistrik resistivitas secara 3D untuk mengestimasi volume, tonase, dan kadar nikel di daerah penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder hasil pengukuran oleh tim eksplorasi Unit Goemin, PT. Antam, Tbk pada tahun 2011 di Blok Sangaji Selatan daerah Kota Maba, kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara. Teknik pengukuran yang dilakukan menggunakan konfigurasi *wenner* VES sebanyak 84 titik *sounding*. Dalam melakukan estimasi cadangan nikel, digunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) dengan menghitung sebuah nilai di setiap lokasi yang tidak diukur, IDW akan menggunakan nilai ukuran yang mengitari lokasi yang akan ditaksir tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa tingkat korelasi dan kemiripan antara titik yang ditaksir dan data penaksir adalah proporsional terhadap jarak. Proses estimasi menggunakan metode IDW diperlukan data azimuth, data koordinat, data litologi, dan data *assay*. Data azimuth dan data koordinat merupakan data sekunder hasil pengukuran di lapangan. Data litologi dan data *assay* dihasilkan dari interpretasi data resistivitas yang telah diinversi dengan mengacu pada referensi penelitian sebelumnya di daerah penelitian. Dari estimasi yang dilakukan dihasilkan bahwa lapisan *limonite* memiliki kadar nikel sebesar 1,094 % dengan volume sebesar 479548 m<sup>3</sup> dan tonase sebesar 767276,8 ton dengan berat bijih nikel 8394,01 ton, sedangkan untuk lapisan *saprolite* memiliki kadar nikel sebesar 2,77 % dengan volume sebesar 685735 m<sup>3</sup> dan tonase sebesar 1028602,5 ton dengan berat bijih sebesar 28564,29 ton. Jika ditotalkan estimasi lapisan *limonite* dan lapisan *saprolite* memiliki total berat bijih 36958,30 ton untuk luas daerah penelitian sebesar 40625 m<sup>2</sup>.

Kata Kunci : Geolistrik, Pemodelan 3D, Nikel Laterit, IDW, Estimasi, Sangaji

**3D MODELING AND ESTIMATION OF LATERITE NICKEL  
RESERVES USING THE INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW)  
METHOD BASED ON GEOELECTRIC DATA IN THE SOUTH SANGAJI  
BLOCK, MABA CITY, EAST HALMAHERA, NORTH MALUKU**

By

**Nicko Ferly Pradana**

**ABSTRACT**

This exploration is about modeling the subsurface nickel laterite layer based on 3D resistivity geoelectric data and estimating volume, tonnage, and nickel content in the study area. This study used secondary data from measurement by the exploration team of the PT. Antam, Tbk. in 2011 in the Southern Sangaji block in the Maba City area, East Halmahera, North Maluku. The measurement technique used is the Wenner VES configuration of 84 sounding points. In estimating nickel reserves, the Inverse Distance Weighting (IDW) method is used by calculation a value at each location that isn't measured, IDW will use the measurement value that surrounds the position to be estimated. This method assumes that correlation level and similarity between the estimated points and the estimator's data is proportional to the distance. To estimate using the IDW method, azimuth data, coordinate data, lithology data, and assay data are required. Azimuth data and coordinate data are secondary data from field measures. Lithology data and assay data are generated from the interpretation of resistivity data that has been reserved by pertaining to former exploration reference in the study area. From the estimation made, it is known that the limonite layer has a nickel content of 1,094% with a volume of 479548 m<sup>3</sup> and a tonnage of 767276,8 tons with a nickel ore weight of 8394.01 tons, while the saprolite layer has a nickel content of 2,77% with a volume of 685735 m<sup>3</sup> and a tonnage of 1028602,5 tons with an ore weight of 28564.29 tons. If it is estimated that the total limonite layer and saprolite layer have a total ore weight of 36958,30 tons for a research area of 40625 m<sup>2</sup>.

Keyword : Geoelectric, 3D Modeling, Nickel Laterite, IDW, Estimation, Sangaji

**PEMODELAN 3D DAN PERHITUNGAN ESTIMASI CADANGAN NIKEL  
LATERIT MENGGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE  
WEIGHTING (IDW)*BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK DI BLOK  
SANGAJI SELATAN, DAERAH KOTA MABA, KABUPATEN  
HALMAHERA TIMUR, MALUKU UTARA**

Oleh

**NICKO FERLY PRADANA**

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**

Judul Skripsi : **PEMODELAN 3D DAN ESTIMASI CADANGAN NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW) BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK DI BLOK SANGAJI SELATAN, DAERAH KOTA MABA, KABUPATEN HALMAHERA TIMUR, MALUKU UTARA**

Nama Mahasiswa : **Nicko Ferly Pradana**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915051006**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

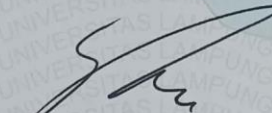
Fakultas : **Teknik**


**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

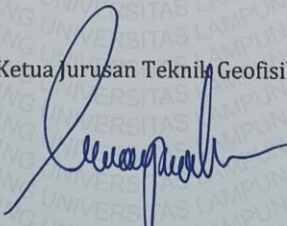
Pembimbing I

Pembimbing II

  
**Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**  
NIP 19730716 200012 1 002

  
**Akroma Hidayatika, S.T., M.Eng.**  
NIP 19900805 201903 2 014

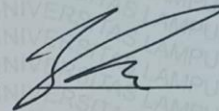
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

  
**Karyanto, S.Si., M.T.**  
NIP 19691230 199802 1 001

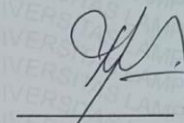
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

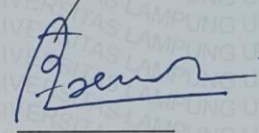
**Ketua : Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**



**Sekretaris : Akroma Hidayatika, S.T., M.Eng.**



**Penguji : Dr. Ir. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }**  
NIP.197509262001121002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Juli 2023**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak ada karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan bahwa skripsi ini disusun oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya siap untuk dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 Juli 2023

Penulis



**Nicko Ferly Pradana**  
NPM. 1915051006

## RIWAYAT HIDUP



Nicko Ferly Pradana adalah nama penulis pada skripsi ini. Penulis lahir di Talang Padang, 27 Mei 2001 yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan diawali dari SDN 2 Tanjung Begelung dan lulus pada tahun 2013 kemudian melanjutkan ke SMPN 2 Sumberejo dan menyelesaikan studi pada tahun 2016 kemudian melanjutkan studi di SMAN 1 Sumberejo sampai tahun 2019, kemudian di tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi Universitas Lampung, tepatnya di Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam menjalani masa studi di perguruan tinggi, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi. Pada tahun 2021, penulis bergabung menjadi anggota bidang kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung. Selain itu penulis juga aktif mengikuti organisasi eksternal kampus, pada tahun 2021-2022, penulis menjadi anggota divisi publikasi dan dokumentasi pada organisasi SEG SC Unila. Pada tahun 2022 penulis menjadi pengurus pada organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik geofisika Bhuwana Universitas Lampung dengan jabatan sebagai Koordinator Komisi Disiplin. Selain itu pada tahun 2022-2023 penulis juga kembali menjadi pengurus pada organisasi SEG SC Unila sebagai anggota divisi Publikasi dan Dokumentasi.

Selama menyandang sebagai mahasiswa, penulis juga sempat menjuarai perlombaan dalam ajang Dies Natalis Institute Teknologi Sumatera sebagai juara



ke-2 pada cabang lomba *Software Competition*, selain itu penulis juga menerima insentif dalam kegiatan PKM skema PKMGT dengan mengambil judul “**Mega Panel Surya**” sebagai **Terobosan Baru Energi Masa Depan Indonesia** pada tahun 2021. Dalam kegiatan akademik, penulis pernah menjadi asisten praktikum Geolistrik tahun akademik 2022/2023 dan mendampingi praktikan dalam kegiatan praktikum lapangan metode geolistrik di lapangan. Selain itu penulis juga menjadi asisten Praktikum Sistem Informasi Geografis (SIG) tahun akademik 2022/2023.

Pada bulan januari-februari tahun 2022 penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kalisari, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus. Pada bulan Juli-Agustus 2022, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Antam, Tbk dengan mengambil tema “Identifikasi Nikel Laterit Menggunakan Metode Geolistrik (Resistivitas) di Blok Sangaji Selatan, Daerah Kota Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara. Pada bulan januari hingga Juni, penulis melaksanakan Tugas Akhir (TA) dengan melanjutkan penelitian dari kerja praktik menggunakan data dari PT Antam Tbk dengan judul Skripsi “**Pemodelan 3D dan Estimasi Cadangan Nikel Laterit menggunakan Metode Inverse Distance Weighting (IDW) berdasarkan Data Geolistrik di Blok Sangaji Selatan, daerah Kota Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara**” dan dinyatakan lulus pada bulan Juli 2023.

## **PERSEMBAHAN**

Dengan penuh rasa syukur, saya persembahkan skripsi ini kepada:

### **ALLAH SWT**

Atas segala Ridho dan kemudahan yang telah diberikan untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.

### **KEDUA ORANG TUA**

**AYAH YUSUF SUHARIADI**

**IBU YUNI HARYANTI**

Berkat doa dan dukungan yang selalu diberikan. Terimakasih untuk semuanya, jerih payah, materi, dan waktu yang telah diberikan kepada saya. Semua tidak akan terbalas, tetapi sampai kapanpun akan selalu saya ingat dan selalu berusaha yang terbaik agar bisa membanggakan kedua orang tua.

### **KEDUA ADIK SAYA**

**Muhamad Ar Rifai**

**Nizam Umair Alfaro**

Terimakasih atas segala dukungan dan semangat yang diberikan.

**KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA ANGKATAN 2019**  
**KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG**

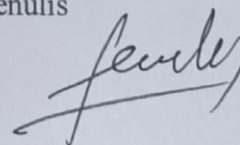
## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Pemodelan 3D dan Estimasi Cadangan Nikel Laterit menggunakan Metode Inverse Distance Weighting (IDW) berdasarkan Data Geolistrik di Blok Sangaji Selatan, daerah Kota Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara**”. Penulisan skripsi ini bertujuan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu dalam proses penyusunan skripsi ini dikarenakan keterbatasan pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan evaluasi kedepannya.

Demikian penulis yang bisa sampaikan, besar harapan skripsi ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan pembaca baik dari kalangan akademisi maupun kalangan umum dalam pengembangan ilmu di masa yang akan datang.

Bandar Lampung, 27 Juli 2023

Penulis



**Nicko Ferly Pradana**  
NPM. 1915051006

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Nabi Muhammad SAW yang mejadi suri tauladan bagi kita semua.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh sebab itu penulis mengharapkan banyak mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak sehingga dapat memberikan masukan yang membangun. Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang telah berkontribusi, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu menjadi motivasi terbesar penulis ayah Yusuf Suhariadi dan Yuni Haryanti yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat yang tak ada henti-hentinya. Terimakasih atas semua pengorbanan dan kasih sayang yang tulus yang telah diberikan.
2. Kepada Nenek Giarni yang selalu memberikan perhatian dan doa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Kedua adik tersayang, Muhammad Ar Rifai dan Nizam Umair Alfaro yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
4. Muhammad Arief Wicaksono yang memberikan banyak masukan dan pengetahuan dibidang nikel laterit dan Geolistrik selama melaksanakan kerja praktik di PT Antam Tbk sampai pada diberikan izin untuk menggunakan data pengukuran PT Antam Tbk sebagai data utama dalam kegiatan Tugas Akhir

5. Mas Fahri yang telah memberikan banyak masukan dan pengetahuan mengenai pengolahan data di PT Antam Tbk sehingga dapat melakukan pengolahan data dengan benar.
6. Bapak Dr. Eng., Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
7. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
8. Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku pembimbing 1 Tugas akhir saya yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan banyak masukan dan koreksi serta arahan dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Ibu Akroma Hidayatika, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir saya yang telah banyak meluangkan waktu dan banyak memberikan masukan serta arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
10. Bapak Dr. Ir. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T. selaku penguji tugas akhir saya yang telah meluangkan waktu dan memberikan banyak masukan dan koreksi.
11. Teman-teman seperjuangan Kerja Praktik di PT Antam Tbk Fachri Aldi Pramudya, M. Daffa Hafiz Alfasa, Fariz Alhamdi, dan Lucacini Maria yang telah memberikan dukungan dan semangat.
12. Haidar Prida Mazzaluna yang telah memberikan banyak masukan dan saran dalam pelaksanaan tugas akhir.
13. Restu Ningsih, Syatya Mirwanda, Dany Raihan Susetyo, dan Muhammad Rizqi Halim yang telah menemani dan memberikan semangat serta menjadi tempat untuk bertanya saran ketika proses penyusunan laporan tugas akhir
14. Fanky Arya Putra sebagai teman dari SMA yang senantiasa memberikan motivasi untuk lulus tepat waktu
15. Keluarga Besar Teknik Geofisika 2019 “Mak Kou Tanding” yang telah menjadi rumah yang nyaman semasa penulis menempuh bangku perkuliahan.
16. Semua pihak yang telah terlibat, penulis mengucapkan terimakasih.
17. Diri saya sendiri Nicko Ferly Pradana yang mampu bertahan hingga saat ini yang masih terus berjuang, berusaha semaksimal mungkin dan masih terus berjuang untuk membanggakan kedua orang tua, terimakasih untuk semuanya.

Demikian laporan tugas akhir ini yang telah di susun dengan sebaik-baiknya, besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi orang banyak. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar menjadi lebih baik lagi untuk kedepannya.

Bandar Lampung, 27 Juli 2023

Penulis,



**Nicko Ferly Pradana**  
NPM. 1915051006

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERSETUJUAN.....</b>	<b>v</b>
<b>PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xxi</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>

2.1. Tektonik Daerah Penelitian.....	5
2.2. Fisiografi Daerah Penelitian.....	7
2.3. Distribusi ofiolit .....	9
<b>III. TEORI DASAR .....</b>	<b>10</b>
3.1. Metode Geolistrik .....	10
3.2. Nikel laterit .....	14
3.3. Klasifikasi Sumber Daya Mineral dan Cadangan.....	20
3.4. Inversi.....	21
3.5. <i>Inverse Distance Weighting</i> .....	23
3.6. Aplikasi Metode Geolistrik dalam Eksplorasi Nikel Laterit.....	29
<b>IV. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	31
4.2. Alat dan Bahan .....	32
4.3. Jadwal Penelitian.....	33
4.4. Prosedur Penelitian.....	33
4.5. Diagram Alir .....	37
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
5.1. Data Penelitian .....	38
5.2. Sayatan <i>Sounding</i> .....	45
5.3. <i>Ore Body</i> (3D).....	47
5.4. <i>Block model</i> .....	49
5.5. Model 3D Hasil <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW) dan Estimasi Cadangan Nikel Laterit .....	52
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>59</b>
6.1. Kesimpulan .....	59



6.2. Saran.....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Rekonstruksi detail area Banda dengan kotak merah menunjukkan proses terbentuknya Pulau Halmahera (Hall, 2012).....	5
2. Zona subduksi Indonesia yang menggambarkan kondisi tektonik di Indonesia (Rusydy, 2016) .....	6
3. Pembagian mandala fisiografi Pulau Halmahera yang dibagi menjadi tiga mandala fisiografi dengan garis merah menunjukan batas mandala fisiografi (dimodifikasi dari Apandi dan Sudana, 1980) .....	7
4. Peta geologi dan sebaran batuan ultrabasa di Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara dengan kotak merah menunjukan daerah penelitian.....	8
5. Distribusi ofiolit di Indonesia bagian timur yang ditandai dengan warna hijau (Kadariusman, 2001).....	9
6. Ilustrasi prinsip kerja geolistrik yang menunjukkan aliran listrik dan bidang ekuipotensial (Telford, 1990).....	11
7. Skema susunan elektroda konfigurasi <i>wenner</i> dengan AB merupakan elektroda arus dan CD merupakan elektroda potensial (Lowrie, 2007)....	13
8. Profil Endapan Nikel Laterit (Wijaya, dkk. 2015).....	18
9. Skema sumberdaya dan cadangan mineral (Novianto, dkk. 2021).....	20
10. Ilustrasi alur pemodelan inversi yang membutuhkan operasi matematika hingga menghasilkan parameter model (Supriyanto, 2007) .....	24
11. Data observasi perubahan suhu terhadap kedalaman dari permukaan tanah (Supriyanto, 2007) .....	25

12. Hasil inversi atas data observasi perubahan suhu terhadap kedalaman, titik merah merupakan data observasi, dan kurva biru merupakan kurva hasil inversi (Supriyanto, 2007).....	27
13. Peta lokasi penelitian dengan titik merah menunjukkan persebaran data resistivitas dalam satu blok dengan jumlah titik 84 titik <i>sounding</i> .....	31
14. Diagram Alir .....	37
15. Hasil inversi data resistivitas pada <i>software</i> IP2Win yang mendapatkan <i>output</i> berupa kurva inversi, jumlah lapisan, kedalaman setiap lapisan, ketebalan setiap lapisan dan rentang nilai resistivitas setiap lapisan .....	41
16. Proses <i>input</i> data penelitian pada <i>software</i> Surpac .....	46
17. Proses pengaturan tampilan sayatan <i>sounding</i> .....	46
18. Sayatan <i>sounding</i> yang dihasilkan dari pengolahan data litologi yang berjumlah 84 titik <i>sounding</i> di daerah penelitian blok Sangaji Selatan, daerah Kota Maba, Halmahera Timur, Maluku Utara .....	47
19. Batas atas dan batas bawah setiap lapisan nikel laterit yang telah di hubungkan setiap titik <i>sounding</i> .....	48
20. <i>Solid ore body</i> yang dihasilkan dengan mengkorelasikan batas lapisan setiap sayatan sehingga menjadi lapisan yang solid .....	49
21. <i>Block model</i> awal dengan ukuran minimum blok panjang, lebar, dan tinggi sebesar 0.5 meter .....	50
22. <i>Block model</i> lapisan <i>limonite</i> dan lapisan <i>saprolite</i> dengan volume blok berdasarkan <i>solid ore body</i> yang memiliki ukuran blok panjang 1 m, lebar 1 m, dan tinggi 1 m .....	51
23. Proses <i>input</i> parameter untuk melakukan estimasi menggunakan metode Inverse Distance Weighting .....	53
24. <i>Block model</i> hasil estimasi dengan metode IDW .....	53
25. Proses klasifikasi lapisan <i>limonite</i> dan lapisan <i>saprolite</i> berdasarkan proses hasil IDW .....	54
26. Model 3D hasil <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW) dengan warna hijau merupakan lapisan <i>saprolite</i> dengan kadar nikel 1,5-4 % dan warna kuning merupakan lapisan <i>limonite</i> dengan kadar nikel 0,8-1,5 % .....	55
27. Proses penambahan atribut densitas <i>limonite</i> dan densitas <i>saprolite</i> .....	56

28. Proses <i>input</i> parameter untuk menampilkan <i>model report</i> estimasi nikel laterit .....	56
29. <i>Model report</i> hasil estimasi cadangan nikel laterit .....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Korelasi antara litologi batuan dengan variasi nilai tahanan jenis Sangaji (PT. Aneka Tambang Tbk Unit Geomin, 2011) .....	18
2. Contoh data temperatur bawah permukaan terhadap kedalaman (Supriyanto, 2007) .....	25
3. Jadwal kegiatan penelitian tugas akhir .....	33
4. Data hasil pengukuran geolistrik di lapangan oleh tim eksplorasi Unit Geomin PT. Antam, Tbk. pada tahun 2011 di blok Sangaji Selatan.....	39
5. Data koordinat hasil survei di lapangan data hasil pengukuran geolistrik di lapangan oleh tim eksplorasi Unit Geomin PT. Antam, Tbk. pada tahun 2011 di blok Sangaji Selatan.....	40
6. Data <i>assay</i> yang didapatkan dari hasil inversi data resistivitas dan di interpretasi berdasarkan korelasi nilai resistivitas setiap lapisan .....	43
7. Data litologi yang dihasilkan dari interpretasi hasil inversi 1D berdasarkan nilai resistivitas setiap lapisan perkedalaman.....	44
8. Hasil estimasi cadangan nikel dari lapisan <i>limonite</i> dan <i>saprolite</i> .....	57

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia berencana akan membangun industri baterai terintegrasi dari hulu hingga ke hilir. Tahun 2020 peran nikel untuk mobil listrik hanya sekitar 8%, sementara nikel yang digunakan untuk bahan baku *stainless steel* mencapai 73%, sedangkan pada tahun 2030 pemanfaatan nikel untuk baterai akan naik menjadi 30% dan untuk *stainless steel* turun menjadi 57% (Nikel.co.id, 2021).

Daerah penelitian berada di Blok Sangaji Selatan, daerah Kota Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara. Daerah penelitian masuk ke dalam Mandala Halmahera Timur dengan batuan dasar yang mendominasi berupa kompleks ofiolit dan sedimen laut dalam yang berumur Mesozoik. Daerah penelitian khususnya Blok Sangaji merupakan daerah dengan batuan ultramafik yang memiliki potensi laterit nikel. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui persebaran nikel laterit dengan menerapkan metode survei geofisika resistivitas yang merupakan upaya pendekatan ilmiah untuk mengetahui pola sifat fisis batuan pada sistem lapisan laterit (Apandi dan Sudana, 1980).

Nikel laterit merupakan mineral sekunder, yaitu mineral yang dibentuk dari mineral-mineral utama oleh proses pelapukan, sirkulasi air atau larutan, dan metamorfosa. Mineral ini ditemukan pada batuan yang telah lapuk dan batuan sedimen juga metamorf. Mineral merupakan suatu jenis materi sehingga mempunyai sifat-sifat kelistrikan yaitu karakteristik dari mineral jika dialirkan listrik ke dalamnya yang meliputi konduktivitas dan resistivitas (Abidin dan Palili, 2011). Konduktivitas merupakan kemampuan material untuk menghantarkan arus listrik sedangkan resistivitas merupakan kemampuan

material untuk menghambat arus listrik. Nilai resistivitas lapisan nikel laterit di daerah penelitian sangat di pengaruhi oleh kandungan Fe setiap lapisan dimana Fe bersifat sangat konduktif. Semakin besar kandungan Fe, maka semakin kecil nilai resistivitas, begitupun sebaliknya.

Untuk mengetahui lapisan laterit berdasarkan data geolistrik, di perlukan pengolahan data untuk mengetahui respon resistivitas setiap lapisan bawah permukaan sehingga dapat diketahui batas-batas lapisan laterit bawah permukaan. Dalam Penambangan nikel laterit di butuhkan estimasi untuk memperhitungkan sumberdaya sebelum proses penambangan berlangsung. Estimasi sumberdaya sangat penting untuk menentukan kualitas dan kuantitas dari suatu endapan nikel laterit. Hal tersebut dikarenakan dari hasil estimasi yang baik dan akurat sesuai dengan keberadaan di lapangan dapat menentukan investasi yang dilakukan oleh investor sebagai penanaman modal dalam perusahaan pertambangan, metode penambangan yang akan dilakukan, serta dalam memperkirakan waktu oleh perusahaan dalam upaya penambangan sehingga dapat menekan *cost* dan memberikan keuntungan bagi perusahaan.

Penelitian ini menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk melakukan estimasi sumber daya nikel laterit dimana metode ini akan menggunakan nilai-nilai ukuran yang mengitari lokasi titik pengukuran dengan mengasumsikan bahwa total korelasi dan kemiripan antara titik yang ditaksir dengan data yang ditaksir adalah proporsional dengan jarak (Purnomo, 2018). Metode ini sangat mendukung mengingat persebaran data pada penelitian ini memiliki jarak yang konsisten yaitu 25 meter antar titiknya dan tersebar sebanyak 84 titik *sounding*. Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan data resistivitas hasil pengukuran geolistrik yang dilakukan oleh tim eksplorasi Unit Geomin, PT. Antam, Tbk. pada tahun 2011.

## 1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian berdasarkan metode geolistrik resistivitas adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui batas-batas lapisan nikel laterit berdasarkan data geolistrik resistivitas di daerah penelitian.
2. Memvisualisasikan lapisan nikel laterit bawah permukaan secara 3D berdasarkan data 1D .
3. Mengestimasi volume dan tonase nikel laterit pada lapisan *limonite* dan *saprolite* sebagai lapisan nikel laterit yang memiliki kandungan nikel terbesar.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian berdasarkan metode geolistrik resistivitas adalah sebagai berikut :

1. Data pengukuran geolistrik merupakan data sekunder sebanyak 84 titik pengukuran dengan konfigurasi *wenner VES* dimana pengambilan data dilakukan oleh tim eksplorasi geofisika unit Geomin PT. Antam Tbk. pada tahun 2011 di prospek Sangaji Selatan daerah Kota Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara
2. Pengolahan data dilakukan sampai pada pengolahan 3D dengan perhitungan estimasi volume dan tonase berdasarkan data geolistrik resistivitas konfigurasi *wenner VES*.
3. Estimasi kedalaman identifikasi lapisan nikel laterit sampai dengan 40 meter.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini berdasarkan metode geolistrik resistivitas adalah sebagai berikut:

1. Bagi pihak perusahaan  
Sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan perencanaan penambangan nikel laterit di daerah penelitian dengan mempertimbangkan penggunaan metode penambangan yang tepat dan memperkirakan waktu penambangan



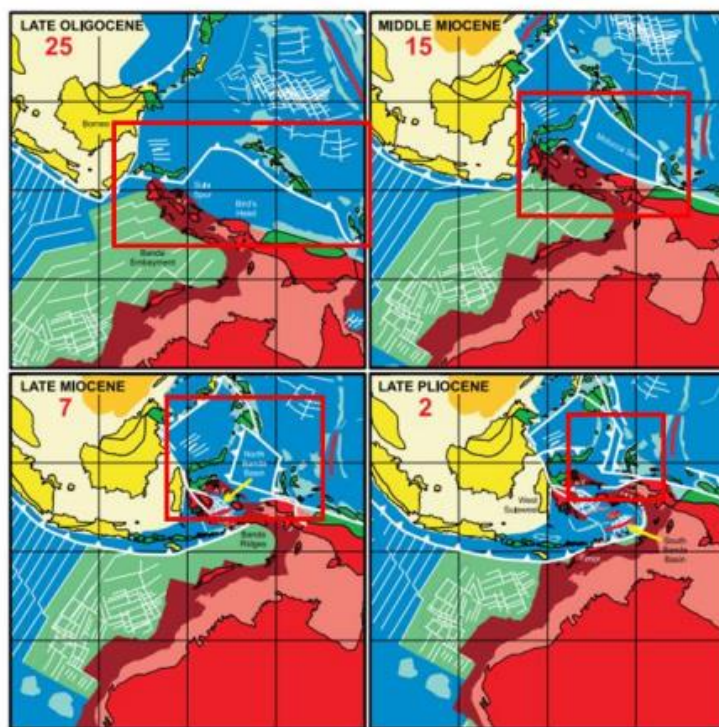
sehingga dapat menekan biaya penambangan dan dapat memperoleh keuntungan yang sebesar-besarnya bagi PT. Antam, Tbk.

2. Bagi kalangan akademisi

Sebagai referensi pembelajaran dalam menambah wawasan mengenai metode estimasi cadangan nikel laterit berdasarkan data geolistrik resistivitas menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW).

## II. TINAJUAN PUSTAKA

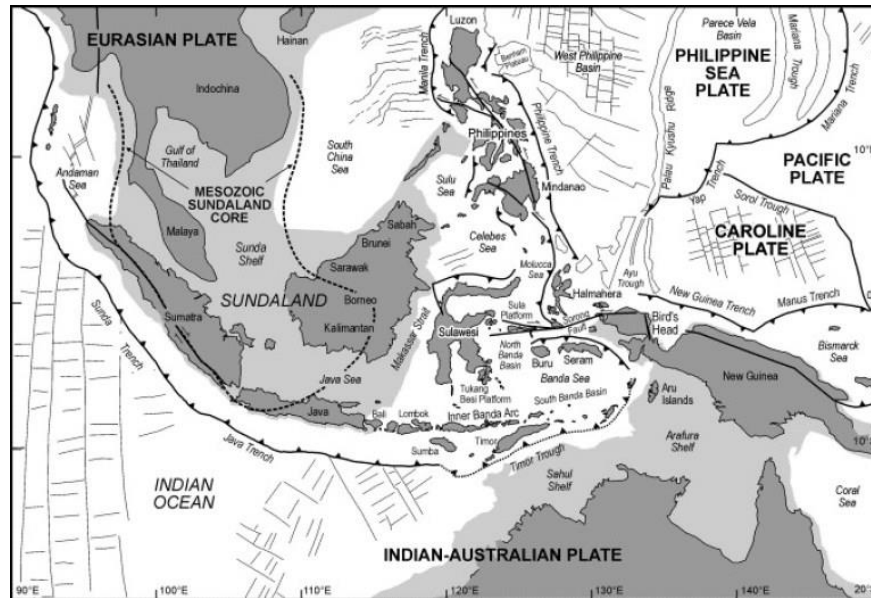
### 2.1 Tektonik Daerah Penelitian



**Gambar 1.** Rekonstruksi detail area Banda dengan kotak merah menunjukkan proses terbentuknya Pulau Halmahera (Hall, 2012).

Menurut Hall (2012), posisi Pulau Halmahera berada di sebelah utara Pulau Papua seperti pada **Gambar 1**. kemudian pada Oligosen akhir, Sesar Sorong membawa bagian timur Pulau Halmahera menuju barat yang merupakan bagian dari lempeng *East Mindanao*, kemudian pada Miosen akhir terjadi 2 subduksi pada bagian barat dan timur serta pada bagian utara dan selatan terjadi sesar geser. Sesar-sesar ini memisahkan Lempeng Laut Maluku sehingga Lempeng Laut Maluku pada miosen akhir berukuran lebih kecil. Proses

subduksi ini juga yang membuat Lempeng Mindanao Timur patah dan terkolisikan terhadap lempeng tersebut (Hall, 2002). Kondisi saat ini hanya menyisakan sesar naik pada bagian barat Halmahera dan timur lengan utara Sulawesi.



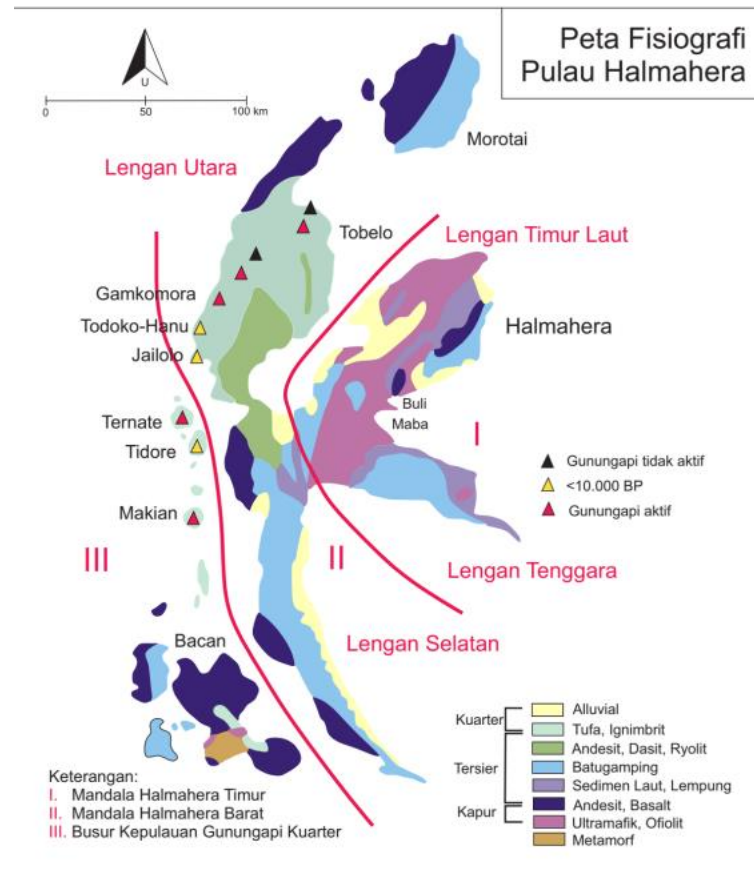
**Gambar 2.** Zona subduksi Indonesia yang menggambarkan kondisi tektonik di Indonesia (Rusydy, 2016)

Pulau Halmahera termasuk Pulau Ternate dan Pulau Tidore terdapat zona subduksi yang menjam dari lempeng Laut Maluku ke Pulau Halmahera, Pulau Ternate dan Pulau Tidore bagian barat. Besarnya deformasi tersebut sangat beragam dari satu bagian wilayah ke bagian wilayah yang lain (Sunantyo dan Fahrurrazi, 2011).

Lengan timur dan lengan barat Pulau Halmahera merupakan dua mandala tektonik yang berbeda. Perkembangan tektonik di lengan timur dapat dikenali berawal dari zaman Kapur Akhir dan zaman Tersier Awal. Fragmen batuan ultrabasa dan serpih yang diduga berusia kapur terdapat dalam batuan sedimen Formasi Dorosagu. Kegiatan tektonik juga terjadi dengan memperlihatkan ketidakselarasan antara Formasi Dorosagu dan Formasi Bacan. Kemudian terjadi peristiwa tektonik yang ditandai oleh penyesaran naik secara intensif serta pelipatan yang menjurus timur laut dan barat daya. Sesar normal juga banyak terdapat pada daerah ini, umumnya berjurus barat laut dan tenggara. Kegiatan terakhir berupa pengangkatan yang terbukti oleh adanya terumbu

yang terangkat sepanjang pantai (Wahyono, dkk. 2016). Dalam hal ini ofiolit terbentuk yang merupakan penggalan kerak samudra dan lapisan mantel atas di bawahnya yang telah terangkat atau terpindahkan dan tersingkap di bagian tepi kerak benua.

## 2.2 Fisiografi Daerah Penelitian



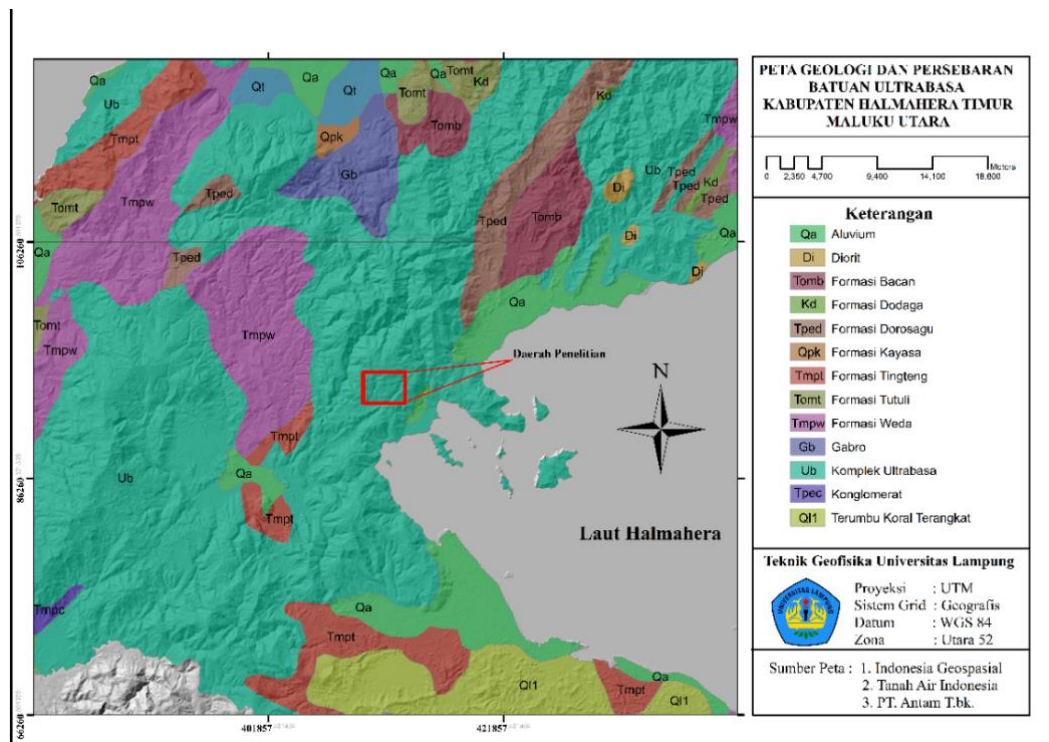
**Gambar 3.** Pembagian mandala fisiografi Pulau Halmahera yang dibagi menjadi 3 mandala fisiografi dengan garis merah menunjukan batas mandala fisiografi (dimodifikasi dari Apandi dan Sudana, 1980).

Apandi dan Sudana (1980) mengklasifikasikan fisiografi Pulau Halmahera dan sekitarnya menjadi 3 bagian, yaitu Mandala Geologi Halmahera Timur, Mandala Geologi Halmahera Barat, dan Busur Kepulauan Gunung Api Kuarter.

Mandala geologi Halmahera Timur memiliki batuan tertua yang dibentuk oleh satuan batuan ultrabasa dengan sebaran cukup luas dan satuan batuan beku basa

yang mengintrusi satuan batuan ultrabasa serta satuan batuan beku *intermediate* yang mengintrusi kedua satuan batuan sebelumnya. Satuan batuan ultrabasa terdiri dari serpentin, piroksenit dan dunit, umumnya berwarna hitam atau hitam kehijauan, getas, terbreksikan, mengandung asbes dan garnierit. Satuan batuan ini teramati sebagai batuan metasedimen dan rijang, posisinya terjepit diantara sesar di dalam batuan ultrabasa.

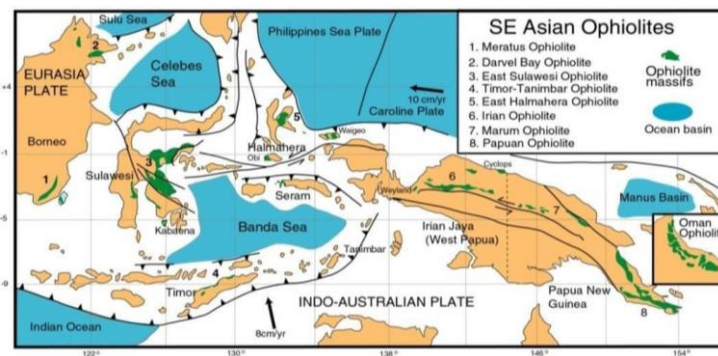
Mandala Halmahera Barat terdiri dari Lengan Utara dan Lengan Selatan Halmahera. Daerah ini memiliki morfologi perbukitan sedikit terjal dan perbukitan karst. Daerah ini juga terdapat endapan gunung api dengan umur Oligosen. Sementara untuk mandala Busur Kepulauan Gunungapi Kuarter terdiri dari pulau-pulau kecil di sebelah barat Pulau Halmahera yang membentuk suatu busur kepulauan gunung api dan sebagian pulaunya memiliki gunung api yang aktif.



**Gambar 4.** Peta geologi dan sebaran batuan ultrabasa di Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara dengan kotak merah menunjukan daerah penelitian.

Area penelitian berada di daerah dengan kompleks batuan ultrabasa. Saat proses kolisi, terbentuk sesar-sesar naik yang memotong seri ofiolit, serta terbentuk batuan metamorf derajat rendah dan batuan hasil proses metasomatisme (serpentinit). Metasomatisme mengubah batuan peridotit menjadi serpentinit berfoliasi. Batuan dasar pada area penelitian termasuk satuan campuran serpentinit - olivin gabronorit - orthopiroksenit. Serpentinit hadir sebagai serpentinit berfoliasi yang melingkupi boudinage olivin gabronorit – serpentinit - ortopiroksenit. Satuan ini tersingkap di punggung area Wailukum dan disetarakan dengan satuan batuan ultrabasa yang berumur Kapur (Apandi dan Sudana, 1980).

### 2.3 Distribusi Ofiolit



**Gambar 5.** Distribusi ofiolit di Indonesia bagian timur yang ditandai dengan warna hijau (Kadarusman, 2001).

Distribusi ofiolit dan potensi laterit nikel di Indonesia terdapat di beberapa daerah di bagian timur Indonesia, yaitu :

- Sulawesi bagian timur (Sorowako, Bahodopi, Pomalaa).
- Halmahera bagian timur (Gebe, Sangaji, Buli, Pulau Pakal).
- Irian Jaya bagian utara (Waigeo, Gag, Sentani).

Nikel laterit berkembang di kompleks ofiolit pada rentang waktu Phanerozoic, terutama Cretaceous-Miosen. Ofiolit ini telah mengalami pensesaran dan kekar sebagai efek dari pengangkatan tektonik yang dapat memicu intensitas pelapukan dan perubahan pada muka air tanah. Semakin banyak sesar geser dan sesar normal, semakin tinggi pula tingkat pengayaan (*enrichment process*) untuk menghasilkan kadar nikel yang tinggi (Isjudarto, 2013).

### III. TEORI DASAR

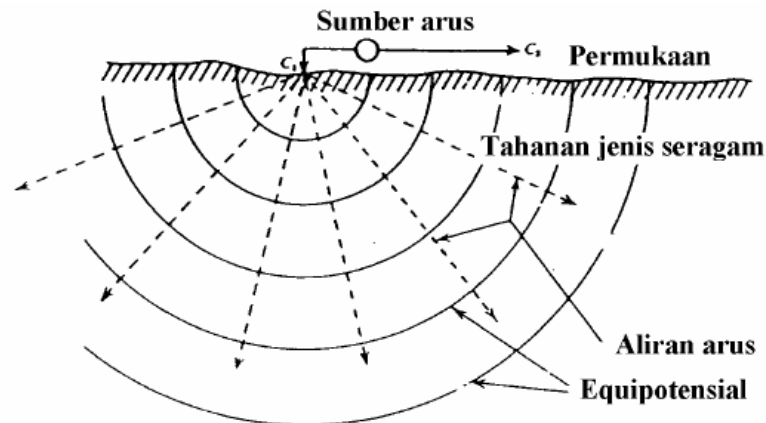
#### 3.1 Metode Geolistrik

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang memiliki prinsip kerja menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui 2 buah elektroda arus kemudian melalui 2 buah elektroda potensial, beda potensial dapat diukur. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial dengan jarak spasi elektroda tertentu dapat menentukan variasi harga tahanan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur (Simpson, 2015).

Metode geolistrik dibagi menjadi dua jenis, yaitu pasif dan aktif. Metode geolistrik pasif menggunakan energi yang telah ada secara alamiah sehingga tidak diperlukan injeksi arus sebagai sumber energi. Sedangkan metode geolistrik aktif adalah metode geolistrik yang membutuhkan energi untuk diinjeksi arus ke dalam bumi terlebih dahulu oleh elektroda arus. Jenis geolistrik yang bersifat aktif, memiliki media dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga media memiliki respon sifat yang berbeda terhadap aliran listrik yang melewatinya. Keuntungan dari metode geolistrik tahanan jenis yaitu dapat membedakan berbagai macam batuan tanpa melakukan pengeboran dengan biaya yang relatif murah dan mudah (Santoso, 2002).

Berdasarkan teknik pengukuran, metode geolistrik dibagi menjadi 2, yaitu teknik pengukuran *mapping* dan *sounding*. Teknik pengukuran geolistrik *mapping* dilakukan dengan tujuan mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara horizontal. Metode ini menggunakan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik pengamatan dipermukaan bumi. Metode geolistrik *sounding* pada dasarnya bertujuan untuk mempelajari variasi tahanan

jenis dibawah permukaan secara vertikal. Teknik pengukuran metode ini dengan mengubah-ubah jarak elektroda pada suatu titik pengamatan. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Semakin besar jarak elektroda yang digunakan, maka semakin dalam jangkauan lapisan batuan yang terdeteksi. Konsep geolistrik didasarkan pada hukum Ohm dan resistivitas batuan (Reynolds, 1997).



**Gambar 6.** Ilustrasi prinsip kerja geolistrik yang menunjukkan aliran listrik dan bidang ekuipotensial (Telford, 1990).

Prinsip dasar yang digunakan dalam metode geolistrik resistivitas adalah Hukum Ohm. Untuk mengeluarkan energi yang tersimpan dalam baterai diperlukan penghubung (konduktor) diantara kedua terminalnya. Jika ditambahkan sebuah resistor maka akan terjadi perubahan potensial pada ujung-ujung hambatan tersebut. Hubungan antara resistor, arus dan beda potensial mengikuti Hukum Ohm yang dinyatakan dalam persamaan (1) :

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

Keterangan :

I : Arus (*Ampere*)

V : Beda Potensial (*Volt*)

R : Resistansi (*Ohm*)

Dengan R merupakan resistansi atau hambatan. Besar dari resistansi bergantung pada jenis material serta geometri dari media tersebut. Resistor bergantung pada panjang kolom dan material dasar yang menyusunnya yang disebut sebagai



resistivitas dan disimbolkan berupa  $\rho$ , sehingga secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan seperti di bawah ini :

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

Keterangan :

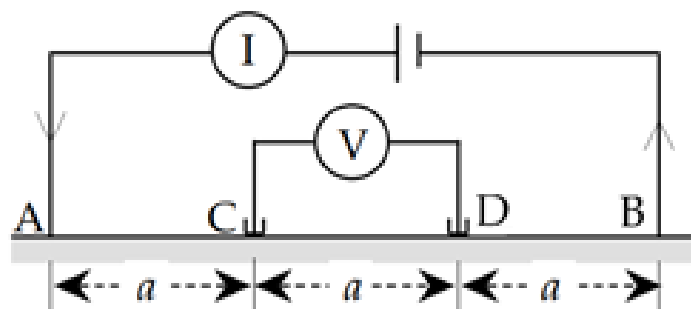
$\rho$  : Resistivitas (Ohm.m)

$L$  : Panjang resistor (m)

$A$  : Luas penampang resistor (m<sup>2</sup>)

Dari rumus diatas, dapat diketahui jika nilai resistansi besar, maka dibutuhkan beda potensial yang besar pula untuk mengalirkan arus listrik. Arus listrik yang mengalir di dalam batuan atau mineral dapat terjadi jika batuan atau mineral memiliki banyak elektron bebas sehingga arus listrik di alirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik juga dapat dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik setiap batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik sifat batuan tersebut adalah resistivitas yaitu kemampuan suatu material untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu material, maka semakin sulit material tersebut menghantarkan arus listrik, begitupun sebaliknya (Alaydus, 2014).

Berdasarkan susunan spasi elektroda, metode geolistrik memiliki beberapa konfigurasi yang dapat di gunakan dalam melakukan pengukuran. Salah satu konfigurasi geolistrik adalah konfigurasi *wenner*.



**Gambar 7.** Skema susunan elektroda konfigurasi *wenner* dengan AB merupakan elektroda arus dan CD merupakan elektroda potensial (Lowrie, 2007).

**Gambar 7.** diatas merupakan ilustrasi spasi elektroda geolistrik untuk konfigurasi *wenner*, konfigurasi ini memiliki ciri khas yaitu elektroda potensial (CD) dan elektroda arus (AB) memiliki jarak yang sama. Konstanta geometri dan *apparent resistivity* konfigurasi *wenner* dapat di sajikan seperti pada persamaan berikut ini (Reynolds, 2005) :

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{AC} - \frac{1}{CB}\right) - \left(\frac{1}{AD} - \frac{1}{DB}\right)\right]} \quad (3)$$

Apabila dalam pengambilan data jarak spasi elektroda dibuat sama yaitu  $AC = CD = NB = a$ , maka  $AC = DB = a$  dan  $CB = AD = 2a$ , seperti **Gambar 7.** maka persamaan akan menjadi seperti berikut :

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)\right]} \quad (4)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{2}{2a}\right)} \quad (5)$$

$$K = 2\pi a \quad (6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan di atas dalam rumus resistivitas semu, maka persamaan akan menjadi seperti berikut :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{atau} \quad \rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

Keterangan :

K : Faktor geometri (m)

$\rho_a$  : resistivitas semu ( $\Omega\text{m}$ )

Faktor geometri (K) merupakan besaran yang mewakili korelasi letak elektroda potensial terhadap letak elektroda arus.

Secara umum, konfigurasi *wenner* bagus dalam menyelesaikan perubahan vertikal (yaitu struktur horizontal), tetapi relatif buruk dalam mendeteksi perubahan horizontal (yaitu struktur vertikal sempit). Kedalaman rata-rata investigasi untuk konfigurasi *wenner* kira-kira 0,5 kali jarak  $a$  yang digunakan. Dibandingkan dengan konfigurasi lain, konfigurasi *wenner* memiliki kekuatan sinyal terkuat, hal ini menjadi faktor penting jika survei dilakukan di daerah dengan kebisingan latar belakang yang tinggi (Loke, 2021).

### 3.2 Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang menghasilkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara primer dan sekunder (Lintjewas, 2019). 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). Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Tonggiroh, dkk. 2012).

Nikel ditemukan oleh A.F. Cronstedt pada tahun 1751, yaitu logam berwarna putih keperak-perakan yang memiliki penampakan berkilat, keras dan mulur, tergolong kedalam logam peralihan, memiliki sifat tidak berubah ketika terkena udara, tahan terhadap oksidasi dan kemampuan mempertahankan sifat aslinya dibawah suhu yang ekstrim (Cotton dan Wilkinson, 1989). Nikel merupakan unsur kimia metalik dalam tabel periodik dan memiliki simbol Ni dengan nomor atom 28 serta bersifat magnetis. Nikel murni bersifat lembek, tetapi jika di padukan dengan besi, krom, dan logam yang lain, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan antara nikel, krom, dan besi akan menghasilkan baja tahan karat (*stainless steel*).

#### 3.2.1 Proses Pembentukan Nikel Laterit

Secara kimia pembentukan nikel laterit berkaitan dengan proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotite yang di sebabkan oleh pengaruh larutan hydrothermal yang akan merubah batuan peridotite menjadi batuan serpentinite atau batuan serpentinite peridotite. Sedangkan proses dari kimia dan fisika dari udara, air, dan pergantian musim yang berlangsung secara berkelanjutan menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Pelapukan kimia yang terjadi ketika air tanah yang kaya akan CO<sub>2</sub> yang berasal dari udara dan pembusukan pada tumbuhan akan menguraikan mineral yang tidak stabil (olivin dan piroksin) pada batuan ultrabasa,

kemudian akan menghasilkan Mg, Fe, Ni yang larut, dan Si yang cenderung membentuk koloid dan partikel-partikel silika yang sangat halus. Ketika di dalam larutan, Fe akan teroksidasi dan akan terendapkan sebagai ferri-hidroksida, kemudian akan membentuk mineral seperti goethite, *limonite*, dan hematite di dekat permukaan.

Larutan yang mengandung unsur Mg, Ni, dan Si secara terus menerus akan mengalir ke bawah tanah selama larutannya bersifat asam, hingga pada suatu kondisi larutan menjadi netral ketika kontak dengan tanah dan batuan, maka akan terdapat kecenderungan untuk membentuk endapan hidrosilikat. Nikel yang berada dalam rantai silikat atau hidroelektrik dengan komposisi yang bervariasi akan terendapkan pada celah-celah atau rekahan yang dikenal dengan urat *garnierite* dan krisopras. Larutan residu akan membentuk suatu senyawa dengan sebutan *saprolite* yang berwarna coklat kuning kemerahan. Unsur lainnya seperti Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat akan terus terbawa kebawah sampai pada batas pelapukan dan kemudian akan terendapkan sebagai dolomite, magnesite yang biasa mengisi celah atau rekahan pada batuan induk. Ketika berada di lapangan, urat-urat ini biasa dikenal sebagai batas petunjuk antara zona pelapukan dengan zona batuan segara (*bedrock*) yang disebut dengan akar pelapukan (*root of weathering*) (Primanda, 2008).

Proses terbentuknya nikel laterit diawali dari proses dengan pelapukan yang intensif pada batuan peridotit, kemudian infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan densitas yang tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat *mobile* akan terlarutkan ke bawah permukaan dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan seperti Ni, Mn, dan Co (Golightly, 1979).

### 3.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit

Menurut Ahmad (2006) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan deposit nikel laterit, yaitu :

#### 1. Batuan Induk

Batuan induk merupakan syarat utama terbentuknya endapan nikel laterit, batuan induk dari terbentuknya nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Dalam hal tersebut, batuan ultrabasa mengandung :

- a. Terdapat elemen Ni paling banyak diantara batuan lainnya.
- b. Memiliki mineral yang mudah untuk terlapukkan atau tidak stabil seperti olivin dan piroksin.
- c. Memiliki unsur yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

#### 2. Iklim

Pergantian musim antara musim kemarau dan musim hujan akan menyebabkan kenaikan dan penurunan permukaan air tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur antara musim hujan dan musim kemarau akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, yaitu akan terjadi rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

#### 3. Reagen-reagen kimia dan vegetasi

Reagen-reagen kimia adalah unsur dan senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung senyawa  $\text{CO}_2$  memiliki pengaruh penting dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam yang mengandung humus akan menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah PH larutan. Asam-asam yang mengandung humus, erat kaitannya dengan vegetasi wilayah. Vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan mudah dengan mengikuti jalur akar pepohonan serta akumulasi air hujan yang melimpah.

#### 4. Struktur

Struktur yang paling dominan dan paling banyak dibandingkan struktur lainnya adalah kekar (*joint*). Batuan beku memiliki porositas dan permeabilitas yang sangat kecil sehingga akan menghambat air untuk berpenetrasi, oleh sebab itu dengan adanya rekahan-rekahan yang terjadi akan lebih mudah untuk air dapat masuk ke dalam rekahan tersebut sehingga akan memicu terjadinya pelapukan yang lebih intensif.

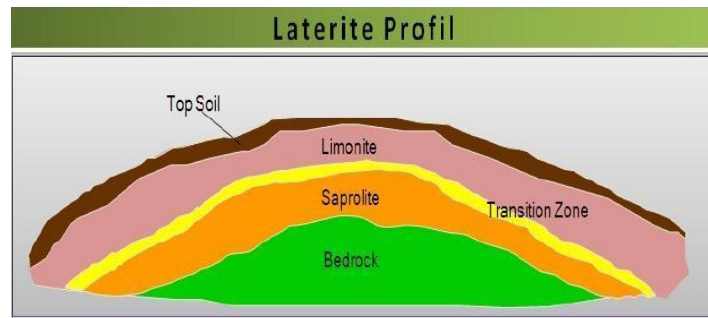
#### 5. Topografi

Topografi lokal sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain untuk melakukan penetrasi. Ditempat daerah yang landai, air akan bergerak perlahan-lahan hingga mempunyai kesempatan untuk melakukan penetrasi lebih dalam melalui rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan pada umumnya terdapat di daerah yang landai sampai pada kemiringan sedang, hal ini menggambarkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Di daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang turun dan mengalir lebih banyak dibandingkan dengan air yang meresap sehingga akan mengakibatkan pelapukan yang kurang intensif di bawah permukaan tanah.

#### 6. Waktu

Waktu yang sangat lama dapat mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif sehingga akan memiliki akumulasi unsur nikel dalam jumlah yang besar.



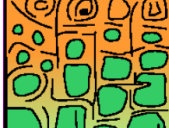

Nikel laterit adalah material yang terbentuk dari pelapukan batuan secara terus menerus yang terjadi sebagai akibat dari naik turunnya muka air laut sehingga membentuk lapisan endapan nikel laterit.



**Gambar 8.** Profil endapan nikel laterit (Wijaya, dkk 2015)

Lapisan nikel laterit pada umumnya terdiri dari lapisan *overburden*, *limonite*, *saprolite*, dan *bedrock* yang masing-masing lapisan tersebut memiliki kandungan nikel yang berbeda (Latif, 2008).

**Tabel 1.** Korelasi antara litologi batuan dengan variasi nilai tahanan jenis Sangaji (PT. Aneka Tambang Tbk Unit Geomin, 2011).

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)				Sangaji Resistivity Value	
		Ni	Co	Fe	MgO	Value (Ohm.m)	Classification
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5	275 up to >475	Medium to High Resistivity
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5	<275	Low Resistivity
	TRANSITION	1.5 to 4	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15	275 - 475	Medium Resistivity
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3		10 to 25	15 to 35		
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45	>475	High Resistivity

**Tabel 1.** merupakan korelasi antara litologi batuan dengan variasi nilai tahanan jenis daerah Sangaji serta *approximate analysis* hasil uji lab dari data sumur daerah Sangaji. Gambar diatas menjadi acuan kadar geokimia dan nilai resistivitas setiap lapisan laterit di daerah penelitian. Tabel korelasi tersebut merupakan hasil penelitian di daerah Blok Sangaji Selatan pada tahun 2011 dengan lokasi penelitian tersebut tidak jauh dari lokasi penelitian ini dan masih berlokasi pada satu blok yang sama. Batuan induk endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa, umumnya dari jenis harzburgit (peridotit yang kaya unsur ortopiroksen), *dunite* dan jenis *peridotite* yang lain (Isjudarto, 2013).

Lapisan *overburden* merupakan lapisan yang relatif berada di permukaan yang memiliki kandungan nikel relatif rendah, Sedangkan untuk lapisan yang memiliki lapisan nikel tinggi adalah lapisan *limonite* dan *saprolite*. Lapisan *bedrock* merupakan lapisan terbawah dari endapan nikel laterit yang memiliki kandungan nikel rendah (Prasojo, 2010).

Nikel laterit merupakan mineral sekunder, yaitu mineral yang dibentuk dari mineral-mineral utama oleh proses pelapukan, sirkulasi air atau larutan, dan metamorfosa. Mineral ini ditemukan pada batuan yang telah lapuk dan batuan sedimen juga metamorf. Mineral merupakan suatu jenis materi sehingga mempunyai sifat-sifat kelistrikan yaitu karakteristik dari mineral jika dialirkan listrik kedalamnya yang meliputi konduktivitas dan resistivitas (Abidin dan Palili, 2011). Konduktivitas merupakan kemampuan material untuk menghantarkan arus listrik sedangkan resistivitas merupakan kemampuan material untuk menghambat arus listrik. Nilai resistivitas lapisan nikel laterit di daerah penelitian sangat di pengaruhi oleh kandungan Fe setiap lapisan dimana Fe bersifat sangat konduktif. Semakin besar kandungan Fe, maka semakin kecil nilai resistivitas, begitupun sebaliknya.

Nikel laterit merupakan mineral yang memiliki nilai ekonomis tinggi, karena pada saat ini dan masa yang akan datang, kebutuhan nikel semakin meningkat. Nikel umumnya di gunakan untuk membuat baja tahan karat, bahan pembuatan alat-alat laboratorium (baik fisika maupun kima), katalis, dan masih banyak lagi, sehingga sangat bernilai ekonomis. Di Indonesia nikel hanya di temukan dalam bentuk nikel sekunder atau biasa di sebut nikel laterit (Isjudarto, 2013). Nikel terbentuk dari endapan akibat proses oksidasi dan pelapukan batuan ultramafik di permukaan yang mengandung nikel 0,2-0,4%. Jenis-jenis mineral tersebut diantaranya olivin, piraksen, dan amfibol. Bahan-bahan galian ini pada umumnya terdapat di daerah tropis yang memiliki curah hujan yang mendukung terjadinya pelapukan. Pelapukan yang ekstrim dapat melarutkan semua elemen dalam batuan tersebut. Pelapukan yang terjadi tersebut hanya akan menyisakan rata-rata 5% Nikel dan 0,06% karbon monoksida (Freysinnet, dkk. 2005).





Sumberdaya mineral tertunjuk merupakan sumberdaya mineral dengan kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan hasil dari tahap eksplorasi umum. Lokasi pengambilan data masih jarang atau dengan spasi yang belum tepat untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar, tetapi secara ruang cakup untuk mengasumsikan kemenerusannya. Sumberdaya mineral tertunjuk memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya mineral terukur, tetapi memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumberdaya mineral tereka.

c. Sumberdaya Mineral Terukur (*Measured Mineral Resources*)

Sumberdaya mineral terukur adalah sumberdaya mineral dengan kuantitas dan kualitasnya dihasilkan berdasarkan hasil tahap eksplorasi rinci. Dalam hal ini sumberdaya mineral dengan tonase, densitas, batuan fisik, karakteristik, kadar, dan kandungan mineralnya dapat diperkirakan dengan akurasi yang tinggi. Hal tersebut didasarkan pada eksplorasi rinci dan dapat diandalkan, sampling dan pengujian informasi yang dikumpulkan melalui teknik yang sesuai dengan lokasi seperti singkapan, parit, lubang, kerja, dan lubang bor. Lokasi untuk melakukan konfirmasi kontinuitas dan kadar cukup dekat. Tingkat akurasi dalam melakukan estimasi harus cukup untuk memperkirakan parameter keteknikan dan keekonomian serta memungkinkan dilakukan suatu evaluasi kelayakan ekonomi dengan tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan evaluasi berdasarkan sumberdaya mineral tertunjuk.

### **3.3.2 Cadangan Bijih (*Ore Reserve*)**

Cadangan bijih adalah bagian dari sumberdaya mineral terukur atau tertunjuk yang dapat dieksploitasi secara ekonomis. Hal tersebut termasuk tambahan material dilusi (material hilang) yang memungkinkan terjadi saat proses eksplotasi. Hal ini pengkajian dan studi yang tepat sudah dilakukan, termasuk pertimbangan dan modifikasi dari asumsi yang sebenarnya atas faktor-faktor pertambangan, metalurgi, ekonomi, pemasaran, hukum, lingkungan, sosial, dan pemerintahan. Pada proses pelaporan, kajian ini menunjukkan bahwa ekstraksi telah dapat di benarkan dan masuk akal. Cadangan bijih diklasifikasikan

berdasarkan naiknya tingkat akurasi menjadi cadangan bijih terkira dan cadangan bijih terbukti.

a. Cadangan bijih terkira (*Probable Ore Reserves*)

Cadangan bijih terkira adalah sumberdaya mineral tertunjuk dan sebagian sumberdaya mineral terukur dengan tingkat akurasi geologi masih lebih rendah. Berdasarkan studi kelayakan tambang, semua faktor terkait telah memenuhi kelayakan tambang, sehingga proses penambangan dapat dilakukan secara ekonomis. Kajian dan studi yang tepat di haruskan untuk dilaksanakan, termasuk perimbangan dan modifikasi mengenai faktor realistis mengenai penambangan, metalurgi, ekonomi, pemasaran, hukum, lingkungan, sosial dan pemerintahan. Saat penyusunan laporan, kajian ini menunjukan ekstraksi telah dapat dibenarkan dan masuk akal. Cadangan bijih jenis ini memiliki tingkat akurasi lebih rendah dibandingkan dengan cadangan bijih terbukti, akan tetapi sudah memiliki kualitas yang cukup sebagai dasar dalam membuat keputusan pengembangan suatu cebakan.

b. Cadangan bijih terbukti (*Proved Ore Reserves*)

Cadangan bijih terbukti merupakan sumberdaya mineral yang terukur berdasarkan studi kelayakan tambang dengan semua faktor yang terkait telah terpenuhi, sehingga proses penambangan dapat dilaksanakan secara ekonomis. Kajian dan studi yang tepat di haruskan untuk dilaksanakan, termasuk perimbangan dan modifikasi mengenai faktor realistis mengenai penambangan, metalurgi, ekonomi, pemasaran, hukum, lingkungan, sosial dan pemerintahan. Cadangan bijih jenis ini memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan cadangan bijih terukur.

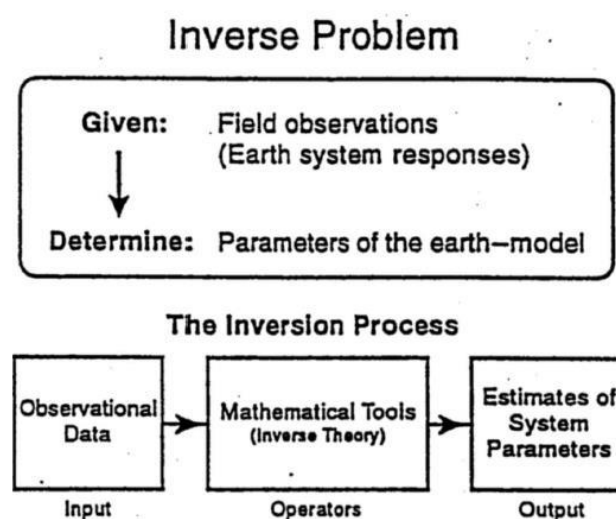
### **3.4 Inversi**

Inversi merupakan satu kesatuan teknik atau metode matematika atau statistika untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Sistem yang dimaksud adalah suatu sistem yang ditinjau, hasil observasi terhadap sistem yaitu data,

sedangkan informasi yang ingin didapatkan dari data adalah model atau parameter model (Grandis, 2009).

Permasalahan geofisika pada dasarnya merupakan permasalahan inversi karena kita dituntut untuk dapat memperkirakan model atau parameter model berdasarkan data hasil pengamatan. Dengan demikian inversi merupakan fokus hampir semua bidang geofisika. Meskipun pemodelan inversi bersifat umum, namun permasalahan yang dapat di selesaikan dengan menggunakan metode pemodelan inversi adalah masalah yang dapat di sajikan secara kuantitatif dengan pendekatan fisika dan/atau matematika (Grandis, 2009).

Data lapangan atau data observasi diharapkan dapat memberikan informasi yang baik, tidak hanya mengenai sifat fisis batuan saja, melainkan kondisi geometri batuan bawah permukaan dan posisi kedalaman batuan. Informasi bisa didapatkan jika mengetahui hubungan antara sifat fisis batuan dan data observasinya. Hubungan dari kedua aspek tersebut hampir selalu berupa persamaan matematika atau biasa disebut model matematika. Oleh karena itu kita dapat mengekstrak parameter fisis batuan dari data observasi. Proses ini disebut sebagai inversi atau *inverse modelling*, dapat dilihat seperti pada **Gambar 10**. berikut (Supriyanto, 2007).



**Gambar 10.** Ilustrasi alur pemodelan inversi yang membutuhkan operasi matematika hingga menghasilkan parameter model (Supriyanto, 2007).

Resistivitas di tentukan dari suatu tahanan jenis semu suatu pengukuran di lapangan. Analisa dan interpretasi data di lakukan dengan mencocokkan harga resistivitas yang diperoleh dari hasil pemodelan inversi dengan tabel variasi tahanan jenis material di dalam bumi yang terdapat dalam referensi (Sudiar dan Akman, 2013).

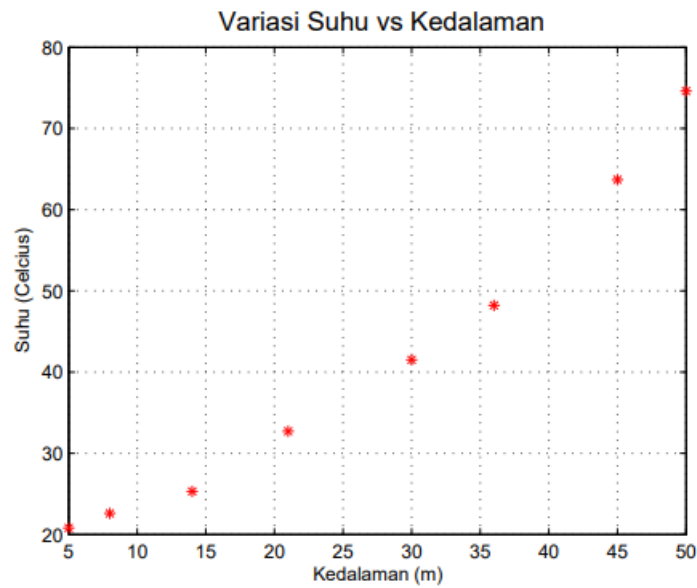
Tujuan dilakukan inversi adalah untuk mencari parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya yang dihasilkan dari respon yang mendekati data observasi atau data hasil pengukuran di lapangan. Proses inversi dimulai dengan deskripsi data, diselesaikan dengan representasi vektor dikarenakan jumlah data yang banyak berupa angka-angka (Supriyanto, 2007).

Inversi 1D metode geolistrik menggunakan inversi model parabola. Sebagai contoh diambil kasus variasi temperatur terhadap kedalaman, misalnya telah dilakukan pengukuran sebanyak 8 kali ( $N = 8$ ), pengukuran temperatur ( $T_i$ ) pada kedalaman yang berbeda ( $z_i$ ).

**Tabel 2.** Contoh data temperatur bawah permukaan terhadap kedalaman (Supriyanto, 2007)

Pengukuran ke- $i$	Kedalaman (m)	Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	5	20,8
2	8	22,6
3	14	25,3
4	21	32,7
5	30	41,5
6	36	48,2
7	45	63,7
8	50	74,6

Tabel pengukuran yang diperoleh atau disebut data observasi selanjutnya di-plot ke dalam grafik variasi suhu terhadap kedalaman.



**Gambar 11.** Data observasi perubahan suhu terhadap kedalaman dari permukaan tanah (Supriyanto, 2007).

Kemudian diasumsikan bahwa variasi temperatur terhadap kedalaman dapat memenuhi persamaan matematika sebagai berikut :

$$m_1 + m_2 z_i + m_3 z_i^2 = T_i \quad (8)$$

Dimana  $m_1, m_2$  dan  $m_3$  merupakan parameter model yang akan dicari ( $M = 3$ ), nilai temperatur  $T_1, T_2, \dots$ , dan  $T_8$  berlaku sebagai data. Berdasarkan model tersebut, dapat menyatakan temperatur dan kedalaman sebagai sistem persamaan simultan yang terdiri dari 8 persamaan sesuai dengan jumlah data observasi, yaitu sebagai berikut :

$$m_1 + m_2 z_1 + m_3 z_1^2 = T_1$$

$$m_1 + m_2 z_2 + m_3 z_2^2 = T_2$$

$$m_1 + m_2 z_3 + m_3 z_3^2 = T_3$$

$$m_1 + m_2 z_4 + m_3 z_4^2 = T_4$$

$$m_1 + m_2 z_5 + m_3 z_5^2 = T_5$$

$$m_1 + m_2 z_6 + m_3 z_6^2 = T_6$$

$$m_1 + m_2 z_7 + m_3 z_7^2 = T_7$$

$$m_1 + m_2 z_8 + m_3 z_8^2 = T_8$$

Dari persamaan di atas dapat dinyatakan dalam operasi matriks, yaitu:

$$\begin{bmatrix} 1 & z_1 & z_1^2 \\ 1 & z_2 & z_2^2 \\ 1 & z_3 & z_3^2 \\ 1 & z_4 & z_4^2 \\ 1 & z_5 & z_5^2 \\ 1 & z_6 & z_6^2 \\ 1 & z_7 & z_7^2 \\ 1 & z_8 & z_8^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_7 \\ T_8 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dari matriks di atas, diperoleh persamaan inversi :

$$Gm = d \quad (10)$$

Dimana  $\mathbf{d}$  merupakan data yang dinyatakan dalam vektor kolom,  $\mathbf{m}$  merupakan model parameter yang juga dinyatakan dalam vektor kolom, dan  $\mathbf{G}$  disebut sebagai matriks kernel. Untuk mendapatkan nilai  $m_1, m_2$  dan  $m_3$  dapat dilakukan manipulasi sebagai berikut.

$$G^t Gm = G^t d \quad (11)$$

Dimana  $\mathbf{t}$  yang dimaksud merupakan tanda transpose matriks. Kemudian dari persamaan (13), didapatkan matriks sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ z_1 & z_2 & z_3 & z_4 & z_5 & z_6 & z_7 & z_8 \\ z_1^2 & z_2^2 & z_3^2 & z_4^2 & z_5^2 & z_6^2 & z_7^2 & z_8^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ z_1 & z_2 & z_3 & z_4 & z_5 & z_6 & z_7 & z_8 \\ z_1^2 & z_2^2 & z_3^2 & z_4^2 & z_5^2 & z_6^2 & z_7^2 & z_8^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_7 \\ T_8 \end{bmatrix}$$

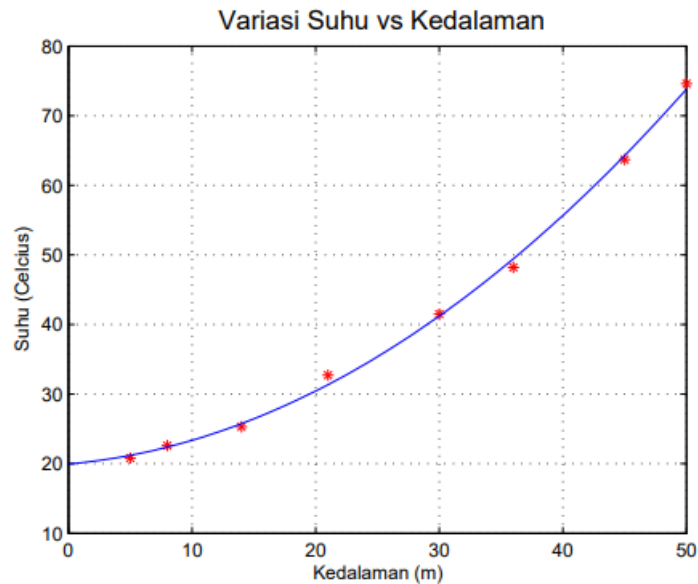
Dari operasi matriks di atas didapatkan matriks sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} N & \sum z_i & \sum z_i^2 \\ \sum z_i & \sum z_i^2 & \sum z_i^3 \\ \sum z_i^2 & \sum z_i^3 & \sum z_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum T_i \\ \sum z_i T_i \\ \sum z_i^2 T_i \end{bmatrix} \quad (12)$$

Jika dari data observasi disubstitusikan pada persamaan (14), maka akan menghasilkan persamaan matriks seperti berikut.

$$\begin{bmatrix} 8 & 219 & 8547 \\ 219 & 8547 & 393423 \\ 8547 & 393423 & 19787859 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 349,89 \\ 12894,81 \\ 594915,33 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Dari perhitungan matriks diatas, akan menghasilkan nilai  $m_1 = 21$ ,  $m_2 = 0,05$  dan  $m_3 = 0,02$ . Gabungan antara data observasi dan hasil inversi dapat diperlihatkan seperti **Gambar 12.** berikut ini.



**Gambar 12.** Hasil inversi atas data observasi perubahan suhu terhadap kedalaman, titik merah merupakan data observasi, dan kurva biru merupakan kurva hasil inversi (Supriyanto, 2007).

### 3.5 Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Metode IDW mengimplementasikan asumsi secara langsung bahwa sesuatu yang saling berdekatan akan lebih serupa dibandingkan dengan yang saling berjauhan. Untuk menghitung sebuah nilai di setiap lokasi yang tidak diukur, IDW akan menggunakan nilai ukuran yang mengitari lokasi yang akan ditaksir tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa tingkat korelasi dan kemiripan antara titik yang ditaksir dan data penaksir adalah proporsional terhadap jarak. Bobot akan berubah secara linier sebagai fungsi super jarak sesuai dengan jaraknya terhadap data penaksir (Purnomo, 2018).

Dalam penambangan nikel laterit diperlukan estimasi untuk dapat menghitung sumberdaya sebelum proses penambangan dilakukan. Dalam menentukan estimasi sumberdaya nikel diperlukan prosedur atau teknik yang tepat dengan beberapa metode, salah satunya dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) (Arif, dkk. 2019).



Faktor penting yang dapat mempengaruhi hasil penaksiran adalah faktor *power* dan radius di sekitar (*neighboring radius*) atau jumlah data penaksir (Almasi, dkk. 2014). Menurut Isaak dan Srivastava (1989) faktor utama yang mempengaruhi keakuratan hasil penaksiran adalah nilai parameter *power*.

Persamaan IDW yang digunakan dalam pembobotan adalah sebagai berikut (Isaak dan Srivastava 1989) :

$$Z' = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)^k Z_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i}\right)^k} \quad (14)$$

Keterangan :

- $Z'$  : kadar yang ditaksir
- $n$  : jumlah data
- $i$  : kadar ke- $i$  ( $i=1, \dots, n$ )
- $d_i$  : jarak antar titik yang ditaksir dengan titik ke- $i$  yang menaksir (m)
- $k$  : parameter power
- $Z$  : kadar asli

Kelebihan dari metode interpolasi IDW yaitu memiliki karakteristik interpolasi yang dapat dikontrol dengan membatasi titik-titik masukan yang digunakan dalam proses interpolasi. Titik-titik yang terletak jauh dari titik sampel dan yang diperkirakan memiliki korelasi spasial yang kecil atau bahkan tidak memiliki korelasi spasial dapat dihapus dari perhitungan. Titik-titik yang digunakan dapat ditentukan secara langsung, atau ditentukan berdasarkan jarak yang ingin diinterpolasi. Kelemahan dari interpolasi IDW adalah tidak dapat mengestimasi nilai yang melampaui nilai maksimum dan dibawah nilai minimum dari titik-titik sampel (Pramono, 2008).

Terdapat dua metode untuk menentukan luas daerah yang dipengaruhi oleh titik sampel (Watson dan Philip, 1985), yaitu :

- a. *Variable search radius*

Titik-titik yang digunakan pada interpolasi ini ditentukan oleh *user*, sehingga nilai search radius bervariasi untuk setiap interpolasi. Hal ini bergantung pada seberapa jauh titik tersebut mencari sel-sel yang berada di sekitar, sehingga beberapa bagian akan menjadi lebih besar dan beberapa bagian yang lain akan menjadi lebih kecil, tergantung pada kerapatan titik di sekitar sel yang diinterpolasi.

b. *Fixed search radius*

*Fixed search radius* memerlukan jarak lingkungan dan titik minimum. Besarnya radius yang digunakan dalam metode ini konstan untuk semua titik sel yang akan diinterpolasi.

### **3.6 Aplikasi Metode Geolistrik dalam Eksplorasi Nikel Laterit**

Metode geolistrik sering digunakan dan terbukti berhasil dalam eksplorasi dangkal, seperti pada pendugaan air tanah dan pencairan mineral logam. Metode geolistrik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan geolistrik resistivitas, dimana lapisan laterit memiliki kontras resistivitas terhadap *bedrock* sehingga dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas ketebalan lapisan laterit dan *bedrock* akan memperoleh hasil yang lebih baik (Reynolds, 1997).

Metode geolistrik sangat umum digunakan di dunia tambang, karena akuisisi data dengan metode ini dapat dikatakan mudah dan murah, sehingga mampu mengefisienkan waktu dan biaya pada kegiatan eksplorasi. Selain itu batuan dibawah permukaan memiliki nilai resistivitas dan kelistrikan yang berbeda-beda. Sifat resistivitas yang berbeda tersebut menjadikan metode ini sangat mendukung untuk diaplikasikan untuk mendeteksi keadaan geologi dibawah permukaan.

## IV. METODOLOGI PENELITIAN

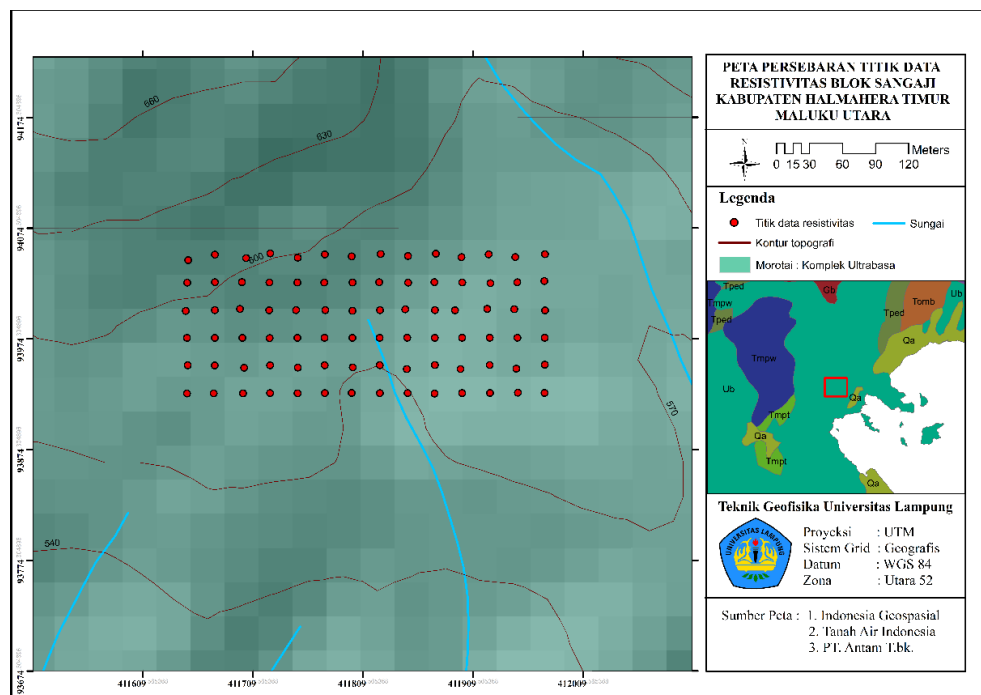
### 4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

Waktu : Januari – Juni 2023

Tempat : Teknik Geofisika Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145, Indonesia.

Daerah Penelitian : Secara geografis, daerah penelitian berada di  $0^{\circ}51'1.316''N$  dan  $128^{\circ}12'27.122'' W$ , dan secara administratif daerah penelitian berada di daerah Kota Maba, kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara. Lokasi penelitian berada seperti pada **Gambar 13.** di bawah ini



**Gambar 13.** Peta lokasi penelitian dengan titik merah menunjukkan persebaran data resistivitas dalam satu blok dengan jumlah titik 84 titik *sounding*.

## 4.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari hasil pengukuran di lapangan oleh tim eksplorasi PT. Antam Tbk. unit Geomin di blok Sangaji Selatan daerah Halmahera Timur, Maluku Utara pada tahun 2011. Data yang digunakan merupakan data geolistrik yang diukur menggunakan konfigurasi *wenner VES* yang berjumlah 84 titik *sounding* dengan persebaran data terdiri dari 6 *line* yang masing-masing *line* berjumlah 14 titik *sounding* dan terpisah sejauh 25 meter setiap titik *sounding*. Alat dan bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Laptop
2. *Software ArcGis*
3. *Microsoft Excel*
4. *Software Prosys*
5. *Software Surpac*
6. *Notepad*
7. Data geolistrik daerah Sangaji
8. Data Shp administrasi daerah penelitian
9. Data geologi daerah penelitian

### 4.3 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian yang akan dilakukan adalah sebagaimana seperti pada **Tabel 3**. berikut.

**Tabel 3.** Jadwal kegiatan penelitian tugas akhir

No	Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Persiapan penelitian	■	■	■	■	■	■	■	■																
3	Seminar usul																	■							
4	Pengolahan data	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
5	Analisis hasil					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
6	Penyusunan laporan													■	■	■	■	■	■	■	■				
7	Seminar hasil																					■			
8	Revisi skripsi																					■	■	■	■
9	Ujian skripsi																								■

### 4.4 Prosedur Penelitian

#### 1. Persiapan data

Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah persiapan data dengan data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder hasil pengukuran geolistrik oleh PT. Antam Tbk. Unit Geomin pada tahun 2011 di blok Sangaji Selatan, Daerah Halmahera Timur, Maluku Utara. Data hasil pengukuran di lapangan terdiri dari data resistivitas hasil pengukuran geolistrik konfigurasi *wenner VES* sebanyak 84 titik *sounding*, dengan persebaran data terdiri dari 6 *line* dengan masing-masing *line* terdiri dari 14 titik *sounding*. Hasil pengukuran juga terdapat data koordinat yang terdiri dari data X, Y, dan Z dengan sistem koordinat UTM WGS 1984. Data lain yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu data administrasi

daerah penelitian dan data geologi daerah penelitian yang diperoleh dengan mengunduh data dari *website* indonesia geospasial.

## **2. Analisis Data**

Analisis data dilakukan karena data hasil pengukuran masih berupa data mentah yang baru diunduh dari alat *Resistivitymeter Syscal jr. IRIS instruments* sebagai alat yang digunakan dalam pengukuran di lapangan sehingga perlu dilakukan analisis untuk memisahkan data dari masing-masing blok. Data yang diunduh dari alat memiliki format data .bin dan untuk mengakses data tersebut menggunakan *software prosys* yang kemudian di *export* menjadi data dengan format .xlsx untuk melakukan analisis pada *Microsoft excel*. Analisis data yang dilakukan yaitu menyingkronkan data resistivitas dengan data koordinat yang meliputi data koordinat titik *sounding* dan data topografi masing-masing titik *sounding*.

## **3. Plot titik pengukuran di daerah penelitian**

Plot titik pengukuran berdasarkan data koordinat pengukuran di administrasi daerah penelitian untuk mengetahui persebaran data titik ukur dan mengetahui masing-masing jarak setiap titik *sounding*. Plot data juga disertakan dengan data geologi sehingga dapat diketahui lokasi persebaran data berada pada formasi geologi dengan litologi tertentu dimana daerah penelitian berada di kompleks batuan ultrabasa.

## **4. Inversi data**

Data resistivitas kemudian di inversi menggunakan *software IP2Win* untuk melihat lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas material bawah permukaan. Inversi dilakukan setiap 1 titik *sounding* hingga 84 total titik *sounding*. Dari hasil inversi didapatkan data jumlah lapisan, kedalaman setiap lapisan, ketebalan setiap lapisan, dan rentang nilai resistivitas setiap lapisan. Setiap titik *sounding* memiliki kedalaman maksimum 40 meter dari permukaan.

## 5. Interpretasi data

Hasil inversi menghasilkan kurva resistivitas yang kemudian diinterpretasi. Interpretasi dilakukan dengan mengacu pada tabel korelasi antara litologi batuan dengan variasi nilai tahanan jenis Sangaji seperti pada **Tabel 1**. Tidak hanya interpretasi jenis lapisan tetapi juga melakukan interpretasi kadar nikel setiap lapisan berdasarkan tabel tersebut yang kemudian hasil interpretasi ini akan di gunakan sebagai pengolahan selanjutnya. Data yang dibutuhkan dalam pengolahan selanjutnya meliputi data Koordinat yang terdiri data koordinat X, Y dan Z dari setiap titik *sounding*, data *azimuth* yang terdiri dari kedalaman maksimum, *azimuth* dan *dip* setiap titik *sounding*, serta dua data lain yang di hasilkan dari hasil inversi dan interpretasi data, yaitu data litologi yang terdiri dari litologi setiap lapisan, data *assay* yang terdiri dari ketebalan setiap lapisan dan kandungan nikel setiap lapisan bawah permukaan.

## 6. Pemodelan 3D

Proses pemodelan 3D dibutuhkan data Azimuth, data Koordiat, data *Assay*, dan data Litologi. Langkah pertama yaitu pembuatan *database* dengan membuat persebaran titik *sounding* perkedalaman berdasarkan interpretasi dari hasil inversi data setiap titik *sounding*. Hasil interpretasi menghasilkan data litologi lapisan laterit yaitu *top soil*, *limonite*, *saprolite*, dan *bedrock*. Data *assay* berupa kandungan nikel setiap lapisan sesuai dengan hasil interpretasi. Pembuatan *database* ini digunakan untuk mengoreksi pengelompokan serta kebenaran data eksplorasi yang akan menghasilkan persebaran titik *sounding* dan merupakan data dasar dalam melakukan estimasi cadangan nikel laterit. Dari masing-masing titik *sounding* tersebut dikorelasikan dengan titik *sounding* yang lain berdasarkan kedalaman setiap lapisan sehingga di dapatkan batas lapisan dari satu blok daerah penelitian yang terdiri dari 84 titik *sounding*. Langkah selanjutnya kemudian membuat *block model* untuk memodelkan lapisan bawah permukaan secara tiga dimensi.

### 7. *Inverse Distance Weighting (IDW)*

Pada tahap ini, dilakukan proses menafsirkan sebuah nilai di setiap lokasi yang tidak terdapat data pengukuran. Proses ini akan menggunakan nilai-nilai ukuran yang mengitari lokasi yang akan di taksir tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa tingkat korelasi dan kemiripan antara titik yang ditaksir dengan data penaksir adalah proporsional terhadap jarak. Bobot akan berubah secara linier, sebagai fungsi jarak sesuai dengan data jaraknya terhadap data penaksir. Jarak antar titik *sounding* sebesar 25 meter nilai jarak ini akan menjadi nilai *neighboring radius*.

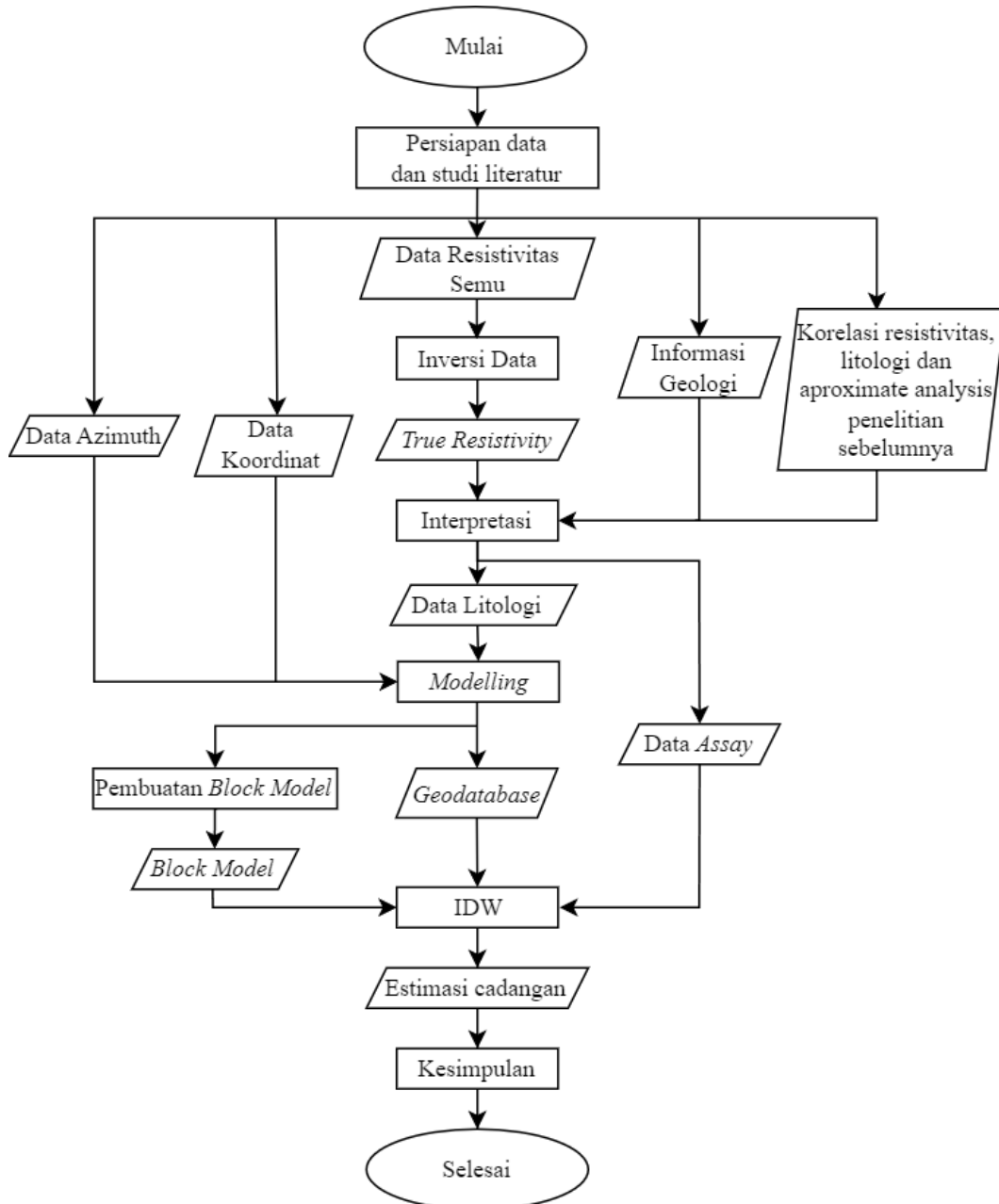
### 8. **Estimasi cadangan**

Berdasarkan hasil *Inverse Distance Weighting*, dihasilkan estimasi volume *Block model*, untuk mengestimasi cadangan nikel maka hasil *Inverse Distance Weighting* diklasifikasikan berdasarkan kadar nikel pada masing-masing lapisan. Estimasi kadar nikel menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* meliputi lapisan *limonite* dan lapisan *saprolite* karena kedua lapisan tersebut yang memiliki kadar nikel terbesar dibandingkan dengan lapisan laterit yang lain dan kedua lapisan tersebut yang memiliki potensi untuk dilakukan eksploitasi. *Block model* diklasifikasikan menjadi kategori *limonite* dengan kadar nikel 0.8 – 1.5 % dan lapisan *saprolite* dengan kadar nikel 1.5 – 4%. Untuk mengetahui jumlah tonase cadangan, maka volume dari *block model* dikalikan dengan densitas masing-masing lapisan berdasarkan penelitian sebelumnya di daerah Maluku Utara oleh (Arif, dkk. 2019) yaitu *limonite* sebesar 1.6 ton/m<sup>3</sup> sedangkan *saprolite* sebesar 1.5 ton/m<sup>3</sup>. Dari estimasi yang dilakukan, dihasilkan estimasi cadangan nikel yang meliputi volume, tonase, dan kadar Ni di daerah penelitian.



#### 4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah seperti pada **Gambar 15.** sebagai berikut.



**Gambar 14.** Diagram alir

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Daerah penelitian memiliki 4 lapisan litologi berdasarkan nilai resistivitas setiap lapisan, yaitu lapisan top soil di permukaan dengan ketebalan rata-rata 3,35 meter diikuti lapisan *limonite* dengan ketebalan rata-rata 13,44 meter, kemudian lapisan *saprolite* dengan ketebalan rata-rata 13,85 meter. Dan lapisan paling bawah merupakan lapisan bedrock dengan ketebalan rata-rata 9,10 meter.
2. Pemodelan 3D menggunakan metode IDW menghasilkan model lapisan nikel bawah permukaan khususnya pada lapisan *limonite* dan *saprolite* dengan memperlihatkan volume lapisan di setiap area dan diketahui area penelitian berada di area yang landai dengan keadaan topografi yang tidak terlalu curam.
3. Dari estimasi yang dilakukan dihasilkan bahwa Lapisan *limonite* memiliki kadar nikel sebesar 1.094 % dengan volume sebesar 479548 m<sup>3</sup> dan tonase sebesar 767276.8 dengan berat bijih nikel 8394.01 ton, sedangkan untuk lapisan *saprolite* memiliki kadar nikel sebesar 2.77 % dengan volume sebesar 685735 m<sup>3</sup> dan tonase sebesar 1028602.5 dengan berat bijih sebesar 28564.29 ton. Jika ditotalkan estimasi lapisan *limonite* dan lapisan *saprolite* memiliki kadar nikel 2.06 % dengan total volume 1165283 m<sup>3</sup>, total tonase sebesar 1795879.3 dan total berat bijih 36958,30 ton untuk luas daerah penelitian sebesar 40625 m<sup>2</sup>.

## **6.2. Saran**

Saran dari penelitian ini yaitu diperlukan data pendukung seperti data sumur sebagai validasi interpretasi bawah permukaan sehingga dapat digunakan untuk memvalidasi estimasi cadangan nikel laterit di daerah penelitian khususnya kadar nikel yang terkandung di daerah penelitian sehingga dapat diperhitungkan dalam perencanaan penambangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, K., dan Palili, A. (2011). Studi Penentuan Mineral Bawah Permukaan dengan Metode Geolistrik di Desa Tarere, Kec. Larompong Kab Luwu. *Jurnal Dinamika*, 02(2), 62-73.
- Ahmad, W. (2006). *Laterites : Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, and Laterite Formation*. PT. Inco
- Alaydus, M. (2014). *Medan Elektromagnetika*. Yogyakarta: Cv. Andi Offset.
- Almasi, A., Jalalia, A., dan Toomanian, N. (2014). Using OK and IDW Methods For Prediction The Spatial Variability Of A Horizon Depth and OM in Soils of Shahrekord, Iran. *Journal of Environment and Earth Science*, 4(15), 140-147.
- Apandi, T., dan Sudana D. (1980). *Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara*. Badan Geologi.
- Arif, A.K.H., Djainal, H., dan Noviany, R. (2019). Estimasi Sumber Daya Nikel Menggunakan Metode IDW (Inverse Distance Weighting) Di Site Sepo Pt. Bakti Pertiwi Nusantara Provinsi Maluku Utara. *Abdul Kadir*. 12(2), 76-82.
- 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 (darman Manisa, western Anatolia), Turkey. *Canadian Journal of Earth Sciense*, 55(3), 252-271.
- Cotton, F.A. dan Wilkinson, G. (1989). *Kimia Anorganik I*. Jakarta: Universitas Indonesia.

- Fikriyah, A. (2018). *Aplikasi Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger, Masw (Multichannel Analysis Of Surface Wave), Dan Data Mekanika Tanah Untuk Analisis Gerakan Tanah (Studi Kasus: Jembatan Cisomang, Tol Cipularang Km 100 Jawa Barat)*. Surabaya : ITS.
- Golightly, J, P., (1979). Nickeliferous Laterite Deposits. *Economic Geology 75th Anniversary*, 710-735.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung : Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Hall, R. (2002). Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian earth sciences*, 20(4), 353-431.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570, 1-41.
- Isaaks, E. dan Srivastava, R.M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York : Oxford University.
- Isjudarto, A. (2013). Pengaruh Morfologi Lokal Terhadap Pembentukan Nikel Laterit. *Seminar Nasional Ke 8 : Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi*.
- Kadarusman, A. (2001). *Geodynamic of Indonesian region; a petrological approaches* (Doctoral dissertation, unpublished PhD Thesis. Tokyo Institute of Technology. 456p).
- 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.
- Lintjewas, L., Setiawan, I., dan Al Kausar, A. (2019). Profil endapan nikel laterit di daerah Palangga, provinsi Sulawesi Tenggara. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 29(1), 91-104.
- Loke, M.H. (2021). *Tutorial : 2-D And 3-D Electrical Imaging Surveys*. Malaysia : Penang
- Lowrie, W. (2007). *Fundamental Of Geophysics*. Edisi Kedua. Cambridge.

- Nikel.co.id. (2021). Bakal Jadi Primadona, Kebutuhan Nikel di 2030 Bakal Melonjak. <https://nikel.co.id/bakal-jadi-primadona-kebutuhan-nikel-di-2030-bakal-melonjak/> . diakses pada tanggal 14 mei 2023.
- Novianto, D., Gautama, G.A., dan Pradani, D.I. (2021). Neraca Sumberdaya Mineral Provinsi Jawa Timur 2019. *Seminar Nasional Teknik Sipil Terapan (SNTST)*, Vol. 2(2021)
- Pasaribu, J. M., dan Haryani, N. S. (2012). Perbandingan Teknik Interpolasi DEM SRTM dengan Metode Inverse Distance Weighted (IDW), Natural Neighbor dan Spline (Comparison of DEM SRTM Interpolation Techniques Using Inverse Distance Weighted (IDW), Natural Neighbor and Spline Method). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 9(2), 126-139.
- Pramono, G. H. (2008). Akurasi Metode IDW dan Krigging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros, Sulawesi Selatan. *Forum Geografi*. 22(1), 145-158.
- Primanda, A. (2008). *Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit di Sorowako, Sulawesi Selatan (Studi Kasus Areal Eksplorasi Tambang PT. Internasional Nickel Indonesia, Tbk.)*. Jakarta : Universitas Indonesia
- Purnomo, H. (2018). Aplikasi Metode Interpolasi *Inverse Distance Weighting* Dalam Penaksiran Sumberdaya Laterit Nikel. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 10(1), 49-60.
- Reynolds, J.M. (1997). *An Introduction To Applied And Environmental Geophysics*. John Wiley. New York : Chichester.
- Reynolds, J. M., (2005). *An Introduction To Applied And Environmental Geophysics*. Usa: Jhon Wiley And Sons
- Rusydy, I. (2016). *Ternyata Ini Penyebab Gempa Bumi di Indonesia Sering Terjadi*. <https://www.ibnurusydy.com/ternyata-ini-penyebab-gempa-bumi-di-indonesia-sering-terjadi/>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2023.
- Santoso, D. (2002). *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung : ITB.
- Simpin, I. N. (2015). Solusi Permasalahan Sumur Bor Versus Sumur Gali dengan Metoda Geolistrik dan Uji Pemompaan Sumur (Suatu Studi Kasus di

- Bugbug Karangasem Bali). *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pembelajarannya 2015, Universitas Negeri Malang*.
- Sudiar, N. Y., dan Akmam, A. (2016). Pemodelan Inversi Data Geolistrik 1-d Untuk Menentukan Jenis Dan Kedalaman Batuan Dasar. *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(1), 6-16.
- Sunantyo, T. A., dan Fahrurrazi, J. (2011). Jaring kontrol geodetik dinamik di wilayah tektonik Indonesia. *FIT ISI dan Seminar Nasional*.
- Supriyanto, S (2007). Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi. *Diktat Jurusan Fisika Komputasi Universitas Indonesia*.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990). *Resistivity Methods*. In: *Applied Geophysics, 2nd Edition*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 353-358
- Tonggiroh, A., Mustafa, M., dan Suharto, S (2012). Analisis Pelapukan Serpentin dan Endapan Nikel Laterit Daerah Pallangga Kabupaten Palangga Sulawesi Tenggara. *Prosiding 2012 Hasil Penelitian Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*.
- Wahyono, E.B., Nugroho, T., dan Aji, E. P. (2016). *Dampak Deformasi Lempeng Bumi Terhadap Koordinat Titik Dasar Teknik Di Pulau Ternate Dan Kabupaten Halmahera Barat Propinsi Maluku Utara*. Yogyakarta : Kementerian Agraria dan Tata Ruang / Badan Pertanahan Nasional Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional.
- Wijaya, D.H.R., Muhammad, F., Febriyanti., dan Faiz, M. (2015). *Karakter Endapan Nikel Laterit Dan Jumlah Cadangan Pada Blok X PT. Bintang Delapan Mineral Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah*. Padang : Universitas Negeri Padang
- Wahyono, E.B., Nugroho, T., dan Aji, E. P. (2016). *Dampak Deformasi Lempeng Bumi Terhadap Koordinat Titik Dasar Teknik Di Pulau Ternate Dan Kabupaten Halmahera Barat Propinsi Maluku Utara*. Yogyakarta : Kementerian Agraria dan Tata Ruang / Badan Pertanahan Nasional Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional